

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

ESTUDIO DE LA COBERTURA VEGETAL DE TRES CULTIVOS SOBRE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO, EN LA PARTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO ITZAPA, SAN ANDRES ITZAPA, CHIMALTENANGO (FASE III).

TESIS

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

POR

JOSE GILBERTO CIFUENTES BARRIENTOS.

En el acto de investidura como

**INGENIERO AGRONOMO
EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO**

Guatemala, noviembre de 2000.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**RECTOR
Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA**

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

**DECANO
VOCAL I
VOCAL II
VOCAL III
VOCAL IV
VOCAL V
SECRETARIO**

**Ing. Agr. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA
Ing. Agr. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO
Ing. Agr. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LOPEZ
Ing. Agr. ALEJANDRO ARNOLDO HERNANDEZ FIGUEROA
Prof. JACOBO BOLVITO RAMOS
Br. JOSE BALDOMERO SANDOVAL ARRIAZA
Ing. Agr. EDIL RENE RODRIGUEZ QUEZADA**

Guatemala, noviembre de 2000.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Distinguidos miembros:

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:

ESTUDIO DE LA COBERTURA VEGETAL DE TRES CULTIVOS, SOBRE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO EN LA PARTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO ITZAPA, SAN ANDRES ITZAPA, CHIMALTENANGO (FASE III).

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me despido de ustedes,

Atentamente,

f) 

Das. José Gilberto Cifuentes Barrientos

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS Por haberme dado la vida y haber permitido que llegara a esta meta.

MIS PADRES Magda Esher Cifuentes Paz, Bertha Paz Guerra, José Gilberto Cifuentes Paz y Rosa Elvira Barrientos. Como una pequeña muestra de agradecimiento por haberme brindado su amor, esfuerzo y trabajo a lo largo de mi vida.

MIS HERMANOS Oscar Oswaldo, Josué Miguel, Jorge Manuel, Mauro Francisco Bertha Marisol, Juan Carlos y Cristian Armando. Por su cariño y el apoyo incondicional que me dieron en todo momento que hemos compartido.

MIS TIOS Por su apoyo moral, en especial a Héctor Raúl, Laureano Fidel Fulvia Cifuentes.

MIS PRIMOS Con aprecio.

MI NOVIA Lesli de León, con mucho cariño.

TESIS QUE DEDICO

A:

Escuela Oficial Mixta "Santa Martha", Mazatenango, Suchitepéquez.

Instituto Experimental "Lic. Julio César Méndez Montenegro", Mazatenango, Suchitepéquez.

Escuela Nacional Central de Agricultura, ENCA, Bárcena, Villa Nueva.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mis amigos: Edgar Rodríguez, Daniel Castillo, Luis Hilton, Christian Mora, Amilcar Sánchez, Fredy Romero, Ernesto España, José Luis Echeverría, Beatriz Arleu, Carlos Godínez, Héctor Gonzalez, Carlos Ixcot, Marco Yon, Darvin Gonzalez, Henry Leonardo, Rafael Tellez, Gerardo Quiñónez, Alberto Mota, Mario Buch, Pablo Prado, Julio Taracena, Marlon Carrera, Eric Ortega, Jorge Contreras, Raúl Contreras por su amistad, mil gracias.

DEDICATORIA ESPECIAL

A DOUGLAS CIFUENTES PAZ:

Querido Tío:

Deseo de Todo Corazón que Dios nuestro señor lo tenga en su gloria y a la vez que le permita por un instante que su espíritu se una en este momento con toda la familia, momento que es tan trascendental en mi vida, y en formación como profesional. Formación que se desarrolló a través de sus ejemplos de actitud positiva, frente a las vicisitudes de la vida. Admiraré por siempre esa forma de ser honesta y sincera con quienes convivieron a su lado. Su actitud humilde respecto a sus semejantes, así como su entrega y honradez en el trabajo; reflejaban la gran calidad humana que poseía. La senda que usted trazo en la familia, ha quedado plasmada en mi mente y en mi corazón, trataré de seguir su huella. Todo aquello que supo darme no solo a mi, sino a todos los que tuvimos la fortuna de conocerlo, lo compartiré con mis amigos y en todo lugar donde me encuentre. Sea pues este momento un pequeño tributo dedicado a su memoria.

AGRADECIMIENTOS

SINCEROS AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Agr. M. Sc. Hugo Antonio Tobías Vásquez e Ing. Agr. M. Sc. Ervin Maxdelio Herrera de León, por su asesoría y apoyo en la realización del presente trabajo de tesis.

Instituto de Investigaciones Agronómicas, por el apoyo brindado y a los compañeros integrantes del proyecto de investigación en la cuenca del Río Itzapa: Ing. Agr. Carlos López Búcaro, Ing. Agr. Julio Taracena, Hugo Buch Ravaric, Sebastián Salvejan Xicon.

Los profesores: Aura Violeta Barrera de Gómez, María Martínez, Odeth Castellanos, Esperanza Callejas, Martha Juárez, al Técnico Forestal William Santizo Castro, por su apoyo incondicional y amistad brindada.

A las familias de doña Eva Tala, Don Jesús De León Rivadeneira, Don Salvador Castellanos Cortez, y Doña Bernarda De la Cruz Carazo, por su amistad, múltiples consejos y apoyo moral.

La información presentada en esta tesis pertenece al proyecto "INVESTIGACION BASICA PARA LA PLANIFICACION DE LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RIO ITZAPA", del Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía y la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

CONTENIDO

	Pag.
INDICE GENERAL.....	i.
INDICE DE FIGURAS.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	iv
RESUMEN.....	v-
1. INTRODUCCION.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3. MARCO TEORICO.....	3
3.1 Marco Conceptual.....	3
3.1.1 Erosión Hídrica.....	3
3.1.2 Formas de Erosión por el Agua.....	3
3.1.3 Procesos de Erosión Hídrica.....	3-4
3.1.4 Factores de la Erosión y Escorrentía.....	4-6
3.1.5 Medición de la Escorrentía y Erosión.....	7-8
3.1.6 Descripción Modelo USLE.....	8
3.1.7 Experiencias en el área de estudio.....	11-
3.2 Marco Referencial.....	12
3.2.1 Ubicación.....	12
3.2.2 Clima.....	12
3.2.3 Zona de Vida.....	12
3.2.4 Capacidad de Uso de la Tierra.....	12
3.2.5 Suelos.....	15
3.2.5.1 Génesis de Suelos.....	15
3.2.5.2 Clasificación taxonómica de suelos.....	15
3.2.6 Hidrología.....	15
3.2.7 Características de la población.....	15-
3.2.7.1 Población.....	15
3.2.7.2 Accesibilidad.....	15
3.2.8 Ubicación sitio experimental.....	17
4. OBJETIVOS.....	18
4.1 Objetivo General.....	18
4.2 Objetivo Específico.....	18
5. HIPOTESIS.....	19
6. METODOLOGIA.....	20-
6.1 Selección de tratamientos.....	20
6.2 Diseño Experimental.....	20
6.3 Arreglo y montaje del experimento.....	20
6.3.1 Confinamiento de las parcelas.....	20

6.3.2 Sistema colector de agua y sedimentos.....	20
6.3.3 Fuente de datos meteorológicos.....	22
6.3.4 Establecimiento y manejo de cultivos.....	22
6.4 Variables respuesta.....	24
6.4.1 Variables auxiliares.....	24
6.5 Medición de variables.....	24
6.5.1 Escurrimiento superficial.....	24
6.5.2 Cantidad de suelo erosionado.....	24
6.5.3 Cálculo de la lámina de suelo erosionado.....	25
6.5.4 Determinación de textura de sedimentos.....	25
6.5.5 Medición de porcentaje de cobertura de cultivos.....	25
6.5.6 Medición de precipitación.....	25
6.5.7 Cálculo del índice de erosividad de la lluvia.....	25
6.6 Análisis de la información.....	25
7. RESULTADOS.....	28
7.1 PRECIPITACION PLUVIAL.....	28
7.1.1 Precipitación mensual.....	28
7.1.2 Frecuencia de la precipitación.....	29
7.2 ESCORRENTIA.....	29
7.2.1 Cantidad de Escorrentía.....	29
7.2.2 Porcentaje de Escorrentía.....	30
7.3 SUELO EROSIONADO.....	31
7.3.1 Cantidad de suelo erosionado.....	31
7.3.2 Lámina de suelo erosionado.....	32
7.4 FACTOR DE COBERTURA.....	32
7.5 CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LOS SEDIMENTOS.....	32
7.6 FACTOR DE EROSIVIDAD.....	33
7.7 COBERTURA DE LOS TRATAMIENTOS.....	33
7.8 ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO.....	34
7.9 CORRELACION LINEAL MULTIPLE.....	35
7.10 ANALISIS INTEGRADO DE LOS RESULTADOS DE LA FASE I, FASE II y FASE III.....	36
8. CONCLUSIONES.....	41
9. RECOMENDACIONES.....	43
10. BIBLIOGRAFIA.....	44
11. APENDICE.....	48

INDICE DE FIGURAS

No.	Descripción	Pag.
1	Ubicación de la cuenca Río Itzapa a nivel nacional y dentro de la cuenca del Río Achiguate....	13
2	Delimitación de la cuenca del Río Itzapa.....	14
3	Mapa clasificación taxonómica de los suelos de la cuenca del Río Itzapa.....	16
4	Esquema de una parcela de escurrimiento a establecida en el ensayo.....	21
5	Comparación de cantidad de suelo erosionado obtenido por el método directo (parcelas de escorrentia) y el método indirecto (USLE) en el año de 1998.....	35
6	Comparación de la cantidad de suelo erosionado en (ton/ha/año) de los tratamientos evaluados obtenidos en las fases I, II y III.....	37
7	Comparación del volumen de escorrentia superficial en m ³ /ha obtenidos en los tratamientos evaluados en las fases I, II y III.....	39
8 A.	Nomograma para la determinación del valor de erodabilidad del suelo, factor K.....	50
9 A.	Infiltración en el sitio experimental.....	53
10 A.	Croquis de la distribución de campo de los tratamientos evaluados.....	54

INDICE DE CUADROS

No.	Descripción	Pag.
1	Precipitación pluvial mensual de 12 años de registro en la estación "La Alameda" y los valores registrados en la estación "Xipacay" para los años 1996, 1997 y 1988.....	28
2	Cantidad de lluvia y frecuencia de lluvias ocurridas en San Andrés Itzapa, Chimaltenango en el año de 1998.....	29
3	Escorrentia superficial (m ³ /ha), observada en los tratamientos para el sitio experimental en el año de 1,998.....	29
4	Prueba de comparación de medias (Tukey) para la cantidad de escorrentia superficial.....	30
5	Cantidad (m ³ /ha) y porcentaje de escorrentia para los tratamientos evaluados.....	30
6	Cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) en el sitio experimental en el año 1998.....	31
7	Prueba de comparación de medias (Tukey) para la cantidad de suelo erosionado.....	31
8	Lámina de suelo erosionado(cm) para los tratamientos evaluados en la época lluviosa de 1998...	32
9	Factor de cobertura (factor C) para los tratamientos evaluados.....	32
10	Porcentaje de partículas primarias de suelo, en los sedimentos perdidos por erosión.....	33
11	Porcentaje de cobertura vegetal para el sitio experimental en 12 muestreos.....	33
12	Cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) obtenido por método directo y el valor calculado con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) método indirecto en el año de 1998.....	34

13 Prueba de comparación de medias para los tratamientos evaluados de la cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) para las fases I, II y III.....	36
14 Prueba de comparación de medias para los años evaluados en base a la cantidad de suelo erosionado (ton/ha).....	36
15 Prueba de comparación de medias de escorrentía superficial (m^3/ha) de los tratamientos evaluados en las fases I, II y III.....	38
16 Prueba de comparación de medias para los años evaluados en base a la escorrentía superficial en (m^3/ha).....	38
17 Comparación de la cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) por método directo (promedio de 3 años de observación) y el calculado por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) método indirecto (Integración años 1996, 1997 y 1998).....	39
18 A Cálculo de la precipitación efectiva método Blaney-Criddle con base a los datos del año de 1998, de la estación "Xipacay".....	51
19 A Análisis de Varianza para la escorrentía superficial año 1998.....	51
20 A Análisis de Varianza para la cantidad de suelo erosionado año 1998.....	51
21 A Análisis de Varianza combinado, para la cantidad de suelo erosionado Fases I, II y III.....	51
22 A Análisis de Varianza combinado, para la escorrentía superficial de las Fases I, II y III.....	52
23 A Prueba de infiltración del sitio experimental.....	52
24 A Características físicas del suelo en el sitio experimental.....	53
25 A Registro de datos de campo de lecturas de Erosión, Escorrentía, Precipitación.....	55-

ESTUDIO DE LA COBERTURA VEGETAL DE TRES CULTIVOS, SOBRE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO EN LA PARTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO ITZAPA, SAN ANDRES ITZAPA, CHIMALTENANGO (FASE III).

VEGETABLE COVERAGE STUDY OF THREE CROPS, ON SOIL WATER EROSION, IN THE MIDDLE PART OF THE ITZAPA RIVER BASIN, SAN ANDRES ITZAPA, CHIMALTENANGO (PHASE III).

RESUMEN

El presente estudio corresponde a la tercera fase del proyecto de "Evaluación de la cobertura vegetal y manejo de tres cultivos sobre la erosión hídrica de los suelos de la parte media de la cuenca del Río Itzapa". La Cuenca se ubica en el municipio de San Andrés Itzapa, departamento de Chimaltenango. El estudio se dividió en dos partes; la primera evaluó el efecto de la cobertura vegetal de tres cultivos sobre la erosión hídrica en la época lluviosa de 1998, en un terreno con 18 por ciento de pendiente, ubicado en la parte media de la cuenca. Los cultivos evaluados fueron, asocio maíz (Zea mays L.) y frijol (Phaseolus vulgaris L.), brócoli (Brassica oleracea Var. Itálica) y frijol (Phaseolus vulgaris L.). Los resultados que se obtuvieron se compararon con un testigo (sin cobertura vegetal).

La segunda parte del estudio, consistió en la integración de los resultados obtenidos de las tres investigaciones realizadas en la parte media de la cuenca, evaluando la cobertura vegetal de tres cultivos en los años 1996, 1997 y 1998, fases I, II y III respectivamente.

Las investigaciones de las tres fases, se realizaron utilizando un diseño de bloques al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental, estuvo constituida por una parcela de escurrentía de 50 m² de área, con 10 m de longitud sobre la dirección de pendiente y 5 m de ancho. La cantidad de suelo erosionado, así como el volumen de escurrentía superficial se midieron directamente en cada una de las parcelas de escurrentía. Con los datos obtenidos del estudio se calculó el factor de manejo y cobertura (factor C) así mismo, con los datos de las características físicas y químicas del suelo en el sitio experimental, se calculó el factor de erodabilidad del suelo (factor K). Con la pendiente y longitud del terreno se calculó el factor topográfico (factor LS), y con las características de la precipitación, se calculó el factor de erosividad (factor R), a través del uso del Mapa de Isoerosividad elaborado por Bravo de León (5).

Los factores determinados forman parte de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), con la cual se calculó la cantidad de suelo erosionado (método indirecto). El valor obtenido con la USLE, se comparó con los valores obtenidos de las parcelas de escurrentía (método directo). La integración de los resultados obtenidos de los tres años de evaluación se efectuó al hacer un análisis de varianza combinado, tomando en cuenta el modelo de una serie de experimentos en el tiempo.

Con base en los resultados obtenidos se puede decir que, la cobertura de asocio maíz y frijol, tiene el menor valor promedio de escurrentía superficial con 448.27 m³/ha, le sigue en orden ascendente la cobertura de cultivo de frijol con 547.22 m³/ha y el mayor valor promedio lo obtuvo la cobertura del cultivo de brócoli con 830.94 m³/ha, para el testigo absoluto que fue el comparador, se tuvo un valor promedio de 1,728.46 m³/ha.

El mayor valor promedio de suelo erosionado corresponde a la cobertura del cultivo de brócoli, con 11.59 ton/ha/año. La cobertura del cultivo del frijol tuvo un valor promedio de 2.88 ton/ha año mientras que, la cobertura

del cultivo de asocio maíz y frijol obtuvo una media de 1.33 ton/ha/año. El comparador sin cobertura vegetal registró un valor promedio de 36.72 ton/ha/año.

En relación a la cobertura vegetal, el cultivo de asocio maíz y frijol tuvo un porcentaje de cobertura vegetal promedio de 61.3, y un valor de factor C de 0.04; el cultivo de frijol tuvo un promedio de 43.3 por ciento de cobertura vegetal y un factor C de 0.08; y el cultivo de brócoli, con 33.1 por ciento de cobertura vegetal y un factor C de 0.32. El factor de erodabilidad de suelo (factor K) para el sitio experimental fue de 0.016 (toneladas-hectárea.hora)/(hectárea-megajoules-milímetro). El factor topográfico (factor LS) tuvo un valor de 1.96. El factor de erosividad de la lluvia fue de 2,856.85 (megajoules-milímetro)/(hectárea-hora-año), el cual indica la capacidad erosiva de la lluvia en el área de estudio y que según otras investigaciones (5) puede considerarse de media a alta erosividad. El factor método de control de la erosión (factor P) para el cultivo de asocio maíz-frijol y el cultivo de frijol se estimó en 0.4, según Sánchez (27), al cultivo de brócoli le correspondió un valor de 0.6.

Con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) se calculó un valor de suelo erosionado para el cultivo de brócoli de 16.96 ton/ha-año; para el cultivo de frijol 2.79 ton/ha-año y para el cultivo de asocio maíz-frijol un valor de 1.29 ton/ha-año.

Del análisis de la integración de las fases evaluadas, se deduce que existen diferencias significativas entre tratamientos y entre años de evaluación. Lo anterior, confirma que los datos obtenidos en cada fase del estudio, dependen de las características de cada época lluviosa, pues para el año de 1996, fase I, hubo mas cantidad de suelo erosionado y para el año de 1998 mayor volumen de escorrentía superficial.

Después de tres años de evaluación de la cobertura vegetal y el manejo del cultivo, se determinó que la cobertura del cultivo de asocio maíz-frijol es la que da mas protección al suelo contra la erosión hídrica; mientras que la que menos protege es la cobertura del cultivo de brócoli. Sin embargo, éste sistema de cultivo es el que se está introduciendo fuertemente en el área de estudio; en consecuencia, deben de adoptarse las recomendaciones de manejo que se sugieren como producto del presente estudio.

1. INTRODUCCION

Guatemala tiene en su territorio una diversidad de recursos naturales; sin embargo, el mal manejo de tales recursos, por la mayoría de la población, ha provocado que éstos se deterioren en forma acelerada. Uno de estos recursos es el suelo, base para la producción agrícola, por lo que es de mucha importancia conservarlo y manejarlo en forma adecuada, en un país que basa su economía en la agricultura. Se sabe que más del 50 por ciento de la superficie del país presenta un relieve accidentado, con una alta concentración de la población y una utilización de la tierra con fines agrícolas sin tecnología, por lo que se expone el suelo al problema de la erosión hídrica y por consiguiente a la pérdida de la productividad.

La situación antes descrita se presenta en la cuenca del Río Itzapa, en donde se establecen cultivos limpios en tierras con pendientes fuertes, sin prácticas de conservación de suelos, con una alta tasa anual de deforestación y una presión social por el recurso muy fuerte, que conllevan al problema de la erosión hídrica de los suelos provocando pérdida de la fertilidad, azolvamientos y desbordes del río en la parte baja así como disminución de la calidad y cantidad disponible del agua. Por lo anterior, se hace imprescindible el estudio del problema de la erosión hídrica de los suelos

Entre los años de 1990 a 1992, el Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos realizó el proyecto denominado "Priorización de Cuencas Hidrográficas", dentro de este proyecto fué seleccionada como cuenca prioritaria la cuenca del Río Achiguate, en la vertiente del Pacífico. Dentro de la cuenca del Río Achiguate, se seleccionó a la cuenca del Río Itzapa, debido a la accesibilidad, cercanía y por sus características biofísicas y agrosocioeconómicas, que la hacen representativa de la región del altiplano central de Guatemala.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la cobertura vegetal de tres cultivos, sobre la erosión hídrica, en la parte media de la cuenca del Río Itzapa, a través de parcelas de escurrimiento. El estudio se realizó en la época lluviosa del año de 1998, y forma parte del proyecto "Investigación básica para la planificación de la cuenca experimental del Río Itzapa", proyecto que ejecuta la Facultad de Agronomía, a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas -IIA- con el apoyo parcial de la Dirección General de Investigación -DIGI- de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y que tienen como objetivo el formular un plan de manejo de los recursos naturales, para la producción sustentable en la cuenca del Río Itzapa.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Castañeda citado por Bravo de León (5) indica que el 33 por ciento de los suelos del territorio nacional presentan un alto grado de susceptibilidad a la erosión, en tanto que un 30.1 por ciento presentan muy alto grado, a esta problemática no escapan los suelos de la Cuenca del Río Itzapa, en donde además, la necesidad de la población de utilizar los recursos naturales renovables que ofrece la cuenca ha resultado en una alta deforestación, causada principalmente por el avance de la frontera agrícola, con el establecimiento de cultivos limpios como maíz y frijol entre otros. La agricultura se practica en áreas con pendientes fuertes y sin técnicas de conservación de suelos, lo cuál expone al suelo al problema de la erosión, específicamente la ocasionada por la lluvia y el escurrimiento.

La erosión hídrica de los suelos trae consigo otros problemas como: la pérdida de la fertilidad del suelo en la parte alta y media de la cuenca, acumulación de sedimentación en la parte media y baja, así como desbordamientos del río Itzapa en la parte baja, reduciendo la calidad y cantidad disponible del agua.

Con base en lo anterior, el Instituto de Investigaciones Agronómicas, de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos, con el apoyo parcial de la Dirección General de Investigación desarrollan el proyecto de investigación básica para la planificación de la cuenca experimental del Río Itzapa, que tiene como objetivo generar información básica para la formulación del plan de manejo de los recursos naturales, para la producción sustentable de la cuenca. La presente investigación constituyó la tercera fase, en la evaluación del efecto de coberturas vegetales sobre la erosión hídrica en la parte media de la cuenca. Así mismo, se planteó la necesidad de generar información para la determinación de otros factores de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo por erosión hídrica, para comparar los resultados con los valores reales de pérdida de suelo que se obtengan de las parcelas de escurrimiento.

3. MARCO TEORICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 EROSION HIDRICA

La erosión hídrica es el proceso que consiste en el desprendimiento del suelo o fragmentación de roca y su arrastre, por acción del agua (10).

3.1.2 FORMAS DE EROSION 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.

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 concentración de agua en lugares bajos (10).

3.1.3 PROCESOS DE LA EROSION HIDRICA

La erosión hídrica consta de los siguientes procesos:

3.1.3.1 Desprendimiento: Separación o liberación de partículas o grupos de ellas de la masa principal del suelo, esto se da por la acción del impacto de las gotas de lluvia en la superficie (29).

3.1.3.2 Arrastre o Transporte: Es provocado por el escurrimiento superficial del agua de lluvia, que no logra infiltrarse en el suelo (29).

Los factores que influyen son: el escurrimiento superficial, la pendiente del terreno y la textura. Los volúmenes de escurrimiento superficial dependerá de la cantidad, intensidad y distribución de las lluvias y por la capacidad de infiltración del agua del suelo. a mayor cantidad e intensidad de lluvia habrá mayor escurrimiento.

Revolorio Quevedo (25), indica las relaciones teóricas entre la velocidad del agua y su poder erosivo en la forma siguiente:

A. La velocidad del agua varía con la raíz cuadrada de la distancia vertical que ella recorre y su energía cinética, o sea su capacidad erosiva, de acuerdo con el cuadrado de la velocidad. Es decir, si la pendiente del terreno se aumenta cuatro veces, la velocidad del agua que fluye sobre él se duplica y su capacidad erosiva se cuadruplica.

B. La cantidad de material de determinado tamaño que puede ser arrastrado por el agua varía con la quinta potencia de la velocidad del flujo.

C. El tamaño de las partículas que pueden ser arrastradas por el rodamiento, varía con la sexta potencia de la velocidad del agua.

De manera que si se duplica la velocidad de la escorrentía, la cantidad de material de determinado tamaño que puede ser transportado, se aumenta 32 veces y el tamaño de las partículas que pueden ser transportadas por rodamiento, se aumenta 64 veces.

Según Romo, citado por Motta (23), el proceso de desprendimiento y arrastre de las partículas de suelo, involucra pérdidas de nutrientes, cambio en propiedades físicas del suelo, disminución de la capacidad de infiltración y retención de la humedad, además de azolvamiento de las partes bajas y áreas de almacenamiento de aguas.

3.1.3.3 Deposición: Sánchez Mendía (28), indica que la deposición de partículas de suelo transportados se presenta cuando la capacidad de arrastre del agua ya no es suficiente para continuar dicho transporte y se da el hundimiento del material en suspensión (suelo erosionado), lo cuál ocurre al presentarse cambios de pendiente o algún obstáculo que disminuya la velocidad del agua de escurrimiento.

3.1.4 FACTORES DE LA EROSION Y ESCORRENTIA

Baver *et al.* mencionado por López (20), indica que cuatro aspectos principales afectan el desarrollo de la erosión hídrica, ellos son: El clima (La lluvia), la topografía, la vegetación y el suelo.

A) La Lluvia:

La lluvia es el elemento climático de mayor incidencia en la manifestación y desarrollo de la erosión hídrica.

Tres características importantes de la lluvia: el volumen, la intensidad y la distribución son responsables de la capacidad erosiva de este elemento climático sobre el suelo. La velocidad y el volumen de escorrentía determinan la capacidad de arrastre de sedimentos (29).

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 1.03 ha-cm de agua pesa 99,880 kg y es capaz de ejercer una fuerza erosiva de 414.76 kg-m de energía cinética o 13.6 veces su propio peso (11).

i. La intensidad:

Es el factor pluviográfico de mayor importancia, generalmente la intensidad de la lluvia se expresa en milímetros por hora. Las lluvias con alta intensidad que se presentan generalmente en períodos cortos, desarrollan mayor actividad erosiva en los suelos, comparados con las lluvias de baja intensidad que se presentan en períodos más largos, ya que su acción erosiva disminuye (29).

ii. La duración:

Es el complemento de la intensidad; la asociación de las dos determina la precipitación total (29).

iii. La 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. La infiltración del agua en el suelo tienen 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 (29).

B) La Topografía:

La erosión por el agua no es problema de zonas planas. Solo cuando la topografía de los terrenos se hace quebrada, las pérdidas de suelo comienzan a adquirir importancia. El tamaño y la cantidad de material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión depende de la velocidad con que ésta fluye, la cuál es una resultante de la longitud y el grado de la pendiente del terreno.

i. Grado de la pendiente:

El grado de la pendiente del terreno es usualmente más importante con respecto a la severidad de la erosión, la erosión crece rápidamente con relación al grado de la pendiente del terreno y se observa algunas veces un aumento considerable de las pérdidas de suelo por muy débil que sea el crecimiento de la misma (20).

El ángulo de la pendiente es un factor importante que determina la eficacia de la erosión por fragmentación; a medida que el ángulo de la pendiente aumenta una mayor cantidad de suelo se esparce cuesta abajo (18).

ii. Longitud de la pendiente:

La longitud de la pendiente influye en la velocidad y volumen del agua de escorrentía (16).

Según Millar *et al.* (22), 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.

Sin embargo, Kirkby & Morgan (18) indican que aunque existe cierta evidencia que a mayor longitud de la pendiente aumenta la erosión, a menudo la evidencia es equívoca ya que la mayor parte de los datos se derivan de los estudios en parcelas de campo, con longitud restringida; la mayor parte de la longitud de las parcelas es de menos de 30 metros y raramente de 200 metros, así mismo éstas pendientes no están relacionadas con la forma de la tierra en la cuál están situadas.

C) La Vegetación:

Suárez de Castro (29) dice que 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, defiende el suelo de la acción perjudicial de las lluvias en forma y proporción diferente.

Las escorrentías y erosión procedentes de buenos pastizales o de bosques son pequeñas, a menudo representan menos del 5 y del 1 por ciento, de las pérdidas en un suelo desnudo (18).

Las plantas juegan un papel significativo en el control de la erosión, ya que actúan como interceptoras de las gotas de lluvias, disminuyen el volumen y la velocidad de la escorrentía y su sistema radicular sujeta las partículas del suelo (29).

Sánchez, citado por Chan Santisteban (8) dice que, en una zona de pasto se tiene la menor erosión (83 veces menos) y menor escurrimiento que en un lote sin cubierta vegetal.

Alvarado (1) indica que las plantas reducen el poder erosivo de la lluvia al interceptarla con su follaje y al reducir la velocidad del agua de escorrentía por la trama de las raíces.

Bermúdez (4) señala que varios autores coinciden en que la vegetación protege al suelo contra la erosión de la siguiente manera:

1. Protección directa del impacto de las gotas de lluvia.
2. Efecto sujetador de las raíces.
3. Mejoramiento de la estructura del suelo y de la infiltración, por aumento del contenido de materia orgánica en el suelo.
4. Reducción del volumen y velocidad del agua de escorrentía superficial, disminuyendo el poder erosivo.

D) El Suelo:

Suárez de Castro (29) indica que las condiciones físicas y químicas de los terrenos, al impartirles mayor o menor resistencia a la acción de las aguas, tipifican y singularizan el comportamiento de cada suelo expuesto a condiciones similares de pendiente, lluvia y cubierta vegetal.

Las características de los suelos que influyen para que se presente la erosión son las siguientes:

- Porcentaje de limo mas arenas muy finas
- Porcentaje de arena con partícula mayor de 0.1 mm
- Contenido de materia orgánica
- estructura del suelo
- Permeabilidad

Según Kirkby & Morgan (18) también influye la pedregosidad superficial y el perfil del suelo, en los suelos pedregosos hay menor susceptibilidad a la erosión. El perfil del suelo a menudo determina la severidad de la erosión.

López (20) menciona que la profundidad del suelo y las características del suelo son muy importantes y deben ser consideradas al evaluar la erosionabilidad y la susceptibilidad de los suelos a la erosión.

3.1.5 MEDICION DE LA ESCORRENTIA Y LA EROSION

Según el manual de conservación de suelos del Colegio de Postgraduados de Chapingo (9), los lotes de escurrimiento o parcelas experimentales constituyen la metodología más confiable para determinar las pérdidas de suelo por efecto de la erosión hídrica.

Hudson (15) indica que uno de los mejores usos de las parcelas de escorrentía es para la demostración de hechos conocidos; además, estudios comparativos que puedan demostrar el efecto en la escorrentía y erosión en una simple comparación de la existencia o no de una cubierta del suelo y un tercer uso posible es para obtener datos que se van a emplear para construir o validar un modelo o ecuación destinado a predecir la escorrentía o la pérdida de suelo.

Kirkby & Morgan (18) señalan que en el curso de varias décadas de investigación especializada en el campo de la erosión del suelo y de problemas de conservación en los Estados Unidos, se observó que no hay sustituto satisfactorio para las parcelas de escorrentía, ya que proporcionan datos básicos que pueden obtenerse solamente por la medición real de cantidades de suelo y agua perdidos por la escorrentía y la erosión.

Ortiz citado por Mota (23) indica que las parcelas experimentales están constituidas básicamente de dos partes: el área experimental y los dispositivos receptores del agua y del suelo que provienen del área experimental por efecto del escurrimiento originado por la lluvia.

Kirkby & Morgan (18) dicen que el equipo que se necesita para establecer las parcelas de escorrentía incluye:

- Límites alrededor de la parcela para definir el área,
- Equipo de recolección para captar y concentrar la escorrentía de la parcela,
- Equipo de transporte para llevar la escorrentía a una unidad de muestreo;
- Unidad de muestreo para tomar partes alícuotas de escorrentía y pérdidas de suelo que sean manejables y,
- Tanques de almacenamiento para guardar las porciones alícuotas de escorrentía y de pérdida de suelo para su análisis.

A) Área Experimental:

Es una parcela, cuyas dimensiones están en función del objetivo de la investigación, sin embargo, la regla fundamental, es no darle a esta área experimental una superficie demasiado grande, a fin de recoger un volumen de agua y tierra fácilmente medible.

B) El Sistema Colector:

Sus componentes son:

- i. Canal colector: situado en la parte inferior del área experimental, constituye el límite inferior de ésta. Su función es colectar el agua y suelo arrastrado durante el proceso de escurrimiento y erosión.
- ii. Canal evacuador: conduce el agua y los sedimentos del canal colector hacia el tanque receptor.

iii. Tanques receptores: Depósitos donde se acumulan el agua escurrida y los sedimentos sólidos arrastrados (9).

3.1.6 DESCRIPCION DEL MODELO USLE:

El método de uso más amplio par a la predicción de pérdida de suelo por parte de los conservacionistas en los Estados Unidos, es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (18).

Hudson (15) dice que la USLE se fundamenta en una base de datos de 10,000 años/parcela (o sea de, 500 parcelas /20 años), y que proporciona un cálculo de la media de la pérdida anual de suelo de tierras arables bajo diversas condiciones de cultivo; por lo que en su aplicación, se logra que un sistema agrícola sea sostenible. El modelo es:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

donde:

- A= promedio anual de pérdida de suelo en toneladas por hectárea
- R= factor de erosividad por precipitación pluvial
- K= factor de erodabilidad del suelo
- L= factor de longitud de la pendiente
- S= factor de gradiente de pendiente
- C= factor de manejo y clase de cultivo o cobertura
- P= factor de método de control de erosión

Según Wischmeier, citado por Kirkby & Morgan (18) la USLE puede utilizarse adecuadamente para:

- a. Predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas para uso de la tierra.
- b. Servir como guía en la selección de sistemas de cultivo y manejo, y de prácticas de conservación para suelos y pendientes específicos.
- c. Predecir el cambio en la pérdida de suelo que resultaría de un cambio de las prácticas de conservación sobre un campo específico.
- d. Determinar cómo pueden aplicarse o alterarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intensivo.
- e. Estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso de suelo distinto del agrícola y,
- f. Obtener estimaciones de pérdida de suelo para que los conservacionistas determinen las necesidades de conservación.

3.1.6.1 FACTOR DE EROSIVIDAD POR LA PRECIPITACION PLUVIAL

El factor de erosividad por precipitación pluvial en la USLE, es el índice de erosión de la precipitación pluvial, el factor R es una definición de la erosividad como resultado de la precipitación pluvial, y se define como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética y la intensidad máxima durante 30 minutos (18).

Las lluvias menores de 12.5 mm y separadas de otros eventos de precipitación por más de 6 horas pueden omitirse para el cálculo de índice de erosividad, al menos de que caiga tanto como 6 mm de lluvia en 15 minutos.

Cuando los factores de la ecuación se mantienen constantes, las pérdidas de suelo en los campos de cultivo son directamente proporcionales al parámetro de la tormenta (aguacero) identificado como EI. La suma de los valores de EI para diferentes tormentas en el período dado, representa una medida numérica del potencial erosivo de las lluvias para tal período.

Las gotas aumentan la erosión con la intensidad. El término EI es una interacción estadística que refleja cómo la energía total y el pico de intensidad son combinados en cada tormenta particular. La energía de una tormenta está en función de la cantidad de lluvia y de las intensidades que compongan dicha tormenta.

3.1.6.2 FACTOR DE ERODABILIDAD O EROSIONABILIDAD DEL SUELO (FACTOR K)

El factor de erosionabilidad del suelo, factor K, en la USLE es una descripción cuantitativa de la erodabilidad inherente de un suelo determinado. Las propiedades del suelo que afectan la tasa de infiltración, como la permeabilidad, capacidad hídrica total, dispersión, abrasión y fuerzas de transporte también afectan la erodabilidad.

Para un suelo determinado, el factor de erodabilidad del suelo, factor k, es la tasa de erosión por unidad de índice de erosión a partir de una parcela estándar (22.13 m de largo y 9% de pendiente) (18).

3.1.6.3 LONGITUD DE PENDIENTE, FACTOR L, Y GRADIENTE DE PENDIENTE, FACTOR S.

Kirkby & Morgan (18) indican que los efectos de la longitud y el gradiente de la pendiente se representan en la USLE como L y S respectivamente, sin embargo a menudo se evalúan como un factor topográfico único (Factor LS).

La longitud de la pendiente se define como la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra la deposición o hasta el punto en que la escorrentía entra en un canal definido.

El gradiente de la pendiente es el campo o segmento de pendiente, expresado generalmente como un porcentaje.

La ecuación de McCool citado por Mota Franco (24) para el factor LS es:

FACTOR LS= $(10.8 \text{ seno } \mu + 0.03) (X/22.13)^m$ si la pendiente es menor a 9 por ciento.

FACTOR LS= $(16.8 \text{ seno } \mu - 0.50) (X/22.13)^m$ si la pendiente es igual o mayor a 9 por ciento.

donde: X= longitud pendiente en metros.

$$m = B/(1+B)$$

$$B = (\text{seno } \mu / 0.0896) / [3.0(\text{seno } \mu)^{0.8} + 0.56]$$

μ = Angulo de la pendiente en grados.

3.1.6.4 FACTOR DE COBERTURA, FACTOR C.

El factor de manejo de los cultivos y cobertura, representa la relación de pérdida del suelo a partir de una condición específica de cultivo o cobertura con la pérdida de suelo a partir de un estado de labranza y barbecho continuo para un mismo suelo, pendiente y precipitación pluvial en el ciclo del cultivo. Este factor incluye los efectos interrelacionados de la cubierta, la secuencia de cultivos, el nivel de productividad, duración de la estación de crecimiento, prácticas de cultivo, manejo de residuos, y distribución de la precipitación (18).

Este factor mide las combinaciones de los efectos de todas las interrelaciones de las variables cobertura y manejo. Las pérdidas que pueden ocurrir en un campo particular, en el cual no hay cobertura, puede calcularse mediante el producto de los factores RKLS de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), así, las pérdidas en suelo bajo cultivo serán menores que las pérdidas de suelo en áreas desnudas, este factor depende de las combinaciones de cobertura, (estado particular del cultivo, crecimiento, y el desarrollo de la cobertura, en el período de lluvia), y prácticas de manejo del cultivo (3).

Hudson (15) menciona que el principal objetivo del factor C, estriba en reflejar cuánta protección aporta al suelo la cubierta vegetal.

El modelo divide en seis períodos de etapas de cultivo y se definen:

1. Período F= Barbecho burdo de la labranza de inversión del suelo hasta una labranza secundaria.
2. Período DB= Camellones de labranza secundaria hasta un 10 por ciento de cobertura por follaje.
3. Período 1= Establecimiento. 10-50 por ciento de cobertura por follaje.
4. Período 2= Desarrollo. 50-70 por ciento de cobertura por follaje.
5. Período 3= Cultivo de maduración del 75 por ciento de cobertura por follaje hasta la cosecha del cultivo.
6. Período 4= Residuo o rastrojo de la cosecha del cultivo hasta la labranza o nueva siembra (18).

Según Arana López (3), este factor depende de las combinaciones de cobertura (estado particular del cultivo, crecimiento y desarrollo de la cobertura en el período de lluvia), y prácticas de manejo del cultivo.

Apolo Berru (2) dice que el efecto regulador que una cobertura vegetal tiene sobre los procesos hidrológicos empieza con el fenómeno de intercepción, agrega que una cobertura de pastos puede ofrecer una protección contra la erosión tan buena como el bosque, sin embargo, las tasas de escorrentías son mayores, aunque no se igualan con las de campos con cultivos limpios, pastizales bajo pastoreo o suelo sin vegetación.

Además encontró que por efecto de una cubierta vegetal de pasto se tiene una pérdida de sedimentos de 1,900 kilogramos por hectárea por año, la cual considera una cantidad baja.

Mota Franco (23) determinó que en dos pendientes 25 y 40 por ciento, la mejor cobertura para la protección del suelo contra la erosión fue el pasto con valores promedios de 2,040 y 3,220 kg/ha/año respectivamente.

3.1.6.5 FACTOR DEL METODO DE CONTROL DE LA EROSION, FACTOR P

El método de control de la erosión es la proporción de la pérdida de suelo cuando se hace uso de alguna práctica específica en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en laderas de las colinas.

Los métodos de control de la erosión que por lo general se incluyen en este factor son cultivo en hileras en contorno, el cultivo en franjas de contorno, y el terraceo (18).

3.1.7 EXPERIENCIAS EN EL AREA DE ESTUDIO.

En la época lluviosa del año de 1996, se evaluaron los siguientes cultivos: frijol (Phaseolus vulgaris L), brócoli (Brassica oleracea var Itálica) y asocio de maíz (Zea mays) y frijol (Phaseolus vulgaris L) en un terreno con una pendiente de 18 por ciento.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Los mayores valores de escorrentía superficial se reportaron para el tratamiento de brócoli con 489.91 m³/ha, seguido del frijol con 279.52 m³/ha y el asocio maíz y frijol con 193.76 m³/ha el testigo sin cultivo fué el comparador con 710.87 m³/ha.

Los valores de suelo erosionado fueron mayores para la cobertura de brócoli con 22.75 ton/ha/año, seguido de la cobertura de frijol con 2.90 ton/ha/año, luego el asocio maíz y frijol con 1.30 ton/ha/año. El testigo sin cultivo presentó 33.3 ton/ha/año.

Con respecto a los valores de porcentaje de cobertura, el asocio maíz y frijol obtuvo 68 por ciento, el frijol un 48 por ciento y el brócoli un 44 por ciento. En cuanto a los valores del factor C, el valor más alto lo obtuvo el brócoli con 0.68, frijol con 0.09 y el asocio maíz y frijol obtuvo 0.04, éstos resultados indican que el asocio maíz y frijol fué el que mayor protección brindó, al suelo.

El factor de erosividad, factor R, calculado para el área de estudio para la época lluviosa de 1996 fué de 2,216 Mj.mm/ha.hr.año; y el factor de erodabilidad del suelo, factor K, para las condiciones del terreno de 18 por ciento de pendiente fué de 0.16 (19).

En el año de 1997 se realizó una segunda evaluación, en el mismo terreno con 18 por ciento de pendiente, donde se evaluaron también las coberturas de frijol (Phaseolus vulgaris L), brócoli (Brassica oleracea var Itálica) y la del asocio maíz (Zea mays) y frijol (Phaseolus vulgaris) en la época lluviosa del año de 1997.

Los resultados obtenidos son:

Los valores de escorrentía superficial fueron para la cobertura de brócoli de 727.40 m³/ha, para el frijol de 353.19 m³/ha, para el asocio maíz y frijol de 336.01 m³/ha y para el testigo de 1,384.63 m³/ha. Estos resultados obtuvieron diferencias significativas al 5 por ciento, por lo que le proporcionan diferente grado de protección al suelo, produciendo así diferentes cantidades de escorrentía.

Los valores de suelo erosionado obtenidos fueron para el frijol de 6.21 ton/ha/año, para el brócoli de 10.22 ton/ha/año para el asocio maíz y frijol 4.52 ton/ha/año y para el testigo (sin cultivo) fué de 32.39 ton/ha/año. Estadísticamente, al 5 por ciento los tratamientos de asocio maíz y frijol, y frijol son iguales en la protección al suelo, no así, el tratamiento de brócoli.

Los valores de porcentaje de cobertura de los cultivos fueron para el frijol 95 por ciento, para el brócoli 75 por ciento y para el asocio fué de 95 por ciento. Estos resultados indican que el asocio brinda una mayor protección al suelo. Las diferencias pueden explicarse por el período de crecimiento de cada cultivo, ya que el maíz tiene un ciclo de 7 meses mientras que el frijol y el brócoli 65 y 90 días respectivamente.

Los valores de factor C, fueron para el brócoli de 0.31, para el frijol 0.19 y para el asocio maíz y frijol 0.14, lo cual denota una menor protección al suelo por parte del brócoli, ya que su valor es mayor.

El valor del factor de erosividad, factor R, para la época lluviosa del año de 1997 fué de 2,892.98 Mj.mm/ha.hr.año, considerado un valor alto de erosividad (27).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 UBICACIÓN

La cuenca del Río Itzapa se encuentra ubicada en el extremo noroeste de la cuenca del río Achiguate, (Figura 1) la cuál se localiza en el municipio de San Andrés Itzapa, en el departamento de Chimaltenango.

Geográficamente se encuentra entre los paralelos de 14°34'37" y 14°38'56" de Latitud Norte y los meridianos de 90°49'21" y 90°54'14.7" de Longitud Oeste. Cuenta con una superficie de 26.11 Kilómetros cuadrados equivalentes a 2,611 hectáreas (23), Figura 2.

3.2.2 CLIMA

El clima de acuerdo al sistema Thornthwite, la cuenca posee un clima clasificado en B2'b'Bi, cuya codificación indica que es: templado con invierno benigno y húmedo, con invierno seco (19).

La precipitación media anual en la cuenca es de 1,202.85 mm, los cuáles se distribuyen durante los meses de mayo a octubre. La temperatura media anual es de 23 °C; la humedad relativa es de 70% a 75% la velocidad media del viento es de 3 km/hr con dirección Oeste.

3.2.3 ZONA DE VIDA

De acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge de zonas de vida, en la cuenca se encuentran las zonas de vida denominadas: Bosque Húmedo Montano Bajo subtropical que abarca principalmente la parte media, baja y alta de la cuenca; las especies indicadoras que se pueden encontrar en la cuenca son: Pinus montezumae, Quercus spp.; y el Bosque muy Húmedo Montano Bajo Subtropical que cubre la parte alta de la cuenca y se pueden encontrar las siguientes especies indicadoras: Alnus arguta, Chirantodendrum pentadactylum, Urtica sp y Oreopanax zalapensis (23).

3.2.4 CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA

Según Veliz (32), empleando la metodología de USDA, las clases de capacidad de uso de la tierra en la cuenca del Río Itzapa que se presentan van de la II a la VIII, en donde la clase VIIe ocupa un 45.48% del área y el uso agrícola en la cuenca puede ser permitido en un 42.42% y presenta limitantes de índole climático y de erosión, así como de desarrollo radicular en el 29.78% de estas áreas.

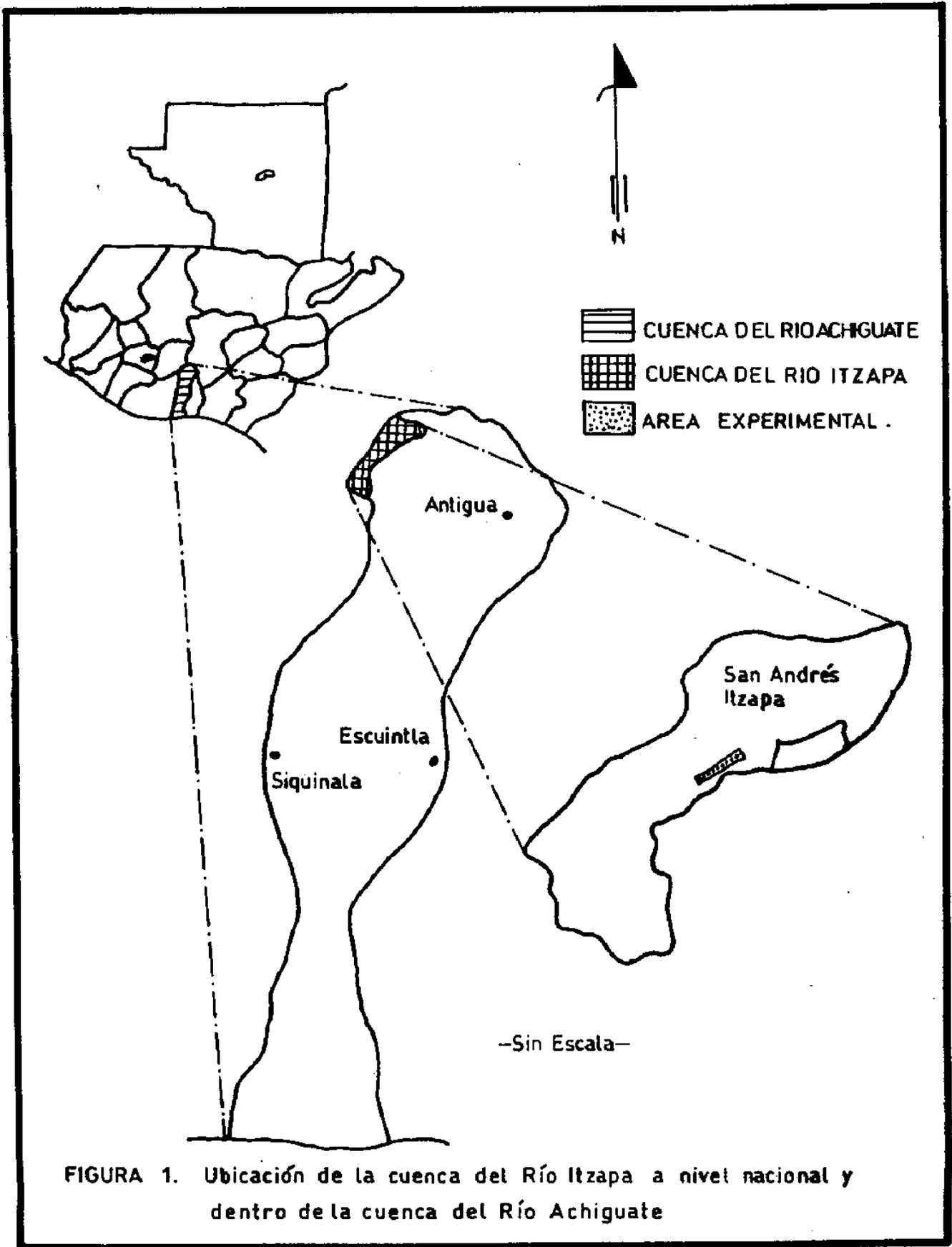
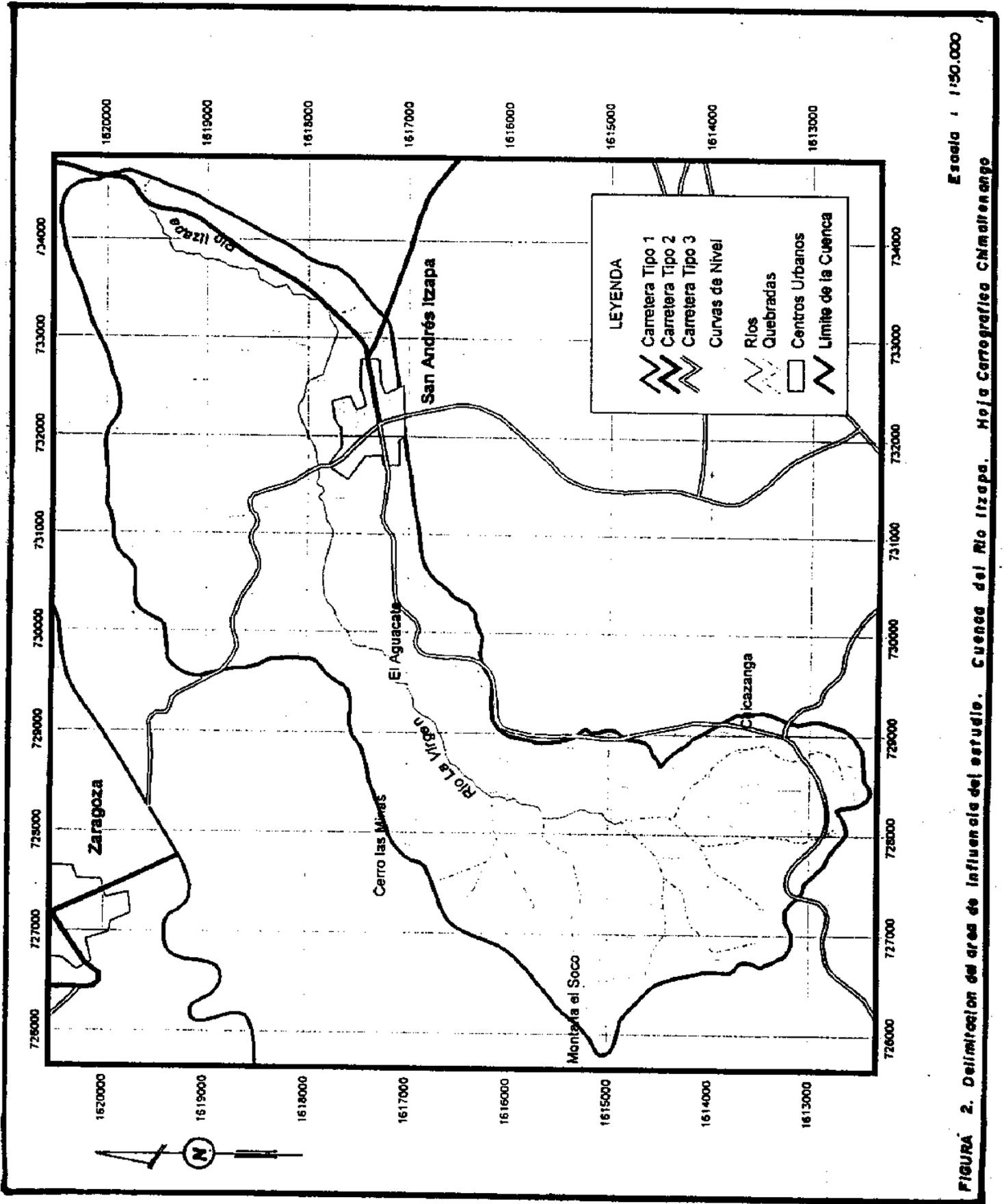


FIGURA 1. Ubicación de la cuenca del Río Itzapa a nivel nacional y dentro de la cuenca del Río Achiguate



3.2.5 SUELOS

3.2.5.1 Génesis de Suelos:

De acuerdo con Veliz y Tobías (33), en la cuenca se identifican tres clases genéticas de los suelos, que son:

- A) Suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas, con minerales de naturaleza ferromagnésiana, de grano grueso; se encuentran en las mayores altitudes de la cuenca y corresponde al área de menores temperaturas.
- B) Suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas riolíticas y en parte sobre toba riolítica.
- C) Suelos desarrollados sobre materiales fluviovolcánicos transportados (cenizas volcánicas), se encuentran en la parte baja de la cuenca.

3.2.5.2 Clasificación Taxonómica de Suelos:

La mayor parte de los suelos de la cuenca del Río Itzapa pertenecen al orden Andisol, los cuales representan un 67.54% del área, más un 10.29% del área en donde se encuentra el Andisol en asociación con suelos del orden Inceptisol (33).

Ordenes de suelos como los Alfisoles se encuentran en un 4.99% del área, en tanto que el 12.91% está conformada por Entisoles (Figura 3).

3.2.6 HIDROLOGIA

La cuenca del río Itzapa drena sus aguas por el Río la Virgen, nombre que toma el cauce principal antes de pasar por la población de San Andrés Itzapa, parte baja de la cuenca, esta a su vez drena las aguas hacia el Río Achiguate y Guacalate que desemboca en la vertiente del Pacífico (19).

De acuerdo con Santos Mansilla (29), la curva de duración de caudales para el período de 1983-1995, estación "El Puente", muestra que el caudal característico medio es de $0.035 \text{ m}^3/\text{seg}$, el caudal característico de estiaje es de $0.018 \text{ m}^3/\text{seg}$, y el caudal característico máximo es de $0.4 \text{ m}^3/\text{seg}$.

3.2.7 CARACTERISTICAS DE LA POBLACION

3.2.7.1 Población:

Según Zúñiga Aragón (34) en la parte media de la cuenca, para el año de 1995 existían 7,425 habitantes, e indica que un 83.91% de esta población son del grupo étnico Maya-Cakchiquel, los cuáles son bilingüe, es decir que tienen dominio de su lengua nativa y el castellano. La principal actividad económica es la agricultura y los principales cultivos que se siembran son hortalizas y granos básicos.

3.2.7.2 Accesibilidad:

La cuenca del Río Itzapa, abarca parcialmente la cabecera municipal de San Andrés Itzapa, la cuál dista a 60 km de la ciudad capital, los cuáles se recorren por la carretera asfaltada CA-1 para ubicarse exactamente, se puede dirigir siguiendo la ruta nacional Chimaltenango No.7 que conduce hasta el poblado de San Andrés Itzapa, la cuál se encuentra a 5 km de Chimaltenango, ésta es de terracería; también se puede seguir la ruta a través de la carretera de terracería que se inicia en el parque nacional " Los Aposentos", la cuál tiene un recorrido de 3 km hasta la cabecera municipal de San Andrés Itzapa.

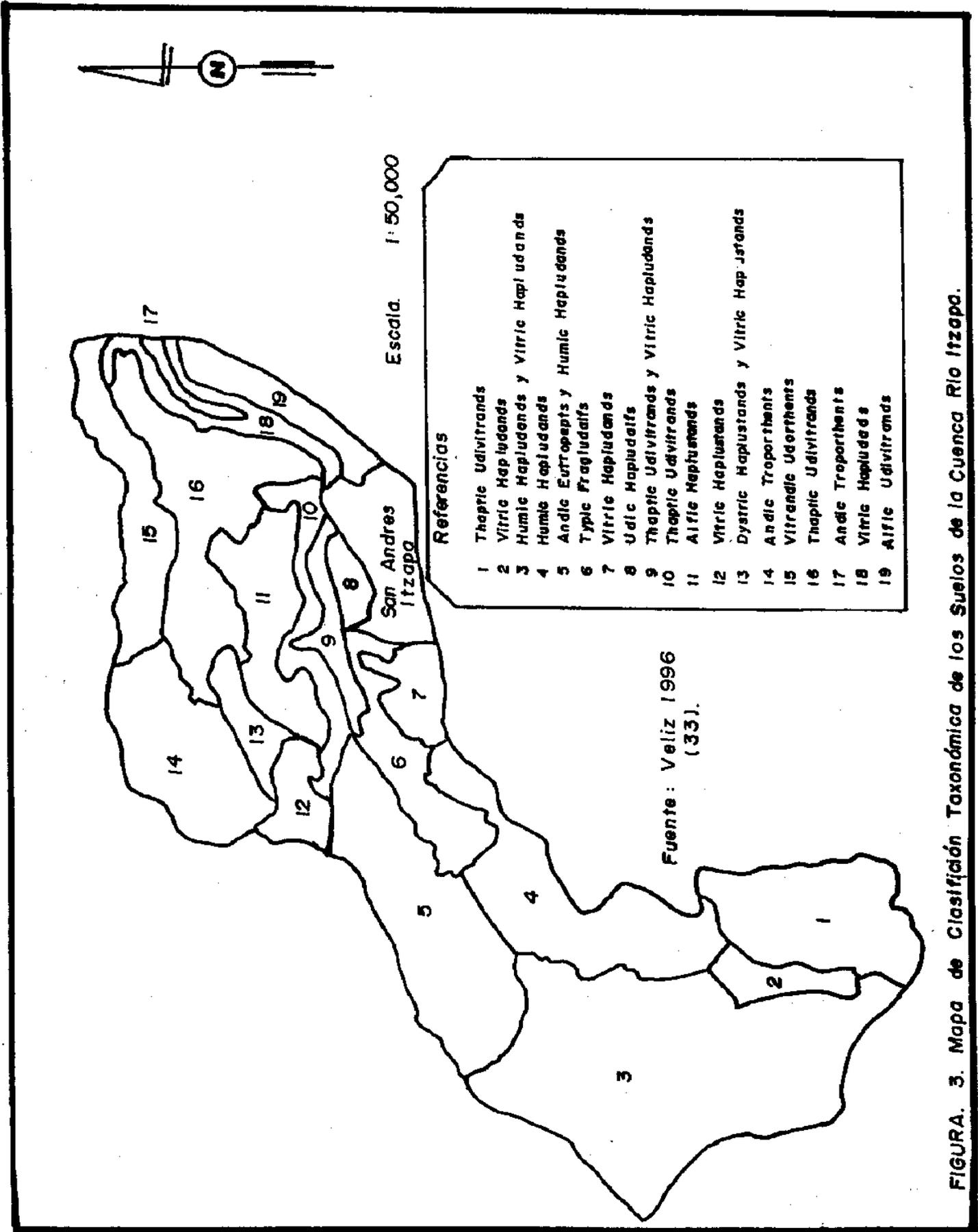


FIGURA. 3. Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la Cuenca Rio Itzapa.

3.2.8 UBICACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.

La investigación se realizó en la parte media de la cuenca del Río Itzapa, en San Andrés Itzapa, Chimaltenango, la cuál se ubica a $14^{\circ}37'40''$ de Latitud Norte y $90^{\circ}51'22''$ de Longitud Oeste, a una altitud de 1,850 msnm.

Se determinó la selección de ésta área por ser representativa del uso de la tierra en la parte media de la cuenca y por considerarse una área crítica de erosión de la misma (19).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de tres coberturas vegetales (Cultivos: Asocio maíz-frijol, frijol y brócoli) sobre la erosión hídrica en la parte media de la cuenca del Río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 4.2.1** Cuantificar el escurrimiento superficial y el suelo erosionado bajo tres diferentes coberturas vegetales (Cultivos: Asocio maíz-frijol, frijol y brócoli) en la época lluviosa del año de 1998, con parcelas de escurrimiento.
- 4.2.2** Determinar las características físicas de los sedimentos arrastrados por la acción de la precipitación pluvial durante la época lluviosa del año de 1998.
- 4.2.3** Determinar el valor promedio del factor de erosividad de la lluvia, y el factor de cobertura, en la parte media de la cuenca del Río Itzapa.
- 4.2.4** Analizar e integrar los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas en los años 1996-1998, en la parte media de la cuenca del Río Itzapa.

5. HIPOTESIS

1. Los volúmenes de escorrenría superficial y cantidad de suelo erosionado, provocados por la precipitación pluvial, son iguales en las coberturas vegetales a evaluar (asocio maiz y frijol, brócoli, frijol), en la época lluviosa del año de 1998, en la parte media de la cuenca del Río Itzapa.
2. Los volúmenes de escorrenría superficial y cantidad de suelo erosionado son iguales en los tres años de evaluación de tres coberturas vegetales (asocio maiz-frijol, brócoli, frijol), en la parte media de la cuenca del Río Itzapa.
3. La cantidad de suelo erosionado medido directamente en las parcelas de escorrenría es igual a la estimada con el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

6. METODOLOGIA

6.1 SELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos fueron seleccionados de acuerdo al uso de la tierra que los agricultores hacen en el área. El experimento se realizó sobre un terreno con una pendiente de 18 por ciento, la cual es representativa de los terrenos de la parte media de la cuenca. Los tratamientos que se evaluarán son los siguientes:

Cobertura de asocio maíz, (Zea mays L.) y frijol, (Phaseolus vulgaris L.).

Cobertura de frijol, (Phaseolus vulgaris L.)

Cobertura de hortaliza brócoli, (Brassica oleracea var. Italica)

Testigo (sin cobertura).

6.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó el diseño en Bloques al Azar, para separar la variabilidad debido a la pendiente del 18 por ciento que existe en el área del experimento, a través de la formación de unidades compactas, con el fin de disminuir la diferencia en humedad y fertilidad del suelo, por el gradiente; y que por lo tanto, no interfiriera en los resultados de cada tratamiento.

El experimento se realizó con cuatro repeticiones para cada uno de los tratamientos, lo cual generó un número de 16 unidades experimentales, cada uno con 50 metros cuadrados por cada unidad experimental.

6.3 ARREGLO Y MONTAJE DEL EXPERIMENTO

Por tratarse de la tercera evaluación de la cobertura de tres cultivos en esta área, el experimento se estableció para los años 1996 y 1997 por lo que, para la presente investigación fue necesario rehabilitar las parcelas de escurrimiento. A continuación se describe el procedimiento que se siguió para el establecimiento del experimento.

6.3.1 Confinamiento de las Parcelas

Para evitar la penetración de escorrentía superficial de áreas aledañas, se circularon los lotes utilizando tablas de madera de segunda (lepa) de 0.25 m de ancho, las cuáles se introdujeron en el suelo hasta una profundidad de 0.15 m, fijándolas al terreno con estacas de madera. Los lotes de escurrimiento tenían un área de 50 m cuadrados, 10 metros de largo sobre la pendiente y 5 m de ancho (Figura 4).

6.2.3 Sistema Colector de Agua y Sedimentos: sistema:

El sistema colector de agua y sedimentos consistió en:

- a) Canales colectores: Estos consistieron en canales de forma trapezoidal con 1 por ciento de pendiente hacia el canal de evacuación con 0.10 m de profundidad y 0.20 m de ancho, recubiertas con cemento para evitar que el agua escurrida del lote se filtrara en el suelo.

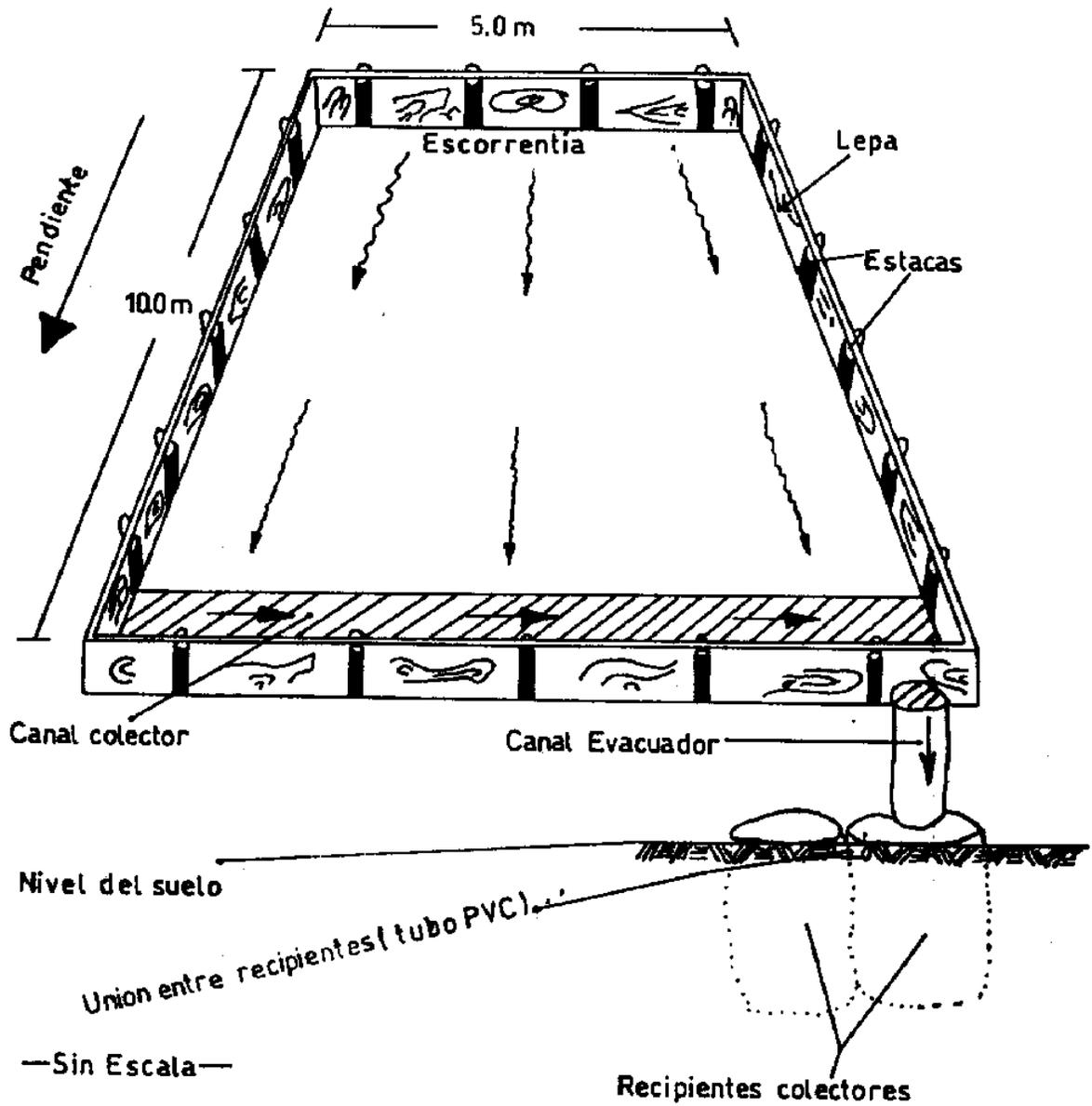


FIGURA 4 Esquema de una parcela de Escorrentía establecida en el Ensayo

b) **Canales de evacuación:** Para conducir el agua y sedimentos de los canales colectores hacia los recipientes, se utilizaron canales semicirculares hechos de cemento con un largo de 0.30 metros y con 1 por ciento de pendiente hacia los recipientes colectores.

c) **Recipientes colectores:** Como recipientes colectores se utilizaron toneles plásticos de 200 litros de capacidad, teniendo dos toneles por parcela, los cuales se conectaron en su parte superior por un tubo de PVC. Los toneles estuvieron colocados a 0.10 m, más abajo que el nivel del canal de evacuación.

6.3.3 Fuente de Datos Meteorológicos:

Cerca del experimento (500 m), se instaló la estación meteorológica de Xipacay, con el siguiente equipo: pluviógrafo de banda semanal, pluviómetro.

6.3.4 Establecimiento y Manejo de los Cultivos:

6.3.4.1 MAIZ Y FRIJOL (en asocio)

En maíz se tuvo un ciclo y se sembró el 3 de junio y se cosechó 30 de noviembre, en cuanto a el frijol se tuvieron dos ciclos, la primera siembra se realizó el 3 de junio y se cosechó 1 de septiembre y la segunda siembra se hizo 3 de septiembre y se cosechó el 30 de noviembre.

a. **Semillas:** Se utilizó semillas de procedencia local, por ser las usadas por los agricultores del área.

b. **Siembra:** Se colocaron 4 ó 5 semillas de maíz, dejando una distancia entre postura de 0.90 m y entre surcos de 1.25 m, mientras que para el frijol se colocaron 2 semillas por postura a una distancia de 10 cms.

c. **Fertilización:** Se realizaron dos aplicaciones de fertilizantes, en los cuáles se aplicaron de 65 lbs de la fórmula química 20-20-0 por cuerda de 40 varas x 40 varas, (258.75 kg/ha), a los 30 días después de la siembra y 46 lbs de urea por cuerda de 40 varas x 40 varas, (184.24 kg/ha), a los 4 meses al empezar la floración para el maíz y para el frijol se realizó una aplicación de 39 lbs de la fórmula química 20-20-0 por cuerda (156 kg/ha) más 26 lbs de Urea por cuerda (102.61 kg/ha), esto a los 30 días después de la siembra, en cada uno de los dos ciclos que se tuvieron.

d. **Control de malezas:** Se efectuaron dos limpieas con azadón, la primera a los 30 días después de la siembra y la segunda a los 4 meses, cuando se caiso la milpa (al momento de la fertilización); mientras que para el frijol se realizó una limpia a los 30 días después de la siembra.

e. **Control fitosanitario:** No se noto la presencia de plagas y enfermedades que provocaran daño al cultivo establecido en las parcelas.

6.3.4.2 FRIJOL

Se tuvieron dos ciclos, la primera siembra se realizó el 3 de junio y la cosecha el 1 de septiembre, la segunda siembra se efectuó el 3 de septiembre y se cosechó 30 de noviembre.

- a. Semilla: Se utilizó semilla de un cultivar local.
- b. Siembra: se colocaron 2 semillas por postura a una distancia de 10 cms, sembrando tres hileras por cada surco.
- c. Fertilización: se realizó una aplicación de fertilizante fórmula química 20-20-0 a razón de 39 lbs por cuerda de 40 varas x 40 varas, (156 kg/ha) más 26 lbs de urea por cuerda (102.61 kg/ha), a los 30 días después de la siembra.
- d. Control de malezas: se realizó una limpia manual de malezas a los 30 días después de la siembra y al momento de la fertilización.
- e. Control fitosanitario: Durante el ciclo se presentó el ataque de la plaga Tortuguilla del frijol (Diabrotica spp) y se controló con aspersiones de Metomil.

6.3.4.3 BROCOLI

Se tuvieron dos ciclos, el primer transplante se hizo el 3 de junio y se cosechó el 18 de agosto, el segundo transplante, se efectuó el 20 de agosto y se cosechó el 6 de noviembre.

- a. Semillero: Se elaboró un semillero con la variedad Legacy, la cuál es muy utilizada por los agricultores de la región.
- b. Transplante: Se realizó a los 35 días después de germinadas las semillas. Con un distanciamiento de 0.84 m (1vara) al cuadro (entre surcos y plantas).
- c. Fertilización: Se realizaron dos aplicaciones de fertilizante, la primera al momento de la siembra a razón de 130 lbs de la fórmula química 20-20-0 por cuerda de 40 varas por 40 varas (520 kg/ha) y la segunda al comenzar la floración a razón de 85 lbs Urea por cuerda (339.13 kg/ha). La fertilización se hizo en forma localizada, similar a la que hacen los agricultores del área.
- d. Control de malezas: Únicamente se realizó una limpia a un mes después del transplante, utilizando azadón.
- e. Control fitosanitario: Se presentó la plaga de Leptophobia aripa y para su control se utilizó aspersiones del insecticida biológico Bacillus thuringiensis.

6.3.4.4 TESTIGO

La parcela testigo se mantuvo sin cobertura vegetal, en donde se realizaron limpiezas mecánicas de malezas en forma periódica cada 15 días, para evitar algún tipo de protección al suelo en contra de la escorrentía y la erosión.

6.4 VARIABLES RESPUESTA

- a. Cantidad de escurrimiento superficial en metros cúbicos por hectárea y porcentaje de escorrentía.
- b. Cantidad de suelo erosionado en toneladas métricas/ha y lamina de suelo en centímetros.
- c. Distribución granulométrica de los sedimentos
- e. Porcentaje de cobertura de los cultivos.

6.4.1 Variables Auxiliares:

- a) Cantidad, Frecuencia de la Precipitación en el área de estudio.
- b) Índice de erosividad de la lluvia.

6.5 MEDICION DE VARIABLES

6.5.1 Escurrimiento Superficial:

El escurrimiento superficial se midió después de cada evento de lluvia erosivo. La medición se efectuó con una regla graduada (calibrada en litros), para cada tipo de recipiente, posteriormente se hicieron cálculos para el equivalente en metros cúbicos por hectárea.

6.5.2 Cantidad de Suelo Erosionado:

El material arrastrado por la escorrentía, se cuantificó tomando en cuenta los sólidos en suspensión y sedimentos depositados en el fondo de los recipientes colectores.

a) Sólidos en Suspensión:

Se tomó una muestra de un litro de agua para cada parcela después de un evento de lluvia, que arrastró sedimentos. Para determinar la cantidad de sólidos, la muestra de agua se filtró en el laboratorio, de cada muestra se colocó el papel filtro con los sólidos en el horno de convección a 105° C por 24 horas, para posteriormente determinar su peso en base seca.

b) Sedimentos:

Después de evacuar el agua de los recipientes se sacaron los sedimentos depositados en el fondo de éstos y los sedimentos colectados en el fondo de los canales; se pesaron en húmedo y se tomó una muestra para determinar el peso en base seca por el método gravimétrico, secando las muestras en horno a 105° C por 24 horas. El total de sedimentos más el total de sólidos en suspensión, fue el total de suelo erosionado, el cuál se midió en kg/ha, luego se

sumaron todos los pesos de las diferentes muestras durante la época lluviosa, para obtener los resultados en ton/ha/año.

6.5.3 Cálculo de la Lámina de Suelo erosionado:

Para determinar la Lámina de suelo erosionado, se tomó la cantidad de suelo erosionado de cada uno de los tratamientos evaluados, y se relacionó con la densidad aparente de 1.07 gr/cc, que tiene el suelo del área experimental.

6.5.4 Determinación de la textura de los sedimentos:

Del suelo que se colectó y se sedimentó, en los recipientes colectores se tomó una muestra para hacer un análisis de granulometría a través del método de Bouyucos.

6.5.5 Medición del porcentaje de cobertura de los cultivos:

Cada quince días a partir del establecimiento de los cultivos en las parcelas de escorrentía, se midió el porcentaje de cobertura del follaje de los cultivos. Para el cultivo en asocio maíz-frijol, y frijol se midió la proyección del área foliar del cultivo sobre el surco, tomando en cuenta la distancia entre surcos. Para el cultivo de brócoli, se midió el diámetro promedio del área foliar de las plantas y se contó el número de plantas por parcela luego se relacionó con el área total de la parcela.

6.5.6 Medición de la Precipitación:

Del pluviógrafo de banda semanal, instalado cerca del ensayo, se obtuvo la cantidad de lluvia, frecuencia e intensidad de cada evento. Para definir un evento se siguió el criterio de Wischmeir y Mannerling, considerándose como un evento independiente a toda lluvia separada de otra por un período de 6 horas sin precipitaciones mayores de 13 mm (19).

6.5.7 Cálculo del Índice de erosividad de la lluvia.

Se estimó por interpolación gráfica, usando el mapa de Isoerosividad para la república de Guatemala, generado por el "Estudio preliminar de la erosividad de las lluvias en la república de Guatemala" Tesis Ing. Agr., de Bravo de León (5).

6.6 ANALISIS DE LA INFORMACION

6.6.1 Análisis de Varianza

Los datos de cantidad de suelo erosionado y de escorrentía superficial fueron sometidos a un análisis de varianza, con el modelo "Bloques al Azar", se compararon y se encontró diferencias significativas estadísticamente al entre tratamientos al 5 por ciento, por lo que fue necesario realizar una prueba de comparación de medias, usando la prueba de Tukey.

El modelo estadístico que se utilizó para el análisis de varianza fué:

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde :

Y_{ij} : Variable respuesta de la ij-ésima parcela de escorrentía.

U : Efecto de la media general.

T_i : Efecto de la i.-ésima cobertura vegetal.

B_j : Efecto del j.-ésimo bloque.

E_{ij} : Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima parcela de escorrentía.

i : 1,2,3..... T

j : 1,2,3..... r

6.6.2 Porcentaje de Escorrentía:

Se calculó el porcentaje de escorrentía para cada tipo de cobertura evaluada, por medio de una relación de proporción en donde se consideró como 100 por ciento el volumen total de lluvia registrada durante el año 1,998 y se relacionó con el volumen medio de escorrentía de cada uno de los tratamientos evaluados.

$$\text{Porcentaje de escorrentía} = (\text{volumen de escorrentía} / \text{volumen de lluvia}) 100$$

6.6.3 Factor de Cobertura y Manejo del Cultivo:

El factor de cobertura y manejo del cultivo (factor C), se calculó de acuerdo a la relación entre:

$$C = \text{suelo erosionado con cobertura} / \text{suelo erosionado sin cobertura}$$

6.6.4 Análisis de correlación lineal múltiple

Para el análisis de correlación se utilizaron los valores de cantidad de lluvia de 28 eventos registrados y que causaron erosión en la época lluviosa de 1998, con los datos de escorrentía superficial, suelo erosionado, porcentaje de cobertura vegetal de los cultivos evaluados y cantidad de lluvia se determinó el coeficiente de correlación lineal múltiple.

6.6.5 Integración de los Resultados obtenidos de la Fase I, Fase II, y Fase III.

Para la integración de los resultados obtenidos en ésta evaluación con las evaluaciones de las fase I y II, se efectuó un análisis de varianza combinado, debido a que en las tres fases de evaluación realizadas, se utilizaron experimentos similares en su diseño y manejo en la misma localidad, siendo las únicas diferencias en la asignación aleatoria de tratamientos y el año (tiempo) en que fue ejecutado. El análisis se hizo como una serie de experimentos en el tiempo, para las variables suelo y escorrentía, en donde las fuentes de variación son los tratamientos, bloques, interacción bloque-tratamiento, los años de observación, interacción año-bloque, interacción año-tratamiento, se realizó la prueba de significancia y se determinó diferencias significativas entre las fuentes de variación por lo que fué necesario realizar una prueba de comparación de medias, usando la prueba de Tukey.

El modelo estadístico utilizado para el Análisis de varianza combinado fué:

$$X_{ijk} = U + A_i + B_j + AB_{ij} + T_k + AT_{i.k} + BT_{.jk} + E_{ijk}$$

Donde:

- X_{ijk} :** Variable respuesta de la i.-j-ésima parcela en el k-ésimo año.
 U : Efecto de la media general.
 A_i : Efecto de la i.-ésima cobertura vegetal.
 B_j : Efecto del j-ésimo bloque.
 AB_{ij} : Efecto de i.-ésima cobertura vegetal asociado al j-ésimo bloque.
 T_k : Efecto del t-ésimo año de observación.
 $AT_{i.k}$: Efecto de la i.-ésima cobertura vegetal asociado al t-año de observación.
 $BT_{.jk}$: Efecto del t-ésimo año de observación asociado al j-ésimo bloque.
 E_{ijk} : Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima parcela de escorrentía y al k-ésimo Año de observación.
 i : 1,2,3.....T
 j : 1,2,3.....r
 k : 1,2,3.....año

Se tomó en cuenta los valores de suelo erosionado obtenidos de los años 1996, 1997 y 1998; se calculó el factor de manejo y cobertura de cada cultivo (factor C), para lo cual se sumaron dichos valores para cada cultivo y se dividieron dentro de la sumatoria de los valores de suelo erosionado obtenidos de las parcelas sin cobertura vegetal.

El factor de Erosividad de la lluvia, o factor R, se obtuvo del promedio de los factores R determinados para los años 1996, 1997, y 1998. Este factor R promedio se usó para los cálculos de suelo erosionado a través del modelo de predicción de pérdida de suelo, USLE, y se comparó con los valores promedios de cantidad de suelo erosionado, obtenidos de las parcelas de escorrentía (método directo), de los tres años de observación.

7. RESULTADOS

7.1 PRECIPITACION PLUVIAL

7.1.1 PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL

En el cuadro 1, se presentan los valores de la precipitación mensual para el período de estudio y los valores promedios de 12 años de observación de la estación "La Alameda", así como los de los años de 1,996 a 1,998 tomados en la estación "Xipacay", ubicada cerca del sitio experimental.

Cuadro 1. Precipitación pluvial mensual de 12 años de registro en la estación la "La Alameda" y los valores registrados en la estación "Xipacay" para los años 1996, 1997 y 1998.

MES	PROMEDIO DE 12 AÑOS (mm)*	AÑO 1996 (mm)*	AÑO 1997 (mm)**	AÑO 1998 (mm)**
Enero	1.73	1	0	0
Febrero	1.52	0	0	0
Marzo	15.89	8	3	2
Abril	31.03	91.9	27.9	0
Mayo	130.43	143.9	52.74	116
Junio	198.21	211.2	81.64	204.1
Julio	132.4	286	74.2	190.8
Agosto	159.75	115.9	118.8	198.8
Septiembre	193.57	232.6	272.5	83.6
Octubre	107.89	74	48	290.1
Noviembre	15.28	23.9	26.1	146.3
Diciembre	11.53	24	8.2	0
Total	999.23	1,223.4	715.08	1,231.7

*Fuente: INSIVUMEH

Estación "La Alameda" (Primer Orden)

** Fuente: IIA. DIGI-USAC.

Estación "Xipacay"

En este cuadro se observa que los valores de precipitación registrados en el área de estudio para el año de 1998 son altos en los meses de junio, agosto y octubre éste último, con el mayor valor debido a las características atmosféricas muy particulares provocadas por el efecto del fenómeno del Huracán "Mitch" que se presentó a finales de éste mes y al inicio del mes de noviembre. Es por eso que este mes es mas lluvioso para el año 1998 que para los años 1996 y 1997 así como para el promedio de 12 años. Además, se observa que la cantidad de precipitación anual es mayor para el año 1998, comparándolo con los valores anuales de los años evaluados y con la media de 12 años de registro. Lo anterior indica que este año fue muy húmedo. El menor valor fué para el año 1997, y éste no supera la media de 12 años de registro que se tiene en la estación "La Alameda". Cabe agregar, que los meses más lluviosos difieren en los tres años evaluados siendo estos meses julio, septiembre y octubre, para 1996, 1997 y 1998 respectivamente.

7.1.2 FRECUENCIA DE LA PRECIPITACION

La mayor precipitación fué de 81.6 mm ocurrida el 1 de noviembre, producto en gran manera de las condiciones atmosféricas del fenómeno del Huracán "Mitch", y la menor precipitación que se registró, fué de 0.5 mm el 26 de noviembre de 1998 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cantidad de lluvia y frecuencia de lluvias ocurridas en San Andrés Itzapa, Chimaltenango en el año de 1,998.

CLASE m.m	FRECUENCIA	PORCENTAJE	PRECIPITACION m.m	PORCENTAJE
0.5	53	43.44	82.90	6.73
5-10	29	23.77	204.20	16.59
10-15	12	9.84	150.80	12.24
15-20	10	8.20	173.80	14.11
>20	18	14.75	620.00	50.33
TOTAL	122	100.00	1,231.70	100.00

En el cuadro 2 se observa que en 18 eventos, que representan el 14.75 por ciento del total de lluvias que se produjeron en la época lluviosa del año de 1998, llovió 620 mm, que a su vez representan el 50.33 por ciento de la precipitación total anual, mientras que, 53 eventos que corresponden al 43.44 por ciento del total de eventos, llovió únicamente 82.9 mm, que son el 6.73 por ciento del total de la precipitación anual, lo que indica que una gran cantidad de lluvia se concentró en pocos eventos. Del total de eventos registrados 28 fueron mayores de 10 mm, siendo éstos lo que produjeron escurrimiento superficial y sedimentos.

7.2 ESCORRENTIA

7.2.1 CANTIDAD DE ESCORRENTIA

El cuadro 3 presenta los volúmenes medios por tratamientos y repetición de escorrentia superficial expresado en metros cúbicos por hectárea, los cuales se obtuvieron en el sitio experimental.

Cuadro 3. Escorrentia superficial (m^3/ha), observada en los tratamientos para el sitio experimental en el año de 1,998.

TRATAMIENTO	REPETICIONES				MEDIA
	I	II	III	IV	
MAIZ-FRIJOL	344.42	496.25	504.91	447.48	448.27
FRIJOL	451.98	561.55	619.93	555.40	547.22
BROCOLI	730.33	825.70	871.48	896.24	830.94
SIN CULTIVO	1,532.34	1,758.97	1,792.36	1,830.16	1,728.46

En este cuadro se observa que los mayores valores en volumen de escorrentia superficial para los cultivos evaluados corresponden al cultivo de brócoli. Esto se debe a que el manejo agrícola tradicional del lugar que se le da el mismo, en el inicio de cada ciclo del cultivo, el suelo queda sin protección alguna y es hasta el apareamiento de los floretes cuando se realizan la construcción de surcos en contorno. El cultivo del asocio maíz y frijol, reporta los

menores valores de escorrentía superficial, lo cual se debe a que la mayor parte del ensayo, la cobertura vegetal del cultivo es muy alta y a los surcos en contorno. Además, el ciclo del maíz (maíz de segunda) coincide con el período de lluvias, por lo que hay una mayor protección del suelo contra el proceso de erosión hídrica.

Al realizar un análisis de varianza (cuadro 19 A) a los datos obtenidos de escorrentía superficial, se determinó diferencias significativas entre tratamientos al 5 por ciento de significancia, por lo cual se hizo una prueba de comparación de medias, usando la prueba de Tukey. Los resultados se presentan a continuación, en el cuadro 4.

Cuadro 4. Prueba de comparación de medias (Tukey) para la cantidad de escorrentía superficial.

TRATAMIENTO	ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (m ³ /ha)	TUKEY
SIN CULTIVO	1,728.46	a.
BROCOLI	830.94	b.
FRIJOL	574.22	c.
MAIZ-FRIJOL	448.27	d.

En el cuadro 4, se observa que al compararse los valores de las medias de los tratamientos evaluados se determina que son diferentes estadísticamente, esto indica diferentes grados de protección al suelo contra el problema de la erosión hídrica, por parte de las coberturas de asocio de maíz y frijol, frijol y brócoli; en donde la cobertura de asocio maíz y frijol, fue más efectiva en la reducción del volumen de escorrentía superficial.

7.2.2 Porcentaje de Escorrentía

El total de la precipitación registrada durante los meses de la época lluviosa del año de 1998 (mayo a noviembre) fue de 1,113.7 mm, el cual es equivalente a 11,137 m³/ha (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cantidad (m³/ha) y porcentaje de escorrentía para los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTO	ESCORRENTIA SUPERFICIAL (m ³ /ha)	PORCENTAJE
MAIZ-FRIJOL	481.56	4.32
FRIJOL	578.22	5.19
BROCOLI	830.94	7.46
SIN CULTIVO	1,728.46	15.52

El cuadro 5 muestra que de los cultivos evaluados, el tratamiento de la cobertura de brócoli, obtuvo el valor más alto en porcentaje de escorrentía y el menor valor corresponde al tratamiento de la cobertura de asocio maíz y frijol.

Las diferencias anteriores, se deben a que cuando se trasplanta brócoli, en la preparación del terreno no se realizan los surcos en contorno al inicio, mientras que, en el cultivo de frijol y el cultivo de asocio maíz-frijol, de una vez se realizan los surcos, antes de la siembra.

7.3 SUELO EROSIONADO

7.3.1 CANTIDAD DE SUELO EROSIONADO

En el cuadro 6 se presentan las cantidades de suelo erosionado (ton/ha/año), por efecto de 28 eventos de lluvia, mayores de 10 mm, que causaron arrastre de partículas en el sitio experimental con 18 por ciento de pendiente, para cada uno de los tratamientos evaluados.

Cuadro 6. Cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) en el sitio experimental en el año de 1998.

TRATAMIENTO	REPETICIONES				MEDIA
	I	II	III	IV	
MAIZ-FRIJOL	1.15	1.54	1.56	1.05	1.33
FRIJOL	2.26	3.34	3.19	2.72	2.88
BROCOLI	8.42	11.28	12.41	14.26	11.59
SIN CULTIVO	20.83	36.45	45.06	44.53	36.72

Del análisis del cuadro 6 se observa que el tratamiento cobertura de asocio maíz y frijol presenta el menor valor de cantidad de suelo erosionado, debido a que la mayor parte del ensayo presenta su mayor cobertura en los meses más lluviosos y aunque se reduce su cobertura porque se tienen dos ciclos de frijol, siempre hay protección por parte de la cobertura de maíz aunado al efecto de las labores de la caiza o aporque que se realizan en este cultivo. En los tratamientos de monocultivo (brócoli y frijol) al inicio de los dos ciclos que se tienen, queda sin protección el suelo contra la erosión hídrica, por falta de cobertura vegetal.

Al realizar un análisis de varianza (cuadro 20 A) de los valores obtenidos de suelo erosionado, en la prueba de significancia se encontraron, diferencias entre los tratamientos, debido a esto se efectuó una prueba de comparación de medias, para lo cual se usó la prueba de Tukey, siendo los resultados presentados en el cuadro 7.

Cuadro 7. Prueba de comparación de medias (Tukey) para la cantidad de suelo erosionado.

TRATAMIENTO	SUELO EROSIONADO (ton/ha/año)	TUKEY
SIN CULTIVO	36.72	a.
BROCOLI	11.59	b.
FRIJOL	2.88	b.c
MAIZ-FRIJOL	1.33	c.d

En el cuadro 7 se puede observar que, al 5 por ciento de significancia, estadísticamente los tratamientos evaluados ofrecen igual protección al suelo contra la erosión hídrica; sin embargo, de los tres cultivos evaluados, la cobertura del cultivo de brócoli, presenta la mayor cantidad de suelo erosionado con 11.59 toneladas por hectárea por año. Este valor se debe a que, el manejo agrícola tradicional para este cultivo, en la preparación del terreno no se realizan simultáneamente los surcos en contorno. Además, se tienen dos ciclos de cultivo, por lo que hay un período entre ciclos, en el cual el suelo queda sin ninguna cubierta vegetal y en esa época, el período de lluvias está bien establecido (Figura 9 A), por lo que al no haber cobertura ni surcos, aumenta la cantidad de suelo erosionado.

7.3.2 Lámina de Suelo erosionado

En el cuadro 8 se presentan los valores estimados de lámina de suelo erosionado expresados en centímetros y su equivalente en milímetros para cada uno de los tratamientos evaluados.

Cuadro 8. Lámina de suelo erosionado (cm) para los tratamientos evaluados en la época lluviosa de 1998.

TRATAMIENTO	SUELO EROSIONADO (ton/ha)	LAMINA	
		(cm)	m.m
MAIZ-FRIJOL	1.33	0.012	0.124
FRIJOL	2.88	0.027	0.269
BROCOLI	11.59	0.108	1.083
SIN CULTIVO	36.72	0.343	3.432

Del cuadro anterior, se observa que el menor valor de lámina de suelo perdida para los tratamientos evaluados, corresponde a la cobertura de cultivo de asocio maíz y frijol, la cual es de 0.012 cm, y el mayor valor de lámina perdida de suelo es para la cobertura del cultivo de brócoli que fue de 0.11cm. Esto confirma nuevamente, el efecto de mayor protección al suelo, contra el problema de la erosión hídrica, que le da el cultivo asocio maíz y frijol. La pérdida de la capa superficial del suelo afecta la producción de los cultivos que se establezcan en el mismo. Lo anterior, se basa en el estudio de Cardona y Zúñiga (6), determinaron que la pérdida de los primeros 8 centímetros de suelo, representan el 68 por ciento de la reducción del rendimiento del cultivo de brócoli, en el área de estudio.

7.4 FACTOR DE COBERTURA (Factor C)

El factor "C", o factor de Cobertura de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), se determinó con base a la cantidad de suelo erosionado en la parcela sin cobertura o parcela testigo; los resultados se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Factor de Cobertura (Factor C) para los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTO	FACTOR C
MAIZ-FRIJOL	0.04
FRIJOL	0.08
BROCOLI	0.32

En el cuadro 9, se observa que el factor de cobertura, es diferente para cada cultivo, siendo el mayor valor para el cultivo del brócoli. Estos valores, cuanto mas se aproximen a la unidad, la protección al suelo contra la erosión es menor. Al comparar los valores obtenidos, el cultivo que más protección brindó al suelo, fue el cultivo de asocio maíz y frijol. Lo anterior se verifica al observar los valores del cuadro 12, de porcentaje de cobertura, en donde el mayor porcentaje de cobertura del cultivo durante el ensayo, lo obtuvo el cultivo asocio maíz y frijol.

7.5 CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LOS SEDIMENTOS

En el cuadro 10 se presentan los valores obtenidos del porcentaje de los separados del suelo, que se perdieron en el ensayo, por el problema de la erosión hídrica, bajo las coberturas evaluadas.

Cuadro 10. Porcentaje de partículas primarias de suelo en los sedimentos perdidos por erosión.

TRATAMIENTO	PORCENTAJE		
	ARENA	LIMO	ARCILLA
MAIZ-FRIJOL	79.00	16.44	3.56
FRIJOL	87.70	7.75	4.55
BROCOLI	84.70	10.04	5.26
SIN CULTIVO	83.57	9.37	7.05

Al observar los datos del cuadro 10, se visualiza que las partículas del tamaño de las arenas, representan el mayor porcentaje de las partículas que se perdieron por arrastre debido a la erosión hídrica. Este resultado se explica porque la clase textural del suelo superficial del área experimental, corresponde a un franco-arenoso. Además, se observa que los porcentajes de arena son similares en los tratamientos evaluados, pero no es así en los que corresponden al cultivo de asocio maíz y frijol, en donde aumenta los porcentajes de limo y arcilla. Esto se debe al efecto combinado que tiene la cobertura y el sistema radicular de los dos cultivos, en reducir la capacidad de arrastre del agua de escorrentía de partículas gruesas (2-0.05mm, Arenas) y aumentar la de las partículas finas (Limo 0.05-0.02, Arcilla < 0.02 mm).

7.6 FACTOR DE EROSIVIDAD (Factor R).

El factor de erosividad o factor "R" de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), se determinó a través de interpolación de las curvas del Mapa de Isoerosividad de la República de Guatemala, elaborado por Bravo de León (5), el cuál para el área experimental, es de 2,856.85 Mj.mm/ha.hr.año.

7.7 COBERTURA DE LOS TRATAMIENTOS

En el cuadro 11 se presentan los resultados del porcentaje de cobertura de 12 muestreos cada quince días, de cada uno de los tratamientos evaluados, así como la fecha en que se realizaron.

Cuadro 11. Porcentaje de Cobertura Vegetal para el sitio experimental en 12 muestreos.

TRATAMIENTO	FECHAS DE OBSERVACION											
	3/6	18/6	3/7	18/7	2/8	17/8	1/9	16/9	1/10	16/10	31/10	15/11
SIN CULTIVO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BROCOLI	0	4	19	48	65	80	2	21	39	50	69	0
FRIJOL	0	4	22	50	75	89	80	3	15	32	68	82
MAIZ-FRIJOL	0	6	27	59	76	91	86	60	71	80	88	92

Del cuadro anterior, se puede observar que de los cultivos evaluados, el mayor porcentaje de cobertura, corresponde al asocio maíz y frijol, a pesar de que el cultivo de frijol, en el asocio tiene dos ciclos; sin embargo, la cobertura del maíz al tener un ciclo más largo, contribuye a proteger el suelo contra la erosión hídrica.

En las coberturas de frijol y brócoli en monocultivo, se tienen dos ciclos de 90 y 75 días respectivamente, lo cuál indica que en un período de tiempo, en donde ya esta bien establecida la época lluviosa, el suelo queda sin cobertura y por ende el problema de la erosión hídrica aumenta.

7.8 ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (USLE)

El cálculo de la cantidad de suelo erosionado de cada uno de las coberturas evaluadas, se hizo con el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), cuyo modelo matemático es: $A = R * K * L * S * C * P$. Para el factor R, se aplicó el valor de (2856.85 (Mj-mm)/ (ha.hr.año)); para el factor K, se usó el valor (0.016) calculado por López Búcaro (19) apéndice 1 A, debido a que es un parámetro que cambia muy poco, siempre y cuando las condiciones no alteren las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que sirven para su determinación como: porcentaje de limo + arenas finas, porcentaje de arenas, porcentaje de materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo. Por lo tanto, se puede seguir usando dicho valor por varios años.

El factor LS, fué de 1.96, apéndice 1 A; el factor C, para asocio maíz y frijol fue de 0.036; para el frijol, fue de 0.078; y para el cultivo de brócoli fué de 0.316. En cuanto al factor P, para el cultivo en asocio maíz y frijol y cultivo de frijol, que se trabajaron en surcos en contorno, se estimó un valor de 0.4; para el cultivo de brócoli se tomó un valor de 0.6, debido a que a medio ciclo se hicieron surcos en contorno.

A continuación, en el cuadro 12, se muestran los resultados estimados con el uso de los factores que conforman la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en Inglés) y los valores de cantidad de suelo, obtenidos en forma directa a través del uso de parcelas de escurrimiento.

Cuadro 12. Cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) obtenido por método directo, y el valor calculado con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), método indirecto, en el año de 1998.

TRATAMIENTO	METODO DIRECTO	USLE
MAIZ-FRIJOL	1.33	1.29
FRIJOL	2.88	2.79
BRÓCOLI	11.59	16.96

En el cuadro 12 se nota que los valores estimados de suelo erosionado en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Método Indirecto) son mayores que los obtenidos en las parcelas de escurrimiento (Método Directo). En ambos casos la cobertura del cultivo de asocio maíz-frijol, es la que menor cantidad de suelo erosionado tuvo; a diferencia de la cobertura del cultivo de brócoli, que supera en 12 ton/ha/año, de lo que se pierde en el cultivo de asocio de maíz-frijol.

A continuación en la siguiente figura 5, se observa en forma gráfica las diferencias de las coberturas y manejo de cultivos evaluados.

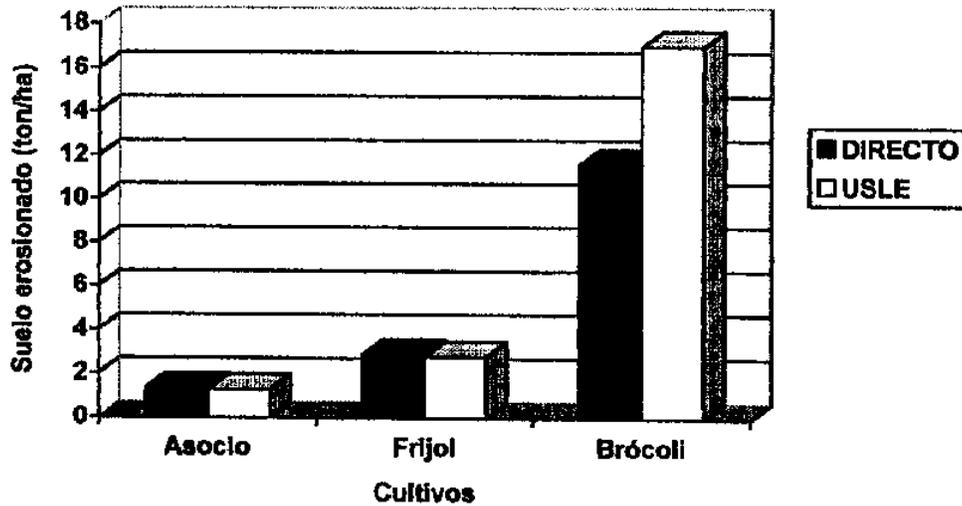


FIGURA 5. Comparación de cantidad de suelo erosionado obtenido por el método directo (parcelas de escorrentía) y el método indirecto (USLE), en el año de 1998.

En la figura 5 se observa que los valores son similares; sin embargo, los valores estimados por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) método indirecto, estima los valores en un rango de 97 a 146 por ciento, respecto a los valores obtenidos en el método directo (parcelas de escorrentía), por lo que sobreestima la cantidad de suelo erosionado. Lo anterior se debe a que los componentes de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo han sido calculados únicamente para el año de 1,998. Sin embargo, el modelo debe utilizar valores de un promedio de 15 a 20 años de registro.

7.9 ANALISIS DE CORRELACION LINEAL MULTIPLE

Al efectuar la correlación lineal múltiple entre las variables volumen de escorrentía, porcentaje de cobertura, precipitación pluvial versus cantidad de suelo erosionado, se obtuvo un coeficiente de correlación lineal múltiple de 0.72, significativa al 5 por ciento. Lo anterior indica que las variables tienen un grado de asociación relativamente fuerte.

Al determinar el coeficiente de determinación, se obtuvo un valor de 0.52, éste valor indica que la gran variabilidad en la cantidad de suelo erosionado, bajo las condiciones en que se realizó el ensayo, en un 52 por ciento es producida por las variables volumen de escorrentía, porcentaje de cobertura y precipitación pluvial, y un 48 por ciento se debe a otros factores tales como la velocidad de infiltración, humedad de suelo, estructura del suelo, permeabilidad, materia orgánica, manejo agronómico (prácticas de conservación de suelo) entre otros.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Chan Santisteban (8), quién determinó que: la lámina de lluvia, intensidad y volumen de escorrentía, en una pendiente de 32 por ciento, fueron los principales factores que provocaron erosión en la época lluviosa de 1991, en la subcuenca del Río Pensativo.

7.10 ANALISIS INTEGRADO DE LOS RESULTADOS DE LA FASE I, FASE II Y FASE III.

Para la integración de los resultados obtenidos en las fases I (año 1996), fase II (año 1997) y fase III (año 1998), se realizó un Análisis de Varianza combinado, siguiendo el análisis del modelo de una serie de experimentos en el tiempo, para las variables: cantidad de suelo erosionado y volumen de Escorrentía. La prueba de Tukey, indica diferencias significativas entre tratamientos, años, interacción año-tratamiento e interacción año-repetición. Los resultados anteriores confirman la diferencia existente entre la cantidad de suelo erosionado en los tratamientos a través de los años, o sea, que el efecto de los tratamientos varía, por lo que no existe consistencia en los resultados a través del tiempo; lo anterior, se debe a que año con año las condiciones climáticas son diferentes, específicamente lo referente a la precipitación pluvial, en cuanto a cantidad, distribución e intensidad. Se realizó una prueba de comparación de medias, prueba de Tukey, para tratamientos y años, los resultados se presentan en el cuadro 13.

Cuadro 13. Prueba de comparación de medias para los tratamientos evaluados de la cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) para las fases I, II y III.

TRATAMIENTO	MEDIA (Ton/ha)	TUKEY
SIN CULTIVO	34.13	a.
BROCOLI	14.86	b.
FRIJOL	4.00	c.
MAIZ-FRIJOL	2.38	c.d

Según el cuadro 13, los tratamientos testigo (sin cultivo) y cobertura de brócoli, estadísticamente son diferentes a través del tiempo, en cuanto a su efecto sobre la erosión hídrica y los tratamientos de cobertura asocio maíz y frijol, y cobertura de frijol, estadísticamente son iguales. Por lo anterior, en base a los resultados obtenidos se puede decir que, a lo largo de los tres años de evaluación, la cobertura del cultivo de brócoli, es la que menos protección brindó al suelo, y la cobertura que más protección le da al suelo contra el problema de la erosión hídrica, es la cobertura del cultivo asocio maíz y frijol. Como en la fuente de variación, años, fue estadísticamente significativa, se realizó una prueba de comparación de medias con los resultados presentados en el cuadro 14.

Cuadro 14. Prueba de comparación de medias para los años evaluados en base a la cantidad de suelo erosionado (ton/ha).

AÑO	MEDIA (ton/ha)	TUKEY
1996 (FASE I)	15.06	a.
1997 (FASE II)	13.33	a.
1998 (FASE III)	13.13	a.

En el cuadro anterior, las medias obtenidas de cada año se calcularon por la suma de las cantidades de suelo erosionado de cada unidad experimental dividida entre el número de unidades experimentales. Al realizar el análisis estadístico, se puede decir que, estadísticamente en cuanto a la variable cantidad de suelo erosionado, los años no son significativamente diferentes, ya que la tendencia en el tiempo en los tratamientos evaluados, en cuanto a su respuesta medida en la cantidad de suelo erosionado, presentan valores similares. Cabe agregar que, las

son significativamente diferentes, ya que la tendencia en el tiempo en los tratamientos evaluados, en cuanto a su respuesta medida en la cantidad de suelo erosionado, presentan valores similares. Cabe agregar que, las condiciones climáticas en cuanto a la precipitación y sus características como cantidad, intensidad, duración y distribución fueron muy diferentes en los tres años de evaluación, tal es el caso del año de 1998, donde las precipitaciones variaron por efecto del huracán Mitch, por lo que se aumentó el potencial erosivo de las lluvias. A pesar de lo anterior, no se pudo establecer un año diferente entre los años evaluados.

A continuación en la figura 6 se observa la respuesta de los tratamientos en cuanto a la cantidad de suelo erosionado en cada una de las fases.

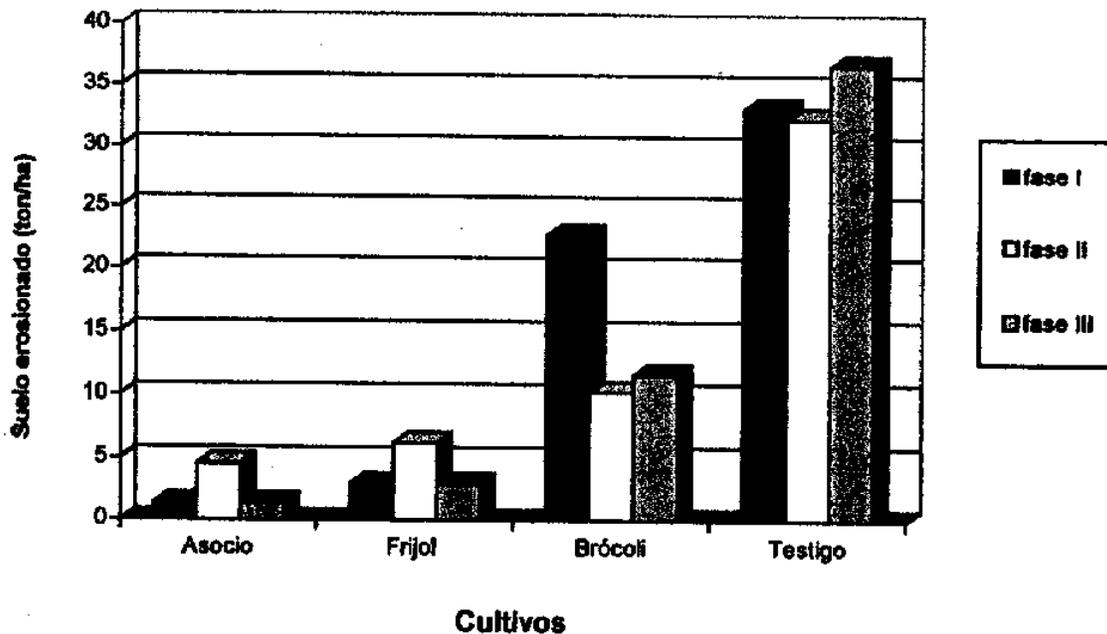


FIGURA 6. Comparación de la cantidad de suelo erosionado en (ton/ha/año) de los tratamientos evaluados obtenidos en las fases I, II y III.

En la figura 6 al compararse los resultados obtenidos se confirma el resultado del análisis de varianza combinado y en sus respectivas pruebas de comparación de medias, además se observa que, la variación que hay entre años es mínima, mientras que entre tratamientos la variación es mucho mayor, estas diferencias entre años (fases) y tratamientos se deben principalmente a las diferentes condiciones climáticas que se tuvieron en cada año, en donde las cantidades de lluvia, e intensidades fueron diferentes.

Para la variable volumen de escorrentía superficial también se realizó una prueba de medias y sus resultados se presentan en el cuadro 15 a continuación.

Cuadro 15. Prueba de comparación de medias de escorrentía superficial (m^3/ha) de los tratamientos evaluados en las fases I, II y III.

TRATAMIENTO	MEDIA (m^3/ha)	TUKEY
SIN CULTIVO	1274.65	a.
BROCOLI	682.75	b.
FRIJOL	393.38	c.
MAIZ-FRIJOL	326.01	d.

En el cuadro 15 se observan que los valores de las medias de tratamientos son diferentes, y al hacer la prueba de Tukey, se determinó que los tratamientos estadísticamente son diferentes a través del tiempo, en cuanto a su respuesta en volumen de escorrentía superficial y por ende su efecto en la erosión hídrica. Esto se debe a las diferencias climáticas de los años evaluados y al diferente grado de protección que las coberturas brindan al suelo.

Basado en los resultados obtenidos de los cultivos evaluados, el cultivo asociado de maíz-frijol, redujo el volumen de escorrentía, lo cual indica que es el cultivo que mayor protección le brindó al suelo contra el problema de la erosión hídrica, mientras que la cobertura del brócoli es la que menos protección brinda al suelo, en los años evaluados del ensayo experimental.

Como en la fuente de variación años fue estadísticamente significativa, se realizó una prueba de comparación de medias para años, con los resultados presentados en el cuadro 16.

Cuadro 16. Prueba de comparación de medias para los años evaluados en base a la escorrentía superficial en (m^3/ha).

AÑO	MEDIA (m^3/ha)	TUKEY
1998	888.68	a.
1997	700.40	b.
1996	418.52	c.

En el cuadro anterior se observa el resultado de la prueba de comparación de medias en donde se puede decir que, los años evaluados en base a la variable volumen de escorrentía, son estadísticamente diferentes, y que el año 1,998 (fase III) fue el año que más volumen de escorrentía superficial produjo. Esto se debe a que el año 1998, es el que mayor precipitación total anual tiene, y las características de la precipitación en toda la época lluviosa, se vio afectada por muchos fenómenos atmosféricos.

Para la escorrentía, existe mucha variación entre tratamientos y entre años evaluados, lo cual se aprecia en la figura 7.

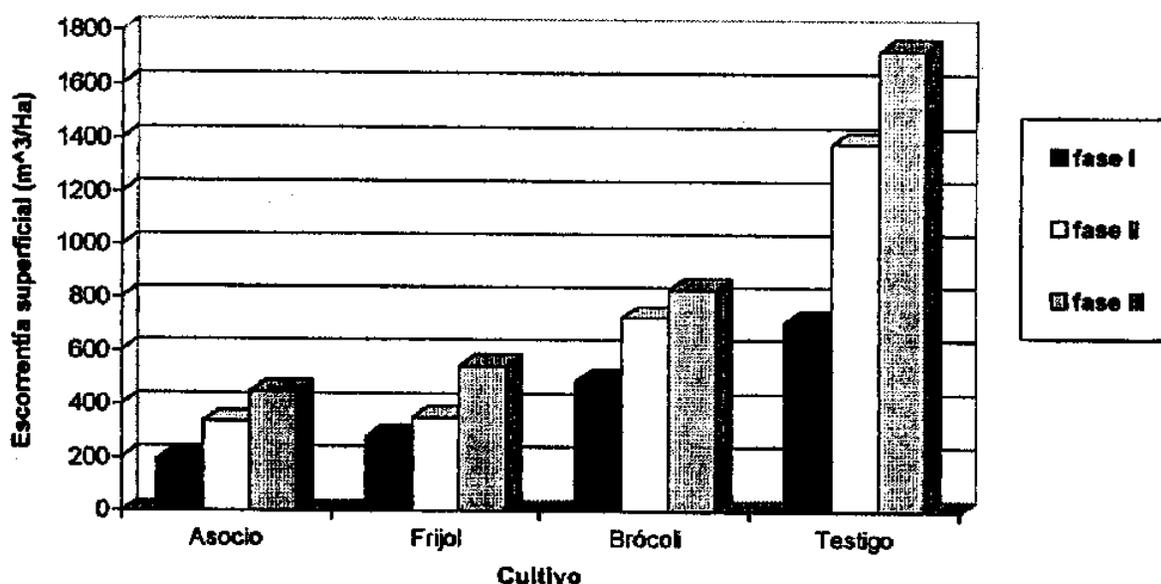


FIGURA 7. Comparación del volumen de escorrentía superficial en (m³/ha) obtenidos en los tratamientos evaluados en las fases I, II y III.

Del análisis de la figura 7 se observa de una mejor manera las diferencias entre los tratamientos evaluados, así como entre los años (fases) evaluados. De un análisis comparativo, se confirma, que en los tres años evaluados, el cultivo que menor volumen de escorrentía superficial produjo, fue la cobertura del cultivo asocio maíz y frijol y los mayores volúmenes de escorrentía superficial, corresponden a la cobertura del cultivo de brócoli. Lo anterior indica que, debido al efecto que tiene la escorrentía, en el arrastre de sedimentos, el cultivo asocio maíz y frijol, es la cobertura que mayor protección le brindó al suelo contra el problema de la erosión hídrica y el que menor protección da es la cobertura de brócoli.

En el cuadro 17 se presentan los valores obtenidos de cantidad de suelo erosionado, obtenidos por las parcelas de escorrentía (método directo) y los valores estimados de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) usando valores promedio de tres años de evaluación.

Cuadro 17. Comparación de la cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año), por método directo (promedio de tres años de observación) y el calculado por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) método indirecto (Integración años 1996, 1997 y 1998).

TRATAMIENTO	METODO DIRECTO	USLE
MAIZ-FRIJOL	2.38	2.37
FRIJOL	4.00	3.91
BROCOLI	14.86	21.84

Al hacer el análisis del cuadro 17, se observa que los valores obtenidos del uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), método indirecto, los valores de cantidad de suelo erosionado son subestimados y sobreestimados en un rango de 99 a 147 por ciento, respecto a los valores obtenidos de las parcelas de escorrentía. Esto se debe, a que los valores de los factores que componen la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, son obtenidos en estudios que se realizan por más de 15 años de investigación, y la presente investigación únicamente abarca 3 años de evaluación. Cabe agregar, que los autores del modelo USLE indican que el factor R de la ecuación debe ser el valor promedio de 15 a 20 años de registro.

8. CONCLUSIONES

A) Bajo las condiciones en las cuáles se realizó el experimento para la época lluviosa de 1998, y de acuerdo a los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La mayor escorrentía superficial, ocurre cuando se siembra brócoli, Brassica oleracea var. Itálica, con un valor promedio de 830.94 m³/ha, luego en orden descendente le sigue la cobertura de frijol, Phaseolus vulgaris L., con un valor promedio de 547.22 m³/ha y el valor más bajo lo tuvo el la cobertura de asocio maíz-frijol, con un valor promedio de 448.27 m³/ha.
2. La cantidad de suelo erosionado fue menor en la cobertura de asocio maíz y frijol, con un valor promedio de 1.33 ton/ha/año, por lo que fue la cobertura que mayor protección dió al suelo contra el problema de la erosión hídrica, luego el cultivo de frijol, con un valor promedio de 2.88 ton/ha/año, y por último, el mayor valor lo tiene la cobertura de brócoli, con un promedio de 11.59 ton/ha/año, siendo éste el que menos protección dio al suelo.
3. De los tratamientos evaluados en la época lluviosa de 1998, el cultivo que mayor porcentaje de cobertura presentó fue el cultivo de asocio maíz y frijol, con un valor promedio de 12 muestreos 61.3 por ciento, y su factor C (factor de cobertura y manejo del cultivo), obtuvo un valor de 0.04; luego, el cultivo de frijol con un porcentaje de cobertura promedio de 43.3 por ciento y un factor C de 0.08; por último, el cultivo de brócoli tuvo un porcentaje de cobertura medio de 33.1 por ciento y un factor C de 0.32.
4. Bajo la cobertura y manejo del cultivo de brócoli, para la época lluviosa del año de 1998, se pierde una lámina de suelo de 0.11 cm, luego en orden descendente sigue la cobertura del cultivo de frijol con una lámina perdida de 0.03 cm, y por último la lámina perdida en el cultivo de asocio maíz-frijol fue de 0.01 cm; en donde, las características granulométricas de los sedimentos perdidos por erosión hídrica, el mayor porcentaje lo ocupan las arenas.
5. El factor R (factor de Erosividad de lluvia), para el área experimental, fue estimado en 2,856.85 (Mj-mm)/(ha.hr.año), lo cuál indica la capacidad potencial de la lluvia de ocasionar erosión hídrica en el área de estudio.
6. El uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), para la predicción de la cantidad de suelo erosionado para la época lluviosa de 1998, sobreestima los valores con respecto a los obtenidos de las parcelas de escorrentía, método directo.

B) En el análisis de la Integración de los resultados se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El análisis de varianza combinado, realizado para las fases I, II y III, indica que existen diferencias significativas entre tratamientos y años evaluados (1996, 1997 y 1998) por lo que no hay consistencia en el tiempo para las variables suelo erosionado y escorrentía superficial, en donde el año 1996 hubo más cantidad de suelo erosionado, y para el año 1998 mayor volumen de escorrentía superficial.
2. El valor más alto de escorrentía superficial, como promedio de 3 años de registro, lo obtuvo el cultivo de brócoli con un valor de 682.75 m³/ha, le sigue el cultivo de frijol con una media de 393.38 m³/ha, y el menor valor lo presentó el cultivo de asocio maíz y frijol con un promedio de 326.01 m³/ha.
3. En los tres años de evaluación, el tratamiento que más protección brindó al suelo contra la erosión hídrica, fue la cobertura de asocio maíz y frijol con un valor de suelo erosionado promedio de 3 años de registro de 2.38 ton/ha/año, le sigue cultivo de frijol con un valor promedio de 3 años de 4.0 ton/ha/año, y por último y el que menos protección dio al suelo, fue el cultivo de brócoli con un promedio de 14.86 ton/ha/año.
4. Los valores estimados de cantidad de suelo erosionado con el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) para los tratamientos cobertura de frijol, y cobertura asocio de maíz y frijol, son iguales a los valores obtenidos por el método directo. Sin embargo, para el tratamiento de cobertura de brócoli, los valores fueron sobreestimados en 6.98 toneladas por hectárea por año. Para el uso de la USLE, se utilizaron valores promedio de 3 años de registro de precipitación pluvial, obteniéndose un valor para el factor R promedio de 2,655.28 (Mj.mm)/(ha.hr.año). El valor promedio del factor C, para el cultivo de brócoli fue de 0.4372; para el cultivo de frijol de 0.1175 y para el cultivo de asocio maíz y frijol de 0.0713. El factor P, tanto para el cultivo de frijol como para el cultivo de asocio maíz y frijol, se estimó en 0.4 y para el cultivo de brócoli en 0.6.

9. RECOMENDACIONES

1. En áreas donde la capacidad de uso de la tierra lo permita, se puede practicar el sistema de cultivo de asocio maíz y frijol, ya que la cobertura y el manejo agrícola proporcionan una buena protección al suelo contra el proceso de la erosión hídrica.
2. El cultivo en surcos al contorno, ayuda a reducir la escorrentía superficial y suelo erosionado, como se observó en el manejo de los cultivos evaluados, por lo que se recomienda implementar esta práctica para los cultivos que se establezcan en la parte media de la cuenca; especialmente, en el cultivo de brócoli, debido a que entre la época de siembra, del segundo ciclo, el suelo se queda sin cobertura y coincide con las lluvias más erosivas (entre agosto y octubre).
3. Debido a que se determinó inconsistencia en los datos registrados para los tres años evaluados, se sugiere continuar con el estudio de la evaluación de la cobertura vegetal y manejo de tres cultivos, sobre la erosión hídrica en la parte media de la cuenca, en un período adicional no menor a 2 años; con esto el objetivo será darle más consistencia a los datos, para que los índices de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) que se generen, tengan mayor confiabilidad.
4. Implementar un programa de conservación de suelo y agua, para la parte media de la cuenca, en el que se incluyan las siguientes actividades:
 - a) Usar la tierra de acuerdo a su aptitud (Capacidad de uso).
 - b) Realizar en áreas deforestadas, de acuerdo a la potencialidad del área proyectos de reforestación, tanto en terrenos privados como municipales. Se recomiendan las siguientes especies: Pinus occarpa Schiede, Pinus pseudostrobus Liebm., Cupressus lusitánica Miller, Alnus arguta (Schlecht) Spach, Quercus spp. En el financiamiento de tales proyectos, se recomienda gestionarlos a través del Programa de Incentivos a la Reforestación -PINFOR-, del Instituto Nacional de Bosques, INAB.
 - c) Implementar para el control del escurrimiento superficial, prácticas de conservación de suelo y agua, las cuales pueden ser: Surcos en contorno, Barreras vivas con acequías, Camellones al contorno. Para las Barreras vivas se recomiendan las especies: Agapanto (Agapanthus sp.), Zacatón (Panicum sp.), Alfalfa (Medicago sp.), y otras especies que provean ingresos adicionales al agricultor.

10. BIBLIOGRAFIA

1. ALVARADO, H. A. 1985. El Origen de los suelos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica no. 24. 52 p.
2. APOLO BERRU, W.A. 1980. Evaluación de la escorrenfia superficial y la erosión en un pastizal con árboles aislados en "La Suiza". Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 68 p.
3. ARANA LOPEZ, G. A. 1992. Análisis especial para evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del río Pensativo, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 118 p.
4. BERMUDEZ MENDEZ, M. M. 1980. Erosión hídrica y escorrenfia superficial en el sistema café (Coffea arabica L.) poró (Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook) y laurel (Cordia alliodora (R.P.) Cham) en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 73 p.
5. BRAVO DE LEON, M. E. 1988. Estudio preliminar de la erosividad de las lluvias en el república de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 40 p.
6. CARDONA CASTILLO, H.; ZUÑIGA, R. 1996. Evaluación económica de la erosión: propuesta de un modelo matemático. Proyecto investigación básica para la planificación del manejo de la cuenca experimental del río Itzapa. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, DIGI. 15 p.
7. CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1985. Alternativa de manejo para el sistema maíz-frijol (Valle de Chimaltenango, Guatemala): descripción y evaluación en fincas pequeñas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica, Informe Técnico no. 44 68 p.
8. CHAN SANTISTEBAN, M.L. 1992. Evaluación de tres prácticas de conservación de suelo dentro de la subcuenca del río Pensativo, Sacatepéquez; de 1987 a 1991. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 76 p.
9. COLEGIO DE POSTGRADUADOS (Mex.). 1982. Manual de conservación de suelos y del agua. 2 ed. Chapingo, México. 584 p.
10. DEWIS, J. 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y agua. Roma, Italia, FAO. 252 p.
11. DONAHUE, R.L.; MILLER, R. W.; SHICKLUNA, J.C. 1982. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. 4 ed. México, D.F., Prentice-Hall. 624 p.

12. FAO. 1994. Erosión de suelos en América Latina. Santiago, Chile, FAO. Colección FAO: Suelos y Aguas. Proyecto GCP/RLA/107/JPN. 220 p.
13. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1975. Mapa climatológico de la república de Guatemala, según Sistema Thornthwite. Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.
14. _____ 1984. Mapa topográfico de la república de Guatemala, Chimaltenango. Hoja No. 2059 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
15. HUDSON, N. W. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. Roma, Italia, FAO. Boletín Suelos FAO no. 68. 147 p.
16. HERRERA IBAÑEZ, I. R. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 223 p.
17. IICA. 1987. Métodos estadísticos aplicados a la investigación agrícola. 2 ed. Tegucigalpa, Honduras. 109 p.
18. KIRKBY, M. J.; MORGAN, R.P.C. 1984. Erosión de suelos. Trad. José Hurtado Vega. México, DF., LIMUSA. 375 p.
19. LOPEZ BUCARO, C.F. 1998. Efecto de la cobertura de cultivos sobre la erosión hídrica del suelo en la cuenca media del río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango. (fase I) Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.
20. LOPEZ, F. 1988. La degradación y pérdida de los suelos agrícolas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 94 p.
21. LOPEZ HERNANDEZ, J.E. 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. 56 p.
22. MILLAR, C.; TURK, L.; FOTH, H. 1980. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. por Juan Nava Díaz. México, CECSA. 527 p.
23. MOTA FRANCO, E.L. 1997. Efecto de la cobertura y la pendiente del terreno en la erosión del suelo, cuenca alta río Itzapa, Chimaltenango. (fase IV). Investigación Inferencial, EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 67 p.

24. PEREZ LIQUIDANO, H.E. 1995. Evaluación de la cobertura vegetal y la pendiente sobre la erosión hídrica en la parte alta de la cuenca del río Itzapa, Chimaltenango. (fase II) Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 99 p.
25. 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. 79 p.
26. SANCHEZ MENDIA, A.Y. 1979. Determinación de escorrentía superficial y erosión en el suelo del área del proyecto de conservación de suelos Michatoya. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 54 p.
27. SANCHEZ PEREZ, G.A. 1998. Evaluación de la cobertura vegetal de tres cultivos, sobre la erosión hídrica, en la parte media de la cuenca del río Itzapa, San Andrés Itzapa. (fase II). Investigación Inferencial, EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 57 p.
28. SANTOS MANSILLA, E.G. 1997. Simulación hidrológica para la calibración de parámetros de escorrentía en la cuenca del río la Virgen, San Andrés Itzapa, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 91 p.
29. SUAREZ DE CASTRO, F. 1979. Conservación de suelos. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA. 315 p.
30. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE AGRONOMIA. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS; DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACIONES. 1996. Informe anual 1996, Proyecto de investigación básica para la planificación del manejo de la cuenca experimental del río Itzapa. Guatemala. 55 p
31. URUGUAY. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION AGROPECUARIA. 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos, tercera aproximación. Montevideo, Uruguay. 9 p.
32. VELIZ ZEPEDA, R. E. 1996. Comparación de metodologías de capacidad de uso de la tierra en la cuenca del río Itzapa, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 113 p.
33. _____; TOBIAS, H.A. 1996. Clasificación de suelos y tierras de la cuenca del río Itzapa. Informe proyecto investigación básica para la planificación de la cuenca experimental del río Itzapa. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación. 13 p.

34. ZUÑIGA ARAGON, R. 1996. Diagnóstico agrosocioeconómico de la parte media de la cuenca del río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango. Diagnóstico EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 35 p.

10. *R. Zuniga*


11. APENDICES

APENDICE 1 A. CALCULOS DE FACTOR "K" Y FACTOR "LS".

A. CALCULO FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (Factor K).

En este trabajo se tomaron los valores determinados por López Búcaro (19), quién realizó un estudio del suelo y determinó las siguientes características físicas y químicas para el área experimental:

- Limos + arenas muy finas = 24 por ciento.
- Arenas (0.10 a 0.20 mm) = 70 por ciento.
- Materia Orgánica = 3 por ciento.
- Estructura del Suelo = granular.
- Permeabilidad del suelo = Moderada a rápida.

Con éstas características y con el uso del Nomograma, (Figura 9 A), el factor de erodabilidad del suelo (factor K) para el área experimental fue de 0.016.

B. CALCULO DE FACTOR TOPOGRAFICO (LS):

Para el cálculo del factor LS se utilizaron las siguientes factores:

$$S = 0.065 + 0.045(S) + 0.0063 (S)^2.$$

$$L = (\text{longitud de pendiente}/22.13)^n$$

n = 0.5, exponente debido a que pendiente es > a 5 por ciento.

S = Porcentaje de pendiente.

Donde: Longitud de pendiente = 10 metros.

Porcentaje de pendiente = 18.

El valor obtenido de factor LS para el área experimental fue de 1.96.

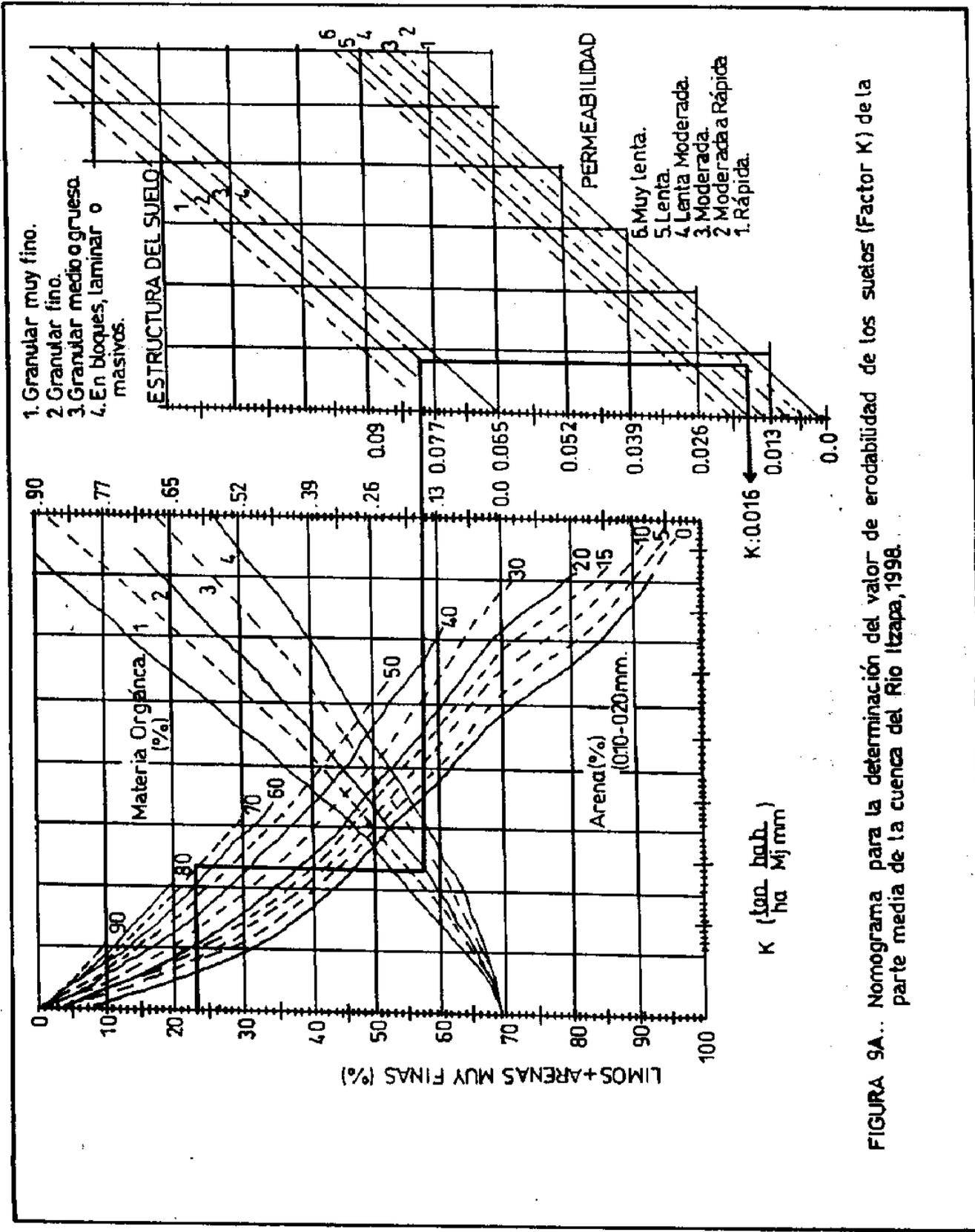


FIGURA 9A.. Nomograma para la determinación del valor de erodabilidad de los suelos (Factor K) de la parte media de la cuenca del Rio Itzapa, 1998.

Cuadro 18 A. Cálculo de la Precipitación efectiva Método Blaney-Criddle, con base a los datos del año de 1,998 de la estación "Xipacay".

MES	PRECIPITACION AÑO 1998 m.m	PRECIPITACION EFECTIVA m.m	DIFERENCIA m.m
ENERO	0.0	0.00	0.00
FEBRERO	0.0	0.00	0.00
MARZO	2.0	1.90	0.10
ABRIL	0.0	0.00	0.00
MAYO	116.0	90.20	25.80
JUNIO	204.1	103.21	100.89
JULIO	190.8	102.54	88.26
AGOSTO	198.8	102.94	95.85
SEPTIEMBRE	83.6	72.34	11.26
OCTUBRE	290.1	107.51	182.59
NOVIEMBRE	146.3	99.58	46.72
DICIEMBRE	0.0	0.00	0.00
TOTAL	1231.7	680.22	551.47

Cuadro 19 A. Análisis de Varianza para la escorrentía superficial año 1998.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TRATAMIENTO	3	4077296.4680	1359098.8220	796.4236*	3.86
REPETICION	3	84644.3444			
ERROR	9	15358.5216	1706.5024		
TOTAL	15	4177299.3340			

5% Significancia

C.V. = 4.65%

Cuadro 20 A. Análisis de Varianza para la cantidad de suelo erosionado año 1998.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TRATAMIENTO	3	3212.8233	1070.9411	37.8442*	3.86
REPETICION	3	147.3298			
ERROR	9	254.6585	28.2987		
TOTAL	15	3614.8116			

5% Significancia

C.V. = 40.52%

Cuadro 21 A. Análisis de Varianza combinado, para cantidad de suelo erosionado fases I, II y III.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
TOTAL	47	8648.7019			
REPETICIONES	3	34.2381	11.4127	0.84*	
TRATAMIENTOS	3	7691.8686	2563.9562	187.77**	
REP-TRAT	9	73.2952	8.1439		
AÑO	2	36.2656	18.1328	1.33*	
AÑO-REP	6	126.7262	21.1210		
AÑO-TRAT	6	440.5213	73.4202		
ERROR	18	245.7870	13.6548		

5% Significancia

C.V. = 26.70%

Cuadro 22 A. Análisis de Varianza combinado, para la escorrentía superficial de las fases I, II y III.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
TOTAL	47	9504657.7832			
REPETICIONES	3	21007.2500	7002.4167	11.10*	
TRATAMIENTOS	3	6727343.4506	2242447.817	3555.10**	
REP-TRAT	9	7179.6385	797.7376		
AÑO	2	1791759.7032	895879.8516	1420.30**	
AÑO-REP	6	66908.2884	11151.3814		
AÑO-TRAT	6	879105.5924	146517.5987		
ERROR	18	11353.8600	630.7700		

5% Significancia

C.V. = 3.75%

Cuadro 23 A. Prueba de Infiltración del Sitio Experimental.

INFILTRACION cm/hr	TIEMPO ACUMULADO min	LOG. INFILTRACION	LOG. TIEMPO	SUMA LOG. INFILTRACION	SUMA LOG TIEMPO
108	1	2.033	0.000		
18	2	1.255	0.301		
18	5	1.255	0.699		
12	10	1.079	1.000		
10.2	20	1.009	1.301		
9	30	0.954	1.477		
7.8	40	0.982	1.602	8.477	6.380
8.8	55	0.944	1.740		
10	70	1.000	1.845		
8.6	100	0.934	2.000		
8.8	130	0.944	2.114		
7.2	160	0.857	2.204		
7.6	190	0.881	2.279		
6.8	210	0.833	2.322	6.393	14.504

Log I = log K + n log t

Ecuación I = K tⁿ

K = 27.8861

n = -0.257

I = 27.861 t^{-0.257}

Infiltración = 7.63 cm/hr

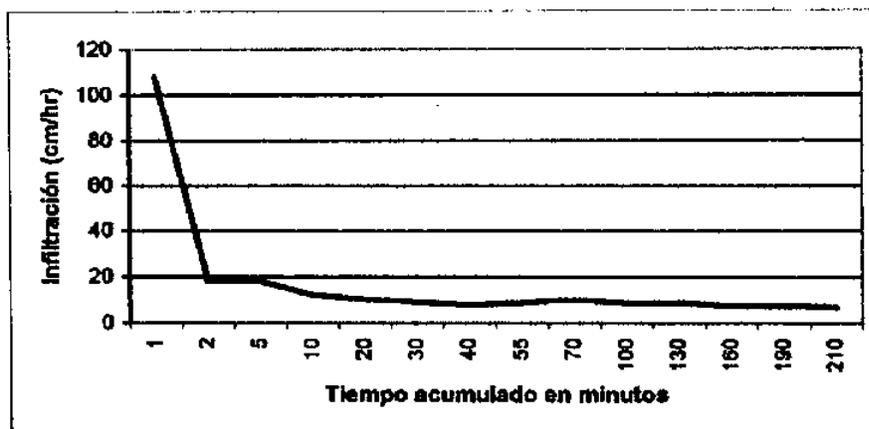


FIGURA 9 A. Velocidad de Infiltración de los suelos sitio Experimental.

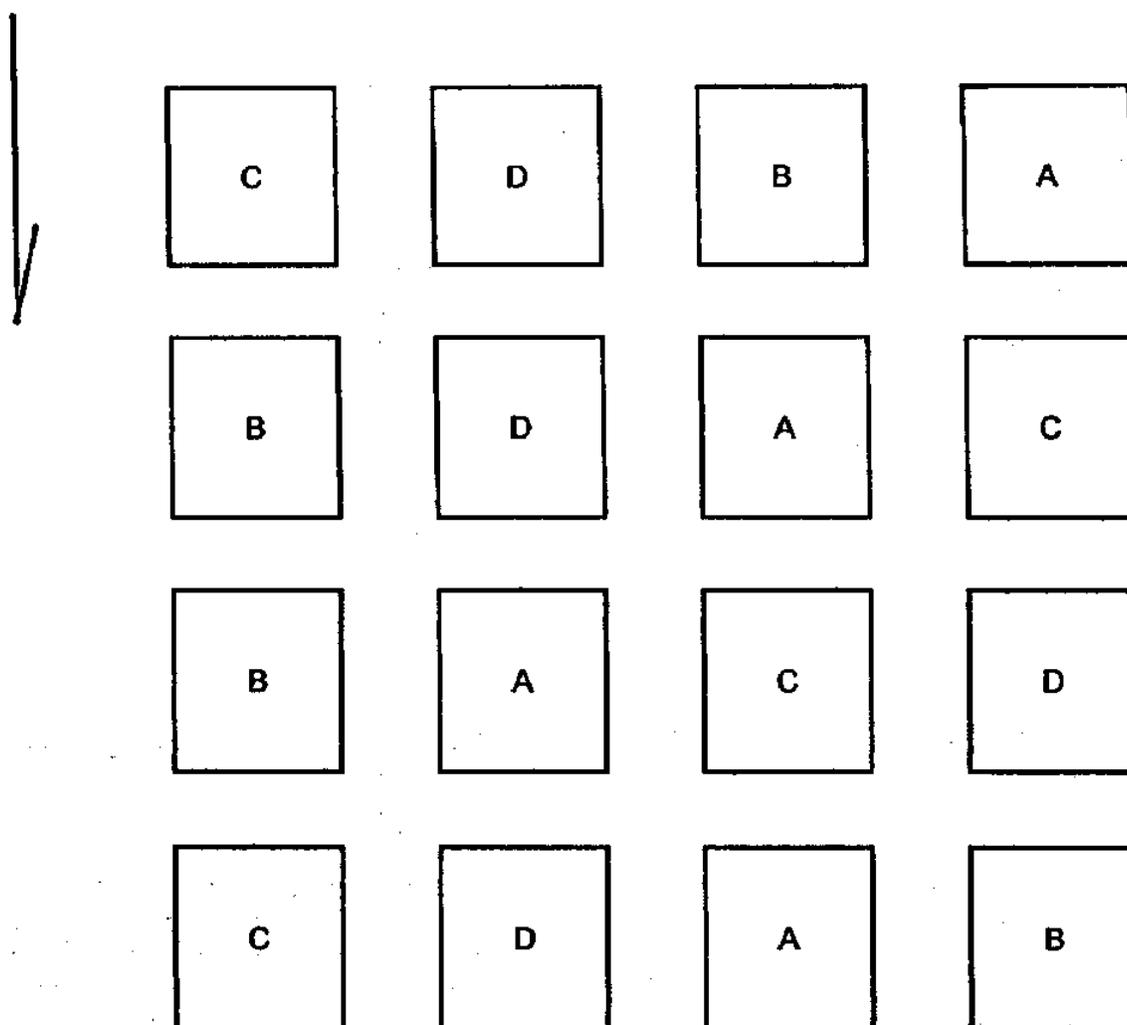
Cuadro 24 A. Características físicas del suelo en el Sitio Experimental.

Profundidad (cms)	Horizonte	Clase de partícula			Clase textural	Retención Humedad (%)		Densidad Aparente (gr/cc)	Porosidad (%)
		Arcilla	Limo	Arena		330 Kpa	1500Kpa		
0-10	Ap	19.82	24.15	56.03	Franco-arenoso	22.6	11.98	1.0698	40.3778
10.-29	A	13.4	18.72	67.88	Franco-arenoso	21.04	11.49	1.0492	45.9454
29-74	Bt1	17.72	16.6	65.48	Franco-arenoso	20.4	10.56		
>74	Bt2	22.97	23.1	53.93	Fco-arcillo-arenoso	28.36	30.34		

Pendiente = 18 por ciento.

Clasificación taxonómica = Typic Fragiudalfs.

PENDIENTE



REFERENCIAS:

A = CULTIVO DE FRIJOL

B = CULTIVO DE BROCOLI

C = TESTIGO (SIN COBERTURA VEGETAL)

D = CULTIVOS EN ASOCIO (MAIZ Y FRIJOL)

FIGURA 10 A. Croquis de la distribución de Campo de los Tratamientos.

CUADROS DE DATOS DE CAMPO REGISTROS DE: LECTURA, CANTIDAD DE SUELO EROSIONADO, COBERTURA VEGETAL, ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y PRECIPITACION PLUVIAL.

Lectura No.1

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	4	0.016	3.91	22.2
I	2	4	0.012	7.43	22.2
I	3	3.5	0.021	10.93	22.2
I	4	0	0.027	10.93	22.2
II	1	8	0.018	6.49	22.2
II	2	3	0.016	7.4	22.2
II	3	4.1	0.019	9.38	22.2
II	4	0	0.021	12	22.2
III	1	6	0.017	10.43	22.2
III	2	5	0.019	9.9	22.2
III	3	4	0.028	9.91	22.2
III	4	0	0.03	10.31	22.2
IV	1	6	0.014	9	22.2
IV	2	4	0.02	9.4	22.2
IV	3	4.5	0.026	9.91	22.2
IV	4	0	0.027	11	22.2

Lectura No.2

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd.Lluv
I	1	8	0.145	24.8	34.6
I	2	8	0.123	30.25	34.6
I	3	6.5	1.542	37	34.6
I	4	0	1.7	35	34.6
II	1	9	0.1	20	34.6
II	2	9	0.218	28.4	34.6
II	3	7	1.644	38.06	34.6
II	4	0	3.079	47.77	34.6
III	1	10.5	0.218	35.4	34.6
III	2	9	0.327	35	34.6
III	3	7	0.95	36	34.6
III	4	0	2.821	44.1	34.6
IV	1	10	0.183	25.94	34.6
IV	2	9.5	0.481	35.63	34.6
IV	3	6.5	2.079	37.75	34.6
IV	4	0	3.767	39.63	34.6

Lectura No. 3

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	8.2	0.191	29.2	74
I	2	8.5	0.446	34	74
I	3	6.8	0.985	34.3	74
I	4	0	1.359	35	74
II	1	9	0.399	35.1	74
II	2	9	0.408	38.36	74
II	3	7	1.68	40	74
II	4	0	2	40	74
III	1	10.5	0.517	36.91	74
III	2	9	0.484	37.58	74
III	3	7.3	1.495	39	74
III	4	0	2.3	46.32	74
IV	1	10.3	0.27	30	74
IV	2	9.5	0.3	37	74
IV	3	6.6	2.19	39.59	74
IV	4	0	3.654	56.76	74

Lectura No. 4

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd.Lluv
I	1	20.5	0.042	10.34	22.5
I	2	19.5	0.078	12.07	22.5
I	3	16	0.818	40	22.5
I	4	0	0.995	65.5	22.5
II	1	21.2	0.024	12.6	22.5
II	2	19	0.041	12.64	22.5
II	3	17	0.65	37	22.5
II	4	0	1.417	70.81	22.5
III	1	21	0.037	13.33	22.5
III	2	20.5	0.054	14.93	22.5
III	3	17.5	0.662	39.79	22.5
III	4	0	1.27	70.8	22.5
IV	1	22.3	0.011	10.69	22.5
IV	2	18	0.045	13.23	22.5
IV	3	16	0.936	40	22.5
IV	4	0	1.363	78.24	22.5

Lectura No. 5

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	25.7	0.041	3.7	17.1
I	2	21.2	0.09	2	17.1
I	3	18.5	0.3	10	17.1
I	4	0	0.444	28.8	17.1
II	1	27.1	0.021	2	17.1
II	2	21.3	0.095	3.4	17.1
II	3	19.5	0.435	16	17.1
II	4	0	0.797	35.2	17.1
III	1	26.5	0.027	3.6	17.1
III	2	23.2	0.245	6.6	17.1
III	3	19	0.644	18.6	17.1
III	4	0	0.508	22	17.1
IV	1	27	0.025	2.5	17.1
IV	2	20.8	0.116	5	17.1
IV	3	18.2	0.454	21.8	17.1
IV	4	0	0.626	30.6	17.1

Lectura No. 6

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd.Lluv
I	1	36.7	0.024	15	40.4
I	2	31	0.07	25.58	40.4
I	3	28	0.886	30.5	40.4
I	4	0	1.5	30.9	40.4
II	1	39	0.034	26.8	40.4
II	2	32	0.064	21	40.4
II	3	29	0.995	38.45	40.4
II	4	0	3.036	39.42	40.4
III	1	37.5	0.015	22	40.4
III	2	33	0.088	29.63	40.4
III	3	29	0.978	38	40.4
III	4	0	3.321	48.59	40.4
IV	1	39.1	0.052	39.92	40.4
IV	2	29.4	0.086	36.06	40.4
IV	3	27	1.079	40	40.4
IV	4	0	2.052	35.9	40.4

Lectura No. 7

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	36.7	0.006	6.54	21.3
I	2	31	0.02	16.23	21.3
I	3	28	0.084	33.3	21.3
I	4	0	1.016	72.63	21.3
II	1	39	0.009	14.31	21.3
II	2	32	0.016	19.33	21.3
II	3	29	0.112	38.71	21.3
II	4	0	1.031	77.06	21.3
III	1	37.5	0.009	13.84	21.3
III	2	33	0.015	17.25	21.3
III	3	29	0.135	39.93	21.3
III	4	0	0.952	80	21.3
IV	1	39.1	0.012	17	21.3
IV	2	29.4	0.007	18.79	21.3
IV	3	27	0.175	40	21.3
IV	4	0	1.116	74.4	21.3

Lectura No. 8

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	66.5	0.021	6.5	27.3
I	2	64.2	0.038	14	27.3
I	3	54.7	0.179	25.68	27.3
I	4	0	1.081	65.4	27.3
II	1	68	0.03	10.8	27.3
II	2	64.8	0.051	20	27.3
II	3	55.2	0.135	20.1	27.3
II	4	0	1.909	77.85	27.3
III	1	67	0.041	12	27.3
III	2	67.2	0.064	15.94	27.3
III	3	56.2	0.23	32.14	27.3
III	4	0	3	80	27.3
IV	1	69	0.014	14.33	27.3
IV	2	63	0.115	25.14	27.3
IV	3	54.3	0.12	24	27.3
IV	4	0	0.755	72	27.3

Lectura No. 9

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	82.3	0.011	3.12	9.2
I	2	82.5	0.013	5.02	9.2
I	3	74	0.027	6.11	9.2
I	4	0	0.385	18.03	9.2
II	1	84.2	0.009	3.8	9.2
II	2	81.8	0.01	3.03	9.2
II	3	75.8	0.032	11	9.2
II	4	0	0.423	23	9.2
III	1	85	0.006	2.6	9.2
III	2	85.3	0.009	4.09	9.2
III	3	77	0.043	9.05	9.2
III	4	0	0.452	27.82	9.2
IV	1	87.3	0.007	4.56	9.2
IV	2	80.8	0.014	9.17	9.2
IV	3	72.3	0.2	5.95	9.2
IV	4	0	0.545	25.02	9.2

Lectura No. 10

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	87	0.017	7.2	16.7
I	2	85	0.03	13	16.7
I	3	0.8	0.125	28.07	16.7
I	4	0	0.97	53.66	16.7
II	1	89	0.022	13	16.7
II	2	86	0.027	14.11	16.7
II	3	0.7	0.139	23.06	16.7
II	4	0	1.85	62.07	16.7
III	1	86.5	0.022	13	16.7
III	2	88	0.049	15.93	16.7
III	3	0.9	0.145	35.6	16.7
III	4	0	2.596	66.87	16.7
IV	1	92	0.012	10	16.7
IV	2	83.8	0.021	10	16.7
IV	3	0.6	0.193	31.01	16.7
IV	4	0	1.796	72.02	16.7

Lectura No. 11

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	87	0.008	6.8	23.6
I	2	85	0.102	10.02	23.6
I	3	0.8	0.42	35.6	23.6
I	4	0	0.93	66.63	23.6
II	1	89	0.012	12	23.6
II	2	86	0.2	17.7	23.6
II	3	0.7	0.477	38	23.6
II	4	0	1.958	77.77	23.6
III	1	86.5	0.015	10.75	23.6
III	2	88	0.135	19.99	23.6
III	3	0.9	0.552	39	23.6
III	4	0	2.855	75.9	23.6
IV	1	92	0.019	15.66	23.6
IV	2	83.8	0.119	22.07	23.6
IV	3	0.6	0.507	40	23.6
IV	4	0	2.052	80	23.6

Lectura No. 12

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	86.5	0.021	6.9	15.3
I	2	83.5	0.066	12.75	15.3
I	3	1	0.024	22	15.3
I	4	0	0.272	70	15.3
II	1	87.4	0.048	14.76	15.3
II	2	85	0.844	16.5	15.3
II	3	1.4	0.054	28.01	15.3
II	4	0	0.599	78.12	15.3
III	1	85.4	0.039	12.07	15.3
III	2	86.5	0.214	13.18	15.3
III	3	1.6	0.898	26.24	15.3
III	4	0	0.858	76.8	15.3
IV	1	90.5	0.051	19.34	15.3
IV	2	83	0.235	22.79	15.3
IV	3	1.2	0.231	31.75	15.3
IV	4	0	0.94	80	15.3

Lectura No. 13

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Cidd. Lluv
I	1	86.5	0.02	7.55	14.4
I	2	83.5	0.054	14	14.4
I	3	1	0.117	25.48	14.4
I	4	0	0.711	67	14.4
II	1	87.4	0.026	17.05	14.4
II	2	85	0.053	23.2	14.4
II	3	1.4	0.252	28.13	14.4
II	4	0	0.985	76.55	14.4
III	1	85.4	0.019	20.5	14.4
III	2	86.5	0.095	22.34	14.4
III	3	1.8	0.372	31.98	14.4
III	4	0	1.128	77.46	14.4
IV	1	90.5	0.02	16.54	14.4
IV	2	83	0.082	26	14.4
IV	3	1.2	0.225	35	14.4
IV	4	0	1.295	80	14.4

Lectura No. 14

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Cidd. Lluv
I	1	84.9	0.013	4.5	28.1
I	2	78	0.024	7	28.1
I	3	1.8	0.224	22.2	28.1
I	4	0	0.9	56.53	28.1
II	1	85.5	0.027	14.65	28.1
II	2	81	0.036	16.5	28.1
II	3	2	0.345	29.7	28.1
II	4	0	1.025	70.06	28.1
III	1	84.6	0.033	12	28.1
III	2	82.3	0.051	21.18	28.1
III	3	2.5	0.408	27	28.1
III	4	0	1.7	65.07	28.1
IV	1	87.7	0.018	10.04	28.1
IV	2	79	0.036	15.73	28.1
IV	3	1.7	0.363	39.28	28.1
IV	4	0	1.473	79	28.1

Lectura No. 15

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Cidd. Lluv
I	1	47.3	0.008	3	12
I	2	0	0.014	3.75	12
I	3	4.5	0.349	30.53	12
I	4	0	0.825	56.2	12
II	1	49.1	0.02	6.14	12
II	2	0	0.026	5.39	12
II	3	4.8	0.553	40	12
II	4	0	1.1	69.15	12
III	1	46.5	0.017	4.42	12
III	2	0	0.04	8.75	12
III	3	5.5	0.408	35.5	12
III	4	0	1.134	78	12
IV	1	49.3	0.01	5	12
IV	2	0	0.035	8.22	12
IV	3	4	0.386	40	12
IV	4	0	1.443	67.41	12

Lectura No. 16

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Cidd. Lluv
I	1	49	0.02	4.6	17.5
I	2	0	0.04	5.59	17.5
I	3	9.4	0.04	22.94	17.5
I	4	0	0.093	33.1	17.5
II	1	50.5	0.04	6.87	17.5
II	2	0	0.063	14.4	17.5
II	3	10	0.053	28.07	17.5
II	4	0	0.2	44.56	17.5
III	1	48	0.048	13.81	17.5
III	2	0	0.059	20.4	17.5
III	3	10.8	0.083	30.06	17.5
III	4	0	0.2	54.6	17.5
IV	1	52	0.038	8.8	17.5
IV	2	0	0.078	12	17.5
IV	3	9	0.079	32.51	17.5
IV	4	0	0.335	48.22	17.5

Lectura No. 17

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Cidd. Lluv
I	1	56.4	0.009	1.67	6.7
I	2	1.4	0.045	3.56	6.7
I	3	16	0.07	10.8	6.7
I	4	0	0.188	19.05	6.7
II	1	57	0.013	2	6.7
II	2	1.7	0.054	6.32	6.7
II	3	15.4	0.177	13.26	6.7
II	4	0	0.261	24.24	6.7
III	1	55.5	0.023	3	6.7
III	2	1.2	0.04	4.08	6.7
III	3	17	0.091	12.68	6.7
III	4	0	0.272	27.42	6.7
IV	1	58	0.017	5.75	6.7
IV	2	1.6	0.025	2.75	6.7
IV	3	17.6	0.136	15.83	6.7
IV	4	0	0.348	32.68	6.7

Lectura No. 18

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Cidd. Lluv
I	1	71	0.073	13.83	28.1
I	2	16.8	0.202	16.75	28.1
I	3	36.8	0.572	35.39	28.1
I	4	0	0.705	70.9	28.1
II	1	73	0.131	29.2	28.1
II	2	18.4	0.374	27.02	28.1
II	3	37.2	0.769	39.58	28.1
II	4	0	2.793	77.42	28.1
III	1	70.5	0.06	22.37	28.1
III	2	17	0.497	31.37	28.1
III	3	40.1	0.789	40	28.1
III	4	0	3.05	78.11	28.1
IV	1	75	0.085	20.81	28.1
IV	2	18	0.47	28.94	28.1
IV	3	39	0.818	40	28.1
IV	4	0	4.073	80	28.1

Lectura No. 19

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	73.8	0.019	5.33	22.7
I	2	21	0.028	6.93	22.7
I	3	40.3	0.062	12.25	22.7
I	4	0	0.777	70.8	22.7
II	1	75	0.021	12.8	22.7
II	2	24.1	0.026	15.2	22.7
II	3	41.6	0.124	16.5	22.7
II	4	0	1.023	76.55	22.7
III	1	72.6	0.032	17.4	22.7
III	2	21.8	0.042	13.11	22.7
III	3	43.8	0.113	15.6	22.7
III	4	0	1.387	78.04	22.7
IV	1	77.7	0.015	11.28	22.7
IV	2	23.4	0.053	18.53	22.7
IV	3	42.4	0.197	20	22.7
IV	4	0	1.109	80	22.7

Lectura No. 20

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	73.8	0.041	14.82	34
I	2	21	0.083	23.66	34
I	3	40.3	0.733	34	34
I	4	0	0.8	69.13	34
II	1	75	0.05	25.51	34
II	2	24.1	0.104	27.07	34
II	3	41.6	0.964	39.79	34
II	4	0	1.494	80	34
III	1	72.6	0.027	27.2	34
III	2	21.8	0.056	31.75	34
III	3	43.8	0.89	40	34
III	4	0	1.218	77.8	34
IV	1	77.7	0.023	21.41	34
IV	2	23.4	0.052	20.24	34
IV	3	42.4	1.246	40	34
IV	4	0	2.045	80	34

Lectura No. 21

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	75.6	0.028	13.63	30.8
I	2	24.8	0.114	24	30.8
I	3	42.8	0.189	19.07	30.8
I	4	0	0.85	72.46	30.8
II	1	77.3	0.079	30.2	30.8
II	2	28	0.109	25.88	30.8
II	3	45	0.286	26.24	30.8
II	4	0	1.515	76.54	30.8
III	1	74.3	0.044	20.12	30.8
III	2	25.8	0.174	35.5	30.8
III	3	47.1	0.272	33.94	30.8
III	4	0	2.508	79.8	30.8
IV	1	79.2	0.036	21.37	30.8
IV	2	28.5	0.04	10.5	30.8
IV	3	46.5	0.74	28.75	30.8
IV	4	0	1.868	80	30.8

Lectura No. 22

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	75.8	0.008	5.09	13.3
I	2	24.8	0.023	5.79	13.3
I	3	42.8	0.032	10.31	13.3
I	4	0	0.178	55.62	13.3
II	1	77.3	0.029	9.87	13.3
II	2	28	0.033	12	13.3
II	3	45	0.047	14.93	13.3
II	4	0	0.472	64	13.3
III	1	74.3	0.032	12.33	13.3
III	2	25.8	0.059	15.26	13.3
III	3	47.1	0.066	15.47	13.3
III	4	0	0.286	62.43	13.3
IV	1	79.2	0.025	6.83	13.3
IV	2	26.5	0.019	10.5	13.3
IV	3	46.5	0.074	18.4	13.3
IV	4	0	0.525	71	13.3

Lectura No. 23

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	78.5	0.016	23.97	40
I	2	28.5	0.017	25.77	40
I	3	47.7	0.023	30	40
I	4	0	0.155	69	40
II	1	80.4	0.011	26.4	40
II	2	34.4	0.03	35.05	40
II	3	49.2	0.058	36.8	40
II	4	0	0.351	78.86	40
III	1	77.7	0.025	29.88	40
III	2	31.5	0.037	40	40
III	3	52.5	0.148	39.14	40
III	4	0	0.273	74.8	40
IV	1	82.5	0.008	20.94	40
IV	2	32.6	0.021	29.88	40
IV	3	49.6	0.073	40	40
IV	4	0	0.476	79.76	40

Lectura No. 24

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	78.5	0.055	11.06	16.9
I	2	28.5	0.101	14.47	16.9
I	3	47.7	0.113	22.93	16.9
I	4	0	0.542	65	16.9
II	1	80.4	0.041	14.84	16.9
II	2	34.4	0.075	17.58	16.9
II	3	49.2	0.499	29	16.9
II	4	0	1.55	71.8	16.9
III	1	77.7	0.035	11.33	16.9
III	2	31.5	0.057	15	16.9
III	3	52.5	1.09	35	16.9
III	4	0	1.852	70	16.9
IV	1	82.5	0.021	8.4	16.9
IV	2	32.6	0.046	12.73	16.9
IV	3	49.6	0.494	30	16.9
IV	4	0	2.905	78.52	16.9

Lectura No. 25

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	80.2	0.115	11.07	17.9
I	2	33.5	0.147	14	17.9
I	3	50.7	0.076	27.14	17.9
I	4	0	0.342	68.9	17.9
II	1	81.8	0.063	12	17.9
II	2	37	0.116	16.5	17.9
II	3	53.4	0.257	30	17.9
II	4	0	0.552	75.04	17.9
III	1	79.6	0.076	13.2	17.9
III	2	34	0.065	13.9	17.9
III	3	55.4	0.315	31.83	17.9
III	4	0	1.029	80	17.9
IV	1	84	0.015	9.09	17.9
IV	2	35.6	0.039	11	17.9
IV	3	53	0.483	34.74	17.9
IV	4	0	1.315	80	17.9

Lectura No. 26

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd.Lluv
I	1	86.8	0.061	33.31	38.8
I	2	64.8	0.085	35	38.8
I	3	66.4	0.095	37	38.8
I	4	0	1.369	72.49	38.8
II	1	88.7	0.081	39.9	38.8
II	2	71	0.065	39.18	38.8
II	3	68.7	0.135	39.91	38.8
II	4	0	1.711	77.42	38.8
III	1	85.5	0.036	35.53	38.8
III	2	66	0.039	38.9	38.8
III	3	72	0.163	40	38.8
III	4	0	1.79	78	38.8
IV	1	90.5	0.009	30.06	38.8
IV	2	69	0.049	38	38.8
IV	3	68.3	0.183	40	38.8
IV	4	0	2.156	80	38.8

Lectura No. 27

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd. Lluv
I	1	86.8	0.07	33.53	81.6
I	2	64.8	0.122	35	81.6
I	3	66.4	0.232	39.8	81.6
I	4	0	0.934	70.76	81.6
II	1	88.7	0.107	38	81.6
II	2	71	0.073	39.39	81.6
II	3	68.7	0.214	38	81.6
II	4	0	1.832	78.71	81.6
III	1	85.5	0.06	36.96	81.6
III	2	66	0.081	39.58	81.6
III	3	72	0.263	40	81.6
III	4	0	3.187	79.19	81.6
IV	1	90.5	0.044	31.06	81.6
IV	2	69	0.055	35.58	81.6
IV	3	68.2	0.332	40	81.6
IV	4	0	2.25	80	81.6

Lectura No. 28

Rep	Trat	Cobert	Suelo ero	Escorr	Ctdd.Lluv
I	1	88	0.054	33.75	13.7
I	2	67	0.073	34.36	13.7
I	3	68.5	0.081	37	13.7
I	4	0	0.785	62.82	13.7
II	1	90	0.072	38.96	13.7
II	2	73.5	0.117	39	13.7
II	3	71.6	0.177	39	13.7
II	4	0	1.665	77	13.7
III	1	87	0.039	37	13.7
III	2	67.5	0.088	38.79	13.7
III	3	75.5	0.18	40	13.7
III	4	0	3.078	78.33	13.7
IV	1	93.2	0.016	32.28	13.7
IV	2	72	0.051	30	13.7
IV	3	70.8	0.306	40	13.7
IV	4	0	2	80	13.7

REFERENCIAS:

Rep: Repeticiones o Bloques.

Trat: Tratamientos donde: 1= Asocio (Maíz-Frijol)

2= Frijol

3= Brócoli

4= Testigo Sin cultivo.

Suelo ero: Suelo erosionado en Toneladas/hectárea.

Cobert: Porcentaje de Cobertura Vegetal.

Escorr: Escorrentía Superficial en metros cúbicos/ hectárea.

Ctdd. Lluv: Cantidad de Lluvia en milímetros.



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

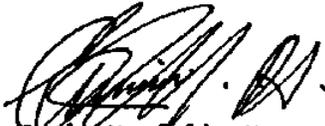
LA TESIS TITULADA: "ESTUDIO DE LA COBERTURA VEGETAL DE TRES CULTIVOS SOBRE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO, EN LA PARTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO ITZAPA, SAN ANDRES ITZAPA, CHIMALTENANGO FASE III".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: JOSE GILBERTO CIFUENTES BARRIENTOS

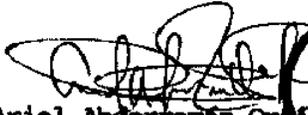
CARNET No: 9316471

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. José Jesús Chonay Pantzay
Ing. Agr. Victor Manuel Cabrera Cruz
Ing. Agr. Luis Fernando Morán Palma
Ing. Agr. Iván Dimitri Santos Castillo

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. Ervin Maxcelio Herrera de León
A S E S O R


Ing. Agr. Hugo Antonio Tobias Vázquez
A S E S O R


Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
DIRECCION DEL IIA.



IMPRIMA


Ing. Agr. M.Sc. Edgar Osvaldo Franco Rivera
D E C A N O



cc:Control Académico
IIA.

Archivo
AO/prr.

APARTADO POSTAL 1645 § 01091 GUATEMALA, C.A.
TEL/FAX (502) 476-9794
e-mail: llusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>