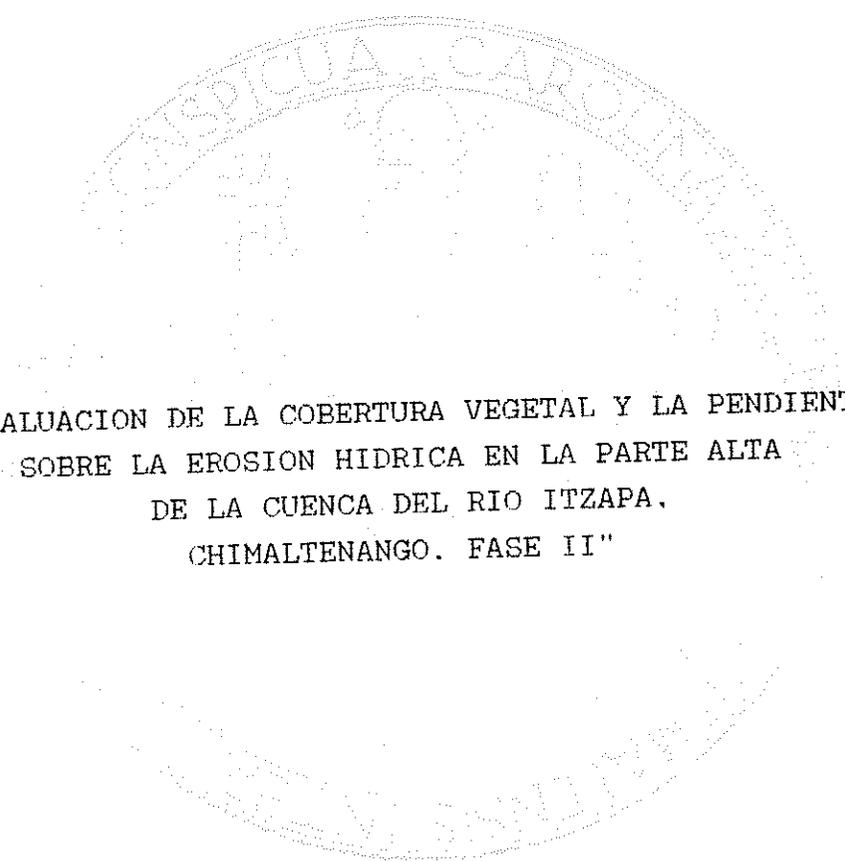


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS



"EVALUACION DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE
SOBRE LA EROSION HIDRICA EN LA PARTE ALTA
DE LA CUENCA DEL RIO ITZAPA,
CHIMALTENANGO. FASE II"

POR:

HERBERT ESTUARDO PEREZ LIQUIDANO

GUATEMALA, AGOSTO DE 1995

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

EVALUACION DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE
SOBRE LA EROSION HIDRICA EN LA PARTE ALTA DE LA
CUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO. FASE II.

TESIS

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

POR

Herbert Estuardo Pérez Liquidano

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR:

DR. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. JOSE ROLANDO LARA ALECIO
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. JUAN JOSE CASTILLO MONT
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. CARLOS ROBERTO MOTTA DE PAZ
VOCAL CUARTO:	Prof. GABRIEL AMADO ROSALES
VOCAL QUINTO:	Br. AUGUSTO SAUL GUERRA GUTIERREZ
SECRETARIO ai:	Ing. Agr. GUILLERMO MENDEZ BETETA.

Guatemala, agosto de 1995.

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

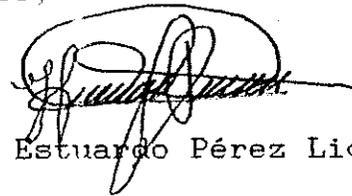
Señores Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:

**EVALUACION DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE SOBRE
LA EROSION HIDRICA EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL
RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO. FASE II.**

Presento como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,



Herbert Estuardo Pérez Liquidano.

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Por haberme dado la vida, sabiduria y permitir que alcanzara una de mis metas.
- A MIS PADRES:** Mariano Pérez Meléndez.
Eluvia E. Liquidano Aguilar.
Como una muestra de agradecimiento y un significativo atributo a su trabajo, desvelos, apoyo moral y a sus sacrificios por apoyarme en todo momento.
- A MIS HERMANOS:** Mario, Jorge, Tonito, Caty y Chiqui.
Por su apoyo incondicional y apoyo brindado en todo momento.
- A MIS TIOS:** Con sincero aprecio. En especial a mis tias Leonor, Rosy, Chony, Zoily y Chatia, por su apoyo moral.
- A MIS PRIMOS:** Como un ejemplo de superación. En especial a Erick, Walter y Gerardo.
- A MIS SOBRINOS:** Mario Vinicio, Diego, Berny, Nestor Rodrigo, Sergio Estuardo, Francis Gabriel, Carlos Antonio, Jamal Ariel y Kevin Alexander, con mucho cariño.
- A MILVI:** Por su ayuda y apoyo moral.
- A MIS COMPANEROS:** Con la amistad de siempre.
- A MIS AMIGOS:** En general. En especial a Edy, Luis Rosales, Rigoberto Pensamiento, Luis Morales, Sergio Meléndez, Juan José Barrios, Erick Garzaro, Carlos y Rodolfo España.

... y ... de ...

A DIBOS:

... y ...

A MIS PADRES:

... y ...

A MIS HERMANOS:

... y ...

A MIS TIOS:

... y ...

A MIS PRIMOS:

... y ...

A MIS SOBRINOS:

... y ...

A MI VIDA:

... y ...

A MIS COMPAÑEROS:

... y ...

A MIS AMIGOS:

TESIS QUE DEDICO

A ACATENANGO, PUEBLO QUERIDO DONDE SE CIMENTO MI AMOR POR LA AGRICULTURA Y EL DESEO DE CONTRIBUIR EN LA SUPERACION DEL AGRO GUATEMALTECO.

A LA ESCUELA RURAL MIXTA "JULIO MORALES SANTIZO".

AL COLEGIO SEMINARIO DE SAN JOSE.

AL COLEGIO LA SALLE. ANTIGUA GUATEMALA

AL COLEGIO LICEO ANTIGUENO

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA.

AL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

AGRADECIMIENTO

A mis asesores: Ing. Agr. M. Sc. Hugo Antonio Tobias e Ing. Agr. M. Sc. Maxdelio Herrera de León, por su orientación científica y tecnológica en el campo de los Recursos Naturales Renovables.

Al instituto de Investigaciones Agronómicas.

A la Dirección General de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el apoyo proporcionado en la etapa de campo de la investigación.

Al Ing. Agr. Isaac Herrera, Ing. Agr. Adalberto Rodríguez e Ing. Agr. Pedro Pelaez por su valiosa colaboración en esta tesis.

Al personal del laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, por su colaboración en los análisis realizados.

A los agricultores de la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa, Cimaltenango y muy especialmente al señor Alfonso López L., por su valiosa colaboración en la etapa de campo de la investigación.

A las familias Garzaro Dieguez, Barrios Dieguez, Ovalle Dieguez y Morales Garzaro, por su cariño y apoyo moral brindado.

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	i
INDICE DE CUADROS	ii
RESUMEN	iv
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEORICO	5
3.1. MARCO CONCEPTUAL	5
3.1.1 FACTORES DE LA EROSION Y LA ESCORRENTIA	5
3.1.2 ETAPAS DEL PROCESO DE EROSION HIDRICA	10
3.1.3 PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS	12
3.1.4 DESCRIPCION DEL MODELO USLE	16
3.1.5 MEDICION DE LA ESCORRENTIA Y LA EROSION	21
3.1.6 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRIMERA EVALUACION:	22
3.2. MARCO REFERENCIAL	23
3.2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CUENCA	23
4. OBJETIVOS	31
4.1 GENERAL	31
4.2 ESPECIFICOS	31
5. HIPOTESIS	32
6. METODOLOGIA	33
6.1. UBICACION DEL SITIO EXPERIMENTAL	33
6.2. SELECCION DE TRATAMIENTOS	33
6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL	33
6.3.1 MODELO ESTADISTICO	35
6.4. ARREGLO Y MONTAJE DEL EXPERIMENTO	35
6.4.1 CONFINAMIENTO DE LAS PARCELAS	35
6.4.2 SISTEMA COLECTOR DE AGUA Y SEDIMENTOS	38
6.4.3 INSTALACION DE APARATOS METEOROLOGICOS	36
6.4.5 ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE LOS CULTIVOS	38
6.5. VARIABLES RESPUESTA	40
6.5.1 VARIABLES AUXILIARES	40
6.6. MEDICION DE VARIABLES	40
6.6.1 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	40
6.6.2 CANTIDAD DE SUELO EROSIONADO	40
6.6.4 RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS	41
6.6.5 MEDICION DE LA PRECIPITACION	41
6.6.6 CARACTERIZACION DEL SUELO	42
6.6.7 FERTILIDAD	42
6.7. ANALISIS DE LA INFORMACION	42
7. RESULTADOS	44
7.1 PRECIPITACION	44

7.1.1	PRECIPITACION TOTAL MENSUAL	44
7.1.2	FRECUENCIA DE LA PRECIPITACION	45
7.1.3	INTENSIDAD	46
7.2	ESCORRENTIA	46
7.2.1	PORCENTAJE DE ESCORRENTIA	46
7.2.2	CANTIDAD DE ESCORRENTIA	47
7.3	SUELO EROSIONADO EN PARCELAS DE ESCORRENTIA	51
7.4	COBERTURA DE LOS TRATAMIENTOS	54
7.5	CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LOS SEDIMENTOS	58
7.6	FACTOR DE COBERTURA (Factor C)	59
7.7	RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS	60
7.8	CORRELACIONES	61
7.8.1	Suelo erosionado - Escorrentía	61
7.8.2	Erosión y escorrentía - Porcentaje de cobertura	62
7.8.3	Intensidad - Escorrentía y suelo erosionado	62
7.8.4	Lámina de suelo erosionada por el método de clavos - Lámina erosionada con el método directo	63
7.9	METODOS EMPIRICOS DE CALCULAR LA ESCORRENTIA Y LA EROSION	64
7.9.1	METODO RACIONAL	64
7.9.2	ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO POR EROSION HIDRICA REVISADA (RUSLE)	66
8.	CONCLUSIONES	68
9.	RECOMENDACIONES	71
10.	BIBLIOGRAFIA	73
	APENDICES	77

INDICE DE FIGURAS

Fig. No.		pp.
1	Localización de la cuenca a nivel nacional	24
2	Delimitación de la cuenca del río Itzapa	26
3	Localización del experimento dentro de la cuenca	34
4	Esquema de una parcela de escorrentía que se estableció en el ensayo	37
5	Porcentaje de cobertura vegetal para el sitio experimental con 25% de pendiente	56
6	Porcentaje de cobertura vegetal para el sitio experimental con 40% de pendiente	57
1A	Mapa de series de suelos de la cuenca del río Itzapa	
2A	Mapa de suelos de la cuenca del río Itzapa	
3A	Mapa de uso actual de la tierra de la cuenca del río Itzapa	
4A	Croquis de la distribución de los tratamientos	



INDICE DE CUADROS

No.		PP
1	Precipitación mensual promedio de 9 años de las estaciones "La Alameda" y "El Recuerdo" y valores registrados para el año 1994 en mm en Chicazanga, Sn. Andrés Itzapa, Chimaltenango.	44
2	Cantidad de lluvia y frecuencia para cinco clases de lluvias ocurridas en Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, en el año 1994.	45
3	Cantidad (m^3/ha y %) de escorrentía para el sitio experimental con 25% de pendiente.	46
4	Cantidad (m^3/ha y %) de escorrentía para el sitio experimental con 40% de pendiente.	47
5	Escorrentía superficial (m^3/ha), para tratamientos y repeticiones en el sitio experimental con 25% de pendiente.	47
6	Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio experimental con 25% de pendiente	48
7	Prueba de Tukey para la cantidad de escorrentía superficial en el sitio con 25% de pendiente	49
8	Escorrentía superficial (m^3/ha), observada en el sitio experimental con 40% de pendiente	49
9	Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio con 40% de pendiente	50
10	Prueba de Tukey para la cantidad de escorrentía superficial en el sitio experimental con 40% de pendiente	50
11	Cantidad de suelo erosionado (kg/ha) en el sitio con 25% de pendiente	51
12	Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25% de pendiente	52
13	Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25% de pendiente	52
14	Cantidad de suelo erosionado (kg/ha) en el sitio experimental con 40% de pendiente	53

15	Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio experimental con 40% de pendiente	53
16	Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado en las parcelas con 40% de pendiente	54
17	Cobertura vegetal (%) para el sitio experimental con 25% de pendiente	55
18	Cobertura vegetal (%) para el sitio experimental con 40% de pendiente	55
19	Partículas de suelo (%) de los sedimentos perdidos en las parcelas de escorrentía	58
20	Factor C para cada tratamiento en las dos pendientes evaluadas. (25% y 40%)	59
21	Rendimiento (kg/ha) para los cultivos establecidos en el sitio experimental con 25% de pendiente	60
22	Rendimiento (kg/ha) para los cultivos establecidos en el sitio experimental con 40% de pendiente	61
23	Valores de intensidad de cuatro eventos y cantidad de suelo erosionado (kg/ha) y escorrentía superficial (mm/ha).	63
24	Valores de suelo erosionado (ton/ha) medidos por el método directo y calculados por medio de la Ecuación Universal Revisada de Pérdidas de Suelo por Erosión Hídrica	66

EVALUACION DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE SOBRE LA
EROSION HIDRICA DEL SUELO. EN LA PARTE ALTA DE LA
MICROCUEENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO.
FASE II.

EVALUATION OF THE VEGETATION COVERAGE AND THE SLOPING ON
THE HIDRIC EROSION OF THE SOIL, IN THE UPPER PART IN
THE ITZAPA RIVER MICROBASIN, CHIMALTENANGO.
PHASE II.

RESUMEN

La investigación fué realizada en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa: en la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango: en donde constantemente se habilitan terrenos con fuertes pendientes para establecer en ellos cultivos limpios que ofrecen poca protección al suelo en contra de la erosión hídrica. Se evaluaron tres distintos tipos de cobertura vegetal en dos pendientes con el propósito de generar datos para los factores de cobertura (Factor C) de diferentes cultivos y el factor de erodabilidad del suelo (Factor K), que forman parte de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Por Erosión Hídrica (USLE); con el objeto de aprovechar y proteger los recursos naturales que esta cuenca ofrece.

Las coberturas vegetales evaluadas fueron: Pasto kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), cultivo de maíz (*Zea mays*) asociado con frijol (*Phaseolus vulgaris*) y cultivo de coliflor (*Brássica oleracea* var. *botritis*); las cuales fueron comparadas con un testigo, el cual permaneció sin cobertura todo el tiempo; las pendientes en las que se realizó el ensayo fueron de 25% y 40%, respectivamente.

En el ensayo se establecieron parcelas de escorrentía de 10 m. de longitud y 5 m. de ancho (50 m²) equipadas con estructuras para conducir y coleccionar el escurrimiento superficial y los sedimentos.

Los principales resultados obtenidos muestran que el mayor volumen de escorrentía se dió en la cobertura de coliflor (807 m³/ha para 25% de pendiente y 836 m³/ha para 40%) seguida por la de maíz (715 m³/ha en 25% de pendiente y 819 m³/a para 40%); mientras que, el menor en la cobertura de pasto (525 m³/ha para 25% de pendiente y 548 m³/ha para 40%); de igual forma ocurrió con la cantidad de suelo erosionado para las dos pendientes evaluadas; para la cobertura de coliflor 44 ton/ha y 66 ton/ha para 25% y 40% de pendiente respectivamente; para cobertura de maíz 27 ton/ha y 34 ton/ha para 25% y 40% de pendiente respectivamente y para la cobertura de pasto de 7 ton/ha y 6 ton/ha para 25% y 40% de pendiente respectivamente.

Las arenas constituyeron el mayor porcentaje de las partículas del suelo erosionado debido a las características físicas del horizonte superior de los suelos evaluados (franco-arenosos).

El factor de cobertura (factor C) con coliflor fué de 0.84 y 0.78 para los suelos con 25% y 40% de pendiente respectivamente; mientras que, los valores para el tratamiento de pasto fueron los más bajos con 0.13 y 0.07 para 25% y 40% de pendiente respectivamente; debido a que este tratamiento fué el que brindó el mayor porcentaje de cobertura al suelo y consecuentemente el que brindó mayor protección en contra de la erosión del suelo.

La lámina de suelo erosionada por el método de clavos presentó una muy baja correlación con la cantidad de suelo medido directamente en las parcelas de escorrentía; debido a que, el suelo por ser franco y suelto fácilmente es disturbado por taltuza (*Geomis sp.*) y otras especies animales, en consecuencia la lámina medida no es confiable.

1. INTRODUCCION

En Guatemala, dado que la principal actividad económica de producción y subsistencia de la mayoría de los habitantes es la agricultura, el avance de la frontera agrícola ha alcanzado grandes niveles de ocupación espacial, con lo cual, constantemente se habilitan terrenos con fuertes pendientes, cuya vocación no es precisamente para agricultura y en ellos se establecen cultivos limpios.

La microcuenca del río Itzapa, ubicada dentro de la cuenca del río Achiguate, es un área en donde se está desarrollando este problema, ya que, tierras que presentan una alta o muy alta susceptibilidad a la erosión se han habilitado para establecer en ellas cultivos limpios (principalmente hortalizas) que ofrecen muy poca protección al suelo; además no se implementan prácticas de conservación de suelos. Esto ha ocasionado que el cauce de dicho río arrastre grandes cantidades de suelo y nutrientes de las partes altas hasta llegar a una zona de asolvamiento en las partes bajas de la cuenca. (5)

Una alternativa para el manejo de los suelos destinados al uso agrícola en esta cuenca, tendente a reducir el problema de la erosión hídrica, es la aplicación de técnicas adecuadas de conservación de suelos. Sin embargo se hace necesario realizar estudios básicos que permitan en un futuro alabarar un plan adecuado de manejo y conservación de esta área.

Tomando en cuenta lo anterior, la Dirección General de Investigación (DIGI), y el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA), dentro de su programa de Recursos Naturales Renovables, estableció un programa en dicha cuenca, con el fin de estudiar algunos componentes de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), y así llegar a planificar los mejores usos de la tierra.

La presente investigación se realizó en la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, un área característica de la parte alta de la cuenca del río Itzapa: en la época lluviosa del año 1994.

En la primera evaluación de la cobertura y la pendiente del terreno en la cuenca del Río Itzapa, Cardona (4) recomienda continuar evaluando las mismas coberturas y en las mismas pendientes durante varios años para obtener mayor confiabilidad en los datos; además en dicho trabajo se registraron valores de escorrentía y sedimentos en el tratamiento de maíz y los menores para el tratamiento de pasto por lo cual en el presente trabajo se evaluaron los mismos tipos de cobertura vegetal en las mismas pendientes.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala es un país con características topográficas que abarca una vasta zona de cordilleras alternadas por altas cumbres, laderas y valles angostos; en donde, pequeños ríos y quebradas conforman un gran número de cuencas. (16)

La cuenca del río Achiguate (ubicada en la vertiente del Pacífico), presenta características físicas de sus suelos que los hacen susceptibles a la erosión, aunado a que en ella se encuentran grupos poblacionales dispersos que ejercen una fuerte presión sobre los frágiles recursos allí presentes, haciendo más fuerte el arrastre de sedimentos de la parte alta de la cuenca hacia la parte media y baja de la misma.

Los elementos del ciclo hidrológico (precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación), constituyen el aspecto básico de información en estudios de transporte de sedimentos, erosión y manejo de cuencas; los cuales contribuyen al deterioro del recurso suelo.

Como efecto de la pérdida del suelo y formación de escorrentía superficial se arrastran nutrientes del suelo y materia orgánica que contribuyen a:

- i. Alterar la calidad del agua de cuerpos receptores, disminuyendo el uso potencial de éstos.
- ii. Disminuir la fertilidad de los suelos.
- iii. Perder el suelo propiamente o reducir su tasa de formación.

En nuestro medio se carece de investigación básica en lo relativo a técnicas de estudio, planificación y manejo a nivel de cuencas hidrográficas, y para la realización de la misma se hace necesario efectuar estudios en períodos de

tiempo relativamente largos; por tal razón la Dirección General de Investigación (DIGI) y el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) realizan un proyecto de diez años que inicialmente estudia las bases y principios de los procesos erosivos y finalmente evalúan técnicas de conservación de suelos en la cuenca del río Itzapa, el cual se inició en la época lluviosa del año 1993. El presente estudio constituye la fase II en la cual se pretende continuar generando datos para los factores de cobertura (factor C) de diferentes cultivos y el factor de erodabilidad del suelo (factor K), que forman parte de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo por Erosión Hídrica (USLE); para continuar las actividades iniciadas con el objeto de aprovechar y proteger los recursos naturales que la misma ofrece.

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL:

3.1.1 FACTORES DE LA EROSION Y LA ESCORRENTIA:

Los cuatro factores principales que determinan la escorrentía y las pérdidas de suelo por la erosión son: clima, la topografía, la vegetación y el suelo. (11,17,18)

a) EL CLIMA

La erosión es causada por la acción sobre el suelo de factores climáticos bien definidos como el agua y el viento: los cuales en ciertas regiones del globo tienen carácter agresivo, lo cual provoca una degradación rápida de los horizontes superficiales, cuando el suelo no está bien protegido por una vegetación lo suficientemente densa. (11)

El factor climático de mayor incidencia en la manifestación y desarrollo de la erosión hídrica está constituido por las lluvias (18,27). Experimentos realizados en Madagascar y Africa (10), determinaron que las características pluviométricas más importantes son: la columna de agua, la intensidad y la frecuencia de la lluvia.

i. La columna de agua:

Según Apolo (1), la cantidad de lluvia necesaria para que se produzca escorrentía superficial significativa y erosión varía de un lugar a otro.

Según Jackson y Kowal citados por Apolo (1), no es tanto la cantidad anual de la precipitación que cae sobre un lugar, sino el efecto de aguaceros o eventos individuales los que determinan las pérdidas de agua y suelo.

ii. Intensidad:

La intensidad es la lámina de agua que cae por unidad de tiempo expresada generalmente en milímetros por hora. (3) Es el factor pluviométrico más importante que afecta la escorrentía y la erosión, constituyéndose en un importante parámetro potencial de erosividad. (15,27)

La relación entre la intensidad del aguacero y las pérdidas de erosión son diferentes, de tal manera que grandes cantidades de lluvia a bajas intensidades pueden causar una erosión total mucho menor que pequeñas cantidades de lluvia a altas intensidades. (11)

En un experimento realizado en el área del proyecto de conservación de suelos de la cuenca del río Michatoya, Guatemala (26), se estableció que un aguacero fué el responsable del 61.7% del total de las pérdidas de suelo registradas para ese año.

Gourgon et al (10) señala que el estado de saturación del suelo juega un papel muy importante en la caracterización de los aguaceros erosivos, por lo tanto las lluvias de fuertes intensidades que se suceden a intervalos cortos causan sin duda la máxima erosión.

iii. Frecuencia:

Está dada por los intervalos entre las lluvias. Intervalos cortos aumentan los riesgos de que se originen escorrentías aun con lluvias de baja intensidad; debido a que el contenido de humedad del suelo al comenzar éstas

será alto. (18,27)

b) LA TOPOGRAFIA

El grado, la longitud y la uniformidad de la pendiente son las características topográficas de mayor influencia en relación con el desarrollo de los procesos erosivos. (18)

El tamaño y la cantidad de material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión dependen de la velocidad con que ésta fluye, la cual, a su vez, es una resultante de la longitud y el grado de pendiente del terreno. (27)

i. Grado de la pendiente:

El grado de la pendiente del terreno es usualmente más importante que su longitud con respecto a la severidad de la erosión. (18)

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. (11)

ii. Longitud de la pendiente:

El efecto de la longitud de la pendiente varía considerablemente con el tipo de suelo. En suelos de buena permeabilidad, pendientes de mayor longitud producen menor escorrentía que pendientes cortas, pues hay mayor oportunidad para que el agua se infiltre, dependiendo de la humedad del suelo. (16)

Sin embargo, según Millar (21) los terrenos con pendientes moderadas de gran longitud pueden sufrir una

mayor erosión que los que tienen pendientes mayores, pero de poca longitud.

c) LA COBERTURA VEGETAL

La cubierta vegetal es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión. Toda planta, desde las más minúscula hierba hasta el árbol más corpulento, defiende el suelo de la acción perjudicial de las lluvias en forma y proporción diferentes. (27)

La vegetación juega un papel muy significativo en el control de la erosión y sus efectos, el cual puede resumirse en dos aspectos: i) Actúa como interceptora de las gotas de lluvia y ii) Disminuye el volumen y la velocidad de la escorrentía. (11,18)

Un suelo cubierto por una vegetación permanente, pasto o bosque, no muestra prácticamente señales de erosión. puede haber escorrentía si la pendiente es fuerte, pero las pérdidas de tierra son nulas. Experimentos realizados en Sefá, Senegal (11) demostraron que el bosque protege al suelo 40 veces más que el barbecho natural y si un cultivo cubre bien al suelo, la erosión no sobrepasa de unas pocas toneladas por hectárea por año: en cambio, si las siembras son poco densas las pérdidas de suelo alcanzan de 8 a 15 ton/ha/año y si los cultivos son diezmados por los insectos o las enfermedades, la erosión puede elevarse hasta 50 ton/ha/año.

Forsythe (9) en experimentos realizados en San Isidro de El General, Costa Rica, encontró una relación de pérdidas de suelo de 6:1 entre una parcela sin cobertura y otra con cobertura de pasto.

d) SUELOS

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. (27)

Baver et al citado por López (18) señala que los efectos de las propiedades del suelo sobre la erosión hídrica se manifiesta de dos formas: 1) aquellas propiedades que determinan la habilidad del suelo para permitir la penetración de la lluvia, la cual depende de: i) la condición de la superficie del suelo, representada por su porosidad; ii) el contenido de humedad del suelo al momento de ocurrir la lluvia; y iii) la permeabilidad del perfil del suelo. 2) Por las propiedades que imparten al suelo su resistencia a la dispersión, entre las cuales se encuentran la estructura, la textura, la mineralogía de las arcillas, el contenido de materia orgánica, los agentes cementantes, etc.

La profundidad del suelo y las características del subsuelo son también muy importantes y deben ser consideradas al elevar la erodabilidad o susceptibilidad de los suelos a la erosión. Asimismo el efecto de piedra tiene una importancia primordial sobre la protección de un suelo, debido a que el arrastre de suelo se debe sobre todo al choque de las gotas de agua sobre éste (efecto-impacto), así en general, todos los suelos que presentan un horizonte superficial granzoso son menos sensibles a la erosión que los otros. (11,15)

La consecuencia de la erosión no es solamente el arrastre de cierta cantidad de suelo; ella ejerce también una acción selectiva sobre los elementos constitutivos

del suelo. Esto es lo que se le llama "erosión de la fertilidad", la cual se manifiesta en una modificación de las propiedades físicas y químicas del suelo. (27)

Es más fácil visualizar los daños que la erosión ocasiona a los terrenos teniendo información no solo sobre las toneladas de suelo perdido sino también sobre los kilogramos de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio extraídos por la escorrentía.

3.1.2 ETAPAS DEL PROCESO DE EROSION HIDRICA:

Por erosión hídrica se entiende al complejo proceso de separación y transporte de las partículas del suelo pendiente abajo, por la acción del impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía. (20)

El proceso de erosión hídrica se realiza en tres etapas consecutivas, que dependerán de las condiciones en que se encuentre el suelo en cuanto a cubierta vegetal, características físicas y al uso y manejo que se haga de éste, dependiendo además de la intensidad, cantidad y duración de la precipitación. Estas tres etapas son las siguientes:

- i. Desprendimiento
- ii. Arrastre
- iii. Deposición

i. DESPRENDIMIENTO:

Esta etapa consiste en el desprendimiento inicial de las partículas primarias del suelo por acción del impacto de las gotas de lluvia en su superficie, conociéndose éste como salpicadura del suelo. En esta etapa tiene especial importancia el estado de cubierta vegetal. Suelos sin cubierta vegetal están sujetos a mayor desprendimiento que aquellos que se encuentran cubiertos

por vegetación en su superficie. (26)

La textura es otro factor importante a considerar, ya que los suelos arenosos están sujetos a mayor desprendimiento que los arcillosos. (26)

ii. ARRASTRE O TRANSPORTE:

Es provocado por el escurrimiento superficial del agua de lluvia que no logra infiltrarse en el suelo. Los factores que influyen o determinan esta etapa son: El escurrimiento superficial, la pendiente del terreno y la textura. (26)

Los volúmenes de escurrimiento superficial dependerá de la cantidad, intensidad y distribución de las lluvias, y por la capacidad de infiltración del agua en el suelo. A mayor cantidad e intensidad de lluvia, habrá mayor escurrimiento.

La pendiente influye en esta etapa del proceso, ya que determina la velocidad con que el agua escurre a través de la superficie del terreno.

Teóricamente las relaciones entre la velocidad del agua y su poder erosivo son de la magnitud 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.

La textura del suelo también es un factor que influye en esta etapa, ya que partículas de arcilla son más fáciles de transportar, esto es porque el transporte aumenta al disminuir el tamaño de las partículas. (7)

iii. DEPOSICION:

Se presenta cuando la capacidad de arrastre del agua ya no es suficiente para continuar el transporte y se da el hundimiento del material en suspensión (suelo erosionado), lo cual ocurre al presentarse cambios de pendiente o algún obstáculo que disminuya la velocidad del agua de escurrimiento. (26)

Como ejemplo de deposición López (18), reporta que para la cuenca del río Pensativo se depositan en el cauce anualmente aproximadamente 40,000 metros cúbicos de sedimentos.

3.1.3 PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS:

Todas las prácticas encaminadas a aumentar la resistencia del suelo o disminuir las fuerzas que intervienen en la erosión, se denominan prácticas de conservación de suelos. (26)

Según López F. (18) el manejo conservacionista de

los suelos puede clasificarse en dos grupos de técnicas: las biológicas y las mecánicas.

A. TECNICAS BIOLOGICAS

Consisten en procedimientos que tienen como objetivo la obtención de una cobertura adecuada y lograr el fortalecimiento de las propiedades y cualidades de los suelos para hacerlos más resistentes al proceso de erosión: a estas técnicas también se les conoce como prácticas agronómicas y culturales de conservación de suelos. (6.27)

Las prácticas agronómicas y culturales son las más sencillas de ejecutar y de mantener, y entre las principales están: a) la distribución adecuada de los cultivos, b) la siembra en contorno, c) la siembra en fajas, d) las rotaciones de cultivos, e) abonos verdes y plantas de cobertura y f) barreras vivas.

a) Distribución de los cultivos:

La distribución de los cultivos, constituye la base de todo programa de conservación y los mismos deben establecerse de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra: según la clasificación agrológica de la misma.

b) Siembra en contorno:

Consiste en disponer las hileras de siembra y verificar las labores de cultivos en forma transversal a la pendiente siguiendo la curva de nivel. (27)

El establecimiento de los surcos perpendiculares a la pendiente, y por ende al escurrimiento, ocasiona una fuerte disminución del proceso erosivo, por la fragmentación que causan los surcos al actuar como microdiques. (19)

c) Cultivos en fajas:

Esta práctica consiste en establecer bandas cultivadas de anchura variable sobre terrenos con pendientes del 2-15%, siguiendo el sentido general de la curvas de nivel, de tal forma que se alternen plantas que ofrecen poca protección al suelo con otras de crecimiento denso. (19,27)

d) Barreras vivas:

Son hileras de plantas perennes o semi-perennes de crecimiento rápido y denso, que se cultivan transversalmente a la pendiente del terreno, con determinado distanciamiento horizontal, el cual depende de la pendiente del terreno, y que casi siempre siguen las curvas de nivel. (19,27)

Es deseable que las especies utilizadas para barrera viva posean características tales como ser de crecimiento rápido, enraizamiento profundo, reacción favorable al enterrado de su base, reproducción asexual, buen amacollamiento y que sean perennes o de vida larga. (13,19)

e) Rotación de cultivos:

Consiste en una sucesión de diferentes cultivos en ciclos agrícolas continuos en el mismo terreno. Con una buena rotación de cultivos se logrará mejorar las condiciones del suelo, lo cual se reflejará en reducciones grandes en las pérdidas de suelo y agua. En lo posible, los cultivos que se suceden en la rotación deben tener exigencias alimenticias diferentes, no ser susceptibles a las mismas plagas y enfermedades y ofrecer grados diferentes de protección al suelo. (27,29)

f) Plantas de cobertura y abonos verdes:

Las plantas de cobertura se utilizan para protección

del suelo contra la acción de las lluvias y mejorar sus condiciones físicas y químicas para el crecimiento del cultivo posterior y cuando esas plantas se entierran se denominan abonos verdes y sus efectos benéficos en el suelo son por el aumento de la materia orgánica y los efectos que ésta tiene sobre las propiedades físico-químicas del suelo, lo cual influye en una reducción en la escorrentía y por ende en la pérdida del suelo por la erosión. (19,29)

B. TECNICAS MECANICAS

Son todas aquellas prácticas que comprenden trabajos de conservación de suelos de naturaleza física. (27,29)

Las técnicas mecánicas consisten en realizar movimientos de tierra modificando las características topográficas del terreno (longitud y grado de pendiente) y facilitando la evacuación del agua, disminuyendo los escurrimientos superficiales y la erosión. (7,19)

Suárez de Castro (27) indica que las principales prácticas mecánicas son: a) los canales de desviación, b) las terrazas, c) las acequias de ladera y d) las represas.

a) Canales de desviación:

Son zanjas que se construyen para cortar el flujo del agua de escorrentía de predios más altos a los terrenos de cultivo y llevar esas aguas a un desagüe bien protegido, impidiendo que causen daños en áreas vecinas más bajas. (27)

b) Terrazas:

Son camellones o terraplenes, o la combinación de

bordos y canales, construídos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno, con el objeto de interceptar y desviar la escorrentía o acumularla en canales para facilitar su infiltración y almacenamiento en el suelo. (7.19)

Miranda (22) menciona que en la región norte de Guatemala, la construcción de terrazas de banco continuas, es la práctica que presenta mayor eficiencia en el control de la erosión hídrica; sin embargo, su costo de construcción es mucho más elevado que las otras prácticas de conservación y en la mayoría de los casos es utilizada con cultivos de baja rentabilidad de la región (maíz), lo que no justifica su costo de construcción ni permite darle el mantenimiento respectivo a las mismas.

e) Acequias de ladera:

Son canales normalmente de sección trapezoidal de 30 cms. de profundidad y de ancho en el fondo, con taludes 1:1 y desnivel variables, construídos siguiendo una curva a nivel del terreno. Normalmente a 15 cms. del borde superior de la acequia y a todo lo largo de ella, se siembra una barrera viva con el objeto de filtrar el agua que llegue al canal y en esa forma disminuir la cantidad de material que en él se deposita. (13.27)

3.1.4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO USLE:

El modelo de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), ha permitido estimar las pérdidas por efecto de la erosión hídrica tipo laminar en diferentes partes del mundo, dada la facilidad de su aplicación. (2)

La ecuación de pérdidas de suelo está definida por:

$$A = R K L S C P \quad \text{Donde:}$$

- A: Cantidad estimada de pérdidas de suelo por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para el factor K y para el período seleccionado para el factor R. Generalmente está dado en toneladas por acre por año, al multiplicarla por 2.242 la convertimos en ton/ha/año.
- R: Factor de erosividad de las lluvias.
- K: Factor de erodabilidad del suelo.
- L: Factor de longitud de pendiente.
- S: Factor de pendiente.
- C: Factor de cobertura
- P: Factor de prácticas de conservación de suelos.

a. Erosividad de las lluvias (factor R)

El valor numérico usado para el factor R en la ecuación universal de pérdidas de suelo, debe cuantificarse del efecto que causa el impacto de las gotas de lluvia y también debe proveer información relativa a la cantidad y tasa de escorrentía como para ser asociada con la lluvia. (2)

Cuando los factores de la ecuación universal de pérdidas de suelo 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 EI para diferentes tormentas en un período dado, representa una medida numérica del potencial erosivo de las lluvias para tal período. El promedio anual total de los valores de I para diferentes tormentas en una localidad particular, representa el índice de erosividad de la lluvia para tal lugar.

Las lluvias menores de 12.7 mm y separadas con un intervalo de tiempo de 6 horas, pueden omitirse para el cálculo del índice de erosividad. (2)

Los valores de EI para una tormenta dada, por definición, es igual al producto de la energía total (E), tantas veces se presente la máxima intensidad de 30 min. (I_{30}), donde la cantidad de E (energía) está expresada en cientos de toneladas-piés/ acre e EI en pulg/hr. (2)

Las gotas de agua 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 es función de la cantidad de lluvia y de todas las intensidades que compongan dicha tormenta. El tamaño promedio de las gotas de lluvia se incrementa con la intensidad y, la velocidad final de las gotas de una lluvia aumenta con el tamaño de las gotas. Dado que la energía de una masa dada en movimiento es proporcional al cuadrado de la velocidad, la energía de la lluvia tiene relación directa con la intensidad de la lluvia.

La relación es expresada con la relación:

$$E = 916 + 331 \log I \quad \text{Donde:}$$

E: Energía cinética en pies/ton/acre/pulg

I: Intensidad en pulg/hr. En el límite de 3"/hr, se considera que el tamaño promedio de las gotas de agua ya no aumenta cuando la intensidad excede a las 3"/hr.

La ecuación en el sistema internacional es:

$$e = 451 + 331 \log (im)$$

$$em = 0.119 + 0.0873 \log (im)$$

$$im = 76 \text{ mm/hr}$$

$$em = 0.283$$

$$im = 76 \text{ mm/hr} \quad \text{Donde:}$$

em : Unidades Megajoule por ha. por mm. de lluvia.
(MJ/ha/mm)

im : Intensidad máxima en mm/hr. (2)

b. Erodabilidad del suelo (factor K)

El significado del término "erodabilidad del suelo" difiere del término "erosión del suelo". La tasa de erosión del suelo (A), en la ecuación de pérdidas de suelo, puede ser influenciado más por la pendiente del suelo, longitud de pendiente, características de la lluvia, cobertura y el manejo del cultivo, que por las propiedades inherentes al suelo. Sin embargo, un determinado tipo de suelo puede erodarse más fácilmente que otro, cuando todos los factores se mantienen constantes. Estas diferencias causadas por las propiedades del suelo mismo se refieren a la erodabilidad del suelo. (2)

El factor erodabilidad del suelo (factor K) es un valor cuantitativo determinado experimentalmente. Para un suelo particular, es la tasa de suelo perdido por índice de erosión medido en una parcela estandar (22.13 m. de largo y 9% de pendiente). (2)

El factor K se calcula mediante la relación:

$$100K = 2.1 M^{1-14} (10^{-4})(12^{-a}) + 3.25(b^{-2}) + 2.5(c^{-3})$$

Donde:

M: (% limo + % arena muy fina) (100 - % arcilla)

Se considera limo a las partículas de 0.05 a 0.002 mm. y de 0.1 a 0.05 mm. para las partículas de arena muy fina.

a: % de materia orgánica

b: Códigos de estructura del suelo, usados en la siguiente clasificación:

1. Estructura granular muy fina
2. Estructura granular fina
3. Estructura granular media a gruesa
4. Estructura en bloques, laminar o masiva

c: Clase de permeabilidad del perfil del suelo

1. Muy lenta menor de 0.13 cm/h.
2. Lenta: de 0.13 a 0.51 cm/h.
3. Moderadamente lenta de 0.51 a 2.00 cm/h.
4. Moderada: de 2.00 a 6.3 cm/h.
5. Moderadamente rápida: de 6.3 a 12.7 cm/h.
6. Rápida: de 12.7 a 25.4 cm/h.
7. Muy rápida: mayor de 25.4 cm/h.

c. Factor topográfico (LS)

El factor LS es la relación de pérdida de suelo que se espera por unidad de área en una pendiente cualquiera a la pérdida correspondiente en una pendiente del 9% de 22.13 mts. de longitud. (30)

La ecuación para el factor LS es:

$$LS = (0.0138 + 0.0096S + 0.00138 S^2) X$$

Donde:

X: Longitud de la pendiente del campo en m.

S: Inclinación de la pendiente en %.

d. Factor de cobertura (C)

El factor de cobertura se obtiene de la relación de la cantidad de suelo perdido bajo un determinado cultivo y la pérdida de suelo en áreas desnudas, labradas en dirección paralela a la pendiente. Este factor mide las combinaciones de los efectos de todas las interrelaciones de las variables cobertura y manejo. (2)

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 Pérdidas de Suelo. Este factor depende de las combinaciones de cobertura (estado particular del cultivo, crecimiento y desarrollo de la cobertura en el periodo de lluvia), y prácticas de manejo del cultivo. (2)

El modelo divide el ciclo del cultivo en los siguientes períodos:

- SB: (siembra) Desde la labranza secundaria hasta que el cultivo ha desarrollado un 10% de cobertura.
- 1: Desde que el cultivo ha desarrollado un 10% hasta un 50% de su cobertura.
- 2: Desde que el cultivo ha desarrollado de un 50% a un 75% de su cobertura.
- 3: (cultivo maduro), desde el final del período 2 a la cosecha.
- 4: De la cosecha a la labranza primaria.

e. Factor de prácticas de conservación (P)

Por definición el factor P en la USLE, es la relación que hay entre las pérdidas de suelo que ocurren en un suelo bajo una determinada práctica de conservación de suelo y las pérdidas de suelo que ocurren en la misma área sin prácticas de conservación. (2)

3.1.5 MEDICION DE LA ESCORRENTIA Y LA EROSION:

Los lotes de escurrimiento o parcelas experimentales constituyen la metodología más confiable para determinar las pérdidas de suelo por efecto de la erosión hídrica. (7)

Las parcelas experimentales están constituidas básicamente de dos partes: i) el área experimental y ii) los dispositivos receptores del agua y del suelo que provienen del área experimental por efecto del escurrimiento originado por la lluvia. (23) (Fig. 4)

a) El 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. (23)

b) El sistema receptor.

Sus partes son:

1. Canal colector: Situado en la parte inferior del área experimental, constituye el límite inferior de ésta. Su función es colectar el agua y la tierra arrastrada durante el proceso de escurrimiento y erosión.

2. Canal evacuador: Conduce el agua y los sedimento del canal colector hacia el tanque receptor.

3. Tanques receptores: Depósitos donde se acumulan el agua escurrida y los elementos sólidos arrastrados. (23)

3.1.6 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRIMERA EVALUACION:
"EVALUACION DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE DEL TERRENO, EN LA EROSION HIDRICA DEL SUELO EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO. FASE I".

El proyecto "Investigación básica para la planificación de la cuenca del río Itzapa", desarrolló el proyecto de evaluación en su primera fase en el año 1993.

Las coberturas que se evaluaron fueron: pasto, brócoli y maíz en suelos con pendientes de 25% y 40%.

A continuación se presenta una síntesis de la información obtenida:

Los mayores valores de escorrentía superficial se reportaron en el tratamiento de maíz en las dos pendientes evaluadas; mientras que, en el tratamiento de pasto se reportaron los menores valores; sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre

tratamientos.

Los valores de suelo erosionado fueron mayores para el testigo tanto en la pendiente de 25% como en la de 40%; los valores más bajos correspondieron a la cobertura de pasto.

A excepción del tratamiento de pasto, todos los demás registraron mayor cantidad de suelo erosionado en la pendiente de 40%; lo que confirma la premisa de que a mayor pendiente, mayor erosión.

Los valores del factor de erodabilidad (factor K) determinado fueron de 0.27 para el suelo con 25% de pendiente y de 0.30 para el de 40% de pendiente.

Los valores del factor de cobertura (Factor C) fueron decrecientes para el tratamiento de pasto, brócoli y maíz. (4)

3.2. MARCO REFERENCIAL.

3.2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CUENCA

A. UBICACION:

La cuenca del río Itzapa se encuentra ubicada en la parte alta, al noroeste de la cuenca del río Achiguate, entre los meridianos $90^{\circ}49'$ y $90^{\circ}54'$ de longitud Oeste y los paralelos $14^{\circ}34'48''$ y $14^{\circ}39'$ de latitud Norte. La extensión que cubre es de 25.4 kms^2 . (Fig. 1)

La superficie de la cuenca está comprendida en su totalidad dentro de la jurisdicción municipal de San Andrés Itzapa, Chimaltenango; abarca parcialmente dentro

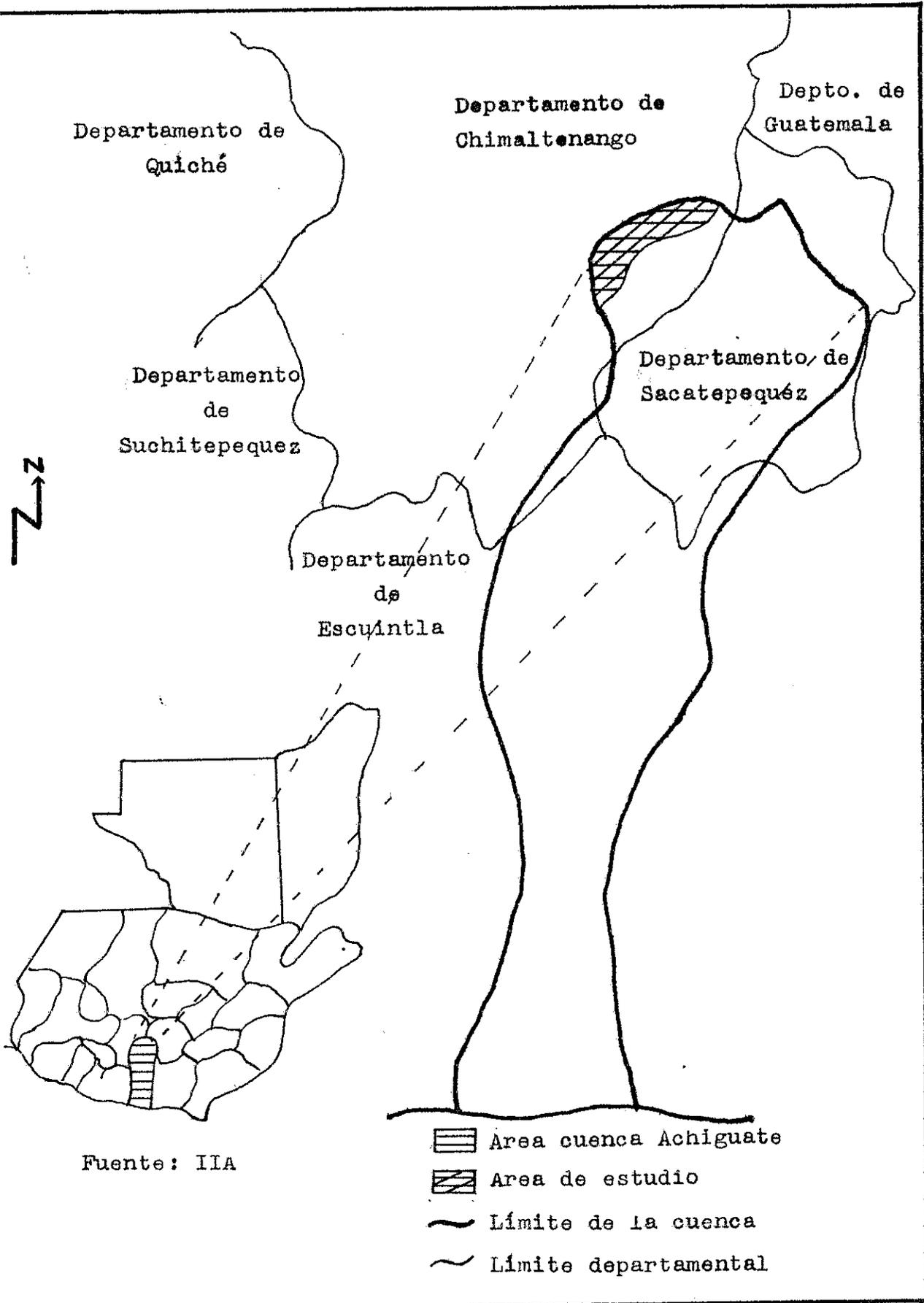


Figura 1: Localización de la cuenca a nivel nacional

de su área a esta cabecera municipal, la aldea Chicazanga y la aldea El Aguacate. (28) (Fig. 2)

Cuenta en su delimitación con la montaña El Socó, con una altura de 2266 msnm y la montaña El Socorro; las cuales sirven de parteaguas de la cuenca y son los principales accidentes topográficos de la misma. (28)

B. CLIMA Y ZONA DE VIDA:

El clima de acuerdo a la clasificación de Thornwhaite se denomina Bi: templado con invierno benigno y húmedo con invierno seco y se codifica en la unidad B'2b'. (14)

La temperatura media anual registrada para el año 1994 fué de 17.59 °C, la temperatura máxima promedio de 22.81 °C y la mínima promedio de 12.36 °C; la precipitación total de 1239.84 mm anuales y la evaporación total de 1467.82 mm anuales.

La precipitación media anual de la cuenca es de 1097.23 mm., del cual se estimó un volumen total precipitado anualmente de 27,869,642 metros cúbicos para toda la cuenca para el año 1987. (28)

De acuerdo a la clasificación de Holdridge, el área presenta dos zonas de vida: Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical que abarca la mayor parte del área en las elevaciones media y bajas; y Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical en las elevaciones altas. (28)

El área donde se realizó la investigación se encuentra dentro de la zona de vida correspondiente a Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical.

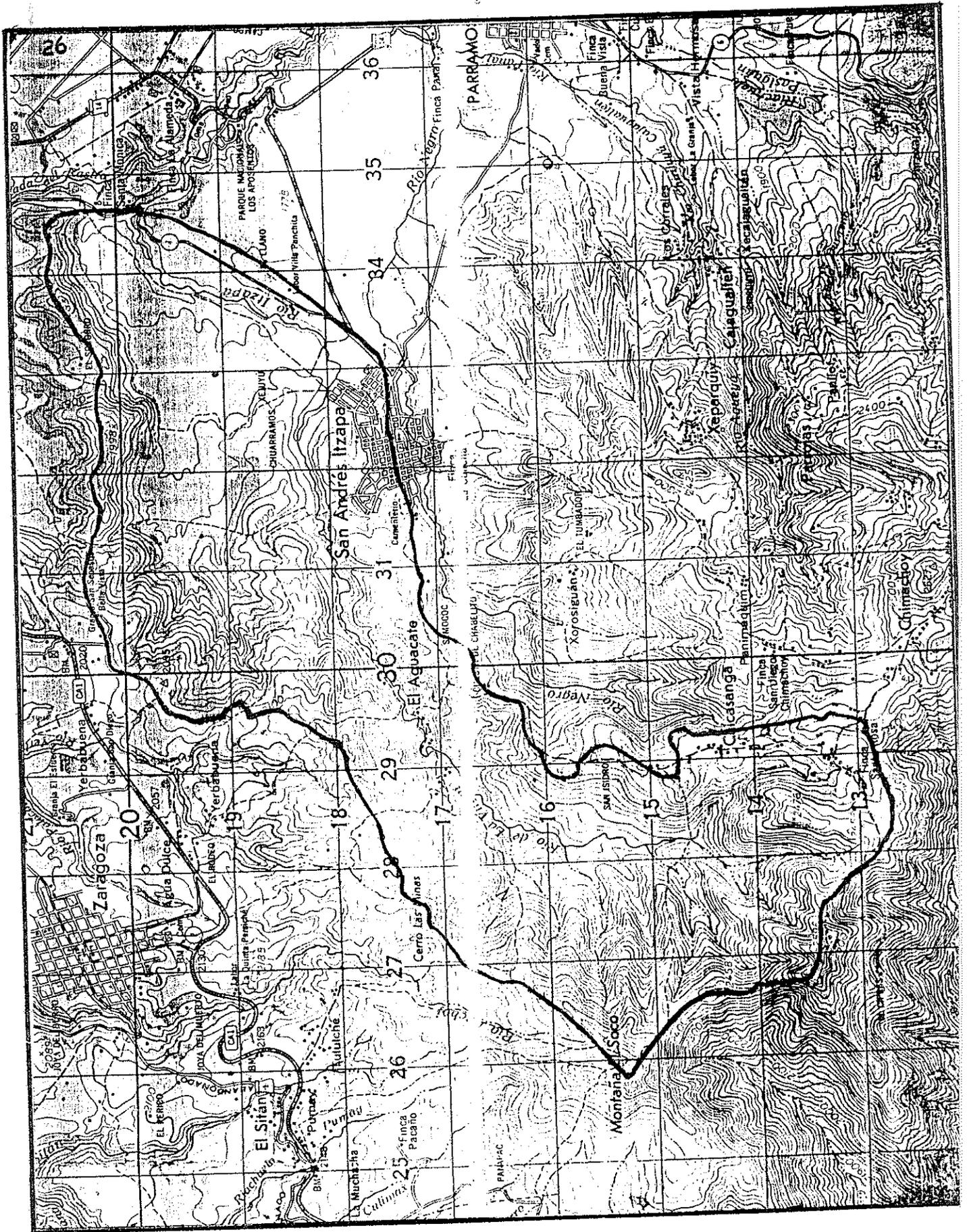


Figura 2: Delimitación de la cuenca del río Itzapa

C. GEOMORFOLOGIA Y FISIOGRAFIA

Los suelos del área ocupan desde relieves accidentados con pendientes fuertes, hasta zonas de valle en la parte baja. Las alturas sobre el nivel del mar van desde los 1750 m en la parte más baja a 2668 en la parte más alta. (28)

Fisiográficamente la cuenca está comprendida en la región de las Tierras Altas Volcánicas. (28)

D. GEOLOGIA:

Según el mapa geológico Hoja Chimaltenango de Guatemala, escala 1:50,000 del IGM, en el área se identifican dos formaciones: Qt y Qtd. (12)

Qt : Comprende Tephra pómez gris a blanco y ceniza gris a negro interestratificada.

Qtd: Comprende Tephra interestratificada con diámicetos pomáceos.

E. SUELOS Y TIERRA:

En la cuenca se diferencian tres series de suelos según la clasificación de Simmons; a saber: Alotenango, Tecpán y Patzicía. La primera cubre mayor extensión que la segunda y la segunda mayor que la tercera. (14) (Fig. 1A)

En su mayoría los suelos se clasifican taxonómicamente en el orden de los Inceptisoles: Typic Eutrandepts y Typic Vitrandepts, con clases de capacidad de uso de la tierra de la II a la VII, con limitaciones en la erosión y escurrimiento superficial. (Fig. 2A)

El suelo en donde se establecieron las parcelas de

escorrentía se clasifican dentro de los suelos Vitric Hapludans, familia cenisosa isomésica.

F. HIDROLOGIA:

La principal corriente de la cuenca es el río Itzapa, el cual nace en la montaña El Socó, en donde recibe el nombre de Río de la Virgen, en seguida Río Itzapa, para convertirse en Guacalate hasta Masagua, a partir de donde se llama Achiguate hasta el Océano Pacífico.

Según la curva de duración de caudales elaborada por Tojín (28), muestra que el caudal característico medio es de $0.127 \text{ m}^3/\text{seg.}$; el caudal característico máximo es de $0.370 \text{ m}^3/\text{seg}$ y el caudal característico de estiaje es de $0.091 \text{ m}^3/\text{seg.}$

El rango de los caudales medios diarios va de 0.034 a $0.557 \text{ m}^3/\text{seg.}$; es decir, su valor es de $0.523 \text{ m}^3/\text{seg.}$

El volumen de la escorrentía superficial anual obtenido es de $3.342,816 \text{ m}^3$. (28)

G. USO DE LA TIERRA:

Se determinó para la cuenca del río Itzapa los usos de la tierra (1994): 17.93% (4.7 km^2) bosque de coníferas abierto; 22.9% (6.01 km^2) horticultura, cultivos anuales y praderas; 2.4% (0.63 km^2) bosque de coníferas denso; 0.93% (0.25 km^2) bosque latifoliar abierto; 2.32% (0.61 km^2) cultivo permanente de café; 0.57% (0.15 km^2) horticultura, cultivos anuales y centros urbanos; 4.31% (1.13 km^2) centro poblado urbano; 0.27% (0.07 km^2) bosque abierto de coníferas y café; 3.39% (0.89 km^2) cultivos anuales y horticultura; 0.19% (0.05 km^2) bosque

latifoliar bajo; 15.77% (4.14 km²) bosque latifoliar denso: 0.80% (0.21 km²) cultivos anuales y permanentes; 11.58% (3.04 km²) bosque mixto bajo; 0.80% (0.21 km²) cultivos anuales; 1.90% (0.50 km²) cultivos anuales y bosque de coníferas; 1.48% (0.39 km²) bosque mixto abierto; 3.92% (1.03 km²) bosque latifoliar disperso; 3.39% (0.89 km²) horticultura, cultivos anuales y centro poblado rural; 2.63% (0.69 km²) praderas no mejoradas y cultivos anuales y 2.51% (0.66 km²) bosque latifoliar disperso, horticultura y cultivos anuales. (16) (fig 3A)

H. CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA:

La parte alta de la cuenca del río Achiguate (subcuenca del río Itzapa) considerada en su mayoría tierras no aptas para la agricultura es la que posee mayor presión de uso, cultivada con maíz, frijol, hortalizas en tierras con clases de capacidad de uso VII y VIII. La subcuenca del Río Itzapa presenta el mayor deterioro de la cuenca del Achiguate, alta densidad de población, analfabetismo, minifundio, erosión, escorrentía excesiva que causa inundaciones en la parte baja. (8)

El área en donde se realizó el estudio se encuentra en el límite de las clases IV^{ec} y VII^{ec}. La parte alta comprende además las clases IV^e, VII^e y VIII^{es}. (16)

I. PRINCIPALES RASGOS SOCIOCULTURALES DE LA POBLACION DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA:

Las personas del área celebran ritos en el aspecto de salud al enfermarse principalmente los niños; y costumbres cuando contraen matrimonio. Las personas de la comunidad en un 100% son de descendencia cakchiquel y por lo tanto hablan el dialecto cakchiquel, pero dominan el español perfectamente. (24)

Los grupos organizados existentes en la aldea son: comité pro-mejoramiento, comité de energía eléctrica y un banco comunal; para participar en éstos no existe ningún requisito y los miembros de los dos primeros son electos a través de asambleas generales. (24)

La relación comercial se circunscribe a vender sus hortalizas y flores silvestres en mercados de San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Sacatepequez y La Terminal; siempre y cuando las condiciones les garanticen la obtención de algún beneficio económico. (24)

La principal fuente de ingresos económicos la constituye la venta de excedentes de productos obtenidos de la cosecha y la venta de mano de obra asalariada. Otra fuente de ingresos alternativa la constituye la venta de animales domésticos y artesanías hechas por las amas de casa. (24)

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL:

Evaluar el efecto de diferentes tipos de cobertura vegetal y pendiente del terreno, para que sirvan de base en la elaboración de modelos de erosión y de respuesta hídrica de la cuenca del río Itzapa; así como preparar las bases para planificar la protección y recuperación de los suelos en la cuenca.

4.2 ESPECIFICOS:

4.2.1 Cuantificar en forma directa el escurrimiento superficial y la cantidad de suelo erosionado bajo tres tipos diferentes de cobertura vegetal (maíz, coliflor y pasto).

4.2.2 Conocer las características físicas de los sedimentos y el escurrimiento provocados por el efecto de la precipitación pluvial durante la época lluviosa del año 1994, en la aldea Chicazanga.

4.2.3 Cuantificar el escurrimiento superficial y la cantidad de suelo erosionado en dos diferentes grados de inclinación del terreno.

4.2.4 Establecer el grado de correlación entre el suelo erosionado de las parcelas de esorrentía con el método de clavos.

4.2.5 Definir el factor de erodabilidad del suelo de la parte alta de la cuenca del río Itzapa.

4.2.6 Establecer índices de cobertura vegetal y pendiente para alimentar un modelo de erosión.

5. HIPOTESIS

- H₁ Los tipos de cobertura (pasto, coliflor y maíz en asocio) sufren menor erosión y escorrentía superficial ocasionados por la precipitación pluvial, con respecto a las áreas sin cultivo y sin vegetación en la época lluviosa del año 1994 en la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango.
- H₂ La escorrentía superficial y la cantidad de suelo erosionado será mayor en las áreas con 40% de pendiente que en las áreas con 25% de pendiente, durante la época lluviosa del año 1994 en la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango.

6. METODOLOGIA

6.1. UBICACION DEL SITIO EXPERIMENTAL:

La investigación se realizó en la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, la cual se ubica en la parte alta de la cuenca a $14^{\circ}35'27''$ latitud Norte y $90^{\circ}52'22''$ longitud Oeste, a una altitud de 2,230 msnm y a una distancia de 6 kilómetros al suroeste de la cabecera municipal. (9) (Fig. 3)

Se seleccionó esta área por ser representativa del uso de la tierra en la parte alta de la cuenca y por considerarse un área crítica de erosión de la misma.

6.2. SELECCION DE TRATAMIENTOS:

Los tratamientos fueron seleccionados de acuerdo al uso de la tierra que los agricultores hacen en el área; además porque se necesitaba generar los índices de cobertura para la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, según los diferentes tipos de cultivo del área.

El experimento se realizó en dos pendientes; éstas fueron de 25% y 40%, las cuales son las más representativas de los terrenos del área.

6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL:

Se utilizó el diseño en "bloques al azar", debido a la pendiente que existe en los dos sitios experimentales y por lo tanto se deseaba bloquear ésta con la finalidad de que no interfiriera en los resultados de cada tratamiento.

El experimento se realizó en tres repeticiones para

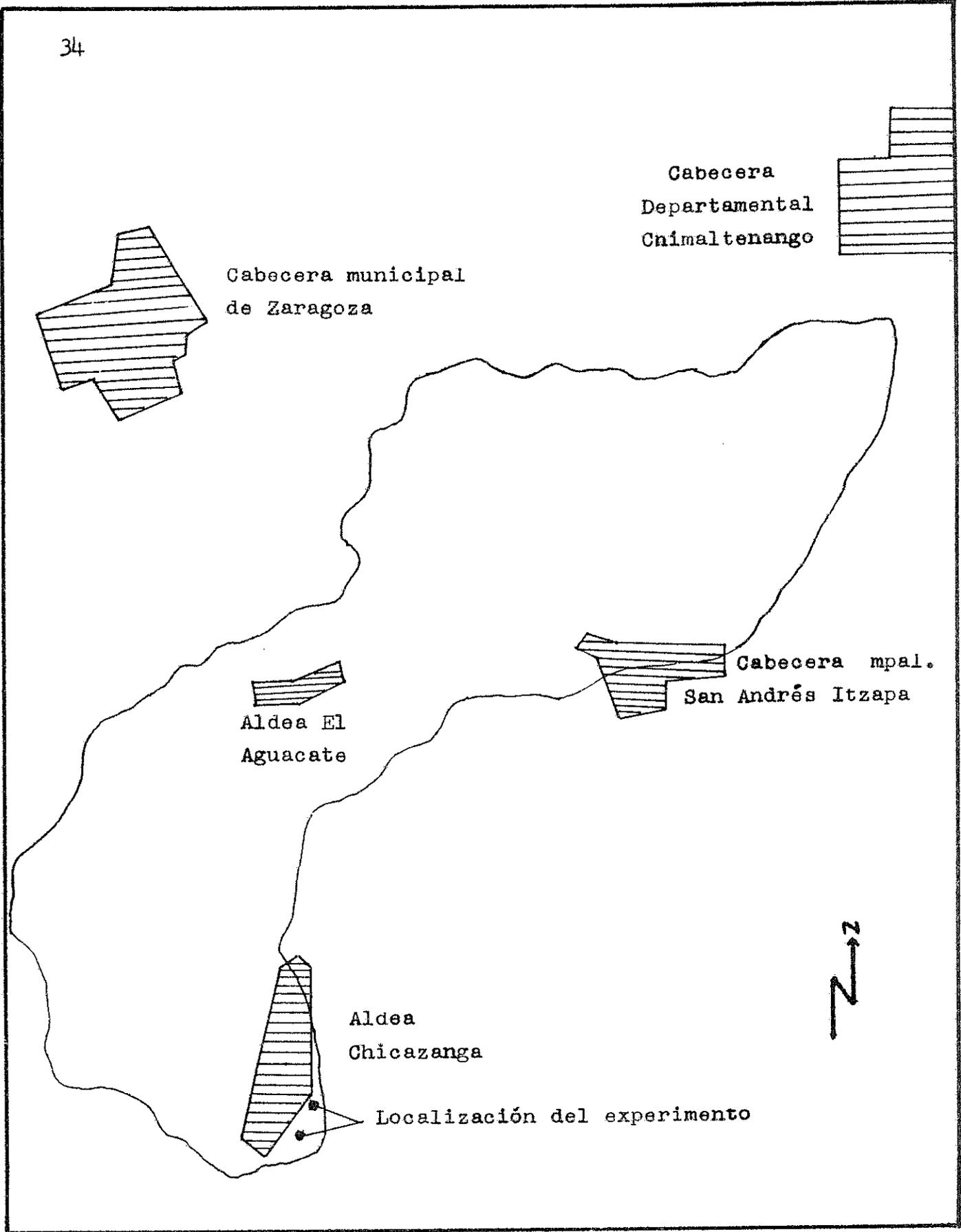


Figura 3: Localización del experimento dentro de la cuenca

cada uno de los grados de pendiente; lo cual genera un número de 12 unidades experimentales para cada pendiente. (Fig. 4A)

6.3.1 MODELO ESTADISTICO.

El modelo estadístico utilizado para el diseño experimental fué:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad \text{Donde}$$

y_{ij} : Variable respuesta de la ij -ésima unidad experimental

μ : Efecto de la media general

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento

β_j : Efecto del j -ésimo bloque

ϵ_{ij} : Efecto del error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

i : 1,2,3, T

j : 1,2,3, r

6.4. ARREGLO Y MONTAJE DEL EXPERIMENTO:

Por tratarse de una segunda evaluación del efecto de la cobertura y la pendiente del terreno en esta área, el experimento se encontraba establecido; por lo cual se describirá el procedimiento que se siguió para el establecimiento de éste.

6.4.1 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 cuales se introdujeron en el suelo hasta una profundidad de 0.15 m., fijándolas al terreno con estacas de madera. Los lotes de escurrimiento tienen un área de 50 metros cuadrados, 10 metros de largo y 5

metros de ancho: midiéndose el lado más largo a favor de la pendiente. (Fig. 4)

6.4.2 SISTEMA COLECTOR DE AGUA Y SEDIMENTOS

a. CANALES COLECTORES:

Consisten en zanjas de forma trapezoidal de 30 cms. de profundidad y 40 de ancho recubiertas con polietileno para evitar que el agua escurrida del lote se filtre en el suelo.

b. CANALES DE EVACUACION:

Para conducir el agua y sedimentos de los canales colectores hacia los recipientes, se utilizaron canales semicirculares de lámina de 0.60 m. de largo.

c. RECIPIENTES COLECTORES:

Como recipientes colectores se utilizaron toneles plásticos de 200 litros de capacidad, colocando dos por parcela y conectándolos en su parte superior por un tubo de pvc. Los toneles quedaron a 0.10 mts. más abajo que el nivel del canal.

6.4.3 INSTALACION DE APARATOS METEOROLOGICOS:

Cerca del experimento se instaló una estación meteorológica con el siguiente equipo: pluviógrafo de banda diaria, tanque evaporímetro, pluviómetro, veleta, psicrómetro y termómetro de máximas y mínimas.

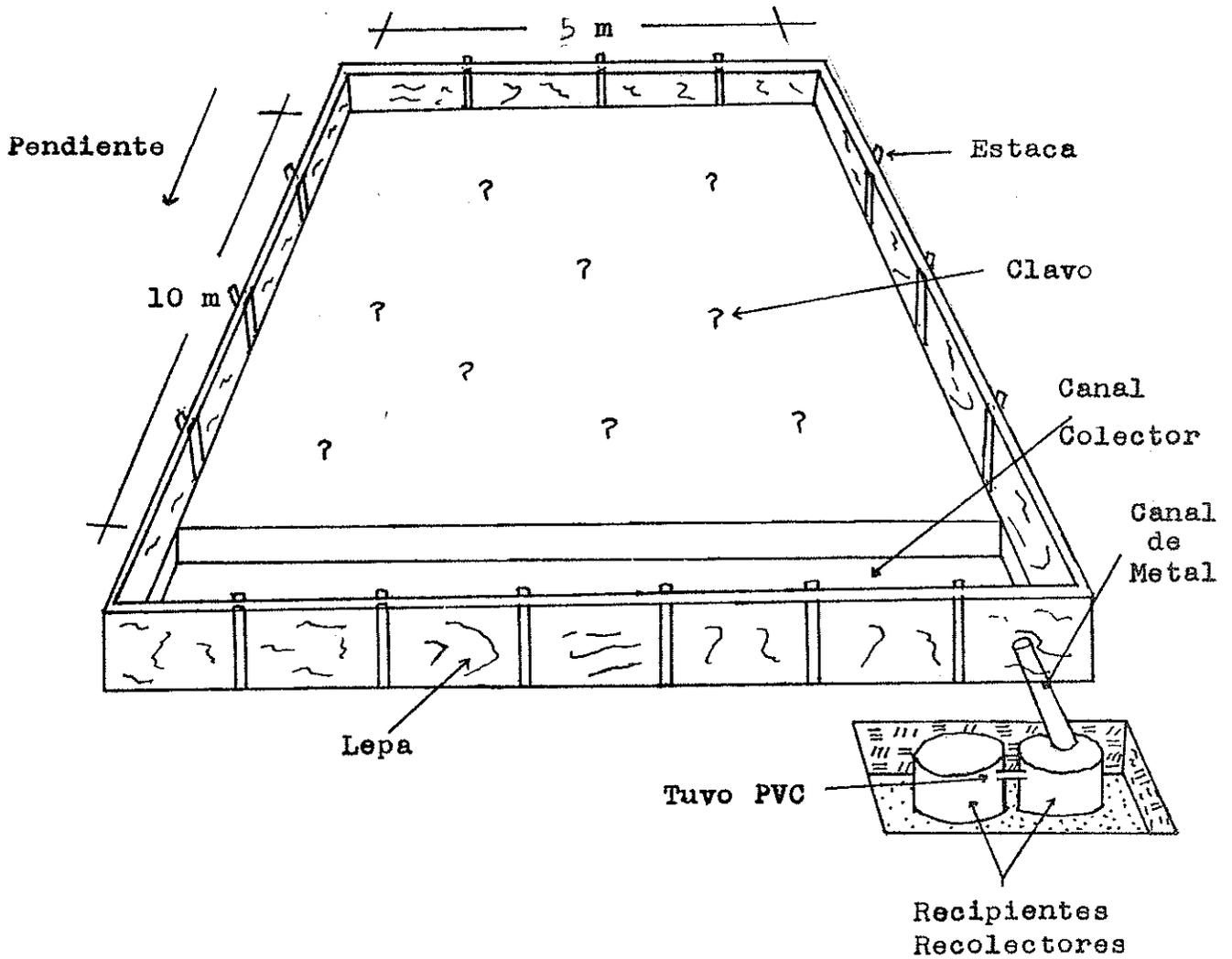


Figura 4: Esquema de una parcela de escorrentia establecida en el ensayo

6.4.5 ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE LOS CULTIVOS:

a. Maíz y Frijol (asocio)

i. Semilla: Se utilizaron semillas locales por ser las más utilizadas dentro de los agricultores.

ii. Siembra: se colocaron 4 ó 5 semillas de maíz y 1 de frijol por postura a una distancia de 0.90 m. entre mata y 1.25 m. entre surcos.

iii. Fertilización: Se realizó una sola aplicación de fertilizante, consistente en 50 lbs. de urea y 75 lbs. de triple 15 por cuerda de 1600 vrs² (206.12 kgs. urea/ha. y 309.27 kgs. triple 15/ha.), a los 5 meses después de la siembra, al empezar la floración. Esta fertilización es la misma práctica que realizan los agricultores del área.

iv. Deshierbe: Se efectuaron dos limpieas con azadón, la primera entre el primer y segundo mes después de la siembra y la segunda a los 5 meses (al momento de la fertilización).

b. Coliflor

i. Elaboración de semillero: Se realizó un semillero con semilla de la variedad Chicazanga.

ii. Trasplante: Se realizó a los 50 días después de nacidas las plantas en el semillero. Se utilizó un distanciamiento de 0.83 m. (1 vara) al cuadro (entre surcos y plantas).

iii. Fertilización: Se realizaron dos aplicaciones de fertilizante, la primera al momento de la siembra a razón

de 412.24 kgs. de triple 15 por hectárea (1 quintal/cda.) y la segunda al comenzar la floración a razón de 618.36 kgs. de triple 15/ba. (1.5 quintales/cda.) La cantidad y forma (en forma localizada) de aplicación de fertilizante es la misma que usan los agricultores del área.

iv. Limpias: Unicamente se realizó una limpia a los dos meses después del trasplante, utilizando para el efecto azadón.

El control de plagas y enfermedades se efectuó al observarse la presencia de éstas, en el caso de la coliflor se puso especial atención a la larva de *Pieris brassicae*.

c. Pasto kikuyu

Por tratarse de una segunda evaluación; el pasto se encontraba ya establecido en las parcelas de escorrentía, por lo que el manejo consistió en una primera aplicación de fertilizante al boleó a razón de 400 kgs. de triple quince por hectárea al inicio del experimento y una segunda a los seis meses con la misma dosis y realizar un control de malezas en forma manual conforme se requirió con la finalidad de evaluar solamente el porcentaje de cobertura que el pasto brindara al suelo.

d. Testigo

La parcela testigo se mantuvo sin cobertura vegetal; ya que se realizaron limpiezas mecánicas de las malezas en forma periódica para evitar que éstas ofrecieran algún tipo de protección al suelo en contra de la escorrentía y la erosión.

6.5. 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.
- c. Lámina de suelo perdida en centímetros.
- d. Rendimiento de los cultivos en kg/ha.
- e. Porcentaje de cobertura de los cultivos

6.5.1 VARIABLES AUXILIARES.

- a. Cantidad, frecuencia e intensidad de la precipitación pluvial en el área de estudio.
- b. Análisis de fertilidad del suelo en donde se realizó el experimento.

6.6. MEDICION DE VARIABLES:

6.6.1 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL:

La medición del escurrimiento se realizó después de cada evento de lluvia, siempre y cuando llegó agua a los recipientes colectores. La medición se efectuó con una regla graduada (calibrada en litros) para cada tipo de recipiente, lo cual permitió obtener la profundidad del agua escurrida, luego se determinó el volumen en litros y posteriormente se estimó el equivalente en metros cúbicos por hectárea.

6.6.2 CANTIDAD DE SUELO EROSIONADO:

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

a. SOLIDOS EN SUSPENSION:

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 en laboratorio, se tomó cada muestra y se colocó el papel filtro con los sólidos en el horno, para posteriormente determinar su peso.

Del agua filtrada se tomó una muestra a los dos eventos posteriores a la fertilización para determinar los nutrientes disueltos; los nutrientes analizados fueron: Fósforo, Calcio, Potasio y Magnesio.

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 determinarle el peso seco por el método gravimétrico, secado en horno a 105°C por 24 horas.

El total de sedimentos más el total de sólidos en suspensión, fué el total de suelo erosionado, el cual se midió en kg/ha posteriormente se sumaron todos para obtener los resultados finales en ton/ha/año.

6.6.4 RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS:

El rendimiento del cultivo se midió tomando en cuenta una parcela neta de 24 m² (8 metros de largo por 3 de ancho), el cual fué determinado en kg/ha.

6.6.5 MEDICION DE LA PRECIPITACION:

En el pluviógrafo de banda diaria, 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 Wisheiser y Mannering, considerandose como un evento independiente a toda lluvia separada de otra por un periodo de 6 horas sin precipitaciones mayores de 13 mm. (1)

6.6.6 CARACTERIZACION DEL SUELO:

En los dos sitios donde se realizó la investigación se hicieron calicatas para determinar las características de cada suelo. De ahí se tomaron muestras de suelo para determinar el % de materia orgánica, % arena gruesa, % arena fina + limo, permeabilidad y estructura del suelo.

Estos datos sirvieron para determinar la erodabilidad del suelo.

6.6.7 FERTILIDAD:

En cada parcela de escorrentía se tomó una muestra de suelo para determinar su fertilidad antes y después de finalizado el ensayo; lo cual sirvió para determinar los nutrientes del suelo perdidos. Los nutrientes analizados fueron: Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio. También se tomaron muestras de agua de escorrentía para analizar los nutrientes perdidos en ésta.

6.7. ANALISIS DE LA INFORMACION.

Los datos de escurrimiento superficial y cantidad de suelo erosionado fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA), los cuales se compararon con un testigo para obtener los índices de cobertura y manejo del cultivo.

Luego de consultar bibliografía sobre estadística se determinó que el mejor modelo estadístico por el cual se podían analizar los resultados para obtener mayor confiabilidad era el modelo en "bloques al azar"; debido a que existe una pendiente en el terreno, la cual se deseaba bloquear y por lo tanto los datos fueron analizados en dicho modelo estadístico.

Se realizó un análisis de correlación entre todas las variables, incluyendo los datos de erosión por el método de clavos, con la cantidad de suelo erosionado.

Se determinó el coeficiente de escorrentía para cada tipo de cobertura en cada pendiente, esto se efectuó de acuerdo a la relación:

$$\text{Coef. de Escorrentía} = \frac{\text{Cantidad de escorrentía}}{\text{Cantidad de lluvia.}}$$

El factor de cobertura (Factor C), se determinó de acuerdo a la relación:

$$C = \frac{\text{Suelo erosionado con cobertura}}{\text{Suelo erosionado sin cobertura}}$$

Los datos de rendimiento de los cultivos sirvieron para hacer comparaciones según la pendiente utilizada y de base para la discusión de resultados: ya que, de una forma indirecta nos proporciona una idea de la forma en que se perdieron los nutrientes en cada uno de los tratamientos; puesto que, el rendimiento de un cultivo está en función de la disponibilidad de nutrientes que existen en el suelo.

7. RESULTADOS

7.1. PRECIPITACION:

7.1.1 PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

En el cuadro 1 se presentan los valores de la precipitación mensual para el período de estudio y los valores promedios de 9 años de registro de la estación "La Alameda" y "El Recuerdo"; así como los del año 1994 tomados en la estación ubicada en el sitio del experimento.

Cuadro 1: Precipitación mensual promedio de 9 años de las estaciones "La alameda" y "El recuerdo" y valores registrados para el año 1994 en mm. en Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango.

	ALAMEDA *	EL RECUERDO *	CHICAZANGA **
Enero	1.07	5.78	11.6
Febrero	10.96	12.81	11.3
Marzo	22.34	29.36	6.4
Abril	21.01	23.03	48.7
Mayo	105.5	113.79	136.0
Junio	195.38	225.81	198.41
Julio	162.02	182.96	160.2
Agosto	174.5	154.99	243.43
Septiembre	200.2	257.63	196.5
Octubre	122.06	119.73	110.2
Noviembre	15.16	24.4	20.6
Diciembre	2.64	7.54	3.24

** Estación meteorológica del proyecto Cuenca río Itzapa del IIA-FAUSAC a 1 km. del sitio experimental (Primer orden).

* Estación de INSIVUMEH (Tercer orden)

En el cuadro anterior se observa que los valores de

precipitación registrados en el área de estudio (Estación "Chicazanga", ubicada a 2230 msnm) fueron altos en el mes de enero, abril y mayo en relación a la estación "La Alameda" (Ubicada a una altitud de 1766 msnm) y a la estación "El Recuerdo" (Ubicada en Patzicía a una altitud de 2240 msnm); lo cual influyó en que el suelo se mantuviera saturado en los meses de estudio; favoreciendo de esta manera la cantidad de escorrentía superficial y consecuentemente la cantidad de suelo erosionado.

7.1.2 FRECUENCIA DE LA PRECIPITACION

La mayor precipitación fué de 69.8 mm. ocurrida el 5 de junio con una intensidad media de 5.39 mm/hr. y la menor fué de 0.1 mm. ocurrida el 13 de enero con una intensidad media de 0.05 mm/hr.

Cuadro 2: Cantidad de lluvia y frecuencia para cinco clases de lluvias ocurridas en Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango en el año 1994.

Clase (mm)	Frecuencia	%	Precipitación (mm)	%
0 - 5	60	49.18	122.2	10.68
5 - 10	24	19.67	173.4	15.15
10 - 15	11	9.02	132.8	11.60
15 - 20	12	9.84	193.83	16.94
> 20	15	12.30	522.11	45.63
Total	122	100.00	1,144.34	100.00

En el cuadro anterior se observa que gran cantidad de la lluvia se concentró en unos pocos eventos, en tan solo 15 eventos se dió el 45.63% del total de la precipitación, mientras que el 10.68% se dió en 60

eventos; los cuales fueron menores de 5 mm; lo que confirma lo mencionado por Suárez de Castro (21), en lo referente a que en las zonas tropicales existe una tendencia a acumularse buena cantidad de la precipitación en pocas lluvias.

Del total de eventos registrados, 34 fueron mayores de 10 mm. y fueron éstos los que produjeron escurrimiento superficial y sedimentos.

7.1.3 INTENSIDAD

La intensidad de las lluvias registradas durante el periodo de estudio, tuvo una variación entre 0.05 mm/hr y 32.84 mm/hr. Se registraron 40 eventos mayores de 5 mm/hr que ocasionaron escorrentía; de los cuales 34 fueron mayores de 10 mm/hr. los que provocaron erosión.

7.2 ESCORRENTIA

7.2.1 PORCENTAJE DE ESCORRENTIA

Del total de precipitación que fué de 1144.34 mm se estableció un volumen de 11.443.4 m³/ha de lluvia.

Cuadro 3: Cantidad (m³/ha y %) de escorrentía para el sitio experimental con 25% de pendiente.

TRATAMIENTO	CANTIDAD (m ³ /ha)	% DE ESCORRENTIA
SIN CULTIVO	2479	21.64
COLIFLOR	2422.4	21.15
MAIZ	2147.6	18.75
PASTO	1577.2	13.77

En el sitio experimental con 40% de pendiente

aumentó la cantidad y por lo tanto el porcentaje de escorrentía superficial.

Cuadro 4: Cantidad (m^3/ha y %) de escorrentía superficial obtenidos en el sitio experimental con 40% de pendiente.

TRATAMIENTO	CANTIDAD (m^3/ha)	% DE ESCORRENTIA
SIN CULTIVO	2509.31	21.91
COLIFLOR	2461.77	21.50
MAIZ	2461.00	21.49
PASTO	1644.96	14.36

Los valores obtenidos son altos debido a que los eventos ocurridos a lo largo de la estación lluviosa fueron de alta intensidad y a intervalos cortos, por lo que, el suelo permaneció húmedo y por lo tanto favoreció el escurrimiento superficial.

7.2.2 CANTIDAD DE ESCORRENTIA

Cuadro 5: Escorrentía superficial (m^3/ha), para tratamientos y repeticiones en el sitio experimental con 25% de pendiente.

TRATAM.	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
SIN CULTIVO	833.2	814.0	832.0	2479.2	826.4
COLIFLOR	757.0	844.8	820.6	2422.4	807.5
MAIZ	727.6	801.6	618.4	2147.6	715.9
PASTO	513.8	531.4	532.0	1577.2	525.7

En el cuadro anterior (cuadro 5) se puede observar el volumen total de escorrentía superficial expresado en

métros cúbicos por hectárea para el sitio experimental

con 25% de pendiente. En este se observa que el tratamiento con hortaliza reportó el mayor volumen de escorrentía debido a que con ésta el suelo queda desprotegido entre una cosecha y la otra y por lo tanto, el volumen de escorrentía aumenta; mientras que, el menor valor el tratamiento de pasto debido a que este presentó el mayor porcentaje de cobertura vegetal y de esta manera disminuyó la cantidad de escorrentía superficial.

En el siguiente cuadro se presentan los valores del análisis de varianza (ANDEVA) que se le realizó a los datos obtenidos en el sitio experimental con 25% de pendiente.

Cuadro 6: Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio experimental con 25% de pendiente.

F.V.	GL	SC	CM	FC	FT
BLOQ.	2	5176	2588		
TRAT.	3	170168	56722.7	20.79*	4.76
ERROR	6	16369.5	2728.3		
TOTAL	11	191713.5			

* significativo al 0.05 de significancia

C.V = 7.27%

En el cuadro 6 se aprecia que existe variabilidad entre tratamientos; por lo cual se realizó la prueba de medias (Tukey), cuyos resultados se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7: Prueba de Tukey para la cantidad de escorrentía superficial en el sitio con 25% de pendiente.

TRATAMIENTO	ESCORRENTIA SUPERFICIAL (m ³ /ha)	TUKEY
SIN CULTIVO	826.40	a
COLIFLOR	807.47	a
MAIZ	715.87	a
PASTO	525.73	b

En el cuadro anterior podemos observar que los tratamientos de coliflor y maíz con el testigo (sin cobertura) son iguales estadísticamente con excepción de la parcela de pasto que es la única que es diferente a las anteriores y consecuentemente la que ofrece mayor protección al suelo por el efecto de la escorrentía superficial.

Cuadro 8: Escorrentía superficial (m³/ha), observada en el sitio experimental con 40% de pendiente.

TRATAM.	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II.	III.		
SIN CULTIVO	799.03	876.46	833.82	2509.31	836.44
COLIFLOR	748.20	887.00	826.57	2461.77	820.59
MAIZ	885.23	760.60	815.80	2461.63	820.54
PASTO	522.76	565.30	556.90	1644.96	548.32

Al igual que en el sitio con 25% de pendiente podemos observar que el tratamiento con menor escorrentía es el de pasto; mientras que el testigo (sin cobertura) es el de mayor escorrentía superficial.

En el siguiente cuadro se presentan los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) realizado a los valores de escorrentía superficial que se obtuvieron en el terreno con 40% de pendiente.

Cuadro 9: Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio con 40% de pendiente.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
BLOQ.	2	2269	1134.5		
TRAT.	3	173814	57938	18.07*	4.76
ERROR	6	19240.5	3206.8		
TOTAL	11	195323.5			

* Significativo al 0.05 de significancia

$$C.V = 7.78\%$$

Por ser significativo, es decir que, existió variabilidad entre los tratamientos, se le realizó prueba de medias (tukey).

Cuadro 10: Prueba de Tukey para la cantidad de escorrentía superficial en el sitio experimental con 40% de pendiente.

TRATAMIENTO	ESCORRENTIA SUPERFICIAL (m ³ /ha)	TUKEY
SIN CULTIVO	836.44	a
COLIFLOR	820.59	a
MAIZ	820.54	a
PASTO	548.32	b

En el cuadro anterior podemos observar que los valores obtenidos son iguales a los obtenidos en el sitio experimental con 25% de pendiente; estadísticamente el testigo (tratamiento sin cobertura), el tratamiento de maíz en asocio y el de coliflor son iguales, mientras que el de pasto es diferente a todos los demás y es el que

ofrece la mejor protección al suelo de la escorrentía superficial.

7.3 SUELO EROSIONADO EN PARCELAS DE ESCORRENTIA

En el cuadro 9 se observa la cantidad de suelo erosionado por efecto de los 34 eventos mayores de 10 mm. que causaron arrastre de partículas en el sitio con 25% de pendiente. El tratamiento con pasto presentó el valor más bajo de suelo erosionado en ton/ha/año, luego el tratamiento con maíz en asocio con frijol con una relación 4:1 en relación al pasto, es decir que se pierde cuatro veces más suelo que en ésta; el tratamiento con coliflor con una relación 6:1 con relación al pasto, es decir que por cada unidad que se pierde en la parcela de pasto se pierden 6 en la de coliflor y por último el tratamiento sin cobertura (testigo) presenta el valor más alto de suelo erosionado con una relación 8:1 con relación a la parcela de pasto, es decir que, por cada tonelada perdida en la cobertura de pasto, se pierden 8 en la parcela sin cobertura. Esto indica que el pasto es el que ofrece la mayor protección al suelo contra la erosión.

Cuadro 11: Cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) en el sitio con 25% de pendiente.

TRATAM.	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
	I	II	III		
SIN CULTIVO	64.48	43.80	51.73	160.0	53.33
COLIFLOR	57.94	34.91	40.92	133.7	44.59
MAIZ	16.97	24.93	40.45	82.3	27.45
PASTO	5.70	8.17	7.21	21.1	7.03

En el cuadro 12 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) realizado a los valores de suelo erosionado obtenidos en el sitio experimental con 25% de pendiente.

Cuadro 12: Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25% de pendiente.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
BLOQ.	2	161.87	80.93		
TRATAM.	3	3760.13	1253.38	11.9*	4.76
ERROR	6	629.55	104.92		
TOTAL	11	4551.55			

* Significativo al 0.05 de nivel de significancia

$$C.V = 30.95 \%$$

Por existir significancia se realizó prueba de medias (Tukey) que se presenta a continuación:

Cuadro 13: Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25% de pendiente.

TRATAMIENTO	SUELO EROSIONADO (ton/ha)	TUKEY
SIN CULTIVO	53.339	a
COLIFLOR	44.590	a
MAIZ	27.450	a
PASTO	7.027	b

El cuadro 13 se muestra que estadísticamente el testigo, el tratamiento de maíz en asocio y el de coliflor son iguales a excepción de el de pasto, que es diferente a todos los anteriores y consecuentemente el que ofrece la mejor protección al suelo en contra de la

erosión, debido a que éste alcanzó el mayor porcentaje de cobertura vegetal.

Cuadro 14: Cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) en el sitio experimental con 40% de pendiente.

TRATAM.	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
SIN CULTIVO	85.41	93.58	75.98	254.97	84.99
COLIFLOR	64.58	77.26	56.27	198.11	66.04
MAIZ	51.79	28.16	24.57	104.52	34.84
PASTO	5.90	6.31	4.57	16.78	5.59

Podemos observar que el tratamiento con pasto ofrece la mejor protección al suelo en contra de la erosión, seguido por el tratamiento de maíz en asocio y luego por el de coliflor, mientras que, la mayor erosión la sufre el suelo cuando no tiene cobertura con una relación 15:1 con relación al de pasto.

Cuadro 15: Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio experimental con 40% de pendiente.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
BLOQUES	2	339.78	169.89		
TRATAM.	3	10995.06	3665.02	46.01*	4.76
ERROR	6	477.89	79.65		
TOTAL	11	11812.73			

* Significativo al 0.05 de significancia

C.V = 18.65 %

Por existir variabilidad entre los tratamientos del cuadro 15 se realizó prueba de medias (Tukey) a los datos, los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 16: Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado en las parcelas con 40% de pendiente.

TRATAMIENTO	SUELO EROSIONADO (ton/ha)	TUKEY
SIN CULTIVO	84.99	a
COLIFLOR	66.04	a
MAIZ	34.84	b
PASTO	5.59	c

Se observa que el tratamiento sin cobertura (testigo) es estadísticamente igual al de coliflor, lo cual se debió a que este cultivo no alcanzó mucho porcentaje de cobertura promedio debido a que después de la primera cosecha éste disminuyó hasta cero por ciento y luego el porcentaje de cobertura de la segunda siembra fué bajo y por lo tanto disminuyó la protección brindada al suelo; mientras que para el tratamiento de maíz asociado con frijol y para el de pasto los porcentajes no disminuyeron sino que siguieron en aumento durante el tiempo en el que se realizó el experimento, por lo tanto, el tratamiento de maíz en asocio es diferente a los anteriores y el tratamiento de pasto es estadísticamente diferente a todos los anteriores ya que es el que da mayor protección al suelo en contra de la erosión.

7.4 COBERTURA DE LOS TRATAMIENTOS:

A continuación se presentan los resultados de cobertura de los cultivos de ocho muestreos realizados a lo largo de el período en el cual se realizó el experimento.

Cuadro 17: Cobertura vegetal (%) para el sitio experimental con 25% de pendiente.

TRATAM.	FECHAS DE OBSERVACION							
	15/5	5/6	10/7	15/8	10/9	5/10	17/11	5/12
COLIFLOR	17.1	53.7	79.4	55.7	0	2.7	10.8	19.7
MAIZ	20.3	24.5	34.1	52.4	64.9	68.7	75.6	78.3
PASTO	74.1	76.5	79.1	81.1	84.1	87.7	90.1	93.3

Cuadro 18: Cobertura vegetal (%) para el sitio experimental con 40% de pendiente.

TRATAM.	FECHAS DE MUESTREO							
	15/5	5/6	10/7	15/8	10/9	5/10	17/11	5/12
COLIFLOR	20.7	54.3	78.0	52.0	0	4	11.4	22.9
MAIZ	19.0	22.9	35.1	43.3	69.1	74.0	81.0	83.6
PASTO	69.3	72.4	75.1	77.1	80.1	83.4	86.1	89.7

Se puede observar que la parcela de pasto es la que tiene el mayor porcentaje de cobertura debido a que éste ya se encontraba establecido en las parcelas; mientras que, para el primer muestreo el tratamiento de coliflor tenía menor porcentaje de cobertura que el de maíz y en los siguientes tres muestreos ya tenía mayor porcentaje que éste debido a que el crecimiento del cultivo de coliflor es más agresivo por poseer un ciclo más corto; en el quinto muestreo se tuvo cero porcentaje de cobertura ya que en esta fecha ya se había realizado la primera cosecha de este cultivo; en los siguientes muestreos se tomó el porcentaje de la segunda siembra de este cultivo.

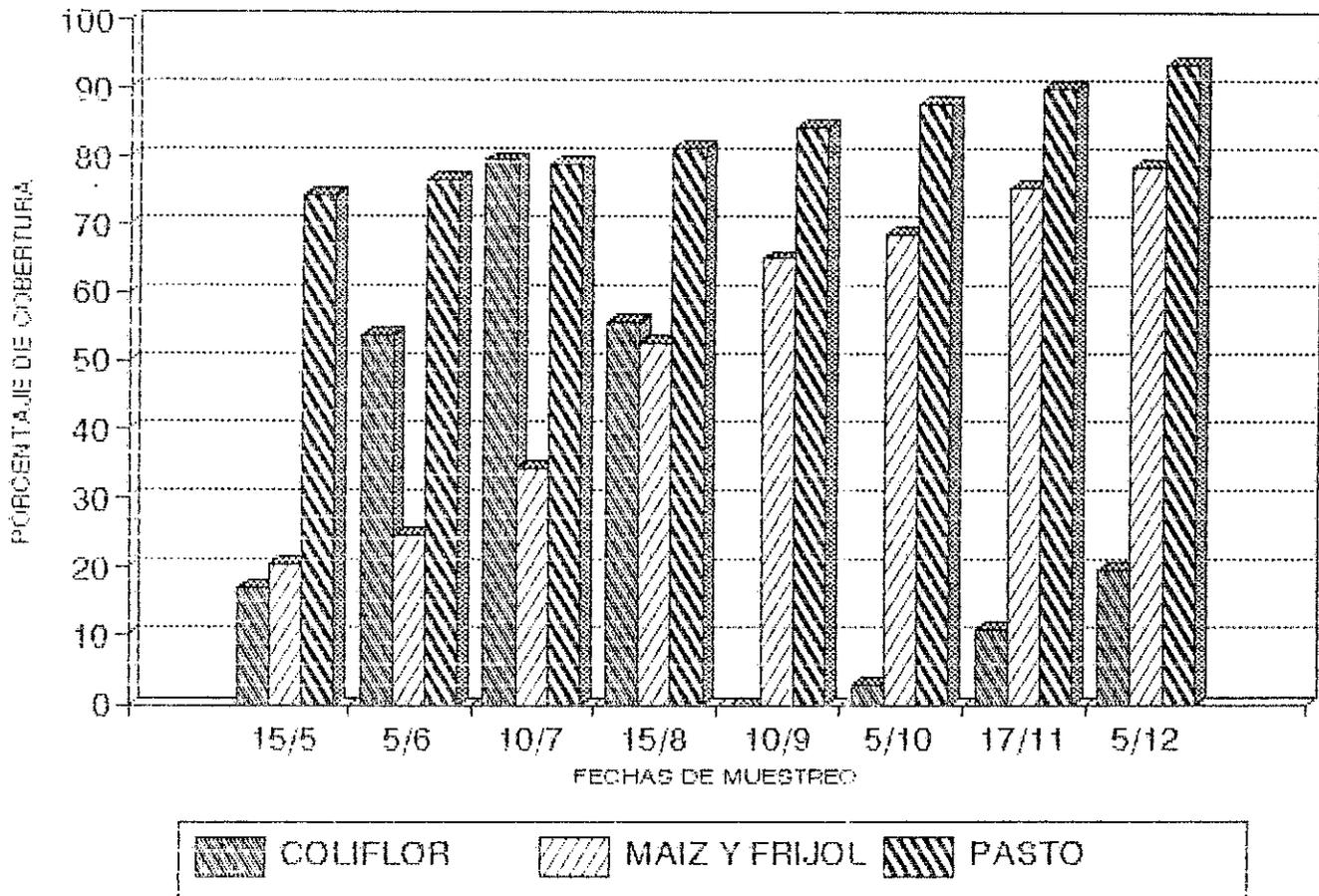


Fig. 5 : Porcentaje de Cobertura Vegetal para el sitio con 25% de Pendiente

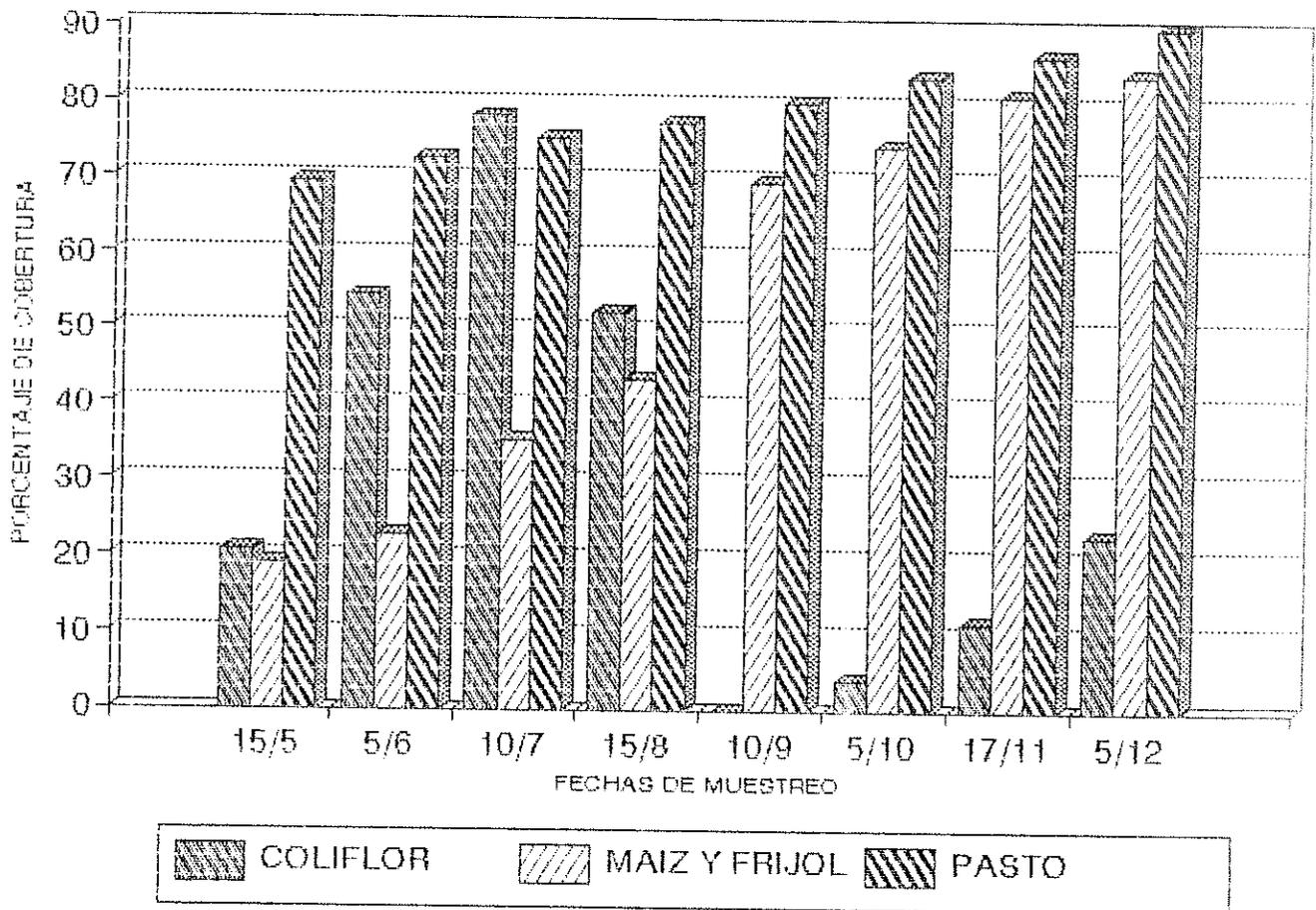


Fig. 6 : Porcentaje de Cobertura Vegetal para el sitio con 40% de Pendiente

7.5 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS SEDIMENTOS:

En el cuadro 18 se presentan los valores, expresados en porcentajes, de las partículas de arcilla, limo y arena, que se perdieron en los sedimentos de las parcelas con 25% y 40% de pendiente respectivamente.

Cuadro 19: Partículas de suelo (%) de los sedimentos perdidos en las parcelas de escorrentía.

	CULTIVO O COBERTURA			
25 %	SIN CULTIVO	COLIFLOR	MAIZ	PASTO
% ARENA	81.44	79.40	77.34	79.40
% LIMO	12.98	14.42	14.42	20.60
% ARCILLA	6.18	6.18	8.24	10.30
40 %	SIN CULTIVO	COLIFLOR	MAIZ	PASTO
% ARENA	81.44	79.40	77.34	69.10
% LIMO	12.98	14.42	14.42	20.60
% ARCILLA	6.18	6.18	8.24	10.30

En el cuadro anterior vemos que en los dos sitios experimentales el mayor porcentaje de partículas arrastradas por la erosión correspondió a las arenas, esto se explica por los característicos texturales del horizonte superior ya que, correspondiente a un franco-arenoso, con lo cual las arenas tienen mayor probabilidad de ser divididas o sacadas del suelo.

El testigo presentó el mayor porcentaje de arena arrastrado ya que no poseía ningún tipo de protección, por el contrario, el tratamiento de pasto el menor valor, ya que, éste creó protección al suelo y así evitando el arrastre de erosión.

Los datos de las dos pendientes en estudio muestran gran similitud ya que corresponden a un mismo tipo de suelo y por lo tanto el porcentaje de partículas es muy similar.

7.6 FACTOR DE COBERTURA (Factor C):

Este factor se determinó tomando en cuenta la siguiente relación:

$C = \frac{\text{Suelo erosionado en el tratamiento}}{\text{suelo erosionado en el testigo}}$

El valor más alto corresponde al terreno con 25% de pendiente y el tratamiento de coliflor (0.84), mientras que, el valor más bajo corresponde al tratamiento de pasto (0.07) en el terreno con 40% de pendiente debido a que el desarrollo del mismo fué menor.

Cuadro 20: Factor C para cada tratamiento en las dos pendientes evaluadas. (25% y 40%).

TRATAMIENTO	25 %	40 %
PASTO	0.13	0.07
MAIZ Y FRIJOL	0.51	0.41
COLIFLOR	0.84	0.78

El valor de C indica que existe una relación inversamente proporcional; ya que, entre menor sea el valor de C, mayor es la protección que brinda el cultivo al suelo en contra de la erosión.

Al comparar los valores de C con el porcentaje de cobertura observamos que los valores para el terreno de 40%, son menores que los de el terreno con 25% de

pendiente, ya que, en el segundo, los cultivos alcanzaron mayor porcentaje de cobertura, brindando de esta manera mayor protección al suelo; al observar el muestreo de fertilidad realizado vemos que en el sitio con 25% había mayor cantidad de nutrientes al inicio del experimento con relación al sitio con 40% lo cual explica el mayor desarrollo de los cultivos.

7.7 RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Los rendimientos obtenidos para el sitio experimental con 25% de pendiente fueron:

Cuadro 21 Rendimiento (kg/ha) para los cultivos establecidos en el sitio experimental con 25% de pendiente.

MAIZ	
REPETICION	RENDIMIENTO
I	3127.27
II	1690.91
III	3840.00
PROMEDIO	2886.06
COLIFLOR	
REPETICION	RENDIMIENTO
I	22363.64
II	18136.34
III	21000.00
PROMEDIO	20499.99

Los rendimientos obtenidos en el sitio experimental con 40% de pendiente se muestran en el cuadro 22.

Cuadro 22: Rendimiento (kg/ha) para los cultivos establecidos en el sitio experimental con 40% de pendiente.

MAIZ	
REPETICION	RENDIMIENTO
I	3709.09
II	3272.73
IJJ	1584.55
PROMEDIO	2855.46
COLIFLOR	
REPETICION	RENDIMIENTO
I	20545.45
II	19454.55
IJJ	19472.73
PROMEDIO	19824.24

Los resultados de los cuadros 20 y 21 muestran que en el sitio con 25% de pendiente los rendimientos fueron mayores tanto para el cultivo de coliflor como para el de maíz en asocio con frijol; lo cual se puede deber a que en dicho sitio la cantidad de nutrientes al inicio del experimento era mayor que en el otro y a que en el sitio con 40% de pendiente se arrastró una mayor cantidad de nutrientes en el suelo erosionado.

7.8 CORRELACIONES:

7.8.1 Suelo erosionado - Escorrentía:

La cantidad de suelo erosionado y de escorrentía superficial guardan una relación muy estrecha, ya que los valores de correlación obtenidos fueron de 0.98 y 0.83

para los sitios con 25% y 40% de pendiente respectivamente, es decir, que guardan una correlación bastante positiva.

7.8.2 Erosión y escorrentía - Porcentaje de cobertura:

Entre los valores de erosión y el porcentaje de cobertura se obtuvieron coeficientes de correlación de - 0.98 y - 0.99 para los sitios experimentales con 25% y 40% de pendiente respectivamente lo que indica que existe una correlación negativa y por lo tanto, la cantidad de suelo erosionado aumenta conforme disminuye el porcentaje de cobertura vegetal, es decir que, existe una relación inversa entre estas variables; de igual forma entre los valores de escorrentía superficial y porcentaje de cobertura se da una correlación alta negativa (- 0.94 y - 0.79) para las dos pendientes analizadas lo que indica que a mayor porcentaje de cobertura, menor cantidad de escorrentía superficial.

7.8.3 Intensidad - Escorrentía y suelo erosionado:

Por otro lado cuando la intensidad de las lluvias se incrementó también lo hicieron el volumen de escorrentía y la cantidad de suelo erosionado. Existe una estrecha correlación entre la intensidad y la cantidad de suelo erosionado y volumen de escorrentía superficial; tal como lo indican los valores de correlación obtenidos. Entre los valores de intensidad-cantidad de suelo erosionado, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.97 y para los de intensidad-escorrentía de 0.94.

Con base a los resultados obtenidos, a continuación se presentan los valores de intensidad, cantidad de suelo erosionado y cantidad de escorrentía que sirvieron para realizar las correlaciones.

Cuadro 23: Valores de intensidad de cuatro eventos y cantidad de suelo erosionado (kgs/ha) y escorrentía superficial (m³/ha).

INTENSIDAD (mm/hr)	CANTIDAD (mm)	EROSION (kg/ha)	ESCORRENTIA (m ³ /ha)
7.64	50	954.19	62.96
10.35	27.7	499.12	21.1
32.84	24.6	4495.5	189.03
16.80	41	1522.43	88.81

En el cuadro anterior se aprecia de mejor forma la estrecha correlación que existe entre la intensidad de la lluvia y la cantidad de suelo erosionado y de escorrentía superficial; no importando la cantidad de lluvia, se observa que la lluvia de 41 mm causó mayor erosión y escorrentía que la de 50 mm; en la primera la intensidad fué de 16.8 mm/hr y en la segunda de 7.64 mm/hr; al igual que la lluvia de 24.6 mm fué mucho más erosiva que la de 27.7 mm; ya que, la primera tuvo una intensidad de 32.84 mm/hr y la segunda de 10.35 mm/hr.

7.8.4 Lámina de suelo erosionada por el método de clavos - Lámina erosionada con el método directo:

Al correlacionar la lámina de suelo erosionada medida con el método de clavos con la cantidad de suelo erosionado en las parcelas de escorrentía se observa que existe una correlación bastante baja; 0.14 y 0.27 para los sitios experimentales con 25% y 40% de pendiente respectivamente; lo cual se debe a que los suelos en donde se realizó el experimento son de textura franco arenosa (suelos), por lo que al momento de efectuar las labores a los cultivos se altera con facilidad y los datos leídos ya no ofrecen mucha confiabilidad; además de que, se tuvo un sin fin de problemas con este método,

entre los más importantes la pérdida de los clavos y la incidencia de la plaga de taltuza dentro de las parcelas de escorrentía.

7.9 METODOS EMPIRICOS DE CALCULAR LA ESCORRENTIA Y LA EROSION

7.9.1 METODO RACIONAL

Este método es muy popular en el mundo entero debido a su simplicidad, sin embargo, su utilización puede conllevar a errores de gran magnitud, si no se toman en cuenta todas las limitantes del mismo (25)

El método se basa en la ecuación:

$$qp = 2.78 C * i * A$$

Donde:

qp = Ecurrimiento máximo en litros por segundo

2.78 = Constante de conviersión

C = Coeficiente de escurrimiento

i = Intensidad de la lluvia en mm/hr.

A = Area en hectáreas.

Se compararon los valores de escorrentía obtenidos directamente en las parcelas de escorrentía con los valores que se obtienen al aplicar la fórmula del método racional.

Los resultados obtenidos fueron:

Para el sitio con 25% de pendiente:

Sin cultivo: $2.78 * 0.22 * 6.43 * 1 * 1000 = 3932.59$

Coliflor: $2.78 * 0.21 * 6.43 * 1 * 1000 = 3753.83$

Maíz: $2.78 * 0.19 * 6.43 * 1 * 1000 = 3396.33$

Pasto: $2.78 * 0.14 * 6.43 * 1 * 1000 = 2502.56$

Para el sitio con 40% de pendiente:
 sin cultivo: $2.78*0.22*6.43*1*1000 = 3932.59$
 Coliflor: $2.78*0.21*6.43*1*1000 = 3753.83$
 Maíz: $2.78*0.21*6.43*1*1000 = 3753.83$
 Pasto: $2.78*0.14*6.43*1*1000 = 2502.56$

También se utilizó la ecuación del método racional modificada mediante la siguiente ecuación:

$$qp = 2.788*C*L*A$$

Donde:

I, = Lámina máxima en 24 hrs. (En centímetros)

Dado que la máxima lámina obtenida fué de 6.98 cms.; se utilizó ésta para el cálculo.

Los resultados obtenidos fueron:

Para el sitio con 25% de pendiente:
 Sin cultivo : $2.78*0.22*6.98*1*1000 = 4268.97$
 Coliflor: $2.78*0.21*6.98*1*1000 = 4074.92$
 Maíz: $2.78*0.19*6.98*1*1000 = 3686.84$
 Pasto: $2.78*0.14*6.98*1*1000 = 2716.62$

Para el sitio con 40% de pendiente:
 Limpia: $2.78*0.22*6.98*1*1000 = 4268.97$
 Coliflor: $2.78*0.21*6.98*1*1000 = 4074.92$
 Maíz: $2.78*0.21*6.98*1*1000 = 4074.92$
 Pasto: $2.78*0.14*6.98*1*1000 = 2716.62$

Los valores de escorrentía superficial que se obtienen por medio de las dos ecuaciones anteriores reflejan la realidad de la cantidad medida directamente en las parcelas de escorrentía, dado que los coeficientes de correlación obtenidos en las dos ecuaciones fué de 0.98, lo cual indica que existe una correlación alta positiva entre los valores obtenidos; lo cual nos indica que para los suelos del área se pueden usar para fines de determinar la cantidad de escorrentía que se esperan

obtener en estos suelos.

Los valores obtenidos en ambas ecuaciones son ligeramente mayores a los que se observaron en las parcelas de escorrentía debido quizás a que estos suelos son bastante francos y por lo tanto se da una alta infiltración del agua; por lo cual estas ecuaciones pueden usarse con mayor confiabilidad en suelos con menor capacidad de infiltración.

7.9.2 ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO POR EROSION HIDRICA REVISADA (RUSLE)

Luego de realizar los cálculos del factor de erosividad de las lluvias (Factor R) (ver apéndices), factor de cobertura (factor C) y el factor topográfico (Factor LS) se aplicó la ecuación:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Los resultados obtenidos fueron:

Cuadro 24: Valores de suelo erosionado (ton/ha) medidos por el método directo y calculados por medio de la Ecuación Universal Revisada de Pérdidas de Suelo por Erosión Hídrica.

	25%		40%	
	METODO DIRECTO	RUSLE	METODO DIRECTO	RUSLE
PASTO	7.03	46	5.59	67
COLIFLOR	44.59	50.04	66.04	124.61
MAIZ	27.45	39.32	34.84	86.27

Los valores obtenidos por medio de la Ecuación Universal Revisada de Pérdidas de suelo por Erosión

Hídrica (RUSLE),¹ como se observa en el cuadro 24, son altos en comparación con los obtenidos directamente en las parcelas de escorrentía; lo cual es afirmado mediante el coeficiente de correlación obtenido entre dichas cantidades (0.67).

Estos datos coinciden con lo citado por Arana (2); quien literalmente dice: "Autores como Vahrson W. G. y Cervantes C. (1991) han criticado a la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo por sobreestimar las tasas de pérdidas de suelo al hacer comparaciones con mediciones directas en parcelas de escorrentía. Sin embargo, el modelo puede utilizarse para identificar áreas críticas susceptibles al proceso de la erosión hídrica".

Dicha ecuación no considera la erosión hídrica en surcos y cárcabas sino solamente el tipo de erosión laminar, por lo cual los resultados obtenidos por medio de ésta no coinciden con los medidos directamente en las parcelas de escorrentía.

¹Los datos y calculos de estas estimaciones se presentan en los apendices 3 y 4

8. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las cuales se realizó el experimento, se tienen las siguientes conclusiones:

1. De la Escorrentía y Suelo erosionado:

- 1.1 Los valores más altos de escorrentía superficial se registraron en el tratamiento de coliflor seguido por el de maíz asociado con frijol y por último, los valores más bajos correspondieron al tratamiento de pasto con 525.7 m³/ha y 548.3 m³/ha para los terrenos con 25% y 40% de pendiente respectivamente.
- 1.2 Los valores de suelo erosionado fueron mayores para el tratamiento de coliflor y luego el de maíz asociado con frijol; los valores más bajos que se registraron correspondieron al tratamiento de pasto con 7.03 ton/ha y 5.59 ton/ha para los sitios con 25% y 40% de pendiente respectivamente ofreciendo de esta forma la mejor protección al suelo en contra de la erosión hídrica.
- 1.3 En el cultivo de coliflor se produce una mayor cantidad de sedimentos que en el cultivo de maíz en asocio con frijol; lo cual se debe a que en el cultivo de coliflor se obtienen dos cosechas anuales y después del corte de la primera cosecha, se deja el suelo con cero de cobertura vegetal; coincidiendo con la las fechas de mayor precipitación pluvial y consecuentemente se da una gran cantidad de erosión; mientras que, en el maíz se obtiene una sola cosecha anual y después de de unos 4 ó 5 meses ya no se le realizan limpieas al cultivo, con lo cual aumenta el porcentaje de

cubierta vegetal (por malezas) y disminuye la cantidad de escorrentía y suelo erosionado.

- 1.4 En las características granulométricas de los sedimentos arrastrados por la erosión, el mayor porcentaje lo ocupan las arenas debido a que el horizonte superior del suelo posee una textura franco-arenosa. El testigo (sin cobertura) presentó el mayor porcentaje de arena arrastrada por no poseer protección alguna en contra de la erosión; mientras que en el tratamiento de pasto se obtuvo el menor valor ya que éste realizó las funciones de una barrera viva dentro del terreno.
- 1.5 La cantidad de suelo erosionado en el sitio experimental con 25% de pendiente fué menor que en el de 40% de pendiente con valores de 132.41 ton/ha y 195.42 ton/ha respectivamente y de la misma forma para el volumen de escorrentía superficial con 2875.5 m³/ha para el terreno con 25% de pendiente y 25901.4 m³/ha para el sitio con 40% de pendiente.
- 1.6 Al correlacionar los valores de la lámina de suelo erosionada por el método de clavos con la cantidad de suelo erosionado en las parcelas de escorrentía se obtuvieron valores muy bajos 0.14 y 0.27 para los sitios con 25% y 40% de pendiente respectivamente, debido a que el suelo es muy franco (suelto) y al realizar las prácticas agronómicas (principalmente limpia y fertilización) a los cultivos se disturba fácilmente con lo que los valores medidos no son de gran confiabilidad; además de que se tuvieron un sin fin de problemas entre los cuales los más importantes fueron la pérdida de clavos y la incidencia de taltuza dentro de las parcelas de escorrentía.

2. De los índices de la Ecuación Universal.
 - 2.1 Los valores del factor de erodabilidad (factor K) determinado para los suelos fueron de 0.27 para el suelo con 25% de pendiente y 0.30 para el suelo con 40% de pendiente (4).
 - 2.2 Los valores del factor de cobertura (factor C) fueron en orden decreciente para los tratamientos de coliflor, maíz asociado con frijol y pasto, tanto para el terreno con 25% como para el de 40% de pendiente; lo que indica que el tratamiento de pasto es el que brinda una mayor y mejor protección al suelo tanto en cantidad de suelo erosionado como en el volumen de escorrentía superficial.

9. RECOMENDACIONES

1. Continuar la evaluación de los mismos tipos de cobertura vegetal en las mismas pendientes durante un período no menor de 3 años con la finalidad de obtener una mayor confiabilidad en cuanto a la cantidad de suelo erosionado, volumen de escorrentía superficial y los índices de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo por la Erosión Hídrica.
2. Establecer un programa principalmente en la parte alta de la cuenca, en donde se siembran en su mayoría cultivos limpios, tendiente a promover la conservación de suelos; entre ésta las barreras vivas utilizando material nativo como el agapanto, que es abundante en la zona y que posee buenas características para ser utilizado de esta forma.
3. Utilizar herbicidas, "labranza mínima" o bien "labranza cero" para el control de malezas con la finalidad de no disturbar demasiado el suelo y de esta manera establecer la lámina de suelo erosionada y poder verificar si los resultados tienen una mayor correlación con los obtenidos directamente en las parcelas de escorrentía.
4. Buscar una estrategia nacional, regional y local para evitar por medio de las autoridades que se sigan habilitando tierras con fuertes pendientes para establecer en ellas cultivos limpios que ofrecen poca protección al suelo, ya que éstos presentan gran susceptibilidad a la erosión hídrica.
5. Analizar los resultados de suelo erosionado, integrando a éstos la componente económica; tomando en cuenta el número de cosechas al año de cada

cultivo y los ingresos que se obtienen con cada uno y de esta forma lograr un estudio de la problemática que se está dando en el área de estudio.

10. BIBLIOGRAFIA

1. APOLO BERRU, W. A. 1980. Evaluación de la escorrentía superficial y la erosión en un pastizal con árboles aislados en la Suiza, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Universidad de Costa Rica. 68 P.
2. ARANA LOPEZ, G. A. 1992. Análisis espacial para evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del Río Pensativo, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 118 p.
3. BASSO, E. et al. 1971. Proyecto hidrometeorológico centroamericano; estudios hidrológicos. San José, Costa Rica, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 540 p.
4. CARDONA GUERRA, M. A. 1994. Evaluación del efecto de la cobertura vegetal y la pendiente del terreno, en la erosión hídrica de la microcuenca del Río Itzapa, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 62 p.
5. CASTANEDA MOLINA, D. F. 1986. Características agrosocioeconómicas de las comunidades de la cuenca del Río Itzapa, municipio de San Andrés Itzapa, Departamento de Chimaltenango, Guatemala. Investigación Inferencial de EPS. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 45 p.
6. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFE (Col). 1975. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Caldas, Col. 267 p.
7. COLEGIO DE POSTGRADUADOS (Méx). 1982. Manual de conservación de suelo y del agua. 2 ed. Chapingo, Mex. 584 p.
8. ESQUIT DONIS, V. E. et al. 1992. Situación actual de los recursos naturales renovables de las subcuencas de los ríos Itzapa, Negro y Cajagualten, San Andrés Itzapa, Chimalteango. Estudio de Sistemas de Cultivos. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 130 p.

9. FORSYTHE, W. M. 1976. Parcela demostrativa en el control de la erosión en un cultivo de maíz. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 4 p.
10. GOURGON, M. et al. 1977. Conservación de suelos en regiones tropicales (Africa y Madagascar). Trad. por José A. Castillo. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 120 p.
11. GUATEMALA. DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS AGRICOLAS. 1980. Construya sus acequias de ladera a nivel. Guatemala. 16 p.
12. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. 1970. Mapa geológico de la república de Guatemala, hoja Chimaltenango. Guatemala. Esc. 1:50,000.
13. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1980. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. Tomo I., p. 662.
14. HERRERA, I. R. 1984. Levantamiento semidetallado de los suelos de la cuenca del río Achiguate (fase I). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 199 p.
15. HUDSON, M. 1985. Soil consevation. 2 ed. New York, EE.UU., Cornell University Press. 324 p.
16. INVESTIGACION BASICA para la planificación del manejo de la cuenca hidrográfica experimental del Río Itzapa. 1992. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. UDA 14 p.
17. LINSLEY, R.; KOHLER, M.; PAULHUS, J. 1981. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, McGraw Hill. 425 p.
18. LOPEZ, F. 1988. Defensa y recuperación de los suelos agrícolas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 73 p.
19. ———. 1988. La degradación y pérdida de los suelos agrícolas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 94 p.

20. LOPEZ HERNANDEZ, J. E. 1990. Segunda evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo, Sacatepequez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 56 p.
21. MILLAR, C.; TURK, L.; FOTH, H. 1980. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad., por Juan Nava Díaz, México, CECSA. 527 p.
22. MIRANDA, A. 1987. Análisis de ejecución del proyecto de conservación de suelos en la Región II de la Dirección General de Servicios Agrícolas. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas. 1 p.
23. ORTIZ, V. 1982. Estudio experimental sobre la conservación del suelo, la erosión y el escurrimiento. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 94 p.
24. PEREZ LIQUIDANO, H. E. 1994. Diagnóstico general de la aldea chiczanga, municipio de San Andrés Itzapa, departamento de Chimaltenango. Diagnóstico de EPS. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía 55 p.
25. ROJAS, R. M. 1986. Hidrología de tierras agrícolas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. p. 79
26. SANCHEZ, M. 1979. Determinación de escurrimiento 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. SUAREZ DE CASTRO, F. 1979. Conservación de suelos. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA. 315 p.
28. TOJIN SANCHEZ, S. 1987. Caracterización de los recursos naturales renovables de la cuenca del río Itzapa. Investigación Inferencial de EPS. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 49 p.

- 29. TORRES, R. 1981. Manual de conservación de suelos agrícolas. México, Diana. 163 p.
- 30. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. FACULTAD DE AGRONOMIA. s.f. Manual de la ecuación universal de pérdidas de Suelo. Guatemala. 35 p.

vo. co.

Petualle



APENDICES

I. DATOS DE LA MEDICION DE EROSION CON CLAVOS

SUELO EROSIONADO SEGUN EL METODO DE CLAVOS:

En el siguiente cuadro se observan los valores de suelo erosionado en cms. según el método de clavos.

Cuadro 25A: Lámina de suelo erosionada en cms. según el método de clavos en las parcelas con 25% de pendiente.

	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I*	II*	III*		
SIN CULT.	2.8617	2.9344	2.8235	8.6196	2.873
COLIF.	1.8432	1.7560	1.6358	5.2350	1.745
MAIZ	3.1241	2.9615	3.0440	9.1296	3.043
PASTO	2.1501	1.9826	2.2594	6.3921	2.131

*Lámina promedio por repetición, a partir de 1-4 clavos por parcela

Cuadro 26A: Análisis de varianza para la lámina de suelo erosionada según el método de clavos, en parcelas con 25% de pendiente.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
BLOQUES	2	0.01517	0.07587		
TRATAMIENTO	3	3.38985	1.12995	104.38*	4.76
ERROR	6	0.06497	0.01087		
TOTAL	11	3.46997			

* Significativo al 0.05 de significancia

C.V = 4.25 %

Por ser significativo se realizó prueba de medias (Tukey), cuyos resultados se presentan en el cuadro siguiente:

(Cuadro 27A: Prueba de Tukey para la lámina de suelo erosionada según el método de clavos en parcelas con 25% de pendiente.

TRATAMIENTO	LAMINA EROSIONADA (cms)	TUKEY
MAIZ	3.0432	a
SIN CULTIVO	2.8732	a
PASTO	2.1307	b
COLIFLOR	1.7450	c

Se observa que el tratamiento sin cobertura (testigo) es estadísticamente igual al tratamiento de maíz con la mayor lámina erosionada, el tratamiento de pasto es diferente a los anteriores y el tratamiento con cobertura de coliflor es estadísticamente diferente a todos los anteriores, ya que, presenta la menor lámina erosionada y por lo tanto, la mayor protección en contra de la erosión.

Cuadro 28A: Lámina de suelo erosionada en cms. según el método de clavos en parcelas con 40% de pendiente.

	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
SIN CULT.	1.9301	1.9289	1.9400	5.7990	1.9330
COLIFLOR	3.9123	2.8102	4.8794	11.6019	3.8673
MAIZ	2.8134	3.0142	2.7599	8.5875	2.8625
PASTO	2.9731	3.0449	3.0348	9.0528	3.0176

El valor obtenido en el tratamiento de coliflor es superior a los demás; lo cual se puede deber a las prácticas de labranza realizadas.

Cuadro 29A: Número de clavos medidos en cada parcela.

PARCELA	NUMERO DE CLAVOS
1	3
2	2
3	3
4	2
5	4
6	2
7	3
8	3
9	2
10	3
11	2
12	4
13	2
14	3
15	2
16	1
17	4
18	2
19	4
20	4
21	3
22	2
23	4
24	3

Como podemos observar en el cuadro anterior, el número de clavos medidos no ofrecen mucha confiabilidad, lo cual explica los valores de coeficiente de variación obtenidos en este método.

Los factores que incidieron en que solamente se

puvieran medir este número de clavos fueron muchos; entre éstos el más importante fué el robo de los mismos por los pobladores del área, ya que, no existe conocimiento sobre estos tipos de trabajos científicos.

Por todo lo anterior no podemos juzgar este método ya que por factores externos no controlados no se pudo evaluar como debiera de ser.

II. ANALISIS DE FERTILIDAD

ANALISIS DE SUELOS DE LAS PARCELAS DE ESCORRENTIA

Cuadro 30A: Resultados de los análisis de suelos realizados al inicio y al final del ensayo en el sitio experimental con 25% de pendiente (kg/ha)

Tratamiento	Nutriente	Inicio	Final	Pérdida
PASTO	Ca	3557.18	2471.41	1085.77
	Mg	301.17	215.43	85.74
	P	7.59	0.34	7.25
	K	331.96	318.2	13.76
MAIZ	Ca	3333.13	2364.56	968.57
	Mg	269.8	194.51	75.29
	P	20.76	3.30	17.46
	K	280.36	249.4	30.96
COLIFLOR	Ca	3757.1	2471.41	1285.69
	Mg	355.56	204.97	150.59
	P	9.77	0.34	9.43
	K	412.8	309.6	103.2
LIMPIA	Ca	2902.27	2688.57	213.7
	Mg	280.26	215.43	64.83
	P	9.77	0.52	9.25
	K	369.8	266.6	103.2

Cuadro 31A: Resultados de los análisis de suelos realizados al inicio y al final del ensayo en el sitio experimental con 40% de pendiente (kgs/ha).

TRATAMIENTO	NUTRIENTE	INICIO	FINAL	PERDIDA
PASTO	Ca	3546.84	3012.57	534.27
	Mg	280.26	246.8	33.46
	P	3.18	1.03	2.15
	K	404.2	297.56	106.64
MAIZ	Ca	3226.28	2474.86	751.42
	Mg	246.8	215.43	31.37
	P	7.59	3.3	4.29
	K	349.16	237.36	111.8
COLIFLOR	Ca	3115.98	2581.71	534.27
	Mg	267.71	236.34	31.37
	P	5.38	4.42	0.96
	K	309.6	266.6	43
LJMPA	Ca	3205.6	3009.13	196.47
	Mg	280.26	236.34	43.92
	P	2.08	0.52	1.56
	K	404.2	271.76	132.44

Los resultados de los análisis de suelos muestran que de manera general los valores de nutrientes del suelo son mayores en el sitio experimental con 25% de pendiente en relación a los obtenidos en el sitio experimental con 40%; lo cual se debe a que estos terrenos se encuentran expuestos a los procesos erosivos desde hace varios años.

Por otro lado se observa que tanto para el sitio con 25% como para el de 40% de pendiente los valores de los nutrientes perdidos por causa de la erosión y la extracción de los cultivos son en su mayoría menores en

el tratamiento de parcela sin cobertura, debido a que este suelo posee menor cantidad de nutrientes en relación a los otros y por lo tanto la cantidad que se puede perder es ya muy poca; lo cual nos muestra que los suelos del área en donde se realizó el ensayo son muy susceptibles a la erosión y se empobrecen aún más al no poseer protección vegetal alguna.

Para profundizar en el estudio de la pérdida de fertilidad del suelo se realizaron análisis químicos a dos muestras de agua de escorrentía (de los dos eventos más próximos posteriormente a una aplicación de fertilizante) y los valores muestran que la cantidad de nutrientes perdidos en disolución en el agua de escorrentía son muy bajos; mostrando que en el sitio con 25% de pendiente se pierden menor cantidad que en el sitio con 40% de pendiente; y que de manera general se da un mayor arrastre de nutrientes en solución en el tratamiento de parcela sin cobertura en relación a los otros tratamientos.

III. CALCULO DE FACTORES DE LA ECUACION DE PERDIDAS
DE SUELO POR EROSION HIDRICA MODIFICADA

CALCULO DE SUELO EROSIONADO POR MEDIO DE LA ECUACION DE PERDIDAS DE SUELOS POR LA EROSION HIDRICA MODIFICADA (RUSLE)

CALCULO DEL FACTOR DE EROSIDIDAD DE LAS LLUVIAS (FACTOR R)

La metodología seguida fué la siguiente:

- a. Para el cálculo de la energía cinética, los pluviogramas se dividieron en segmentos con intensidad diferente y los productos de la energía de cada segmento por la cantidad de lluvia precipitada se sumaron, para obtener la energía cinética total.
La energía cinética de cada segmento se calculó con la siguiente ecuación:
$$EC = 0.119 + 0.0873 \log_{10} X$$

Donde X, es la intensidad de la lluvia en mm/h. de cada uno de los segmentos. Las intensidades mayores de 76 mm/h. utilizan la energía cinética de 0.283 MJ/ha.mm.
2. Para obtener la intensidad máxima en 30 minutos por evento de lluvia se consideró la parte de la curva en la gráfica del pluviograma que tuviera la mayor pendiente, en una porción de tiempo equivalente a 30 minutos. El resultado obtenido se multiplicó por dos para expresar los datos en mm/h.
3. Las tormentas menores de 13 mm. separadas de otro evento de lluvia por más de 6 horas y las menores o iguales a 6 milímetros separadas por periodos de tiempo mayores de 15 minutos no se consideran para el cálculo.
4. La energía cinética de total de lluvia, se multiplicó por la intensidad máxima en 30 minutos y se obtuvieron los valores de EI_{30} por cada evento de lluvia.

5. La suma de los productos de la energía cinética total de cada lluvia por su correspondiente intensidad máxima en 30 minutos, se expresa como promedio anual y el resultado es el índice de erosividad de la lluvia.

CALCULO DEL FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (FACTOR K)

Para el efecto se tomaron los valores determinados por Cardona (4) para los dos diferentes suelos del área en donde se realizó el experimento.

CALCULO DEL FACTOR TOPOGRAFICO LS

Para dicho cálculo se utilizaron las ecuaciones siguientes:

$$S = 0.065 + 0.045(S) + 0.0065 (S)^2$$

$$L = (\text{Long. terreno} / 22.1)^n$$

$$n = 0.5$$

Los valores obtenidos fueron para el suelo con 25% de pendiente de 3.53 y para el de 40% de 8.52.

CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA (FACTOR C)

Se realizaron varios cálculos de factor C de acuerdo al ciclo del cultivo; los valores obtenidos fueron:

COLIFLOR:

FECHA	25%	40%
15 mayo - 22 junio	0.17	0.15
22 junio - 28 julio	0.12	0.10
28 julio - 3 sept.	0.06	0.07
3 septiembre - 28 oct.	0.27	0.28
28 octubre - 19 nov.	0.09	0.09
19 nov. - 30 dic.	0.14	0.11
PROMEDIO	0.14	0.13

MATZ:

FECHA	25%	40%
15 mayo - 22 junio	0.13	0.11
22 junio - 28 julio	0.09	0.09
28 julio - 30 sept.	0.13	0.09
30 sept. - 30 dic.	0.08	0.08
PROMEDIO	0.11	0.09

IV. DATOS DE Ise

Cuadro 32A: Datos de intensidad máxima en 30 minutos (mm/h), intensidad por segmento (mm), energía cinética y factor de aerodabilidad de las lluvias (MJ.m.m./ha/h)

FECHA	ISO	INTENS.	E. CINÉT.	"R"	FECHA	ISO	INTENS.	E. CINÉT.	"R"
12/5	7.3	14.6,7.8	0.418	6.103	12/8	10.5	58.2	0.278	5.783
15/5	6.0	9.6,3.6	0.373	4.476	13/8	12.3	6.24,10.2		
17/5	4.2	4.2,5	0.326	2.733			18.6,5.1	0.806	19.828
18/5	5.3	10.5,3.6	0.376	3.986	15/8	11.3	13.66,33.9		
19/5	5.0	24	0.239	2.39			25.5,16,3.6		
21/5	6.2	16.5,3.7	0.394	4.886			4.2	1.476	33.425
22/5	2.3	4.1	0.172	0.791	21/8	5.0	7.5	0.195	1.950
31/5	4.7	6.1,7	0.326	1.307	22/8	4.1	20.4,1.56	0.371	1.350
4/6	2.2	4.4	0.175	0.770	28/8	3.6	9.,5.58,4.2,9.7	0.717	5.162
7/6	0.7	1.3	0.129	0.181	10/9	6.0	22.5,4.8,2	0.560	6.720
9/6	8.0	1.7,13	0.355	5.680	18/9	13.8	33.6,10.8		
11/6	3.0	4.3,2.1	0.321	1.926			2.4,0.38	0.735	29.106
17/6	2.7	5.6,1.3,0.4	0.397	2.144	20/9	3.4	6.6,0.34,9.6	0.513	3.488
18/6	2.5	9.6	0.205	1.025	25/9	3.8	32.4,6,1.13	0.562	5.170
20/6	12.8	38.1	0.257	6.579	26/9	3.1	5.6,9.6,1.1	0.512	5.632
21/6	1.1	2.1	0.147	0.323	27/9	3.0	7.5,3.6,1.2		
27/6	12.2	26.1,5	0.423	10.321			2.4,0.9	0.756	5.746
4/7	9.6	8.8,18.3	0.430	8.256	28/9	5.4	3.2,1.2	0.329	3.553
5/7	6.0	6.5	0.190	2.280	29/9	8.0	33.6,54	0.522	8.352
6/7	6.5	10.8	0.209	2.717	1/10	4.5	1.4,6,0.5	0.412	3.708
20/7	7.0	7.6,13.8,1.1	0.538	7.532	4/10	3.0	7.6	0.196	1.176
21/7	9.0	26.9,84	0.448	9.064	7/10	4.7	24.3,9,1.7	0.549	5.161
24/7	3.1	4.68	0.178	1.104	8/10	3.3	4.8	0.178	1.175
26/7	36.0	36	0.255	18.360	9/10	13.0	46.8,16.2	0.634	16.484
30/7	2.4	0.7,4.6	0.282	1.354	11/10	3.0	6.1,1	0.310	1.86
31/7	6.0	13.8,2.2	0.368	4.416	12/10	2.3	4.8,18.6	0.408	1.877
5/8	9.5	44.4,3.8,4.5	0.609	11.571	14/10	1.2	1.7	0.139	0.167
6/8	9.0	27	0.244	4.392	3/11	4.2	1.2,3,3.1	0.486	4.082
7/8	11.2	4.5,39,3.2			7/11	0.7	1.5,1.6	0.271	0.379
		2.4,5.4,3.78			14/11	4.9	3.8,1.2	0.296	2.301
		0.98	1.219	27.306	15/11	9.2	14.7	0.221	4.066
8/8	14.7	36.27,10.43			6/12	1.5	1.9,2.1	0.290	0.870
		32.5,9.5,33			25/12	5.0	3.6,10,4.2	0.548	6.576
		1.33	1.228	35.858	27/12	0.7	0.8,0.3,1.2	0.310	0.434

Cuadro 33A: Datos de precipitación (mm) y factor de erodabilidad (MJ.mm/ha.h) mensuales

MES	PP (mm)	"R"
MAYO	120.30	26.677
JUNIO	214.11	28.949
JULIO	144.50	54.083
AGOSTO	252.83	146.575
SEPTIEMBRE	202.80	67.735
OCTUBRE	110.20	31.608
NOVIEMBRE	64.30	11.428
DICIEMBRE	30.5	7.88

V. MAPAS DE CARACTERISTICAS BIOFISICAS DE LA CUENCA

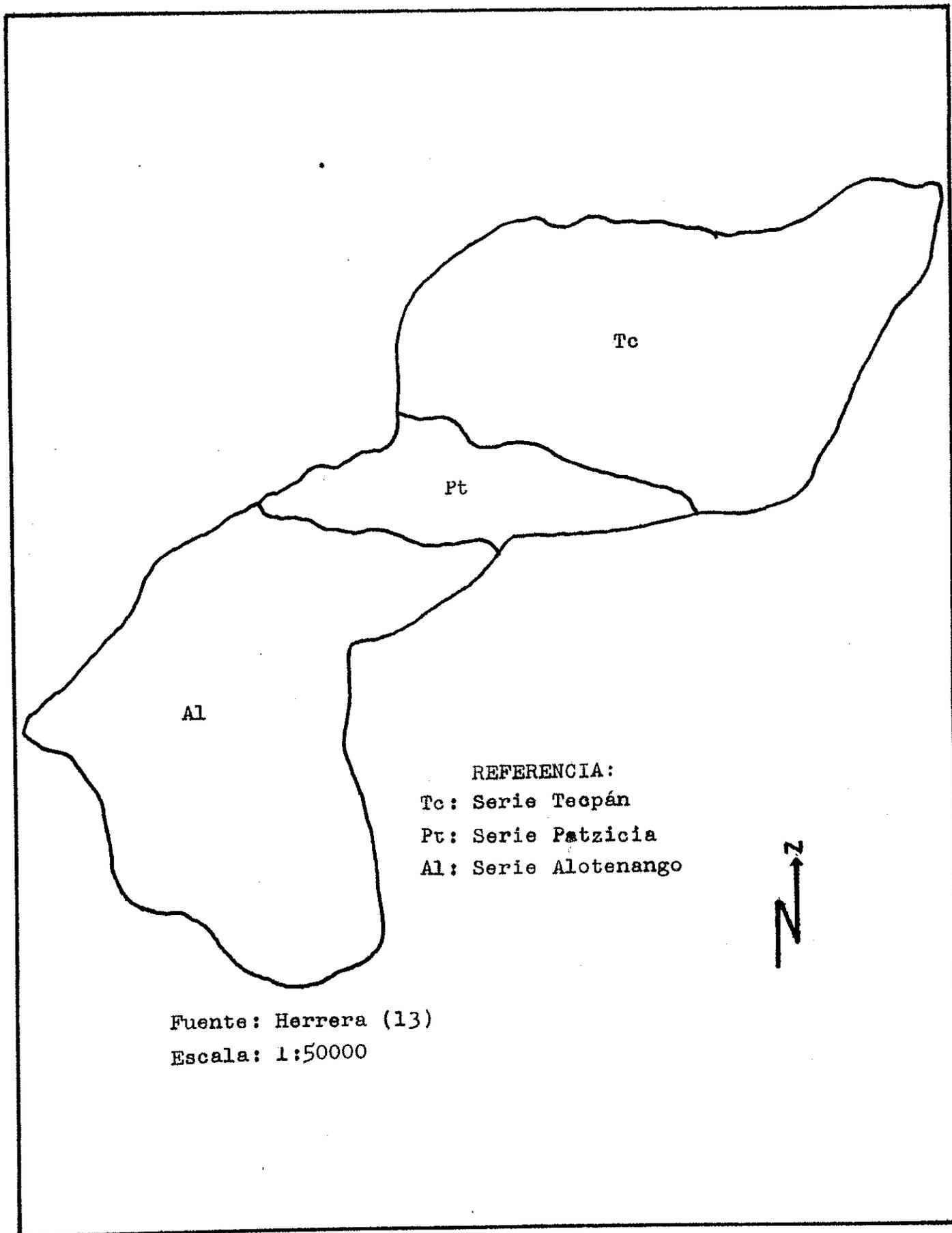


Figura 1A: Mapa de serie de suelos de la cuenca del río Itzapa

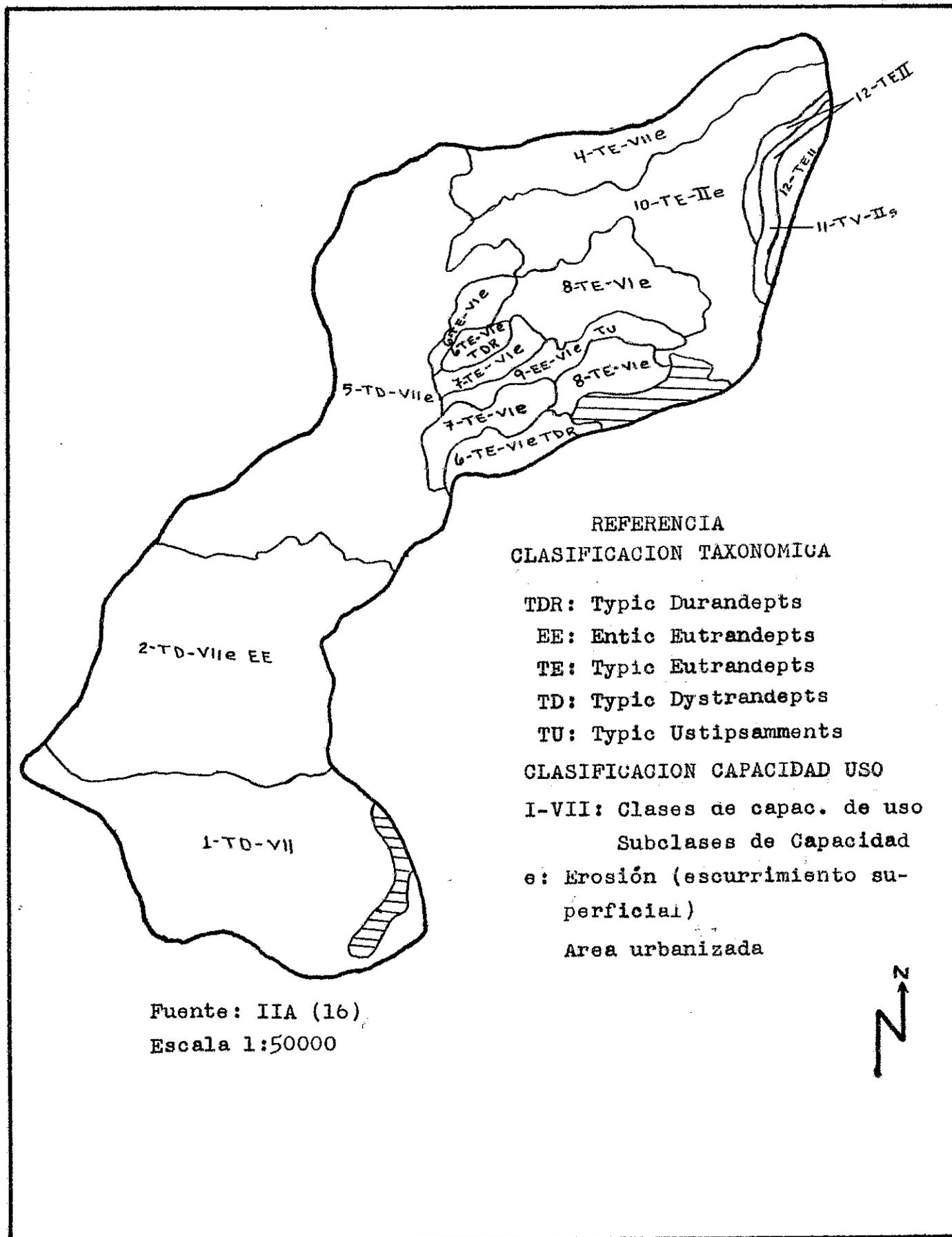
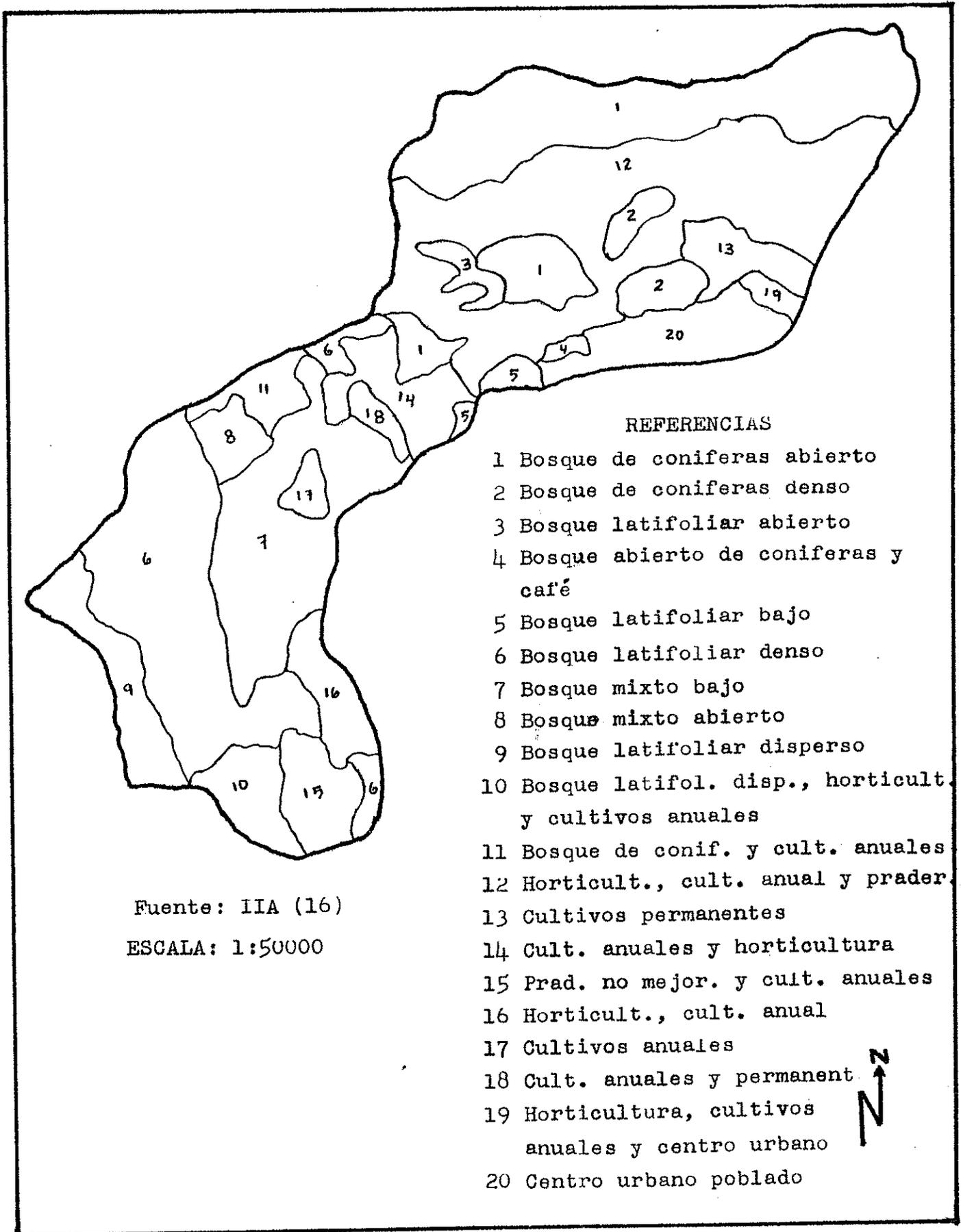


Figura 2A: Clasificación de suelos y tierras de la cuenca del río Itzapa

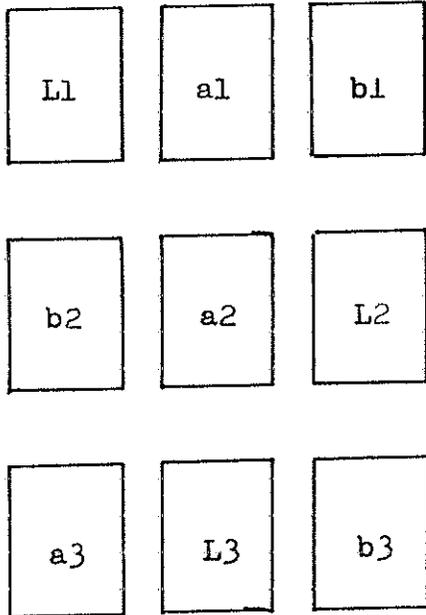


Fuente: IIA (16)

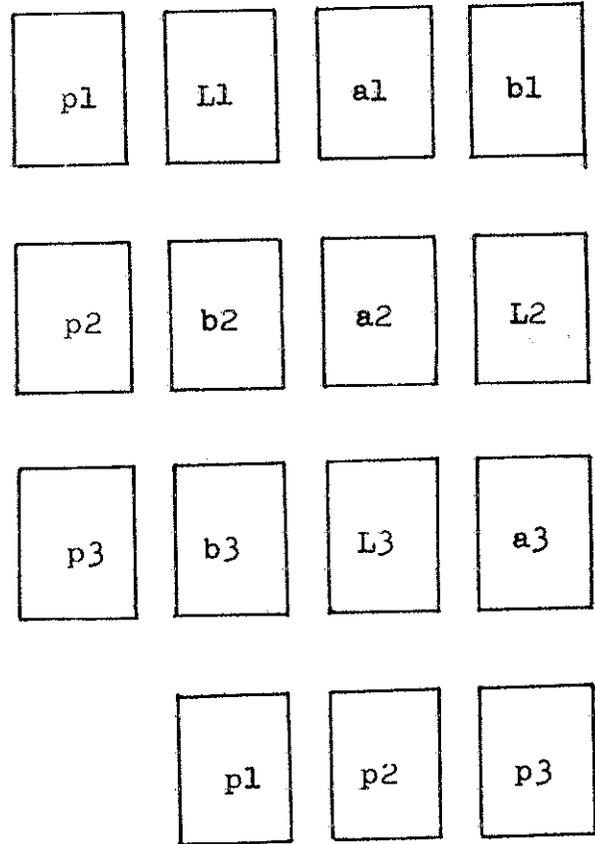
ESCALA: 1:50000

Figura 3A: Mapa de uso de la tierra de la cuenca del río Itzapa

25% de pendiente



40% de pendiente



Pendiente



REFERENCIAS

- a Cultivo de maíz
 - b Cultivo de coliflor
 - p Pasto kikuyu
 - L Limpia (sin cobertura)
- 1-3 Repeticiones

Figura 4A: Croquis de la distribución de los tratamientos



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

Ref. Sem.050.95

LA TESIS TITULADA: EVALUACION DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE SOBRE LA
 EROSION HIDRICA EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RIO IT-
 ZAPA, CHIMALTENANGO. FASE II".

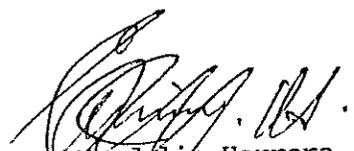
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: HERBERTH ESTUARDO PEREZ LIQUIDANO

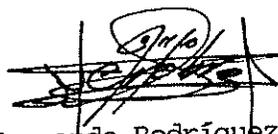
CARNET No.: 8913834

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Isaac Herrera
 Ing. Agr. Adalberto Rodríguez

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


 Ing. Agr. Hugo Tobías
 ASESOR


 Ing. Agr. Máxdelio Herrera
 ASESOR


 Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte
 DIRECTOR DEL IIA



IMPRIMASE


 Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
 DECANO



c.c. Control Académico
 Archivo APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

FRB/kder

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770