

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

**EFFECTO DE LA COBERTURA DE CULTIVOS SOBRE LA EROSION
HIDRICA DEL SUELO EN LA PARTE MEDIA DE LA CUENCA
DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA. (FASE I)**

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

POR

CARLOS FERNANDO LOPEZ BUCARO

en el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, Enero de 1,998.

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. José Rolando Lara Alecio
VOCAL I	Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
VOCAL II	Ing. Agr. William Roberto Escobar López
VOCAL III	Ing. Agr. Alejandro Arnoldo Hernández Figueroa
VOCAL IV	Br. Estuardo Enrique Lira Prera
VOCAL V	P. Agr. Edgar Danilo Juárez Quim
SECRETARIO	Ing. Agr. Guillermo Edilberto Méndez Beteta

Guatemala,
Enero de 1,998.

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

Respetables señores:

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

" EFECTO DE LA COBERTURA DE CULTIVOS SOBRE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO ITZAPA, SAN ANDRES ITZAPA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA (FASE I)".

Trabajo que presento como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

A la espera de una resolución favorable me despido de ustedes.


Carlos Fernando López Búcaro

ACTO QUE DEDICO

A

DIOS: Por haberme dado la vida y su inmenso amor y misericordia.

MIS PADRES:
Carlos Chinchilla y Liseth Búcaro Como una muestra de agradecimiento a su amor, esfuerzos, apoyo moral y económico.

MIS ABUELAS:
María Luisa González Muñoz Por ser un ejemplo de lucha y perseverancia.
Carlota Chinchilla Con cariño.

MI NOVIA:
María de Los Angeles Portillo Monroy Por su amor, comprensión y apoyo en todo momento.

MIS HERMANAS:
Carla Liseth y Luisafernanda Con cariño.

MIS SOBRINOS:
Andrea y Ana Por ser una bendición.

MIS TIOS Y PRIMOS: En especial a Gustavo Búcaro por ser un ejemplo de superación.

A MIS AMIGOS: En especial a Mario Reyes, Sergio Reyes, Fernando Flores, Mario Sierra, Douglas Sierra, Luis Flores, Douglas del Cid, Roberto Monroy, Jose Mansilla, Alex Alonso, Erick Guerrero, Jose González por su amistad.

A MIS COMPAÑEROS: Carlos González, Carlos Castañeda, Marlon Nájera y David Herrera.

TESIS QUE DEDICO

A

MI GUATEMALA

COLEGIO SALESIANO "DON BOSCO"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

AGRADECIMIENTOS

SINCEROS AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Agr. Msc Hugo Antonio Tobías Vásquez e Ing. Agr. Msc Ervin Maxdelio Herrera de León, por su apoyo en la asesoría en la realización de este trabajo de tesis.

Instituto de Investigaciones Agronómicas y a los integrantes del proyecto de la cuenca del río Itzapa, Guillermo Santos, Erick Motta, Rodolfo Véliz, Ronal Gómez, Fredy Romero, Amilcar Sánchez, Eduardo Moreira, por su ayuda y apoyo en la etapa de campo de esta investigación.

Mario Reyes, Miguel López, Guillermo Ruano, David Juárez, Juan Daniel Portillo, Manuel Garzaro, Byron González, Oscar Chávez por su ayuda y colaboración en la ejecución de esta tesis.

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

A la familia Castellanos Cortez, Doña Toyita, Hugo Buch, Alfonzo y Luis López, Hermenio López y familia por su apoyo en la comunidad en estudio

Y aquellas personas que hayan colaborado en la realización de la tesis.

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

CONTENIDO

	INDICE DE FIGURAS	iii
	INDICE DE CUADROS	iv
	RESUMEN	v
1.	INTRODUCCION	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3.	MARCO TEORICO	
3.1.	MARCO CONCEPTUAL	
3.1.1.	Erosión hídrica	3
3.1.1.1.	Procesos de la erosión hídrica	3
3.1.1.2.	Tipos de erosión por el agua	3
3.1.2.	Factores de la erosión y el escorrenfía	3
3.1.3.	Etapas del proceso de erosión hídrica	7
3.1.4.	Practicass de conservación de suelos	9
3.1.5.	Medición de la escorrenfía y la erosión	11
3.1.6.	Descripción del modelo USLE	12
3.2.	MARCO REFERENCIAL	15
3.2.1.	Caracterfsticas generales de la cuenca	15
4.	OBJETIVOS	20
4.1.	OBJETIVO GENERAL	20
4.2.	OBJETIVO ESPECIFICO	20
5.	HIPOTESIS	21
6.	METODOLOGIA	22
6.1.	Ubicación del sitio experimental	22
6.2.	Selección de tratamientos	22
6.3.	Diseño experimental	22
6.3.1.	Modelo Estadfstico	24
6.4.	Arreglo y montaje del experimento	24
6.4.1.	Confinamiento de las parcelas	24
6.4.2.	Sistema colector de agua y sedimentos	24
6.4.3.	Fuentes de datos meteorológicos	26
6.4.4.	Establecimiento y manejo de los cultivos	26
6.5.	Variables de respuestas	27
6.5.1.	Variables auxiliares	27
6.6.	Medición de variables	27

6.6.1.	Escurrimiento superficial	27
6.6.2.	Cantidad de suelo erosionado	27
6.6.3.	Rendimiento de los cultivos	28
6.6.4.	Medición de la precipitación	28
6.6.5.	Caracterización del suelo	28
6.6.6.	Fertilidad	28
6.6.7.	Porcentaje de humedad	29
6.6.8.	Densidad de cobertura	29
6.7.	Análisis de la información	29
7.	RESULTADOS	30
7.1.	Precipitación	30
7.1.1.	Precipitación total mensual	30
7.1.2.	Frecuencia de la precipitación	31
7.1.3.	Intensidad	31
7.2.	Escorrentía	31
7.2.2.	Porcentaje de escorrentía	31
7.2.3.	Cantidad de escorrentía	32
7.3.	Suelo erosionado en parcelas de escorrentía	33
7.4.	Cobertura de los tratamientos	35
7.5.	Características granulométricas de los sedimentos	35
7.6.	Factor de cobertura (factor C)	36
7.7.	Rendimiento de los cultivos	37
7.8.	Factor de erodabilidad (factor K)	37
7.9.	Factor de erosividad (factor R)	38
7.10.	Ecuación universal de pérdida de suelo	38
7.11.	Correlaciones	39
7.11.1.	Correlación entre la cantidad de suelo erosionado - y la escorrentía	39
7.11.2.	Correlación entre la intensidad de lluvia - escorrentía y el suelo erosionado	39
7.11.3.	Correlación entre el factor de erosividad (R) - escorrentía y suelo erosionado	41
7.11.4.	Correlación entre el porcentaje de cobertura - erosión y escorrentía	41
8.	CONCLUSIONES	43
9.	RECOMENDACIONES	44
10.	BIBLIOGRAFIA	45
11.	APENDICES	47

INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Ubicación de la cuenca del río Itzapa a nivel nacional y dentro de la cuenca del río Achiguate	16
FIGURA 2. Delimitación de la cuenca del río Itzapa	17
FIGURA 3. Mapa de clases de pendiente de parte media de la cuenca del río Itzapa	23
FIGURA 4. Esquema de una parcela de escorrentía que se estableció en el ensayo	25
FIGURA 5. Relación cantidad de suelo erosionado y cantidad de escorrentía de la parte media de la cuenca del río Itzapa 1996	40
FIGURA 6. Relación de la intensidad de lluvia y escorrentía superficial de la parte media de la cuenca del río Itzapa 1996	40
FIGURA 7. Relación del porcentaje de cobertura, erosión y escorrentía de la parte media de la cuenca del río Itzapa 1996	41
FIGURA 8A. Nomograma para la determinación del valor de erodabilidad (factor K) de la parte media de la cuenca del río Itzapa 1996	53
FIGURA 9A. Mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la cuenca del río Itzapa	55
FIGURA 10A. Mapa de uso actual de la tierra de la cuenca del río Itzapa	56
FIGURA 11A. Capacidad de uso de la tierra en la cuenca del río Itzapa	57
FIGURA 12A. Croquis de la distribución de los tratamientos	58

INDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. Precipitación mensual promedio de 10 años de la estación "La Alameda" y valores registrados para el año 1,996 en mm	30
CUADRO 2. Cantidad de lluvia y frecuencia para cinco clases de lluvias ocurridas en San Andrés Itzapa, Chimaltenango, en el año 1,996	31
CUADRO 3. Cantidad (m ³ /ha) y porcentaje de escorrentía para el sitio experimental en 1,996	32
CUADRO 4. Escorrentía superficial (m ³ /ha) para tratamientos y repeticiones en el sitio experimental en 1,996	32
CUADRO 5. Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio experimental	33
CUADRO 6. Prueba de tukey para la cantidad de escorrentía superficial en el sitio experimental	33
CUADRO 7. Cantidad de suelo erosionado (kg/ha) en el sitio experimental en 1,996	34
CUADRO 8. Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio experimental	34
CUADRO 9. Prueba de tukey para la cantidad de suelo erosionado en el sitio experimental	34
CUADRO 10. Porcentaje de cobertura vegetal para el sitio experimental	35
CUADRO 11. Porcentaje de partículas de suelo de los sedimentos perdidos en la parcela de escorrentía	36
CUADRO 12. Factor de cobertura (C) para cada tratamiento en la pendiente evaluado	36
CUADRO 13. Rendimiento (kg/ha) para los cultivos establecidos en el sitio experimental	37
CUADRO 14. Valores del factor de erodabilidad (K) de la parte media cuenca del río Itzapa	38
CUADRO 15. Factor de erosividad "R" mensual en 1,996 para la parte media de la cuenca del río Itzapa	38
CUADRO 16. Valores de suelo erosionado (ton/ha) medidos por el método directo y calculados por medio de la ecuación universal de pérdida de suelo	39
CUADRO 17. Valores de intensidad de cuatro eventos y cantidad de suelo erosionado (kg/ha) y escorrentía superficial (m ³ /ha) de la parte media de la cuenca del río Itzapa	42
CUADRO 18A. Resultados de los análisis de suelos realizados al inicio y al final del ensayo en el sitio experimental (kg/ha)	49

EFFECTO DE LA COBERTURA DE CULTIVOS SOBRE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO ITZAPA, SAN ANDRES ITZAPA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA.

(FASE I)

EFFECT OF THE CROPS COVERAGE OVER THE HIDRIC EROSION OF THE SOIL, IN THE MEDIUM BASIN IN THE ITZAPA RIVER, SAN ANDRES ITZAPA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA.

(PHASE I)

RESUMEN

Este trabajo trata sobre la evaluación del efecto de la cobertura de varios cultivos comunes sobre la erosión hídrica del suelo en la parte media de la microcuenca del río Itzapa, en el municipio de San Andrés Itzapa, en el departamento de Chimaltenango. La investigación se realizó durante la época lluviosa de 1996 en los cantones San Pedro y San Pablo en San Andrés Itzapa, lugar donde existen terrenos con varias pendientes, con cultivos limpios y suelos susceptibles a la erosión, característicos de la parte media de la cuenca del río Itzapa.

Las coberturas vegetales evaluadas fueron: cultivo en asocio de maíz (Zea mays, L.) y frijol (Phaseolus vulgaris, L.), cultivo de brócoli (Brassica oleracea Var. italica, L.), y cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris, L.); las cuales fueron comparadas con un testigo, el cual permaneció sin cobertura todo el tiempo durante la ejecución de la investigación, los tratamientos se evaluaron con una pendiente de 18 por ciento.

En el ensayo se establecieron parcelas de escorrentía de 10 m de longitud y 5 m de ancho (área de 50m²) distribuidos en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones. En cada parcela se midió la cantidad de escorrentía superficial y suelo erosionado, se analizaron además las principales características físicas y químicas de los sedimentos, los porcentajes de cobertura, los factores de cobertura (factor C), erosividad (factor R), y erodabilidad (factor K) de la ecuación universal de pérdida de suelo.

Los principales resultados obtenidos muestran que el mayor volumen de escorrentía, ocurrió en la cobertura de brócoli, con 489.91 m³/ha seguida de la cobertura de frijol, con 279.52 m³/ha, mientras que el menor valor fue para el tratamiento de la cobertura de asocio maíz y frijol, con 193.76 m³/ha. La parcela sin cobertura con 710.87 m³/ha se tomó como comparador absoluto.

La cantidad de suelo erosionado fue mayor para la cobertura de brócoli, con 22.75 ton/ha, luego disminuyó sustancialmente para la cobertura de frijol, con 2.90 ton/ha, para la cobertura de asocio de maíz y frijol, con 1.30 ton/ha. En la parcela testigo se obtuvieron 33.30 ton/ha.

De los tratamientos evaluados, el asocio de maíz y frijol fue el que proporcionó el mayor porcentaje de cobertura durante el período de evaluación, con valor de 68 por ciento, el frijol alcanzó un porcentaje de 48 por ciento y el brócoli alcanzó el 44 por ciento, por lo tanto la cantidad de suelo erosionado fue alta en este tratamiento.

El factor de cobertura (factor C) para el tratamiento de brócoli fue de 0.68, disminuyendo para el tratamiento de frijol con 0.09, siendo aún menor para el tratamiento de asocio de maíz y frijol con valor de 0.04. Los resultados anteriores indican que el asocio maíz y frijol proporciona mayor defensa al suelo contra la erosión hídrica.

El factor de erodabilidad (factor K) determinado en el sitio experimental fue de (0.16 ton/ha/hr) / (MJ.mm/ha.hr.año). El factor K indica que el suelo es poco susceptible a ser erosionado por la lluvia. Por otro lado, el factor de erosividad (factor R) fue de (2,216.71 MJ.mm / ha/hr/año), para el terreno de 18 por ciento de pendiente en la parte media de la cuenca del río Itzapa, indica que en esa región la lluvia tiene un alto potencial para provocar erosión al suelo.

1. INTRODUCCION

Guatemala es un país que cuenta con gran cantidad y diversidad de recursos naturales, los cuales se están perdiendo debido a la explotación indiscriminada de que están siendo objeto. El hombre debe aprovechar los recursos naturales para la satisfacción de sus necesidades en una forma racional para evitar que haya escasez en un futuro cercano, dentro de estos valiosos recursos naturales se encuentra el suelo, el cual está sujeto a procesos destructivos provocados por la intervención del hombre en la naturaleza, principalmente en la producción agrícola en terrenos con altas pendientes y sin prácticas de conservación de suelo, dando como resultado el rompimiento del equilibrio natural.

La microcuenca del río Itzapa, que pertenece a la macrocuenca del río Achiguate, en la vertiente del pacífico, representa un área típica del altiplano central de Guatemala, que se caracteriza por tener suelos susceptibles o muy susceptibles a la erosión, en dicha región predominan los cultivos anuales tales como el maíz (*Zea mays*, L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.), así como algunos cultivos no tradicionales de la región como el brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*, L.) y coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*, L.), que por su escasa cobertura vegetal en las primeras etapas de desarrollo, favorecen el proceso erosivo de dichos suelos.

La Facultad de Agronomía, a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) y la Dirección General de Investigación (DIGI) de la Universidad de San Carlos de Guatemala; han implementado el proyecto de "Investigación básica para la planificación de la microcuenca del río Itzapa". Como parte de este proyecto, se planteó la presente investigación, la cual tuvo la finalidad de obtener información sobre el grado de protección que la cobertura vegetal, de los principales cultivos de la región ofrecen al suelo. En el estudio se evaluó el efecto de tres tipos de cobertura vegetal en una pendiente de terreno de 18 por ciento. Para el desarrollo del ensayo se utilizó el diseño bloques al azar con parcelas de esorrentía de 50 metros cuadrados en terrenos ubicados en la parte media de la microcuenca; durante la época lluviosa del año 1,996.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La microcuenca del río Itzapa, tiene suelos con pendiente muy altas, que los hace muy susceptibles a la erosión hídrica, además de que la población ejerce una alta presión de uso sobre los recursos naturales renovables lo cual ha provocado la eliminación del bosque y la introducción de cultivos de tipo anual, que favorecen el arrastre y pérdida de dichos suelos.

Dentro de los problemas que ocurren en la microcuenca del río Itzapa se pueden mencionar:

- a) Una fuerte deforestación por la intención de incrementar las áreas de cultivo, esta situación provoca que el suelo quede libre de cubierta vegetal y a expensas de las fuerzas erosivas de la naturaleza, especialmente las ocasionadas por la precipitación pluvial.
- b) En gran medida, esta deforestación también se da por la tala de árboles para leña, la cual es comercializada en la cabecera municipal.

La escorrentía superficial y la erosión del suelo provoca cada año la pérdida del horizonte superficial del suelo, nutrientes y materia orgánica, así como desbordes e inundaciones del cauce del río en las partes media y baja de la microcuenca, además de alterar el ciclo hidrológico del área.

En los años de 1,990 a 1,992, el Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía, inició el proyecto de la "Priorización de cuencas hidrográficas", el cual se hizo un estudio y posterior selección de cuencas piloto en las diferentes vertientes del país, siendo seleccionadas en la vertiente del Pacífico la cuenca del río Achiguate, en la vertiente del Atlántico la cuenca del río Grande de Zacapa y en la vertiente del Golfo de México la cuenca del río Chixoy. Dentro de la cuenca del río Achiguate se selecciono como cuenca prioritaria y de estudio a la microcuenca del río Itzapa (Nufio Reyes, W. 1,982).

Debido a lo anterior, el Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía y la Dirección General de Investigación (DIGI) de la Universidad de San Carlos, iniciaron el proyecto "Investigación básica para la planificación de la cuenca del río Itzapa", el cual tiene como objetivo generar información para la formulación de planes de manejo de la microcuenca. El presente trabajo constituye la fase I de la evaluación de tres tipos de cobertura vegetal en una pendiente de terreno en la parte media de la microcuenca del río Itzapa.

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. EROSION HIDRICA

La erosión hídrica es el proceso que consiste en el desprendimiento del suelo o fragmentación de roca y su arrastre, por acción del agua (Dewis, J.; Frietas., 1984).

3.1.1.1. PROCESOS DE LA EROSION HIDRICA

La erosión hídrica consta de los siguientes procesos: (Dewis, J.; Frietas., 1984).

- A. Separación o liberación de partículas o grupos de ellas de la masa principal del suelo.
- B. Movimiento, transporte o remoción de las partículas de suelo de su posición original.
- C. Suárez de Castro (1979) indica que la sedimentación, que ocurre cuando se presentan cambios de pendiente o algún obstáculo que disminuye la velocidad de escurrimiento y así su capacidad de arrastre.

3.1.1.2. TIPOS DE EROSION POR EL AGUA

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

- A. Chapoteó o batido, Consiste en la dispersión de pequeñas partículas por la acción de las gotas de agua que causan desprendimiento y movimiento debido a las fuerzas y cantidad de lluvia que golpean al suelo (Dewis, J.; Frietas., 1984).
- B. Erosión laminar, es aquella que produce la eliminación o transporte de capas de suelo en forma uniforme (Dewis, J.; Frietas., 1984)
- C. Flujo canalizado, esta consiste en la formación de canales que con el transcurso del tiempo y la acción del agua se convierten en cárcavas por concentración de agua en lugares bajos (Dewis, J.; Frietas., 1984).

3.1.2. FACTORES DE LA EROSION Y LA ESCORRENTIA

Los cuatro factores principales que determinan la escorrentía y las pérdidas de suelo por la erosión son:

A) EL CLIMA

De acuerdo a la Dirección General de Servicios Agrícolas (1980) 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.

López, F. (1988), indica que el factor climático de mayor incidencia en la manifestación y desarrollo de la erosión hídrica está constituido por las lluvias. Mientras que Gourgon, M. (1977), menciona que en experimentos realizados en Madagascar y Africa, determinaron que las características pluviométricas más importantes son:

i. La columna de agua

Según Apolo, B.W. (1980), la cantidad de lluvia necesaria para que se produzca escorrentía superficial es significativa y la erosión varía de un lugar a otro.

Según Jackson y Kowal citados por Apolo Berru, W.A. (1980), 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. Es el factor pluviométrico más importante que afecta la escorrentía y la erosión, constituyéndose en un importante parámetro potencial de erosividad (Hudson, N., 1985. Suárez de Castro, F., 1979).

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 (Dirección General de Servicios Agrícolas, 1980).

iii. Frecuencia

Está dada por los intervalos entre las lluvias. Intervalos cortos aumentan los riesgos de que se originen escorrentía aún con lluvias de baja intensidad; debido a que el contenido de humedad del suelo al comenzar éstas será alto. La infiltración del agua en el suelo tienen menor velocidad si los espacios capilares se han llenado con agua por una lluvia previa (López, F., 1988; Suárez de Castro, F., 1979).

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 (López, F., 1988).

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 (Suárez de Castro, F., 1979).

a. 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 (López, F., 1988).

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 (Dirección General de Servicios Agrícolas, 1980).

b. 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 (Universidad de San Carlos de Guatemala, 1992).

Sin embargo, según Millar, C.; Turk, L.; Foth., H. (1980), los terrenos con pendientes moderadas de gran longitud pueden sufrir una mayor erosión que los que tienen altos grados de pendiente y corta longitud, pues la longitud influye en la velocidad y volumen de escorrentía.

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 (Suárez de Castro, F. 1979)

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
- ii) Disminuye el volumen y la velocidad de la escorrentía (Dirección General de Servicios Agrícolas, 1980; López, F. 1988).

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 (Dirección General de Servicios Agrícolas, 1980) 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.

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 (Suárez de Castro, F. 1979).

Baver et al citado por López, F. (1988), 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;
- 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.

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

a. Profundidad del suelo

Los suelos poco profundos tienen poca capacidad de almacenamiento de agua y ocurre lo contrario con los suelos profundos, por lo que en los primeros se inicia más rápidamente el escurrimiento de agua y el arrastre de partículas (Foster, A.B. 1979).

b. Velocidad de Infiltración

De acuerdo a Linsley, R.K.; Kohler, M.A; Paulhos, J.L. (1988), los suelos con baja velocidad de infiltración no son capaces de absorber agua tan rápidamente como cae en él, y el exceso debe correr sobre la superficie. Los suelos de textura gruesa poseen altas velocidades de infiltración debido a su buen drenaje y alta permeabilidad, otros factores que limitan la velocidad de infiltración son: el contenido de humedad del suelo, la estructura y el contenido de materia orgánica.

E) FACTOR SOCIOECONOMICO

La erosión no solo es un problema físico, también es un problema socioeconómico, pues resulta de una inadecuada relación entre el hombre y el suelo, el hombre extrae del suelo en forma directa o indirecta materiales para su protección y alimentación por su relación con el territorio que habita es vital (Rojas, R.M. 1986).

Existen diversas circunstancias como: la distribución de la población y los terrenos agrícolas, la estabilidad de los precios de los productos agrícolas, el grado de educación del agricultor, las vías de comunicación, que explican el uso y manejo inadecuado del suelo y como consecuencia la magnitud y características de la erosión en la región (Ortiz, V. 1982).

3.1.3 ETAPAS DEL PROCESO DE EROSION HIDRICA

Según Trueba A., Amaya G.M. citado Por López Hernández, J.E. (1980), 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.

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:

A. 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 (Sánchez, M. 1979).

B. 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 (Sánchez, M. 1979).

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 (Sánchez Mendía, A.Y. 1979).

Sánchez Mendía (1979) indica que 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 (Colegio de Postgraduados de México, 1982).

C. 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 (Sánchez, M. 1979).

Como ejemplo de deposición López F. (1988), reporta que para la cuenca del río Pensativo se depositan en el cauce anualmente aproximadamente 40,000 metros cúbicos de sedimentos.

3.1.4. 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 (Sánchez, M. 1979).

Según López F. (1988), el manejo conservacionista de los suelos puede clasificarse en dos grupos: 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 (Centro Nacional de Investigación del Café de Colombia, 1975; Suárez de Castro, F. 1979)

Las prácticas agronómicas y culturales son las más sencillas de ejecutar y de mantener, y entre las principales están:

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 de la curva a nivel (Suárez de Castro, F. 1979).

c) Cultivos en fajas

Esta práctica consiste en establecer bandas cultivadas de anchura variable sobre terrenos con pendientes del 2-15 por ciento, siguiendo el sentido general de las curvas de nivel, de tal forma que se alternen plantas que ofrecen poca protección al suelo con otras de crecimiento denso (López, F. 1988; Suárez de Castro, F. 1979).

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, dependiendo de la pendiente del terreno (López, F. 1988; Suárez de Castro, F. 1979).

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 (Suárez De Castro, F. 1979; Torres, R. 1981).

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 (Torres, R. 1981).

B. TECNICAS MECANICAS

Son todas aquellas prácticas que comprenden trabajos de conservación de suelos de naturaleza física (Suárez de Castro, F. 1979; Torres, R. 1981).

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 (Colegio de Postgraduados de México, 1982; López, F. 1988).

Suárez de Castro, F. (1979), indica que las principales prácticas mecánicas son:

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. (Suárez de Castro, F. 1979).

b) Terrazas

Son camellones o terraplenes, o la combinación de bordos y canales, construidos 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 (Colegio de Postgraduados de México, 1982; López, F. 1988).

c) Acequias de ladera

Son canales normalmente de sección trapezoidal de 30 cm. de profundidad y de ancho en el fondo, con taludes 1:1 y desnivel variables, construidos siguiendo una curva a nivel del terreno. Normalmente a 15 cm 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 (Instituto Geográfico Nacional, 1980; Suárez de Castro, F. 1979).

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 (Gourgon, M. 1977)

Las parcelas experimentales están constituidas básicamente de dos partes:

- i) el área experimental.
- ii) los dispositivos receptores del agua y del suelo que provienen del área experimental por efecto del escurrimiento originado por la lluvia (Ortiz, V. 1982).

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 (Ortiz, V. 1982).

b) El sistema receptor

El sistema receptor esta compuesto de las siguientes partes:

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 (Ortiz, V. 1982).

3.1.6. DESCRIPCION DEL MODELO USLE

Wishmewir citado por Arana López, G.A. (1992), indica 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).

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 (Arana López, G.A. 1992).

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 (Arana López, G.A. 1992).

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-pies/ acre e EI en pulg/hr (Arana López, G.A. 1992).

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 (Arana López, G.A. 1992).

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 estándar (22.13 m. de largo y 9 por ciento de pendiente) (Arana López, G.A. 1992).

El factor K se calcula mediante la relación:

$$100K = 2.1 M^{-1.4} (10^{-4})(12-a) + 3.25(b^{-2}) + 2.5(c^{-3})$$

Donde:

M: (porcentaje de limo + porcentaje de arena muy fina) (100 - porcentaje de 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: Porcentaje 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 por ciento de 22.13 m de longitud (Universidad de San Carlos de Guatemala. FAUSAC. s.f).

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 porcentaje.

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 (Arana López, G.A. 1992).

Las pérdidas que pueden ocurrir en un campo particular, en el cual no hay cobertura, puede calcularse mediante el producto de los factores $R \cdot K \cdot L \cdot S$ 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 período de lluvia), y prácticas de manejo del cultivo (Arana López, G.A. 1992).

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 (Arana López, G.A. 1992).

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CUENCA

A. UBICACION

La microcuenca del río Itzapa se encuentra ubicada en la parte alta, al Noroeste de la cuenca del río Achiguate, entre los meridianos 90°49' y 90°54' de Longitud Oeste y los paralelos 14°34'48" y 14°39' de Latitud Norte. La cuenca comprende 2610.50 hectáreas o sea 26.11 kilómetros cuadrados, constituyendo aproximadamente el 1.8% de la extensión total de la cuenca del río Achiguate. (Fig. 1)

La superficie en su totalidad dentro de la jurisdicción municipal de San Andrés Itzapa, Chimaltenango; abarca parcialmente dentro de su área a esta cabecera municipal, la aldea Chicazanga y la aldea El Aguacate (Tojín Sánchez, S. 1987). (Fig.2)

B. CLIMA Y ZONA DE VIDA

El clima de acuerdo a la clasificación de Thorntwaite se denomina Bi: templado con invierno benigno y húmedo con invierno seco y se codifica en la unidad B'2b' (Investigación básica para la planificación de la cuenca del río Itzapa, 1992).

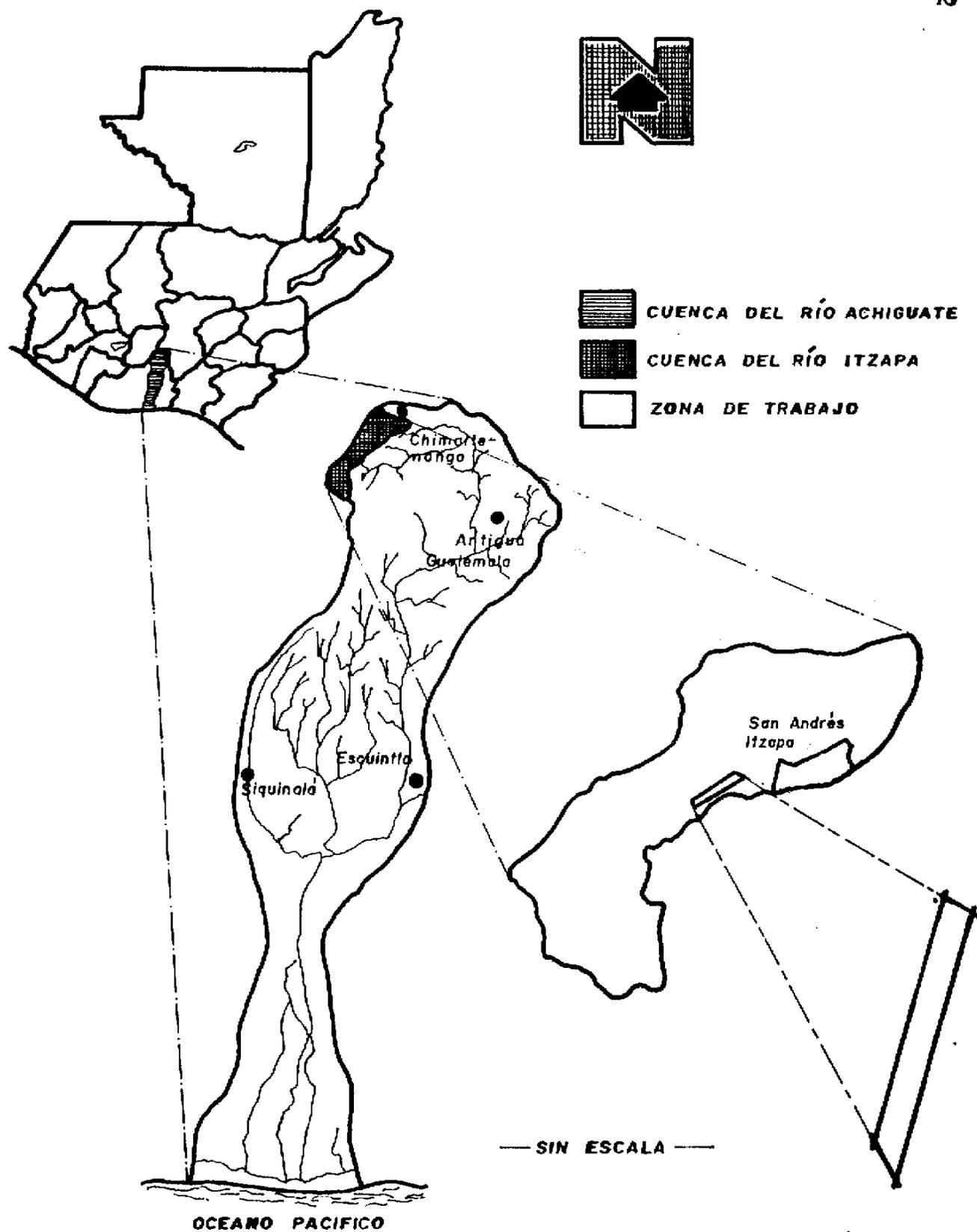


FIGURA I. Ubicación de la cuenca del río Itzapa a nivel nacional y dentro de la cuenca del río Achiguate.

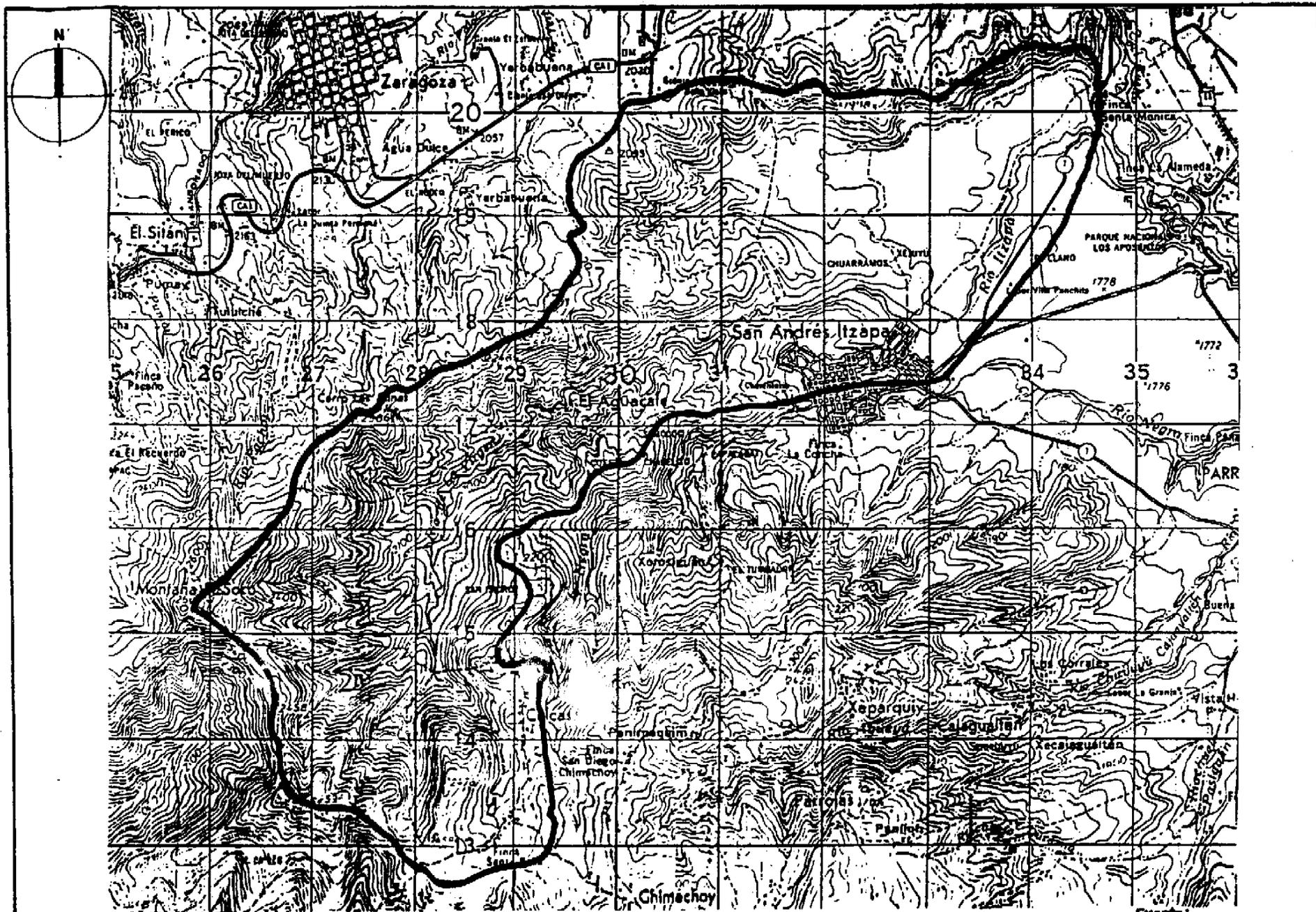


FIGURA 2. Delimitación de la cuenca del río Itzapa.

Escala 1:50,000

Fuente:
Hoja Cartográfica
Chimaleango.

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

De acuerdo a la clasificación de Holdridge, el área presenta dos zonas de vida: Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical que abarca principalmente las partes media y baja de la cuenca, así como el área donde se realizó la investigación. El Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical cubre la parte alta de la cuenca.

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 (Tojín Sánchez, S. 1987).

Fisiográficamente la cuenca está comprendida en la región de las Tierras Altas Volcánicas, en el complejo en la parte alta volcánico-montañoso y la parte baja se identifica como valle de Itzapa, un Pequeño Valle Coluvio-aluvial (Tojín Sánchez, S. 1987).

D. GEOLOGIA

Según el mapa geológico hoja Chimaltenango, escala 1:50,000 del IGM, en el área se identifican dos formaciones: Qt y Qtd (Instituto Geográfico Nacional, 1970).

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

Qtd: Comprende Tephra interestratificada con diámicetos pomáceos.

E. EDAFOLOGIA

En la cuenca se diferencian tres series de suelos según la clasificación de Simmons, Tárano y Pinto: Alotenango, Tecpán y Patzicfa. La primera cubre mayor extensión que la segunda y la segunda mayor que la tercera (Herrera, I.R. 1984).

El suelo en donde se establecieron las parcelas de escorrentía se clasifican taxonómicamente en el orden de los Andisoles: Vitric Hapludands y la clase de capacidad de uso de la tierra es IVe. (Fig. 9A)

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 Sánchez, S. (1987), muestra que el caudal característico medio es de $0.127 \text{ m}^3/\text{seg}$ 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 $3.342,816 \text{ m}^3$.

G. USO DE LA TIERRA

Según los datos de 1,994 el uso de la tierra en la cuenca de río Itzapa es el siguiente: 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 horticuultura; 0.19% (0.05 km^2) bosque latifoliar bajo; 15.77% (4.14 km^2) bosque latifoliar denso; 0.80% (0.21 km^2) cultivos anuales y permanentes; 11.58% (3.04 km^2) bosque mixto bajo; 0.80% (0.21 km^2) cultivos anuales; 1.90% (0.50 km^2) cultivos anuales y bosque de coníferas; 1.48% (0.39 km^2) bosque mixto abierto; 3.92% (1.03 km^2) bosque latifoliar disperso; 3.39% (0.89 km^2) horticultura, cultivos anuales y centro poblado rural; 2.63% (0.69 km^2) praderas no mejoradas y cultivos anuales y 2.51% (0.66 km^2) bosque latifoliar disperso, horticuultura y cultivos anuales (Universidad de San Carlos de Guatemala, 1992). (Fig. 10A)

H. CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA

La microcuenca del río Itzapa es 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 III, IV y VIII. La microcuenca 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. El área en donde se realizó el estudio se encuentra en el límite de las clases IV., VII. (Universidad de San Carlos de Guatemala, 1995). (Fig. 11A)

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Generar información básica sobre la erosión hídrica y escurrimiento en tres tipos de cobertura vegetal y una pendiente, para que sirvan de base en la elaboración de modelos de erosión y de respuesta hídrica de la cuenca media del río Itzapa.

4.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 4.2.1** Cuantificar el escurrimiento superficial y la cantidad de suelo erosionado bajo tres tipos diferentes de cobertura vegetal: Asocio maíz (*Zea mays*, L.) con frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.), brócoli (*Brassica oleracea* Var. *italica*, L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.).
- 4.2.2** Cuantificar las características físicas de los sedimentos y el escurrimiento provocados por el efecto de la precipitación pluvial durante la época lluviosa del año 1996 en la parte media de la cuenca del río Itzapa.
- 4.2.3** Cuantificar los factores de cobertura, erodabilidad y erosividad de la lluvia, de la parte media de la cuenca del río Itzapa.
- 4.2.4** Comparar los resultados de pérdida de suelo por erosión hídrica obtenidos experimentalmente, con los calculados a través de la ecuación universal de pérdida de suelo.

5. HIPOTESIS

Todas las coberturas de los cultivos evaluados ofrecen el mismo grado de protección contra la erosión hídrica en un terreno con 18 por ciento de pendiente.

6. METODOLOGIA

6.1. UBICACION DEL SITIO EXPERIMENTAL

La investigación se realizó en la parte media de la microcuenca del río Itzapa. San Andrés Itzapa, Chimaltenango, la cual se ubica a 14°34'40" Latitud Norte y 90°39'22" Longitud Oeste, a una altitud de 2,030 msnm. La parte media se caracteriza por un relieve inclinado escarpado, poco drenaje interno y zona de transporte del río, es una área de cultivos de subsistencia, abarca la curva a nivel de la cuenca 1,900 a 2,100. Se seleccionó esta área por ser representativa del uso de la tierra en la parte media de la cuenca y por considerarse un área crítica de erosión de la misma.

El experimento está ubicado en una área, según el método de USDA de clasificación de pendientes, en un rango de 8-16 por ciento, pero esta no es la única pendiente que se encuentra en la parte media de la cuenca, habiendo pendientes de 16-32 por ciento y mayores de 32 por ciento, por lo que se considera que una pendiente de 18 por ciento es representativa del área de la parte media de la microcuenca del río Itzapa. (Fig. 3)

6.2. SELECCION DE TRATAMIENTOS

Los tratamientos fueron seleccionados de acuerdo al uso de la tierra que los agricultores hacen en el área. El experimento se realizó en una pendiente promedio de 18 por ciento la cual es representativa de los terrenos de la parte media de la cuenca. Los tratamientos que se evaluaron son los siguientes: (Fig. 12A)

- a) Asocio Maíz (Zea mays)
Frijol (Phaseolus vulgaris)
- b) Brócoli (Brassica oleracea Var. italica)
- c) Frijol (Phaseolus vulgaris)
- d) Testigo (sin cobertura).

6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó el diseño en "bloques al azar", debido a la pendiente que existe en el sitio experimental. El experimento se realizó con cuatro repeticiones para el grado de pendiente; lo cual genera un número de 16 unidades experimentales con 50 metros cuadrados en cada unidad experimental.

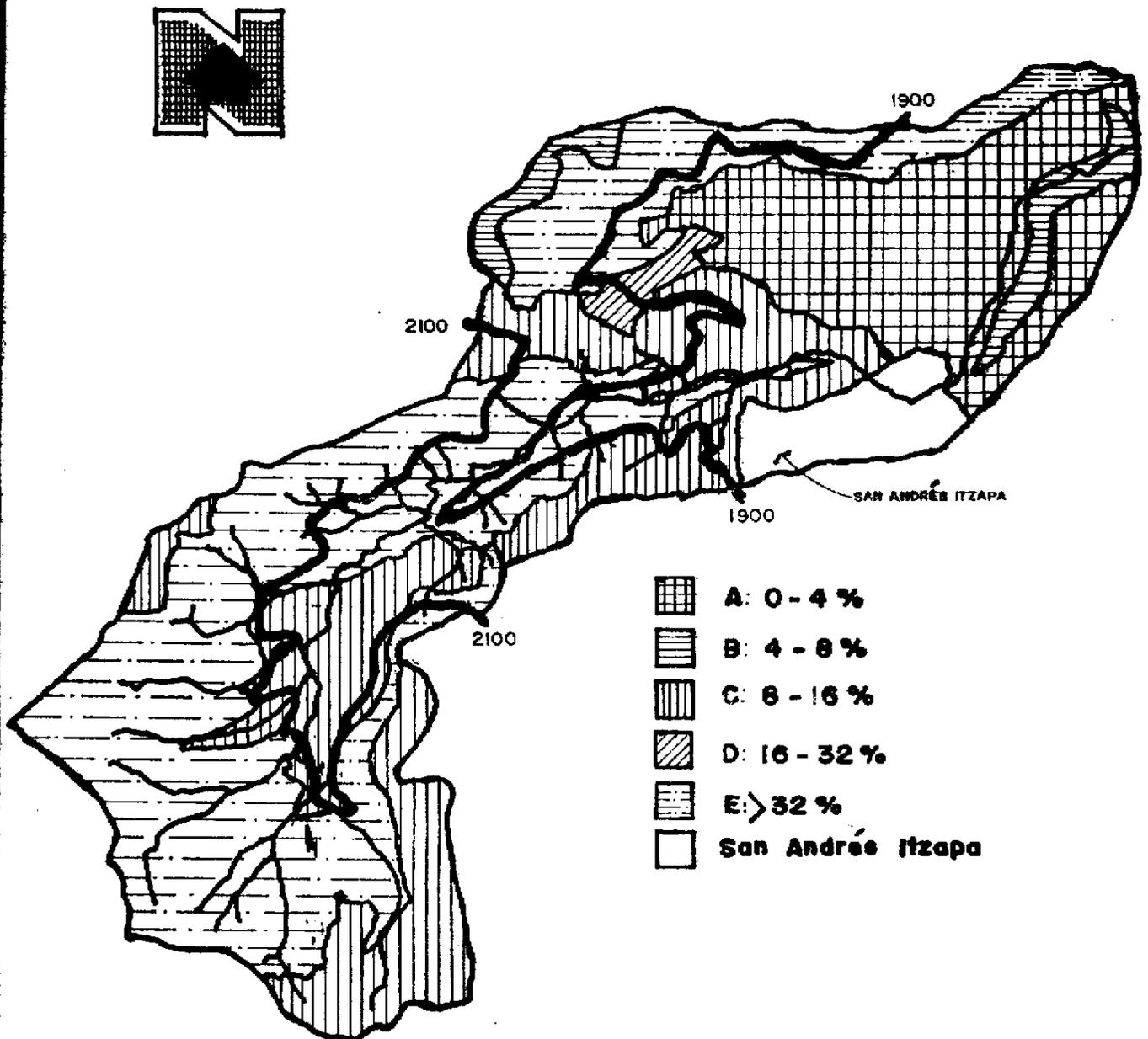


FIGURA.3 Mapa de clases de pendiente de la parte media de la cuenca del río Itzapa.

6.3.1 MODELO ESTADISTICO

El modelo estadístico utilizado para el diseño experimental fue:

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

Donde:

- y_{ij} : Variable respuesta de la ij -ésima parcela experimental
 μ : media general
 τ_i : Efecto de la i -ésima cobertura vegetal
 β_j : Efecto del j -ésimo bloque
 ϵ_{ij} : Efecto del error experimental asociado a la ij -ésima parcela experimental
 i : 1,2,3, t j : 1,2,3, r

6.4. ARREGLO Y MONTAJE DEL EXPERIMENTO

Por tratarse de una primera evaluación del efecto de la cobertura y la pendiente del terreno en esta área, se describirá el procedimiento que se sigue para el establecimiento del experimento.

6.4.1 CONFINAMIENTO DE LAS PARCELAS

Para evitar la penetración de escorrentía superficial de áreas aledañas, se circularon las unidades experimentales (parcelas de escorrentía) 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

El sistema colector consistió en:

a. Canales Colectores

Consisten en zanjas de forma trapezoidal de 0.30 m de profundidad y 0.40 m de ancho recubiertas con un canal de cemento para evitar que el agua escurrida del lote se filtrara en el suelo. Los canales colectores se construyeron con una pendiente lateral de 1 por ciento hacia los recipientes colectores.

b. Canales de Evacuación

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.

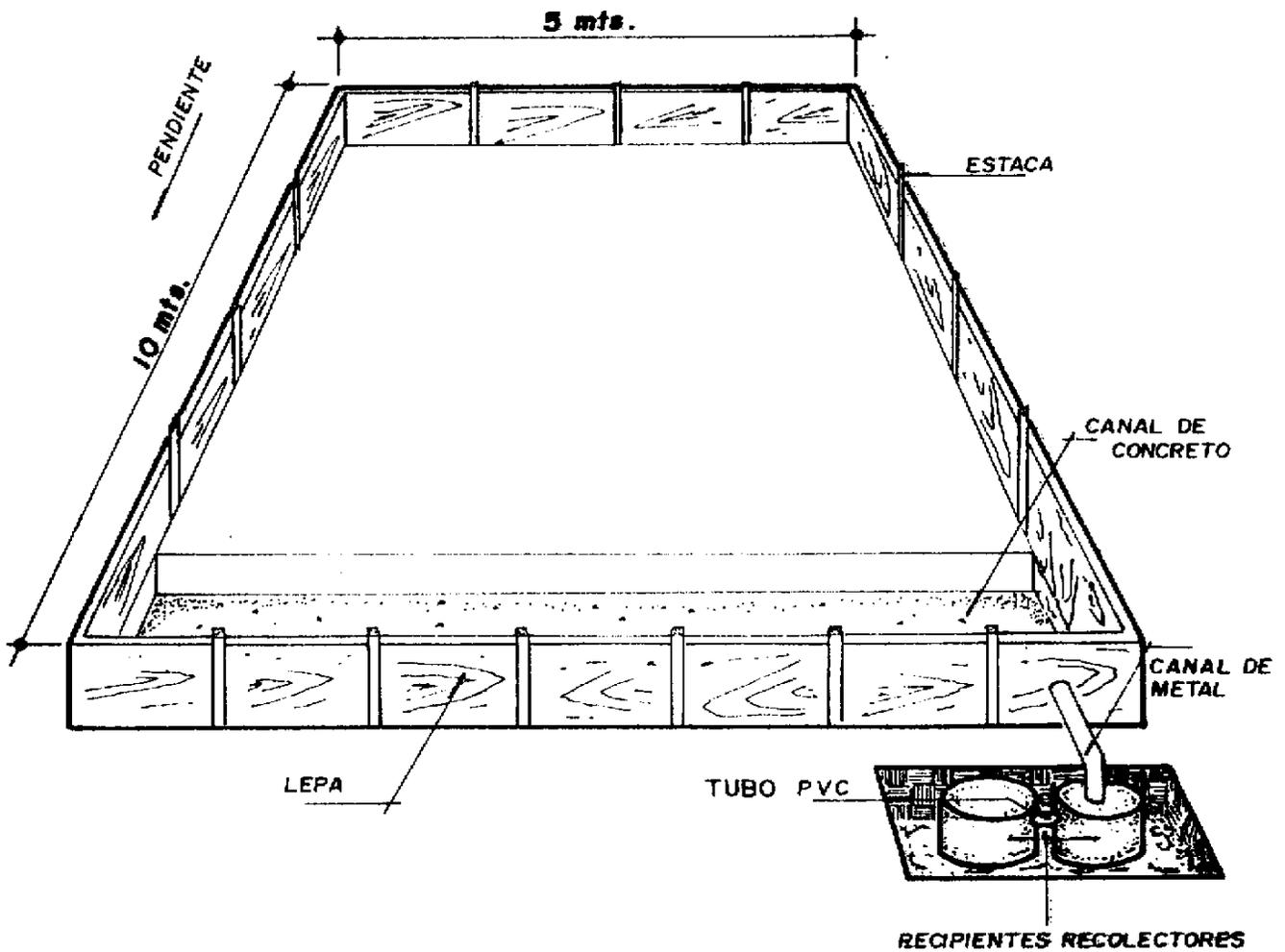


Figura 4. Esquema de una parcela de escorrentía establecida en el ensayo.

c. Recipientes Colectores

Como recipientes colectores se utilizaron toneles plásticos de 200 litros de capacidad, colocando dos por parcela y conectados en su parte superior por un tubo de pvc. Los toneles quedaron a 0.10 metros más abajo que el nivel del canal. Para medir el volumen de suelo y agua de escorrentía se calibraron los toneles por medio de una regla graduada (calibrada en litros).

6.4.3 FUENTES DE DATOS METEOROLOGICOS

Cerca del experimento está instalada la estación meteorológica de la Alameda en la cual se tomaron datos de los siguientes aparatos: pluviógrafo de banda diaria, tanque evaporímetro, pluviómetro, y termómetro de máximas y mínimas.

6.4.4. ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE LOS CULTIVOS

a. Maíz y Frijol

- i. Semilla: Se sembró semilla local por ser la más utilizada dentro de los agricultores.
- ii. Siembra: se colocaron 4 ó 5 semillas de maíz y 2 ó 3 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 lb de urea y 75 lb de triple 15 por cuerda de 1600 vrs² (206.12 kg urea/ha y 309.27 kg triple 15/ha), al empezar la floración. Esta fertilización es la misma que realizan los agricultores del área.
- iv. Deshierbe: Se efectuaron dos limpiezas 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. Brócoli

- i. Elaboración de semillero: Se realizó un semillero con semilla de la región.
- ii. Trasplante: Se realizó a los 50 días después de la emergencia de 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 kg de triple 15 por hectárea (1 quintal/cuerda) y la segunda al comenzar la floración a razón de 618.36 kg de triple 15/ha (1.5 quintales/cuerda).
- iv. Limpiezas: Únicamente se realizaron las limpiezas que el cultivo necesitaba, en tal sentido se efectuó una limpieza a los dos meses después del trasplante, utilizando azadón.

c. Testigo

La parcela testigo se mantuvo sin cobertura vegetal; 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.
- b. Cantidad de suelo erosionado en toneladas métricas/ha.
- c. Rendimiento de los cultivos en kg/ha.
- d. 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 llegara 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. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

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

b. SEDIMENTOS

Después de evacuar el agua de los recipientes se sacaron los sedimentos depositados en el fondo, así como también los sedimentos colectados en el fondo de los canales; se pesaron en húmedo y se tomó una muestra para

6.6.7 PORCENTAJE DE HUMEDAD

La toma de datos de porcentaje de humedad se realizó junto con los muestreos de cobertura vegetal, se tomó una muestra de suelo, fue pesada en húmedo para luego ponerla al horno de convección a los 105° C por 24 horas para determinar el porcentaje de humedad.

6.6.8 DENSIDAD DE COBERTURA

Con una frecuencia de 15 días, se midió el porcentaje de cobertura de cada tratamiento, con el propósito de conocer el grado de protección que la cobertura le da al suelo para determinar el porcentaje de cobertura de los cultivos, se midió el diámetro promedio del área foliar de las plantas y se contó el número de plantas por parcela para luego relacionarlo con el área total.

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. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos por lo que fue necesario aplicar la prueba de múltiple de media de tukey.

Se realizó un análisis de correlación entre todas las variables, con la cantidad de suelo erosionado, para el cálculo de los coeficientes de correlación se empleó el procedimiento CORR incluido en el sistema de análisis estadístico - SAS-.

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

Coef. de Escorrentía = Cantidad de escorrentía/Cantidad de lluvia.

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

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

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 del año de 1,996, y los valores promedios de 10 años de registro de la estación "La Alameda".

Cuadro 1: Precipitación mensual promedio de 10 años de la estación "La Alameda" y los valores registrados para el año 1,996 en mm.

MES	Promedio de 10 Años (mm)*	Año de 1996. (mm)
Enero	1.93	1
Febrero	10.10	0
Marzo	20.58	8
Abril	21.25	91.9
Mayo	112.04	143.9
Junio	192.34	211.2
Julio	155.35	286.0
Agosto	178.41	115.9
Septiembre	191.9	232.6
Octubre	117.61	74.0
Noviembre	14.60	23.9
Diciembre	2.98	24.0

Estación "La ALAMEDA" (Primer Orden)

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrometeorología (INSIVUMEH).

En el cuadro anterior se observa que los valores de precipitación registrados en el año de 1,996 en el área de estudio son altos durante los meses de Junio, Julio y Septiembre, en relación al promedio de 10 años de registro de la estación "La Alameda"; esto indica que fue un año muy húmedo, pero la lluvia se concentró en pocos meses; lo cual influyó favoreciendo la cantidad de escorrentía superficial y cantidad de suelo erosionado.

7.1.2 FRECUENCIA DE LA PRECIPITACION

La mayor precipitación fue de 67.3 mm ocurrida el 17 de Julio con una intensidad media de 4.51 mm/hr.

Cuadro 2: Cantidad de lluvia y frecuencia para cinco clases de lluvias ocurridas en San Andrés Itzapa, Chimaltenango en el año 1,996.

Clase (mm)	Frecuencia	Porcentaje	Precipitación (mm)	Porcentaje
0 - 5	52	45.21	105.91	8.73
5.1 - 10	27	23.47	200.17	16.51
10.1 - 15	14	12.17	210.50	17.37
15.1 - 20	6	5.21	115.08	9.49
> 20	16	13.90	580.74	47.90
Total	115	100.00	1,212.4	100.00

En el cuadro 2 se observa que gran cantidad de la lluvia se concentró en unos pocos eventos, en tan solo 16 eventos se dio el 47.90 por ciento del total de la precipitación, mientras que el 8.73 por ciento se dio en 52 eventos, los cuales fueron menores de 5 mm. Del total de eventos registrados, 36 fueron mayores de 10 mm y fueron éstos los que produjeron escurrimiento superficial y arrastre de sedimentos.

7.1.3 INTENSIDAD

Las intensidades de las lluvias registradas durante el período de estudio, tuvieron una variación entre 0.05 mm/hr y 35.00 mm/hr. Se registraron 36 eventos mayores de 5 mm/hr que ocasionaron escorrentía; de los cuales 28 fueron mayores de 10 mm/hr los que provocaron erosión.

7.2 ESCORRENTIA

7.2.1 PORCENTAJE DE ESCORRENTIA

Del total de precipitación de la época lluviosa que fue de 845.7 mm se estableció un volumen escurrido de 8,457.0 m³/ha de lluvia.

Cuadro 3: Cantidad (m³/ha) porcentaje de escorrentía para el sitio experimental en 1,996.

TRATAMIENTO	CANTIDAD (m ³ /ha)	PORCENTAJE DE ESCORRENTIA
SIN CULTIVO	710.87	8.40
BROCOLI	489.91	5.79
FRIJOL	279.52	3.30
MAIZ Y FRIJOL	193.76	2.29

En el cuadro 3 se puede observar que los valores de porcentaje de escorrentía registradas en todos los tratamientos fueron: 2.29 por ciento (193.76 m³/ha) para el menor valor, correspondiente a la cobertura de asocio (maíz y frijol) en una pendiente de 18 por ciento, luego el tratamiento de frijol con 3.30 por ciento (279.52 m³/ha); 5.79 por ciento (489.91 m³/ha) para el tratamiento de brócoli y 8.40 por ciento (710.87 m³/ha) para el testigo.

7.2.2 CANTIDAD DE ESCORRENTIA

En el cuadro 4 se muestra el volumen medio de escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea para el sitio con 18 por ciento de pendiente, en donde se aprecia que el tratamiento con cobertura de brócoli reportó el mayor volumen de escorrentía debido a que este cultivo deja el suelo desprotegido entre una cosecha y la otra; mientras que, el menor valor se obtuvo con el tratamiento de asocio (maíz y frijol), debido a que presentó mayor porcentaje de cobertura, disminuyendo la cantidad de escorrentía superficial.

Cuadro 4: Escorrentía superficial (m³/ha), para tratamientos y repeticiones en el sitio experimental en 1,996.

TRATAM	REPETICIONES				MEDIA
	I	II	III	IV	
SIN CULTIVO	720.8	705.72	715.42	701.57	710.87
BROCOLI	490.34	487.99	498.60	482.72	489.91
FRIJOL	291.61	282.51	270.35	273.63	279.52
ASOCIO	198.7	199.36	190.80	186.20	193.76

En el cuadro 5 se presentan los valores del análisis de varianza (ANDEVA) que se le realizó a los datos obtenidos en el sitio experimental con 18 por ciento de pendiente.

Cuadro 5: Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio experimental.

F.V.	GL	SC	CM	FC	FT
BLOQ.	3	8634.6	2878.2		
TRAT.	3	641583.12	21386.04	10.82*	3.86
ERROR	9	20875.5	1975.81		
TOTAL	15	668000.01			

* 5 % de significancia. CV: 10.6 %.

En el cuadro 6 se aprecia que existe variabilidad entre los tratamientos; por lo cual se realizó la prueba de medias (tukey), cuyos resultados se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 6: Prueba de tukey para la cantidad de escorrentía superficial en el sitio experimental.

TRATAMIENTO	ESCORRENTIA SUPERFICIAL (m ³ /ha)	TUKEY
SIN CULTIVO	710.87	a
BROCOLI	489.91	b
FRIJOL	279.52	c
MAIZ Y FRIJOL	193.75	d

En el cuadro 6 se observa que todos los tratamientos son estadísticamente diferentes al 5 por ciento de significancia, con las medias en su orden: Sin cultivo, brócoli, frijol y por último el tratamiento de asocio (maíz y frijol); que es el que ofrece mayor protección al suelo por el efecto de la escorrentía superficial.

7.3 SUELO EROSIONADO EN PARCELAS DE ESCORRENTIA

En el cuadro 7 se observa la cantidad de suelo erosionado por efecto de los 28 eventos mayores de 10 mm que causaron arrastre de partículas en el sitio con 18 por ciento de pendiente. El tratamiento de asocio (maíz y frijol) presentó el valor más bajo de suelo erosionado en ton/ha/año, luego el tratamiento con frijol con una relación 2:1 en relación al tratamiento de asocio (maíz y frijol), es decir que se pierde dos veces más suelo teniendo únicamente el cultivo de frijol; el tratamiento con brócoli con una relación 17:1 con relación al tratamiento de asocio (maíz y frijol), es decir que por cada unidad que se pierde en la parcela de asocio (maíz y frijol) se pierden 17 unidades en el tratamiento de brócoli y por último el tratamiento sin cobertura (testigo) el cual se toma como comparador absoluto, presenta una relación 25:1 con respecto a la parcela de asocio (maíz y frijol). Esto indica que el tratamiento de asocio (maíz y frijol) es el que ofrece la mayor protección al suelo contra la erosión.

Cuadro 7: Cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) en el sitio experimental en 1,996.

TRATAM	REPETICIONES				PROMEDIO
	I	II	III	IV	
SIN CULTIVO	32.60	34.16	36.25	30.20	33.30
BROCOLI	23.05	25.39	19.89	22.69	22.75
FRIJOL	3.23	3.08	2.78	2.53	2.90
MAIZ Y FRIJOL	1.72	1.33	1.02	1.11	1.30

En el cuadro 8 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) realizado a los valores de suelo erosionado obtenidos en el sitio experimental con 18 por ciento de pendiente.

Cuadro 8: Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio experimental.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
BLOQUES	3	3.98	1.32		
TRAT.	3	2919.59	973.19	345.1*	3.86
ERROR	9	25.38	2.82		
TOTAL	15	2948.95			

* 5 % de significancia. C.V = 11.7 %

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

Cuadro 9: Prueba de tukey para la cantidad de suelo erosionado en el sitio experimental.

TRATAMIENTO	SUELO EROSIONADO (ton/ha)	TUKEY
SIN CULTIVO	33.3	a
BROCOLI	22.75	b
FRIJOL	2.90	c
MAIZ Y FRIJOL	1.30	c

En el cuadro 9 se muestra que estadísticamente los tratamientos de frijol y asocio (maíz y frijol) al 5 por ciento de nivel de significancia son iguales, las dos coberturas dan protección al suelo en contra de la erosión y reducen en gran proporción la cantidad de suelo erosionado.

El cultivo de brócoli es el que presenta mayor cantidad de suelo erosionado; esto se explica porque normalmente se hacen 2 siembras, dejando el suelo desnudo en el intervalo que existe entre el final de la primera cosecha y el máximo desarrollo del cultivo de la segunda siembra, sucediendo lo anterior en Agosto y Septiembre, en los cuales ocurren lluvias de media intensidad que provocan fuerte erosión.

7.4 COBERTURA DE LOS TRATAMIENTOS

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

Cuadro 10: Porcentaje de Cobertura vegetal para el sitio experimental.

TRATAMIENTO	LECTURAS DE OBSERVACION								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BROCOLI	8	14	26	34	44	0	10	18	25
FRIJOL	5	11	21	24	32	44	48	12	20
ASOCIO	5	12	18	25	38	43	52	62	68

En el cuadro 10 se puede observar que la parcela de asocio (maíz y frijol) es la que ofrece el mayor porcentaje de cobertura, por lo que da una mejor protección al suelo en contra de la erosión; mientras que, para los primeros cinco muestreos, el tratamiento de brócoli tuvo mayor porcentaje, debido a que el crecimiento del cultivo de brócoli es más agresivo por poseer de ciclo más corto. En el sexto muestreo se tuvo cero por ciento de cobertura, pues en esta fecha se había realizado la primera cosecha de cultivo; lo cual indica que la cobertura de brócoli es la que causa mayor pérdida de suelo, dando menor protección al suelo en contra de la erosión.

7.5 CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LOS SEDIMENTOS

En el cuadro 11 se presentan los valores, expresados en porcentajes, de las partículas de arcilla, limo y arena, que se perdieron en los sedimentos de la parcela de 18 por ciento de pendiente.

Cuadro 11. Porcentaje de partículas de suelo de los sedimentos perdidos en la parcela de escorrentía.

CULTIVO O COBERTURA				
PORCENTAJE	TESTIGO	BROCOLI	MAIZ Y FRIJOL	FRIJOL
ARENA	79.73	78.52	71.20	76.67
LIMO	10.61	10.2	16.32	10.85
ARCILLA	9.67	11.30	12.46	12.46

En el cuadro 11 se puede observar que el mayor porcentaje de partículas en los sedimentos arrastrados por la erosión, correspondió a las arenas, esto se explica por las características texturales del horizonte superior, ya que corresponde a un franco-arenoso. También indica que el agua de escorrentía tiene alta capacidad de arrastre, lo cual está en función directa de la velocidad y del volumen.

En el tratamiento con brócoli se presentó el mayor porcentaje de arena arrastrada por la menor protección que este cultivo da al suelo; por el contrario, la cobertura de maíz-frijol en asocio, es la que redujo la erosión, explicándose esto por la interacción de las dos coberturas, las cuales al sumarse dan una mayor cobertura al suelo, dando así una mejor protección y por lo tanto reduciendo la erosión del suelo.

7.6 FACTOR DE COBERTURA (Factor C)

Este factor se determinó tomando en cuenta la siguiente relación:

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

El valor más alto corresponde al tratamiento de brócoli (0.68), mientras que, el valor más bajo corresponde al tratamiento de asocio (0.04).

Cuadro 12: Factor de cobertura (C) para cada tratamiento evaluado.

TRATAMIENTO	FACTOR C
BROCOLI	0.68
FRIJOL	0.09
MAIZ Y FRIJOL	0.04

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

Al comparar los valores del factor C con el porcentaje de cobertura observamos que los valores para el tratamiento de asocio de maíz y frijol(0.04), indica que los cultivos alcanzaron mayor porcentaje de cobertura, brindando de esta manera mayor protección al suelo; luego el tratamiento de frijol (0.09) y por último el tratamiento de brócoli que es el más alto (0.68), causando menor protección al suelo.

7.7 RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Los rendimientos obtenidos para el sitio experimental fueron:

Cuadro 13: Rendimiento (kg/ha) para los cultivos establecidos en el sitio experimental.

TRATAMIENTO	REPETICION (kg/ha)				RENDIMIENTO PROMEDIO (kg/ha)
	I	II	III	IV	
BROCOLI	4,850.2	4,520.7	3,728.13	4,162.5	4,315.3
FRIJOL	1,552.1	1,652.2	1,282.2	1,332.3	1,454.7
ASOCIO					
MAIZ -	2,234.5	2,018.6	2,213.2	1,818.8	1,512.65
FRIJOL	1,241.6	1,321.7	1,025.7	1,065.8	1,163.71

Los resultados del cuadro 13 muestran que los rendimientos fueron de (4,315.3 kg/ha) para el cultivo de brócoli. Para el cultivo de frijol de (1,454.7 kg/ha) y el cultivo en asocio (1,512.65 kg/ha para maíz y 1,163.7 kg/ha para frijol). La variable de rendimiento, también se utilizó para evaluar los tratamientos en estudio, a través del índice equivalente de la tierra (UET) para su cálculo, obteniéndose un índice de 1.84 por ciento para el frijol que indica que se necesitarían 1.84 hectáreas más cultivadas para siembra en monocultivos, a fin de obtener el rendimiento del asocio.

7.8 FACTOR DE ERODABILIDAD (K)

En el cuadro 14 se presentan los datos para determinar el factor de erodabilidad del suelo de la parte media de la cuenca del río Itzapa para el sitio donde se realizó el experimento, el factor de erodabilidad calculado gráficamente en el nomograma (Fig. 8A) ¹ para la determinación del valor de K fue de 0.16 ton/ha/h // MJ.mm// ha.h.año, lo que indica que los suelos son susceptibles a la erosión debido a las características texturales, materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo.

¹ El nomograma para determinación del factor K se presenta en el apéndice 2.

Cuadro 14. Valores del factor de erodabilidad (K) de la parte media de la cuenca del río Itzapa.

PARAMETROS DEL SUELO	
1. PORCENTAJE DE LIMOS + ARENAS MUY FINAS:	24.15%
2. PORCENTAJE DE ARENA:	75.85%
3. PORCENTAJE DE MATERIA ORGANICA:	2.0%
4. ESTRUCTURA:	Granular media
5. PERMEABILIDAD:	Moderada a rápida

7.9 FACTOR DE EROSIVIDAD (R)

En el cuadro 15 se encuentra distribuida la capacidad de la lluvia por mes expresada en (MJ.mm // ha.h.año). Se considera como más erosivo Julio, este a su vez fue un mes con una cantidad de lluvia considerable. Las lluvias de Junio se consideran erosivas, pero también es importante considerar que la capacidad de infiltración de los suelos en estas épocas aún mantienen un porcentaje bajo de saturación de agua lo cual permite al suelo absorber antes de erosionarse, caso contrario para el mes de julio que con un 43 por ciento de la erosividad de la lluvia afectó a los suelos del experimento, efecto que provocó la mayor cantidad de suelo erosionado y escorrentía en todo el año.

Cuadro 15. Factor de erosividad "R" mensual en 1,996 para la parte media de la cuenca río Itzapa.

MES	FACTOR "R"	" PORCENTAJE "
ABRIL	10.08	0.45
MAYO	243.78	10.97
JUNIO	385.15	17.38
JULIO	967.35	43.65
AGOSTO	191.11	8.63
SEPTIEMBRE	291.49	13.15
OCTUBRE	127.75	5.77
TOTAL	2,216.71	100.00

7.10 ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE PERDIDA DE SUELO

Para la ecuación de pérdida universal de suelo ($A: R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$), se utilizaron los valores de factor "R" (2,216 MJ.mm // ha.h.año), factor de "K" (0.16 ton/ha/h // MJ.mm //ha.h.año), factor LS (2.98), el factor de cobertura C para brócoli en promedio fue de 0.087; en el cultivo de frijol se obtuvo un factor C de 0.683 y para el asocio maíz-frijol un valor de 0.039.²

² La metodología y cálculos de estas estimaciones se presentan en el apéndice 2.

A continuación se presentan los resultados de los cálculos efectuados para la cuantificación de cada variable de la ecuación:

Cuadro 16. Cantidad de suelo erosionado (ton/ha) medidos por el método directo y calculados por medio de la ecuación universal de pérdida de suelo.

TRATAMIENTO	DIRECTO	ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO
BROCOLI	22.75	21.83
MAIZ Y FRIJOL	1.30	1.16
TESTIGO	33.30	29.87
FRIJOL	2.90	2.59

Al hacer un análisis de comparación entre el suelo cuantificado a través de las parcelas de escurrimiento en el ensayo de erosión y las cantidad de suelo estimadas por medio de la ecuación universal de pérdida de suelo por erosión hídrica, como se observa en el cuadro 16, se aprecia que los valores son similares en los tratamientos evaluados obtenidos directamente en las parcelas de escurrimiento, esto tomando en cuenta que se hizo una modificación a la fórmula, pues el factor LS, se considera el porcentaje de pendiente como un decimal y no como lo indica la fórmula original.

7.11 CORRELACIONES

7.11.1 Correlación entre la cantidad de suelo erosionado y la escurrimiento

La cantidad de suelo erosionado y de escurrimiento superficial guardan una relación muy estrecha, puesto que los valores de correlación obtenidos fueron de 0.85, es decir, que guardan una correlación bastante positiva. Mientras mayor sea la escurrimiento generada en una área, mayor será la cantidad de suelo erosionado, como se observa en la figura 5.

7.11.2 Correlación entre la intensidad de lluvia - Escurrimiento y el suelo erosionado

Entre los valores de intensidad - cantidad de suelo erosionado, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.92 y para los valores de intensidad - escurrimiento de 0.97. Por otro lado cuando la intensidad de las lluvias se incrementó también lo hicieron el volumen de escurrimiento y la cantidad de suelo erosionado. Existe una estrecha correlación entre la intensidad y la cantidad de suelo erosionado y volumen de escurrimiento superficial; tal como lo indican los valores de correlación obtenidos. Lo que indica que mientras mayor sea la Intensidad de la lluvia, mayor será la cantidad de escurrimiento que produce, así como de suelo que se pierde por el efecto de dicha lluvia, como se observa en la figura 6.

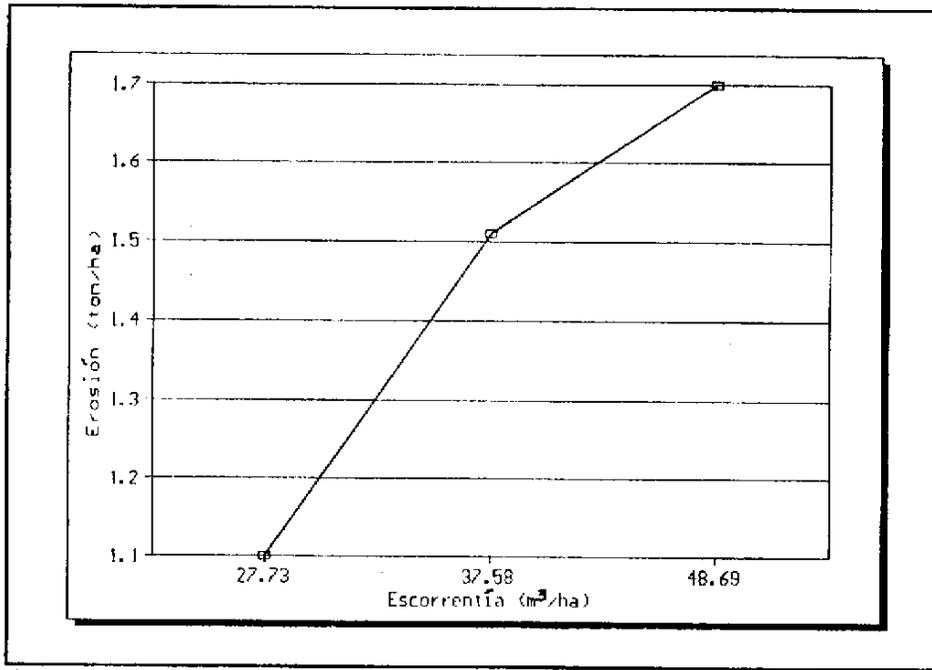


Figura 5. Relación cantidad de suelo erosionado y cantidad de escorrentía de la parte media de la cuenca del río Itzapa 1996.

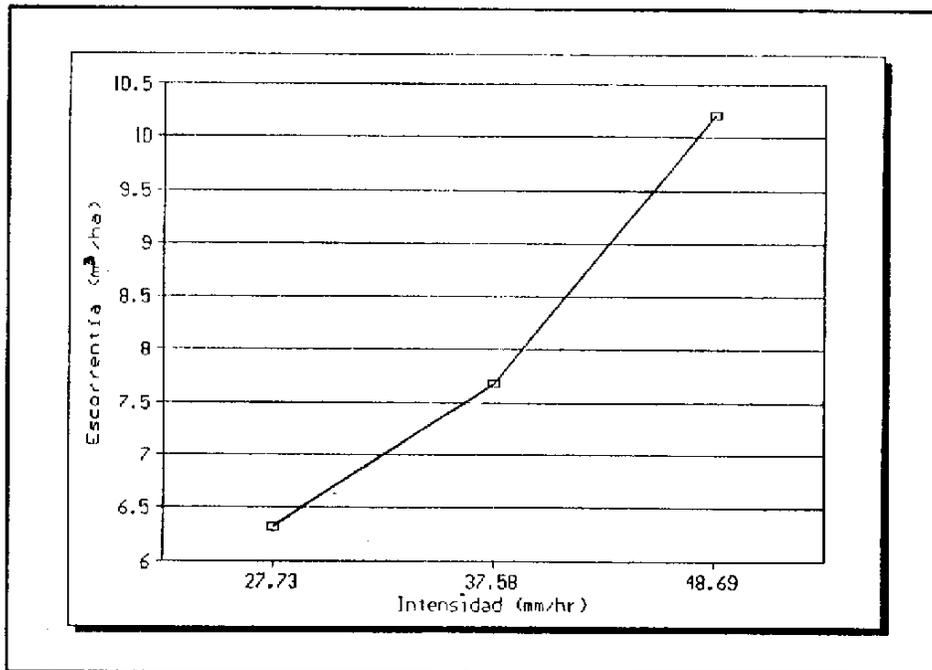


Figura 6. Relación de la Intensidad de lluvia y escorrentía superficial de la parte media de la cuenca del río Itzapa 1996.

7.11.3. Correlación entre el factor de erosividad (R) - escorrentía y suelo erosionado

El factor (R) o índice de erosividad de la lluvia que es un componente de la ecuación universal de la pérdida de suelo, y la cantidad de escorrentía superficial guardan una correlación de 0.89 para el sitio experimental, los índices de correlación con la cantidad de suelo erosionado son de 0.82, basado en estos análisis de correlación lineal, se observa que mientras mayor sea el factor de erosividad (R), mayor será la cantidad de escorrentía superficial como la cantidad de suelo erosionado.

7.11.4 Correlación entre el porcentaje de cobertura - erosión y escorrentía

Entre los valores de porcentaje de cobertura y erosión se obtuvieron coeficientes de correlación de (- 0.81) 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 negativa (- 0.88) para la pendiente analizada, lo cual a mayor porcentaje de cobertura, menor cantidad de escorrentía superficial tendrá en el terreno con cultivo, como se observa en la figura 7.

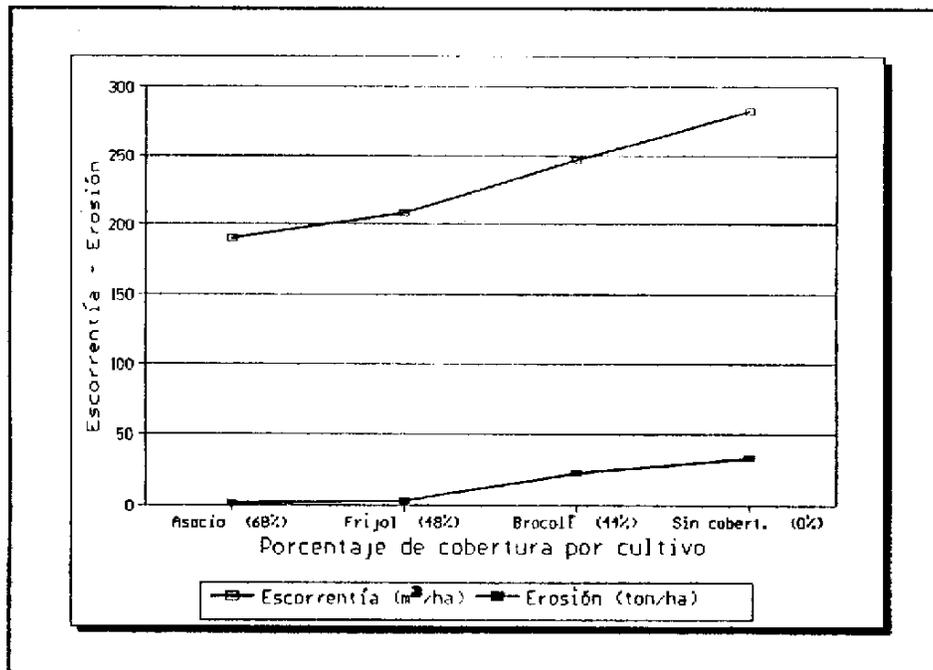


Figura 7. Relación del porcentaje de cobertura, erosión y escorrentía de la parte media de la cuenca del río Itzapa 1996.

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 17: Valores de intensidad de cuatro eventos y cantidad de suelo erosionado (kg/ha) y escorrentía superficial (m³/ha) de la parte media de la cuenca del río Itzapa, 1,996.

INTENSIDAD (mm/hr)	CANTIDAD (mm)	EROSION (ton/ha)	ESCORRENTIA (m ³ /ha)
10.12	39.3	1.7	48.69
7.58	67.0	1.51	37.58
6.32	32.9	1.1	27.02
5.10	28.8	0.63	10.48

En el cuadro anterior se aprecia la estrecha correlación que existe entre la intensidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado y de escorrentía superficial; no importando la cantidad de lluvia.

8. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las cuales se realizó el experimento para la época lluviosa de 1,996, se tienen las siguientes conclusiones:

1. Los valores de escorrentía superficial registrados fueron mayores para el tratamiento de brócoli (Brassica oleracea var italica, L.) con 489.91 m³/ha, seguido por el tratamiento de frijol (Phaseolus vulgaris, L.), con 279.52 m³/ha, mientras que el menor valor de escorrentía fue para el tratamiento de maíz (Zea mays, L.) asociado con frijol (Phaseolus vulgaris, L.), con 193.76 m³/ha.
2. De las coberturas evaluadas, el cultivo de brócoli (Brassica oleracea var italica, L.) presentó los valores más altos de erosión con 22.75 ton/ha, luego el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris, L.) con 2.90 ton/ha, mientras que los menores valores se registraron para el tratamiento de maíz (Zea mays, L.) asociado con frijol (Phaseolus vulgaris, L.) con 1.30 ton/ha, lo que confirma que de las coberturas evaluadas, el tratamiento de asocio le da mayor protección al suelo contra la erosión.
3. En las características granulométricas de los sedimentos arrastrados por la erosión, el mayor porcentaje lo ocupan las arenas debido a que el horizonte del suelo posee una textura franco-arenosa.
4. Los valores obtenidos para el factor de cobertura (factor C) fueron en su orden: 0.68 para el brócoli, 0.09 para el frijol, y 0.04 para el asocio (maíz y frijol). Lo que indica que el asocio le da mayor protección al suelo contra la erosión.
5. El valor del factor de erodabilidad del suelo de la parte media de la cuenca del río Itzapa fue de (0.16 ton.ha.hr) / (MJ.mm / ha.h.año), es un valor considerado de baja susceptibilidad del suelo a ser erosionado, principalmente por la textura franco arenosa del suelo superficial.
6. El valor del factor de erosividad de la lluvia fue de (2,216 MJ.mm / ha.hr.año), lo cual una alta la capacidad potencial de la lluvia para erosionar al suelo en el área de estudio.
7. Los valores obtenidos por medio de la utilización de la metodología USLE son muy similares a los obtenidos por el método directo de parcelas de escorrentía.

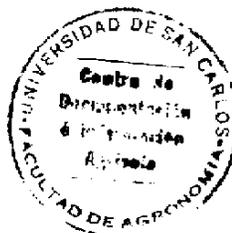
9. RECOMENDACIONES

1. Continuar la evaluación de los tipos de cobertura vegetal en la pendiente del terreno evaluada 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 erosión hídrica.
2. Realizar un estudio para implementar un programa de conservación de suelo y agua en la parte media de la cuenca, en donde se siembran en su mayoría cultivos limpios, tendientes a promover una producción sostenible y sustentable.
3. Buscar una estrategia regional y local para evitar que se sigan habilitando tierras con fuertes pendientes para establecer en ellas cultivos limpios que ofrecen poca protección al suelo, ya que este recurso presenta gran susceptibilidad a la erosión hídrica.
4. Establecer sistemas de cultivo en asocio debido a la interacción de las dos coberturas, las cuales al sumarse dan una mayor cobertura al suelo, dando así una mejor protección y por lo tanto reduciendo la escorrentía superficial y la erosión del suelo.
5. Buscar formas de ocupación del suelo en la temporada de cosecha del brócoli y el inicio de la nueva siembra para reducir la erosión, utilizando medidas permanentes de conservación de suelos, como barreras vivas y acequias.

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, Costa Rica., 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. 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.
4. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFE (Col.) 1975. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Caldas, Colombia. 267 p.
5. COLEGIO DE POSTGRADUADOS (Méx). 1982. Manual de conservación de suelo y del agua. 2 ed. Chapingo, México. 584 p.
6. DEWIS J.; FRIETAS. 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Roma, FAO. 252 p.
7. FOSTER, A.B. 1979. Método aprobado de conservación de suelo. México, Trillas. 200 p.
8. 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.
9. GUATEMALA. DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS AGRICOLAS. 1980. Construya sus acequias de ladera a nivel. Guatemala. 16 p.
10. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1970. Mapa geológico de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
11. _____. 1980. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. tomo 1, 662 p.
12. 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.
13. HUDSON, N. 1985. Soil conservation. 2 ed. New York, EE.UU., Cornell University Press. 324 p.
14. LINSLEY, R.K.; KOHLER, M.A.; PAULHOS, J.L. 1988. Hidrología para ingenieros. México, Mc Graw-Hill. p. 45-79
15. MORALES MERIDA, J.C. 1973. Manual de conservación de suelos. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas. 72 p.

16. NUFIO REYES, W. 1982. Caracterización preliminar de la cuenca del río Achiguate. Tesis Ing. Agr., Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 165 p.
17. LOPEZ, F. 1988. Defensa y recuperación de los suelos agrícolas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 73 p.
18. _____. 1988. La degradación y pérdida de los suelos agrícolas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 94 p.
19. LOPEZ HERNANDEZ, J.E. 1990. Segunda evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo, Sacatepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 56 p.
20. MILLAR, C.; TURK, L.; FOTH, H. 1980. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. por Juan Nava Díaz. México, CECSA. 527 p.
21. 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. 41 p.
22. ORTIZ, V. 1982. Estudio experimental sobre la conservación del suelo, la erosión y el escurrimiento. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 94 p.
23. ROJAS, R. M. 1986. Hidrología de tierras agrícolas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 79 p.
24. 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.
25. SUAREZ DE CASTRO, F. 1979. Conservación de suelos. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA. 315 p.
26. 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.
27. TORRES, R. 1981. Manual de conservación de suelos agrícolas. México, Diana. 163 p.
28. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE AGRONOMIA. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS; DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACIONES. 1995. Informe anual de 1995; Proyecto de investigación básica para la planificación del manejo de la cuenca experimental del río Itzapa. Guatemala. 50 p.
29. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. FACULTAD DE AGRONOMIA. s.f. Manual de la ecuación universal de pérdidas de suelo. Guatemala. 35 p.



No. Bo. Rolando Barrías.

APENDICES

**I. ANALISIS DE FERTILIDAD
DEL SUELO EN LAS PARCELAS**

ANÁLISIS DE SUELOS DE LAS PARCELAS DE ESCORRENTIA

Cuadro 18A: Resultados de los análisis de suelos realizados al inicio y al final del ensayo en el sitio experimental.
(kg/ha)

Tratamiento	Nutriente	Inicio	Final	Diferencia
ASOCIO	Ca	5,315.4	4,728.3	587.1
	Mg	1,102.7	1,098.96	3.74
	P	15.08	10.79	4.29
	K	1,732.5	1,197.0	535.5
FRIJOL	Ca	5,315.0	4,924.07	390.93
	Mg	1,003.2	1,002.8	0.4
	P	16.25	9.16	7.09
	K	1,309.0	1,159.2.	149.8
BROCOLI	Ca	5,315.4	4,924.07	391.3
	Mg	1,064.5	1,003.2	61.3
	P	17.73	13.60	4.13
	K	1,313.5	1,275.7	37.8
SIN COBERTURA	Ca	5,517.4	4,728.37	789.03
	Mg	1,102.5	1,003.2	99.3
	P	15.08	7.84	7.24
	K	1,370.2	1,033.2	337.0

Los resultados de los análisis de suelos muestran las diferencias de contenido de nutrientes entre el inicio y el final del experimento es debido a varios factores entre lo que se puede considerar: Los nutrientes que absorbieron los cultivos para la producción de biomasa, pérdidas por erosión hídrica, pérdidas por lixiviación de nutrientes, fijación de algunos nutrientes por las arcillas, inmovilización por microorganismos.

Es hacer notar que las cantidades reportadas al final del experimento para la parcela sin cobertura comparados con las demás parcelas, muestran que al inicio del experimento dicha parcela es la que contaba con el mayor contenido de nutrientes.

**II. CALCULO DE FACTORES DE LA ECUACION DE PERDIDAS
DE SUELO**

CALCULO DE SUELO EROSIONADO POR MEDIO DE LA ECUACION DE PERDIDAS DE SUELOS

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

La metodología seguida fue la siguiente:

1. 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 x 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 períodos de tiempo mayores de 15 minutos no se consideran para el cálculo. 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.

4. 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.

El valor obtenido fue para el área de estudio: 2,216 MJ.mm/ha.h.año.

CALCULO DEL FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (FACTOR K)

La metodología seguida fue la siguiente:

1. Para la determinación del factor K, se realizó la determinación del diámetro de partículas por el método de Bouyoucos, luego de esto se ingresó a un programa de computarizado para determinar la regresión.

2. La regresión que "m" se adecuó al comportamiento de las variables fue la logarítmica. El modelo utilizado en el análisis es $Ln y_i = Ln b_0 + X_i Ln b_1$. Obteniéndose la ecuación de la regresión se determinaron el porcentaje de partículas que existían entre 0.002 a 0.01 el cual corresponde a los limos arenas finas y de 0.01 a 2mm el cual equivale a las arenas gruesas.

3. Seguidamente se determinó el contenido de materia orgánica, la estructura y la permeabilidad del suelo del área en donde se realizó el experimento, los cuales se realizaron en laboratorio y en el campo.

El valor obtenido para el factor K fue para el terreno con 18 por ciento de pendiente:
0.21 ton/ha/hora // MJ.mm // ha.h.año.

CALCULO DEL FACTOR TOPOGRAFICO LS

Para dicho cálculo se utilizaron las ecuaciones siguientes:

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

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

$$n = 0.5$$

El valor obtenido fue para el terreno con 18 por ciento de pendiente de 2.98.

CALCULO DEL FACTOR DE COBERTURA (FACTOR C)

Los valores obtenidos fueron para la cobertura de brócoli con un valor promedio de 0.0683, la cobertura de frijol 0.087 y finalmente para la cobertura asocio de 0.039

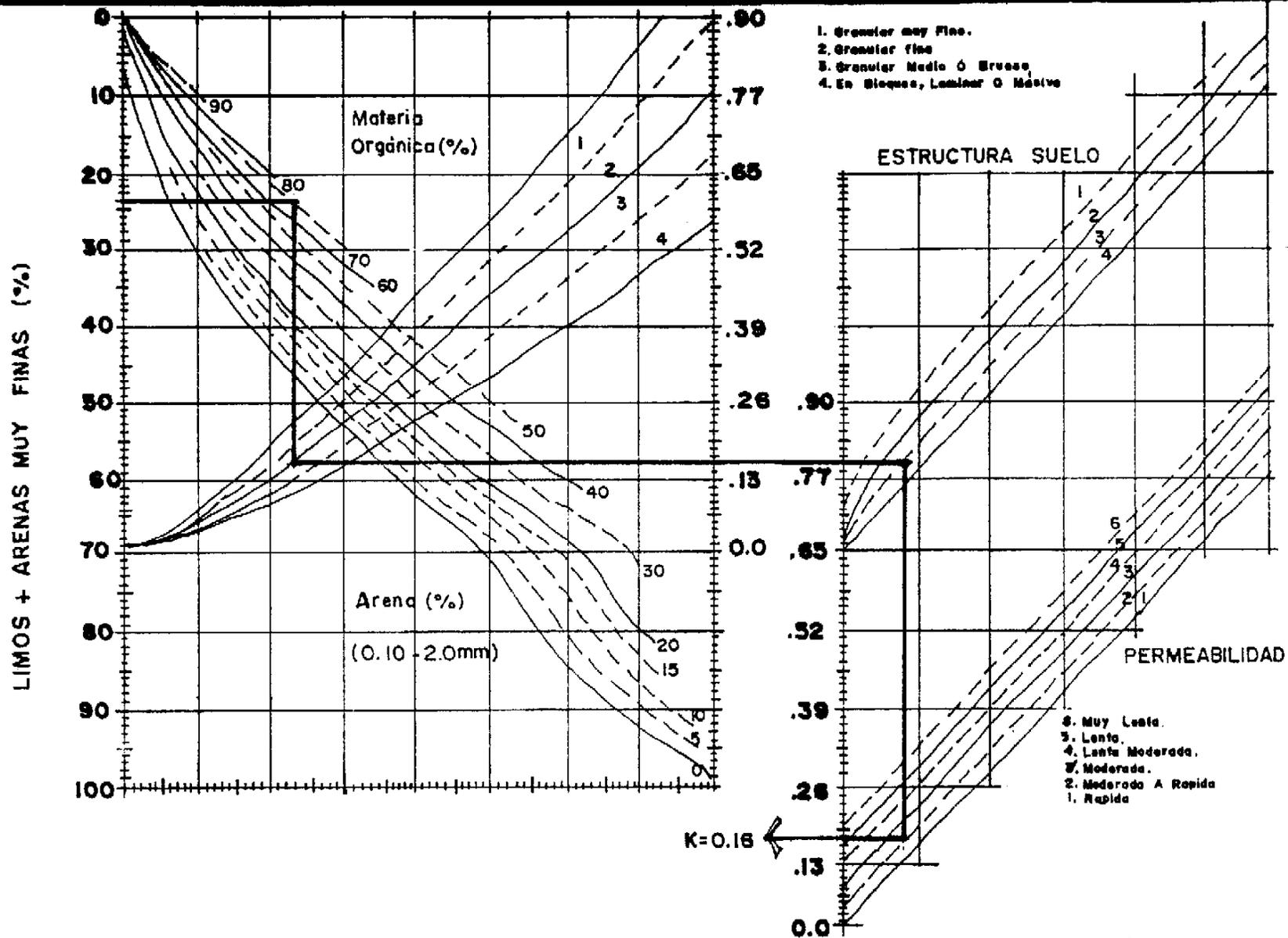
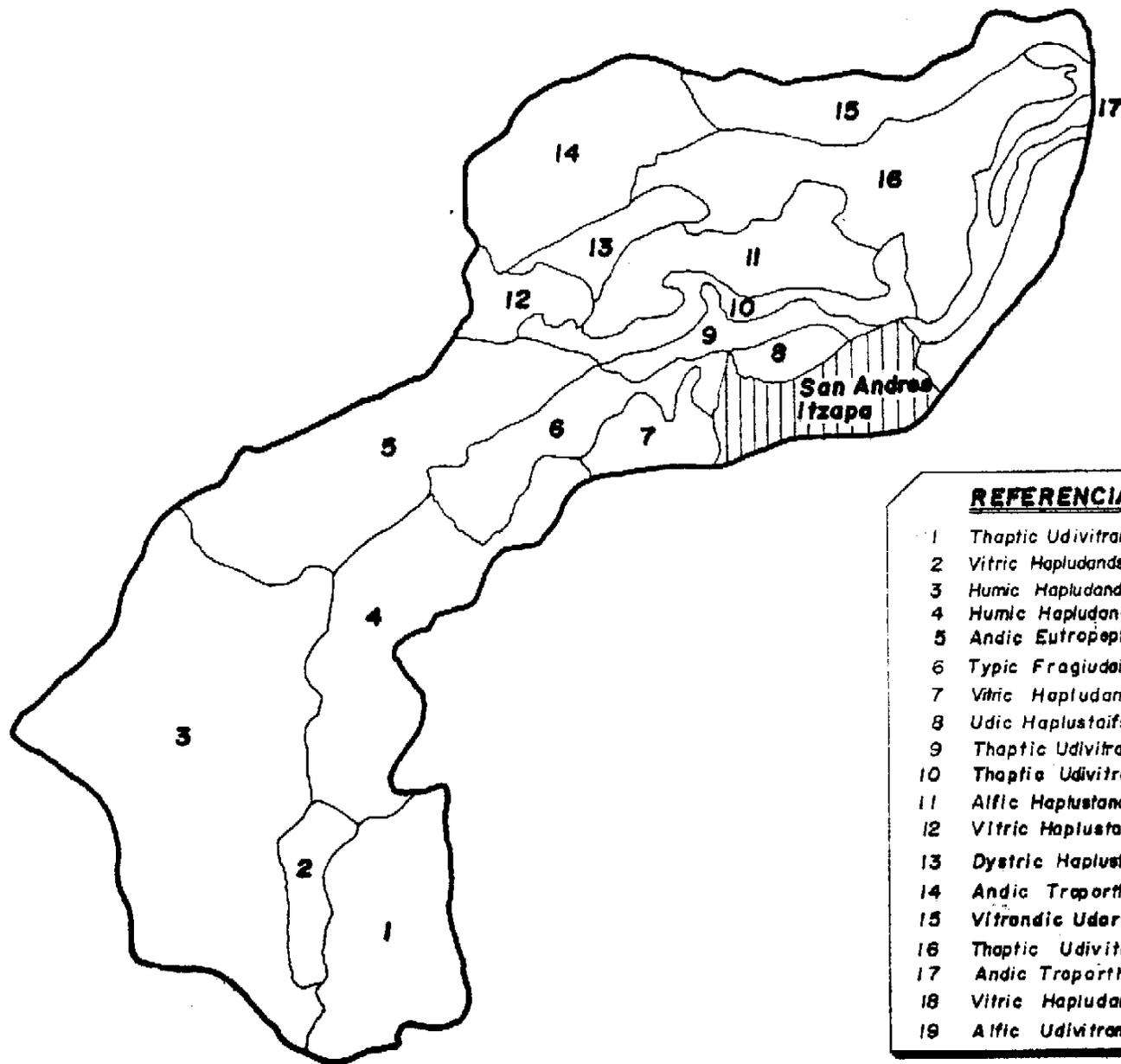


FIG.8A Nomograma Para La Determinación Del Valor De Erodabilidad (Factor K) De La Parte Media De La Cuenca Del Río Itzapa 1996.

III. MAPAS DE CARACTERISTICAS BIOFISICAS DE LA CUENCA



REFERENCIAS

- 1 Thaptic Udivitrands
- 2 Vitric Hapludands
- 3 Humic Hapludands y Vitric Hapludands
- 4 Humic Hapludands
- 5 Andic Eutropepts y Humic Hapludands
- 6 Typic Fragiudalfs
- 7 Vitric Hapludands
- 8 Udic Haplustalfs
- 9 Thaptic Udivitrands y Vitric Hapludands
- 10 Thaptic Udivitrands
- 11 Alfic Haplustands
- 12 Vitric Haplustands
- 13 Dystric Haplustands y Vitric Haplustands
- 14 Andic Troporthents
- 15 Vitrandic Udortherents
- 16 Thaptic Udivitrands
- 17 Andic Troporthents
- 18 Vitric Hapludands
- 19 Alfic Udivitrands

Fig. 9A mapa de: clasificación taxonómica de los suelos de la cuenca del río Itzapa.

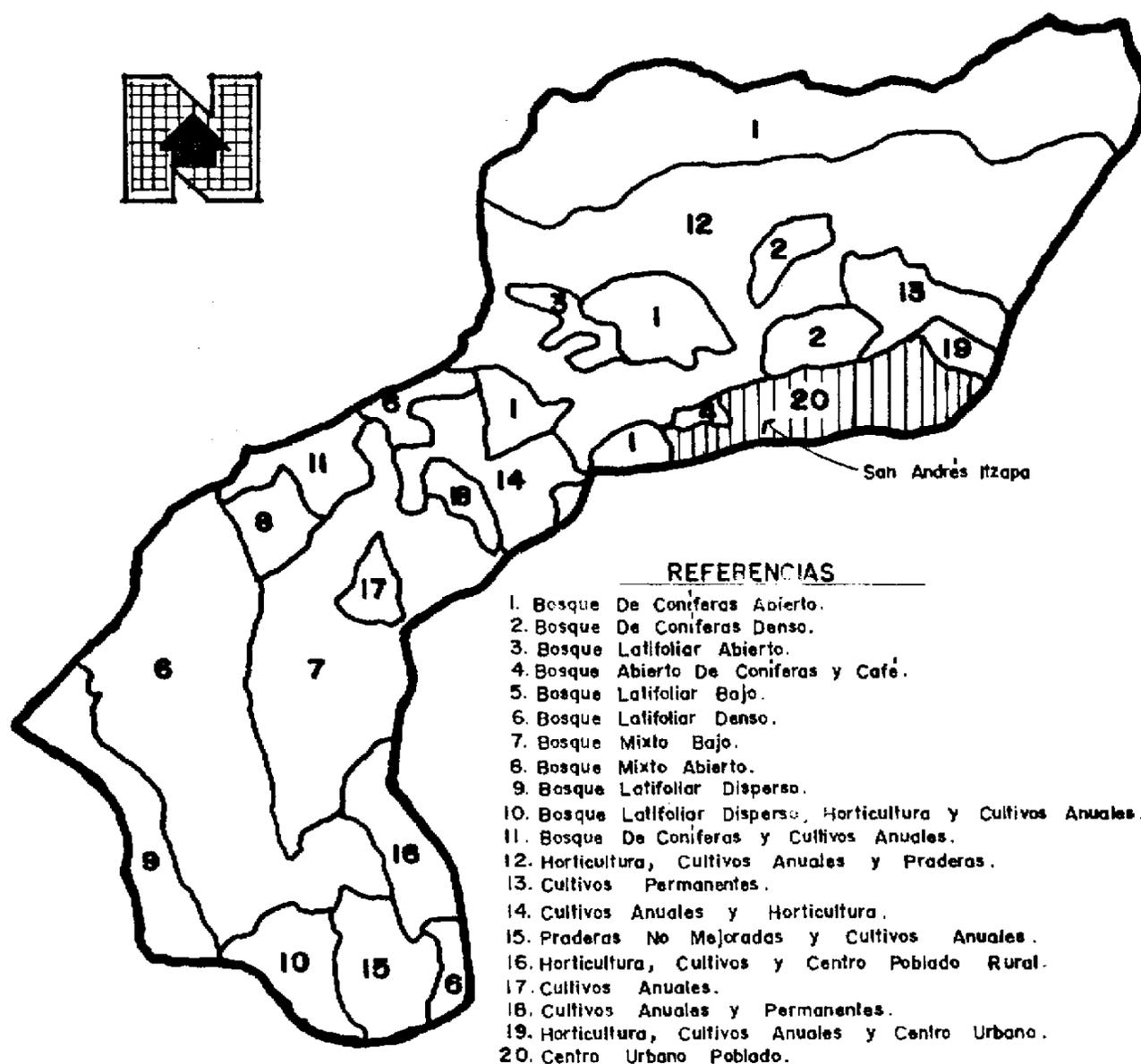
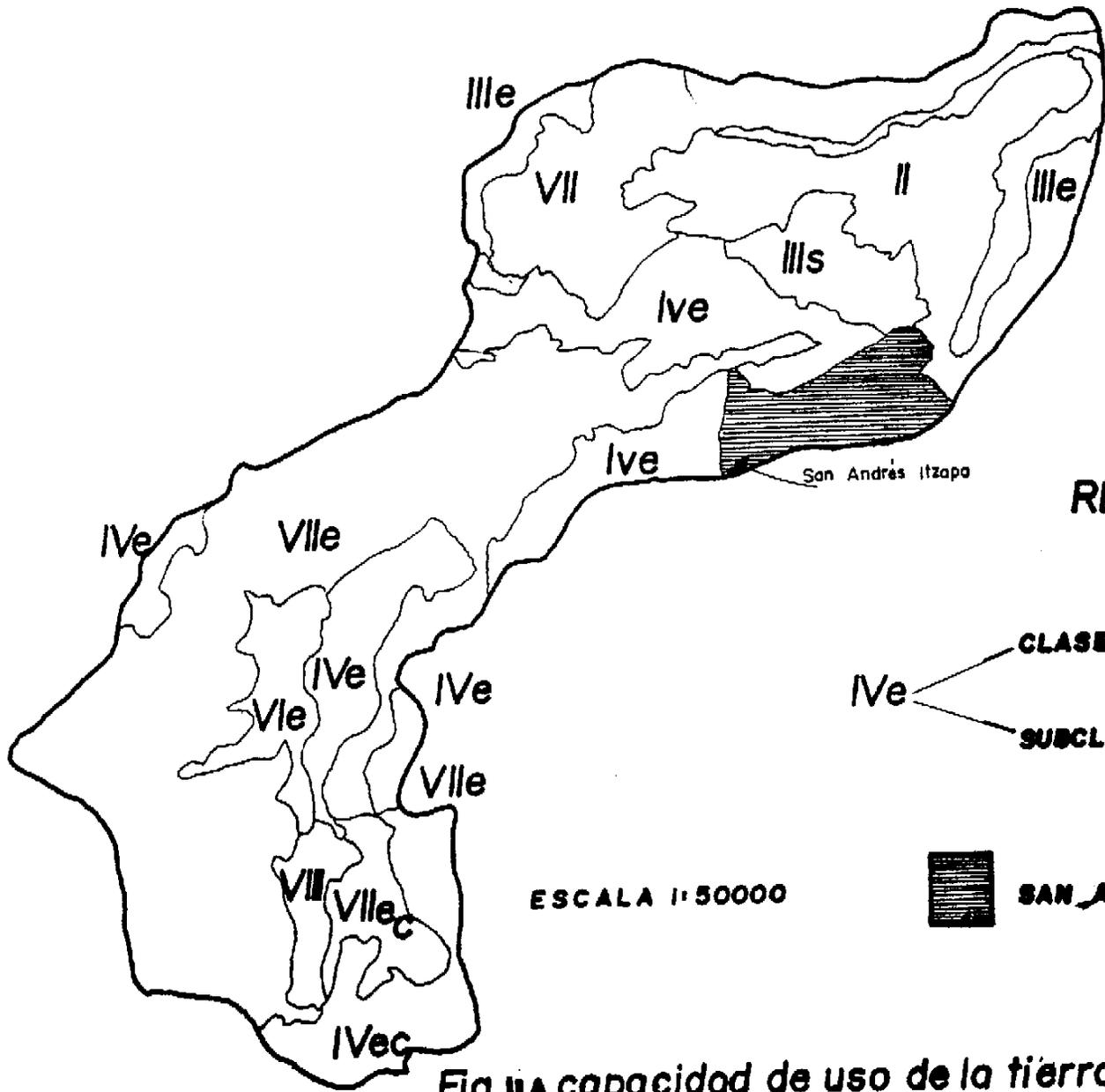


FIG.10A Mapa De Uso Actual De La Tierra De La Cuenca Del Río Itzapa.

ESCALA 1: 50,000



REFERENCIAS

IIIe — CLASE DE CAPACIDAD DE USO
 Ive — SUBCLASE DE CAPACIDAD DE USO

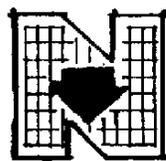
 SAN ANDRÉS ITZAPA

ESCALA 1:50000

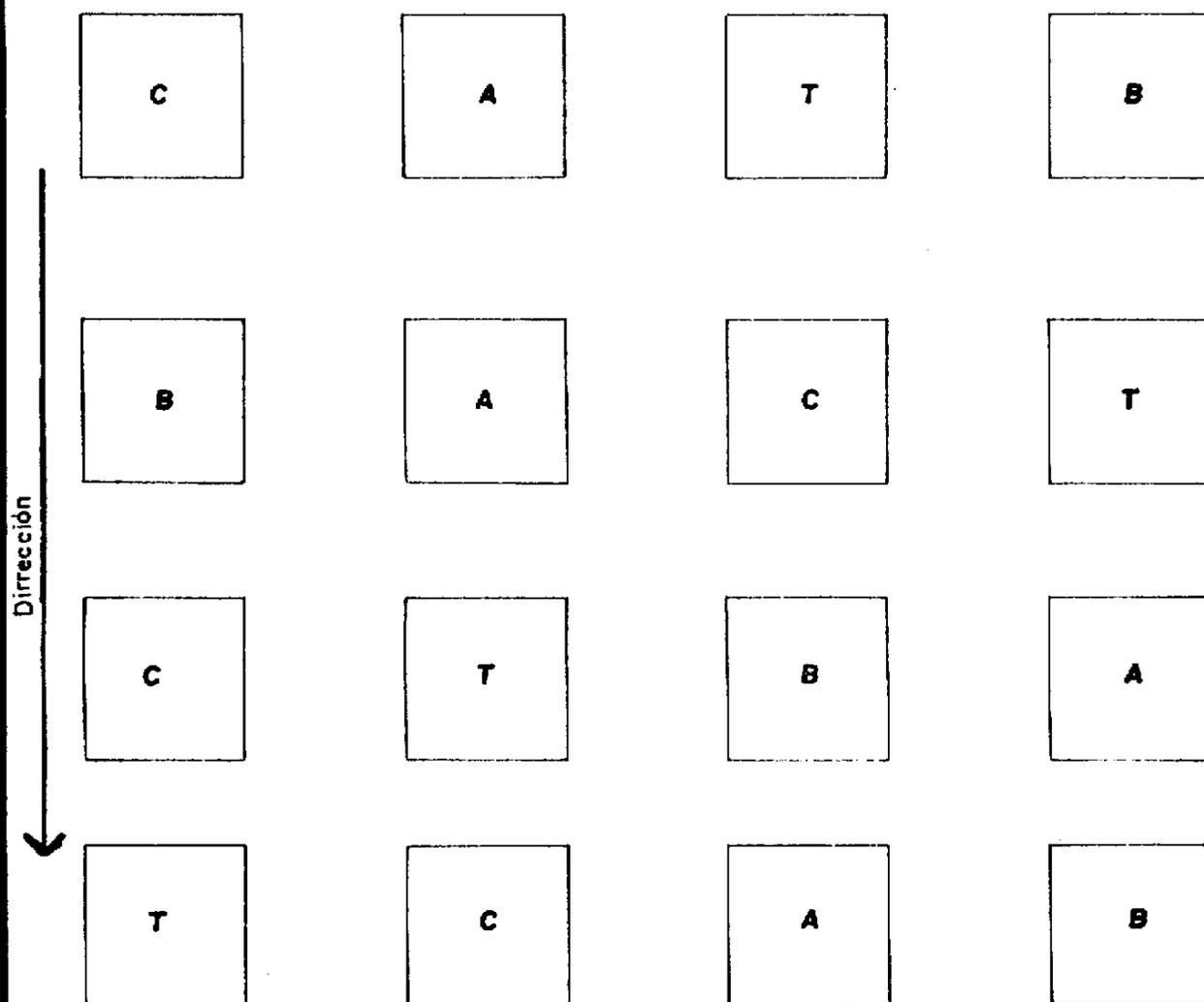
Itzapa.

Fig. 11A capacidad de uso de la tierra en la cuenca del río

Croquis De La Distribucion De Los Tratamientos



pendiente 18%



REFERENCIAS:

- T = Testigo (sin cobertura)
- A = Cobertura de asocio (Maíz - Frijol)
- B = Cobertura de frijol
- C = Cobertura de brócoli

Figura 12A croquis de la distribución de tratamientos.



LA TESIS TITULADA: " EFECTO DE LA COBERTURA DE CULTIVOS SOBRE LA EROSION
 HIDRICA DEL SUELO EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO ITZAPA, SAN
 ANDRES ITZAPA, CHIMATENANGO, GUATEMALA (FASE I)".

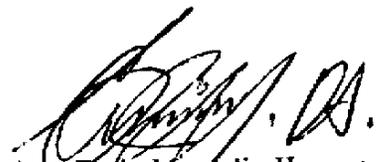
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: CARLOS FERNANDO LOPEZ BUCARO

CARNET No. 90-14213

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez
 Ing. Agr. Efrain Medina Guerra
 Ing. Agr. Luis Fernando Ortiz Castillo

Los asesores y las autoridades de la Facultad de Agronomía. hacen constar que ha cumplido con las normas
 Universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

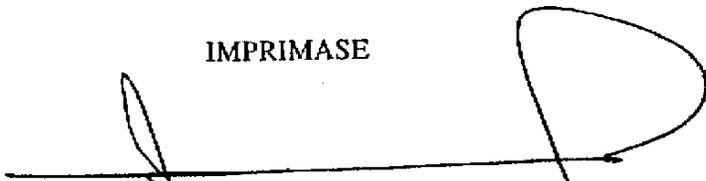

 Ing. Agr. Hugo Antonio Tobías Vásquez
 ASESOR


 Ing. Agr. Ervin Maxdelio Herrera de León
 ASESOR


 Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte
 DIRECTOR DEL IIA



IMPRIMASE


 Ing. Agr. Jose Rolando Lara Alejo
 DECANO



cc. Control academico/
 archivo

APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770