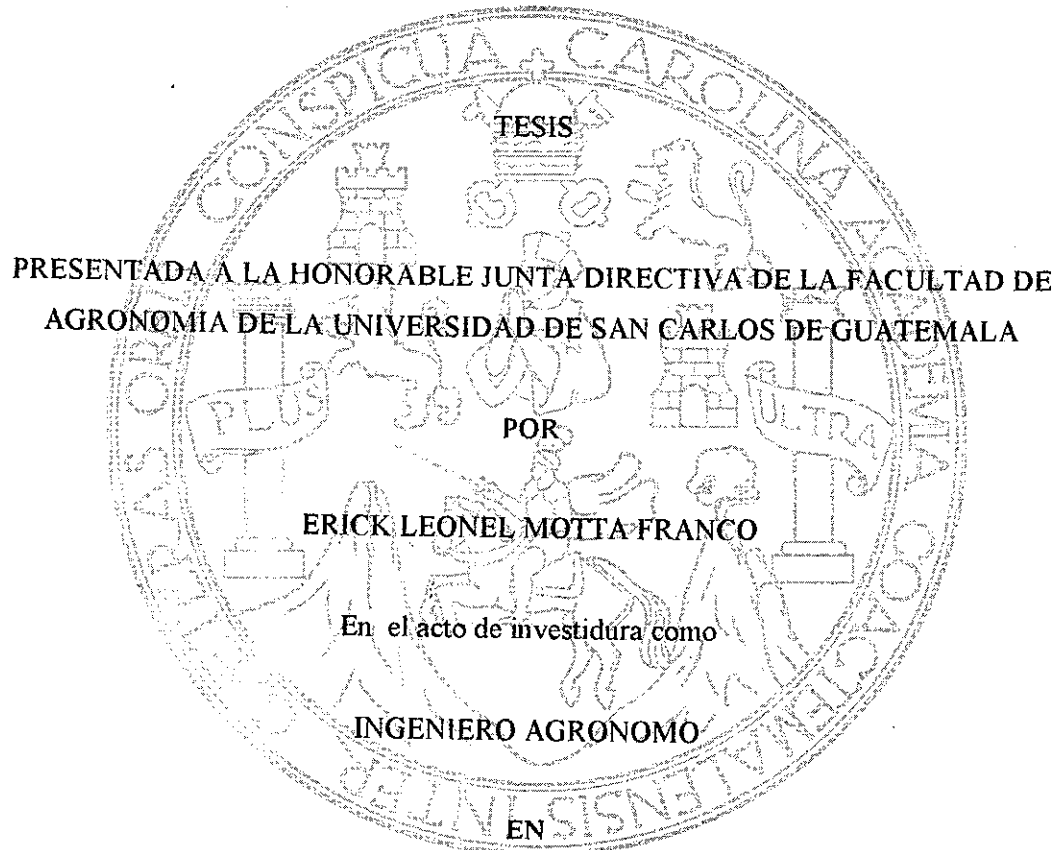


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

ESTUDIO DE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO, MICROCUENCA
DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO, DE 1,994 A 1,996.



SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, febrero de 1,999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

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

Ing. Agr. José Rolando Lara Alecio
Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
Ing. Agr. William Roberto Escobar López
Ing. Agr. Alejandro Arnoldo Hernández Figueroa
Br. Oscar Javier Guevara Pineda
Br. José Domingo Mendoza Cipriano
Ing. Agr. Guillermo Edilberto Méndez Beteta

Guatemala, febrero de 1,999.

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

Respetables miembros:

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

ESTUDIO DE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO, MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO, DE 1,994 A 1,996.

Trabajo que presento como último 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.

Atentamente



Erick Leonel Motta Franco

ACTO QUE DEDICO

A

DIOS

Por haberme dado la vida y la fuerza para vencer los obstáculos presentados en mi carrera.

MIS PADRES

Julio Humberto Motta Méndez.
Elba Ofelia Franco de Motta

Como una pequeña muestra de agradecimiento por su amor, apoyo moral y económico.

MIS HERMANOS

Anabella, Lester (Q.E.P.D.), María Dolores, Julio René y especialmente a Jesús Humberto (Cuyo).

Como una muestra de agradecimiento por su apoyo incondicional en todo momento.

MI NOVIA

Gloria Elizabeth Mendiá López

Por su amor, comprensión y apoyo.

MIS SOBRINOS

Omar, Daniela, Mabel, Hugo,
Lester (Q.E.P.D.), Karen y Mildred.

Con mucho cariño.

MIS TIOS Y PRIMOS

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

TESIS QUE DEDICO

A:

MI HERMOSO PAIS "GUATEMALA".

ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA -ENCA-

FACULTAD DE AGRONOMIA.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

PROMOCION 88-91 DE LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA.

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS, especialmente a Miguel Antonio López, Jorge Luis Gómez, Ronal Gómez, Byron González, Ezequiel López, Eduardo Toledo, David Juárez, Luis Mejía Caníz, Manuel Gaitán, Marwin Garzona, Walter Valencia, Ludin Lima, Gerson Sánchez, Rainiero Lec, Ricardo Calderón, Carlos Hernández, Honder Anibal Martínez, Amilcar Sánchez, Geovani Hernández, Herber Aché..

AGRADECIMIENTOS

SINCEROS AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Agr. MSc. Hugo Antonio Tobías Vásquez, Ing. Agr. MSc. Ervin Maxdelio Herrera De León e Ing. Agr. MSc. Edwin Guillermo Santos Mansilla, por su apoyo incondicional en la asesoría y realización de este trabajo de tesis.

Instituto de Investigaciones Agronómicas y a los integrantes del proyecto de investigación de la cuenca del río Itzapa, especialmente a Carlos López, por su amistad, ayuda y apoyo en la etapa de campo y gabinete de esta investigación.

Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el apoyo proporcionado en esta investigación.

Unidad de Sistemas de Información Geográfico de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el apoyo tanto logístico como de equipo brindado para la realización de esta tesis.

Subárea de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, especialmente a Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez, Ing. Agr. Victor Hugo Méndez e Ing. Agr. Gilberto Daniel Alvarado, por el apoyo y amistad brindados en el tiempo que trabajé junto a ellos.

A Hugo Buch, Hermenio López y muy especialmente a Alfonso López y López, por su apoyo en la fase de campo de esta investigación

A la Familia Castellanos Cortez, especialmente a doña Hilda y don Salvador Castellanos, por su apoyo incondicional.

Y a todas aquellas personas que hayan colaborado en la realización de esta 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 CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. REVISION DE LITERATURA	3
3.1. Marco Conceptual	3
3.1.1. Factores de la erosión y la escorrentía.	3
3.1.2. Etapas del proceso de erosión hídrica	6
3.1.3. Medición de la escorrentía y la erosión	7
3.1.4. Descripción del modelo USLE	8
3.1.5. Metodología LEAM para evaluar la erodabilidad del suelo	11
3.1.6. Capacidad de uso de la tierra por la metodología del Centro Científico Tropical de Costa Rica (CCT)	14
3.1.7. Esquema para la planificación conservacionista de las tierras	15
3.1.8. Prácticas de conservación de suelos	16
3.2. Marco Referencial	20
3.2.1. Características generales de la microcuenca del río Itzapa	20
4. OBJETIVOS	33
5. HIPOTESIS	34
6. METODOLOGIA	35
6.1. Evaluación del efecto del manejo de cobertura vegetal y la pendiente del terreno en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa, Chimaltenango (Fase IV).	35
6.1.1. Ubicación del sitio experimental	35
6.1.2. Selección de tratamientos	35
6.1.3. Diseño experimental	35
6.1.4. Arreglo y montaje del experimento	36
6.1.5. Medición de variables	39
6.1.6. Análisis de la información	40
6.2. Integración de la información obtenida en las evaluaciones realizadas de 1,994 a 1,996	41
6.3. Estimación de la pérdida de suelo por medio de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)	41
6.4. Estimación de la pérdida de suelo por medio de la metodología LEAM.	45
6.5. Plan preliminar de conservación de suelos	47

7. RESULTADOS	48
7.1. Evaluación del efecto del manejo de cobertura vegetal y la pendiente del terreno en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa (Fase IV)	48
7.1.1. Precipitación	48
7.1.2. Escorrentía	49
7.1.3. Suelo erosionado en parcelas de escorrentía	52
7.1.4. Cobertura de los tratamientos	54
7.1.5. Correlaciones entre las variables estudiadas	56
7.1.6. Ecuación universal de pérdidas de suelo por erosión hídrica (USLE)	61
7.2. Integración de las tres evaluaciones del efecto del manejo de cobertura vegetal y la pendiente del terreno sobre la erosión del suelo en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa, realizadas de 1,994 a 1,996	61
7.2.1. Escorrentía	61
7.2.2. Cantidad de suelo erosionado	64
7.2.3. Factor de manejo y cobertura vegetal (factor C)	66
7.2.4. Correlaciones	68
7.2.5. Ecuación universal de pérdidas de suelo por erosión hídrica (USLE)	69
7.3. Determinación de erosión de la microcuenca del río Itzapa por la metodología USLE	70
7.3.1. Factor de erosividad de lluvias (factor R)	70
7.3.2. Factores de erodabilidad (factor K) y de longitud y grado de pendiente (factor LS)	71
7.3.3. Factor de manejo de cobertura vegetal (factor C)	72
7.3.4. Valor de erosión en la microcuenca del río Itzapa por metodología USLE	74
7.4. Cálculo de erosión en la microcuenca del río Itzapa por la metodología LEAM	77
7.4.1. Erosividad de la lluvia (índice modificado de Fournier (FI))	77
7.4.2. Erodabilidad del suelo (factor K)	77
7.4.3. Factor topográfico (factor LS)	78
7.4.4. Valor de Erosión en la microcuenca del río Itzapa por la metodología LEAM	79
7.5. Plan preliminar de conservación de suelos de la microcuenca del río Itzapa	82
8. CONCLUSIONES	85
9. RECOMENDACIONES	87
10. BIBLIOGRAFIA	88
11. APENDICE	91
11.1. Análisis de textura realizado a los sedimentos erosionados depositados en los recipientes colectores	92

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
FIGURA 1.	Localización de la microcuenca del río Itzapa a nivel nacional 22
FIGURA 2.	Mapa de la microcuenca del río Itzapa 23
FIGURA 3.	Mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la microcuenca del río Itzapa 25
FIGURA 4.	Mapa de áreas de influencia de estaciones meteorológicas. Microcuenca del río Itzapa 26
FIGURA 5.	Mapa de pendientes por metodología USDA. Microcuenca del río Itzapa 27
FIGURA 6.	Mapa de uso de la tierra (año 1,996). Microcuenca del río Itzapa 29
FIGURA 7.	Mapa de capacidad de uso de la tierra por metodología CCT. Microcuenca del río Itzapa 30
FIGURA 8.	Mapa de intensidad de uso de la tierra (año 1,996) por metodología CCT. Microcuenca del río Itzapa 32
FIGURA 9.	Esquema de una parcela de escorrentía establecida para la realización de la investigación 37
FIGURA 10.	Modelo cartográfico para evaluar el proceso de erosión hídrica por la metodología USLE y el uso de un sistema de información geográfico (IDRISI). Microcuenca del río Itzapa 44
FIGURA 11.	Modelo cartográfico para evaluar el proceso de erosión hídrica por la metodología LEAM y el uso de un sistema de información geográfico (IDRISI). Microcuenca del río Itzapa 46
FIGURA 12.	Relación entre la intensidad de lluvia y la escorrentía superficial para una pendiente de 25 por ciento 57
FIGURA 13.	Relación entre la intensidad de lluvia y la escorrentía superficial para una pendiente de 40 por ciento 57
FIGURA 14.	Relación entre la intensidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado para una pendiente de 25 por ciento 58
FIGURA 15.	Relación entre la intensidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado para una pendiente de 40 por ciento 58
FIGURA 16.	Relación entre la cantidad de escorrentía superficial y suelo erosionado para una pendiente de 25 por ciento 59
FIGURA 17.	Relación entre la cantidad de escorrentía superficial y suelo erosionado para una pendiente de 40 por ciento 59
FIGURA 18.	Relación entre porcentaje de cobertura de cultivo, cantidad de escorrentía superficial y de suelo erosionado para pendiente de 25 por ciento 60
FIGURA 19.	Relación entre porcentaje de cobertura de cultivo, cantidad de escorrentía superficial y de suelo erosionado, para pendiente de 40 por ciento 60
FIGURA 20.	Escorrentía superficial observada en cada tipo de cobertura vegetal durante 3 años de investigación en pendiente de 25 por ciento en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa 63
FIGURA 21.	Escorrentía superficial observada en cada tipo de cobertura vegetal durante 3 años de investigación en pendiente de 40 por ciento en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa 64
FIGURA 22.	Suelo erosionado observado en cada tipo de cobertura vegetal para una pendientes de 25 por ciento durante 3 años de investigación en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa 65

FIGURA 23.	Suelo erosionado observado en cada tipo de cobertura vegetal para una pendientes de 40 por ciento durante 3 años de investigación en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	66
FIGURA 24.	Valores de factor de manejo de cobertura vegetal (factor C) obtenidos en las diferentes coberturas vegetales evaluadas durante 3 años en una pendiente de 25 por ciento en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	67
FIGURA 25.	Valores de factor de manejo y cobertura vegetal (factor C) obtenidos en las diferentes coberturas vegetales evaluadas durante 3 años en una pendiente de 40 por ciento en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	68
FIGURA 26.	Comparación de los valores de erosión hídrica obtenidos mediante experimentación con parcelas de escorrentía con pendiente de 25 por ciento y los cálculos obtenidos al utilizar la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)	70
FIGURA 27.	Comparación de los valores de erosión hídrica obtenidos mediante experimentación con parcelas de escorrentía con pendiente de 40 por ciento y los cálculos obtenidos al utilizar la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)	71
FIGURA 28.	Mapa de erosión estimada por la metodología USLE	75
FIGURA 29.	Mapa de niveles críticos de erosión según metodología USLE	76
FIGURA 30.	Mapa de erosión estimada por la metodología LEAM	80
FIGURA 31.	Mapa de niveles críticos de erosión según metodología LEAM	81
FIGURA 32.	Mapa de unidades de manejo propuestas para la microcuenca del río Itzapa	82
FIGURA 33A	Croquis de la distribución de los tratamientos en las unidades experimentales (parcelas de escorrentía)	97
FIGURA 34A	Nomograma para obtención del factor de erodabilidad del suelo (factor K) en unidades del sistema internacional.	98

INDICE DE CUADROS

	PAGINA
CUADRO 1. Clases de pendiente según metodología LEAM	12
CUADRO 2. Clases de erosividad de las lluvias, según metodología LEAM	12
CUADRO 3. Clases de erodabilidad del suelo, según metodología LEAM	13
CUADRO 4. Clase y subclases de erosión para la metodología LEAM	13
CUADRO 5. Superficie que ocupan las clases de capacidad de uso de la tierra de la microcuenca del río Itzapa, metodología CCT	28
CUADRO 6. Valores de área y porcentaje de área del mapa de intensidad de uso de la tierra (año 1,996) por metodología CCT, microcuenca del río Itzapa	31
CUADRO 7. Precipitación mensual promedio de 11 años de la estación La Alameda y registros de precipitación para los años de 1,994 a 1,996 en la estación Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango	48
CUADRO 8. Cantidad de lluvia y frecuencia para cinco clases de lluvias ocurridas en Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, 1,996	49
CUADRO 9. Cantidad (m ³ /ha y porcentaje) de escorrentía superficial para el sitio experimental con 25 y 40 por ciento de pendiente	49
CUADRO 10. Escorrentía superficial (m ³ /ha) para tratamientos y repeticiones en el sitio experimental con 25 por ciento de pendiente	50
CUADRO 11. Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio experimental con 25 por ciento de pendiente	50
CUADRO 12. Prueba de Túkey para la cantidad de escorrentía superficial en el sitio con 25 por ciento de pendiente	50
CUADRO 13. Escorrentía superficial (m ³ /ha) observada en el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente	51
CUADRO 14. Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio con 40 por ciento de pendiente	51
CUADRO 15. Prueba de Túkey para la cantidad de escorrentía superficial en el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente	52
CUADRO 16. Cantidad de suelo erosionado (ton/ha-año) en el sitio del ensayo con 25 por ciento de pendiente	52
CUADRO 17. Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25 por ciento de pendiente	52
CUADRO 18. Prueba de Túkey para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25 por ciento de pendiente	53
CUADRO 19. Cantidad de suelo erosionado (ton/ha-año) en el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente	53
CUADRO 20. Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente	53
CUADRO 21. Prueba de Túkey para la cantidad de suelo erosionado en las parcelas de escorrentía con 40 por ciento de pendiente	54
CUADRO 22. Porcentaje de cobertura vegetal para el sitio experimental con 25 por ciento de pendiente	54
CUADRO 23. Porcentaje de cobertura vegetal para el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente	55
CUADRO 24. Factor de manejo de cobertura de cultivo (factor C) para cada cobertura en las dos pendientes evaluadas (25 y 40 por ciento)	55

CUADRO 25.	Valores de intensidad de cuatro eventos y cantidad de suelo erosionado (ton/ha) y escorrentía superficial (m ³ /ha) para una pendiente de 40 por ciento	56
CUADRO 26.	Valores de suelo erosionado (ton/ha-año) medidos por el método directo de parcelas de escorrentía y calculados por medio de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo	61
CUADRO 27.	Cantidad (m ³ /ha) y porcentaje de escorrentía registrados para las cuatro evaluaciones realizadas en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	62
CUADRO 28.	Escorrentía superficial (m ³ /ha) registrada en cada uno de los tratamientos evaluados en las parcelas de escorrentía con pendiente de 25 y 40 por ciento en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	62
CUADRO 29.	Prueba de Túkey para la cantidad de escorrentía superficial en los sitios experimentales con 25 y 40 por ciento de pendiente en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	63
CUADRO 30.	Cantidad de suelo erosionado (ton/ha-año) registrado en cada uno de los tratamientos evaluados en las parcelas de escorrentía con pendiente de 25 y 40 por ciento en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	65
CUADRO 31.	Prueba de Túkey para la cantidad de suelo erosionado en los sitios experimentales con 25 y 40 por ciento de pendiente en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	65
CUADRO 32.	Factor C para cada tratamiento en las dos pendiente evaluadas (25 y 40 por ciento) para la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	67
CUADRO 33.	Valores de suelo erosionado (ton/ha-año) medidos por el método directo de parcelas de escorrentía y calculados por medio de la ecuación universal de pérdidas de suelo, en los sitios experimentales (25 y 40 por ciento de pendiente) de la parte alta de la microcuenca del río Itzapa	69
CUADRO 34.	Valores de factor de erosividad de las lluvias (factor R) por estación meteorológica; área de influencia y porcentaje de esta, microcuenca del río Itzapa	70
CUADRO 35.	Valores de factor de erosividad del suelos (factor K) y de factor de de pendiente (factor LS) por unidad taxonómica de suelo	72
CUADRO 36.	Valores de factor de manejo y cobertura vegetal (factor C)	73
CUADRO 37.	Rangos de erosión obtenidos a través de la metodología USLE	74
CUADRO 38.	Índice modificado de Fournier por estación meteorológica	77
CUADRO 39.	Valores de factor de erodabilidad del suelo (factor K) según clasificación taxonómica de suelos y subclase de erodabilidad según metodología LEAM	78
CUADRO 40.	Subclase de pendiente para el factor topográfico (factor LS) por unidad taxonómica de suelos	79
CUADRO 41.	Clase y rangos de erosión de suelos, según metodología LEAM	79
CUADRO 42.	Unidades de manejo propuestas para la microcuenca del río Itzapa	84
CUADRO 43A.	Composición mecánica del suelo erosionado de las parcelas de escorrentía captado en los recipientes colectores	92
CUADRO 44A.	Valores del coeficiente B para cálculo del exponente "m" para obtener el factor de longitud de pendiente (factor L)	93

CUADRO 45A. Factor de cobertura (factor C) para diferentes tipos de cobertura vegetal con o sin manejo del hombre, evaluados en la cuenca del río Chixoy	93
CUADRO 46A. Resultados del cruce de mapa (1) con mapa (2), para obtener el valor de pendiente ponderada por unidad de clasificación taxonómica de suelos . Aplicación de fórmula de McCool para obtener factores L y S. Asignación de valores de factor K (mapa 6). Asignación de valores de factor LS (mapa 7). Metodología USLE (ver figura 10)	94
CUADRO 47A. Resultados del cruce de los mapas (6), (7) y (8). Metodología USLE (ver figura 10)	94
CUADRO 48A. Resultados del cruce del resultado del cuadro 47A (valor LSKR) para oabtener mapas (10) y (11). Metodología USLE (ver figura 10)	95
CUADRO 49A. Resultados del cruce de mapa (1) con mapa (2) para obtener el valor de pendiente ponderada por unidad de clasificación taxonómica de suelos. Aplicación de fórmula de McCool para obtener factores L y S. Asignación de valores de factor K y de subclase de erodabilidad (mapa 5). Asignación de valores de factor LS y subclase de pendiente (mapa 6). Metodología LEAM (ver figura 11)	96
CUADRO 50A. Resultados del cruce de los mapas (5), (6) y (7), para obtener la cantidad de suelo erosionado y clase de erosión (mapa 8 y mapa 9), por la metodología LEAM (ver figura 11)	96



ESTUDIO DE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO, MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO, DE 1,994 A 1,996.

WATER SOIL EROSION STUDY AT THE ITZAPA RIVER, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, FROM 1,994 TO 1,996.

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en dos partes; la primera trató sobre la evaluación de la cobertura y la pendiente del terreno en la erosión hidrica del suelo, en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango. La investigación se realizó durante la época lluviosa de 1,996 en terrenos de la Aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa. Evaluando las coberturas de maíz (*Zea mays* L.), coliflor (*Brassica oleracea* Var. botritis L.) y pasto (*Pennisetum clandestinum* L.), por ser los cultivos principales del área. Los resultados obtenidos se compararon con un testigo absoluto (sin cobertura vegetal), realizando la investigación en dos diferentes tipos de pendiente de terreno (25 y 40 por ciento).

La segunda parte consistió en la integración de resultados de investigaciones realizadas dentro de la microcuenca para evaluar el efecto de la cobertura vegetal y la pendiente del terreno en los años de 1,994 a 1,996.

Se utilizaron datos obtenidos a través de evaluaciones anteriores para realizar cálculos de estimación de valores de erosión; esto a nivel de toda la microcuenca, utilizando los modelos de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) y de cuantificación de erosión (LEAM); obteniendo mapas y valores de cantidades de suelo erosionado.

Con base en el mapa de intensidad de uso de la tierra para el año 1,996, y el mapa de pendientes de la microcuenca, se obtuvo una serie de unidades de superficie. En cada una se recomienda las técnicas de manejo a implementar con el fin de evitar que el recurso suelo siga degradándose.

Dentro de los principales resultados obtenidos se puede mencionar:
La cobertura vegetal de pasto redujo grandemente la cantidad de escorrentía superficial siendo diferente estadísticamente a las demás coberturas evaluadas, con valores desde 617 hasta 650 m³/ha-año. La cobertura que ofrece menor protección al suelo fue la de coliflor (786 hasta 855 m³/ha-año).

En cuanto a la cantidad de suelo erosionado, la cobertura de pasto fue la que redujo grandemente este valor, con datos desde 1.07 hasta 7.027 ton/ha-año, siendo diferente estadísticamente a las demás coberturas vegetales evaluadas. Con la cobertura de coliflor se provocan las mayores pérdidas de suelo, que van desde 31.63 hasta 66.04 ton/ha-año.

Los índices de factor de manejo y cobertura vegetal (factor C) obtenidos son en promedio, para la cobertura de pasto de 0.09 y 0.10 para pendiente de 25 y 40 por ciento; de 0.82 y 0.80 para pendiente de 25 y 40 por ciento en el cultivo de coliflor; y de 0.47 y 0.37 para el maíz en pendientes de 25 y 40 por ciento respectivamente.

Al realizar el cálculo de erosión por la metodología USLE, se observa que 59 por ciento del área total de la microcuenca posee tasas de erosión superiores a 16 ton/ha-año; valor similar al obtenido por la metodología LEAM que presenta 47.68 por ciento del área total de la microcuenca con valores arriba de 15 ton/ha-año.

1. INTRODUCCION

La producción agrícola es la principal actividad económica de la mayoría de habitantes de Guatemala, especialmente del área rural, en donde los agricultores necesitan tierras para cultivar y obtener productos agrícolas con el fin de comercializarlos o consumirlos. En muchos casos han eliminado el bosque, aumentando así la frontera agrícola.

Con el avance de la frontera agrícola, no solo se provoca la destrucción del bosque, sino también de la vida silvestre como la fauna, la flora y la biodiversidad. Lo anterior trae como consecuencia que se acelere la escasez de fuentes de agua, y la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica.

En este último aspecto, se basó la presente investigación, considerando que la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica es causante de otros problemas, tales como la pérdida de fertilidad de los suelos, la contaminación de las fuentes de agua, el asolvamiento de los cauces de los ríos y la pérdida de uno de los recursos naturales renovables de mas importancia para la producción agrícola como lo es el suelo.

La cuantificación de la pérdida del suelo, se puede hacer de varias maneras, siendo la más exacta, la medición directa de los sedimentos a través de parcelas de escorrentía, en las cuales, por medio de recipientes colectores, se puede determinar la cantidad de suelo erosionado en una determinada área de una región y tipo de suelo específico para una estación lluviosa en particular.

La investigación realizada, planteó varios aspectos, entre ellos, la evaluación del efecto de tres tipos diferentes de cobertura vegetal y dos tipos de pendiente sobre la erosión hídrica del suelo de la parte alta de la microcuenca del río Itzapa (Aldea Chicazanga), San Andrés Itzapa, Chimaltenango, durante la época lluviosa de 1996. En su segunda parte, la integración de los resultados obtenidos durante cuatro años de evaluación, así como la estimación de pérdidas de suelo por el método de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés) y por la metodología de cuantificación de erosión del suelo (LEAM, por sus siglas en inglés), que incluye la taxonomía de suelos para su realización. Para finalizar, la elaboración de un plan de manejo y conservación de suelos a nivel muy general en toda la microcuenca del río Itzapa.

Para la generación de información básica que permita conocer el potencial de la microcuenca, la Dirección General de Investigación -DIGI- de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC- y la Facultad de Agronomía -FAUSAC-, a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas -IIA-; han implementado el proyecto de Investigación Básica para la Planificación de la Cuenca Hidrológica Experimental del Río Itzapa; el cual busca generar un plan de manejo y desarrollo de la microcuenca. El proyecto se planteó para 10 años, dando inicio en 1,992.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala es un país que se caracteriza por tener sistemas de producción afectados por la tenencia de la tierra, lo que se manifiesta en el complejo latifundio-minifundio, concentrando así, gran cantidad de personas en áreas que no son aptas para la producción agrícola. Lo anterior, da como resultado una fuerte presión de uso sobre los recursos naturales del área, provocando una tasa alta de deforestación, pérdida del suelo y su fertilidad, así como una pérdida de la biodiversidad existente en la región.

La microcuenca del río Itzapa, presenta el anterior problema, ya que sus pobladores (la mayoría descendientes de la etnia Maya Cakchiquel), debido a la necesidad de cultivar la tierra con el fin de obtener productos para la venta o de autoconsumo, han deforestado o dispersado el bosque en la mayor parte de la microcuenca. Esta situación provoca que el suelo quede libre de cubierta vegetal y a expensas de las fuerzas erosivas de la naturaleza, especialmente de las ocasionadas por la precipitación pluvial.

La erosión acelerada no solo disminuye la fertilidad de los suelos, sino que provoca otros problemas como asolvamiento del cauce de los ríos, desbordes y crecidas que afectan las áreas de la parte media. Por otro lado, en la época seca, se da una baja significativa en los caudales de los ríos, debido a que no hay una cubierta vegetal que permita la infiltración del agua de lluvia hacia los horizontes profundos del suelo para que se recarguen los acuíferos y que el flujo base que alimenta dichos ríos permanezca con pocas fluctuaciones.

En nuestro medio se carece de investigación básica en lo relativo a técnicas de estudio, planificación y manejo a nivel de cuencas hidrográficas. Para la realización de dichos estudios es necesario efectuarlos en períodos de tiempo relativamente largos. Por tal razón, la Dirección General de Investigación -DIGI- de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC- y la Facultad de Agronomía -FAUSAC-, a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas -IIA- realizan un proyecto con una duración de 10 años que estudia las bases y principios de los procesos erosivos y evalúa técnicas de conservación de suelos en la microcuenca del río Itzapa, el proyecto inició en 1,992, realizando la primera evaluación del efecto de la cobertura y la pendiente del terreno sobre la erosión en 1,993.

3. REVISION DE LITERATURA

3.1. MARCO CONCEPTUAL.

3.1.1 FACTORES DE LA EROSION DEL SUELO Y LA ESCORRENTIA:

López (12), señala cuatro factores principales que determinan la magnitud de las pérdidas de suelo por la erosión, ellos son: el clima, la topografía, la vegetación y el suelo.

3.1.1.1. EL CLIMA.

Son cuatro los aspectos principales relacionados con el clima, que afectan el desarrollo de la erosión hídrica; ellos son: Lluvia, temperatura, energía solar y el viento (López, 12).

El elemento climático de mayor incidencia en la manifestación y desarrollo de la erosión hídrica está constituido por las lluvias (López, 12).

El volumen, la intensidad y la distribución de las lluvias son determinantes de la acción erosiva de este elemento climático sobre el suelo, de la velocidad de escorrentía y de las pérdidas de suelo que se generan (López, 12).

Es así, que una lluvia, aun cuando sea prolongada, puede no causar mayores daños por erosión si su intensidad es baja, lo mismo puede decirse de una lluvia intensa de extremadamente corta duración; que podría no causar mayores pérdidas de suelo, ya que no genera suficiente agua para producir escorrentía (López, 12).

Contrariamente, cuando la intensidad y duración del evento pluvial son altos entonces ambos, escorrentía y erosión, se manifiestan como serios problemas lo cual es especialmente cierto en zonas sin cubierta vegetal, o sea, desprovistas de protección (López, 12).

Experimentos realizados en Venezuela por Paez (18), demostraron que, apenas un 10 por ciento de los eventos de lluvia, produjeron casi 40 por ciento de las pérdidas de suelo y representaron 55 por ciento de la erosividad total de éstas.

Gourgon *et al* (9); indica que el estado de saturación del suelo juega un papel muy importante en la caracterización de los aguaceros erosivos, por lo tanto las lluvias de fuertes intensidades que se suceden a intervalos cortos causan sin duda la máxima erosión.

Por otro lado, Sánchez (26), indica que, en los suelos bajo estudio del proyecto de conservación de suelos del río Michatoya, independientemente de la humedad del suelo, en lluvias menores a 15 mm, no se da el proceso de arrastre del suelo,

solo el de dispersión, debido al impacto de la lluvia; esto debido a la alta capacidad de infiltración de los suelos del área de estudio.

3.1.1.2. LA TOPOGRAFIA

El grado, la longitud y la uniformidad de la pendiente son las características topográficas de mayor influencia en el desarrollo de los procesos erosivos (López, 12).

Para Suárez (28); el tamaño y la cantidad de material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión depende de la velocidad con que ésta fluye, la cual, a su vez, es una resultante de: A. el grado y; B. la longitud de la pendiente del terreno.

A. Grado de la pendiente:

López (12), dice que el grado de la pendiente del terreno es usualmente más importante que su longitud con respecto a la severidad de la erosión.

La erosión crece rápidamente con relación al grado de la pendiente del terreno y se observa algunas veces un aumento considerable de las pérdidas de suelo por muy débil que sea el crecimiento de la misma (Revolorio, 23).

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 (López, 12).

Los terrenos con pendientes moderadas de gran longitud pueden sufrir una mayor erosión que los que tienen pendientes mayores, pero de poca longitud (Pérez, 21).

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norte América (6) indica que en las pendientes largas y de gran inclinación, la velocidad y la fuerza erosiva de la corriente, son mayores que en pendientes cortas y de poca inclinación.

3.1.1.3. LA COBERTURA VEGETAL

La cubierta vegetal es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión. Toda planta, desde la más minúscula hierba hasta el árbol más corpulento, defiende el suelo de la acción perjudicial de las lluvias en forma y proporción diferentes (López, 12).

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norte América (6) indica que la lluvia intensa, al caer sobre césped denso o en el mantillo de los bosques, es atenuada por la cubierta vegetal, parte del agua es absorbida por la vegetación, parte queda a disposición de las plantas. En estas condiciones, el escurrimiento superficial es poco o nulo, y el lavado o erosión de los suelos es insignificante.

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 suelo son nulas. Experimentos realizados en la microcuenca del río Itzapa por Santos (27), demostraron que el pasto protege al suelo en mayor porcentaje que el maíz, el cual protege 55 por ciento más que si el suelo no tuviera ninguna cubierta vegetal; con pérdidas de 4.3 ton/ha-año para el pasto, y de 23.8 ton/ha-año para el maíz.

Pérez (21), en experimento realizado en la microcuenca del río Itzapa, Chimaltenango, encontró una relación de pérdidas de suelo de 14:1 entre una parcela sin cobertura y otra con cobertura de pasto.

3.1.1.4. 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, 28).

López (12) señala que los efectos de las propiedades del suelo sobre la erosión hídrica se manifiesta de dos formas: A. aquellas propiedades que determinan la habilidad del suelo para permitir la penetración de la lluvia, la cual depende de: a) la condición de la superficie del suelo, representada por su porosidad; b) el contenido de humedad del suelo al momento de ocurrir la lluvia; y c) la permeabilidad del perfil del suelo. B. 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.

La consecuencia de la erosión, no es solamente el arrastre de cierta cantidad de suelo; ella ejerce también una acción selectiva sobre los elementos constitutivos del suelo. Esto es lo que se le llama "erosión de la fertilidad", la cual se manifiesta en una modificación de las propiedades físicas y químicas del suelo (Suárez, 28).

Es más fácil visualizar los daños que la erosión ocasiona a los terrenos teniendo información no solo sobre las toneladas de suelo perdido sino también sobre los kilogramos de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio extraídos por la escorrentía (Suárez, 28).

3.1.2 ETAPAS DEL PROCESO DE EROSIÓN HIDRICA.

Ríos (24) indica que en toda la superficie terrestre, exceptuando los desiertos y las regiones polares cubiertas por los hielos, el suelo está sujeto a la erosión por efecto del agua cuando no tiene una cubierta vegetal que la proteja durante las lluvias, las cuales cuando son muy intensas y caen sobre terrenos en declive dedicados a cultivos limpios, o sobre lugares desnudos de las praderas de las montañas, gran cantidad de tierra valiosa puede perderse en poco tiempo por causa de la erosión.

La erosión hídrica es el 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 (Revolorio, 23).

El proceso de erosión hídrica, según Ríos (24), se realiza en tres etapas consecutivas, las cuales son: desprendimiento, arrastre y deposición.

3.1.2.1. DESPRENDIMIENTO.

Es la etapa donde se realiza el desprendimiento del suelo por acción del impacto de las gotas de lluvia en su superficie. Esta etapa tiene especial importancia en el estado en que se encuentre la cubierta vegetal. Suelos sin cubierta vegetal están sujetos a mayor desprendimiento que aquellos que se encuentran cubiertos por vegetación en su superficie. La textura es otro factor importante a considerar, ya que suelos arenosos están sujetos a mayor desprendimiento que los arcillosos (Ortiz, 17).

3.1.2.2. ARRASTRE O TRANSPORTE.

Este 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 (Suárez, 28).

Los volúmenes de escurrimiento superficial dependerán 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 (Suárez, 28).

La pendiente influye en esta etapa del proceso, ya que determina la velocidad con que el agua escurre a través de la superficie del terreno (Suárez, 28).

Revolorio (23) indica relaciones teóricas entre la velocidad del agua y su poder erosivo, las cuáles 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.

3.1.2.3. DEPOSICION.

Sánchez (26) indica que este proceso 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.

Como ejemplo de deposición, López (14), reporta que para la microcuenca del río Pensativo se depositan en el cauce principal aproximadamente 40,000 metros cúbicos de sedimentos anualmente.

El proceso de desprendimiento y arrastre de las partículas de suelo, involucra pérdidas de nutrientes, cambio en propiedades físicas del suelo, disminución de la capacidad de infiltración y retención de humedad, además de asolvamiento de las partes bajas y áreas de almacenamiento de aguas (Romo, 25).

3.1.3. MEDICION DE LA ESCORRENTIA Y LA EROSION.

La aplicación del método de parcelas de escurrimiento para la cuantificación de la erosión del suelo, y del volumen de escurrimiento, se considera un método práctico y de fácil implementación, bajo diferentes condiciones en que se encuentre la superficie del suelo (Sánchez, 26).

Ortiz (17) indica que las parcelas experimentales están constituidas básicamente de dos partes: el área experimental y los dispositivos receptores del agua y del suelo que provienen del área experimental por efecto del escurrimiento originado por la lluvia.

3.1.3.1. EL AREA 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 (máximo de 221.0 m²), a fin de recoger un volumen de agua y tierra fácilmente medible (Ortiz, 17).

3.1.3.2. EL SISTEMA RECEPTOR.

Sus partes, según Ortiz (17) son:

- A. Canal colector: Situado en la parte inferior del área experimental, constituye el límite inferior de ésta. Su función es coleccionar el agua y la tierra arrastrada durante el proceso de escurrimiento y erosión.
- B. Canal evacuador: Conduce el agua y los sedimentos del canal colector hacia el tanque receptor.
- C. Tanques receptores: Depósitos donde se acumulan el agua escurrida y los elementos sólidos arrastrados.

3.1.4. DESCRIPCION DEL MODELO USLE.

Según Arana (1), López (13), Paez (19) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (31), 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 (Arana, 1):

$A = R \times K \times LS \times C \times P$, 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 hectárea por año (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 grado de pendiente.
- C: Factor de cobertura vegetal.
- P: Factor de prácticas de conservación de suelos.

3.1.4.1. 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 escorrentia como para ser asociada con la lluvia (Arana, 1).

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 (Paez, 19).

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 (Wischmeier, 33).

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-metros/hectárea e EI en cm/hora (Arana, 1).

Las gotas de agua aumentan la erosión con la intensidad. El término EI, es una interacción estadística que refleja cómo la energía total y el pico de intensidad son combinados en cada tormenta particular. La energía de una tormenta es función de la cantidad de lluvia y de todas las intensidades que compongan dicha tormenta. El tamaño promedio de las gotas de lluvia se incrementa con la intensidad y, la velocidad final de las gotas de una lluvia aumenta con el tamaño de las gotas. Dado que la energía de una masa dada en movimiento es proporcional al cuadrado de la velocidad, la energía de la lluvia tiene relación directa con la intensidad de la lluvia (Arana, 1).

La relación es la siguiente:

$$E = 0.119 + 0.0873 \log I \quad \text{Donde:}$$

E: Energía cinética en metros/ton/hectárea/mm

I: Intensidad en mm/hr. En el límite de 76 mm/hr, se considera que el tamaño promedio de las gotas de agua ya no aumenta cuando la intensidad excede a 76 mm/hr.

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

im: Intensidad máxima en mm/hr.

Para el cálculo del factor R se sigue el siguiente procedimiento planteado por la Universidad Nacional Agraria La Molina (31):

De un pluviograma, se registran las alturas de agua caídas (mm) y tiempos en que la curva cambia de pendiente (minutos), por diferencia se calculan los intervalos de tiempo y alturas, la intensidad correspondiente y la energía por incremento de lluvia. La suma de los incrementos de energía en toda la lluvia constituye el valor de E. Luego se determina

el valor de I_{30} buscando la mayor altura caída en un período continuo de treinta minutos, el producto de E por $I_{30}/100$, constituye el valor EI o índice de erosión de la lluvia. La suma de los valores de EI para todas las lluvias en el año es el factor R.

3.1.4.2. ERODABILIDAD DEL SUELO (FACTOR K):

El significado del término "erodabilidad del suelo"; según Arana (1), 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.

El factor de 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 metros de largo y 9 por ciento de pendiente), y para determinar su valor, es necesario contar con información de las características físicas del suelo; tal como textura, estructura, permeabilidad, contenido de materia orgánica. Con esta información se determina el valor de este factor utilizando el nomograma de Wischmeier (33).

3.1.4.3. FACTOR TOPOGRAFICO (FACTOR LS):

La ecuación de McCool (16), para el factor LS es:

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

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

Donde:

X: Longitud de la pendiente del campo en metros.

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

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

y μ es el ángulo de la pendiente en grados.

La longitud de la pendiente se define, según Wischmeier (33), como la distancia entre el punto de origen del flujo del agua de escorrentía y cualquiera de los siguientes, según el que sea limitante para el área que se considere:

- el punto donde la pendiente decrece hasta el punto donde comienza a haber deposición.
- el punto donde la escorrentía entra a un canal bien definido que puede ser parte de un sistema de drenaje natural o un canal construido tal como una terraza o un canal de desviación.

3.1.4.4. FACTOR DE MANEJO DE COBERTURA VEGETAL (FACTOR C):

El factor de manejo 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, 1).

La Universidad Nacional Agraria La Molina (31), indica que las pérdidas que pueden ocurrir en un campo particular, en el cual no hay cobertura, puede calcularse mediante el producto de los factores RKLSP de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo.

Arana (1) dice que 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.

3.1.4.5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS (FACTOR P):

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, 1).

3.1.5. METODOLOGÍA LEAM PARA EVALUAR LA EROSIÓN DEL SUELO

(Land Erodibility Assessment Methodology, LEAM).

Esta metodología necesita primeramente extractos de información sobre taxonomía de suelos. Esta información es usada para definir las categorías de riesgo de erosión dentro de términos cuantitativos y operacionales (Manrique, 15).

La USLE, según Armstrong *et al.*, citado por Manrique (15), presenta una desventaja en la dificultad de obtener algunos de los datos que necesita, especialmente en áreas con insuficientes datos, por ejemplo, el factor de erosividad de la lluvia (factor R), es probablemente uno de los parámetros que más cuesta obtener.

3.1.5.1. METODOLOGÍA:

La erodabilidad del suelo esta definida por tres características principales. A. pendiente, B. el riesgo de erosividad de la lluvia y C. la erodabilidad del suelo. Cada una de estas es subdividida en otras características (Manrique, 15).

A. Factor Topográfico o de Pendiente:

El factor de topográfico o de pendiente, en el sistema LEAM, utiliza la fórmula de McCool (16), que es la misma que utiliza el sistema USLE (Manrique, 15).

Tomando en cuenta los valores de LS, se encuentra la clasificación de subclase de pendiente, que se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Subclase de pendiente de terreno, según metodología LEAM.

CLASE DE PENDIENTE	FACTOR TOPOGRAFICO (LS)	PORCENTAJE DE PENDIENTE
S ₁ Baja	0 - 2	0 - 10
S ₂ Moderada	2 - 4	10 - 20
S ₃ Alta	4 - 6	20 - 30
S ₄ Muy alta	mayor que 6	mayor que 30

Fuente: Manrique (15).

B. Riesgo de Erosividad de las Lluvias:

El valor de erosividad de las lluvias, está basado en el Índice Modificado de Fournier (FI); el cual se define así:

$$FI = \text{Sumatoria } (MR)^2 / AR$$

Donde: MR y AR, son los milímetros de lluvia mensual y anual respectivamente. Este valor de FI, guarda una estrecha relación con el factor R utilizado en la USLE ($r^2 = 0.83$ y 0.72 respectivamente (Manrique, 15).

Con el valor de FI, se puede ingresar al cuadro 2 para determinar la subclase de riesgo de erosividad de las lluvias.

Cuadro 2. Subclase de erosividad de las lluvias, según metodología LEAM.

CLASE DE EROSIVIDAD.	RIESGO DE EROSIVIDAD	VALOR DE FI
RR1	Muy poca	menor que 50
RR2	Poca	50 - 100
RR3	Moderada	100 - 200
RR4	Alta	200 - 300
RR5	Muy alta	mayor que 300

Fuente: Manrique (15).

C. Erodabilidad del Suelo:

Este factor puede ser determinado por características físicas del suelo. El nomograma de Wischmeier et al (33) ha sido usado en estos estudios para calcular el valor del factor K. Las clasificaciones en el sistema LEAM, basados en los valores de Factor K obtenidos en las diferentes unidades de suelos se muestran en el cuadro 3.

FI: Índice modificado de Fournier.

Cuadro 3. Subclase de erodabilidad del suelo, según metodología LEAM.

CLASE DE ERODABILIDAD	RIESGO DE ERODABILIDAD	RANGO DE K
K1	Muy bajo	0.001 - 0.010
K1	Bajo	0.010 - 0.020
K3	Moderado	0.020 - 0.030
K4	Moderadamente alto	0.030 - 0.040
K5	Alto	0.040 - 0.050
K6	Muy alto	mayor de 0.050

Fuente: Manrique (15).

3.1.5.2. FORMA DE ESTABLECER EL METODO.

El método LEAM es simple, y está arreglado en 2 categorías: clase y subclase. La clase, indica que grado de riesgo potencial de erosión, y la subclase, indica las limitaciones de cada clase (Manrique, 15).

En total hay 5 clases de erodabilidad, y gran número de subclases; dentro de la clase E₁ se encuentran 9 subclases, las clases 2, 3, 4 y 5, tienen 24, 30, 30, y 18 subclases respectivamente; estas se pueden observar en el cuadro 4 (Manrique, 15).

Cuadro 4. Clase y subclase de erosión, según metodología LEAM.

CLASE DE ERODABILIDAD	SUBCLASES
E1	S1RR1K1 S1RR1K2 S1RR1K3 S1RR2K1 S1RR2K2 S1RR2K3 S1RR3K1 S1RR3K2 S1RR3K3
E2	S1RR4K1 S1RR4K2 S1RR4K3 S2RR5K1 S2RR5K2 S2RR5K3 S1RR1K4 S1RR1K5 S1RR1K6 S1RR2K4 S1RR2K5 S1RR2K6 S1RR3K4 S1RR3K5 S1RR3K6 S2RR1K1 S1RR3K5 S2RR1K3 S2RR2K1 S2RR2K2 S2RR2K3 S2RR3K1 S2RR3K2 S2RR3K3
E3	S1RR4K4 S1RR4K5 S1RR4K6 S1RR5K4 S1RR5K5 S1RR5K6 S2RR4K1 S2RR4K2 S2RR4K3 S2RR5K1 S2RR5K2 S2RR5K3 S2RR1K4 S2RR1K5 S2RR2K4 S2RR2K5 S2RR2K6 S2RR3K4 S2RR3K5 S2RR3K6 S3RR1K1 S3RR1K2 S3RR1K3 S3RR2K1 S3RR2K2 S3RR2K3 S3RR3K1 S3RR3K2 S3RR3K3
E4	S2RR4K4 S2RR4K5 S2RR4K6 S2RR5K4 S2RR5K5 S2RR5K6 S3RR4K1 S3RR4K2 S3RR4K3 S3RR5K1 S3RR5K2 S3RR5K3 S3RR1K4 S3RR1K5 S3RR1K6 S3RR2K4 S3RR2K5 S3RR2K6 S3RR3K4 S3RR3K5 S3RR3K6 S4RR1K1 S4RR1K2 S4RR1K3 S4RR2K1 S4RR2K2 S4RR2K3 S4RR3K1 S4RR3K2 S4RR3K3
E5	S3RR4K4 S3RR4K5 S3RR4K6 S3RR5K4 S3RR5K5 S3RR5K6 S4RR4K1 S4RR4K2 S4RR4K3 S4RR4K4 S4RR4K5 S4RR4K6 S4RR5K1 S4RR5K2 S4RR5K3 S4RR5K4 S4RR5K5 S4RR5K6

Fuente: Manrique (15).

El Sistema LEAM, ha sido utilizado en suelos de Hawai con diferentes clases de erodabilidad, con precipitaciones pluviales menores a 1000 mm por año, así como en Mali en el este de Africa (Manrique, 15).

La evaluación de pérdida de suelo usando LEAM, correspondió en forma cercana a los valores obtenidos por medio de USLE, indicando así, que LEAM obtiene datos confiables de riesgo de erosión en términos cuantitativos y operacionales (Manrique, 15).

El método LEAM, es utilizado para realizar estimaciones de riesgo potencial de erosión combinando la taxonomía de suelos. La evaluación de riesgo potencial de erosión, da mayores características de la tierra cuando se obtienen de un estudio de suelos. Los datos obtenidos por medio de LEAM, proveen información básica para varios tipos de suelo y proporciona un riesgo de erosión específico para cada uno, así como las limitaciones asociadas con cada uno. (Manrique, 15).

3.1.6. CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA POR LA METODOLOGÍA DEL CENTRO CIENTIFICO TROPICAL DE COSTA RICA (CCT).

3.1.6.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CLASIFICACION.

La determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica esta basada en la metodología desarrollada por el Centro Científico Tropical de Costa Rica -CCT-, esta orientada para brindar al usuario un instrumento para el ordenamiento de la tierra en los campos agropecuarios y forestal basado en el principio de rendimiento sostenido (Centro Científico Tropical, 3).

Se divide la tierra en diez clases de capacidad de uso de la tierra (I a X). Los mayores números se refieren a clases con mayores limitantes para uso agrícola y además de las diferentes clases contempla los siguientes criterios de estratificación o agrupamiento: Sistema de manejo tecnológico, parámetros de evaluación y factores limitantes (Centro Científico Tropical, 3).

La metodología se diseñó para aplicarse a escalas grandes (nivel de finca), en donde las unidades mínimas podrían ser de 0.25 ha o aún menos. La escala de trabajo recomendada es 1:50,000 (Centro Científico Tropical, 3).

3.1.6.2. PARAMETROS DE EVALUACION.

La metodología del Centro Científico Tropical (3), reconoce los siguientes grupos generales de parámetros.

- A. Parámetros climáticos: Zona de vida, meses secos, viento, neblina.
- B. Parámetros edáficos: Profundidad efectiva, textura, pH, pedregosidad.
- C. Parámetros topográficos: Pendiente, microrrelieve, erosión sufrida.
- D. Parámetros de drenaje: Drenaje, riesgo de inundación.

3.1.6.3. CLASES DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA.

Se define como un grupo de tierras que presenta condiciones similares en el grado relativo de las limitaciones para su uso potencial, así como en la probabilidad de sufrir daño cuando son usadas (Centro Científico Tropical, 3).

Estas clases de uso, según el Centro Científico Tropical (3), son totalmente independientes y propias a este sistema de clasificación, y no tienen relación con ningún otro sistema existente. Las clases de capacidad de uso son las siguientes:

- A. CLASE I: CULTIVOS ANUALES (MUY ALTO RENDIMIENTO).
- B. CLASE II: CULTIVOS ANUALES (ALTO RENDIMIENTO).
- C. CLASE III: CULTIVOS ANUALES (MODERADO RENDIMIENTO).
- D. CLASE IV: CULTIVOS PERMANENTES O SEMIPERMANENTES.
- E. CLASE V: PASTOREO INTENSIVO.
- F. CLASE VI: PASTOREO EXTENSIVO.
- G. CLASE VII: CULTIVOS ARBOREOS.
- H. CLASE VIII: PRODUCCION FORESTAL INTENSIVA.
- I. CLASE IX: PRODUCCION FORESTAL EXTENSIVA.
- J. CLASE X: PROTECCION.

3.1.6.4. SISTEMAS DE MANEJO TECNOLOGICO:

Es la aplicación de un conjunto de prácticas y conocimientos que actúan integralmente con base en lo cual los usuarios de las tierras llevan a cabo su producción agropecuaria y forestal (Centro Científico Tropical, 3).

Para las condiciones de Costa Rica, se distinguen tres niveles o categorías de manejo: Tradicional (T), Avanzado (A), y Mecanizado (M) (Centro Científico Tropical, 3).

3.1.7. ESQUEMA PARA LA PLANIFICACION CONSERVACIONISTA DE LAS TIERRAS.

Pérez *et al*, citado por López F. (13), presentan un procedimiento sistemático que establece el trazado de un curso de acción que permitiría al usuario la obtención del retorno máximo de la tierra en forma sostenida en el tiempo.

El esquema, arregla y coordina detalladamente la información técnica sobre la conservación del suelo y el uso de la tierra aplicable a cada área en particular, lo cual lo convierte en una buena base para el desarrollo de una agricultura conservacionista (López F., 13).

El esquema incluye un diagnóstico físico que comprende toda la información referente al clima y al suelo que sea pertinente, según los objetivos perseguidos. El clima determina la época de preparación de tierras, de crecimiento y maduración

del cultivo, y el tiempo de la cosecha y, a través de sus características físicas, químicas y biológicas manifestará en grado variable sus efectos sobre la producción de los cultivos. La información básica disponible juega un papel importante en este particular (López F., 13).

El núcleo central de esta guía técnica para la planificación conservacionista del uso de las tierras lo constituye la clasificación interpretativa por capacidad de uso de las mismas, que involucra la determinación de los potenciales de los suelos y sus limitaciones en cuanto a su uso y problemas de manejo, incluyendo en ello los tratamientos de conservación. (López F., 13).

La clasificación interpretativa se ve influenciada por el contexto socio-económico al cual debe dársele el peso o la importancia que merece dentro del proceso de planificación. Es decir, no debe reducirse a la consideración de factores puramente físicos y tratar de resolver los problemas mediante el solo uso de prácticas mecánicas o agronómicas sin tener en cuenta de que puede existir una situación de desajuste entre el medio y el hombre que llevan a este último a generar relaciones antagónicas que causan destrucción. Se trata entonces de poner tales conflictos en evidencia para lograr una relación más armónica entre el hombre y la naturaleza, proveedora de los recursos para una explotación agrícola sostenida. Se plantea la confrontación del uso actual y la capacidad de uso de las tierras para establecer los posibles conflictos. Toda esta información se presenta en mapas donde se describe de manera detallada, de acuerdo al nivel de planificación, las diferentes prácticas de conservación de suelos y aguas. (López F., 13).

3.1.8. PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS:

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos de Norte América (6); indica que el objetivo principal de la conservación del suelo es contrarrestar la erosión y fomentar el mejor uso de las tierras agrícolas y ganaderas en la mayor extensión posible.

La erosión sólo puede combatirse adecuadamente si cada hectárea de suelo de una cuenca se trata de acuerdo con sus necesidades y sus propias adaptaciones (Delgado, 5).

La utilización de cada unidad de terreno según su capacidad de uso, constituye la premisa básica para la implementación exitosa de cualquier programa de conservación de suelos (Delgado, 5).

Según Delgado (5); la implementación de cualquier práctica de conservación de suelos debe realizarse una vez que se ha determinado la capacidad del uso de cada terreno y se ha elegido la utilización mas conveniente del mismo.

Se pueden considerar dos tipos de medidas para la conservación de suelos; ellas son:

- Medidas para tratamiento de tierras: Son relativamente pequeñas, instaladas para el control de la erosión e incrementar la infiltración de agua en el suelo. El beneficio se da en los campos donde son construidos (Rázuri, 22).
- Medidas para protección de cuencas: Son aquellas obras dirigidas principalmente al manejo de la escorrentía, luego que ha dejado los terrenos y ha alcanzado los arroyos y quebradas. Se utilizan para corregir un problema específico de control de escorrentía en un lugar específico dentro de la cuenca. El beneficio principal está fuera de la zona donde son construidas (Rázuri, 22).

Para López F. (12) el manejo conservacionista de los suelos puede clasificarse en dos grupos de técnicas: las biológicas y las mecánicas.

3.1.8.1. TECNICAS BIOLOGICAS.

Suárez (28) indica que 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.

En la conservación de suelos, normalmente se prefieren estas prácticas, debido a la facilidad de ejecución y a su bajo costo. (Delgado, 5).

Delgado (5) y Suárez (28); coinciden en que entre las prácticas más comunes están: distribución de cultivos, la labranza conservacionista, incorporación de materia orgánica, rotación de cultivos, siembras en contorno, siembra en fajas, abonos verdes y plantas de cobertura y barreras vivas.

A. Distribución de los cultivos:

La distribución de los cultivos, constituye la base de todo programa de conservación y los mismos deben establecerse de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra; según la clasificación agrológica de la misma. (Suárez, 28)

B. La labranza conservacionista:

Es todo sistema de labranza que incluya prácticas que ayuden a conservar las características deseables del suelo y la conservación del agua; existen varios tipos, entre ellas (Delgado, 5):

- a. Delgado (5), indica que la labranza reducida o mínima es aquella en la que las labores con maquinaria agrícola, se reducen al mínimo, sin afectar la germinación y producción del cultivo, entre sus modalidades están:
 - Laboreo del mantillo, se usa un azadón rotativo, con lo que se prepara el suelo superficial, sin producir roturación, la siembra se realiza con sembradora común, a poca profundidad.

Labranza y cultivo en hilo; es la no labranza, solo abrir unas franjas angostas suficientes para plantar las semillas el fertilizante se coloca en bandas en la misma operación.

- b. Preparación de tierras y siembra simultánea, consistente en preparar el suelo en un solo paso de tractor (Delgado, 5).
- c. Labranza posterior a cosecha; en regiones donde el suelo se mantiene húmedo en época seca, Delgado (5) indica que conviene realizar las labores después de la cosecha, ahorrando así el paso de maquinaria en el inicio de las lluvias.

C. Siembra en contorno:

Suárez (28) la describe como la forma de disponer las hileras de siembra y verificar las labores de cultivos en forma transversal a la pendiente siguiendo la curva de nivel.

López (12); indica que el establecimiento de los surcos perpendiculares a la pendiente, y por ende al escurrimiento, ocasiona una fuerte disminución del proceso erosivo, por la fragmentación que causan los surcos al actuar como microdiques.

D. Cultivos en fajas:

Esta práctica consiste en establecer bandas cultivadas de anchura variable sobre terrenos que ofrecen poca protección al suelo con otras de crecimiento denso. (López, 12).

E. Incorporación de materia orgánica:

Delgado (5); dice que puede ser residuos de cosecha, estiércol de varias fuentes, y residuos del procesamiento industrial de productos agrícolas.

- a. Residuos de cosecha: Larson, Halt y Carlson, citados por Delgado (5), demostraron los efectos benéficos de los restos de cosecha para mejorar la tasa de infiltración, aumentar la retención de humedad, el movimiento y difusión de calor y aire, estimular la agregación del suelo y prevenir contra la erosión. Se recomienda que la cobertura superficial de los restos de cosecha sea del 70 al 75 por ciento de la superficie.

Lal, citado por Delgado (5), indica que, en ensayos realizados en países tropicales ha determinado que una incorporación de restos de cosecha de 4-6 ton/ha, ha favorecido las propiedades químicas y físicas del suelo y ha aumentado sensiblemente los rendimientos.

F. Barreras vivas:

Son hileras de plantas perennes o semi-perennes de crecimiento rápido y denso, que se cultivan transversalmente a la pendiente del terreno, con determinado distanciamiento horizontal, el cual depende de la pendiente del terreno, y que casi siempre siguen las curvas de nivel. (López, 12; Suárez, 28).

Es deseable que las especies utilizadas para barrera viva posean características tales como ser de crecimiento rápido, enraizamiento profundo, reacción favorable al enterrado de su base, reproducción asexual, buen amacollamiento y que sean perennes o de vida larga. (López, 12).

G. 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. (Delgado, 5; Suárez, 28).

H. Plantas de cobertura y abonos verdes:

Las plantas de cobertura se utilizan; según López (12) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (31), 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 fisico-químicas del suelo, lo cual influye en una reducción en la escorrentía y por ende en la pérdida del suelo por la erosión.

3.1.8.2. TECNICAS MECANICAS

Rázuri (22) indica que son las obras realizadas por el hombre para estabilizar el suelo contra la acción de los flujos de agua, tratando de mantener una velocidad del agua que no sea erosiva o disipar la energía producida por su caída, aparte de otras funciones específicas como la de almacenar agua o retener los sedimentos.

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. (López, 12).

Las principales prácticas mecánicas son: a. los canales de desviación, b. las terrazas, c. las acequias de ladera y d. las represas. (Suárez, 28).

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, 28).

Rázuri (22), indica que los canales de desviación pueden construirse para proteger las zonas agrícolas de la cuenca susceptible de daño por escurrimiento o para proteger zonas altamente erosionables. Se recomienda usarlos en zonas de alta precipitación para evitar la concentración y la alta velocidad del agua superficial, más aún, si la pendiente del terreno es alta

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. (López, 12).

La desventaja, según Rázuri (22); es que necesitan para su construcción bastante mano de obra, a no ser que las condiciones permitan el uso de maquinaria pesada.

C. Acequias de ladera:

Suárez (28); los define como 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.

Los objetivos de las acequias, son lograr la estabilización del suelo y almacenar temporalmente la escorrentía superficial; aunque la primera, debe ser la justificación principal. (Rázuri, 22).

Las acequias de ladera no modifican la pendiente del terreno, pero si la longitud efectiva de la pendiente, al seccionar el espacio de escurrimiento total en varias porciones. (Rázuri, 22).

Según Chan (4), el asocio de acequia de ladera con barrera viva de zacatón (Panicum maximum L.), ejercen un buen control de la erosión del suelo.

3.2. MARCO REFERENCIAL.

3.2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA

3.2.1.1. UBICACION:

La microcuenca del río Itzapa se encuentra ubicada en la cabecera noroeste de la cuenca del Río Achiguate, la cual se localiza en el municipio de San Andrés Itzapa en el departamento de Chimaltenango (figura 1). Colinda con la cabecera departamental de Chimaltenango al norte, con el municipio de Parramos al este, con el cerro las Minas, la montaña El Socó y con el municipio de Zaragoza al oeste, y al sur con el cerro El Chino, finca Santa Rosa y el caserío El Ciprés. Se encuentra

en el rango de las coordenadas geográficas siguientes: 90° 54' 14.7" a 90° 49' 21" de Longitud Oeste y 14° 34' 37" a 14° 38' 56" de Latitud Norte (29).

La microcuenca comprende 2,610.50 hectáreas o sea 26.11 kilómetros cuadrados, constituyendo aproximadamente el 1.8% de la extensión total de la cuenca del río Achiguate, y está comprendida 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 (figura 2) (29).

3.2.1.2. CLIMA Y ZONA DE VIDA:

Según la clasificación de Thornthwite el clima de la microcuenca es B2'b'Bi, o sea: templado en cuanto a las jerarquías de la temperatura (B2') y con invierno benigno en cuanto a la variación de la temperatura (b'). En cuanto a las jerarquías de humedad es húmedo (B) y según el tipo de distribución de la lluvia es con invierno seco (i). (29).

De acuerdo con el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, en la microcuenca se encuentran las zonas de vida denominadas: Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MBs) que abarca principalmente las partes media y baja de la microcuenca y Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MBs) en la parte alta de la misma (29).

Las especies indicadoras que se pueden encontrar en la microcuenca son: para el Bosque Húmedo Montano Bajo, Pinus montezumae Lambert y Quercus sp. L.; para Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical, Alnus arguta (Schlecht), Chiranthodendron pentadactylon Larreategui, Urtica sp. (L) y Oreopanax xalapensis HBK (29).

La primera zona de vida (bosque húmedo montano bajo subtropical) presenta condiciones climáticas caracterizadas por un patrón de lluvias que varía entre 1,057 mm y 1,288 mm con un promedio de 1,116 mm de precipitación anual, con biotemperaturas de 5 a 23 grados centígrados. La evapotranspiración potencial estimada es de 55 mm. La segunda presenta un patrón de lluvias con una precipitación pluvial anual que va de 1065 a 1,900 mm, con un promedio de 1,730 mm; con biotemperaturas de 2.5 a 18.6 grados centígrados, y la evapotranspiración potencial estimada es de 35 mm (29).

En cuanto a su elevación sobre el nivel del mar, esta última (bosque muy húmedo montano bajo subtropical) va de 1,800 a 2,688 msnm, en tanto que la primera varía entre 800 y 1,800 msnm (29).

La precipitación pluvial en la microcuenca va desde 1,057 hasta 1,900 metros cúbicos, los cuales se distribuyen durante los meses de mayo a octubre. La temperatura anual mínima es de 2 grados centígrados y la máxima es de 23.1; la humedad relativa es de 70 a 75%, la velocidad media del viento es de 3 kilómetros por hora con dirección Oeste (7).

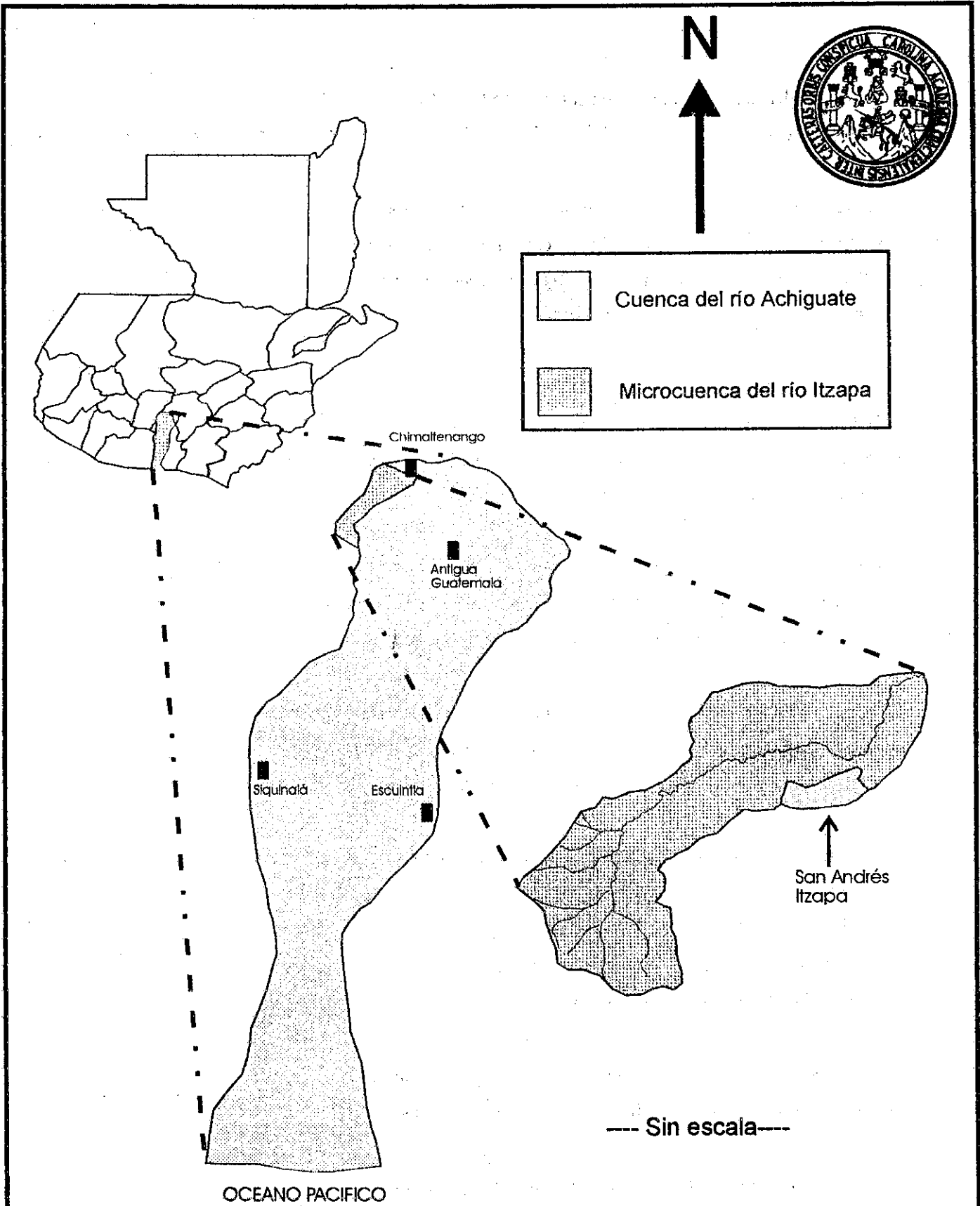


Figura 1. Localización del área de estudio a nivel nacional y dentro de la cuenca del río Achiguate.

Fuente: USAC-FAUSAC-IIA-DIGI (30).

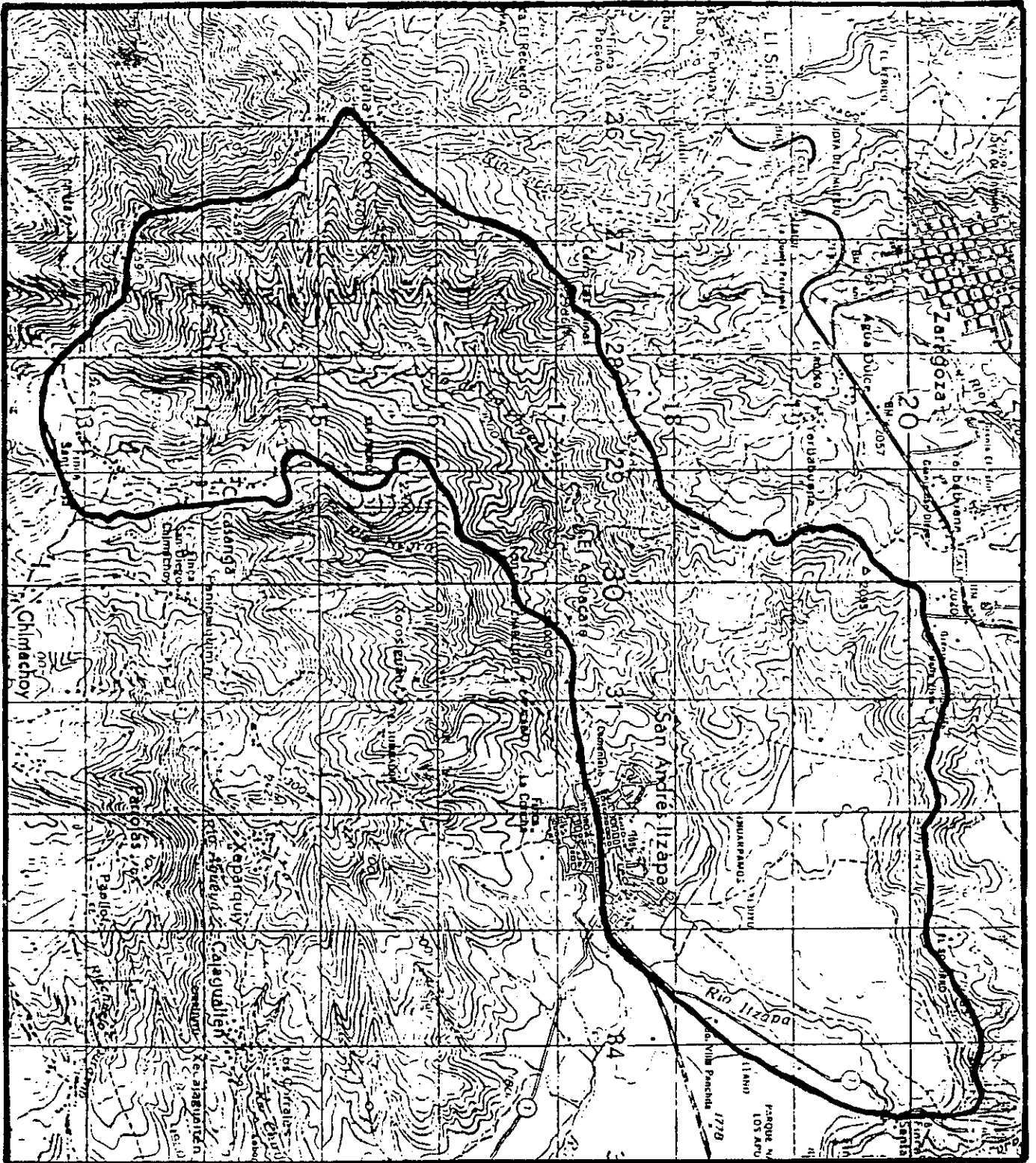


Figura 2. Mapa de la microcuena del rio Itzapa.
Fuente: Hoja cartográfica Chimaltenango (10).

3.2.1.3. 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 2,668 en la parte más alta (29).

Fisiográficamente la microcuenca está comprendida en la región de las Tierras Altas Volcánicas (29).

3.2.1.4. GEOLOGIA:

La microcuenca del río Itzapa se caracteriza por materiales geológicos constituidos principalmente por rocas volcánicas sin dividir, predominantemente del Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos del período terciario y material ígneo y metamórfico del período cuaternario (11).

3.2.1.5. SUELOS:

En cuanto a clasificación taxonómica de suelos, el 67.54% de los suelos de la microcuenca pertenecen al orden de los Andisoles y 10.29% constituyen una asociación entre Andisoles e Inceptisoles (figura 3) (30).

3.2.1.6. HIDROLOGIA:

La principal corriente de la microcuenca 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 (29).

La curva de duración de caudales elaborada, muestra que el caudal característico medio es de $0.127 \text{ m}^3/\text{seg}$; el caudal característico máximo es de $0.370 \text{ m}^3/\text{seg}$ y el caudal característico de estiaje es de $0.091 \text{ m}^3/\text{seg}$ (29).

Al realizar polígonos de Thiesen, la microcuenca queda dividida en dos áreas de influencia de estaciones meteorológicas, que son la estación La alameda y la estación Chicazanga (figura 4) (30).

3.2.1.7. PENDIENTE DE TERRENOS.

El mapa de pendientes de terreno por el método del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA), presenta cinco clases de pendientes, las cuales se presentan en la figura 5. (30)

3.2.1.8. USO DE LA TIERRA:

Se determinó para la microcuenca del río Itzapa los usos de la tierra en el año 1,992, realizado por Esquit (7) y actualizado por Véliz (32) en 1,996: 17.93% (4.7 km^2) bosque de coníferas abierto; 22.9% (6.01 km^2) horticultura, cultivos

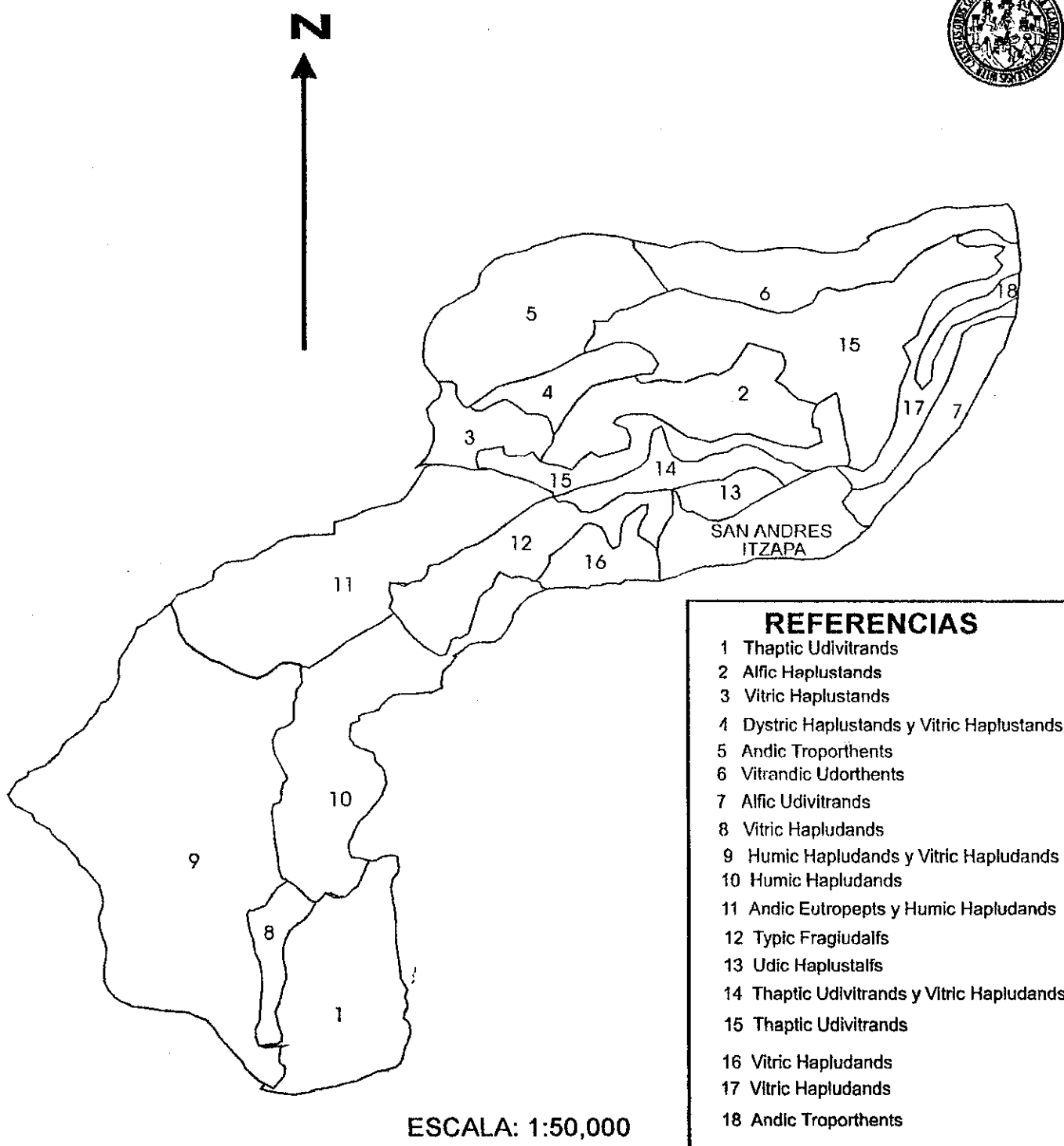
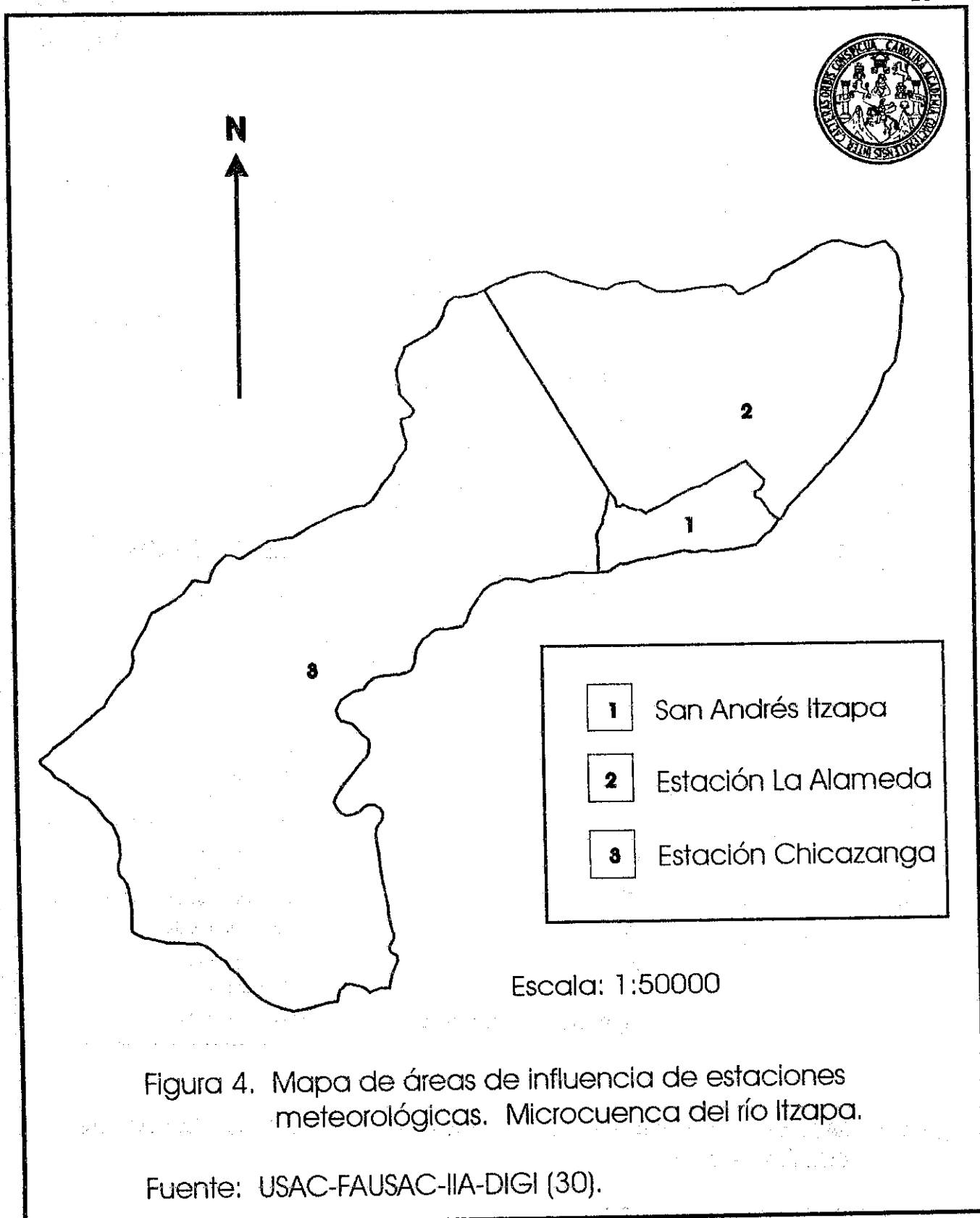
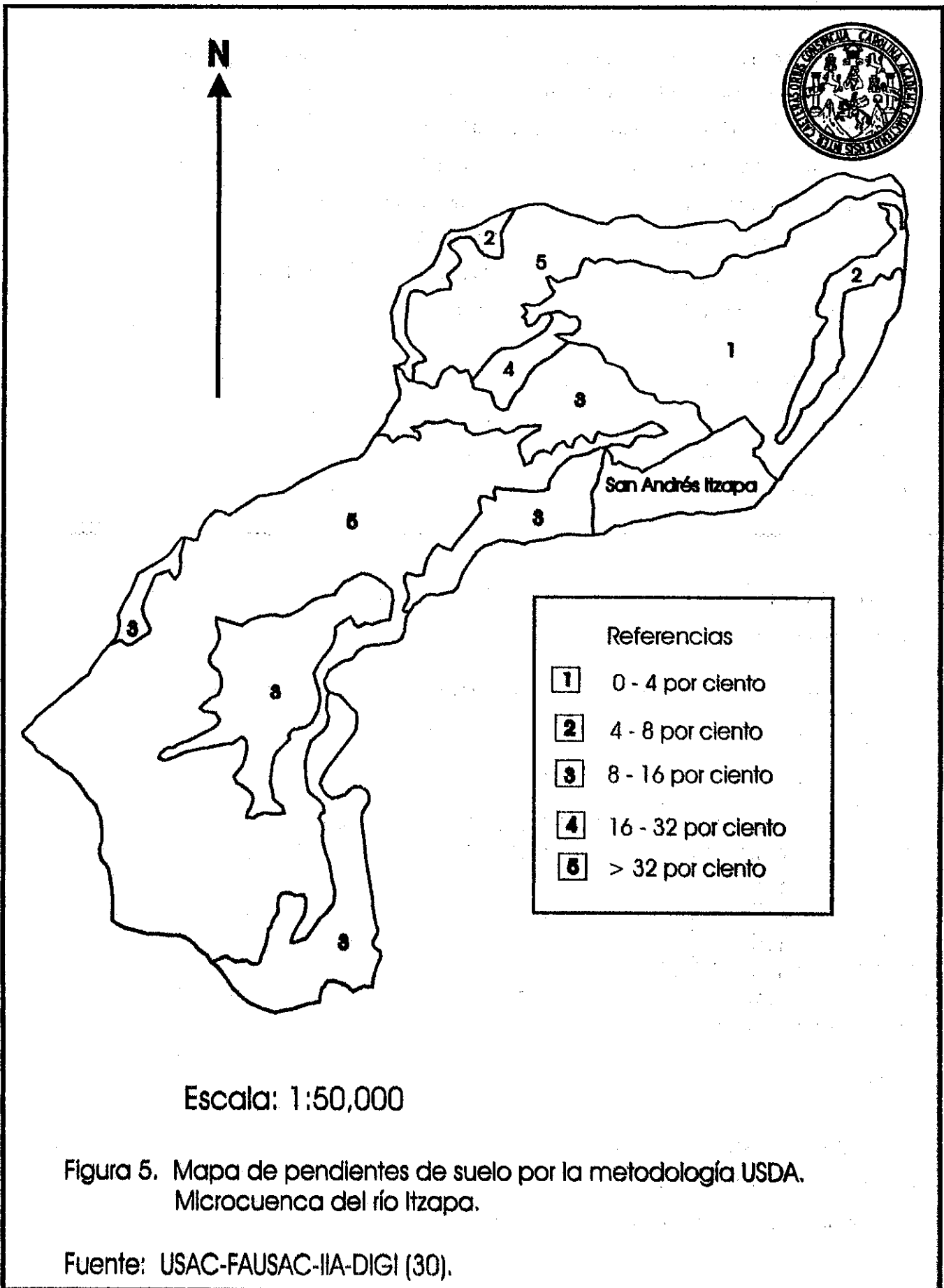


Figura 3. Mapa de Clasificación Taxonómica de Suelos. Microcuenca del río Itzapa.

Fuente: USAC-FAUSAC-IIA-DIGI (30).





anuales y praderas; 2.4% (0.63 km²) bosque de coníferas denso; 0.93% (0.25 km²) bosque latifoliar abierto; 2.32% (0.61 km²) cultivo permanente de café; 0.57% (0.15 km²) horticultura, cultivos anuales y centros urbanos; 4.31% (1.13 km²) centro poblado urbano; 0.27% (0.07 km²) bosque abierto de coníferas y café; 3.39% (0.89 km²) cultivos anuales y horticultura; 0.19% (0.05 km²) bosque latifoliar bajo; 15.77% (4.14 km²) bosque latifoliar denso; 0.80% (0.21 km²) cultivos anuales y permanentes; 11.58% (3.04 km²) bosque mixto bajo; 0.80% (0.21 km²) cultivos anuales; 1.90% (0.50 km²) cultivos anuales y bosque de coníferas; 1.48% (0.39 km²) bosque mixto abierto; 3.92% (1.03 km²) bosque latifoliar disperso; 3.39% (0.89 km²) horticultura, cultivos anuales y centro poblado rural; 2.63% (0.69 km²) praderas no mejoradas y cultivos anuales y 2.51% (0.66 km²) bosque latifoliar disperso, horticultura y cultivos anuales (figura 6).

3.2.1.8. CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA:

El mapa de capacidad de uso de la tierra, fue elaborado con la metodología del Centro Científico Tropical (CCT) de Costa Rica; realizado por Véliz (32) en el estudio que realizó sobre la comparación de metodologías de capacidad de uso de la tierra en donde recomienda la utilización de esta metodología ya que es la que más se adecua a las condiciones del área de estudio.

En el cuadro 5 y en la figura 7; se presentan las clases de capacidad de uso de la tierra con el área que representan y el porcentaje de cada uno de estos.

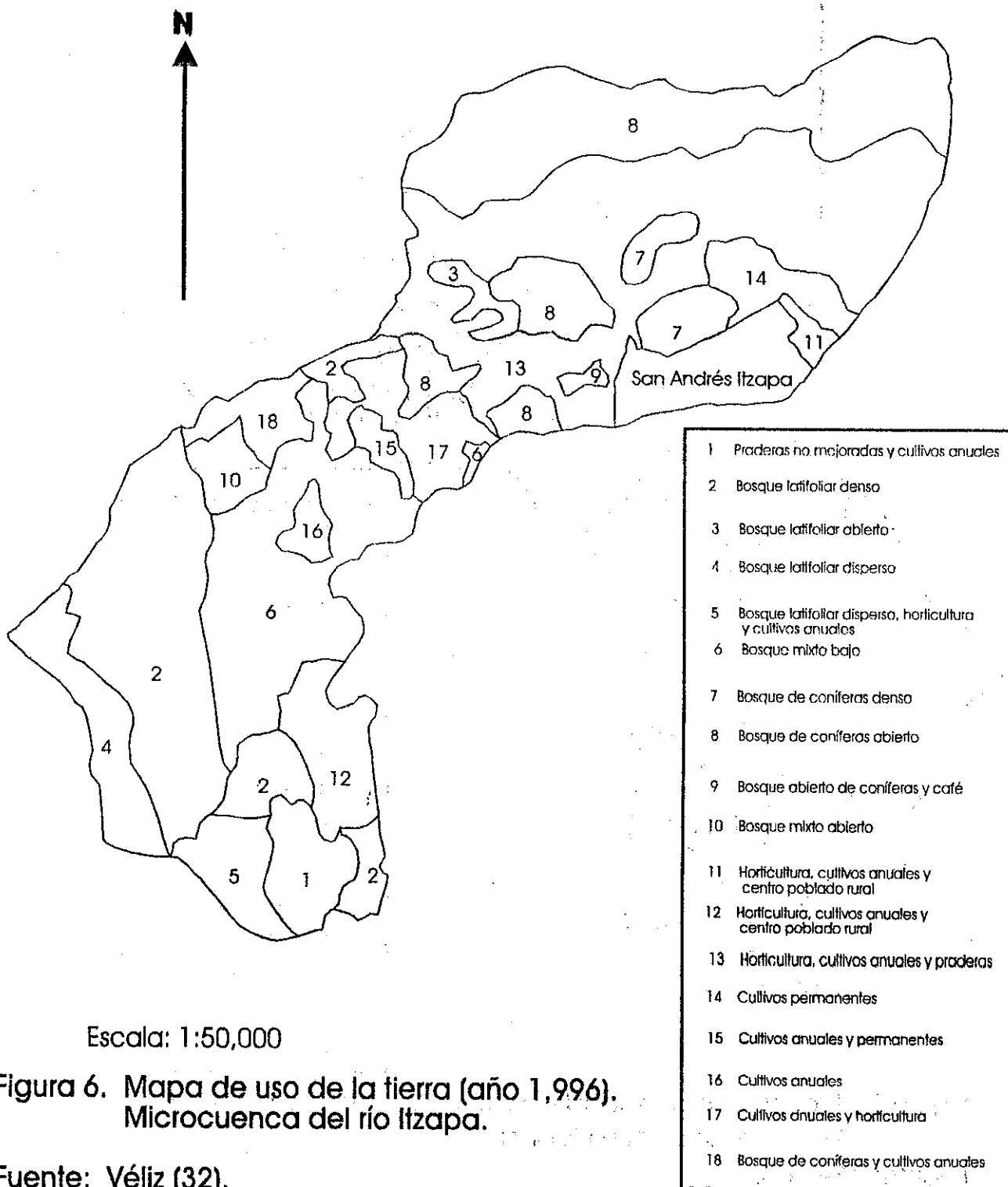
Cuadro 5. Superficie que ocupan las clases de capacidad de uso de la tierra en la microcuenca del río Itzapa, metodología CCT.

Clase de Capacidad	Superficie		Clase de Capacidad	Superficie	
	Km ²	Porcentaje		Km ²	Porcentaje
San Andrés Itzapa	1.365	5.13	III _{s2e3}	1.353	5.09
II	0.679	2.56	IV _{e3}	0.508	1.91
II _{s1}	1.288	4.85	IV _{e3}	0.284	1.07
II _{s3}	2.974	11.19	IV _{s1e}	0.455	1.71
II _{s3e4}	0.174	0.66	VII _{s1}	11.094	41.73
III	0.286	1.08	VII _{e3}	1.937	7.29
III _{s1e2}	0.506	1.90	IX	2.683	10.08
III _{s1e3}	0.536	2.02	X	0.459	1.73

Fuente: Véliz (32).

3.2.1.9. INTENSIDAD DE USO DE LA TIERRA.

El mapa de intensidad de uso de la tierra para el año 1,996, por metodología CCT, fue elaborado por Véliz (32), agrupando las diferentes superficies obtenidas en cuatro clases. Estas clases se pueden observar en la figura 8 así como en el cuadro 6.



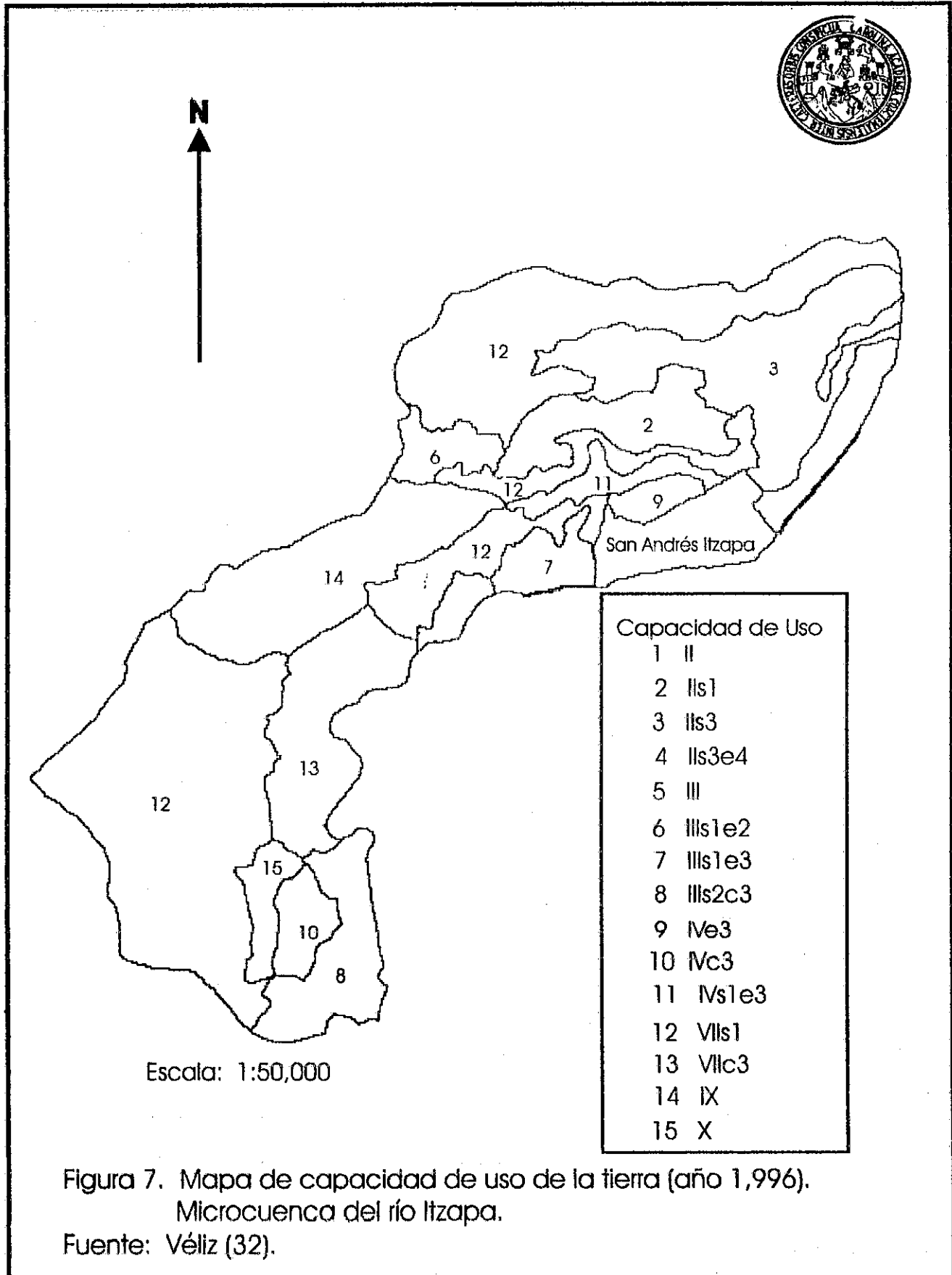


Figura 7. Mapa de capacidad de uso de la tierra (año 1,996).

Microcuenca del río Itzapa.

Fuente: Véliz (32).

Cuadro 6. Valores de área y porcentaje de área del mapa de intensidad de uso de la tierra (1,996), por la metodología CCT, microcuenca del río Itzapa.

Intensidad de Uso	Area (Km ²)	Porcentaje
Urbano	1.365	5.13
Uso correcto	16.597	62.45
Sub-uso	3.608	13.58
Sobre-uso	5.008	18.84

Fuente: Véliz (32).

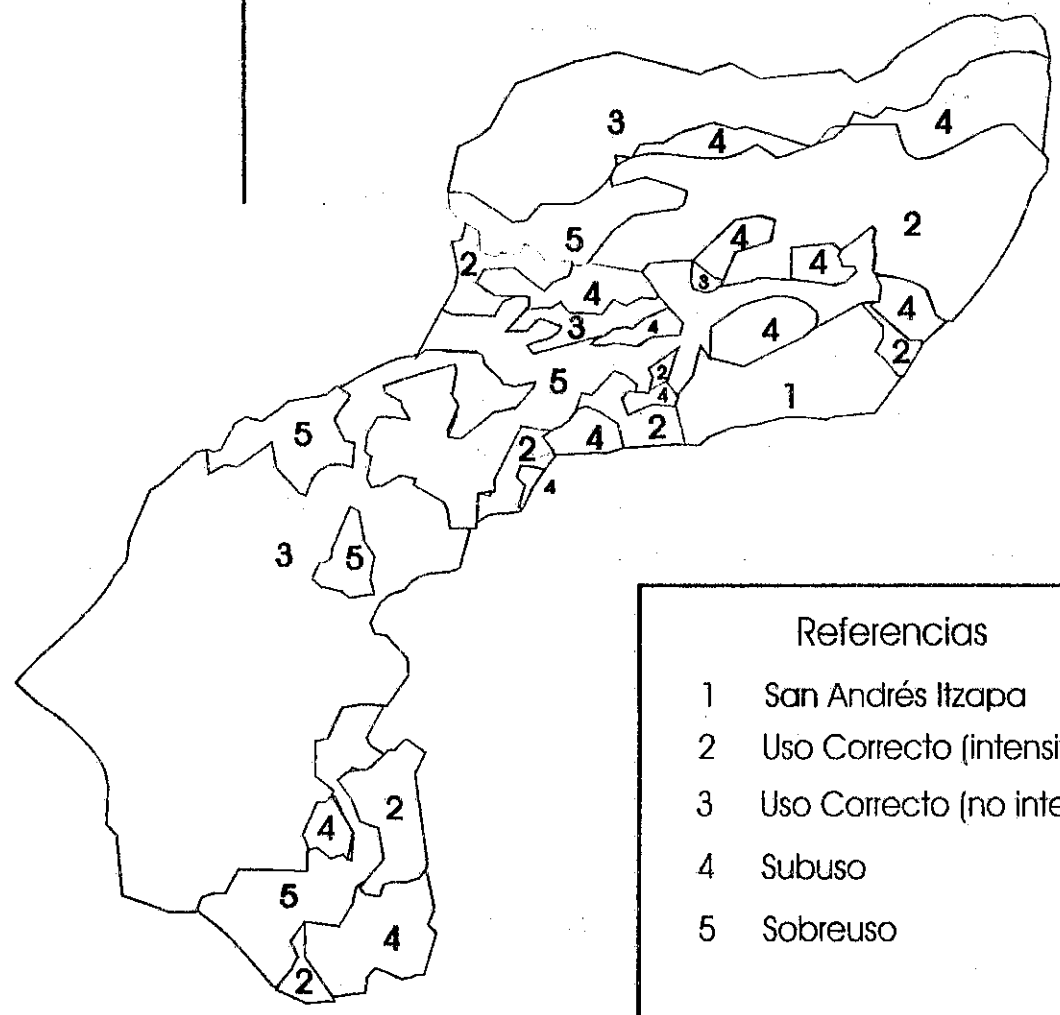
3.2.1.9. PRINCIPALES RASGOS SOCIOCULTURALES DE LA POBLACION DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA:

Las personas del área celebran ritos en el aspecto de salud al enfermarse, principalmente los niños; y costumbres cuando contraen matrimonio. Las personas de la comunidad en su totalidad son de descendencia Cakchiquel y por lo tanto hablan este dialecto, pero dominan el español perfectamente.

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

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

La principal fuente de ingresos económicos la constituye la venta de excedentes de productos obtenidos de la cosecha y la venta de mano de obra asalariada. Otra fuente de ingresos alternativa la constituye la venta de animales domésticos y artesanías hechas por las amas de casa (20).



Referencias	
1	San Andrés Itzapa
2	Uso Correcto (intensivo)
3	Uso Correcto (no intensivo)
4	Subuso
5	Sobreuso

Escala: 1:50,000

Figura 8. Mapa de Intensidad de uso de la tierra (año 1,996). Metodología CCT. Microcuenca del río Itzapa.

Fuente: Véliz (32).

4. OBJETIVOS.

- 4.1. Los objetivos de la primera parte de la investigación que se realizó en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa (Aldea Chicazanga), San Andrés Itzapa, Chimaltenango, durante la época lluviosa de 1,996, fueron los siguientes.
 - A. Determinar directamente la cantidad de suelo erosionado y de escurrimiento superficial bajo tres tipos diferentes de cobertura vegetal (maíz (*Zea mays* L.), coliflor (*Brassica oleracea* Var. botritis L.) y pasto (*Pennisetum clandestinum* L.)) en dos tipos diferentes de pendiente de terreno (25 y 40 por ciento).
 - B. Establecer índices de manejo de cobertura vegetal para alimentar un modelo de erosión hídrica.
 - C. Comparar la cantidad de suelo erosionado medido con el método de parcelas de escurrimiento y el estimado a través del modelo de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE).
 - D. Conocer las características físicas de los sedimentos erosionados por el efecto de la precipitación pluvial durante la época lluviosa del año 1,996.
- 4.2. Los objetivos de la segunda parte de la investigación que se llevó a cabo a nivel de toda la microcuenca del río Itzapa, fueron los siguientes:
 - A. Integrar la información generada en las investigaciones sobre la evaluación del efecto del manejo de la cobertura vegetal y la pendiente del terreno en la erosión del suelo de la parte alta de la microcuenca del río Itzapa en el período de 1,994 a 1,996.
 - B. Determinar la pérdida de suelo por el modelo de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) y la metodología de evaluación de la erosión del suelo (LEAM).
 - C. Elaborar un plan preliminar de conservación de suelo y agua para toda la microcuenca.

5. HIPOTESIS

- H-1 En las coberturas vegetales evaluadas (maíz, coliflor y pasto), habrá cantidades de escorrentía superficial y de suelo erosionado iguales a la de las áreas sin ninguna protección vegetal, en la época lluviosa de 1,996, en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango.
- H-2 La cantidad de suelo erosionado y de escurrimiento superficial en las coberturas vegetales evaluadas, será igual en las áreas con mayor pendiente (40 por ciento) y en las áreas con menor pendiente (25 por ciento) durante la época lluviosa de 1,996 en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango.
- H-3 La cantidad de suelo erosionado medido directamente en las parcelas de escorrentía es igual que la cantidad estimada por el modelo de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE).

6. METODOLOGÍA

6.1. EVALUACION DEL EFECTO DEL MANEJO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE DEL TERRENO EN LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO (FASE IV).

6.1.1. UBICACION DEL SITIO EXPERIMENTAL.

La investigación se realizó en la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, la cual se ubica en la parte alta de la microcuenca a 14° 35' 27" Latitud Norte y 90° 52' 22" Longitud Oeste, a una altitud de 2,230 metros sobre nivel del mar (m.s.n.m.) y a una distancia de 6 kilómetros al suroeste de la cabecera municipal.

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

6.1.2. SELECCION DE TRATAMIENTOS.

Los tratamientos se seleccionaron de acuerdo al uso más frecuente del suelo en el área; además porque se necesitaba generar los índices de manejo de cobertura vegetal (factor C) para la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, según los diferentes tipos de cultivo del área. Los tratamientos evaluados fueron:

- A. Cobertura de pasto kikuyú (Pennisetum clandestinum L.).
- B. Cobertura de maíz (Zea mays L.).
- C. Cobertura de coliflor (Brassica oleracea Var. botritis L.).
- D. Testigo (sin cobertura).

El experimento se realizó en dos pendientes representativas de los terrenos del área de estudio; las cuales fueron de 25 y 40 por ciento.

6.1.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.

En los dos ensayos, se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, teniendo así 12 unidades experimentales por pendiente. Debido al reducido tamaño de las unidades de producción de los agricultores, no fue posible aumentar el número de unidades experimentales en las dos pendientes estudiadas (figura 33A).

6.1.3.1. MODELO ESTADISTICO.

El diseño de bloques al azar utilizado en las parcelas de escorrentía con 25 y 40 por ciento de pendiente es:

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

Donde:

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

6.1.3.2. VARIABLES RESPUESTA.

- Cantidad de escurrimiento superficial en metros cúbicos por hectárea y porcentaje de escorrentía.
- Cantidad de suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea.

6.1.3.3. VARIABLES AUXILIARES.

- Cantidad, frecuencia e intensidad de la precipitación pluvial en el área de estudio.
- Porcentaje de cobertura de los cultivos.
- Análisis de textura de los sedimentos erosionados de las parcelas de escorrentía.

6.1.4. ARREGLO Y MONTAJE DEL EXPERIMENTO

Por tratarse de la cuarta evaluación del efecto del manejo y la cobertura vegetal y la pendiente del terreno en esta área, las parcelas de escorrentía (figura 9) se encontraban establecidas, sin embargo se tuvieron que rehabilitar. El procedimiento que se siguió para el establecimiento fue el realizado por Cardona (2), que es el siguiente.

6.1.4.1. CONFINAMIENTO DE LAS PARCELAS.

Para evitar la penetración de escorrentía superficial de áreas aledañas, se circularon los lotes utilizando tablas de madera de segunda calidad (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.

6.1.4.2. SISTEMA COLECTOR DE AGUA Y SEDIMENTOS.

A. Canales Colectores.

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

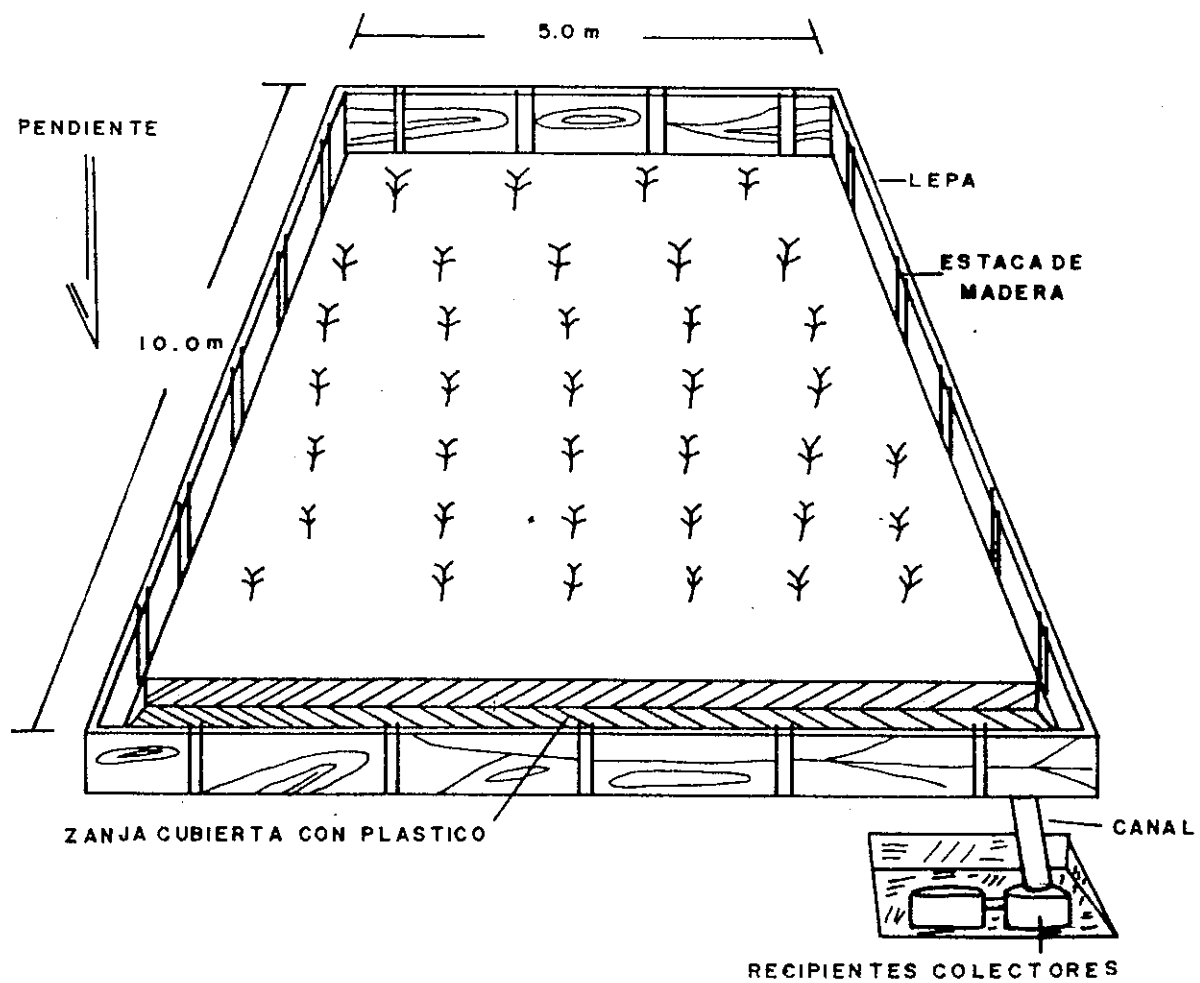


Figura 9. Esquema de una parcela de escorrentía establecida para la realización de la investigación.

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.

C. Recipientes Colectores:

Como recipientes colectores se utilizaron toneles plásticos de 200 litros de capacidad, colocando dos por parcela y conectándolos en su parte superior por un tubo de PVC de 0.75 pulgadas de grosor. Los toneles quedaron 0.10 metros más bajo que el nivel del canal.

D. Establecimiento y manejo de los Cultivos.

a. Maíz (Zea mays L.).

Semilla: Se utilizó semilla local ya que es la más utilizada por los agricultores.

Siembra: se colocaron 4 ó 5 semillas de maíz a una distancia de 0.90 m entre mata y 1.25 m entre surcos. En un área de clima frío, el ciclo de cultivo es largo, por lo que se realizó la siembra de maíz en la tercera semana del mes de febrero.

Fertilización: Se realizó una sola aplicación de fertilizante, consistente en 206.12 y 309.27 kg/ha de fertilizante químico urea y fórmula 15-15-15 7 (50 y 75 libras de fertilizante por cuerda de 1600 varas cuadradas respectivamente), a los 5 meses después de la siembra, al empezar la floración. Esta fertilización es la misma práctica que realizan los agricultores del área.

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).

Daños causados por la Taltuza (Geomys hispidus Hall): en el lote con 25 por ciento de pendiente, hubo un ataque severo de taltuza (Geomys hispidus Hall), la cual dañó grandemente la cobertura de maíz (Zea mays L.) y luego la de coliflor (Brassica oleracea Var. botritis L.); por lo que la cantidad de suelo erosionado y escorrentía superficial, aumentaron, debido a que redujo la cantidad de plantas por parcela.

b. Coliflor (Brassica oleracea Var. botritis L.).

Elaboración de semillero: Se realizó un semillero con semilla que la comunidad utiliza comúnmente (semilla local).

Trasplante: Se realizó a los 45 días después de nacidas las plantas en el semillero. Al momento del trasplante, se dejó un distanciamiento de 0.83 m (1 vara) al cuadro (entre surcos y plantas).

Fertilización: Se realizaron dos aplicaciones de fertilizante, la primera 8 días después del trasplante a razón de 412.24 kg de fertilizante fórmula química 15-15-15 por hectárea (1 quintal/cuerda de 1600 varas cuadradas) y la segunda al comenzar la floración a razón de 618.36 kg/ha de fertilizante 15-15-15. (1.5 quintales/cuerda de 1600 varas cuadradas). La cantidad y forma de aplicación del fertilizante (localizada) es la misma que usan los agricultores del área.

Limpias: Se realizaron 2 limpiezas en todo el ciclo del cultivo, se hicieron en las fechas que acostumbra realizar el agricultor sus limpiezas (antes de cada fertilización).

Control de Plagas y Enfermedades: En el caso de la coliflor se puso atención a la larva de (Trichoplusia ni), aplicando el insecticida biológico Virus de la Poliedrosis Nuclear a razón de 1 kg/ha; realizando 3 aplicaciones; una junto con la primera fertilización y las dos restantes al inicio de la floración y 15 días después de esta.

c. **Pasto KiKuyú (Pennisetum clandestinum L.).**

Como el pasto se encontraba establecido en las parcelas de escorrentía desde 1,993, el manejo consistió en una primera aplicación de fertilizante con ayuda de un chuzo colocando el fertilizante al fondo del agujero abierto y luego tapándolo, esto a razón de 400 kg/ha de fertilizante 15-15-15 al inicio del experimento y una segunda seis meses después, con la misma dosis, realizando un control de malezas en forma manual conforme se necesitó; esto con el fin de que se evaluara solamente el porcentaje de cobertura que el pasto brinda al suelo.

d. **Testigo.**

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

6.1.5. MEDICION DE VARIABLES.

6.1.5.1 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 cantidad de agua escurrida, y posteriormente, por medio de equivalencias, se obtuvo la cantidad en metros cúbicos por hectárea.

6.1.5.2. CANTIDAD DE SUELO EROSIONADO.

El material acarreado por la escorrentía se cuantificó tomando en cuenta los sólidos en suspensión en el líquido de escorrentía colectado en los toneles, y en los 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 disueltos en el agua, esta se filtró por medio de papel filtro, y en laboratorio, se tomó el papel filtro con los sólidos y se puso en el horno de convección a 105 grados centígrados por 24 horas, para posteriormente determinar su peso en base seca.

B. Sedimentos.

Después de evacuar el agua de los recipientes se sacaron los sedimentos depositados en el fondo de éstos y los sedimentos colectados en el fondo de los canales; se pesaron en húmedo y se tomó una muestra para determinarle el peso seco por el método gravimétrico de determinación de humedad, secado en horno a 105 grados centígrados por 24 horas.

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

6.1.5.3. PORCENTAJE 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 amortiguar el impacto de las gotas de lluvia.

Para medir el porcentaje de cobertura del pasto se utilizó un marco de madera de 1 m², con cuerdas de rafia a cada 5 cm; el cual se colocó en diferentes puntos de la parcela y se contó el número de cuadros cubiertos con pasto en el metro cuadrado.

Para los cultivos de coliflor y maíz, 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 de ésta; otra metodología usada, fue la de dibujar el marco de 1 metro cuadrado sobre la superficie del suelo, poniéndole separaciones a cada 5 cm (semejante al marco utilizado para la medición en pasto), luego, con la sombra que proyectaban las hojas de la planta sobre dicho cuadro, esto se realizó a medio día; se hizo el conteo de cuadros tapados y así se determinó la cobertura vegetal.

6.1.5.4. MEDICION DE LA PRECIPITACION.

En el pluviógrafo de banda diaria, instalado cerca del área del experimento, se obtuvo la cantidad de lluvia, frecuencia e intensidad de cada evento. Para definir un evento se siguió el criterio de Wischmeir y Smith (33), considerándose como un evento independiente a toda lluvia separada de otra por un período de 6 horas sin precipitaciones mayores de 13 mm.

6.1.5.5. TEXTURA DE LOS SEDIMENTOS EROSIONADOS.

La textura de los sedimentos erosionados de las parcelas de escorrentía se determinó a través de la metodología del Hidrómetro de Bouyoucus; tomando para esto sólo la fracción de suelo menor a 2 mm de grosor.

6.1.6. ANALISIS DE LA INFORMACION.

Para las variables de cantidad de escorrentía superficial y de suelo erosionado, se realizó Análisis de Varianza y como en todos los análisis efectuados hubo diferencias significativas; se realizó la prueba de medias de Túkey; con el fin de

determinar cuál de las coberturas evaluadas fue la que mayor protección le dio al suelo contra los procesos de erosión hídrica del suelo.

Se realizó análisis de correlación lineal entre las diferentes variables obtenidas, tales como intensidad de la lluvia con cantidad de escorrentía superficial y de suelo erosionado; cantidad de escorrentía superficial con cantidad de suelo erosionado, porcentaje de cobertura vegetal con cantidad de escorrentía superficial y de suelo erosionado; esto con el fin de tener una idea de como se relacionan dichas variables en el proceso de erosión del suelo de la parte alta de la microcuenca.

6.2. INTEGRACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN LAS EVALUACIONES REALIZADAS DE 1,994 A 1,996.

Los resultados obtenidos en la cuarta evaluación del efecto del manejo de la cobertura vegetal y la pendiente del terreno sobre la erosión hídrica del suelo de la parte alta de la microcuenca del río Itzapa realizada en 1,996, se compararon con los resultados obtenidos en las dos evaluaciones realizadas en 1,994 y 1,995, por medio de una análisis gráfico y de cuadros. Las variables comparadas fueron: escorrentía superficial (porcentaje de escorrentía, cantidad de escorrentía); cantidad de suelo erosionado; factor de manejo y cobertura vegetal (factor C); correlaciones existentes entre estas variables y la comparación de valores de erosión hídrica obtenidos en parcelas de escorrentía y de valores calculados por medio de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE).

6.3. ESTIMACION DE LA PERDIDA DE SUELO POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO (USLE).

6.3.1. FACTOR DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (FACTOR R).

Este factor fue calculado con base en el mapa de áreas de influencia de cada estación meteorológica ubicada en el área de la microcuenca del río Itzapa; esto basado en la distribución de polígonos de Thiessen (figura 4), propiedad del Proyecto de Investigación Básica de la Cuenca del Río Itzapa (30). Este mapa fue digitalizado para poder utilizarlo en el programa IDRISI versión 4.1. En este mapa, la microcuenca se dividió en 2 áreas de influencia; la primera en la parte media y alta, que está controlada por la estación Chicazanga; y la segunda, a la parte baja, bajo control de la estación La Alameda.

Para cada una de las estaciones se hicieron los cálculos del factor R; basados en la metodología propuesta por Wischmeier (33); y realizando un promedio de 3 años de estudio en la Estación Chicazanga (de 1,994 a 1,996); y de 2 años en la Estación La Alameda (1,996 y 1,997).

6.3.2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (FACTOR K).

Este valor fue determinado usando como base el mapa de clasificación taxonómica de suelos de la microcuenca del río Itzapa (figura 3), elaborado por el Proyecto de Investigación Básica de la Cuenca del Río Itzapa (30) y digitalizado en el programa IDRISI. En este mapa se definen 18 unidades cartográficas de suelos; en cada una de estas, se efectuó un muestreo

de suelos. A las muestras obtenidas se les realizó los diferentes análisis de textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad con el fin de determinar en el nomograma elaborado por Wischmeier (33) el valor del factor K que corresponde a cada unidad taxonómica (figura 34A).

6.3.3. FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (FACTOR L).

Para este factor se adoptó el criterio de que la longitud de la pendiente esta definida como la distancia desde un punto de origen del flujo de agua a cualquier otro punto que se determine como limite de un área. Para este caso, fue calculado a partir de una base de longitud de pendiente de 32 metros, debido a que el área de trabajo mas utilizada por un agricultor típico de la microcuenca del río Itzapa es de una cuerda de 40 x 40 varas (32 x 32 metros aproximadamente) y al final de dicha área, existen normalmente cercos o bien otros cultivos, por lo que se tomó esa longitud como la máxima que puede recorrer el agua de escorrentía dentro de una parcela.

La ecuación utilizada para calcular dicho factor es la de McCool (16). Donde L es igual a:

$$L = (X / 22.13)^m$$

donde:

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

L: factor de longitud de pendiente.

X: Proyección horizontal de la longitud de la ladera (no la longitud de la ladera paralela al terreno).

B: Coeficiente que puede evaluarse de la siguiente manera:

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

y μ es el ángulo de la pendiente en grados.

En el cuadro 44A se observan diferentes valores según la pendiente del terreno y el exponente "m" resultante.

6.3.4. FACTOR DE GRADO DE PENDIENTE (FACTOR S).

Se determinó utilizando los mapas de clasificación taxonómica de suelos y de grado de pendiente por el método del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA) (figura 5) de la microcuenca del río Itzapa, propiedad del Proyecto de Investigación Básica de la Cuenca del Río Itzapa (30). Estos mapas fueron digitalizados en el programa IDRISI.

Para cada unidad taxonómica se estableció una pendiente promedio ponderada con respecto al área que representa cada tipo de pendiente; estableciendo así un porcentaje de pendiente promedio para cada unidad taxonómica. Lo anterior se realizó a través del módulo CROSS-TAB del programa IDRISI.

Para determinar el valor S, se utilizó la fórmula propuesta por McCool *et al* (16)

$S = 10.8 \operatorname{seno} \mu + 0.03$ si la pendiente es menor de 9 por ciento

$S = 16.8 \operatorname{seno} \mu - 0.50$ si la pendiente es mayor o igual a 9 por ciento

donde:

S: factor de grado de pendiente.

μ : ángulo de inclinación de la pendiente en grados.

6.3.5. FACTOR DE MANEJO DE COBERTURA VEGETAL (FACTOR C).

Este factor se estableció tomando como base el mapa de uso de la tierra de la microcuenca del río Itzapa para 1,996 (figura 6); propiedad del Proyecto de Investigación Básica de la Cuenca del Río Itzapa (30); determinando para cada tipo de manejo y cobertura vegetal un valor. Para los casos de hortalizas, cultivos anuales y pastos de la parte alta de la microcuenca se tomaron los valores del factor de manejo de cobertura vegetal investigados por el proyecto. Para la parte media y baja, se tomaron los valores reportados por Arana (1) y González (8) para bosque y cultivos anuales (cuadro 45A). En casos donde se tenían varios tipos de cobertura se hizo un promedio.

6.3.6. FACTOR DE PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS (FACTOR P).

Se consideró con un valor de uno (1); que es el máximo; esto debido a que en el área de estudio no se realizan prácticas de conservación de suelos, al menos no en una extensión considerable.

6.3.7. OBTENCION DEL VALOR TOTAL DE EROSION POR METODOLOGIA USLE.

Para la obtención de este valor se utilizó el módulo de clasificación cruzada (CROSS-TAB) del programa IDRISI. Primeramente se cruzaron los mapas digitalizados de factor K y L, con el fin de determinar el área que abarca cada tipo de pendiente dentro de cada unidad de clasificación taxonómica, obteniendo así el valor promedio de pendiente de terreno por unidad taxonómica. Después se cruzó el mapa de factor K con factor R y el resultado se cruzó con el de uso actual de la tierra (factor C). A través de la utilización de los archivos de área correspondiente para cada unidad resultante de clasificación cruzada y una base de datos de valores resultantes de cada cruzamiento, se logró obtener el valor total de erosión. Los valores fueron agrupados en 7 clases de erosión, debido a que se obtuvieron 88 diferentes valores. Con la agrupación efectuada, se elaboró un mapa en el que se pueden ubicar fácilmente las áreas con diferentes rangos de erosión.

Como complemento a la información anterior, se elaboró un segundo mapa, donde se presentan superficies con cantidades de suelo erosionado superior e inferior a 16 ton/ha-año. Esto debido a que se considera esta cantidad como un nivel general máximo de tolerancia a la pérdida de suelo; por lo que las superficies que están dentro del rango de 0 a 16 ton/ha-año de suelo erosionado se considera que no poseen una tasa de erosión alta; mientras que en las superficies donde esta tasa de erosión es mayor, si poseen problemas serios de pérdidas de suelo (figura 10).

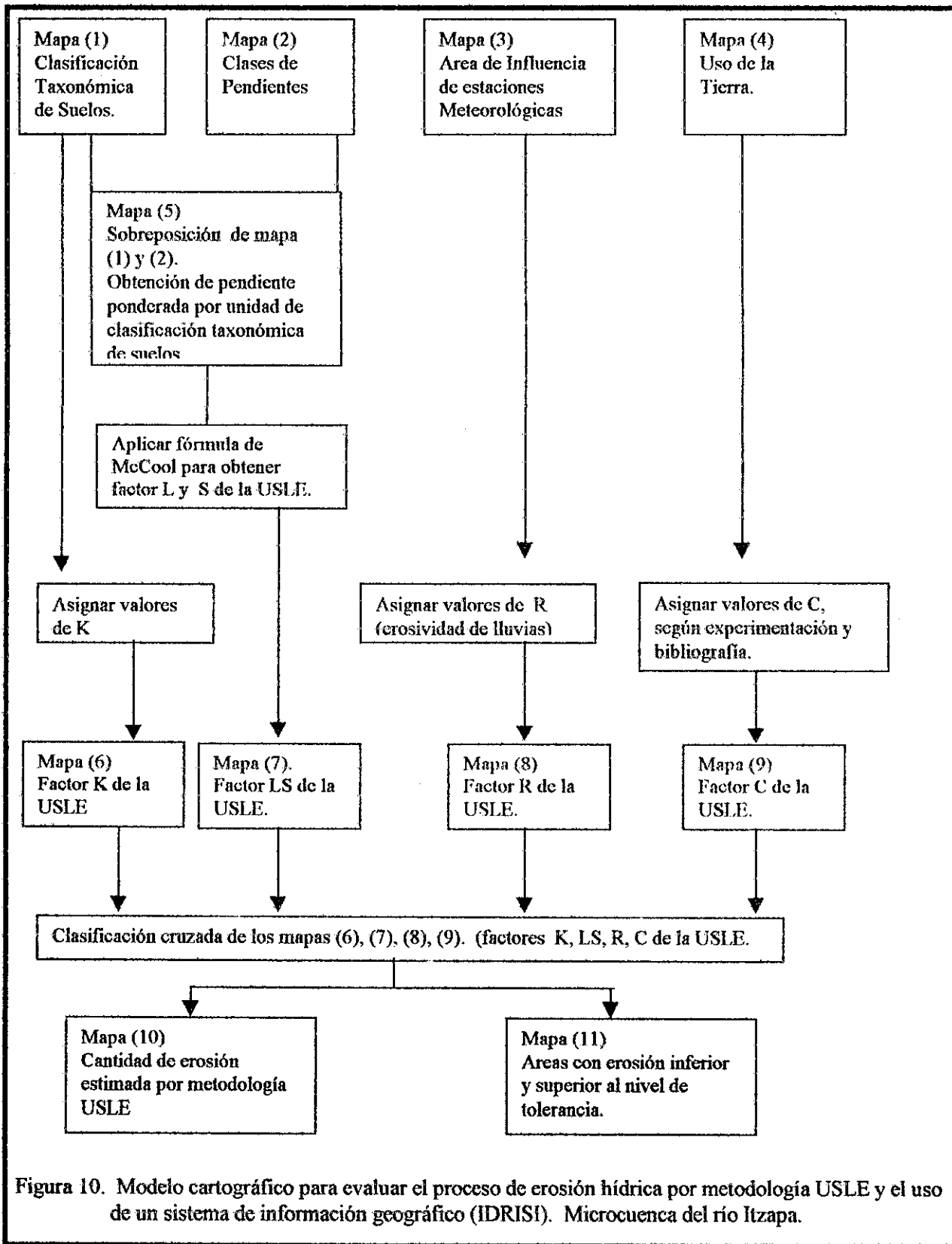


Figura 10. Modelo cartográfico para evaluar el proceso de erosión hídrica por metodología USLE y el uso de un sistema de información geográfico (IDRISI). Microcuenca del río Itzapa.

6.4. APLICACION DEL MODELO DE ESTIMACION DE PERDIDAS DE SUELO POR LA METODOLOGIA LEAM.

6.4.1. CLASE DE PENDIENTE.

Para determinar la clase de pendiente según la metodología LEAM, se utilizaron los mismos valores de los factores de longitud y grado de pendiente (factor L y S) obtenidos al utilizar la metodología USLE, descrita anteriormente; y con estos valores se clasificó la pendiente según el cuadro 1 (subclases de pendiente de la metodología LEAM).

6.4.2. RIESGO DE EROSIÓN DE LA LLUVIA.

Se determinó utilizando como base el mapa de áreas bajo control para cada estación meteorológica de la microcuenca del río Itzapa (figura 4). Se estimó el valor del Índice Modificado de Fournier (FI), basado en los datos de precipitación pluvial mensual y anual de los años 1,994 a 1,996 para la Estación Chicazanga y de 1,985 a 1,996 de la Estación La Alameda, obteniendo un valor promedio para ambas estaciones.

Al determinar el FI, se utilizó el cuadro de clases de riesgo de erosividad de lluvia de la metodología LEAM (cuadro 2), en el cual se obtuvo la subclase de riesgo de erosividad que posee un suelo bajo las condiciones de lluvia de la región.

6.4.3. ERODABILIDAD DEL SUELO.

El valor del factor K, es el mismo que se obtuvo en la metodología USLE. Con estos valores se utilizó el cuadro de subclases de erodabilidad del suelo (cuadro 3), donde se definió la clase de erodabilidad a la que pertenece dicha unidad de clasificación de suelo.

6.4.4. DETERMINACION DE CLASE Y SUBCLASE DE EROSION.

Se utilizó el módulo CROSS-TAB del programa IDRISI; haciendo los cruces del mapa de factor K; en el cual ya se sabía el valor de la pendiente ponderada con respecto al área de cada unidad de clasificación taxonómica de suelos, con el Índice Modificado de Fournier (FI). Haciendo uso de los valores de área de cada unidad resultante y de la base de datos de dichos valores, se determinaron las subclases de erosividad, erodabilidad y pendiente de la metodología LEAM. Con las subclases determinadas, se utilizó el cuadro 4 para determinar las clases de erosión, expresando estas en un mapa de erosión de la microcuenca

Al igual que en la metodología USLE, se realizó un mapa extra, en el cual se presentan las superficies de la microcuenca que están bajo una tasa de erosión superior o inferior a 14 ton/ha-año. Si se considera un nivel máximo de tolerancia a la pérdida de suelo de 16 ton/ha-año, la superficie bajo este rango de erosión se considera que están sometidos a procesos normales de erosión, mientras que la superficie que tiene un nivel superior a este rango de erosión se considera que poseen serios problemas relacionados a la pérdida acelerada de este recurso (figura 11).

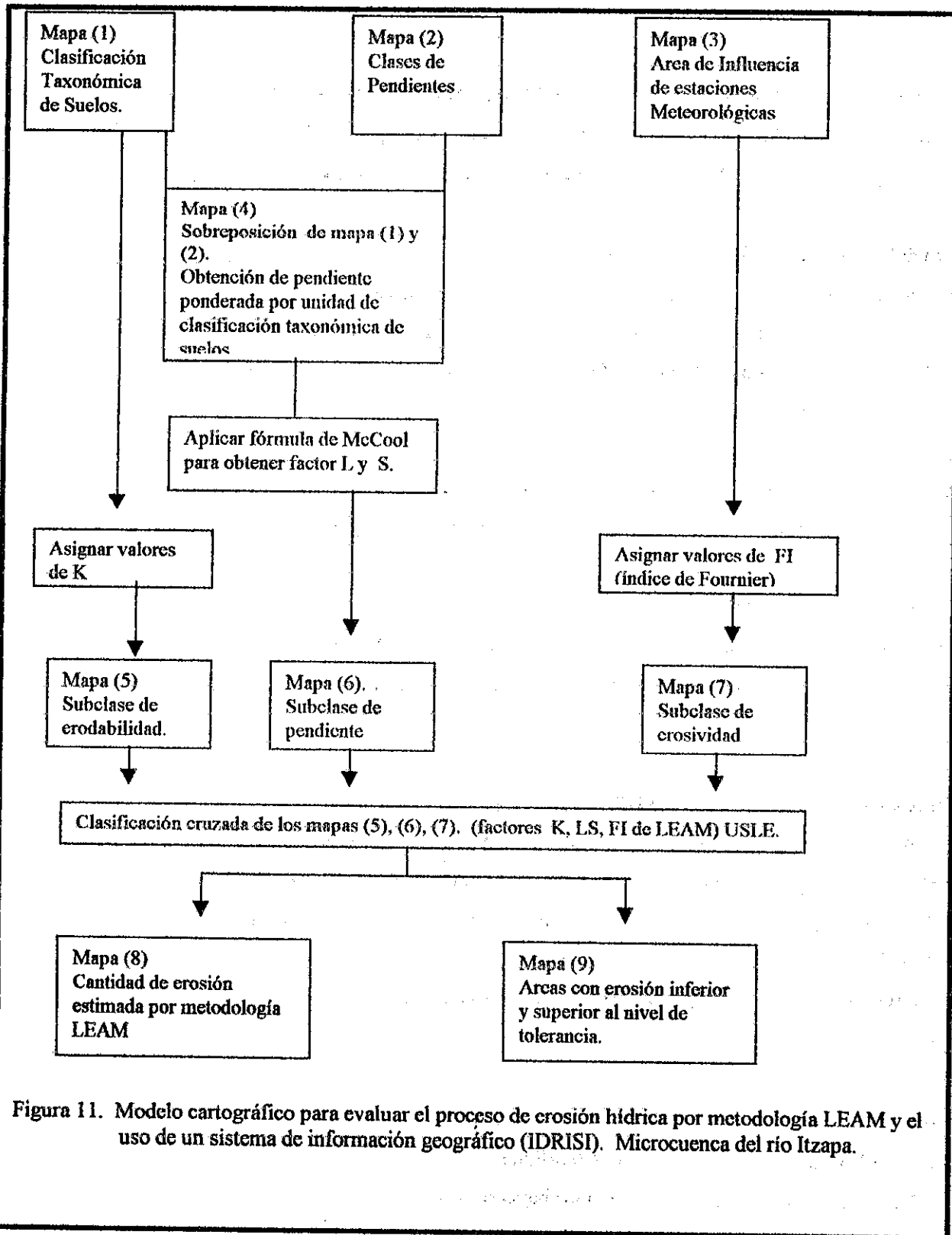


Figura 11. Modelo cartográfico para evaluar el proceso de erosión hídrica por metodología LEAM y el uso de un sistema de información geográfico (IDRISI). Microcuenca del río Itzapa.

6.5. PLAN PRELIMINAR DE CONSERVACION DE SUELOS.

El mapa de intensidad de uso de la tierra para 1,996 (figura 8) se cruzó con el mapa de pendientes por el método USDA (figura 5). En cada una de las unidades cartográficas resultantes se especificó las técnicas de manejo que se deben implementar para que evitar su deterioro y permitir un uso adecuado y sostenible del recurso suelo.

7. RESULTADOS

7.1 EVALUACION DEL EFECTO DEL MANEJO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE DEL TERRENO EN LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA (FASE IV).

7.1.1. PRECIPITACION.

7.1.1.1 PRECIPITACION TOTAL MENSUAL

En el cuadro 7 se presentan los valores de la precipitación mensual para el período de estudio y los valores promedios de 11 años de registro de la estación La Alameda; así como los del año 1,994 a 1,996 tomados en la estación Chicazanga.

Cuadro 7. Precipitación mensual promedio de 11 años de la estación La Alameda: registros de precipitación para los años 1,994 a 1,996 en la estación Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango.

MESES	ALAMEDA *	1,994**	1,995**	1,996**
enero	2.14	5.78	11.6	2.89
febrero	9.48	12.81	11.3	0
marzo	19.44	29.36	6.4	0
abril	23.55	23.03	48.7	85.1
mayo	110.47	113.79	136	235.96
junio	199.18	225.81	198.41	201.4
julio	154.80	182.96	160.2	381.4
agosto	175.76	154.99	243.43	130.2
septiembre	195.68	257.63	196.5	221.71
octubre	118.38	119.73	110.2	64.7
noviembre	13.59	24.4	20.6	28.7
diciembre	5.49	7.54	3.24	12.4

** Estación meteorológica tipo A del proyecto Cuenca río Itzapa del USAC-FAUSAC-IIA-DIGI (30) en el sitio experimental.

* Estación de INSIVUMEH (Primer orden)

En el cuadro 7 se observa que los valores de precipitación registrados en el área de estudio (estación Chicazanga, ubicada a 2390 msnm) fueron bajos en el mes de febrero, marzo, agosto y octubre en relación a la estación La Alameda (Ubicada a una altitud de 1766 msnm). Lo anterior influyó en que el suelo se mantuviera con un bajo porcentaje de agua en mayo y principios de junio, disminuyendo de esta manera la cantidad de escorrentía superficial y erosión hídrica en los primeros eventos de lluvia, aunque estos fueran de alta intensidad, ya que el suelo poseía más capacidad de infiltración.

7.1.1.2 FRECUENCIA DE LA PRECIPITACION

La mayor precipitación fue de 92.2 mm. ocurrida el 29 de julio con una intensidad media de 9.26 mm/hr.

Cuadro 8: Cantidad de lluvia y frecuencia para cinco clases de lluvias ocurridas en Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango en el año 1,996.

Clase (mm)	Frecuencia	Porcentaje	Precipitación (mm)	Porcentaje
0 - 5	57	45.60	115.0	8.43
5 - 10	23	18.40	172.2	12.62
10 - 15	18	14.40	228.73	16.76
15 - 20	07	5.60	122.60	8.99
> 20	20	16.00	725.93	53.20
Total	125	100.00	1,364.66	100.00

En el cuadro 8 se observa que gran cantidad de la lluvia se concentró en unos pocos eventos, en tan solo 20 eventos se dio el 53.20 por ciento del total de la precipitación; mientras que el 8.43 por ciento se dio en 57 eventos; lo que explica el por qué en tan pocos eventos, se da una pérdida tan alta de suelo y una cantidad fuerte de escorrentía superficial. La intensidad y cantidad de lluvia son tan altas que no hay suficiente tiempo para que el agua se infiltre en el suelo. Del total de eventos registrados, 45 fueron mayores de 10 mm, siendo los que produjeron escurrimiento superficial y sedimentos.

7.1.1.3 INTENSIDAD

Las intensidades de lluvia registradas durante el período de estudio, tuvieron una variación entre 0.05 mm/hr y 45.69 mm/hr. Se registraron 48 eventos mayores de 5 mm/hr que ocasionaron escorrentía; de los cuales 45 ocasionaron erosión.

7.1.2. ESCORRENTIA

7.1.2.1 PORCENTAJE DE ESCORRENTIA

Del total de precipitación que hubo en los meses del experimento (junio a noviembre) que fue de 1,027.51 mm, se estableció un volumen total de agua llovida de 10,275.1 m³/ha (cuadro 9).

Cuadro 9. Cantidad (m³/ha y porcentaje) de escorrentía superficial para el sitio experimental con 25 y 40 por ciento de pendiente.

COBERTURA VEGETAL	25 por ciento		40 por ciento	
	m ³ /ha	Porcentaje	m ³ /ha	Porcentaje
SIN COBERTURA	864.16	8.41	892.79	8.69
COLIFLOR	819.18	7.97	855.32	8.32
MAIZ	730.57	7.11	739.22	7.19
PASTO	617.00	6.00	626.90	6.10

Los valores obtenidos de escorrentía son bajos, debido a que el suelo de la parte alta de la microcuena es de textura arenosa. Hay varias capas de horizonte A y C que por ser piroclastos presentan esa textura, lo cual favoreció el proceso de infiltración del agua en el suelo. Lo anterior referido a la cantidad total; ya que como se puede ver en los cuadros anteriores, los eventos de lluvia con alta intensidad no dieron tiempo para que esta agua se infiltrara, ocasionando la escorrentía superficial que fue la que propició la erosión del suelo.

7.1.2.2. CANTIDAD DE ESCORRENTIA

Cuadro 10. Escorrentía superficial (m^3/ha), para tratamientos y repeticiones en el sitio experimental con 25 por ciento de pendiente.

COBERTURA VEGETAL	BLOQUES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
SIN COBERTURA	821.51	845.61	925.38	2592.49	864.16
COLIFLOR	785.18	847.18	825.19	2457.55	819.18
MAIZ	800.56	710.81	680.35	2191.72	730.57
PASTO	685.15	615.13	550.73	1851.01	617.00

En el cuadro 10 se observa que en las coberturas vegetales evaluadas (no incluye el testigo), la cobertura de coliflor reportó el mayor volumen de escorrentía, debido a que las fechas de siembra y de inicio de desarrollo del cultivo coinciden con el tiempo en que las lluvias tienen mayor intensidad. Por lo tanto, el volumen de escorrentía aumenta; mientras que, el menor valor se presentó en la cobertura de pasto, debido a que este permaneció con mayor porcentaje de cobertura vegetal, disminuyendo la cantidad de escorrentía superficial.

En el cuadro 11 se presentan los valores del análisis de varianza (ANDEVA) que se le realizó a los datos obtenidos en el sitio experimental con 25 por ciento de pendiente.

Cuadro 11. Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio experimental con 25 por ciento de pendiente.

Fuente de variación	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada
Bloques	2	1588.67	794.34		
Cobertura	3	106938.1	35646.05	9.24*	4.76
Error Exp.	6	23150.5	3858.34		
TOTAL	11	131676.9			

* significativo al 0.05 de significancia

C.V = 8.20%

En el cuadro 11 se aprecia que existen diferencias significativas entre coberturas; por lo cual se realizó la prueba de medias de Túkey, cuyos resultados se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Prueba de medias de Túkey para la cantidad media de escorrentía superficial en el sitio con 25 por ciento de pendiente.

COBERT. VEGET.	PROMEDIO DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL (m^3/ha)	TUKEY
SIN COBERTURA	864.16	a
COLIFLOR	819.18	a
MAIZ	730.57	ab
PASTO	617.00	b

En el cuadro 12 se observa que la cobertura de coliflor no reduce la cantidad de escorrentía superficial, ya que los resultados se pueden comparar con los de las parcelas que permanecieron sin cobertura vegetal. Esto se debe a que las épocas de siembra y cosecha de dicho cultivo dejan totalmente descubierto el suelo en los momentos en que las lluvias tienen mayor intensidad. La cobertura de maíz redujo este valor, a pesar de que se tuvo un ataque severo de taltuza (*Geomys hispidus* Hall) que ocasionó daños fuertes al cultivo. Otro factor a considerar es que la siembra del cultivo se hace en los meses de febrero y marzo, por lo que, cuando inician las lluvias, ya se cuenta con aproximadamente 15 por ciento de cobertura vegetal sobre la parcela, lo cual incide en la reducción de la escorrentía. Se observa además, que la cobertura que redujo grandemente la escorrentía fue la de pasto, con un porcentaje de cobertura muy estable durante el año, debido a que este tratamiento se estableció en la primera fase del ensayo en 1,993.

Cuadro 13. Escorrentía superficial (m^3/ha), observada en el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente.

COBERTURA VEGETAL	BLOQUES			TOTAL	MEDIA
	I	II.	III.		
SIN COBERTURA	845.26	875.31	957.81	2678.38	892.79
COLIFLOR	805.31	910.50	850.14	2656.95	855.32
MAIZ	721.81	790.21	705.64	2217.66	739.22
PASTO	626.00	564.36	690.35	1880.71	626.90

Al igual que en el sitio con 25 por ciento de pendiente se puede observar que la cobertura con menor escorrentía es la de pasto; mientras que la de coliflor es la que presenta la mayor cantidad de escorrentía superficial.

En el cuadro 14 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) realizado a los valores de escorrentía superficial que se obtuvieron en el área con 40 por ciento de pendiente.

Cuadro 14. Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio con 40 por ciento de pendiente.

Fuente de variación	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada
Bloques	2	5538.23	2769.12		
Cobertura	3	130464.7	43488.22	13.88*	4.76
Error	6	18795.35	3132.56		
TOTAL	11	154798.2			

* Significativo al 0.05 de significancia

C.V.= 7.19%

Por existir diferencias significativas entre las coberturas evaluadas, se le realizó la prueba de medias de Túkey (cuadro 15).

Cuadro 15. Prueba de medias de Túkey para la cantidad de escorrentía superficial en el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente.

COBERT. VEGET.	PROMEDIO DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL (m ³ /ha)	TUKEY
SIN COBERTURA	892.79	a
COLIFLOR	855.32	a
MAIZ	739.22	ab
PASTO	626.90	b

En el cuadro 15 se observa que los valores obtenidos en la cobertura de coliflor y el testigo, son estadísticamente iguales, lo que confirma el análisis que se hizo con los resultados obtenidos en el ensayo con 25 por ciento de pendiente. Por lo tanto, se puede generalizar que en el área de estudio, la coliflor prácticamente no brinda ningún tipo de protección al suelo para reducir la escorrentía superficial. Por otro lado, se observa que el efecto de protección al suelo contra la escorrentía de la cobertura de maíz y de pasto son iguales. Se explica lo anterior debido a que el cultivo de maíz, no sufrió ataque de plagas, lo que permitió un buen desarrollo del follaje, reduciendo así la escorrentía superficial, al grado de compararse estadísticamente con el pasto.

7.1.3. SUELO EROSIONADO EN PARCELAS DE ESCORRENTIA

En el cuadro 16 se observa la cantidad de suelo erosionado por efecto de los 45 eventos mayores de 15 mm que causaron arrastre de partículas en el sitio con 25 por ciento de pendiente.

Cuadro 16. Cantidad de suelo erosionado (ton/ha-año) en el sitio del ensayo con 25 por ciento de pendiente.

COBERTURA VEGETAL.	BLOQUES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
SIN COBERTURA	36.80	39.29	42.19	118.28	39.43
COLIFLOR	29.93	33.56	31.41	94.91	31.63
MAIZ	20.15	18.40	16.56	55.11	18.37
PASTO	2.70	2.12	1.86	6.68	2.23

En el cuadro 17 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) realizado a los valores de suelo erosionado en el sitio experimental con 25 por ciento de pendiente.

Cuadro 17. Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25 por ciento de pendiente.

Fuente de variación	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada
Bloques	2	1.84	0.92		
Cobertura	3	2391.93	797.31	182.67*	4.76
Error Exp.	6	26.19	4.36		
TOTAL	11	2419.96			

* Significativo al 0.05 de nivel de significancia

C.V = 9.14 %

Por existir diferencias significativas entre las diferentes coberturas se realizó la prueba de medias de Túkey que se presenta en el cuadro 18.

Cuadro 18. Prueba de medias de Túkey para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25 por ciento de pendiente.

COBERT. VEGET.	PROMEDIO DE SUELO EROSIONADO (ton/ha-año)	TUKEY
SIN COBERTURA	39.43	a
COLIFLOR	31.63	b
MAIZ	18.37	c
PASTO	2.23	d

El cuadro 18 muestra que las coberturas vegetales utilizadas en el experimento, son diferentes entre si, la que menor protección le da al suelo contra el proceso erosivo provocado por la lluvia es la de coliflor, seguida de maíz y la cobertura que reduce grandemente la erosión es la de pasto. Es de hacer notar que la cobertura de maíz, hubiera sido mas efectiva en la protección del suelo, pero debido al ataque de taltuza (*Geomis hispidus* Hall), que produjo grandes daños al cultivo no se obtuvieron los resultados esperados, incluso, la cantidad de suelo erosionada en el cultivo de maíz con 25 por ciento de pendiente, es mayor que la obtenida en la misma cobertura con 40 por ciento de pendiente, lo que confirma lo anteriormente indicado.

La cobertura de pasto presentó el valor más bajo de suelo erosionado, luego la cobertura de maíz con una relación 8.96:1 en comparación con el pasto, y la cobertura de coliflor con una relación 15.66:1 con relación al pasto. Esto indica que el pasto es el que ofrece la mayor protección al suelo contra la erosión hídrica.

Cuadro 19. Cantidad de suelo erosionado (ton/ha-año) en el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente.

COBERTURA VEGETAL	BLOQUES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
SIN COBERTURA	40.16	42.56	44.37	127.09	42.36
COLIFLOR	31.74	40.05	38.27	110.07	36.69
MAIZ	12.94	17.68	11.94	42.56	14.19
PASTO	3.76	2.20	3.69	9.65	3.22

Cuadro 20. Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente.

Fuente de variación	grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada
Bloques	2	25.35	12.68		
Cobertura	3	3079.08	1026.36	145.84*	4.76
Error Exp.	6	42.21	7.04		
TOTAL	11	3146.65			

* Significativo al 0.05 de significancia

C.V = 11.0 %

Por existir diferencias entre las diferentes coberturas evaluadas se realizó la prueba de medias de Túkey, los resultados se presentan en el cuadro 21.

Cuadro 21. Prueba de medias de Túkey para la cantidad de suelo erosionado en las parcelas con 40 por ciento de pendiente.

COBERT. VEGET.	PROMEDIO DE SUELO EROSIONADO (ton/ha-año)	TUKEY
SIN COBERTURA	42.36	a
COLIFLOR	36.69	a
MAIZ	14.19	b
PASTO	3.22	c

Se puede observar en el cuadro 21, que el tratamiento con pasto ofrece la mejor protección al suelo en contra de la erosión, seguido por la cobertura de maíz con una relación de pérdida de suelo comparada con el pasto de 4.50:1; y por último la cobertura de coliflor con relación 11.50:1.

La cobertura de coliflor no ofrece protección al suelo contra la erosión hídrica, ya que estadísticamente es igual al tratamiento sin cobertura; sin embargo, la cobertura de maíz, es estadísticamente diferente a la de coliflor, debido a que la fecha de siembra de dicho cultivo tradicionalmente se hace en febrero; por lo que al iniciar la época lluviosa ya cuenta con cierto porcentaje de cobertura. Todo lo contrario sucede con la coliflor, ya que su siembra es tardía (primera quincena de Junio) y cuando suceden las primeras lluvias, este cultivo no ha alcanzado su máximo desarrollo; además no dura toda la época lluviosa.

7.1.4. COBERTURA DE LOS TRATAMIENTOS.

7.1.4.1. PORCENTAJE DE COBERTURA DE CULTIVO.

En los cuadros 22 y 23, se presentan los resultados de porcentaje de cobertura de cultivo obtenidos en nueve muestreos realizados a lo largo del periodo en el cual se realizó el experimento.

Cuadro 22. Porcentaje de cobertura vegetal para el sitio experimental con 25 por ciento de pendiente.

COBERTURA VEGETAL	FECHAS DE OBSERVACION								
	16/5	4/6	18/6	5/7	16/7	6/8	20/8	10/9	25/9
COLIFLOR	0	3	12	16	22	28	32	35	28
MAIZ	15	18	22	35	42	34	26	18	12
PASTO	84	87	88	90	92	90	90	90	90

Cuadro 23. Porcentaje de cobertura vegetal para el sitio experimental con 40 por ciento de pendiente.

COBERTURA VEGETAL	FECHAS DE OBSERVACION								
	16/5	4/6	18/6	5/7	16/7	6/8	20/8	10/9	25/9
COLIFLOR	0	3	12	18	25	34	42	52	41
MAIZ	15	18	23	32	44	48	52	54	54
PASTO	84	86	87	92	92	92	92	92	92

Se puede observar en los cuadros 22 y 23, que la parcela de pasto es la que tiene el mayor porcentaje de cobertura debido a que fue establecido en las parcelas con 3 años de anterioridad. Para el primer muestreo el tratamiento de coliflor no había sido trasplantado, por lo que no tiene valor de porcentaje de cobertura; habiendo alcanzado mayor desarrollo en la pendiente con 40 por ciento que en 25 por ciento. Este comportamiento se debe a que en la pendiente de 25 por ciento el cultivo estuvo sujeto al ataque de la taltuza (*Geomis hispidus* Hall) aunque en menor grado que el daño causado a las parcelas de maíz. El daño se acentuó a partir del mes de agosto, deteniendo el desarrollo de dicho cultivo. Quince días después de iniciado el mes de septiembre, inició la cosecha de coliflor, por lo que se nota una disminución en el porcentaje de cobertura.

7.1.4.2. FACTOR DE MANEJO DE COBERTURA DE CULTIVO (Factor C):

Este factor se determinó tomando en cuenta la siguiente relación:

$C = \frac{\text{Suelo erosionado con una cobertura determinada}}{\text{cantidad de suelo erosionado en la parcela sin cobertura vegetal}}$

El valor más alto corresponde al terreno con 40 por ciento de pendiente y el tratamiento de coliflor (0.87), mientras que el valor más bajo corresponde al tratamiento de pasto (0.06) en el terreno con 25 por ciento de pendiente debido a que el desarrollo del mismo fue mayor.

Cuadro 24. Factor de manejo de cobertura de cultivo (factor C) para cada tratamiento en las dos pendientes evaluadas. (25 y 40 por ciento).

COBERTURA VEGETAL	25 POR CIENTO	40 POR CIENTO
PASTO	0.06	0.08
MAIZ	0.47	0.33
COLIFLOR	0.80	0.87

El valor del factor C indica que existe una relación inversamente proporcional entre la protección que el cultivo da al suelo y la cantidad de suelo erosionado; ya que, entre menor sea el valor del factor C, mayor es la protección que el cultivo brinda al suelo para reducir la escorrentía y por ende la erosión hídrica.

Al comparar los valores del factor C con el porcentaje de cobertura se observa que solo el valor del maíz para una pendiente de 40 por ciento es menor que el obtenido en 25 por ciento de pendiente, debido a los ataques de plagas que tuvo

dicho cultivo en su ciclo de desarrollo; caso similar sucede con la coliflor, donde los índices obtenidos son muy similares, debido a que también la coliflor estuvo sujeta a ataques de plagas como la taltuza (*Geomis hispidus* Hall). Para el caso de la cobertura de pasto, los resultados obtenidos, demuestran que, existiendo una cobertura bien establecida, la diferencia de pendiente tiene poco efecto en la cantidad de escorrentía superficial y suelo erosionado.

7.1.5. CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.

7.1.5.1. INTENSIDAD DE LA LLUVIA - ESCORRENTIA SUPERFICIAL, SUELO EROSIONADO.

La intensidad de la lluvia y la escorrentía superficial que esta genera, mantienen un coeficiente de correlación lineal de 0.86 y 0.71 para los sitios de 25 y 40 por ciento de pendiente respectivamente; mientras que los índices de correlación para la intensidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado, son de 0.92 y 0.80; lo que indica que mientras mayor sea la intensidad de lluvia, mayor será la cantidad de escorrentía que produce así como de suelo que se pierde por el efecto de dicha lluvia (figuras 12, 13, 14, 15).

7.1.5.2. ESCORRENTIA SUPERFICIAL - SUELO EROSIONADO.

La cantidad de escorrentía superficial y suelo erosionado guardan una relación muy estrecha, ya que los valores de correlación obtenidos fueron de 0.93 y 0.92 para los sitios con 25 y 40 por ciento de pendiente respectivamente, es decir, que mientras mayor sea la escorrentía generada en un área, mayor será la cantidad de suelo erosionado (figuras 16, 17).

7.1.5.3. PORCENTAJE DE COBERTURA - ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y SUELO EROSIONADO.

Entre los valores de porcentaje de cobertura y escorrentía superficial, se obtuvieron coeficientes de correlación de -0.92 y -0.95 para los sitios experimentales con 25 y 40 por ciento de pendiente respectivamente; así como para la correlación de porcentaje de cobertura y suelo erosionado los valores obtenidos son de -0.91 y -0.95 para 25 y 40 por ciento de pendiente; lo que indica que a mayor porcentaje de cobertura menor será la cantidad de escorrentía superficial y la cantidad de suelo erosionado; aumentando estos conforme disminuye el porcentaje de cobertura vegetal (figuras 18,19).

Con base a los resultados obtenidos, en el cuadro 25 se presentan los valores de intensidad, cantidad de suelo erosionado y cantidad de escorrentía que dan una idea de la relación entre las variables estudiadas.

Cuadro 25. Valores de intensidad de cuatro eventos y cantidad de suelo erosionado (ton/ha) y escorrentía superficial (m^3/ha) para una pendiente de 25 y 40 por ciento.

Lecturas	Intensidad (mm/hr)	Cantidad (mm)	Erosión 25 % (ton/ha)	Erosión 40 % (ton/ha)	Escorrentía 25 % (m^3/ha)	Escorrentía 40 % (m^3/h)
1	11.97	49.3	1.28	1.71	24.17	25.85
2	9.26	92.2	1.35	1.92	30.82	27.67
3	5.27	21.6	0.69	1.14	14.70	13.12
4	4.40	15.4	0.51	0.85	10.04	8.14

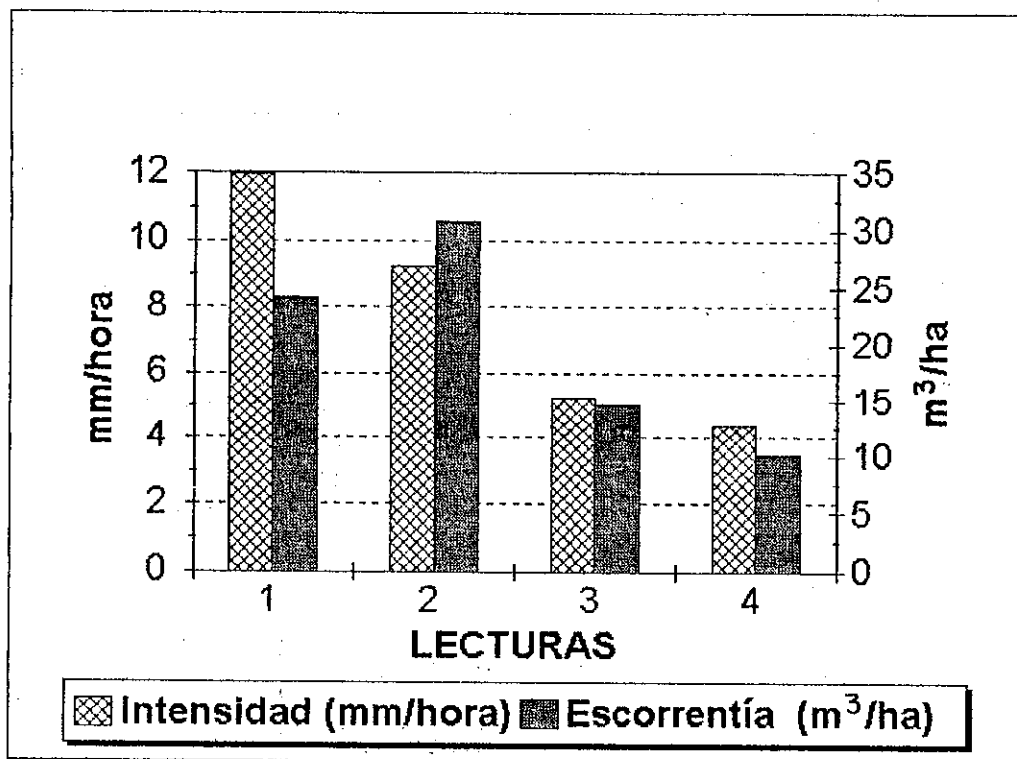


Figura 12. Relación entre la intensidad de lluvia y la escorrentía superficial para una pendiente de 25 por ciento.

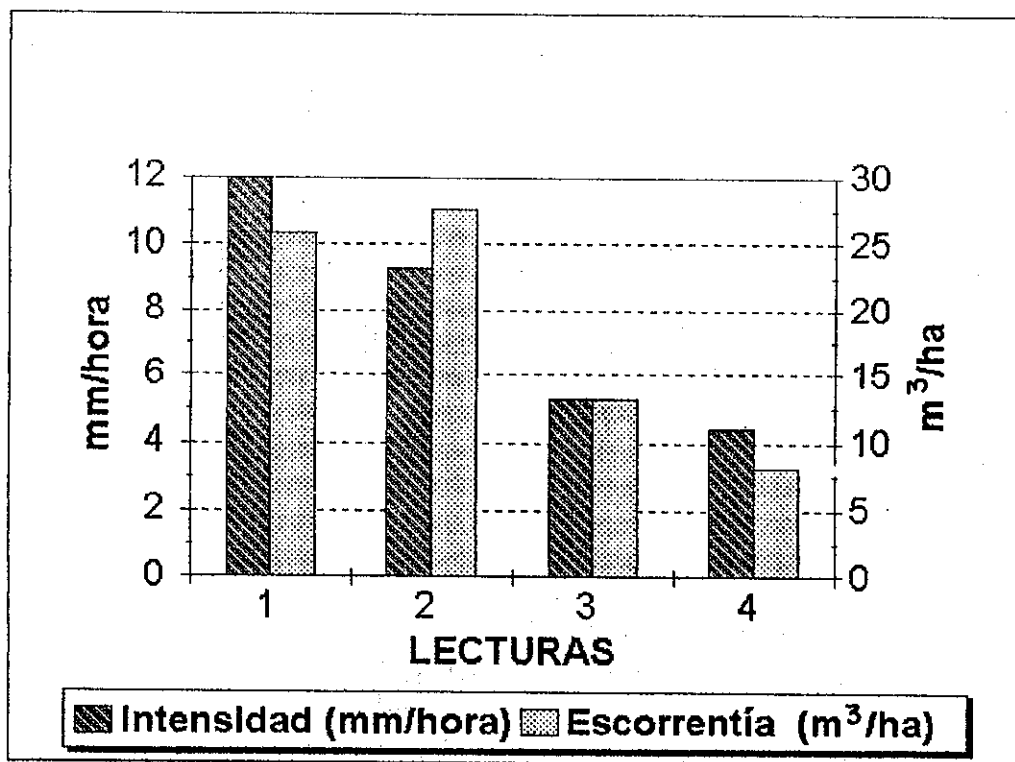


Figura 13. Relación entre la intensidad de lluvia y la escorrentía superficial para una pendiente de 40 por ciento.

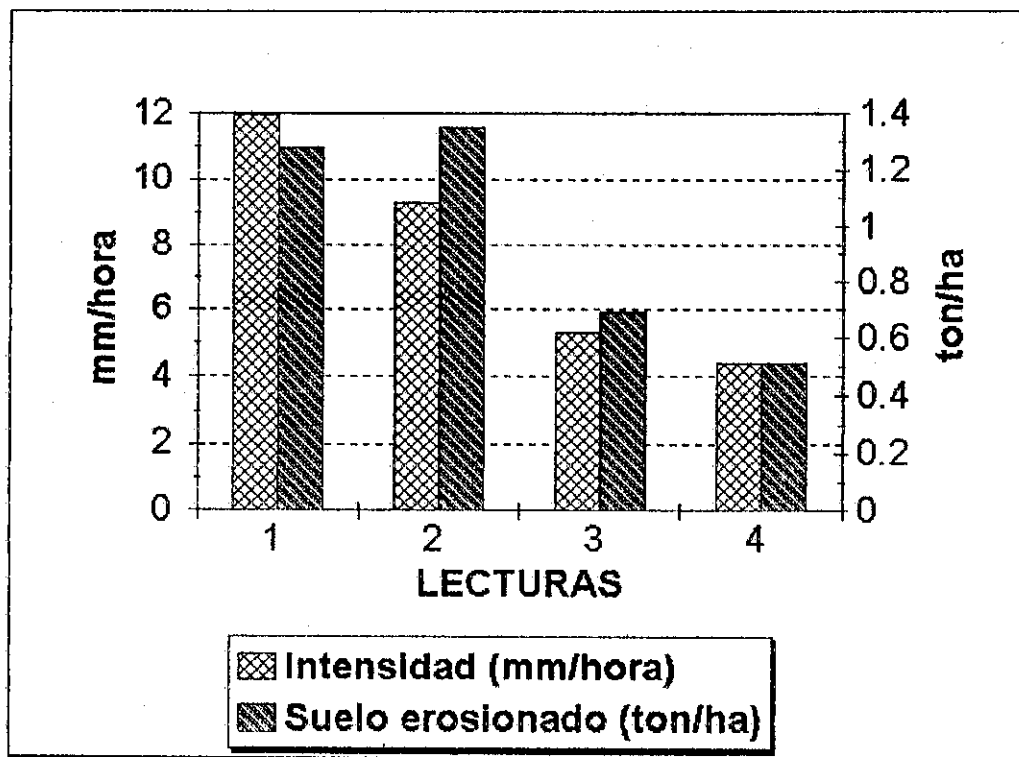


Figura 14. Relación entre la intensidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado para una pendiente de 25 por ciento.

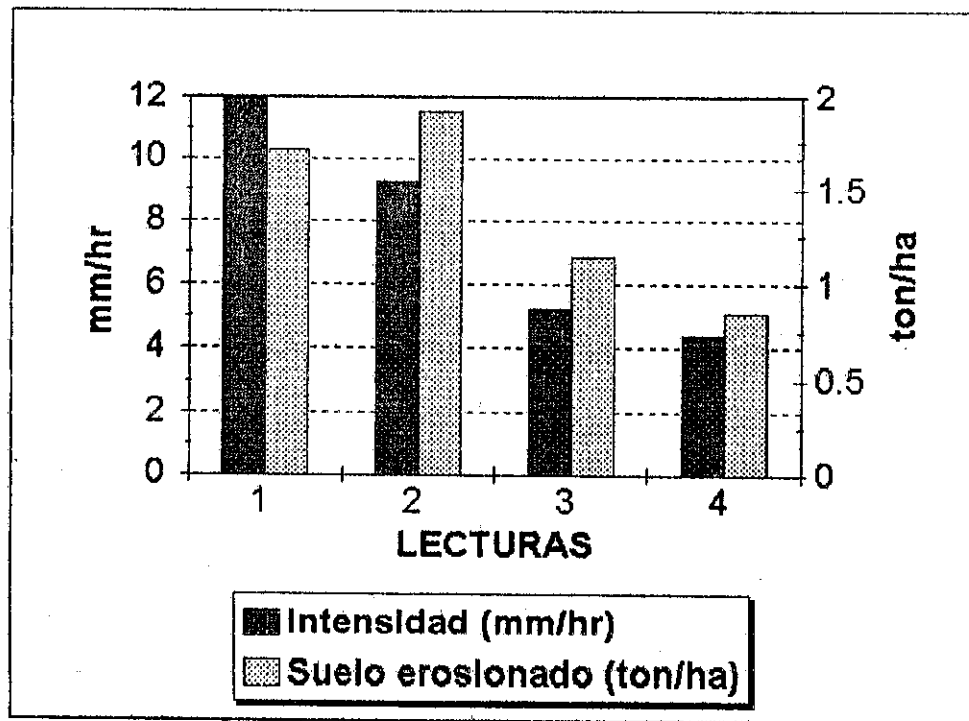


Figura 15. Relación entre la intensidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado para una pendiente de 40 por ciento.

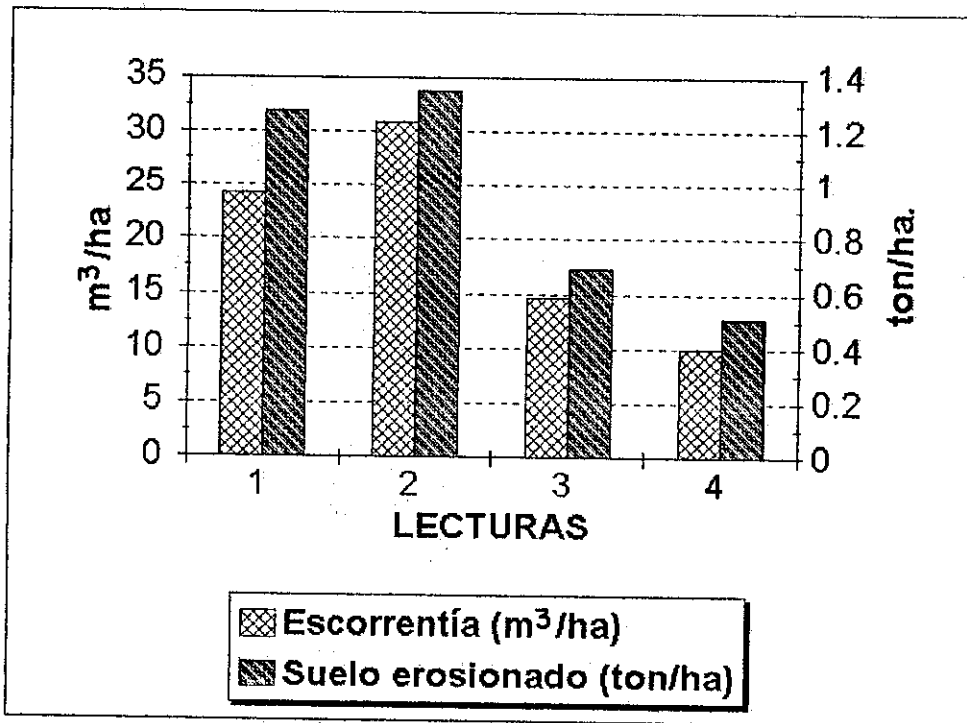


Figura 16. Relación entre la cantidad de escorrentía superficial y suelo erosionado par una pendiente de 25 por ciento.

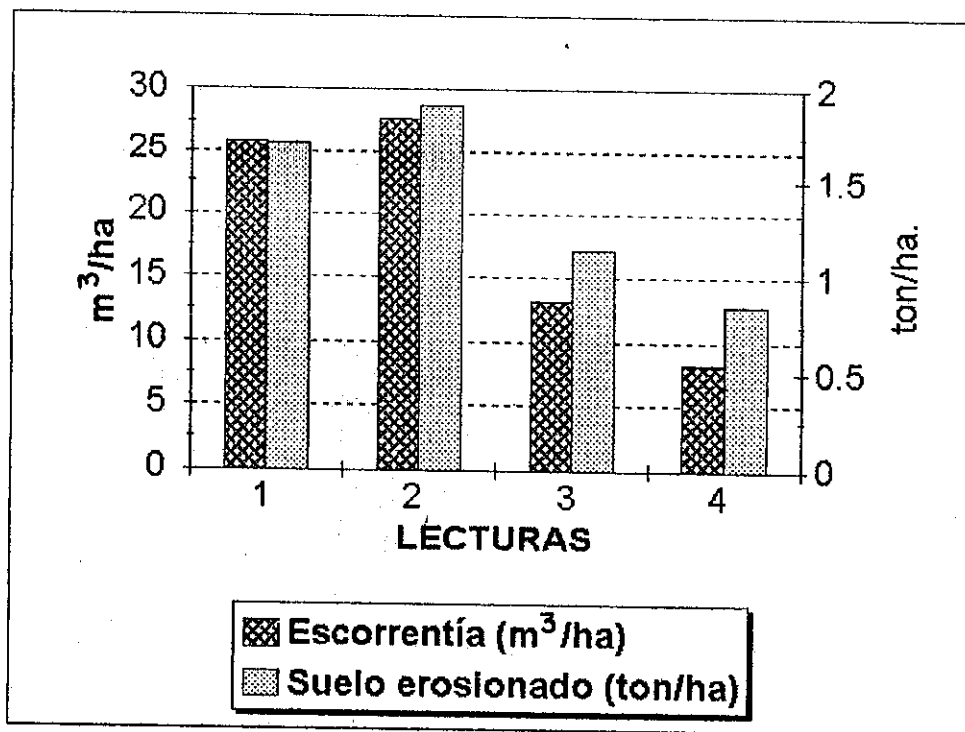


Figura 17. Relación entre la cantidad de escorrentía superficial y suelo erosionado par una pendiente de 40 por ciento.

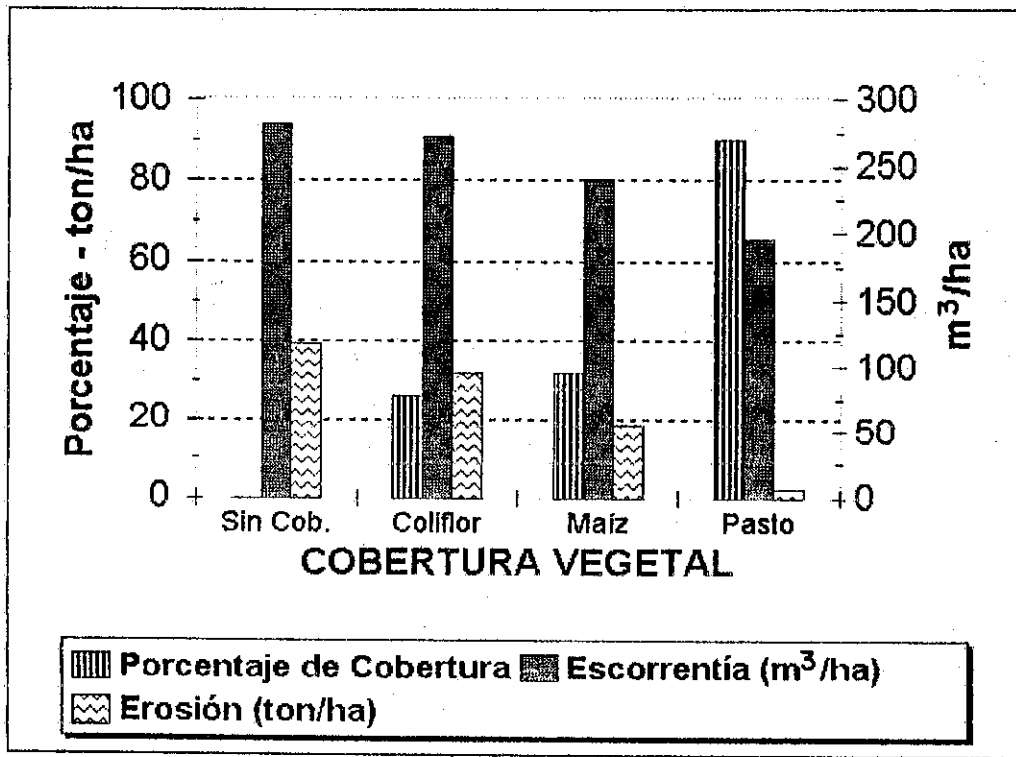


Figura 18. Relación entre porcentaje de cobertura de cultivo, cantidad de escorrentía superficial y de suelo erosionado para pendiente de 25 por ciento

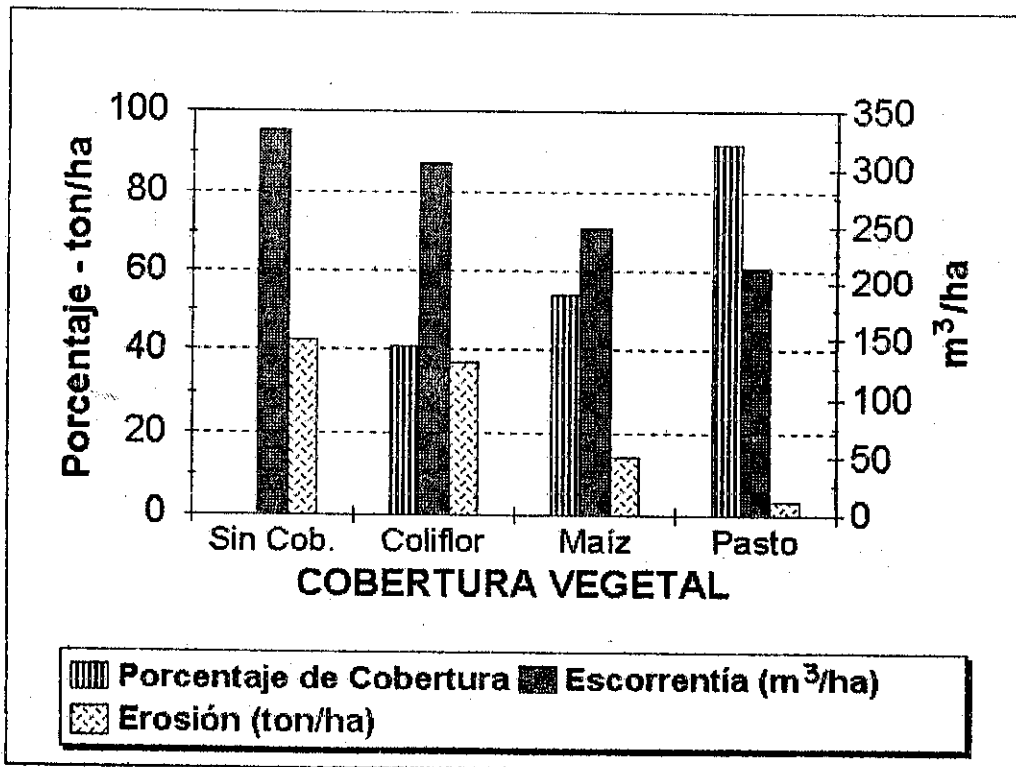


Figura 19. Relación entre porcentaje de cobertura de cultivo, cantidad de escorrentía superficial y de suelo erosionado para pendiente de 40 por ciento.

7.1.6. ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO POR EROSION HIDRICA (USLE)

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

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

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 26.

Cuadro 26. Valores de suelo erosionado (ton/ha-año) medidos por el método directo de parcelas de escorrentía y calculados por medio de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo por Erosión Hídrica (USLE).

COBERTURA VEGETAL	25 por ciento		40 por ciento	
	Método Directo	USLE	Método Directo	USLE
PASTO	2.23	9.56	3.22	22.03
COLIFLOR	31.63	127.48	36.69	239.60
MAIZ	18.37	74.90	14.19	90.88
SIN COB.	39.43	159.35	42.36	275.40

Los valores obtenidos por medio de la Ecuación Universal de Pérdidas de suelo por Erosión Hídrica (USLE), como se observa en el cuadro 26, no son similares a los obtenidos directamente en las parcelas de escorrentía; esto debido a que la USLE generalmente sobreestima los datos de erosión del suelo.

Esta sobreestimación de datos es debido al alto valor del factor de manejo de cobertura vegetal (factor C) que en estos casos es alto, especialmente para la cobertura de coliflor y de maíz que es donde se observa este aspecto. Otro factor a considerar es que se tomó un valor de uno (1) para el factor de prácticas de conservación de suelo (factor P), que no reduce en nada la cantidad de suelo erosionado. Esto indica la gran importancia que tiene el realizar como mínimo la práctica de conservación de suelos más sencilla que es la de sembrar en surcos en dirección perpendicular a la pendiente, aunque estos generalmente no sigan una curva a nivel.

7.2. INTEGRACION DE LAS EVALUACIONES DEL EFECTO DEL MANEJO DE COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE DEL TERRENO SOBRE LA EROSION DEL SUELO EN LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA REALIZADAS DE 1,994 A 1,996.

7.2.1. ESCORRENTIA.

7.2.1.1. PORCENTAJE DE ESCORRENTIA

El total de precipitación que hubo en los meses en que se realizaron los experimentos (junio a noviembre): para el año de 1,994, la precipitación fue de 1,144.34 mm con un volumen de agua llovida de 11,443.4 m³/ha, en 1,995, 1,184.72 mm con 11,847.2 m³/ha y en 1,996 fue de 1,027.51 mm con 10,275.1 m³/ha: estos datos se relacionaron con la cantidad de agua escurrida de las parcelas del experimento, expresando este valor como un porcentaje del total de lluvia caída en la parcela; los resultados se pueden observar en el cuadro 27.

Cuadro 27. Cantidad (m^3/ha) y porcentaje de escorrentía registrados para tres evaluaciones realizadas en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa.

COBERTURA VEGETAL	1,994				1,995				1,996			
	25 %		40 %		25 %		40 %		25 %		40 %	
	m^3/ha	Porcentaje	m^3/ha	Porcentaje	m^3/ha	Porcentaje	m^3/ha	Porcentaje	m^3/ha	Porcentaje	m^3/ha	Porcentaje
Maíz-Frijol	715	6.2	820	7.2								
Maíz					777	9.8	766	9.6	731	7.11	739	7.19
Coliflor	807	7.1	820	7.2	786	9.9	800	10	819	7.97	855	8.32
Pasto	526	4.6	548	4.8	650	8.2	635	7.9	617	6.0	627	6.10
Sin Cobert.	826	7.2	836	7.3	899	11	852	11	864	8.41	893	8.69

En el cuadro 27 se observa que los valores de escorrentía para el cultivo en asocio de maíz-frijol aparecen solo para el año de 1,994, debido a que la evaluación de ese tipo de cobertura se realizó en ese año. Para los siguientes años se evaluó el cultivo de maíz sin asocio y coliflor, porque son los cultivos que más siembran los agricultores de la parte alta de la microcuenca.

Los valores obtenidos son bajos; debido principalmente a que la textura del suelo de la parte alta de la microcuenca del río Itzapa es arenosa lo que permite una rápida infiltración del agua.

7.2.1.2. CANTIDAD DE ESCORRENTIA

Cuadro 28. Escorrentía superficial (m^3/ha) registrada en cada uno de los tratamientos evaluados en las parcelas de escorrentía con pendiente de 25 y 40 por ciento para la parte alta de la microcuenca del río Itzapa.

COBERTURA VEGETAL	1,994		1,995		1,996	
	25 %	40 %	25 %	40 %	25 %	40 %
MAIZ-FRIJOL	715.87	820.54				
MAIZ			777.13	766.27	730.57	739.22
COLIFLOR	807.47	820.59	786.37	800.13	819.18	855.32
PASTO	525.73	548.32	650.06	635.13	617.00	626.90
SIN COB. VEGETAL	826.40	836.28	899.8	852.13	864.16	892.79

En el cuadro 28 se muestra el volumen promedio de escorrentía superficial expresado en metros cúbicos por hectárea para los sitios experimentales con 25 y 40 por ciento de pendiente ubicados en la parte alta de la microcuenca. Se observa que de las coberturas vegetales evaluadas en la parte alta (no incluye el testigo), la cobertura de coliflor reportó el mayor volumen de escorrentía (con valores para el año de 1,994 de 807.47 y 820.59 m^3/ha , el año de 1,995, los valores fueron de 786.37 y 800.13 m^3/ha y en 1,996 de 819.18 y 855.32 m^3/ha para pendiente de 25 y 40 por ciento respectivamente; estos valores se deben principalmente a que las fechas en que los agricultores del área siembran el cultivo, coinciden con la época en que las lluvias tienen mayor intensidad y por lo tanto, el volumen de escorrentía aumenta (se hacen los semilleros en el mes de abril y se trasplanta a campo definitivo a inicios del mes de junio); mientras que, el menor valor se presentó en la cobertura de pasto, debido principalmente a que presenta el mayor porcentaje de cobertura vegetal y de esa manera disminuye la cantidad de escorrentía superficial. Se puede observar lo anteriormente indicado en las figuras 20 y 21.

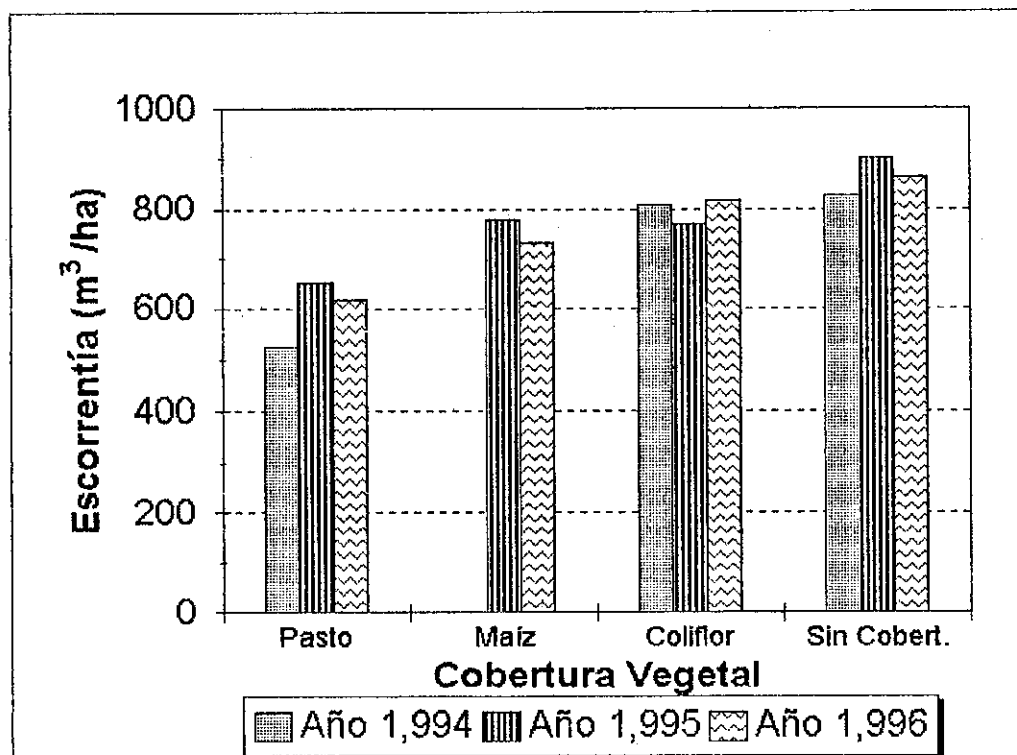


Figura 20. Escorrentía superficial observada en cada tipo de cobertura vegetal durante 3 años de investigación en pendiente de 25 por ciento en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa.

Sobre la base de los diferentes Análisis de Varianza realizados a los datos obtenidos, hubo una diferencia significativa entre tratamientos; se realizó la prueba de medias de Túkey; cuyos resultados se muestran en el cuadro 29.

Cuadro 29. Prueba de Túkey para la cantidad promedio de escorrentía superficial en los sitios experimentales con 25 y 40 por ciento de pendiente en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa.

COBERTURA VEGETAL	1,994				1,995				1,996			
	25 %		40 %		25 %		40 %		25 %		40 %	
	m³/ha	Túkey	m³/ha	Túkey	m³/ha	Túkey	m³/ha	Túkey	m³/ha	Túkey	m³/ha	Túkey
Maíz-Frijol	715	a	820	a	777	a	766	a	731	ab	739	a
Maíz												
Coliflor	807	a	821	a	786	a	800	a	819	a	855	ab
Pasto	526	b	548	b	650	b	635	b	617	b	627	b
Sin Cobert.	826	a	836	a	899	a	852	a	864	a	893	a

En el cuadro 29 se observa que en las investigaciones realizadas; para los años de 1,994 y 1,995, las diferentes coberturas presentan un grado similar de reducción de la escorrentía, pudiendo compararse estadísticamente la cobertura de coliflor con el testigo absoluto; siendo el pasto el único tratamiento que reduce grandemente la escorrentía, considerándose estadísticamente diferente a los demás tipos de cobertura.

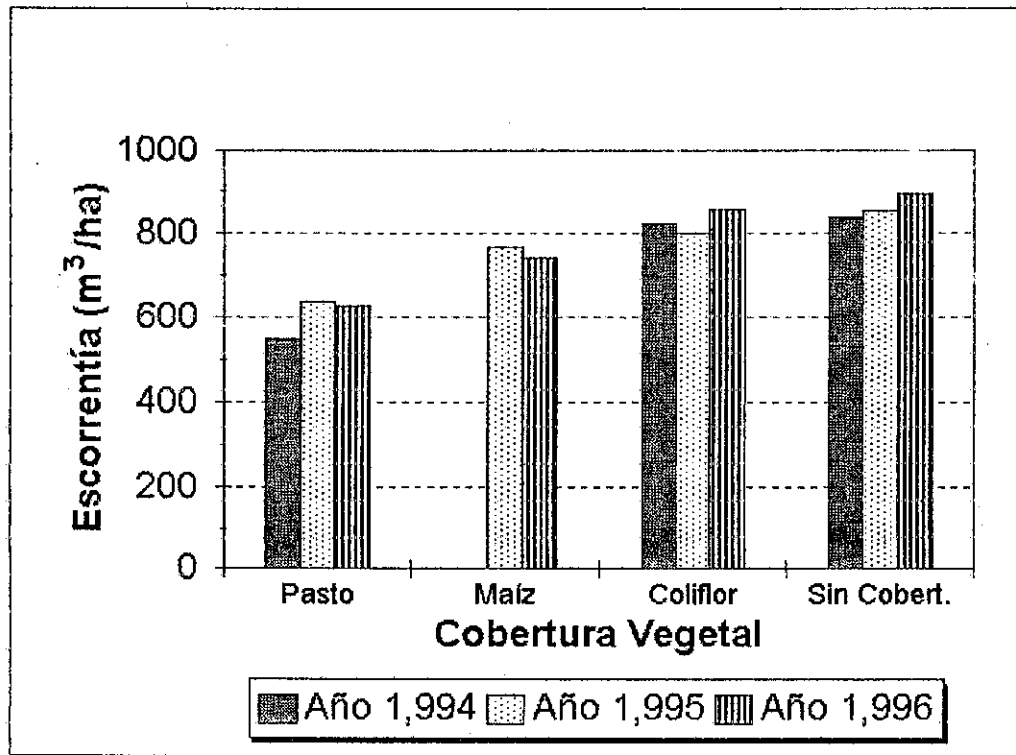


Figura 21. Escorrentía superficial observada en cada tipo de cobertura vegetal durante 3 años de investigación en pendiente de 40 por ciento en la microcuenca del río Itzapa.

7.2.2. CANTIDAD DE SUELO EROSIONADO.

En el cuadro 30 así como en las figuras 22 y 23; se observa la cantidad de suelo erosionado por efecto de las lluvias que causaron arrastre de partículas en los sitios experimentales de la parte alta de la microcuenca del río Itzapa (25 y 40 por ciento de pendiente) durante 3 ciclos de evaluación. La cobertura vegetal de pasto presentó el valor más bajo de suelo erosionado, con valores para el año de 1,994, 7.03 y 5.59 ton/ha-año; en 1,995, 4.28 y 4.31 ton/ha-año y en 1,996, 2.23 y 3.22 ton/ha-año para pendientes de 25 y 40 por ciento respectivamente. La tasa de erosión observada en la cobertura de maíz con respecto al pasto para el año 1,994, las relaciones fueron de 4:1 y 6.23:1; en el año 1,995 de 4.38:1 y 5.52:1; y el año de 1,996 de 8.23:1 y 4.40:1 para pendientes de 25 y 40 por ciento respectivamente. La cobertura de coliflor, con una relación para el año de 1,994 de 6.34 y 11.81; en 1,995 de 9.30 y 7.84; y en el año de 1,996, de 14.18:1 y 11.40; para pendientes de 25 y 40 por ciento respectivamente; esto datos con relación al pasto, es decir que por cada unidad de suelo que se erosiona en la parcela de pasto se pierden 14.18 y 11.40 unidades en la de coliflor. Esto indica que el pasto es el que ofrece la mayor protección al suelo contra la erosión.

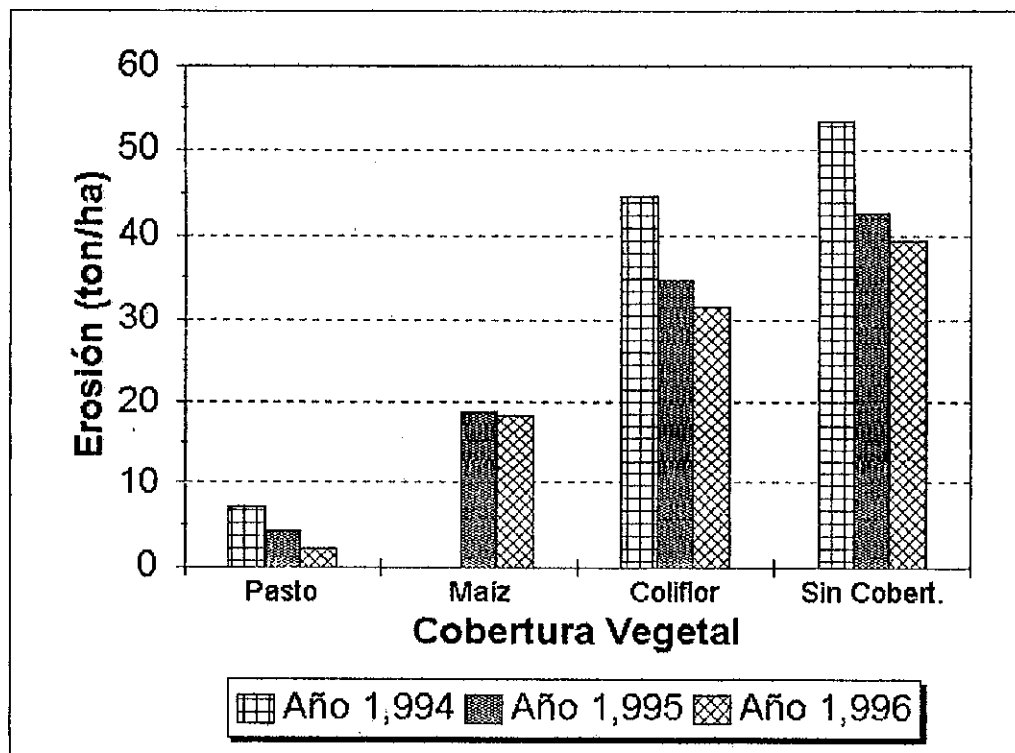


Figura 22. Suelo erosionado observado en cada tipo de cobertura vegetal para una pendiente de 25 por ciento durante 3 años de investigación en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa.

Cuadro 30. Cantidad de suelo erosionado (ton/ha-año) registrada en cada uno de los tratamientos evaluados en las parcelas de escorrentía con pendiente de 25 y 40 por ciento en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa.

COBERTURA VEGETAL	1,994		1,995		1,996	
	25 %	40 %	25 %	40 %	25 %	40 %
MAIZ-FRIJOL	27.45	34.84				
MAIZ			18.76	23.81	18.37	14.19
COLIFLOR	44.59	66.04	34.74	33.81	31.63	36.69
PASTO	7.027	5.59	4.28	4.31	2.23	3.22
SIN COB. VEGETAL	53.34	84.99	42.50	64.02	39.43	42.36

Debido a que en los diferentes Análisis de Varianza realizados a los datos obtenidos, hubo una diferencia significativa entre tratamientos; se realizó la prueba de medias de Túkey; cuyos resultados se muestran en el cuadro 31.

Cuadro 31. Prueba de Túkey para la cantidad promedio de suelo erosionado en los sitios experimentales con 25 y 40 por ciento de pendiente durante 3 años de investigación en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa.

COBERTURA VEGETAL	1,994		1,995		1,996	
	25 %	40 %	25 %	40 %	25 %	40 %
	Ton/ha	Túkey	Ton/ha	Túkey	Ton/ha	Túkey
MAIZ-FRIJOL	27.4	A	34.8	b		
MAIZ					18.4	c
COLIFLOR	44.6	A	66.0	a	31.7	b
PASTO	7.03	B	5.59	c	2.23	d
SIN COBERT. VEGETAL	53.3	A	85.0	a	39.4	a

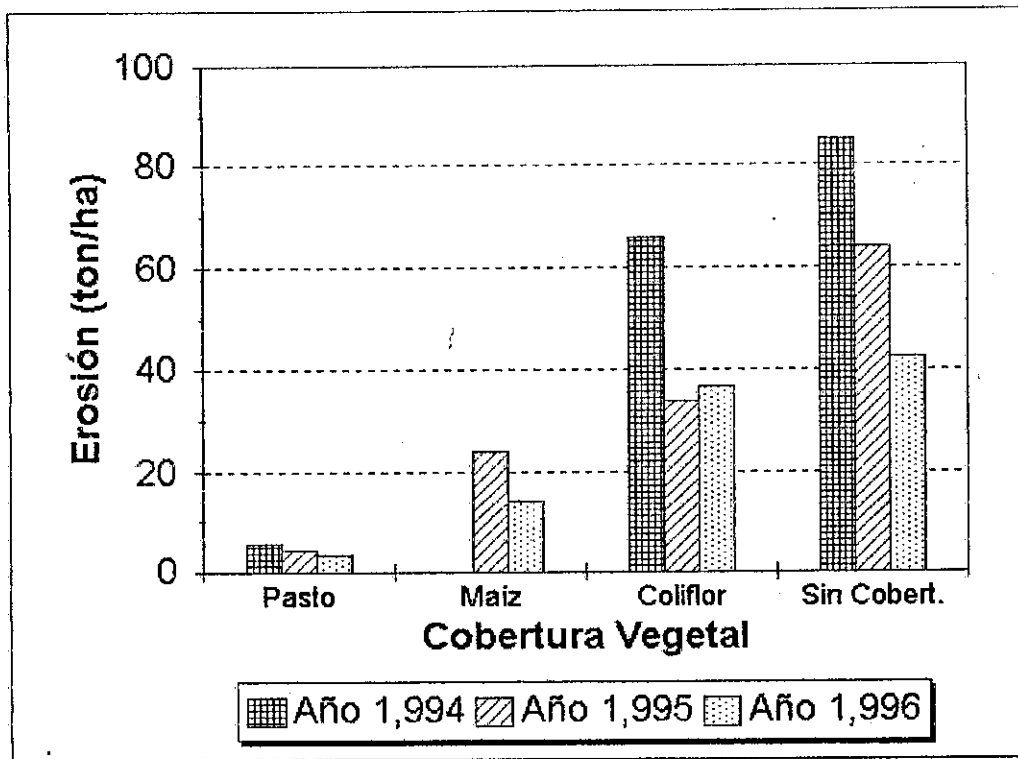


Figura 23. Suelo erosionado observado en cada tipo de cobertura vegetal para una pendiente de 40 por ciento durante 3 años de investigación en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa.

En el cuadro 31 se observa que las coberturas vegetales evaluadas en la parte alta de la microcuenca, son diferentes entre sí, la que menor protección le da al suelo contra el proceso erosivo provocado por la lluvia es la de coliflor, seguida de maíz y la cobertura que reduce grandemente la erosión es la de pasto; es de hacer notar que la cobertura de maíz (en la evaluación de 1,996), hubiera sido más efectiva en la protección del suelo en la pendiente de 25 por ciento, pero hubo un ataque de taltuza (*Geomys hispidus* Hall) que produjo grandes daños al cultivo por lo que no se obtuvieron los resultados esperados, incluso, la cantidad de suelo erosionado en el cultivo de maíz con 25 por ciento de pendiente, fue mayor que la obtenida en la misma cobertura con 40 por ciento de pendiente, esto confirma lo anteriormente indicado.

Con la cobertura de coliflor el problema se da porque su siembra es tardía (primera quincena de Junio) y cuando suceden los aguaceros de inicio de época lluviosa, este cultivo no ha alcanzado su máximo desarrollo, dejando al suelo sin cobertura vegetal que lo proteja, aumentando así la cantidad de suelo erosionado.

7.2.3. FACTOR DE MANEJO Y COBERTURA VEGETAL (Factor C).

Este factor se determinó tomando en cuenta la siguiente relación:

$C = \text{Suelo erosionado con una cobertura determinada} / \text{suelo erosionado en la parcela sin cobertura vegetal.}$

El valor más alto obtenido (cuadro 32) correspondió a la cobertura de coliflor, con valores desde 0.53 hasta 0.84, y los valores mas bajos correspondieron a la cobertura de pasto que en todas las evaluaciones dio un valor cercano a 0.1 (figuras 24 y 25).

Cuadro 32. Factor C para cada tratamiento en las dos pendientes evaluadas (25 y 40 por ciento) para la parte alta de la microcuenca del Río Itzapa.

COBERTURA VEGETAL	1994		1995		1996	
	25 %	40 %	25 %	40 %	25 %	40 %
MAIZ-FRIJOL	0.51	0.41				
MAIZ			0.44	0.37	0.47	0.33
COLIFLOR	0.84	0.78	0.82	0.53	0.80	0.87
PASTO	0.13	0.07	0.10	0.07	0.06	0.08

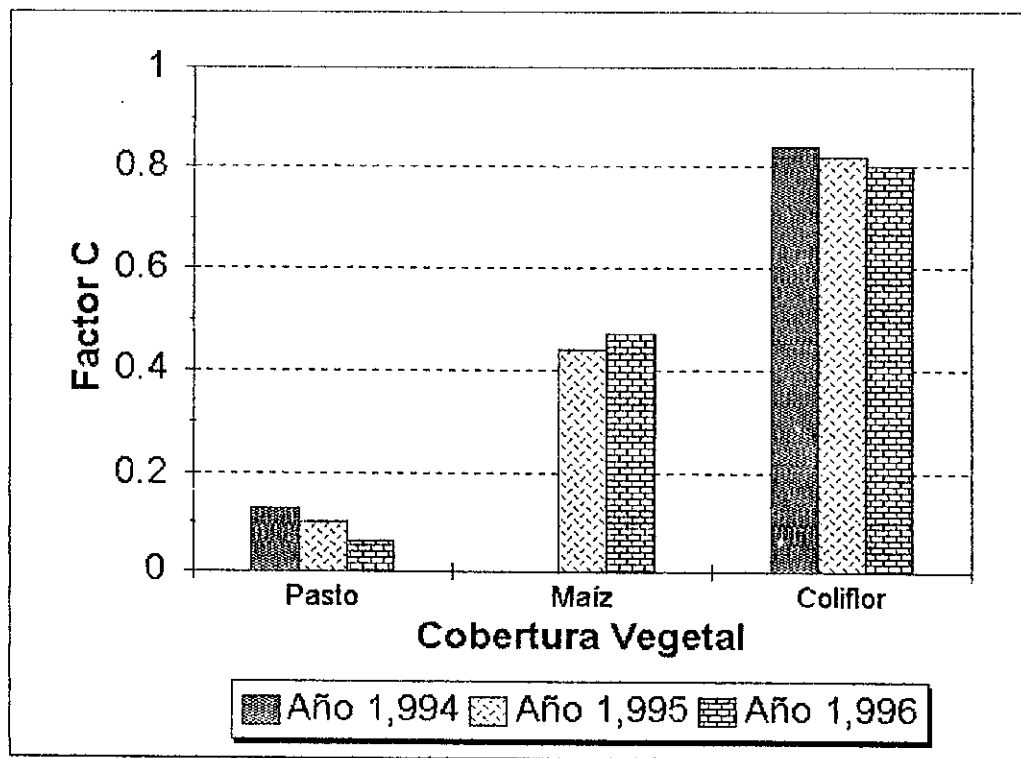


Figura 24. Valores de factor de manejo de cobertura vegetal (Factor C) obtenidos en las diferentes coberturas vegetales evaluadas durante 3 años en una pendiente de 25 por ciento en la parte alta de la microcuenca del río Itzapa.

El valor del factor C indica que existe una relación inversamente proporcional entre el coeficiente de protección al suelo por el cultivo y la cantidad de suelo erosionado; es decir, a menor valor de factor C, mayor protección brinda el cultivo al suelo para reducir la escorrentía y por ende la erosión hídrica.

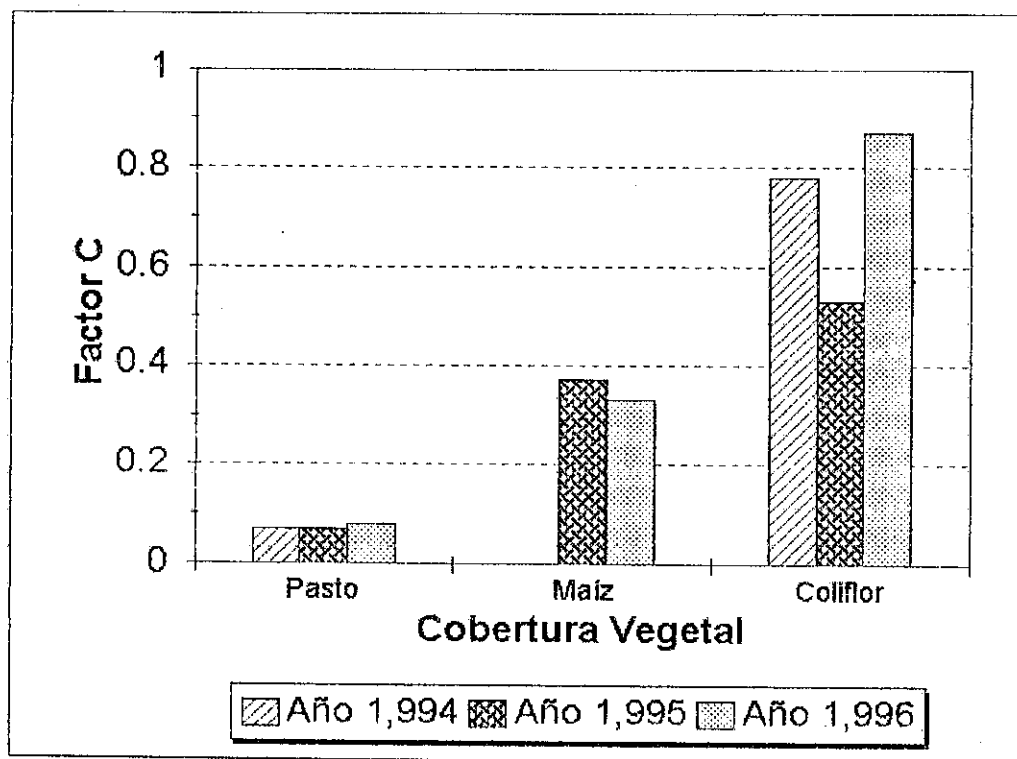


Figura 25. Valores del factor de manejo de cobertura vegetal (factor C) obtenidos en las diferentes coberturas vegetales evaluadas durante 3 años de investigación en una pendiente de 40 por ciento en la microcuenca del río Itzapa.

7.2.4. CORRELACIONES DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.

7.2.4.1. INTENSIDAD DE LA LLUVIA - ESCORRENTIA SUPERFICIAL, SUELO EROSIONADO.

La intensidad de la lluvia y la escorrentía superficial que esta genera, tienen un coeficiente de correlación lineal de 0.94 para ambas pendientes en el año de 1,994; en 1,995 los coeficientes son de 0.72 y 0.78 y en 1,996 de 0.86 y 0.71 para los sitios con 25 y 40 por ciento de pendiente respectivamente; mientras que los coeficientes de correlación para la intensidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado, son de 0.97 y 0.71 en ambas pendientes para los años de 1,994 y 1,995 respectivamente; y para 1,996 fueron de 0.92 y 0.80 para pendiente de 25 y 40 por ciento respectivamente: lo que indica que mientras mayor sea la intensidad de lluvia, mayor será la cantidad de escorrentía que produce así como de suelo que se pierde por el efecto de dicha lluvia.

7.2.4.2. ESCORRENTIA SUPERFICIAL - SUELO EROSIONADO.

La cantidad de escorrentía superficial y suelo erosionado guardan una relación muy estrecha, ya que los valores de coeficientes de correlación obtenidos fueron 0.98 y 0.83 para 1,994, en 1,996 de 0.93 y 0.92 para pendientes de 25 y 40 por ciento respectivamente, es decir, que mientras mayor sea la escorrentía generada en un área, mayor será la cantidad de suelo erosionado.

7.2.4.3. PORCENTAJE DE COBERTURA - ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y SUELO EROSIONADO.

Para el año de 1,994 el coeficiente obtenido al correlacionar los valores de porcentaje de cobertura y escorrentía superficial fueron de -0.94 y -0.79; en 1,995 de -0.54 y -0.61 y en 1,996 de -0.92 y -0.95 para pendientes de 25 y 40 por ciento respectivamente; mientras que los coeficientes obtenidos al correlacionar el porcentaje de cobertura y cantidad de suelo erosionado fueron de -0.98 y -0.99 para 1,994; en 1,995 de -0.74 y -0.77 y en 1,996 de -0.91 y -0.95 para pendiente de 25 y 40 por ciento respectivamente.

Estos coeficientes indican que mientras mayor cobertura vegetal haya sobre el suelo, menor será la cantidad de escorrentía superficial y la cantidad de suelo erosionado; aumentando estos conforme disminuye el porcentaje de cobertura vegetal.

7.2.5. ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO POR EROSION HIDRICA (USLE).

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

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

Los resultados obtenidos fueron se observan en el cuadro 33 y en las figuras 26 y 27.

Cuadro 33. Valores de suelo erosionado (ton/ha-año) medidos por el método directo de parcelas de escorrentía y calculados por medio de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo por Erosión Hídrica en los sitios experimentales (25 y 40 por ciento de pendiente) de la parte alta de la microcuenca del Río Itzapa.

COBER. VEGET.	1,994				1,995				1,996			
	25 %		40 %		25 %		40 %		25 %		40 %	
	OBSER	USLE	OBSER	USLE	OBSER	USLE	OBSER	USLE	OBSER	USLE	OBSER	USLE
Maíz- Frijol	27.45	65.57	34.84	91.09								
Maíz					18.76	59.32	23.81	86.20	18.37	74.90	14.18	90.88
Coliflor	44.59	107.99	66.04	173.3	34.74	110.5	33.81	123.5	31.63	127.5	36.69	239.60
Pasto	7.03	16.71	5.59	15.55	4.28	13.48	4.31	16.31	2.23	9.56	3.22	22.03

Los valores obtenidos por medio de la Ecuación Universal de Pérdidas de suelo por Erosión Hídrica, como se observa en el cuadro 33, son diferentes a los obtenidos directamente en las parcelas de escorrentía; esto debido a que la ecuación USLE tiende a sobreestimar generalmente los valores de erosión de los suelos. Esto es debido a que el valor del factor de manejo de cobertura vegetal es alto, principalmente para la cobertura de coliflor y maíz que es donde se da la mayor variación entre los valores observados y calculados. Otro factor a considerar es el de prácticas de conservación de suelos, que en este caso se dio un valor de uno (1), que es el máximo, debido a que no hay un valor específico para considerar la práctica más común que es la de sembrar surcos en contra de la pendiente. Por último el factor topográfico (factor LS) que en las parcelas fue bastante alto, debido a la alta pendiente en la cual se hizo la evaluación.

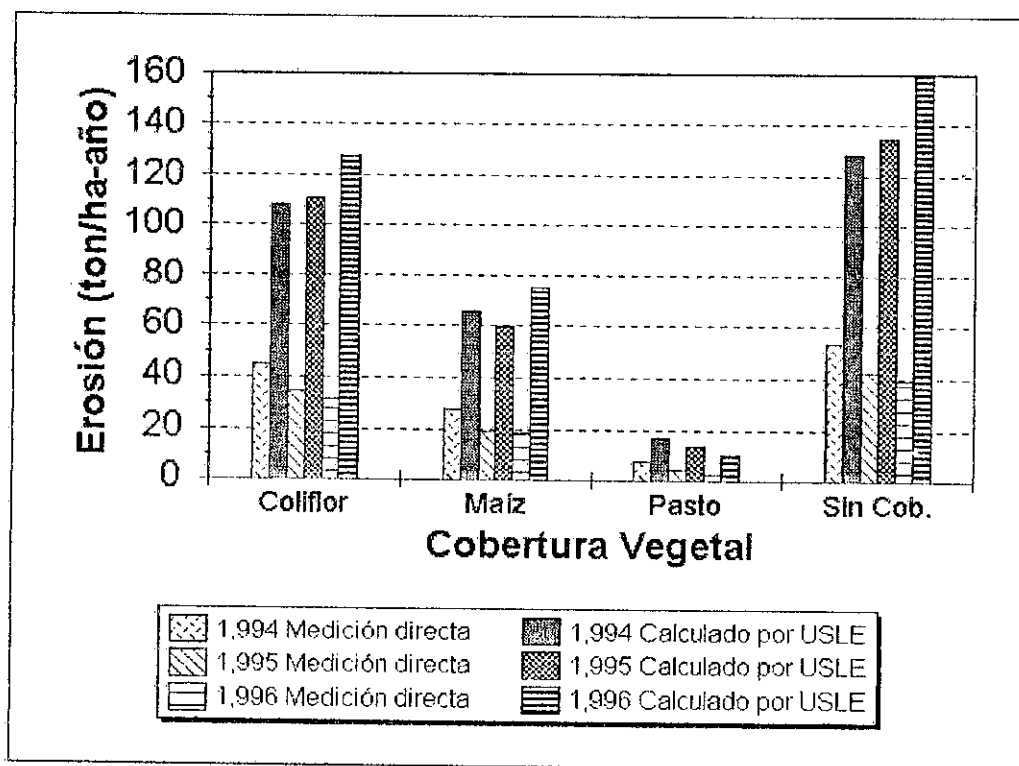


Figura 26. Comparación de los valores de erosión hídrica obtenidos mediante experimentación con parcelas de escorrentía con pendiente de 25 por ciento y los cálculos obtenidos al utilizar la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE).

7.3. DETERMINACION DE EROSION DE LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA POR LA METODOLOGIA USLE.

7.3.1. FACTOR DE EROSIDAD DE LLUVIAS (FACTOR R).

El factor R de la microcuenca del río Itzapa: está calculado a partir de dos estaciones meteorológicas, estación Chicazanga (con tres años de registro) y estación La Alameda (con dos años de registro); cuya área de influencia se muestra en la figura 4, y en el cuadro 34 se presentan los valores de factor R (Megajoule – milímetro por hectárea – hora-año; Mj-mm/ha-hora-año) considerados en el presente estudio.

Cuadro 34. Valores del factor de erosividad de las lluvias (factor R) por estación meteorológica. Microcuenca del río Itzapa.

Estación Meteorológica	Area (km ²)	Porcentaje de Area	Factor R
San Andrés Itzapa	1.36	5.13	-----
La Alameda	7.85	29.53	2554.49
Chicazanga	17.37	65.34	2427.38

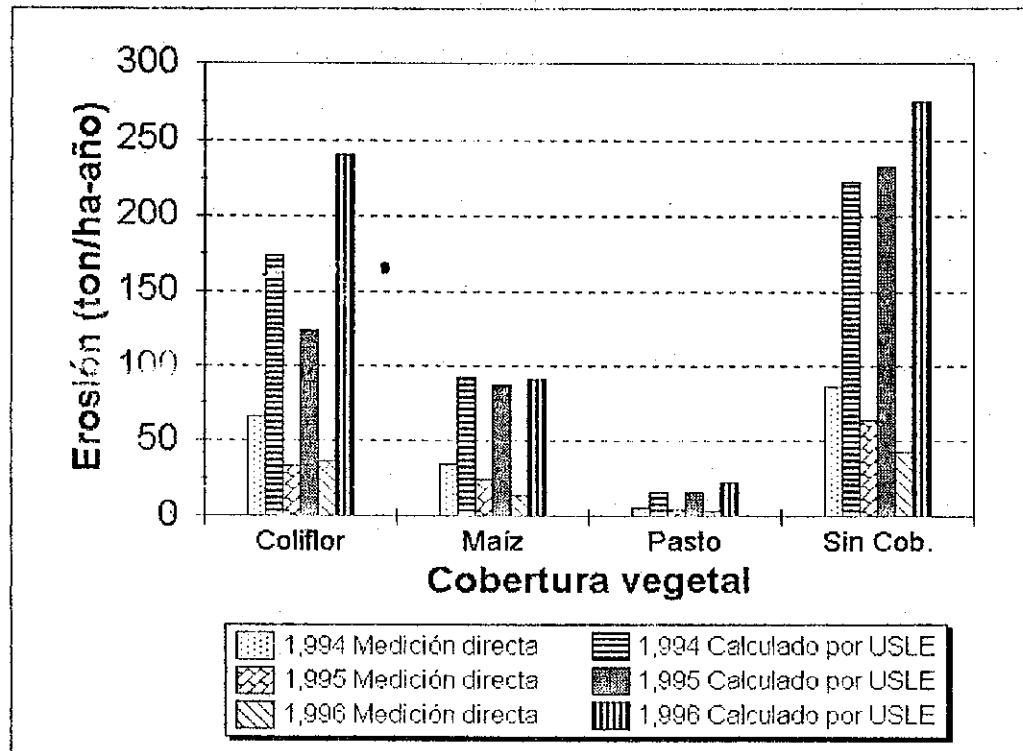


Figura 27. Comparación de los valores de erosión hídrica obtenidos mediante experimentación con parcelas de escorrentía con pendiente de 40 por ciento y los cálculos obtenidos al utilizar la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE).

Como se observa en el cuadro 34, las diferencias entre el valor de una estación y otra no son tan marcadas; debido a que el área de estudio es relativamente pequeña y no hay tanta variación en el elemento meteorológico de precipitación. Sin embargo, es de hacer notar que la mayor cantidad de área de la microcuenca está dentro del área de influencia de la estación Chicazanga, que es propiedad del Proyecto de Investigación Básica de las Cuenca del Río Itzapa (30), por lo que los datos se obtuvieron con mayor confiabilidad, con tres años de registro. La estación La Alameda es propiedad del INSIVUMEH; por lo que los datos no tienen la continuidad necesaria para estos estudios y por ese motivo solo se consideraron dos años de registro.

7.3.2. FACTORES DE ERODABILIDAD (FACTOR K), Y DE LONGITUD Y GRADO DE PENDIENTE (FACTOR LS).

En el cuadro 35 y en la figura 3 se observan las diferentes unidades taxonómicas de suelos con su respectiva área y el porcentaje que estas abarcan dentro de la microcuenca del río Itzapa; además se dan los valores del factor K y LS; los cuáles fueron calculados sobre el mapa de clasificación taxonómica de suelos para cada unidad cartográfica de la microcuenca del río Itzapa.

En el cuadro 35 se presentaron los valores de factor de erodabilidad (factor K), como se puede observar, son valores que se encuentran dentro de lo normal, por lo que se puede deducir que la erosión hídrica del suelo, se debe mas a otros factores tales como el de erosividad de las lluvias (factor R) y el factor topográfico (factor LS); el cual se puede observar en este mismo cuadro, que llega a valores tan altos como 12; lo que indica un alto grado de pendiente de gran cantidad de suelos de la microcuenca del río Itzapa; lo que hace que el proceso erosivo llegue a valores demasiado altos que rebasen el nivel de tolerancia de erosión de dichos suelos.

Cuadro 35. Valores de factor de erosividad del suelo (factor K) y de factor de pendiente (factor LS) por unidad taxonómica de suelo.

Unidad Taxonómica de Suelo	Area (km ²)	Porcentaje de Area	Factor K (T-ha-hora/ha-Mj-mm)	Pendiente Ponderada	Factor LS
San Andrés Itzapa.	1.35	5.13	-----	-----	-----
Thaptic udivitrands.	2.052	7.72	0.0169	19.6	3.4218
Alfic haplustands.	1.386	5.22	0.0169	7.5	0.9917
Vitric haplustands.	0.493	1.85	0.0136	17.4	2.9680
Dystric haplustands y Vitric haplustands.	0.425	1.6	0.0169	26.1	4.7372
Andic troporthents.	1.701	6.4	0.0234	29.7	5.4723
Vitrandic udorthents.	1.042	3.92	0.0149	32.8	6.0714
Alfic udivitrands.	0.636	2.39	0.0169	2.1	0.2802
Vitric hapludands.	0.456	1.72	0.026	34.7	6.4057
Humic hapludands y Vitric hapludands.	5.400	20.31	0.0143	31.9	5.8842
Humic Hapludands.	2.53	9.51	0.0143	20.4	3.5765
Andic eutropepts y Humic hapludands.	2.566	9.65	0.0182	34.7	6.4165
Typic fragiudalfs.	1.088	4.09	0.0176	32.4	5.9739
Udic haplustalfs.	0.313	1.18	0.0143	16.4	2.7599
Thaptic udivitrands y Vitric hapludands.	0.453	1.70	0.0169	13.6	2.1825
Thaptic udivitrands.	3.331	12.53	0.0176	5.3	0.6950
Vitric hapludands.	0.561	2.11	0.0104	14.2	2.2950
Vitric hapludands.	0.604	2.27	0.0169	4.2	0.5495
Andic troporthents.	0.183	0.70	0.0208	5.7	0.7544

7.3.3. FACTOR DE MANEJO DE COBERTURA VEGETAL (Factor C).

Para la obtención de este valor, el trabajo se basó en el mapa de uso actual de la tierra de la microcuenca del río Itzapa (figura 4) y a cada tipo de cobertura vegetal se le estimó un valor de dicho coeficiente; los cuales se presentan en el cuadro 36.

Cuadro 36. Valores de factor de manejo de cobertura vegetal (factor C).

Cobertura Vegetal.	Area (Km ²).	Porcentaje.	Factor C.
San Andrés Itzapa.	1.365	5.13	-----
Praderas no mejoradas y cultivos anuales.	2.62	12.62	0.22
Bosque latifoliar denso.	4.102	15.42	0.08
Bosque latifoliar abierto.	.245	0.92	0.08
Bosque latifoliar disperso.	1.029	3.87	0.08
Bosque latifoliar disperso, horticultura y cultivos anuales.	0.658	2.48	0.44
Bosque mixto bajo.	3.075	11.57	0.08
Bosque de coníferas denso.	0.628	2.36	0.08
Bosque de coníferas abierto	4.984	18.75	0.08
Bosque abierto de coníferas y café.	0.070	0.28	0.08
Bosque mixto abierto.	0.385	1.43	0.08
Horticultura, cultivos anuales y centro poblado rural.	0.134	0.51	0.36
Horticultura, cultivos anuales y centro poblado rural.	0.898	3.38	0.51
Horticultura, cultivos anuales y praderas.	5.928	22.30	0.27
Cultivos permanentes.	0.594	2.24	0.07
Cultivos anuales y permanentes.	0.210	0.79	0.07
Cultivos anuales.	0.210	0.79	0.40
Cultivos anuales y horticultura.	0.874	3.29	0.83
Bosque de coníferas y cultivos anuales	0.499	1.88	0.4

La gran diversidad de tipos de cobertura vegetal en los suelos de la microcuenca del río Itzapa; se debe a la gran presión de uso que hay sobre este recurso. Los valores asignados a las diferentes unidades varían de acuerdo a su posición dentro de la microcuenca; es decir, para áreas situadas en la parte alta de la microcuenca cuyo uso es de hortalizas (coliflor); pasto o cultivos anuales (maíz); se utilizaron los valores obtenidos en investigaciones realizadas en la microcuenca. Con los valores de cultivos anuales (maíz-frijol) y hortalizas (brócoli) en la parte media y baja de la microcuenca se tomaron los valores generados en investigaciones realizadas en la parte media de la microcuenca. Para los valores de bosque y cultivos perennes tales como café, se tomaron los valores dados por González (8); y en áreas con dos o mas tipos de coberturas, se hizo un promedio de los índices de cada tipo de cobertura nombrada.

Como se observa; los valores del factor C son bastante bajos; a excepción de cultivos anuales en la parte alta de la microcuenca (0.80); es decir que con el uso actual que tiene el suelo, son otros los valores que dan medianas a altas tasas de erosión tales como el de erosividad de las lluvias (factor R) y factor topográfico (factor LS).

7.3.4. VALOR DE EROSION EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA POR LA METODOLOGIA USLE.

Con los valores de los factores numerados anteriormente; se procedió a hacer la clasificación cruzada por medio del módulo CROSS-TAB del programa IDRISI. El resultado son los mapas que se presentan en la figuras 28 y 29, y cuyos datos principales se resumen en el cuadro 37.

Cuadro 37. Rangos de erosión, obtenidos a través de la metodología USLE.

Rango de Erosión (ton/ha-año)	Area (Km2)	Porcentaje de Area
San Andrés Itzapa.	1.36	5.13
0 - 4	3.003	11.30
4 - 8	1.014	3.81
8 - 16	5.640	21.23
16 - 32	10.55	39.70
32 - 48	0.368	1.38
> 48	4.63	17.43

Como se observa en el cuadro 37; hay un 58.52 por ciento de área de la microcuenca del río Itzapa con tasas de erosión de 16 ton/ha-año ó más. Si se este valor como el máximo nivel de tolerancia de erosión de un suelo en las condiciones evaluadas; se observa que el problema es de grandes dimensiones y que es necesario implementar un plan de conservación de suelos lo más rápidamente posible ya que el suelo se está perdiendo a una tasa mayor que la que se está formando y al cabo de pocos años, se perderá totalmente el horizonte A, que es el más rico en nutrientes para la planta. Esto obtiene mayor importancia si se considera que un 80 por ciento de la población de la microcuenca se dedica a labores agrícolas. Todo esto se observa en la figura 25, donde se divide la microcuenca en tasas de erosión desde 0 hasta 16 ton/ha-año que esta dentro de un nivel aceptable de erosión y el rango de erosión arriba de 16 ton/ha-año, que presenta un nivel crítico de erosión.

La ecuación USLE presenta algunas limitantes para su aplicación; principalmente en lo que respecta al factor de erosividad de lluvias (factor R); ya que la obtención de datos de intensidad de lluvia es difícil pues la mayoría de estaciones meteorológicas no poseen pluviógrafos que son los instrumentos que registran las intensidades de lluvias.

Otro factor limitante para aplicar la USLE a nivel de microcuenca, como este caso, es la longitud de pendiente; ya que es difícil determinar donde comienza el proceso de desprendimiento del suelo y su arrastre hasta el área donde empezará a sedimentarse o bien que llegue a un canal o curso de agua tal como un río o una acequia; por lo que en el presente estudio se utilizó una longitud estandar de 32 metros; considerando que el agricultor típico de la microcuenca del río Itzapa utiliza la medida de área de 1 cuerda (40 x 40 varas ó 32 x 32 metros) y al final de dicha área están ubicados cercos o bien inicia otro cultivo.

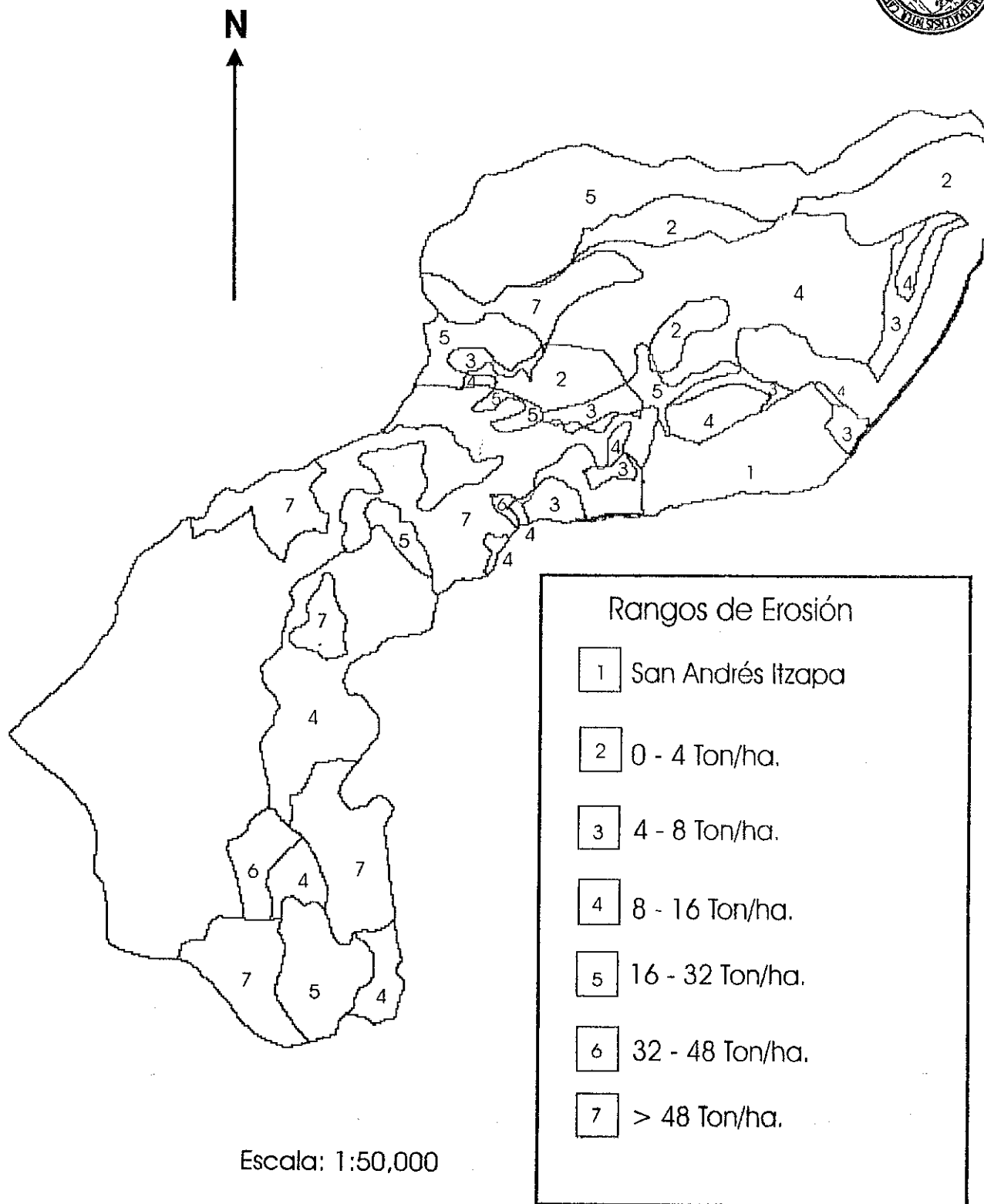


Figura 28. Mapa de erosión estimada por la metodología USLE. Microcuenca del río Itzapa.

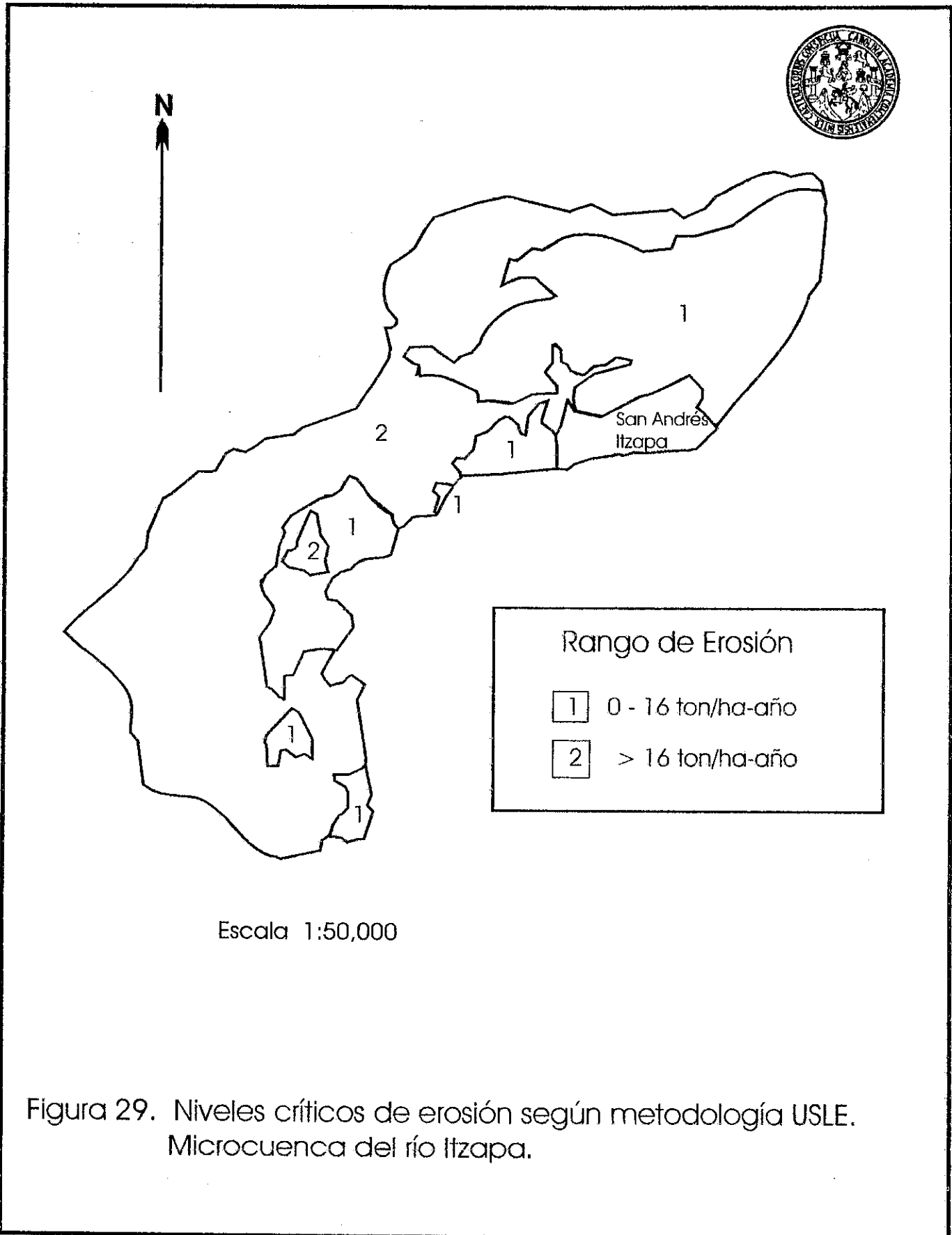


Figura 29. Niveles críticos de erosión según metodología USLE. Microcuenca del río Itzapa.

Con el factor de manejo de cobertura vegetal (factor C); el problema que se tiene, es que en el país hay poca información al respecto. A la fecha se cuenta con los índices para los cultivos que han sido evaluados por el Proyecto de Investigación Básica de la Cuenca del Río Itzapa (30). Sin embargo, los valores del factor C para bosque no se han generado, por lo que se tuvieron que adaptar los valores dados por González (8).

7.4. CALCULO DE EROSION EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA POR LA METODOLOGIA LEAM.

7.4.1. EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (INDICE MODIFICADO DE FOURNIER (FI)).

El índice modificado de Fournier (FI) fue calculado en las dos estaciones meteorológicas que tienen influencia sobre el área de la microcuenca del río Itzapa (figura 4); los resultados se presentan en el cuadro 38.

Cuadro 38. Índice Modificado de Fournier por estación meteorológica.

Estación Meteorológica	Área (km ²)	Porcentaje de Área	Índice Modificado de Fournier (FI)	Subclase de Erosividad
San Andrés Itzapa.	1.36	5.13	-----	-----
Estación la Alameda.	7.85	29.53	155.2015	RR3
Estación Chicazanga.	17.37	65.34	181.19	RR3

La subclase de erosividad RR3 indica un riesgo de erosividad moderado; por lo que si se adjuntan otras características tales como alta pendiente y condiciones de suelo apropiadas para la erosión; esta puede llegar a ser muy alta.

7.4.2. ERODABILIDAD DEL SUELO (factor K).

En el cuadro 39 se presentan los valores del factor K según la clasificación taxonómica de suelos de la microcuenca del río Itzapa (figura 3); así como la subclase de erodabilidad a la que pertenecen.

Las subclases de erodabilidad K2 y K3 indican que hay un riesgo de erodabilidad de bajo a moderado. Los suelos de la microcuenca del río Itzapa son en general poco propensos a erosionarse, al igual que en el factor de erosividad (RI) descrito anteriormente, son valores muy bajos. En consecuencia, el factor que afecta grandemente la erosión del suelo de la microcuenca, es el de pendiente; que es el siguiente factor a discutir.

Cuadro 39. Valores del factor de erodabilidad del suelo (factor K) según clasificación taxonómica de suelos y subclase de erodabilidad por metodología LEAM.

Unidad Taxonómica de Suelo	Area (km ²)	Porcentaje de Area	Factor K (T-ha-horar/ha-Mj-mm)	Subclase de Erodabilidad
San Andrés Itzapa.	1.36	5.13	-----	-----
Thaptic udivitrands.	2.052	7.72	0.0169	K2
Alfic haplustands.	1.386	5.22	0.0169	K2
Vitric haplustands.	0.493	1.85	0.0136	K2
Dystric haplustands y Vitric I haplustands.	0.425	1.60	0.0169	K2
Andic troporthents.	1.701	6.40	0.0234	K3
Vitrandic udorthents.	1.042	3.92	0.0149	K2
Alfic udivitrands.	0.636	2.39	0.0169	K2
Vitric hapludands.	0.456	1.72	0.026	K3
Humic hapludands y Vitric hapludands.	5.400	20.31	0.0143	K2
Humic Hapludands.	2.53	9.51	0.0143	K2
Andic eutropepts y Humic hapludands.	2.566	9.65	0.0182	K2
Typic fragiudalfs.	1.088	4.09	0.0176	K2
Udic haplustalfs.	0.313	1.18	0.0143	K2
Thaptic udivitrands y Vitric hapludands.	0.453	1.70	0.0169	K2
Thaptic udivitrands.	3.331	12.53	0.0176	K2
Vitric hapludands.	0.561	2.11	0.0104	K2
Vitric hapludands.	0.604	2.27	0.0169	K2
Andic troporthents.	1.83	0.70	0.0208	K3

7.4.3. FACTOR TOPOGRAFICO (FACTOR LS).

La metodología para obtener los valores del factor topográfico (LS), es la misma que se utilizó en la metodología USLE, y cuyos valores se presentan en el cuadro 40.

Como se observa en el cuadro 40, la mayor parte del área de la microcuenca del río Itzapa esta catalogada dentro de las subclases S3 y S4. Esto indica un riesgo alto y muy alto de erosión de los suelos debido a la pendiente del terreno. Si no se le da el uso adecuado al suelo, se incrementan las tasas de erosión que repercuten en la producción de cultivos, mermando la productividad.

Cuadro 40. Subclase de pendiente para el factor topográfico (factor LS) por unidad taxonómica de suelos.

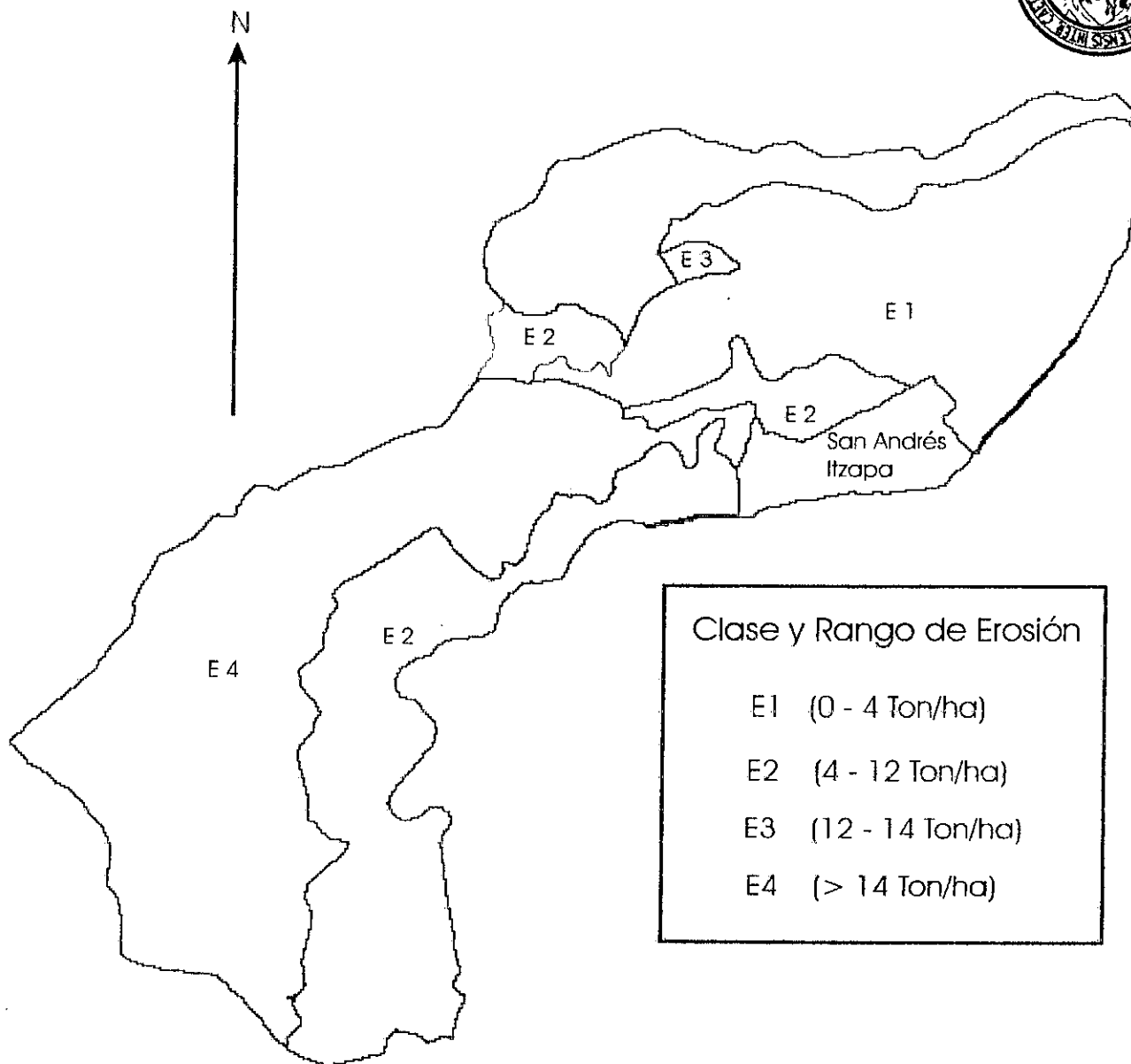
Unidad Taxonómica de Suelo	Area (km ²)	Porcentaje de Area	Pendiente Ponderada	Factor LS	Subclase de Pendiente
San Andrés Itzapa.	1.36	5.13	-----	-----	-----
Thaptic udivitrands.	2.052	7.72	19.6	3.4218	S3
Alfic haplustands.	1.386	5.22	7.5	0.9917	S1
Vitric haplustands.	0.493	1.85	17.4	2.9680	S2
Dystric haplustands y Vitric haplustands.	0.425	1.6	26.1	4.7372	S4
Andic troporthents.	1.701	6.4	29.7	5.4723	S4
Vitrandic udorthents.	1.042	3.92	32.8	6.0714	S4
Alfic udivitrands.	0.636	2.39	2.1	0.2802	S1
Vitric hapludands.	0.456	1.72	34.7	6.4057	S4
Humic hapludands y Vitric hapludands.	5.400	20.31	31.9	5.8842	S4
Humic Hapludands.	2.53	9.51	20.4	3.5765	S3
Andic eutropepts y Humic hapludands.	2.566	9.65	34.7	6.4162	S4
Typic fragiudalfs.	1.088	4.09	32.4	5.9739	S4
Udic haplustalls.	0.313	1.18	16.4	2.7599	S2
Thaptic udivitrands y Vitric hapludands.	0.453	1.70	13.6	2.1825	S2
Thaptic udivitrands.	3.331	12.53	5.3	0.6950	S1
Vitric hapludands.	0.561	2.11	14.2	2.2950	S2
Vitric hapludands.	0.604	2.27	4.2	0.5495	S1
Andic troporthents.	0.183	7.0	5.7	0.7544	S1

7.4.4. VALOR DE EROSION DE LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA POR LA METODOLOGIA LEAM.

En el cuadro 41 se presentan las clases de erosión de suelos según la metodología LEAM (figuras 30 y 31); así como los valores de rangos de erosión que presenta cada clase; el área y porcentaje de la misma.

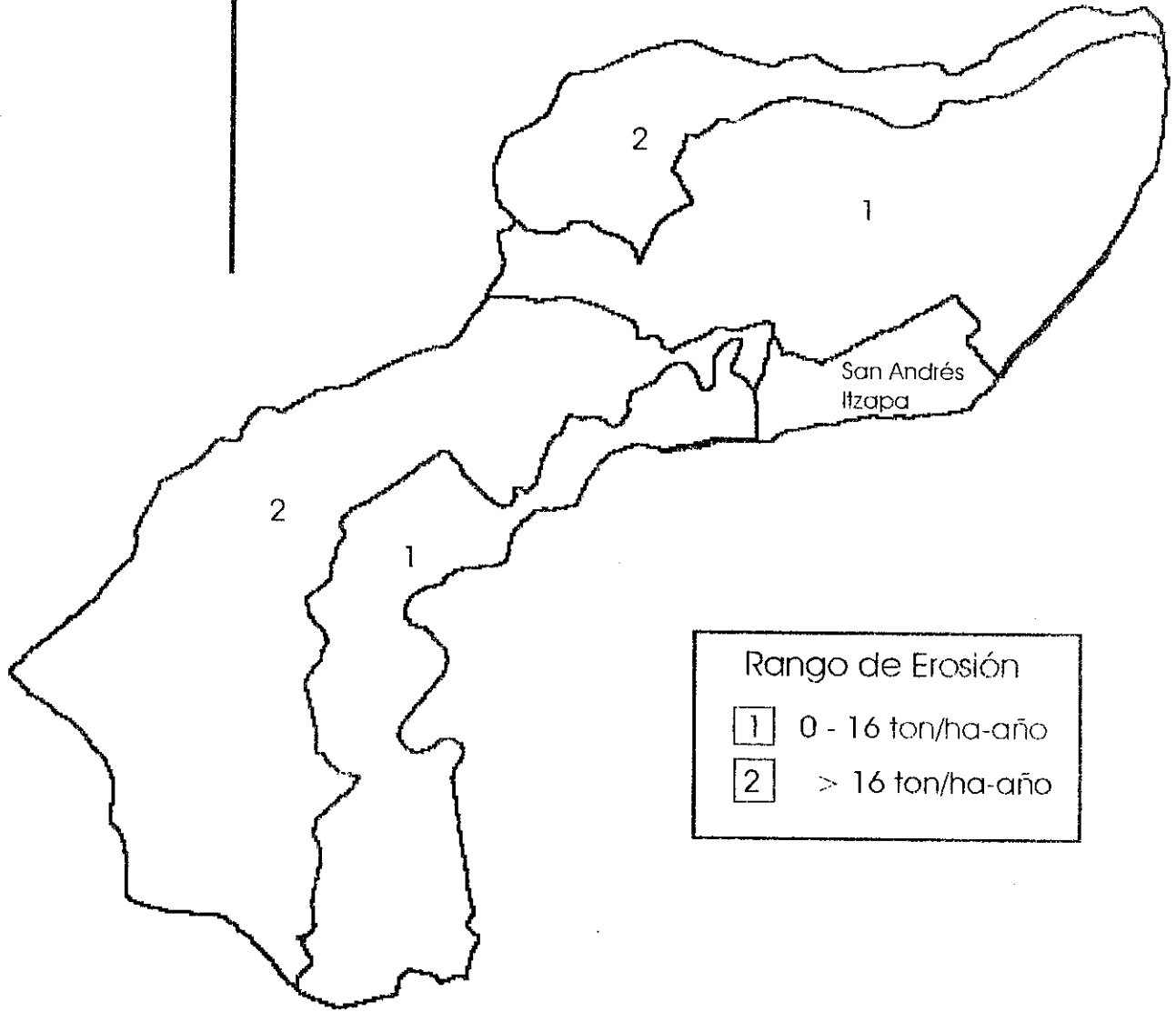
Cuadro 41. Clase y rangos de erosión de suelos, según metodología LEAM.

Clase de Erosión	Rango de erosión (ton/ha-año)	Area (km ²)	Porcentaje de Area
San Andrés Itzapa.	-----	1.36	5.13
E1	0 - 4	6.1405	23.10
E2	4 - 12	6.4024	24.09
E3	12 - 14	0.1363	0.51
E4	> 14	12.5390	47.17



Escala: 1:50,000

Figura 30. Mapa de erosión estimada por la metodología LEAM. Microcuenca del río Itzapa.



Rango de Erosión	
1	0 - 16 ton/ha-año
2	> 16 ton/ha-año

Escala 1:50,000

Figura 31. Mapa de nivel crítico de erosión según metodología LEAM. Microcuenca del río Itzapa.

Como se observa en el cuadro 41, la clase E4 indica alta cantidad de erosión hídrica de suelos. Se observa que abarca un 47.17 por ciento del total del área de la microcuenca; en la figura 31, se muestran las áreas con cantidades de erosión inferiores a 14 ton/ha-año que están sometidas a procesos erosivos moderados y áreas bajo erosión fuerte (arriba de 14 ton/ha-año), que presentan serios problemas con la cantidad de suelo erosionado, ya que están sometidos a pérdidas de suelo superior a la cantidad que se regenera naturalmente. Comparado con los resultados obtenidos por la metodología USLE concuerdan en este aspecto; es de hacer notar que la metodología USLE utiliza otros factores muy importantes tales como el manejo de la cobertura vegetal que hay sobre el suelo. Si al suelo se le diera el uso adecuado ya sea agrícola o forestal, la erosión no fuera ningún problema.

La metodología LEAM es más fácil de utilizar, principalmente en cuanto a los datos de lluvia; ya que solo se necesitan datos de precipitación. En cambio, la metodología USLE necesita de intensidad de lluvia para obtener el factor de erosividad de las lluvias (factor R). La obtención de este factor se dificulta, ya que no todas las estaciones meteorológicas poseen pluviógrafo. Además solo necesita datos de longitud y grado de pendiente y el de factor de erodabilidad del suelo (factor K); que son fácilmente obtenibles. Por otro lado, tiene la desventaja con la ecuación USLE que no contempla el factor de manejo de cobertura vegetal o uso que se le esté dando al suelo, que es un factor de gran importancia a considerar en los procesos erosivos del suelo.

7.5. PLAN PRELIMINAR DE CONSERVACION DE SUELOS DE LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA.

Con el mapa de intensidad de uso de la tierra por la metodología CCT realizado por Véliz (32), y con el conocimiento de que la pendiente del terreno es el principal factor que aumenta la tasa de erosión de los suelos de la microcuenca, se realizó una clasificación cruzada del mapa de intensidad de uso de la tierra con el de pendientes de la microcuenca del río Itzapa por el método USDA, utilizando el módulo CROSS-TAB del programa IDRISI. En cada unidad cartográfica obtenida (figura 32), se especifican las diferentes técnicas de manejo que se recomienda aplicar para evitar el deterioro y pérdida del recurso suelo (cuadro 42).

Un factor importante a considerar para realizar las técnicas de manejo que se presentan en el cuadro 42, es el de fomentar y concientizar a la población de la microcuenca para que realice prácticas de conservación de suelos. Los beneficios que se reciben al realizar estas prácticas no solo se traducen en la conservación de este recurso (que es lo más importante), sino también en el beneficio que se obtiene al aumentar la infiltración del agua en el suelo, ayudando a que las fuentes de agua superficiales mantengan un caudal medio y también que se pueden evitar máximas avenidas cuando ocurren los aguaceros. La producción de los cultivos agrícolas, al realizar prácticas de conservación de suelos ha tenido incrementos que pueden llegar a ser de más de cien por ciento en cultivos como maíz; además de que la relación beneficio/costo ha sido incrementada.

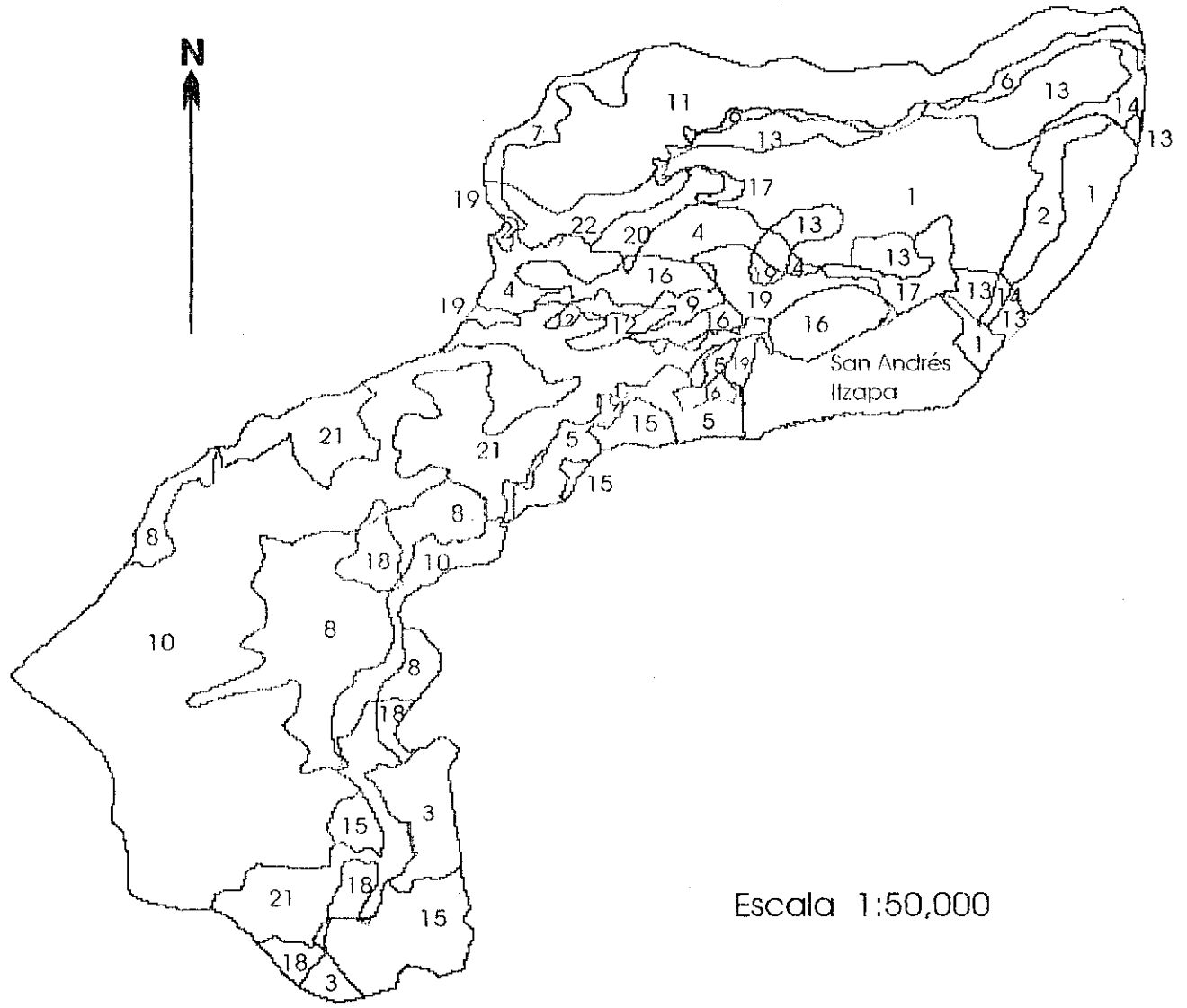


Figura 32. Unidades de manejo propuestas para la Microcuenca del río Itzapa.

Cuadro 42. Unidades de manejo propuestas para la microcuenca del río Izapa.

Unidad Manejo	Superficie		Técnicas de Manejo.
	Km ²	Porcentaje	
1	2.6329	9.96	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de nupier (<i>Pennisetum purpureum</i> L.)).
2	0.3841	1.45	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de nupier (<i>Pennisetum purpureum</i> L.)). Prácticas mecánicas (acequias de ladera con pozos de infiltración).
3	0.6221	2.35	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de agapanto (<i>agapantus</i> sp.)). Prácticas mecánicas (acequias de ladera).
4	0.6534	2.47	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de nupier (<i>Pennisetum purpureum</i> L.)). Prácticas mecánicas (acequias de ladera con pozos de infiltración).
5	0.5321	2.01	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de nupier (<i>Pennisetum purpureum</i> L.)). Prácticas mecánicas (acequias de ladera con pozos de infiltración).
6	0.2877	1.09	Prácticas silvícolas (reforestación.)
7	0.2901	1.10	Prácticas silvícolas (reforestación.)
8	1.9574	8.29	Prácticas silvícolas (reforestación.)
9	0.2346	0.89	Prácticas silvícolas (reforestación.)
10	6.4693	24.46	Prácticas silvícolas (reforestación.)
11	2.2177	8.38	Prácticas silvícolas (reforestación.)
12	0.2270	0.86	Prácticas silvícolas (reforestación.)
13	1.3116	4.96	Prácticas silvícolas (reforestación, agroforestería.)
14	0.2101	0.79	Prácticas silvícolas (reforestación, agroforestería.)
15 y 16	2.0672	7.82	Prácticas silvícolas (reforestación, agroforestería.)
17	0.333	1.26	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de nupier (<i>Pennisetum purpureum</i> L.)). Prácticas mecánicas (acequias de ladera con pozos de infiltración).
18	0.4156	1.57	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de agapanto (<i>agapantus</i> sp.)). Prácticas mecánicas (acequias de ladera).
19	0.7574	2.86	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de nupier (<i>Pennisetum purpureum</i> L.)).
20	0.219	0.83	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de nupier (<i>Pennisetum purpureum</i> L.)). Prácticas mecánicas (acequias de ladera con pozos de infiltración).
21	2.9531	11.17	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de agapanto (<i>agapantus</i> sp.)). Prácticas mecánicas (acequias de ladera).
22	0.3019	1.14	Prácticas agronómicas (labranza mínima, rotación de cultivos, siembra en surcos al contorno, incorporación de materia orgánica al suelo y barreras vivas de agapanto (<i>agapantus</i> sp.)). Prácticas mecánicas (acequias de ladera).

8. CONCLUSIONES

8.1. INTEGRACION DE LAS EVALUACIONES DEL EFECTO DEL MANEJO DE COBERTURA VEGETAL Y LA PENDIENTE DEL TERRENO SOBRE LA EROSION DEL SUELO DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, REALIZADAS DE 1,994 A 1,996.

- a. Las cantidades y porcentajes de escorrentía superficial observadas durante los tres años de evaluación en las diferentes coberturas vegetales; mantuvieron un mismo orden, es decir que la cobertura que mayores valores presentó, fue la de coliflor, seguida por la cobertura de maíz y por último la cobertura de pasto.
- b. La cobertura de pasto fue la que redujo grandemente la cantidad de escorrentía superficial y es diferente a las demás coberturas vegetales evaluadas con valores desde 526 hasta 650 m³/ha-año; en segundo lugar está la cobertura de maíz (731 hasta 777 m³/ha-año); y la cobertura que menos reduce la cantidad de escorrentía superficial y que se puede comparar con el testigo absoluto es la de coliflor (786 hasta 855 m³/ha-año).
- c. La cobertura de pasto fue la que redujo grandemente la cantidad de suelo erosionado con valores de 2.23 hasta 7.027 ton/ha-año, siendo diferente a las demás coberturas vegetales evaluadas; en segundo lugar está la cobertura de maíz con valores desde 14 hasta 24 ton/ha-año; y la de coliflor es la que menos reduce la cantidad de suelo erosionado con valores desde 31.63 hasta 66.04 ton/ha-año.
- d. Los índices de manejo de cobertura vegetal (factor C) obtenidos en las diferentes evaluaciones, en promedio para la cobertura de pasto 0.09 y 0.10 para pendiente de 25 y 40 por ciento respectivamente; de 0.82 y 0.80 para pendiente de 25 y 40 por ciento respectivamente en la cobertura de coliflor y para el maíz de 0.47 y 0.37 para 25 y 40 por ciento de pendiente respectivamente.
- e. Los valores obtenidos al calcular la cantidad de erosión de suelo por medio de la ecuación USLE fueron demasiado altos, existiendo diferencias de hasta 200 ton/ha-año como es el caso de la cobertura de coliflor para el año de 1,996 en 40 por ciento de pendiente.

8.2. CALCULO DE EROSION EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA.

- a. El cálculo de erosión por la metodología USLE; presenta el 59 por ciento del total del área de la microcuenca con tasas de erosión arriba de 16 ton/ha-año; valor mas alto que el nivel estimado de tolerancia a la erosión de un suelo de un suelo (16 ton/ha-año).

- b. Por la metodología LEAM, el 47.68 por ciento del área total de la microcuenca está dentro de la clase de erosión E4 (rango de erosión arriba de 15 ton/ha-año); lo que confirma el análisis realizado con la metodología USLE: que los suelos de la microcuenca se están perdiendo a tasas más altas que la que se está generando por los procesos formadores del suelo.
- c. La metodología LEAM es más fácil de aplicar para el estudio de la erosión del suelo; esto debido a que utiliza solo cuatro factores (índice modificado de Fournier; factor de erodabilidad del suelo, factor de longitud y grado de pendiente); mientras que la mayor limitante es que no considera el efecto del manejo de cobertura vegetal actual, sobre la erosión del suelo.
- d. La metodología USLE presenta el mayor problema en el cálculo del factor de erosividad de la lluvia (factor R); debido a que necesita valores de intensidad de lluvia el cual solo se registra en pluviógrafo y la mayoría de estaciones meteorológicas del país no cuentan con dicho instrumento. Otro factor limitante es el de los índices del factor de manejo de cobertura vegetal (factor C) para el cual no hay investigación suficiente en el país, por lo que se tuvieron que adaptar valores aportados por otros autores.
- e. El factor de longitud de pendiente (factor L) para ambas metodologías evaluadas, tiene problema en su definición a nivel de cuenca hidrográfica. Para el presente trabajo se asumió una longitud uniforme de pendiente de 32 metros.

9. RECOMENDACIONES

1. Realizar evaluaciones en parcelas de escorrentía con otro tipo de cobertura vegetal: para así obtener el valor del factor de manejo de cobertura vegetal (factor C); ya que hay gran deficiencia de investigación para la generación de este factor.
2. Para la parte alta de la microcuenca del río Itzapa, variar el ciclo de siembra del cultivo de la coliflor, estableciéndose la mejor época de siembra mediante experimentos, con el fin de que alcance a proteger en mayor proporción al suelo, reduciendo así la cantidad de escorrentía superficial y de pérdida de suelo.
3. Utilizar la metodología LEAM para el cálculo de la erosión hídrica del suelo; esto debido a que es más fácil su implementación, pues utiliza valores fácilmente obtenibles; tales como la cantidad de precipitación pluvial, longitud y grado de pendiente y el factor de erodabilidad del suelo (factor K); a diferencia de la metodología USLE, que presenta la dificultad de obtención del factor de erosividad de lluvias (factor R) y del factor de manejo de cobertura vegetal (factor C); obteniendo rangos de erosión similares a las obtenidos por la metodología USLE. Esta recomendación es válida siempre que se cuente con un mapa de clasificación taxonómica de suelos e información hidrometeorológica.
4. Buscar una estrategia a nivel local, regional o nacional para evitar que se sigan habilitando tierras con fuertes pendientes para establecer en ellas cultivos limpios que ofrecen poca protección al suelo, ya que éstos hacen que el suelo presente gran susceptibilidad a la erosión hídrica; dentro de estas estrategias, se puede incluir la introducción de nuevos cultivos, ya sea para consumo nacional o internacional, que tengan alta rentabilidad, que puedan ser manejados por los agricultores en áreas pequeñas, facilidades de financiamiento así como el de asegurar el mercado de dichos productos, con el fin de que cuando el agricultor coseche sus productos, tenga un mercado seguro y un precio aceptable.
5. Se debe orientar, concientizar y capacitar a la población de la necesidad y ventajas de la conservación de suelos, ya que de esta manera se logrará preservación de los suelos actuales y la de los que están deteriorados.

10. BIBLIOGRAFIA

1. 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.
2. 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.
3. CENTRO CIENTIFICO TROPICAL. (C.R.) 1985. Manual para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. San José, Costa Rica. 6p.
4. CHAN S., M.L. 1992. Evaluación de tres prácticas de conservación de suelos dentro de la subcuenca del río Pensativo, Sacatepéquez, de 1987 a 1991. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 77 p.
5. DELGADO E., F. 1987. Prácticas agronómicas de conservación de suelos. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 69 p.
6. EE.UU. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS. 1966. Manual de conservación de suelos. México. Limusa. 332 p
7. ESQUIT DONIS, V. E. *et al.* 1992. Situación actual de los recursos naturales renovables de las subcuencas de los ríos Itzapa, Negro y Cajagualten. San Andrés Itzapa, Chimaltenango. Estudio de Sistemas de Cultivos. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 130 p.
8. GONZALEZ F., A.R. 1994. Determining agricultural soil erosion and conservation in a mountain watershed in Guatemala. Tesis Doctorado. EE. UU., Colorado State University. 260p.
9. 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.
10. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. 1964. Mapa cartográfico de la República de Guatemala, hoja Chimaltenango. Guatemala. Esc. 1:50,000.
11. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. 1970. Mapa geológico de la República de Guatemala, hoja Chimaltenango. Guatemala. Esc. 1:50,000.
12. LOPEZ, F. 1988. Defensa y recuperación de los suelos agrícolas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 73 p.
13. -----, 1988. La degradación y pérdida de los suelos agrícolas. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 94 p.
14. LOPEZ H., 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.

15. MANRIQUE, L.A. s.f. Land erodibility assessment methodology. EE. UU., Hawaii University. 25 p.

Sin Publicar

16. McCOOL, D.K.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. 1989. Slope length and steepness factors (LS) in the revised universal soil loss equation. Arizona, USA. Department of agriculture, agricultural research service.

Sin Publicar

Citado por: González del Tánago, M. 1991. La ecuación de pérdida de suelo: Pasado, presente y futuro. Ecología (España) no. 5:13-50.

17. ORTIZ, V. 1982. Estudio experimental sobre la conservación del suelo, la erosión y el escurrimiento. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 94 p.
18. PAEZ, M.L., RODRIGUEZ, O.S. 1989. El riesgo de erosión hídrica como criterio de diagnóstico en la evaluación de tierras. Revista Alcance (Ven.). no. 37: 9-19.
19. -----, 1989. Factores de la ecuación universal de pérdidas de suelo en Venezuela. Revista Alcance (Ven.). no. 37: 21-31.
20. PEREZ LIQUIDANO, H. E. 1994. Diagnóstico general de la aldea Chicazanga, municipio de San Andrés Itzapa, departamento de Chimaltenango. Diagnóstico de EPS. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía 55 p.
21. -----, 1995. Evaluación de la cobertura vegetal y la pendiente sobre la erosión hídrica en la parte alta de la cuenca del río Itzapa, Chimaltenango. Fase II. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 99 p.
22. RAZURI R., L. 1982. Estructuras de conservación de suelos y aguas. Mérida, Venezuela. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras.
23. REVOLORIO Q., A. 1993. Curso de conservación de suelos. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.

Sin Publicar

24. RIOS M., E. s.f. Conservación de suelos. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 45 p.
25. ROMO S., J.J. s.f. Prácticas de conservación de suelos. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 35 p.

26. SANCHEZ, M. 1979. Determinación de escurrimiento superficial y erosión en el suelo del área del proyecto de conservación de suelos Michatoya. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 54 p.
27. SANTOS, A. 1996. Evaluación del efecto de la cobertura vegetal y la pendiente, en la erosión hídrica de la microcuenca del río Itzapa, Fase III. Investigación Inferencial de EPS. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 69 p.
28. SUAREZ DE CASTRO, F. 1979. Conservación de suelos. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA. 315 p.
29. 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.
30. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE AGRONOMIA, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS, DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACION. 1996. Proyecto de investigación básica para la planificación de la cuenca hidrográfica experimental del río Itzapa: Informe anual. Guatemala. 115p
31. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, DEPARTAMENTO DE RECURSOS DE AGUA Y TIERRA. 1973. Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú. Perú. 55 p.
32. VELIZ Z., R.E. 1996. Comparación de metodologías de capacidad de uso de la tierra en la cuenca del río Itzapa, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 112 p.
33. WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D.; UHLAND, R.E. 1958. Evaluation of factors in the soil-loss equation. Agricultural enggeniring (EE.UU.) 39(8): 458-462.

No. Bo.
Miriam De La Rosa

11. APENDICE



11.1. ANALISIS DE TEXTURA REALIZADO A LOS SEDIMENTOS EROSIONADOS DEPOSITADOS EN LOS RECIPIENTES COLECTORES.

Cuadro 43A. Composición mecánica del suelo erosionado de las parcelas de escorrentía captado en los recipientes colectores.

COBERTURA VEGETAL	Pendiente (porcentaje)	Porcentaje de Arenas	Porcentaje de Limos	Porcentaje de Arcilla	Clase Textural
PASTO	25	82.7	12.02	5.3	ARENA FRANCOZA
PASTO	40	83.0	12.0	5.0	ARENA FRANCOZA
COLIFLOR	25	82.0	13.0	5.0	ARENA FRANCOZA
COLIFLOR	40	80.0	16.0	4.0	ARENA FRANCOZA
MAIZ	25	82.3	12.9	4.8	ARENA FRANCOZA
MAIZ	40	82.3	12.9	4.8	ARENA FRANCOZA
SIN COBERTURA	25	83.7	11.01	5.3	ARENA FRANCOZA
SIN COBERTURA	40	82.7	12.02	5.3	ARENA FRANCOZA

Como se puede observar, la composición mecánica del suelo erosionado de las parcelas de escorrentía tiene un alto porcentaje de arenas (80 por ciento), en menor cantidad el limo (13 por ciento) y por último las arcillas (5 por ciento).

Cuadro 44A. Valores del coeficiente B para calcular el exponente "m" para obtener el factor L

Pendiente (Porcentaje)	B	m	Pendiente (Porcentaje)	B	m	Pendiente (Porcentaje)	B	m
0.20	0.0384	0.04	13.0	1.2592	0.56	27.0	1.8374	0.65
0.50	0.0925	0.08	14.0	1.3141	0.57	28.0	1.8676	0.65
1.0	0.1757	0.15	15.0	1.3662	0.58	29.0	1.8966	0.65
2.0	0.3229	0.24	16.0	1.4157	0.59	30.0	1.9247	0.66
3.0	0.4514	0.31	17.0	1.4628	0.59	31.0	1.9518	0.66
4.0	0.5659	0.36	18.0	1.5078	0.6	32.0	1.9781	0.66
5.0	0.6692	0.40	19.0	1.5508	0.61	33.0	2.0035	0.67
6.0	0.7635	0.43	20.0	1.5919	0.61	34.0	2.0281	0.67
7.0	0.8501	0.46	21.0	1.6313	0.62	35.0	2.0519	0.67
8.0	0.9303	0.48	22.0	1.6691	0.62	36.0	2.0750	0.67
9.0	1.0048	0.50	23.0	1.7054	0.63	37.0	2.0974	0.68
10.0	1.0745	0.52	24.0	1.7403	0.63	38.0	2.1192	0.68
11.0	1.1398	0.53	25.0	1.7739	0.64	40.0	2.1608	0.68
12.0	1.2012	0.55	26.0	1.8053	0.64	42.0	2.2000	0.69

Fuente: Arana (1).

Cuadro 45A. Factor de manejo de cobertura vegetal (factor C) para diferentes tipos de cobertura vegetal con o sin manejo del hombre evaluados en la cuenca del río Chixoy.

Cobertura Vegetal.	Factor C (sin ningún manejo)	Factor C (con manejo)
Agricultura	0.600	0.420
Pasto	0.038	0.013
Bosque	0.080	0.060
Agricultura y pasto	0.317	0.221
Bosque y agricultura.	0.340	0.240
Bosque y pasto.	0.074	0.056
Tierra erosionada.	1.000	1.000

Fuente: González (8)

Cuadro 46A. Resultados del cruce de mapa (1) con mapa (2), para obtener el valor de pendiente ponderada por unidad de clasificación taxonómica de suelos. Aplicación de fórmula de McCool para obtener factores L y S. Asignación de valores de factor K (mapa 6). Asignación de valores de factor LS (mapa 7). Metodología USLE (ver figura 10).

Clasificación Taxonómica	Factor K	Pend. %	Área Km ²	Pend. %	Área Km ²	Pend. %	Área Km ²	Pend. %	Área Km ²	Pend. %	Área Km ²	Pend. %	Área Km ²	Pend. %	Área Tot Km ²	Pend. (%)	Pend. Grados	Factor LS	Factor LSK
1	0.0169	12	1.36348	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.36348	1.0		0		
2	0.0169	12	1.40178	36	0.651	0	0	0	0	0	0	0	0	2.05229	19.6	11.093	3.421823	0.0578	
3	0.0169	6	0.81043	12	0.425	24	0.1512559	0	0	0	0	0	0	1.38654	7.5	4.2667	0.991713	0.0168	
4	0.0136	6	0.02283	12	0.324	24	0.0575204	36	0.08687	0	0	0	0	0.49303	17.4	9.8974	2.968048	0.0404	
5	0.0169	2	0.07152	24	0.148	36	0.2051215	0	0	0	0	0	0	0.42485	26.1	14.623	4.737161	0.0801	
6	0.0234	2	0.01096	6	0.342	36	1.3475785	0	0	0	0	0	0	1.7006	29.7	16.566	5.472293	0.1281	
7	0.0149	2	0.09677	36	0.946	0	0	0	0	0	0	0	0	1.04231	32.8	18.162	6.071424	0.0905	
8	0.0169	2	0.62054	6	0.016	0	0	0	0	0	0	0	0	0.63606	2.1	1.2017	0.28023	0.0047	
9	0.026	12	0.02526	36	0.431	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45599	34.7	19.122	6.405661	0.1665	
10	0.0143	12	0.91131	36	4.489	0	0	0	0	0	0	0	0	5.39999	31.9	17.719	5.684215	0.0841	
11	0.0143	12	1.64553	36	0.884	0	0	0	0	0	0	0	0	2.52944	20.4	11.523	3.576456	0.0511	
12	0.0182	12	0.15674	36	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	2.56555	34.7	19.152	6.416527	0.1168	
13	0.0176	12	0.16161	36	0.926	0	0	0	0	0	0	0	0	1.08805	32.4	17.971	5.973945	0.1051	
14	0.0143	12	0.25665	36	0.058	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31317	16.4	9.3181	2.759883	0.0395	
15	0.0169	2	0.02922	12	0.381	36	0.042913	0	0	0	0	0	0	0.45287	13.6	7.761	2.182486	0.0369	
16	0.0176	2	2.64648	6	0.049	12	0.4525529	24	0.00051	36	0.18229	3.33063	5.3	3.0237	0.6695004	0.0122			
17	0.0104	12	0.5098	36	0.051	0	0	0	0	0	0	0	0	0.56093	14.2	8.0751	2.295018	0.0239	
18	0.0169	2	0.27481	6	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6044	4.2	2.3943	0.549505	0.0093	
19	0.0208	2	0.01309	6	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18321	5.7	3.2705	0.75439	0.0157	

Cuadro 47A. Resultados del cruce de los mapas (6), (7) y (8). Metodología USLE. (ver figura 10).

Unidades Mapa 7	Factor LSK	Factor R	Valor de LSKR	Unidad Mapa 7	Factor LSK	Factor R	Valor de LSKR
4) SAN ANDRES ITZAPA							
6	0.01676	2554.5	42.8131	20	0.017	2427.38	40.68275866
7	0.080058	2554.5	204.507	22	0.08	2427.38	97.98228535
8	0.128052	2554.5	327.107	23	0.128	2427.38	194.331242
9	0.090464	2554.5	231.09	24	0.167	2427.38	310.830019
10	0.004736	2554.5	12.0978	25	0.084	2427.38	404.2733146
11	0.105141	2554.5	268.583	26	0.051	2427.38	204.2501389
12	0.039466	2554.5	100.816	27	0.117	2427.38	124.1442622
13	0.036884	2554.5	94.2199	28	0.105	2427.38	283.4713744
14	0.012232	2554.5	31.2467	29	0.037	2427.38	255.2187918
15	0.009287	2554.5	23.7226	30	0.012	2427.38	89.53152748
16	0.015691	2554.5	40.0833	31	0.024	2427.38	29.69190409
19	0.057829	2427.4	140.372				57.93714768

Cuadro 48A. Resultados del cruce del resultado del cuadro 17A (valor LSKR) con el mapa (9) para obtener mapas (10) y (11).
Metodología USLE (ver figura 10).

Unidades de clasificación	Valor de LSKR	Valor de Factor C	Valor de Erosión	Orden Ascendente			Unidades de clasificación	Valor de LSKR	Valor de Factor C	Valor de Erosión	Orden Ascendente		
				No.	Clase	Ton/ha-año					No.	Clase	Ton/ha-año
15	San Andrés Itzapa.						89	283.471	0.27	76.5373	44	47	16.34
26	140.3725	0.22	30.88	1	96	0.65	90	255.218	0.27	68.9089	45	137	16.34
29	140.3725	0.08	11.23	2.00	124	0.97	91	89.5315	0.27	24.1735	46	123	16.49
30	97.98229	0.08	7.84	3.00	100	1.66	92	29.6919	0.27	8.01681	47	58	19.14
31	283.4714	0.08	22.68	4.00	126	1.9	93	57.9371	0.27	15.643	48	32	20.42
32	255.2182	0.08	20.42	5.00	99	2.19	95	42.8131	0.07	2.99692	49	56	20.42
33	29.6919	0.08	2.38	6.00	118	2.38	96	12.0978	0.07	0.84684	50	112	20.42
36	204.2501	0.08	16.34	7.00	33	2.38	97	100.816	0.07	7.05714	51	116	20.42
41	140.3725	0.44	61.76	8.00	132	2.5	98	94.2199	0.07	6.59539	52	103	21.69
42	404.2733	0.44	177.88	9.00	125	2.5	99	31.2467	0.07	2.18727	53	111	22.68
43	204.2501	0.44	89.87	10.00	95	3	100	23.7226	0.07	1.66058	54	49	22.68
46	404.2733	0.08	32.34	11.00	127	3.21	101	124.144	0.085	10.5523	55	61	22.68
47	204.2501	0.08	16.34	12.00	113	3.25	102	283.471	0.085	24.0951	56	138	22.68
48	124.1443	0.08	9.93	13.00	76	3.27	103	255.218	0.085	21.6935	57	31	22.68
49	283.4714	0.08	22.68	14.00	130	3.43	104	124.144	0.4	49.6577	58	139	22.68
51	100.8163	0.08	8.07	15.00	59	4.35	107	124.144	0.615	76.3487	59	102	24.1
52	94.21986	0.08	7.54	16.00	64	4.36	108	283.471	0.615	174.335	60	91	24.17
55	124.1443	0.08	9.93	17.00	57	4.63	109	255.218	0.615	156.959	61	129	24.87
56	255.2182	0.08	20.42	18.00	81	6.41	110	283.471	0.24	68.0331	62	78	25.44
57	57.93715	0.08	4.63	19.00	98	6.6	111	283.471	0.08	22.6777	63	122	26.17
58	255.2182	0.075	19.14	20.00	97	7.06	112	255.218	0.08	20.4175	64	85	26.46
59	57.93715	0.075	4.35	21.00	117	7.16	113	40.6828	0.08	3.25462	65	78	27.22
60	204.2501	0.08	16.34	22.00	131	7.54	114	97.9823	0.08	7.83858	66	26	30.88
61	283.4714	0.08	22.68	23.00	52	7.54	115	194.331	0.08	15.5465	67	136	32.34
64	12.09777	0.36	4.36	24.00	114	7.84	116	255.218	0.08	20.4175	68	46	32.34
65	23.7226	0.36	8.54	25.00	30	7.84	117	89.5315	0.08	7.16252	69	88	33.52
68	140.3725	0.51	71.59	26.00	92	8.02	118	29.6919	0.08	2.37535	70	104	49.66
69	404.2733	0.51	206.18	27.00	51	8.07	122	327.107	0.08	26.1685	71	86	52.47
70	124.1443	0.51	63.31	28.00	80	8.44	123	231.09	0.08	18.4872	72	74	55.22
73	42.81312	0.27	11.56	29.00	65	8.54	124	12.0978	0.08	0.96782	73	41	61.76
74	204.5074	0.27	55.22	30.00	141	9.93	125	31.2467	0.08	2.49974	74	75	62.39
75	231.0899	0.27	62.39	31.00	55	9.93	126	23.7226	0.08	1.89781	75	70	63.31
76	12.09777	0.27	3.27	32.00	48	9.93	127	40.0833	0.08	3.20666	76	110	68.03
77	266.5827	0.27	72.52	33.00	101	10.55	128	194.331	0.08	15.5465	77	90	68.91
78	100.8163	0.27	27.22	34.00	82	10.82	129	310.83	0.08	24.8664	78	68	71.59
79	94.21986	0.27	25.44	35.00	84	10.98	130	42.8131	0.08	3.42505	79	77	72.52
80	31.24672	0.27	8.44	36.00	135	11.23	131	94.2199	0.08	7.53759	80	107	76.35
81	23.7226	0.27	6.41	37.00	29	11.23	132	31.2467	0.08	2.49974	81	89	76.54
82	40.08328	0.27	10.82	38.00	73	11.56	135	140.372	0.08	11.2298	82	87	83.92
84	40.68276	0.27	10.98	39.00	115	15.55	136	404.273	0.08	32.3419	83	43	89.87
85	97.98229	0.27	26.46	40.00	128	15.55	137	204.25	0.08	16.34	84	109	156.96
86	194.3312	0.27	52.47	41.00	93	15.64	138	283.471	0.08	22.6777	85	108	174.33
87	310.83	0.27	83.92	42.00	60	16.34	139	283.471	0.08	22.6777	86	42	177.88
88	124.1443	0.27	33.52	43.00	36	16.34	141	124.144	0.08	9.93154	87	69	206.18

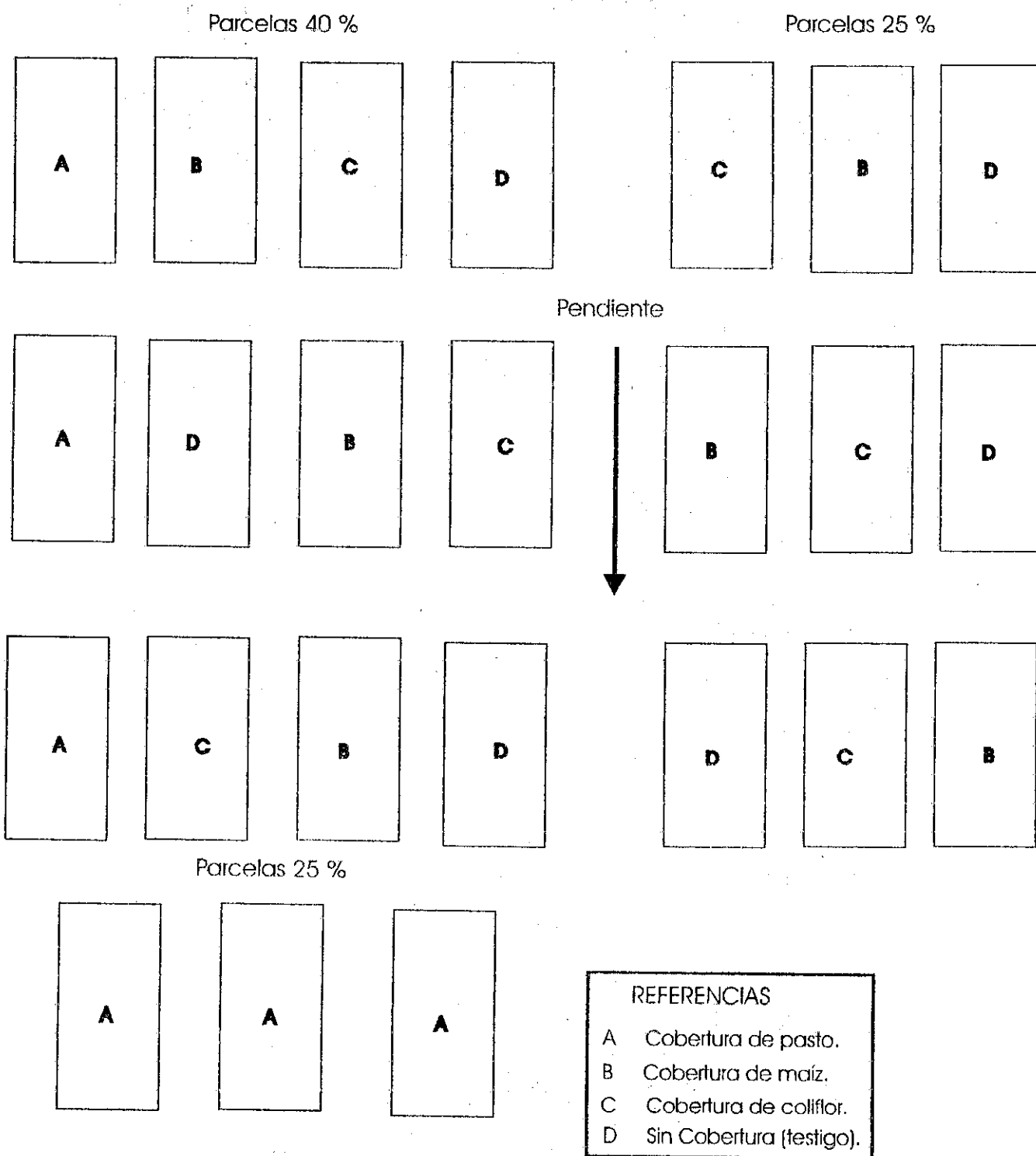


Figura 33A. Croquis de la distribución de los tratamientos en las unidades experimentales (parcelas de escorrentía).

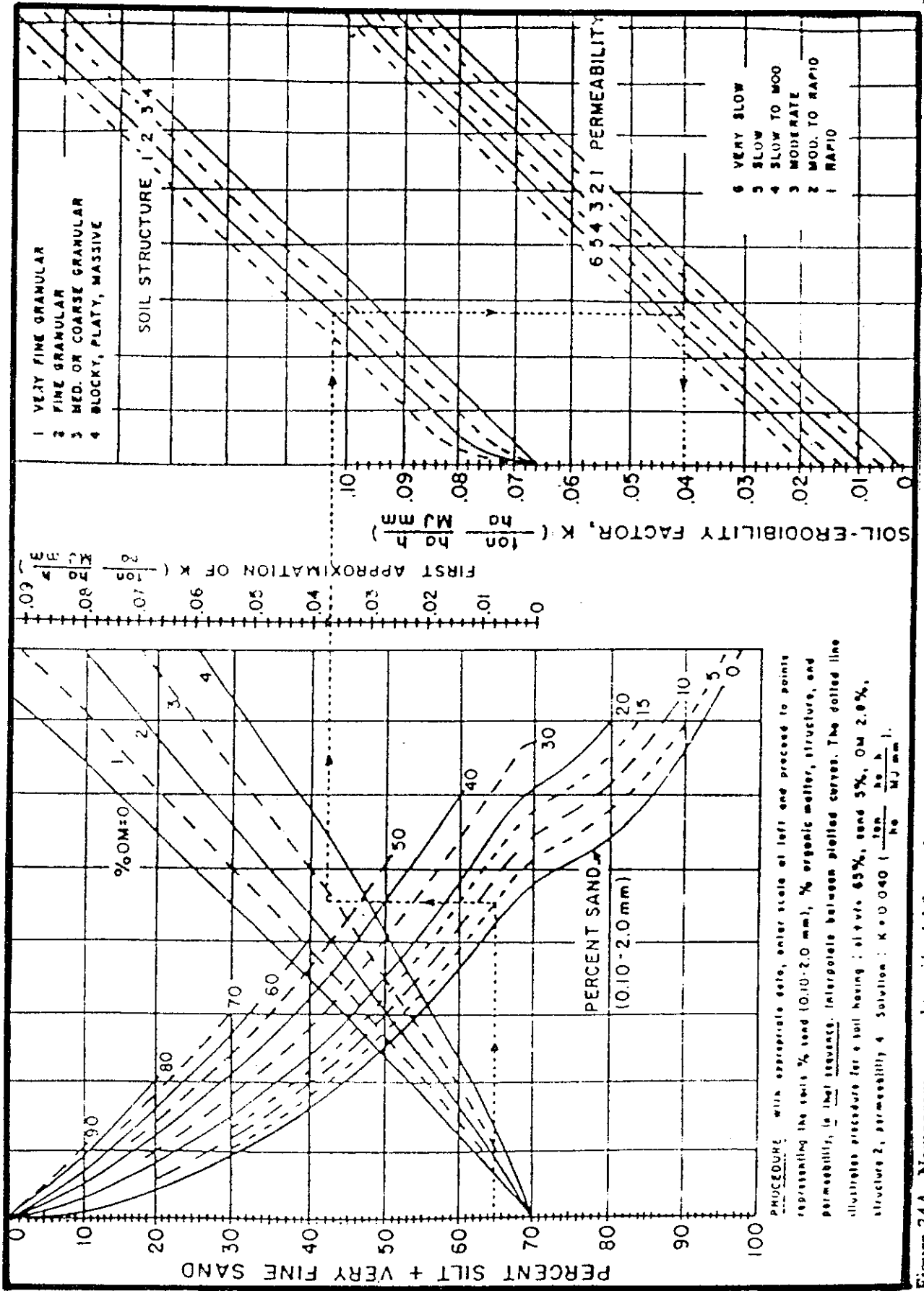


Figura 34A. Nomograma para obtención del factor de erodibilidad del suelo (factor K) en unidades del sistema internacional. Tomado de Arana (1).



Ref. em.008-99

FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

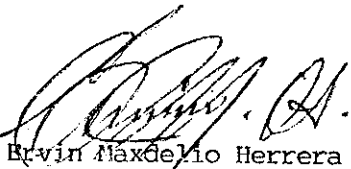
LA TESIS TITULADA: "ESTUDIO DE LA EROSION HIDRICA DEL SUELO, MICROCUENCA
DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO, DE 1994 A 1996"


DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: ERICK LEONEL MOTTA FRANCO

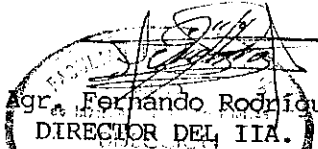
CARNET No: 9210322

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Luis F. Ortíz Castillo
Ing. Agr. Isaac R. Herrera Ibáñez
Ing. Agr. Gustavo A. Méndez Gómez
Ing. Agr. Luis F. Morán Palma

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.

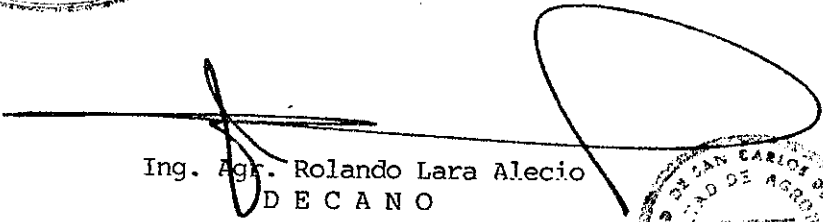

Ing. Agr. M.Sc. Ervin Máxdelio Herrera de León
A S E S O R


Ing. Agr. M.Sc. Hugo A. Tobías Vásquez
A S E S O R


Ing. Agr. Fernando Rodríguez B.
DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E


Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
D E C A N O

:Control Académico
Archivo
R/prr.

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C. A.
TELEFONO 476-9794 § FAX (502) 476-9770
E-mail: iaa@usac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>

