


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

EVALUACION DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA
PENDIENTE DEL TERRENO, EN LA EROSION HIDRICA DEL SUELO
EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO. FASE I.

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure, likely a saint or historical figure, surrounded by various symbols including a crown, a cross, and architectural elements. The text "UNIVERSITAS SAN CAROLIS GUATEMALENSIS" is inscribed around the perimeter of the seal.

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

POR
Miguel Angel Cardona Guerra

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO
EN
SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

Guatemala, mayo 1, 1995.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

DR. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	ING. AGR. EFRAIN MEDINA GUERRA
VOCAL I	ING. AGR. JUAN JOSE CASTILLO MONT
VOCAL II	ING. AGR. WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL III	ING. AGR. CARLOS ROBERTO MOTTA DE PAZ
VOCAL IV	PROF. GABRIEL AMADO ROSALES
VOCAL V	BR. AUGUSTO SAUL GUERRA GUTIERREZ
SECRETARIO	ING. AGR. MARCO ROMILIO ESTRADA MUY

Guatemala, mayo de 1995.

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

Señores Miembros:

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

**EVALUACION DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA
PENDIENTE DEL TERRENO, EN LA EROSION HIDRICA DEL SUELO
EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO. FASE I.**

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

Atentamente,



Miguel Angel Cardona G.

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS : *Por haberme dado la vida y permitir que alcanzara una de mis metas.*
- A MIS PADRES : *José Arnulfo Cardona y Dolores Guerra Gálvez.*
Como una muestra de agradecimiento a sus múltiples esfuerzos, su apoyo moral y económico, para alcanzar la meta deseada.
- A MIS HERMANOS : *Marco Tulio, Magaly, Consuelo, Otoniel, Eneldina, Evidalia, y Walfre.*
- A MIS SOBRINOS : *Dario, Claudia, Vanessa, Walter, Karina, Karla, Cesar, Carlos, Raúl y Marvin.*
- A MI NOVIA : *María de los Angeles, con cariño.*
- A MIS TIOS Y PRIMOS : *Con Cariño.*
- A MIS CUÑADOS : *En especial a Isabel Pérez de La Rosa (Q.E.P.D.) Por su apoyo moral y Económico.*
- A MIS AMIGOS : *En General.*

TESIS QUE DEDICO

A SANTA CRUZ, SAN JACINTO, CHIQUIMULA, LUGAR QUE ME VIO NACER.

A MI PATRIA GUATEMALA

*AL INSTITUTO EXPERIMENTAL "DR. DAVID GUERRA GUZMAN"
DE CHIQUIMULA.*

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA.

AL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

AL DEPTO. DE AGROLOGIA Y CATASTRO DEL I.N.T.A.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO EN GENERAL.

AGRADECIMIENTO:

Agradecimiento sincero a mis asesores: Ing. Agr. y M.Sc. Hugo Antonio Tobías, e Ing. Agr. y M.Sc. Maxdelio Herrera de León, por su orientación Científica y Tecnológica en el campo de los Recursos Naturales Renovables.

Al Instituto de Investigaciones Agronómicas.

A la Dirección General de Investigación de la Universidad, por el apoyo proporcionado en la etapa de campo de la investigación.

Al personal de laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, por su apoyo en la etapa de análisis.

A los hermanos Rivera Méndez, Por su valiosa colaboración en la elaboración de este documento.

A los Ingenieros Agrónomos del Departamento de Agrología y Catastro del INTA; Rolando Rodríguez, Leonel Rodríguez, Carlos Cruz, Manuel Bámaca, Francisco Cárdenas y Francisco Quintana; por su gran apoyo moral y logístico.

A los campesinos de la Aldea Chicazanga, en especial al señor Alfonso López, por su colaboración en la etapa de campo de la investigación.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este documento.

La información que se presenta en esta tesis es propiedad del proyecto Investigación básica para la planificación del manejo de la cuenca del río Itzapa, del Instituto de Investigaciones Agronómicas, de la Facultad de Agronomía y la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La información se publica con la autorización de las dependencias respectivas.

CONTENIDO

	Pag.
INDICE DE FIGURAS	i
INDICE DE CUADROS	ii
RESUMEN	iii
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEORICO	3
3.1 Marco conceptual.	3
3.1.1 Etapas del proceso de erosión hidrica :	3
3.1.1.1 Desprendimiento	3
3.1.1.2 Arrastre o Transporte	4
3.1.1.3 Etapa de deposición	5
3.1.2 Factores que favorecen la erosión:	6
3.1.2.1 Tipo de suelo	6
3.1.2.2 Uso y manejo del suelo	7
3.1.2.3 Pendiente	7
3.1.2.4 Lluvias	7
3.1.2.5 Cubierta vegetal	8
3.1.3 Prácticas de conservación de suelos:	9
3.1.3.1 Prácticas culturales	9
3.1.3.2 Prácticas mecánicas	11
3.1.3.3 Prácticas agronómicas	12
3.1.4 Descripción del modelo USLE :	12
3.1.4.1 Erosividad de las lluvias (R)	13
3.1.4.2 Erodabilidad del suelo (K)	14
3.1.4.3 Factor topográfico (LS)	15
3.1.4.4 Factor de cobertura (C)	15
3.1.4.5 Factor de prácticas de conservación (P)	16
3.2 Marco referencial.	16
3.2.1 Ubicación:	16
3.2.2 Clima :	18
3.2.3 Geología:	18
3.2.4 Geomorfología y Fisiografía:	18
3.2.5 Edafología:	18
3.2.6 Zona de vida:	19
3.2.7 Hidrografía:	19
3.2.8 Uso de la tierra:	20
4. OBJETIVOS	21
5. HIPOTESIS	22

6.	METODOLOGIA	23
6.1	Ubicación del sitio experimental.	23
6.2	Selección de tratamientos.	23
6.3	Diseño experimental.	25
6.3.1	Modelo estadístico :	25
6.3.2	Variables respuesta :	25
6.3.3	Variables auxiliares :	27
6.4	Arreglo y montaje del experimento.	27
6.4.1	Confinamiento de parcelas:	27
6.4.2	Sistema colector de agua y sedimentos:	27
6.4.3	Instalación de aparatos meteorológicos:	28
6.4.4	Colocación de clavos en las parcelas:	28
6.4.5	Establecimiento y manejo de las coberturas:	28
6.5	Medición de variables.	30
6.5.1	Escurrimiento superficial:	30
6.5.2	Cantidad de suelo erosionado:	30
6.5.3	Densidad de cobertura:	31
6.6	Análisis de la información	31
7.	RESULTADOS Y DISCUSION	33
7.1	Precipitación.	33
7.1.1	Precipitación total mensual :	33
7.1.2	Frecuencia de las precipitaciones :	33
7.1.3	Intensidad :	34
7.2	Escurrimiento.	35
7.2.1	Porcentaje de escurrimiento :	35
7.2.2	Cantidad de escurrimiento :	35
7.3	Suelo erosionado en parcelas de escurrimiento	38
7.4	Suelo erosionado según el método de clavos	43
7.5	Porcentaje de cobertura de los tratamientos	46
7.6	Características granulométricas de los sedimentos	48
7.7	Factor de erodabilidad. (K)	49
7.8	Factor C	52
8.	CONCLUSIONES	54
9.	RECOMENDACIONES	56
10.	BIBLIOGRAFIA	57
11.	APENDICES	59

INDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
1. <i>Localización de la microcuenca a nivel Nacional.</i>	17
2. <i>Mapa de la cuenca del río Itzapa, mostrando el sitio experimental.</i>	24
3. <i>Sección transversal de los tratamientos evaluados en las dos pendientes</i>	26
4. <i>Esquema de una parcela de escorrentía establecida en el ensayo.</i>	29
5. <i>Escorrentía en m³/ha, registrada en Chicazanga.</i>	38
6. <i>Cantidad de suelo en Ton/ha/año registrada en Chicazanga.</i>	41
7. <i>Porcentajes de cobertura de los tratamientos evaluados en el sitio con 25% de pendiente.</i>	47
8. <i>Porcentaje de cobertura de los tratamientos evaluados en el sitio con 40% de pendiente.</i>	48
9. <i>Distribución de partículas en los sedimentos colectados en el sitio con 25% de pendiente.</i>	50
10. <i>Distribución de las partículas de sedimentos colectados en parcelas con 40% de pendiente.</i>	51
11. <i>Mapa de uso de la tierra. 1994. Escala 1:50,000.</i>	61
12. <i>Mapa de capacidad de uso de la tierra, método USDA.</i>	62

INDICE DE CUADROS

	<i>Página.</i>
1. <i>Precipitación mensual registrada durante el presente estudio y los valores promedios de 9 años.</i>	33
2. <i>Precipitación y frecuencia para 5 clases de lluvias ocurridas en Chicazanga.</i>	34
3. <i>Escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea para tratamientos y repeticiones.</i>	36
4. <i>Análisis de varianza para la escorrentía en el sitio de 25% de pendiente.</i>	36
5. <i>Escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea, en el sitio de 40% de pendiente.</i>	37
6. <i>Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio con 40% de pendiente.</i>	37
7. <i>Cantidad de suelo erosionado en Ton/ha/año en el sitio con 25% de pendiente.</i>	39
8. <i>Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25% de pendiente.</i>	40
9. <i>Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado en 25% de pendiente.</i>	40
10. <i>Cantidad de suelo erosionado en Ton/ha/año en el sitio con 40% de pendiente.</i>	41
11. <i>Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en parcelas con 40% de pendiente.</i>	42
12. <i>Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado en parcelas con 40% de pendiente.</i>	42
13. <i>Suelo erosionado en 25% de pendiente según el método de clavos.</i>	43
14. <i>Análisis de varianza para suelo erosionado según el método de clavos en parcelas con 25%.</i>	43
15. <i>Prueba de Tukey para suelo erosionado según método de clavos en parcelas con 25% de pendiente.</i>	44
16. <i>Suelo erosionado según el método de clavos en parcelas con 40% de pendiente.</i>	45

17. Análisis de varianza para suelo erosionado según el método de clavos, en parcelas con 40%. 45
18. Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado por el método de clavos en parcelas de 40%. 46
19. Factor C para cada tratamiento en las dos pendientes evaluadas. 52
20. Características físicas de los sedimentos según tratamientos, con 25% de pendiente. 64
21. Características físicas de los sedimentos según los tratamientos evaluados en parcelas de 40% de pendiente. 64
22. Características químicas de los sedimentos según los tratamientos evaluados en parcelas de 25% de pendiente. 64
23. Características químicas de los sedimentos según los tratamientos evaluados en parcelas de 40% de pendiente. 65
24. Pérdida de nutrientes en el agua filtrada después de obtener los sólidos de suspensión en las dos pendientes evaluadas. 65
25. Características físicas de los horizontes del suelo en sitio experimental. 68
- 26a. Características químicas de los horizontes del suelo en el sitio experimental. 69
- 26b. Características químicas de los horizontes del suelo en el sitio experimental. 69
27. Análisis de correlación simple entre las principales características de los sedimentos, escorrentía, porcentaje de cobertura y la intensidad media de precipitación, en parcelas de 25% de pendiente: 71
28. Análisis de correlación simple entre las principales características de los sedimentos, escorrentía, porcentaje de cobertura y la intensidad media de precipitación, en parcelas de 40% de pendiente: 71
29. Rendimiento de brócoli en Kg./ha en las dos pendientes evaluadas: 72

EVALUACION DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA
PENDIENTE DEL TERRENO, EN LA EROSION HIDRICA DEL SUELO
EN LA MICROCUENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO. FASE I.

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE VEGETATION COVERAGE
AND DIFFERENT SLOPING LANDSCAPES, ON THE HYDRIC EROSION OF
THE SOIL AT THE ITZAPA RIVER MICROBASIN, CHIMALTENANGO. PHASE I

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del efecto de la cobertura y la pendiente del terreno en la erosión hídrica del suelo en la microcuenca del río Itzapa, Chimaltenango. La investigación se realizó durante la época lluviosa de 1993 en la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa Chimaltenango; lugar donde existen terrenos con grandes pendientes con cultivos limpios y suelos muy susceptibles a la erosión por sus características físicas, las cuales son típicas de la parte alta de la cuenca del río Itzapa.

Las coberturas vegetales evaluadas fueron: Pasto Kikuyú (Penisetum clandestinum), cultivo de maíz (Zea mays) y cultivo de brócoli (Brassica oleracea var. italica); las que se compararon con un Testigo (sin ningún tipo de cobertura). Todos los tratamientos se evaluaron en dos sitios, uno con 25% y otro con 40% de pendiente, respectivamente.

Para el desarrollo de la investigación se establecieron parcelas de escorrentía con área de 50 metros cuadrados, distribuidos en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. En cada parcela se midió la cantidad de superficial, y cantidad de suelo erosionado; se analizaron además las principales características físicas y químicas de los sedimentos, los porcentajes de cobertura en las diferentes Fases Fenológicas de los cultivos, y el factor C y factor K de la ecuación Universal de pérdida de suelo.

Los principales resultados muestran que la escorrentía superficial fue mayor para el tratamiento de maíz, que alcanzó 301.8 m³/ha y 49.0805 m³/ha en pendiente de 25% y 40% respectivamente, mientras que el menor valor fue para el tratamiento de pasto con 216.2 m³/ha y 245.2 m³/ha respectivamente. La cantidad de suelo erosionado fue mayor para el Testigo, con 35.3279 y 49.0805 ton/ha/año en pendiente de 25% y 40% respectivamente; mientras que el menor valor fue para el tratamiento de pasto, con valores de 2.1199 y 1.3194 ton/ha/año para pendientes de 25% y 40%, respectivamente.

En el análisis de los sedimentos se determinó que las arenas fueron las partículas que en mayor porcentaje se perdieron en todos los tratamientos y en las dos pendientes; esto se debió a las propiedades físicas del suelo, principalmente su textura.

De los tratamientos evaluados el pasto proporcionó el mayor porcentaje de cobertura durante todo el período de evaluación, con valor de 92% de cobertura en la mayor pendiente y 80% en la menor pendiente; el maíz sólo alcanzó el 5% de cobertura, debido a la variedad y época de siembra, por lo tanto la cantidad de suelo erosionado fue bastante alta en este tratamiento.

El factor K determinado fue de 0.27 y 0.30 para pendientes de 25% y 40% respectivamente. El factor C fue menor para el tratamiento de pasto en las dos pendientes, con valores de 0.6 y 0.026; mientras que fue mayor para el tratamiento de maíz, con valores de 0.70 y 0.60 para 25% y 40% de pendiente respectivamente.

El suelo erosionado medido por el método de clavos, presentó diferencia significativa entre tratamientos, pero no existió correlación entre éste y los datos obtenidos de las parcelas de escurrimiento; por lo cual se deduce que por el momento, es un método poco preciso para la medición de la erosión.

1. INTRODUCCION

En Guatemala, los recursos naturales son la base para el desarrollo económico y social; dentro de éstos se encuentra el suelo, que es fundamental para el desarrollo de la economía del país, ya que la actividad a la que se dedica la mayor parte de la población es la agricultura, a pesar de tener suelos no aptos para la producción agrícola intensiva. La intervención del hombre sobre los recursos ha provocado alteraciones o degradaciones sobre los mismos, como consecuencia se ve afectada posteriormente a la población en forma directa o indirecta.

Estudios realizados por el IIA en la cuenca del río Achiguate, recomiendan hacer investigación a nivel de microcuencas para programar un mejor manejo de los recursos de las mismas (10). Por ejemplo, en la microcuenca del río Itzapa se siembran cultivos limpios en terrenos con grandes pendientes sin tomar en cuenta prácticas agronómicas o culturales que reduzcan la erosión, lo que ha provocado que en la parte baja se depositen grandes cantidades de sedimentos.

La Facultad de Agronomía, a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) y la Dirección General de Investigación de la Universidad (DIGI); han implementado un proyecto en la microcuenca del río Itzapa, con el propósito de generar información básica que ayude a comprender la interacción de los Recursos Naturales Renovables y para dar un mejor manejo de los suelos y los recursos naturales del área en general. La investigación que se llevó a cabo consistió en evaluar tres tipos de cobertura vegetal en dos diferentes grados de inclinación del terreno, para determinar su efecto en la erosión hídrica de los suelos; en tal sentido se utilizó el diseño completamente al azar con parcelas de escorrentía de 50 metros cuadrados en terrenos agrícolas ubicados en la aldea Chicazanga; durante la época lluviosa del año 1993.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la microcuenca del río Itzapa que pertenece a la cuenca del río Achiguate en la vertiente del Pacífico, se dan una serie de problemas debido a que es habitada por grupos poblacionales que ejercen fuerte presión de uso sobre los recursos existentes en la parte alta.

Dentro de los problemas que ocurren, se pueden mencionar;

- a) Una fuerte deforestación por la intención de incrementar las áreas de cultivo, lo que regularmente ocurre en terrenos con grandes pendientes no aptas para cultivos limpios;
- b) En gran medida, esta deforestación también se da para el uso de leña, que es vendida sin tomar en cuenta planes de reforestación; lo cual da lugar al deterioro del bosque del área, en especial el bosque comunal (astillero municipal).

Otro problema que ocurre es la erosión hídrica en los terrenos cultivados con fuerte grado de inclinación que no poseen buena cobertura vegetal, lo cual se da por la misma deforestación y por no utilizar prácticas que reduzcan los riesgos de erosión.

La erosión provoca que cada año disminuye la fertilidad de los suelos y que se den otros problemas como azolvamiento del cauce, desbordes, fuertes crecidas, etc., que afecten las áreas de la parte baja.

Por tal razón, existe la necesidad de realizar investigaciones para generar información básica que es necesaria para que ayude a formular planes de manejo a nivel de microcuenca y cuenca; esto con el objeto de aprovechar y proteger los recursos naturales que la misma ofrece, para reducir y evitar los efectos que el sobre uso de los mismos ocasiona.

3. MARCO TEORICO

3.1 Marco conceptual.

3.1.1 Etapas del proceso de erosión hídrica :

Por erosión hídrica se entiende al complejo proceso de separación y transporte de las partículas del suelo pendiente abajo, por la acción del impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía (8).

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

- Desprendimiento
- Arrastre o transporte
- Deposición

3.1.1.1 Desprendimiento

Esta etapa consiste en el desprendimiento inicial de la partículas primarias del suelo por acción del impacto de las gotas de lluvia en su superficie, conociéndose este desprendimiento como salpicadura del suelo. En esta etapa tiene especial importancia el estado de cubierta vegetal. Suelos sin cubierta vegetal están sujetos a mayor desprendimiento que aquellos que se encuentran cubiertos por vegetación en su superficie, esta vegetación puede ser nactural o de cultivo, cuando es de cultivo dependerá del grado de cobertura que éste le de al suelo (13).

Otro factor que considera Sanchez Mendía (13), es la textura del suelo; los suelos arenosos están sujetos a mayor desprendimiento que los arcillosos.

3.1.1.2 Arrastre o Transporte

Una vez se ha efectuado la primera etapa del proceso (desprendimiento), se realiza la etapa de arrastre, la cual es provocada por el escurrimiento superficial de agua de lluvia que no logra infiltrarse en el suelo. Los factores que influyen ó determinan esta etapa son: El escurrimiento superficial, la pendiente del terreno y la textura (13).

Los volúmenes de escurrimiento superficial dependerá de la cantidad, intensidad y distribución de las lluvias, y por la capacidad de infiltración del agua en el suelo. A mayor cantidad e intensidad de lluvia, habrá mayor escurrimiento. (13)

En la segunda evaluación de tres prácticas de conservación de los suelos en la cuenca del río pensativo, López (8) concluye que solo las lluvias mayores de 5mm provocan escurrimiento, mientras que el arrastre de partículas se da cuando la precipitación es mayor de 20 mm y con intensidad media mayor de 15 mm/h.

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. A mayor pendiente habrá mayor velocidad de escurrimiento y esta velocidad está directamente relacionada con el poder erosivo o de arrastre. (13)

Teóricamente las relaciones entre la velocidad del agua y su poder erosivo los tipifica Mendía(13), de la siguiente manera:

- 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 el se duplica y su capacidad erosiva se cuadruplica.

- b) La cantidad de material de determinado tamaño que puede ser arrastrado por el agua que fluye, varía con la quinta potencia de la velocidad del agua.
- c) El tamaño de las partículas que pueden ser arrastradas por 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 puede ser transportadas por rodamiento, se aumenta 64 veces. (13)

La longitud de la pendiente no es menos interesante que el grado, especialmente en terrenos bajo cultivo. Al saturarse de humedad el suelo, el agua de escurrimiento se acumula a todo lo largo de la pendiente, aumentando su volumen y velocidad y con ello sus daños (13).

La textura del suelo también es un factor que influye en esta etapa, ya que partículas de arcilla son más fáciles de transportar, esto porque el transporte aumenta al disminuir el tamaño de las partículas (5).

3.1.1.3 Etapa de deposición

Esta etapa se presenta cuando la capacidad de arrastre del agua ya no es suficiente para continuar el hundimiento del material en suspensión (suelo erosionado), ésto ocurre cuando se presentan cambios de pendiente o algún obstáculo que disminuye la velocidad de agua de escurrimiento (13).

En los Estados Unidos de Norte America, cada año se depositan por erosión hidrica cuatro billones de toneladas de sedimentos, asumiendo que el 75% del material se deriva de tierras agricolas y boscosas. En Missisipi el promedio anual de perdida de suelo es de 390 toneladas por milla cuadrada (8).

Cabrera, citado por López (8), reporta que en la cuenca del río Pensativo se depositan en el cauce del mismo anualmente aproximadamente 40,000 m³ de sedimentos.

3.1.2 Factores que favorecen la erosión:

3.1.2.1 Tipo de suelo

Las condiciones físicas y químicas de los suelos, al impartirles mayor resistencia a la acción de las aguas, tipifican y singularizan el comportamiento de cada suelo expuesto a similares condiciones de pendiente, lluvia y cubierta vegetal (14).

Baver *et. al.* citado por Revolorio (12), señala que los efectos de las propiedades del suelo sobre la erosión hídrica se manifiestan de dos formas:

- 1) 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.
- 2) Por las propiedades que imparten al suelo su resistencia a la dispersión, entre las cuales se encuentra la estructura, la textura, la minerología de las arcillas, el contenido de materia orgánica, los agentes cementantes etc.

Hudson citado por Revolorio (12), dice que la profundidad del suelo y las características del subsuelo son también muy importantes y deben ser consideradas al elevar la erodabilidad y/o susceptibilidad de los suelos a la erosión.

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

renovable. Esto es lo que se llama erosión de la fertilidad, la cual se manifiesta en una modificación de las propiedades físicas y químicas del suelo (14).

En un suelo arenoso, la erosión se inicia más rápidamente que en uno arcilloso, sin embargo esto dependerá del contenido de materia orgánica del suelo, sumado también a la estructura (9).

3.1.2.2 Uso y manejo del suelo

El uso y manejo del suelo juegan un papel importante en la erosión, pues si se hacen técnicamente constituyen factores temperantes de la misma. En el manejo del suelo, las labores y su frecuencia, remueven y desmoronan el suelo, dejándolo en condiciones de ser arrastrado fácilmente por el agua (4).

3.1.2.3 Pendiente

La pendiente tiene dos factores principales que influyen en la erosión: La inclinación (grado) y la longitud. A medida que aumenta la inclinación, crece el peligro de erosión, porque el agua corre más rápidamente por la superficie y disminuye el tiempo para infiltrarse. La longitud de la pendiente influye en la velocidad y volumen del agua de escorrentía, la cual aumenta su poder erosivo (energía) a medida que aumenta su longitud (4).

La longitud de la pendiente se define como la distancia entre el punto de origen del flujo del agua de escorrentía y cualquiera de los siguientes puntos aguas abajo (16).

3.1.2.4 Lluvias

Ejercen un efecto mecánico sobre los agregados del suelo, debido al impacto de las gotas que desprenden las partículas que son fácilmente arrastradas por el agua de escorrentía. La velocidad y volumen de escorrentía están directamente relacionadas con la intensidad y frecuencia de los aguaceros (4).

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

a) *Intensidad:*

La intensidad es la lámina de agua que cae por unidad de tiempo, expresada generalmente en milímetros por hora. Es el efecto pluviométrico más importante que afecta la escorrentía y la erosión, aunque ejerce mayor influencia sobre ésta última, constituyéndose en un importante parámetro potencial de erodabilidad (14).

b) *Frecuencia:*

Es el tiempo transcurrido entre los aguaceros. Si los intervalos entre las lluvias son cortos, es alto el contenido de humedad del suelo y se aumenta la posibilidad de que se origine escorrentía, aún con lluvias de baja intensidad; por el contrario, si los períodos entre lluvias son largos, estará seco y no habrá escorrentía con aguaceros de baja intensidad (4).

3.1.2.5 *Cubierta vegetal*

La cubierta vegetal es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión. Toda planta desde la más minúscula hierba hasta el árbol más corpulento, defiende al suelo de la acción perjudicial de las lluvias en forma y proporción diferentes (14).

Cougon citado por Revolorio (12), dice que la vegetación juega un papel importante en el control de la erosión y sus efectos, el cual puede resumirse en dos aspectos:

- a) Actúa como interceptora de las gotas de lluvia y
- b) Disminuye el volumen y la velocidad de la escorrentía.

Un terreno recubierto por una vegetación permanente, prado o selva, no muestra prácticamente señales de erosión, puede haber escorrentía si la pendiente es fuerte, pero las pérdidas de suelo son nulas.

Según la misma cita (12), experimentos realizados en Sefá, Senegal demostraron que el bosque protege al suelo 40 veces más que el barbecho natural y si su cultivo cubre bien el suelo, la erosión no pasa de unas cuantas toneladas por hectárea por año; en cambio si las siembras son poco densas las pérdidas de tierra alcanzan de 8 a 15 ton/ha/año y si los cultivos son diezmados por los insectos o las enfermedades, la erosión puede elevarse hasta 50 ton/ha/año.

Forsythe citado por Revolorio (12). Señala que en experimentos realizados en San Isidro de El General, Costa Rica, se encontró una relación de pérdida de suelo de 6:1 entre una parcela sin cobertura y otra con cobertura de zacate.

3.1.3 Prácticas de conservación de suelos:

Así se denominan a todas las prácticas encaminadas a aumentar las resistencias o disminuir las fuerzas que intervienen en la erosión. Son todas aquellas labores que tienden a conservar los suelos y las aguas para que produzcan los máximos beneficios económicos y sociales por el mayor tiempo posible, clasificándose en culturales, mecánicas y agronómicas (4,14).

3.1.3.1 Prácticas culturales

Son aquellas que buscan la protección de los cultivos mediante sistemas de manejo, de tal forma que sea más productivo con menor riesgo de erosión (14).

a) Localización de los cultivos:

El primer paso en un programa de conservación es la correcta localización de los cultivos, para lo cual es necesario

conocer su efecto sobre la erosión, además de los criterios Técnicos de suelos, ecológicos y económicos (4).

La distribución de los cultivos debe establecerse de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra, según la clasificación agrológica de la misma (14).

b) Siembras en contorno:

Consiste en disponer las hileras de siembra y verificar todas las labores de cultivo en forma transversal a la pendiente siguiendo las curvas de nivel (14).

Los surcos constituyen un obstáculo al escurrimiento y permite que se acumule el agua a lo largo de los mismos lo cual permite su infiltración en el suelo, cuando la duración e intensidad de las lluvias son excesivas, el agua acumulada de los surcos puede rebasar la capacidad de almacenamiento, provocándose el desbordamiento por escurrimiento y erosión (9).

c) Cultivos en fajas:

Consiste en la disposición de los cultivos en fajas transversales de anchura variable, alternandolas con calles de coberturas densas con el fin de disminuir a intervalos la velocidad del agua y aminorar el de erosión, en tal forma que cada año se alternen plantas que ofrecen poca protección del suelo con otras de crecimiento denso (9).

d) Barreras vivas:

Son líneas de plantas perennes y de crecimiento denso que se siembran a lo largo de una curva a nivel y sirven de guía permanente para la siembra en contorno. Llevan una separación entre una y otra de acuerdo a la pendiente del terreno y pueden establecerse entre cultivos limpios o anuales, así como entre cultivos perennes (14).

e) *Plantas de cobertura y abonos verdes:*

Se utilizan para proteger el suelo contra la erosión y mejorar sus condiciones físicas y químicas para el crecimiento de cultivo posterior. Cuando esas plantas se entierran, se denominan abonos verdes, verificándose su acción a través del aumento en el contenido de materia orgánica del suelo (14). Las coberturas amortiguan el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y forman una superficie rugosa que disminuye la velocidad del agua de escorrentía. Las leguminosas utilizadas como cobertura, aumentan la fertilidad del suelo al fijar nitrógeno del aire en sus raíces (4).

f) *Rotación de cultivos:*

Se define como la sucesión recurrente y más o menos regular de diferentes cultivos en el mismo terreno, lo cual contribuye de modo eficaz a controlar la erosión y mantener la productividad de los terrenos (14).

3.1.3.2 *Prácticas mecánicas*

Son aquellas actividades que se realizan con implementos agrícolas, mano de obra y consiste en realizar movimientos de tierra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y evitar la erosión en terrenos con pendiente (5).

a) *Canales de desviación:*

Son estructuras que sirven para evacuar volúmenes considerables de agua, siendo su costo relativamente alto. Los canales de desviación cortan el flujo de agua de escorrentía de predios más altos y llevan esas aguas a un desagüe bien protegido, impidiendo que causen daños en áreas vecinas más bajas (14).

b) *Terrazas:*

Son los terraplenes formados entre los bordes de tierra, o la combinación de bordes y canales, construidos en sentido

perpendicular a la pendiente del terreno, con la cual se reduce la erosión del suelo, aumenta la infiltración del agua en el suelo, disminuye el volumen de escurrimiento y mejora la superficie de los terrenos, acondicionándola para las labores agrícolas (5).

c) Acequias:

Son Zanjas de 0.30 m. de ancho en el fondo y con taludes de proporción 1:1 con profundidad y pendiente variable.

Se construyen a distancias regulares de acuerdo con la pendiente y uso del terreno. A 0.15 m., del borde superior y a todo lo largo de ella, se siembra una barrera viva con el objeto de filtrar el agua que llega al canal y en esa forma, disminuir la cantidad de material que en el se deposite (14).

3.1.3.3 Prácticas agronómicas

Son técnicas que incrementan la producción, tales como el uso de semillas mejoradas, la aplicación de fertilizantes y correctores químicos del suelo, y el control de plagas y enfermedades (4).

3.1.4 Descripción del modelo USLE :

El modelo de la ecuación universal de pérdida 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 (18).

La ecuación de pérdida de suelo está definida por

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

A: Es la cantidad estimada de pérdidas de suelo por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para el factor K y para el período seleccionado para el factor R. Generalmente está dado en toneladas por acre por año, para convertir esa cantidad a ton/ha/año basta multiplicar el valor de A por 2.242 (18).

- R* : Factor de erosividad de lluvias
K : Factor de erodabilidad del suelo
L : Factor de longitud de pendiente
S : Factor de pendiente
C : Factor de cobertura
P : Factor de prácticas de conservación de suelos.

3.1.4.1 Erosividad de las lluvias (Factor *R*)

El valor numérico usado para el factor *R* en la ecuación universal de pérdida de suelo, debe cuantificarse del efecto que causa el impacto de las gotas de lluvia y también debe preveer información relativa de la cantidad y tasa de esorrentía como para ser asociada con lluvia (17).

Cuando los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo se mantienen constantes, las pérdidas de suelo en los campos de cultivo son directamente proporcional al parámetro de la tormenta identificado como *EI*. La suma de valores *EI* para diferentes tormentas en un período dado, representa una medida numérica del potencial erosivo de la lluvia para tal período. El promedio anual total de los valores de *EI* para diferentes tormentas en una localidad particular, representa el índice de erosividad de la lluvia para tal lugar (17).

Las lluvias menores de media pulgada (12.7 mm) y separadas con intervalo de tiempo de seis horas, pueden omitirse para el cálculo del índice de erosividad (17).

Por definición, los valores de *EI* para una tormenta dada, es igual al producto de la energía total (*E*), tantas veces se presenta la máxima intensidad en 30 minutos (*L30*), donde la cantidad de *E* (energía está expresada en cientos toneladas pies por acre e *EI* en pulgadas por hora) (17).

Las gotas de agua aumentan la erosión con la intensidad. El termino *EI*, es una interacción estadística que refleja como la

energía total y el pico de intensidad son combinados en cada tormenta particular. La energía de una tormenta en función de la cantidad de lluvia y de todas las intensidades que compongan dicha tormenta. El tamaño promedio de las gotas de lluvia se incrementan con la intensidad y la velocidad final de las gotas de agua 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. (17)

3.1.4.2 Erodabilidad del suelo (Factor K)

El significado del termino "erodabilidad del suelo" difiere del termino "erosión del suelo". La tasa de erosión del suelo (A), en la ecuación de pérdida de suelo, puede ser influenciada más por la pendiente del suelo, longitud de la pendiente, las 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 (17).

Estas diferencias causadas por las propiedades del suelo mismo se refieren a la erodabilidad del suelo.

El factor erodabilidad del suelo, o factor K en la USLE, es un valor cuantitativo determinado experimentalmente. Para un suelo particular, es la tasa de suelo perdido por índice de erosión medido en una parcela estándar (22.13 m. de largo y 9% de pendiente) (17).

El factor K se calcula mediante la siguiente relación:

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

Donde:

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

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

- a: % de materia orgánica.
- b: Códigos de estructura del suelo, usados en la siguiente clasificación:
1. Estructura granular muy fina
 2. Estructura granular fina
 3. Estructura granular media a gruesa
 4. Estructura en bloques, laminar o masiva
- c: Clase de permeabilidad del perfil del suelo
1. muy lenta: Menor de 0.13 cm/h
 2. Lenta de 0.13 a 0.51 cm/h
 3. Moderadamente lenta de 0.51 a 2.00 cm/h
 4. Moderada de 2.00 a 6.3 cm/h
 5. Moderadamente rápida de 6.3 a 12.7 cm/h

3.1.4.3 Factor topográfico (Factor LS)

El factor LS es la relación de pérdida de suelo que se espera por unidad de área en una pendiente cualquiera a la pérdida correspondiente a una parcela de 22.13 m., de longitud y 9% de pendiente (18).

3.1.4.4 Factor de cobertura (Factor C)

El factor c se obtiene de la relación de la cantidad de suelo erosionado bajo un determinado cultivo y la pérdida de suelo en áreas desnudas, labrada en dirección paralela a la pendiente. Este factor mide las combinaciones de los efectos de todas las interrelaciones de la variable cobertura y manejo (18).

Las pérdidas que pueden ocurrir en un campo particular, en el cual no hay cobertura, puede calcularse mediante el producto de los factores RKLS de la USLE. Este factor depende de las combinaciones de cobertura (estado particular del cultivo, crecimiento y desarrollo de la cobertura en el periodo de lluvia), y prácticas de manejo del cultivo (18).

El modelo divide el ciclo del cultivo en los períodos:

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

3.1.4.5 Factor de prácticas de conservación (P)

Por definición el factor P en la USLE, es la relación que hay entre las pérdidas de suelo que ocurren en un suelo bajo una determinada práctica de conservación y las pérdidas de suelo que ocurren en la misma área sin práctica de conservación (18).

3.2 Marco referencial.

3.2.1 Ubicación:

La cuenca del río Itzapa se encuentra ubicada en la parte alta y al noroeste de la cuenca del río Achiguate, entre los meridianos $90^{\circ} 49' 0''$ y $90^{\circ} 22'$ a $90^{\circ} 54' 09''$ de longitud oeste y los paralelos $14^{\circ} 34' 40''$ a $14^{\circ} 38' 57''$ de latitud Norte; la extensión que cubre es de 25.40 km² (ver figura 1).

La superficie de la cuenca está comprendida dentro de la jurisdicción municipal de San Andrés Itzapa; abarca parcialmente dentro de su área la cabecera municipal, y totalmente las aldeas Chicazanga y el aguacate. Además cuenta en su delimitación con la montaña el Socó, con una altura de 2,666 msnm como el principal accidente geográfico (15).

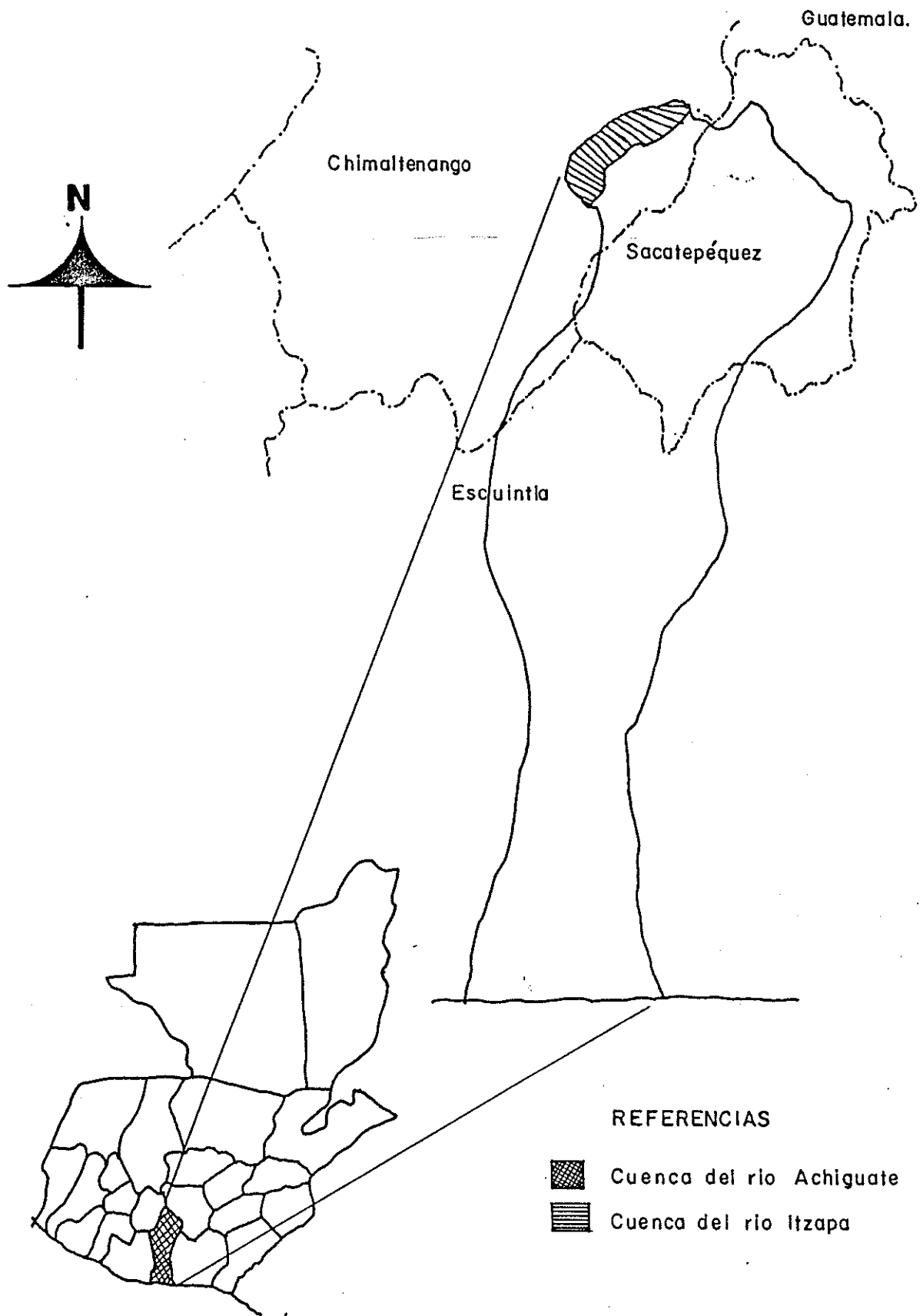


FIGURA 1: Localización de la microcuenca a nivel nacional.

3.2.2 Clima :

El clima de acuerdo a la clasificación de Thorntwaite corresponde a la unidad b'2 b' Bi: Templado con invierno benigno y húmedo con invierno seco (6).

La temperatura media anual es de 21.3° C (6).

La precipitación media anual de la cuenca es 1097.23 mm, del cual se estimó un volumen total precipitado anualmente de 27,869,642 m³ para toda la cuenca (15).

3.2.3 Geología:

Según el mapa geológico de la república de Guatemala, escala 1:50,000 del IGM, en el área se identifican dos unidades que son Qt y Qtd; en donde Qt comprende Thepra pómez gris a blanco y ceniza gris a negro interestratificada, mientras que Qtd comprende Tephra interestratificada con diamictos pomáceos.

3.2.4 Geomorfología y Fisiografía:

El área en general se encuentra con relieves accidentados en pendientes fuertes, hasta zonas de valle de la parte baja. Las alturas sobre el nivel del mar van desde 1750 m., en la parte más baja a 2668 en la más alta (15).

Fisigráficamente la cuenca está comprendida en el complejo volcánico-montañoso de Itzapa parramos; y la parte baja se identifica como valle de Itzapa, en pequeño Valle Caluvio-aluvial (15).

3.2.5 Edafología:

Dentro de la cuenca se identifican tres series de suelos según la clasificación de Simmons, Ch. S.; Tarano, J.M. y Pinto, J.H, que son: Alotenango, Tecpán y Patzicía. La primera cubre mayor extensión que la segunda y la segunda mayor que la tercera (7).

Según Herrera (7), se clasifican los suelos de la cuenca hasta nivel de subgrupo taxonómicamente. Siendo estos: *Typic Vitrandept*, con capacidad de uso (IIe), con un área de 19.30%; *Typic Vitrandept*, con capacidad de uso (VIIe) con un área de 5.73%, y *Typic Vitrandept*, con capacidad de uso (VIe) con un área de 71.80%

3.2.6 Zona de vida:

Ecológicamente el área presenta dos zonas de vida: *Bosque Humedo Montano bajo Subtropical*, que abarca la mayor parte del área en las elevaciones medias y bajas; y *Bosque muy Húmedo Montano bajo Subtropical* en las elevaciones altas (15).

3.2.7 Hidrografía:

La principal corriente de la cuenca, es el río Itzapa, el cual nace en la montaña el Socó, en donde recibe el nombre de río de la Virgen; este recibe aún antes de su salida el nombre de río Itzapa, que es el tributario principal del río Guacalate. Los ríos Guacalate y Achiguate se unen para formar un solo cauce, el cual recibe el nombre de Achiguate y desemboca en el océano Pacífico.

Según la curva de duración de caudales elaborada por Tojin (15), muestra que el caudal característico medio es de 0.127 m³/seg., y el caudal característico de estiaje es de 0.091 m³/seg.

El volumen de la escorrentía superficial anual obtenido es de 3,342,816 m³ (15).

3.2.8 Uso de la tierra:

El uso que actualmente se le da a la tierra en la cuenca, es el siguiente:

TIPO DE USO (*)	PORCENTAJE
- Bosque de coníferas abierto	17.93
- Bosque de coníferas denso	2.40
- Bosque latifoliar bajo	0.19
- Bosque latifoliar denso	15.77
- Bosque mixto bajo	11.58
- Bosque mixto abierto	1.48
- Bosque latifoliar disperso	3.92
- Bosque latifoliar abierto	0.93
- Bosque abierto de coníferas y cultivo permanente de café	0.27
- Bosque latifoliar disperso, horticultura y cultivos anuales	2.51
- Praderas no mejoradas y cultivos anuales	2.63
- Horticultura, cultivos anuales y centro poblado rural	3.39
- Cultivos anuales y bosques de coníferas	1.90
- Cultivos anuales	0.80
- Cultivos anuales y permanentes	0.80
- Cultivos anuales y horticultura	3.39
- Horticultura, cultivos anuales y praderas	22.90
- Horticultura, cultivos anuales y centro urbano	0.57
- Cultivo permanente de café	2.32
- Centro poblado urbano	4.31

*. Información proporcionada por personal del Proyecto de la Cuenca del río Itzapa.

4. OBJETIVOS

4.1 General.

Generar información básica sobre el efecto de la pendiente y diferentes tipos de cobertura vegetal, para el desarrollo de modelos de erosión y de respuesta hidrológica de la microcuenca del río Itzapa.

4.2 Específicos.

4.2.1 Determinar el escurrimiento superficial y la erosión hídrica en tres tipos de cobertura vegetal.

4.2.2 Determinar el escurrimiento superficial y la erosión hídrica en dos diferentes grados de inclinación del terreno.

4.2.3 Determinar el factor de erodabilidad del suelo de los dos sitios evaluados.

5. HIPOTESIS

5.1 *Los tipos de cobertura evaluados (Pasto, Brócoli y Maíz), contribuirán a disminuir la cantidad de suelo erosionado y el escurrimiento superficial que se ocasiona por la precipitación pluvial, con respecto a las áreas sin cultivo y sin vegetación en la época lluviosa del año 1993, en la aldea chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango.*

5.2 *La escorrentía superficial y la cantidad de suelo erosionado será mayor en las áreas con 40% de pendiente que en las áreas con 25% de pendiente, durante la época lluviosa del año 1993, en la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa, Chimaltenango.*

6. METODOLOGIA

6.1 Ubicación del sitio experimental.

La investigación se realizó en la aldea Chicazanga, San Andrés Itzapa Chimaltenango; la cual se ubica a $14^{\circ} 34' 58''$ latitud norte y $90^{\circ} 52' 22''$ longitud Oeste a una altitud de 2230 msnm y a una distancia de 6 kilómetros al suroeste de la cabecera municipal. (figura 2)

El área se seleccionó por ser representativa de las diferentes formas del uso de la tierra en la cuenca y por considerarse un área crítica de erosión de la misma.

6.2 Selección de tratamientos.

Los tratamientos se seleccionaron de acuerdo al uso de la tierra y tomando en cuenta las pendientes representativas del área, con el objeto de obtener los índices de la ecuación Universal de pérdida de suelo, para diferente tipo de cobertura vegetal. Los tratamientos que se evaluaron fueron los siguientes:

- a) cobertura de pasto Kikuyú (Penisetum clandestinum)
- b) cobertura de maíz (Zea mays)
- c) cobertura de brócoli (Brássica oleracea var. itálica)
- d) Testigo (sin cobertura)

Los tratamientos se evaluaron en dos sitios cercanos, uno con 25% y el otro con 40% de pendiente, por ser representativas del área de cultivo (figura 3).

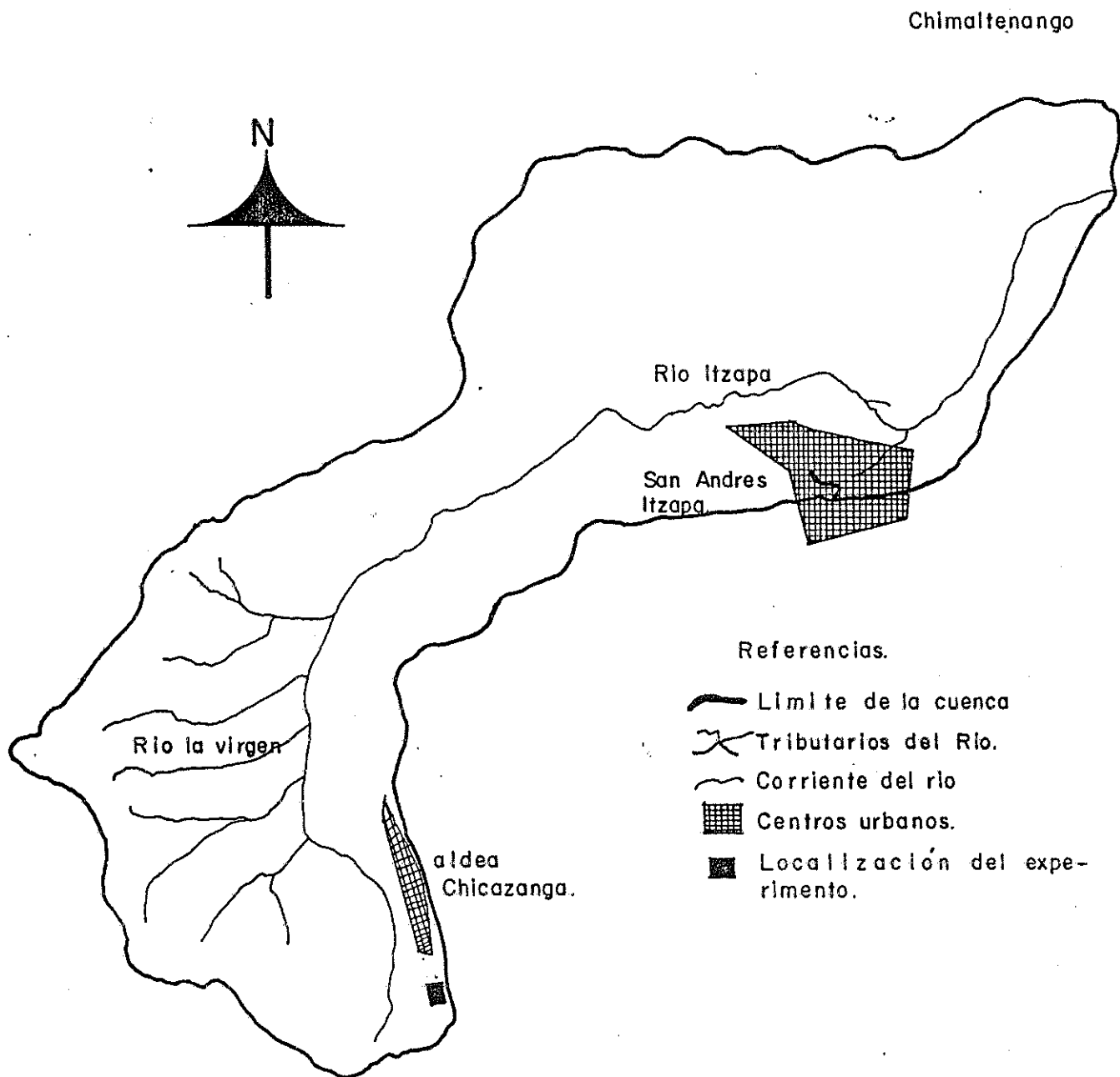


FIGURA 2: mapa de la cuenca del rio Itzapa, mostrando el sitio experimental.

ESC. 1:50,000

6.3 Diseño experimental.

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar con tres repeticiones, debido a que en este caso la pendiente se tomó como un factor a evaluar y no una fuente de variación; teniendo así 12 unidades experimentales, cada una con 50 metros cuadrados, en cada sitio experimental. El número de grados de libertad del error es inferior al límite permitido, sin embargo, no era posible aumentar el número de repeticiones por la disponibilidad de espacio, dado el tamaño de las unidades productivas de los agricultores.

6.3.1 Modelo estadístico :

El modelo estadístico para el diseño experimental que se utilizó es el siguiente $Y_{ij} = M + T_i + E_{ij}$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij -ésima unidad experimental. M = Efecto de la media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

$i = 1, 2, 3, \dots, T$

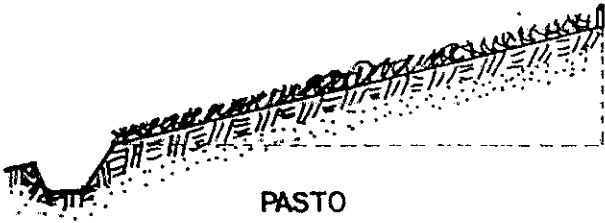
$j = 1, 2, 3, \dots, r$

6.3.2 Variables respuesta :

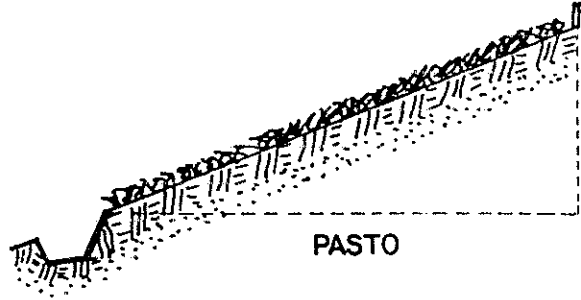
- a) Cantidad de escurrimiento superficial en metros cúbicos/ha y porcentaje de escorrentía.
- b) Cantidad de suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea.

25 %

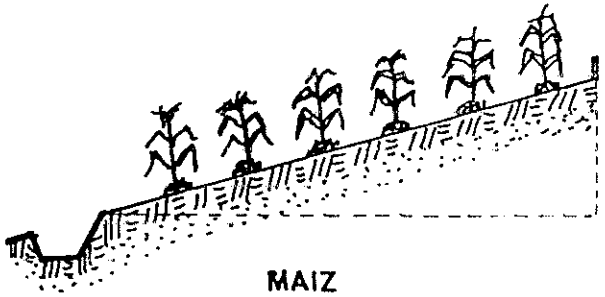
40 %



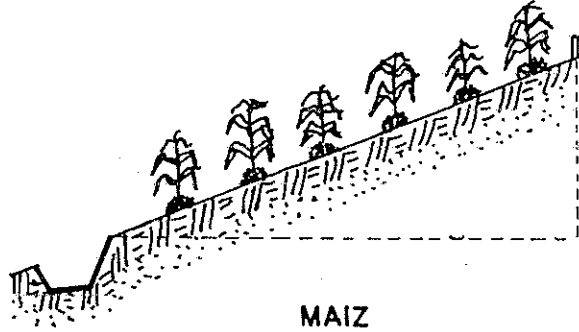
PASTO



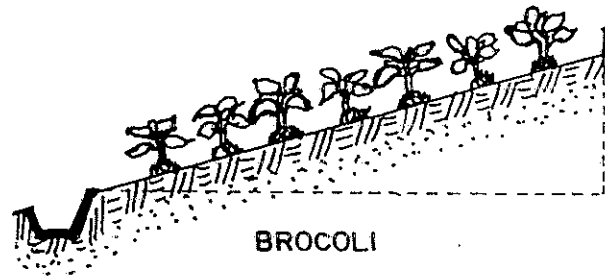
PASTO



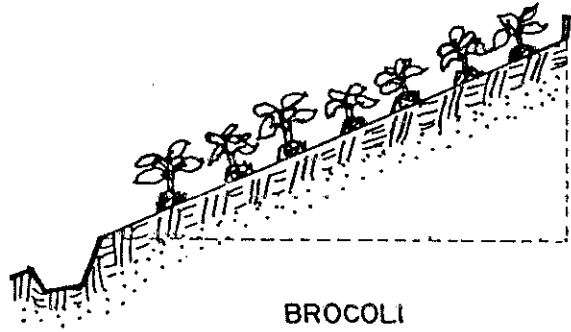
MAIZ



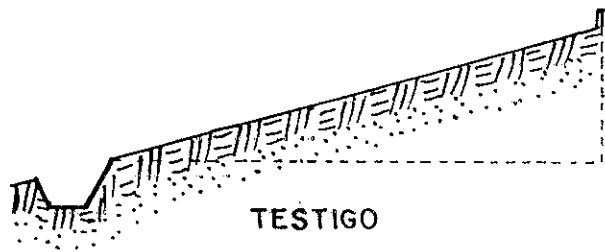
MAIZ



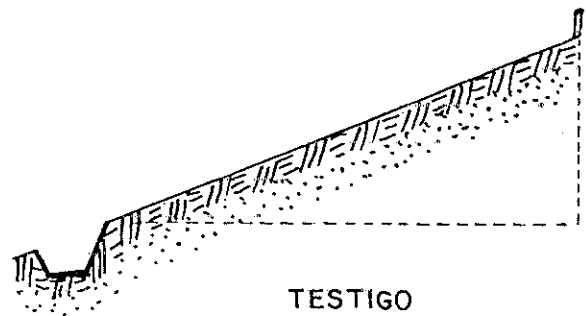
BROCOLI



BROCOLI



TESTIGO



TESTIGO

FIGURA 3: SECCION TRANSVERSAL DE LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS EN LAS DOS PENDIENTES, 25% Y 40% .

6.3.3 Variables auxiliares :

- a) *Cantidad, frecuencia e intensidad de la precipitación pluvial en el área de estudio.*
- b) *Caracterización de los suelos de los dos sitios del experimento; incluye características físicas como: Textura, estructura, permeabilidad, materia orgánica y densidad.*
- c) *Análisis de nutrientes de los sedimentos y del filtrado de los sólidos en suspensión.*
- d) *Porcentaje de cobertura de los tratamientos evaluados en diferente estado de desarrollo.*

6.4 Arreglo y montaje del experimento.

6.4.1 Confinamiento de parcelas :

El método utilizado para calcular la escorrentía y suelo erosionado requirió de la circulación para evitar la penetración de escorrentía superficial de áreas aledañas, para ello se utilizó tablas de madera de segunda (lepas) de 0.25 m., de ancho, las cuales se introdujeron en el suelo hasta una profundidad de 0.15 m., fijandolas al terreno con estacas de madera. El tamaño de las parcelas fue de 10 metros de largo por 5 m., de ancho (50 metros cuadrados), y se ubicó el lado más largo paralelo a la pendiente (figura 4).

6.4.2 Sistema colector de agua y sedimentos :

El sistema colector consistió en:

- a) *Canales colectores: Son zanjas de forma trapezoidal que se hicieron de 0.30 metros de profundidad, recubierto con plástico, para evitar que el agua escurrida de la parcela se infiltrara.*
- b) *Canales de evacuación: Se utilizaron para conducir el agua y los sedimentos de los canales colectores hacia los recipientes, se utilizaron canales semicirculares de lámina, de 0.60 metros de largo.*

c) *Recipientes colectores:* Como recipientes colectores se utilizaron toneles plásticos de 200 litros de capacidad. Se colocaron dos por parcela de acuerdo al volumen de escorrentía esperado, conectados en su parte superior por un tubo pvc., y se instalaron en un agujero, teniendo cuidado que quedaran 0.10m más bajo que el nivel del canal (figura 4).

6.4.3 Instalación de aparatos meteorológicos :

En un lugar cercano al experimento se instaló la estación meteorológica, conformada por un pluviógrafo de banda semanal, un pluviómetro, un tanque evaporímetro y un termómetro de máximas y mínimas.

6.4.4 Colocación de clavos en las parcelas :

En cada una de las parcelas de escurrimiento se colocaron 8 clavos de 50 cms., de largo, introducidos en el suelo hasta una marca de 40 cms., los cuales se utilizaron para medir la erosión en centímetros y correlacionarla con el método de sedimentación y así poder marcar la precisión de este método.

6.4.5 Establecimiento y manejo de las coberturas :

El maíz se sembró a una distancia de 1.00 metro al cuadrado, colocando 5 granos por postura y en surcos perpendiculares a la pendiente. El brócoli se trasplantó después de 6 semanas de la germinación a un distanciamiento 0.50 por 0.50 metros; mientras que para la cobertura de pasto, se buscó un área cubierta con kikuyú. Para el manejo de los cultivos se siguió la tecnología de los agricultores del lugar, realizando 3 limpiezas manuales a todos los tratamientos. Se aplicó fertilizante orgánico (gallinaza) al momento del trasplante de brócoli y posteriormente una fertilización con abono químico de la fórmula 15-15-15.

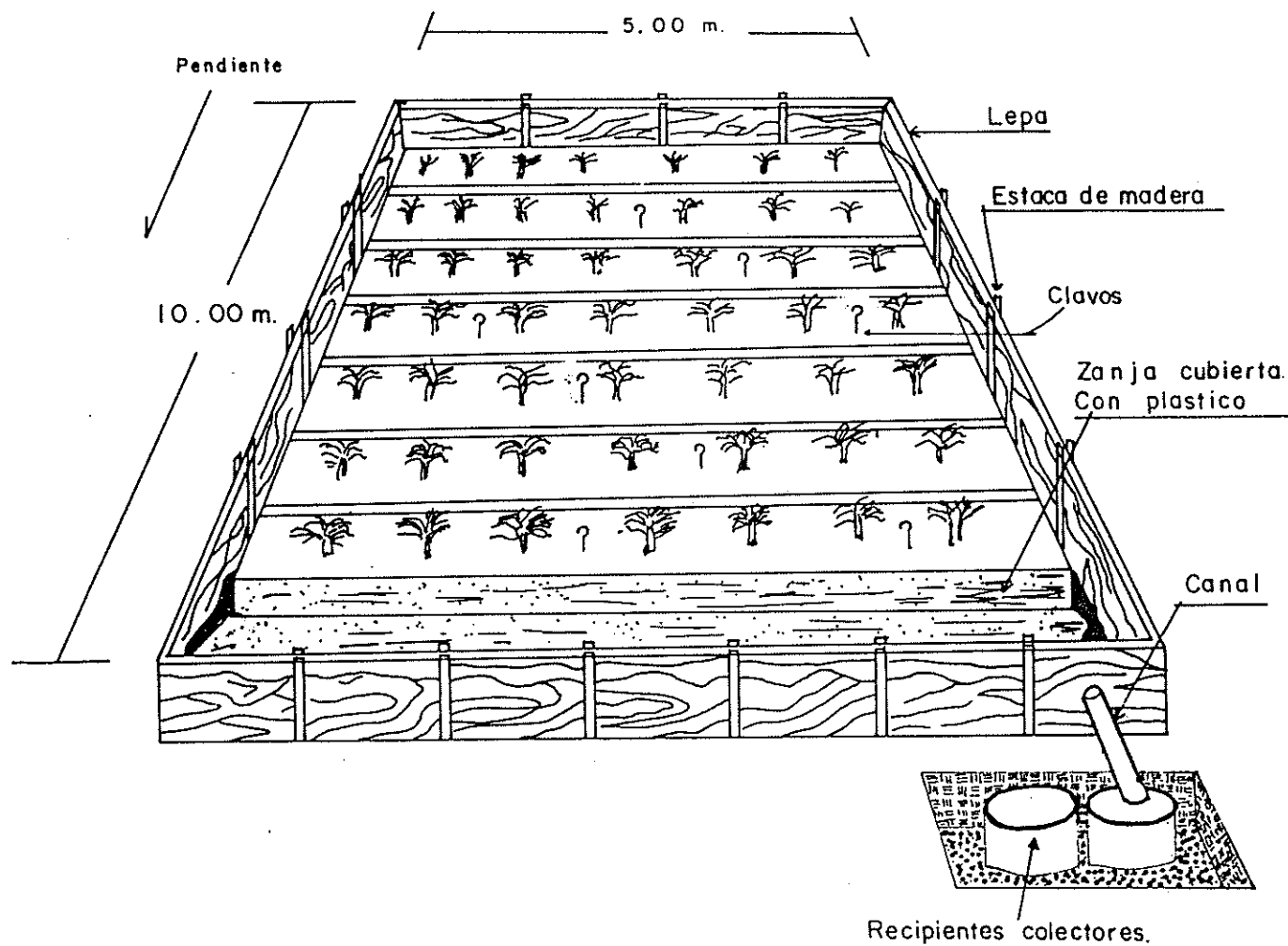


FIGURA 4: Esquema de una parcela de escorrentia establecida en el ensayo.

6.5 Medición de variables.

6.5.1 Escurrimiento superficial :

La medición del escurrimiento superficial se realizó después de cada evento que causó escorrentía. Para el efecto se utilizó una regla calibrada en litros para cada tipo de recipiente; la regla se introdujo en el recipiente para medir la profundidad de agua escurrida, luego se convirtieron los datos a metros cúbicos por hectárea; a estos datos se les restó la cantidad de agua de lluvia sobre el canal colector y el recipiente.

6.5.2 Cantidad de suelo erosionado :

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

a) Sólidos en suspensión.

Después de cada evento que arrastró sedimentos, se colectó 1 litro de agua de escorrentía de cada parcela. Para calcular la cantidad de sólidos se filtró cada muestra, y a lo que quedó en el filtro se le determinó el peso seco para posteriormente relacionarlo con la cantidad de agua de escorrentía. El agua filtrada se sometió a análisis químico para conocer los nutrientes presentes en el agua de escorrentía.

b) Sedimentos:

Después de medir el agua de los recipientes se colectó los sedimentos depositados en el fondo de los mismos y se agregaron a los sedimentos que quedaron en el canal colector.

Estos se pesaron en húmedo y se tomó una muestra para determinarle el peso seco por el método gravimétrico.

El total de sedimentos más el total de sólidos en suspensión, proporcionó el total de suelo erosionado en Kg/ha, luego al sumar todos los eventos ocurridos se transformaron a ton/ha/año.

A las muestras de sedimentos se les efectuó las siguientes determinaciones:

- Porcentaje de humedad; método gravimétrico.
- Granulometría; método del hidrómetro de Bouyucos, escala USDA modificada.
- Materia Orgánica; método Walkley Blak modificada.
- Elementos extraíbles; método de carolina del norte

6.5.3 Densidad de cobertura :

Con una frecuencia de 20 días se midió el porcentaje de cobertura de cada tratamiento, con el propósito de conocer el grado de protección que la cobertura le dió 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 1m², con cuerdas de rafia a cada 2 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 el porcentaje de cobertura de Brócoli 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.

6.6 Análisis de la información :

Para la cantidad de suelo erosionado y cantidad de agua escurrida, se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y luego pruebas de medias con el comparador Tukey cuando fue necesario. También se realizó un análisis de correlación simple para las variables escurrimiento superficial en m³/ha, suelo erosionado en ton./ha/año, con los porcentajes de arcilla, limo, arena, materia

orgánica y cobertura; así como con la densidad aparente, y la intensidad de precipitación.

Se determinó el factor *C*, tomando en cuenta la relación siguiente :

$$C = \frac{\text{cantidad de suelo erosionado por cada cobertura}}{\text{cantidad de suelo erosionado en el Testigo.}}$$

Para el cálculo del factor *K* se tomó en cuenta el contenido de materia orgánica, permeabilidad, estructura y granulometría.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Precipitación.

7.1.1 Precipitación total mensual :

En el cuadro 1 se presentan los valores de la precipitación mensual para el período del estudio y los valores promedios de 9 años de registro de la estación Alameda.

Cuadro 1: Precipitación mensual registrada durante el presente estudio y el promedio mensual de 9 años en Chicazanga San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala.

mes	1993 (mm) +	promedio de 9 Años (mm) ++
Julio	----	162.02
Agosto	221.8	174.50
Septiembre	207.2	200.20
Octubre	110.8	112.06
Noviembre	5.7	15.16
Diciembre	0.0	2.64

+ valores obtenidos en el sitio experimental.

++ valores calculados a partir de información de registros de la estación Alameda, Chimaltenango.

En el cuadro anterior se puede observar que los valores de precipitación registrados en el área de estudio son altos durante el mes de agosto y septiembre, en relación al promedio de 9 años de registro de la estación Alameda; esto indica que fue un año muy húmedo, pero la lluvia se concentró en pocos meses. Esta situación influyó sobre la cantidad de escorrentía superficial y cantidad de suelo erosionado, las que se consideran altas en relación a los experimentos realizados en San Mateo Milpas Altas.

7.1.2 Frecuencia de las precipitaciones :

En el cuadro 2 se presentan los valores correspondientes a la precipitación (mm) y frecuencia para 5 clases de lluvia; se

puede observar que la mayor cantidad de precipitación ocurrida durante el periodo de estudio, se concentró en un bajo número de eventos, así el 40.30% de la precipitación total se dió en únicamente 6 eventos de 62 que se dieron en total; mientras que solo 12.0% se dio en 32 eventos de lluvia menores de 5 mm, lo cual confirma lo mencionado por Suárez de Castro (14), en el sentido que existe en las zonas tropicales una tendencia a acumularse buena cantidad de la precipitación en pocas lluvias.

La mayor precipitación registrada, ocurrió el 2 de noviembre y fue de 40.0 mm, con una intensidad media de 35 mm/hora.

Del total de eventos registrados, 18 fueron de precipitaciones mayores a 10 milímetros y fueron los que produjeron escurrimiento superficial.

Cuadro 2: Precipitación y frecuencia para cinco clases de lluvias ocurridas en Chicazanga, San Andrés Itzapa, del 12 de agosto al 31 de diciembre de 1,993

clase (mm)	frecuencia	%	Precip. (mm)	%
0-5	32	51.62	65.5	12.0
0 - 10	12	19.36	79.8	14.63
10- 15	7	11.29	84.6	15.51
15 - 20	5	8.06	95.8	17.56
+ de 20	6	9.07	219.8	40.30
Total	62	100.00	545.5	100.00

7.1.3 Intensidad :

La intensidad de las lluvias registradas en el periodo de estudio, tuvo una fluctuación entre 0.18 milímetros por hora y 35 milímetros por hora. Se registraron 18 eventos mayores de 5 milímetros por hora que ocasionaron escorrentía, mientras que de éstos, 10 fueron mayores de 13 milímetros por hora los cuales ocasionaron erosión, por ser de alta intensidad.

7.2 Escorrentía.

7.2.1 Porcentaje de escorrentía :

Los porcentajes de escorrentía registrada en todos los tratamientos fueron: 10,24% (216.2 m³/ha) para el menor valor, correspondiente a la cobertura de pasto en el terreno con 25% de pendiente, luego el tratamiento de brócoli con 12.41% (290.4 m³ cúbicos por hectárea); 13.41% (295.93 metros cúbicos por hectárea) para el Testigo y 17.2% (351.06 metros cúbicos por hectárea) para el tratamiento de maíz.

En el terreno con 40% de pendiente los valores fueron más altos; teniendo 11.52% (243.2 metros cúbicos por hectárea) para el tratamiento de pasto; 12.59% (294.66 metros cúbicos por hectárea) para el tratamiento de brócoli; 14.43% (318.40 metros cúbicos por hectárea) para el tratamiento de maíz.

Los altos porcentajes de escorrentía superficial registrados se deben principalmente a que ocurrieron muchos eventos a altas intensidades, y que la mayor parte de lluvia se concentró únicamente en dos meses, por lo que el suelo siempre permaneció húmedo, lo cual favoreció el escurrimiento superficial.

El hecho que en la cobertura de maíz se haya dado el mayor porcentaje de escorrentía, se debe a que este tratamiento no alcanzó el desarrollo de la cobertura normal, puesto que su desarrollo fue parcial debido a que la siembra se realizó después de la época requerida y la variedad no fue la indicada.

7.2.2 Cantidad de escorrentía :

En el cuadro 3 se puede observar el volumen total de escorrentía superficial en metros cúbicos/hectárea para el sitio con 25% de pendiente, en donde se aprecia que el tratamiento con cobertura de maíz reporta el mayor volumen, mientras que el tratamiento con cobertura de pasto el menor valor; sin embargo al realizar los análisis estadísticos (cuadro 4), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Cuadro 3: Escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea, para tratamientos y repeticiones en el sitio de 25% de pendiente.

Trata- mientos	Repeticiones			Total	Media
	I	II	III		
Pasto	220.0	226.6	202.0	648.6	216.2
Maíz	250.8	357.6	297.0	905.4	301.2
Brócoli	294.8	311.0	265.4	871.2	290.4
Testigo	263.0	355.4	269.4	887.8	295.93
				3313.0	

Cuadro 4: Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio de 25% de pendiente.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Tratam.	3	14,539.05	4846.35	3.11NS	4.07
Error	8	12,455.55	1556.94		
Total	11	26,994.60			

NS: No significativo al 0.05 de significancia
C. V. = 14.29%

De la misma forma se puede ver el cuadro 5, en donde se presenta el volumen de escorrentía de las parcelas con 40% de pendiente, obteniendo siempre la cobertura de maíz el valor más alto y la de pasto el menor aunque las diferencias no son muy grandes. Se esperaba que el Testigo tuviera el valor más alto de escorrentía, sin embargo estos resultados se deben al estado de desarrollo de la cobertura de maíz, el cual fue mínimo (figura 7 y 8).

Cuadro 5: Escorrentía superficial en metros cúbicos/hectárea para tratamientos y repeticiones en el sitio de 40% de pendiente.

Trata- mientos	Repeticiones			Total	Media
	I	II	III		
Pasto	256.0	241.0	232.6	729.6	243.20
Maíz	386.0	335.2	332.0	1053.2	351.06
Brócoli	277.8	339.0	267.2	884.0	294.66
Testigo	268.4	384.2	302.6	955.2	318.40
				3,622.0	

En el cuadro 6 se encuentra el análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio de 40% de pendiente, en donde se puede observar que no existe diferencia significativa entre tratamientos a 0.05 de significancia. Al observar la figura 5, se aprecia que la cobertura de pasto presenta el menor valor de escorrentía superficial, pero estadísticamente la diferencia no es significativa; también se puede apreciar que en el sitio con 40% de pendiente la escorrentía fue mayor para todos los tratamientos que en el sitio con 25%.

Cuadro 6: Análisis de varianza para la escorrentía superficial en el sitio de 40% de pendiente.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Tratam.	3	18,562.767	6187.589	4.05NS	4.0 7
Error	8	12,200.373	1525.046		
Total	11		30,763.140		

C.V. = 12.94%

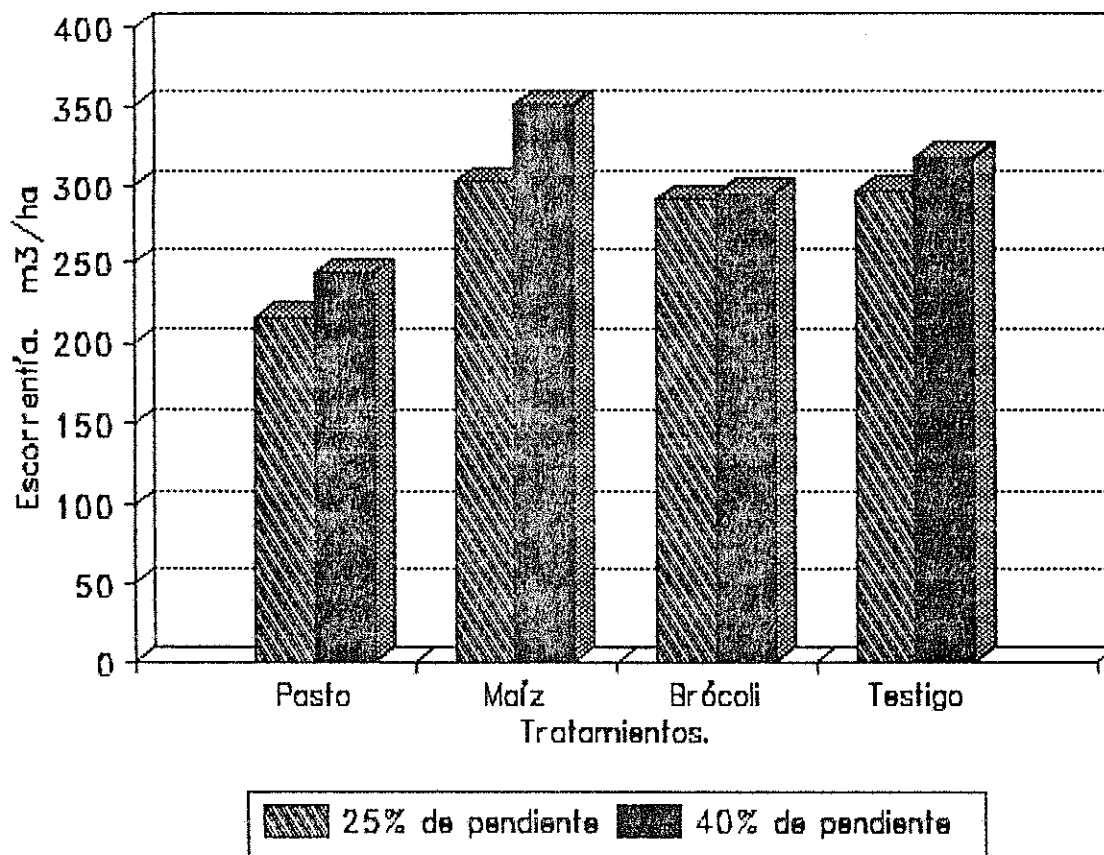


Figura 5: Escorrentía (metros cúbicos/hectáreas), registrada en Chicazanga, San Andrés Itzapa. 1993.

7.3 Suelo erosionado en parcelas de escorrentía:

En el cuadro 7 se observa la cantidad total de suelo erosionado por efecto de los eventos de lluvia que causaron arrastre de partículas en el sitio con 25% de pendiente. Estos valores se presentan gráficamente en la figura 6, en donde se observa que el tratamiento sin cobertura (Testigo) presenta el valor más alto de suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea, le sigue el tratamiento de maíz con una relación de

1.09 :1; luego el tratamiento de brócoli con una relación de 1.41 a 1 y por último el tratamiento con pasto con relación de 16.66 a 1. Esto indica que la cobertura de pasto es la que le ofrece mayor protección al suelo contra la erosión, mientras que las relaciones bajas con los otros tratamientos se debe al bajo porcentaje de cobertura que presentaban sobre todo en los primeros eventos de lluvia.

Cuadro 7: Cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) en el sitio con 25% de pendiente.

Trata- mientos	Repeticiones			Total	Media
	I	II	III		
Pasto	2.8330	1.7209	1.8059	6.3598	2.1199
Maíz	32.9244	32.7942	31.4932	97.2118	32.4039
Brócoli	25.5224	25.0462	24.6203	74.9189	24.9189
Testigo	36.5224	35.9735	33.6118	105.9837	35.3279
				284.4742	

En el cuadro 8 se encuentra el análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25% de pendiente en el que se puede apreciar que existe diferencia significativa al 0.05 de significancia, por lo que a las medias de los tratamientos se les efectuó la prueba de Tukey, en donde todos los tratamientos son estadísticamente diferentes al 0.05 de significancia, con las medias más altas en su orden: Testigo, Maíz, Brócoli y por último el tratamiento de pasto; por lo tanto se considera que a medida que aumenta el porcentaje de cobertura se reduce la cantidad de suelo erosionado.

Cuadro 8: Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en el sitio con 25% de pendiente.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T
Tratam.	3	2,034.8583	678.2861	805.7568	4.07
Error	8	6.7345	0.8418		
Total	11	1,041.5928			

+ = significativo al 0.05 de nivel de significancia
C.V. = 3.87%

Cuadro 9: Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado en 25% de pendiente.

Tratamientos	suelo erosionado Ton/ha/año	Tukey 0.05 de signif.
Pasto	2.1199	a
Brócoli	24.9729	b
Maiz	32.4039	c
Testigo	35.3279	d

Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales

En el cuadro 10 se presentan los resultados del suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea, para sitio con 40% de pendiente. Estos valores se pueden observar gráficamente en la figura 6, en donde el Testigo presenta el valor más alto (49.0805), le sigue el maíz con una proporción de 1.47 a 1; luego el tratamiento de pasto con 37.52:1. Esto indica que la cobertura de pasto es la que reduce en gran proporción la cantidad de suelo erosionado. Al analizar la figura 6 se observa que con excepción del tratamiento con pasto, los demás tratamientos presentan mayor cantidad de suelo erosionado en el sitio con 40% de pendiente, esto se debe a que el porcentaje de cobertura de pasto era menor en el sitio con 25%.

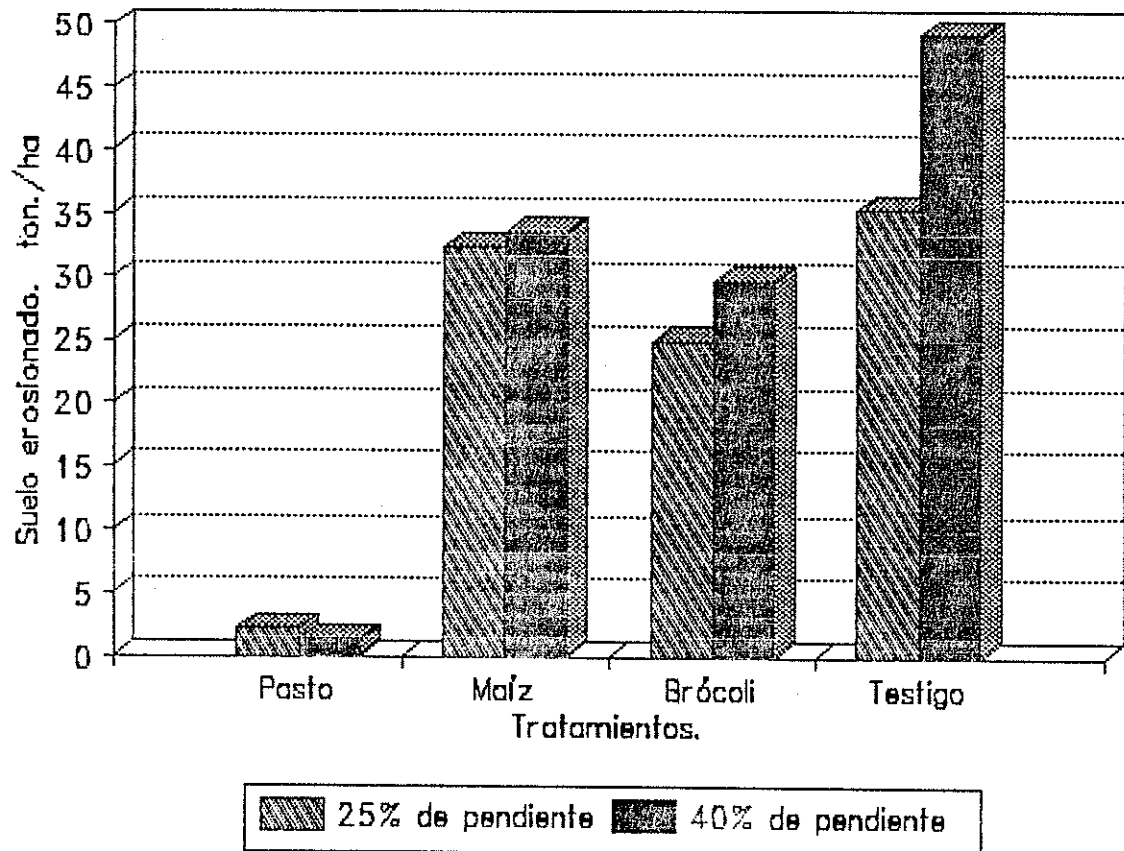


Figura 6: Cantidad de suelo erosionado (Ton/ha/año) registrada en Chicazanga, San Andrés Itzapa. 1993.

Cuadro 10: Cantidad de suelo erosionado (ton/ha/año) en el sitio con 40% de pendiente.

Tratamientos	Repeticiones			Total	Media
	I	II	III		
Pasto	0.8399	0.7844	2.3340	3.9583	1.3194
Maíz	32.4446	33.3592	34.7282	100.5318	33.5106
Brócoli	31.0721	29.3751	28.6214	9.0686	29.6895
Testigo	50.0542	44.6016	52.5857	147.2415	49.0805
				340.8002	

En el cuadro 11 se presenta el análisis de varianza para la

cantidad de suelo erosionado en parcelas con 40% de pendiente, en donde existe diferencia significativa entre tratamientos al 0.05 de significancia; por lo tanto se realizó la prueba de Tukey que aparece en el cuadro 12, en donde se puede observar que los tratamientos de brócoli y Maíz son estadísticamente iguales al 0.05 de nivel de significancia y presentan los valores medios de suelo erosionado, mientras que el tratamiento de pasto presenta la media más baja y el Testigo la media más alta.

Por lo tanto, se puede decir que todo tipo de cobertura por mínimo que sea, reduce la cantidad de suelo erosionado, en comparación con el suelo desnudo.

Cuadro 11: Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en parcelas con 40% de pendiente.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Tratam.	3	3,566.4636	1188.82	234.05+	4.07
Error	8	40.6340	5.0792		
Total	11	3,607.0976			

+ Existe diferencia significativa al 0.05 de signif.
C.V. = 7.93%

Cuadro 12: Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado en parcelas con 40% de pendiente.

Tratamientos	Erosión media Ton/ha.	Tukey 0.05 de signif.
Pasto	1.3194	a
Brócoli	29.6895	b
Maíz	33.5106	b
Testigo	49.0805	c

Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales al 0.05 de nivel de significancia.

7.4 Suelo erosionado según el método de clavos :

En el cuadro 13 se observan los valores del suelo erosionado en cms., según el método de clavos, en donde existe mucha variabilidad en los datos, por lo que se considera un método no muy confiable en las condiciones en las que se realizó el experimento.

Al observar el cuadro 14 del análisis de varianza para parcelas con 25% de pendiente, existe diferencia significativa entre tratamientos a 0.05 de nivel de significancia, pero el coeficiente de variación es muy alto, lo que indica que disminuye la exactitud en la toma de datos en el ensayo por factores no controlables, como pérdida de clavos y disturbación del suelo por roedores como la Taltuza (*Geomys ispidus*).

Cuadro 13: Suelo erosionado en centímetros según el método de clavos en parcelas con 25% de pendiente.

Tratamientos	Repeticiones			Total	Media
	I	II	III		
Pasto	6.60	3.66	5.4	15.66	5.22
Maíz	4.66	4.66	14.5	23.82	7.94
Brócoli	11.50	10.25	8.0	29.75	9.91
Testigo	5.50	6.50	10.5	22.50	7.50
				91.73	

Cuadro 14: Análisis de varianza para el suelo erosionado según el método de clavos, en parcelas con 25% de pendiente.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Tratam.	3	550.9851	183.4696	16.46+	4.07
Error	8	89.2125	11.1515		
Total	11	640.1976			

+ Significativo al 0.05 de nivel de significancia.
C.V. = 43.68%

En el cuadro 15 se encuentra la prueba de Tukey para las medias de los tratamientos en parcelas con 25% de pendiente, donde se observa que todos los tratamientos son estadísticamente diferentes a 0.05 de significancia; teniendo la media más alta el tratamiento de brócoli, le sigue el maíz, luego el Testigo y por último el tratamiento de pasto que tiene la media más baja. Estos resultados se deben a factores incontrolables como pérdidas de clavos, movimiento de clavos por alteraciones de la superficie del suelo por roedores, etc.

Cuadro 15: Prueba de Tukey para el suelo erosionado según el método de clavos en parcelas con 25% de pendiente.

Tratamientos	Erosión media (centímetros)	Tukey 0.05 de signif.
Brócoli	9.91	a
Maíz	7.94	b
Testigo	7.50	c
Pasto	5.22	d

Todos los tratamientos son estadísticamente diferentes a 0.05 de nivel de significancia.

En el cuadro 16 se presentan los resultados del suelo erosionado según el método de clavos en las parcelas con 40% de pendiente, en el que se puede observar que el tratamiento de brócoli presenta la media más alta, le sigue el Testigo, luego el tratamiento de maíz, y por último el tratamiento con pasto.

En el cuadro 17 se observa el análisis de varianza para estos valores, en donde existe diferencia significativa entre tratamientos al 0.05 de nivel de significancia, sin embargo también en este caso el coeficiente de variación es muy alto, por lo que se considera que la variabilidad se debe a los mismos factores.

Cuadro 16: Suelo erosionado en centímetros según el método de clavos en parcelas con 40% de pendiente.

Tratamientos	Repeticiones			Total	Media
	I	II	III		
Brócoli	8.50	4.00	3.20	15.70	5.23
Maíz	11.50	3.75	5.50	20.75	6.92
Brócoli	6.50	12.00	14.00	32.50	10.83
Testigo	6.00	10.00	8.00	24.00	8.00
				92.95	

Cuadro 17: Análisis de varianza para el suelo erosionado según el método de clavos en parcelas con 40 % de pendiente.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.
Tratam.	3	577.3256	192.44	17.59	4.07
Error	8	87.5350	10.94		
Total	11	664.8606			

+ Existe diferencia significativa al 0.05 de signif.
C.V =43.26%

En el cuadro 18 se presenta la prueba de Tukey para el suelo erosionado según el método de clavos en parcelas con 40 % de pendiente, en donde todos los tratamientos son estadísticamente diferentes al 0.05 de significancia, teniendo las medidas más alta al tratamiento de brócoli y la más baja el tratamiento con pasto.

Cuadro 18: Prueba de Tukey para el suelo erosionado según el método de clavos en parcelas con 40% de pendiente.

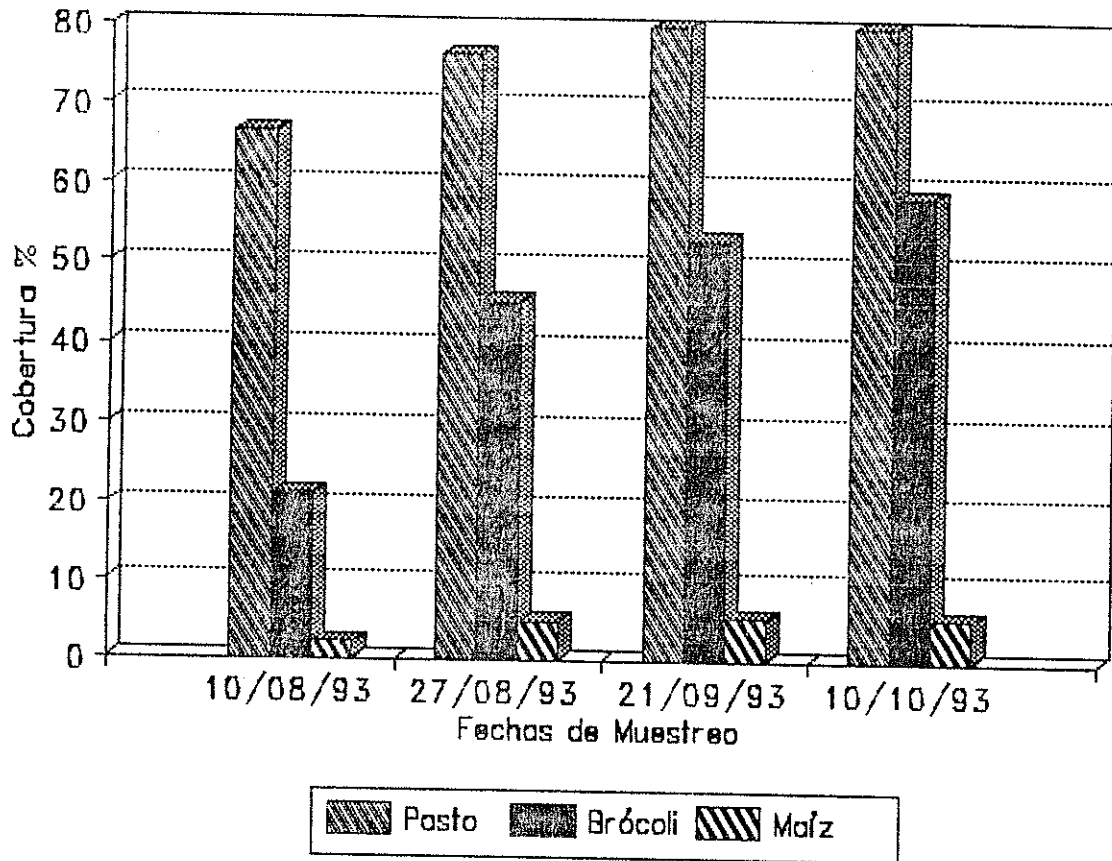
Tratamiento	Erosión Media (cms.)	Tukey 0.05 de Signif.
Brócoli	10.833	a
Testigo	8.000	b
Maíz	6.916	c
Pasto	5.233	d

7.5 Porcentaje de cobertura de los tratamientos :

En la figura 7 se puede observar el porcentaje de cobertura de cada tratamiento en las parcelas con 25% de pendiente. El primer muestreo realizado el 10 de Agosto de 1,993 la cobertura de Pasto es la más alta con 66.66%, el tratamiento de Brócoli con el 21.22% y el Maíz con un 2.00%. El último muestreo realizado el 10 de Octubre de 1,993, se tiene que el Pasto alcanza el porcentaje de cobertura de 80.00%, el Brócoli de 58.51%, mientras que el Maíz únicamente de 5.45%, debido a las razones antes mencionadas.

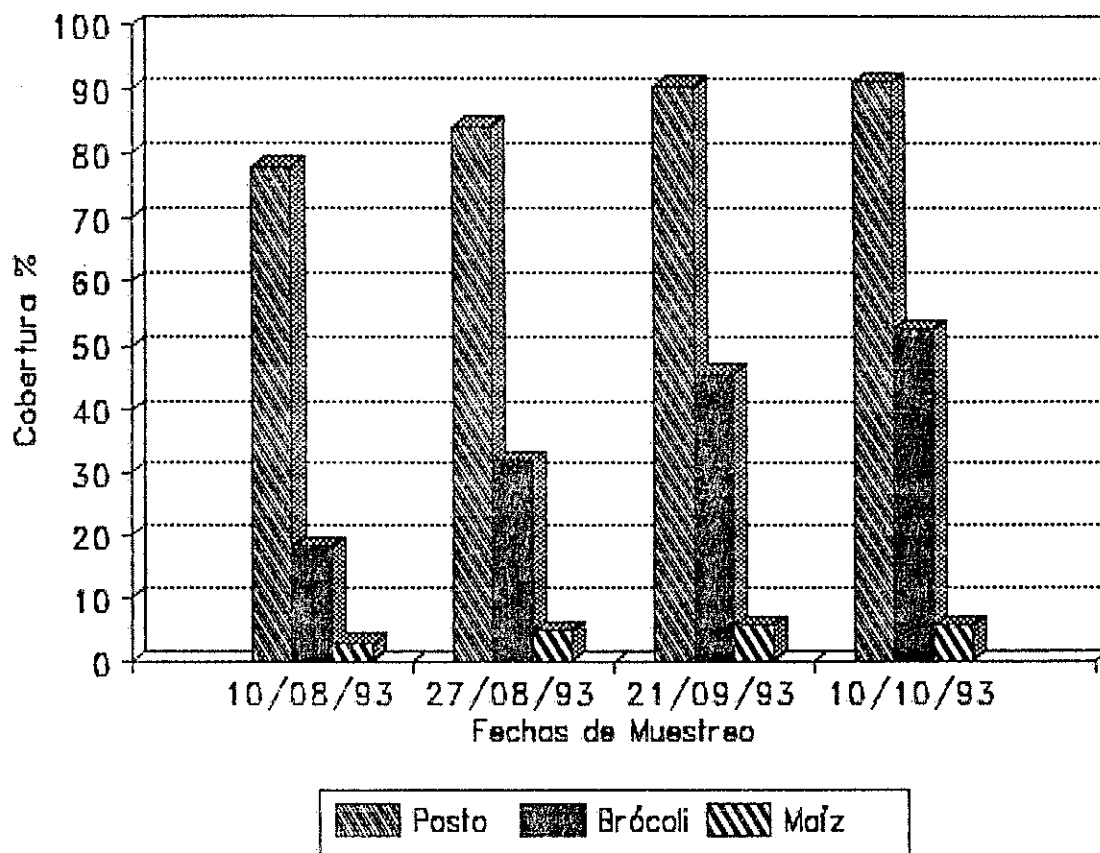
Esto indica que el Maíz no alcanzó el grado de cobertura deseado, por tal razón la cantidad de suelo erosionado es similar a la del Testigo. Lo contrario ocurre con la cobertura de pasto que presenta el valor más alto, por lo tanto el suelo erosionado es menor.

En el sitio con 40% de pendiente (figura B), la cobertura del pasto es mayor, por lo que la erosión fue menor aunque la pendiente fuera más alta. Los valores poco distantes de erosión en tratamientos con Maíz y brócoli, se debe a que los eventos más intensos ocurrieron cuando la cobertura de brócoli era baja.



MAIZ	: <i>Crecimiento Inicial</i>	<i>Crecimiento Inicial</i>	<i>Crecimiento Inicial</i>	<i>Inicio de Floración.</i>
BROCOLI	: <i>Crecimiento Inicial</i>	<i>Inicio de Floración</i>	<i>Floración</i>	<i>Cultivo Maduro.</i>
PASTO	: <i>Cultivo Maduro</i>	<i>Cultivo Maduro</i>	<i>Cultivo Maduro</i>	<i>Cultivo Maduro.</i>

Figura 7: Porcentaje de cobertura de los tratamientos evaluados en el sitio con 25% de pendiente, en diferente estado de desarrollo. Chicazanga, San Andrés Itzapa. 1993.



MAIZ	: <i>Crecimiento Inicial</i>	<i>Crecimiento Inicial</i>	<i>Crecimiento Inicial</i>	<i>Inicio de Floración.</i>
BROCOLI	: <i>Crecimiento Inicial</i>	<i>Inicio de Floración</i>	<i>Floración</i>	<i>Cultivo Maduro.</i>
PASTO	: <i>Cultivo Maduro</i>	<i>Cultivo Maduro</i>	<i>Cultivo Maduro</i>	<i>Cultivo Maduro.</i>

Figura 8: Porcentaje de cobertura de los tratamientos evaluados en el sitio con 40% de pendiente, en diferente estado de desarrollo. Chicazanga, San Andrés Itzapa. 1993.

7.6 Características granulométricas de los sedimentos :

En la figura 9 se presentan los valores expresados en porcentaje de las partículas de arcilla, limo y arena que se perdieron en los sedimentos de las parcelas con 25% de pendiente. La partícula que más se perdió fue la arena, con valores arriba de 50%, esto se debió principalmente a las características texturales de los horizontes superiores, el cual corresponde a franco arenoso; sin embargo, el porcentaje de limo también es alto para los cuatro tratamientos. El hecho de que el Testigo presentó mayor pérdida de arena, es porque este tratamiento se mantuvo sin cobertura, por lo tanto no se manifestó el efecto de barrera que detuviera las arenas. Lo anterior puede confirmarse con el pasto, el cual le brindo protección al suelo contra el arrastre de arenas.

De la misma manera ocurre en las parcelas con 40% de pendiente, donde aumentó el porcentaje de arena hasta 55% en el Testigo, esto se debe a que entre mayor es la pendiente, mayor es la capacidad de arrastre de las arenas. (figura 10)

7.7 Factor de erodabilidad. (K) :

El factor de erodabilidad del suelo se determinó para cada uno de los sitios donde se realizó el experimento, así se tiene que en el sitio con 25% de pendiente, el factor de erodabilidad calculado gráficamente fue de 0.27, mientras que para el sitio con 40% de pendiente el factor de erodabilidad fue de 0.30; lo que indica que estos suelos son muy susceptibles a la erosión debido a las características texturales, materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo.

Los valores de erodabilidad calculados, son parecidos debido a que los suelos de los dos sitios analizados, no difieren mucho en cuanto a sus características físicas.



Figura 9: Distribución de partículas en los sedimentos, de acuerdo a los tratamientos evaluados en pendiente de 25%.

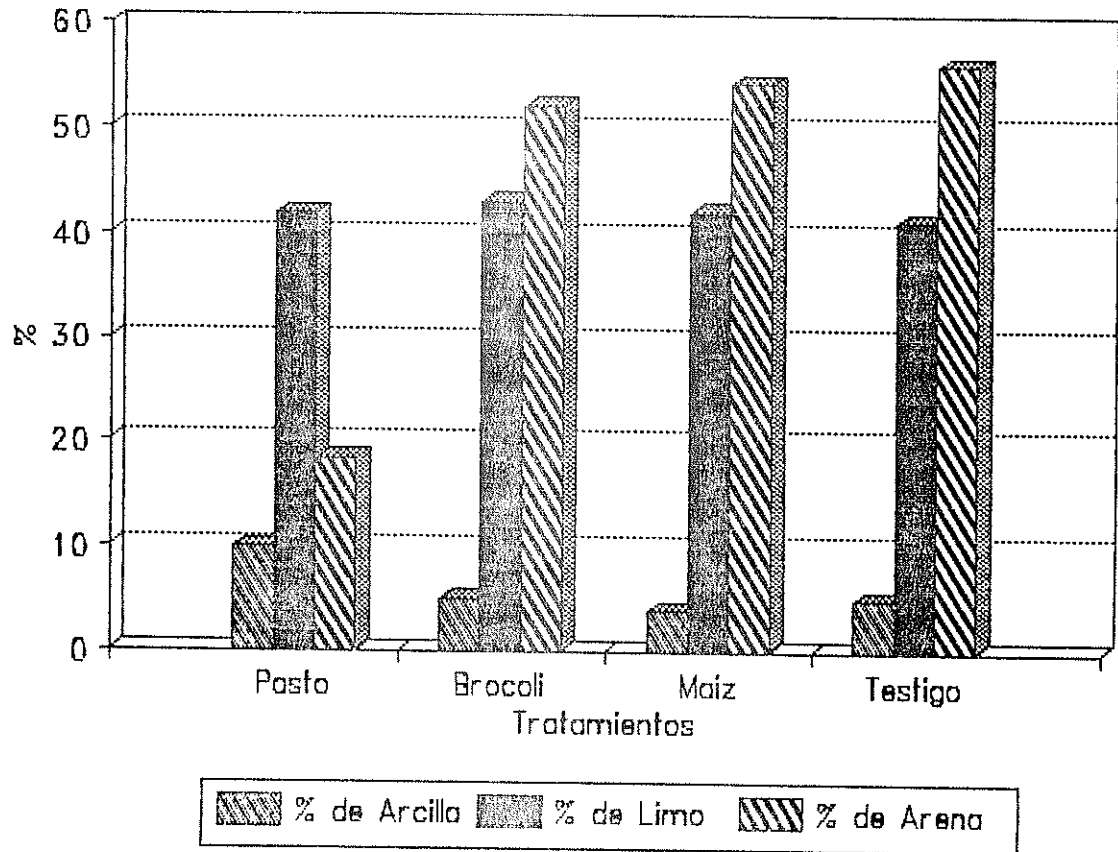


Figura 10: Distribución del tamaño de partículas en los sedimentos de acuerdo a los tratamientos evaluados en pendiente de 40%.

7.8 Factor C. :

En el cuadro 19 se observa el factor C para los tratamientos en las dos pendientes evaluadas. Este factor se determino tomando en cuenta la relación siguiente:

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

De los tres tratamientos evaluados, el factor C para el maíz es el más alto (0.9172), luego el tratamiento de brócoli (0.7069) y por último el tratamiento de pasto (0.06) para las parcelas con 20% de pendiente. En el sitio con 40% de pendiente el factor C es menor para los tres tratamientos debido a que la erosión en el Testigo fue mayor; para el maíz es de (0.6827), el del tratamiento de brócoli de 0.6049, y el del Pasto de 0.0269.

Los valores altos del Maíz se debe a que la cantidad de suelo erosionado fue bastante alta, por el poco desarrollo alcanzado por este cultivo.

Este factor indica que entre menor es el valor, mayor protección le da la cobertura al suelo contra la erosión. En este caso el Pasto protegió de mejor forma al suelo, mientras que el Maíz en una mínima proporción.

Los valores del Factor C, deben tomarse como datos preliminares, tomando en cuenta que en el ensayo hubieron algunos problemas de manejo , incluyendo la siembra un poco fuera del tiempo común para el área.

Cuadro 19: Factor C para cada tratamiento en las pendientes evaluadas.

Tratamiento	Pendiente	
	25%	40%
Pasto	0.06	0.0269
Maíz	0.9172	0.6827
Brócoli	0.7069	0.6049
Testigo	1.0000	1.0000

7.9 Correlaciones :

Se puede resumir que el escurrimiento guarda una relación directa con la cantidad de suelo erosionado, en parcelas de 25%, el coeficiente de correlación es de 0.97 y en parcelas de 40%, de pendiente, es de 0.80. Por otro lado cuando la intensidad de las lluvias se incrementó también lo hicieron el volumen de escorrentía y cantidad de suelo erosionado, pero hay mejor correlación entre la intensidad y el suelo erosionado. Cuando la cantidad de arena que se perdió aumentó, el limo lo hace en menos cantidad, al igual que la materia orgánica, lo que indica que el limo y la arena están relacionados inversamente entre las partículas que se erosionan.

Al correlacionar los datos de erosión por el método de clavos con la cantidad de suelo erosionado en las parcelas, no existe buena correlación; esto se debe a que en este tipo de suelos el método de clavos no es muy confiable ya que el suelo es demasiado suelto y fácilmente se altera el nivel del suelo en los clavos, debido al manejo de los cultivos y a los problemas que causa la Taltuza (Geomyis hispidos).

Al correlacionar los porcentajes de cobertura con la cantidad de suelo erosionado y escorrentía superficial, se ve que sí existe una relación inversa (-0.76), para las dos pendientes evaluadas; lo que indica que a mayor cobertura menor escorrentía y menor erosión.

8. CONCLUSIONES:

Bajo las condiciones en las que se realizó la investigación, se tienen las siguientes conclusiones:

1) De la Escorrentía y suelo erosionado.

1.1 Los valores de escorrentía superficial registrados fueron mayores para el tratamiento de maíz en las dos pendientes evaluadas, sumando 301.8 m³/ha y 351 m³/ha para 25% y 40% de pendiente respectivamente mientras que el menor valor fue para el tratamiento de pasto con 216.2 m³/ha y 243. 2 m³/ha respectivamente; sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

1.2 La escorrentía fue mayor en los tratamientos con 40% de pendiente, por lo que se acepta la hipótesis planteada.

1.3 De las coberturas evaluadas, el cultivo de Maíz presentó los valores más altos de erosión, con 32.4039 ton/ha y 33.5106 ton/ha en pendientes de 25% y 40% respectivamente; mientras que los menores valores se registraron para el tratamiento de pasto, sumando 2.1199 ton/ha y 1.3194 ton/ha respectivamente; lo que confirma que de las coberturas evaluadas, el pasto le da mayor protección al suelo contra la erosión.

1.4 Todos los tratamientos a excepción del Pasto registraron mayor cantidad de suelo erosionado en la pendiente de 40%, lo que confirma la premisa de que a mayor pendiente, mayor erosión.

1.5 las cantidades de partículas encontradas en los sedimentos fueron en orden decreciente; arena, limo y arcilla.

2) Índices de la ecuación Universal.

2.1 Los valores del factor K determinado fueron de 0.27 y 0.30 para pendientes de 25% y 40% respectivamente, lo que indica que son suelos muy susceptibles a la erosión.

2.2 Los valores preliminares obtenidos para el factor C fueron en su orden: 0.9172 para el maíz, 0.7069 para el brócoli, y 0.06 para el pasto en el sitio con 25% de pendiente; mientras que para el sitio con 40% los valores fueron: 0.6827 para el maíz, 0.6049 el brócoli, y 0.0269 para el pasto. Lo que indica que el pasto le da la mayor protección al suelo contra la erosión.

9. RECOMENDACIONES:

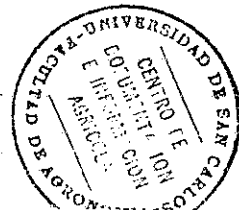
- 1) Continuar con la evaluación de las mismas coberturas y en las mismas pendientes durante varios años, para que los datos sean más confiables; considerando la medición de la escorrentía superficial y el suelo erosionado desde el inicio de las lluvias, ya que en las primeras tormentas es cuando se dan las mayores pérdidas de suelo.
- 2) Realizar la misma evaluación en diferentes puntos de la cuenca, en lugares donde las pendientes de los terrenos sean representativas y que tengan los usos más comunes, para que los datos se puedan extrapolar a toda el área; además utilizar más repeticiones por tratamiento, o que se hagan mediciones repetidas en el tiempo o en el espacio.
- 3) Realizar el análisis de nutrientes al agua de escorrentía incluyendo los sólidos en suspensión, con el objeto de conocer la cantidad de nutrientes perdidos en esta solución.
- 4) Realizar las limpiezas de los cultivos de cobertura de este tipo de experimentos, utilizando para ello herbicidas para no disturbar el suelo superficial que es el que arrastra la lluvia.

10. BIBLIOGRAFIA:

1. **APOLO BERRU, W.A. 1980.** *Evaluación de la escorrentía superficial y la erosión en un pastizal con árboles aislados en la Suiza, Turrialba, Costa Rica.* Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R. Universidad de Costa Rica. 68 p.
2. **ARANA LOPEZ, G.A. 1992.** *Análisis especial para evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del río Pensativo, Guatemala.* Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., Universidad de Costa Rica. 118 p.
3. **CASTAÑEDA, D. 1986.** *Características agro-socio-económicas de las comunidades de la cuenca del río Itzapa, municipio de San Andrés Itzapa, departamento de Chimaltenango, Guatemala.* Investigación Inferencial EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 56 p.
4. **CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFE (CoI). 1975.** *Manual de conservación de suelos de ladera.* Chinchiná, Caldas, Col. 267 p.
5. **COLEGIO DE POSTGRADUADOS (Mex.). 1982.** *Manual de conservación del suelo y del agua.* 2 ed. Chapingo, Mex. 584 p.
6. **GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. 1988.** *Atlas climatológico de la república de Guatemala.* Guatemala. Esc. 1:1,000,000
7. **HERRERA, I.R. 1984.** *Levantamiento semi-detallado de los suelos de la cuenca del río Achiguate (fase I).* Tesis Inq. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 199 p.
8. **LOPEZ HERNANDEZ, J.E. 1990.** *Segunda evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo, Sacatepequez.* Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 56 p.

9. **MORALES MERIDA, J.C.** 1973. *Manual de conservación de suelos.* Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas. 72p.
10. **NUFIO, W.** 1982. *Caracterización preliminar de la cuenca del río Achiguate.* Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 165 p.
11. **PINEDA, P.** 1991. *Cuarta evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo, Sacatepequez.* Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 76 p.
12. **REVOLORIO QUEVEDO, A..** 1989. *Primera evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo, Sacatepequez.* Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 54 p.
13. **SANCHEZ MENDIA, A.Y.** 1979. *Determinación de escurrimiento superficial y erosión en el suelo de área del proyecto de conservación de suelos Michatoya.* Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 54 p.
14. **SUAREZ DE CASTRO, F.** 1981. *Conservación de suelos.* 3 ed. San José, C. R., IICA. 315 p.
15. **TOJIN SANCHEZ, S.** 1987. *Caracterización de los recursos naturales renovables de la cuenca del río Itzapa.* Investigación Inferencial EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 49 p.
16. **TOBIAS VASQUEZ, H.A et al.** 1991. *Informe del proyecto priorización de subcuencas del río Achiguate.* Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. 6p.
17. **WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D.** 1958. *RainFall energy and its relationship to soil loss.* American Geophysical Unión transactions. 39: 205-291.
18. **WISHMEIER, W.H.** 1969. *A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation.* Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 23:246-249.

V. Bo. Quiam De La Roca

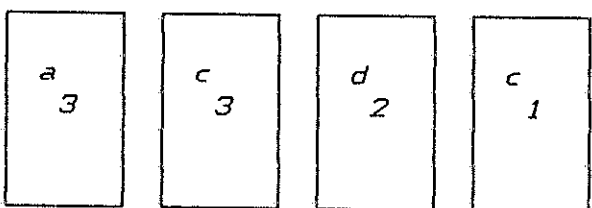
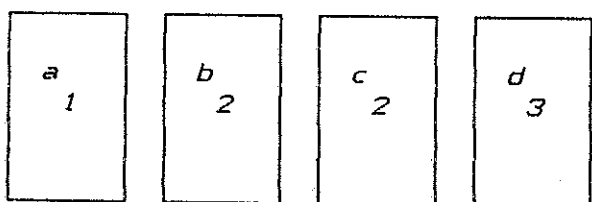
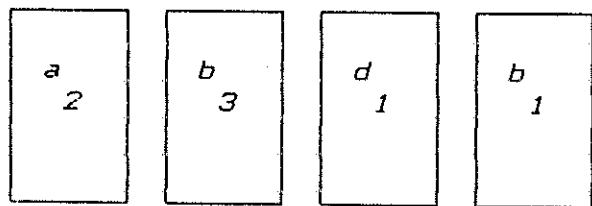


11. APENDICE I

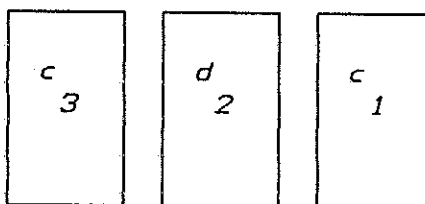
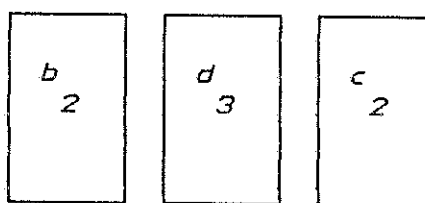
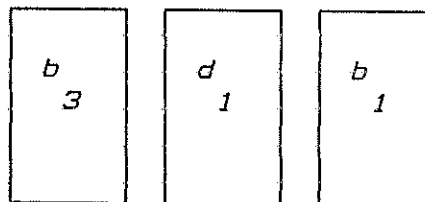
Características físicas del área de la cuenca y el ensayo.

CROQUIS DE LA DISTRIBUCION DE TRATAMIENTOS

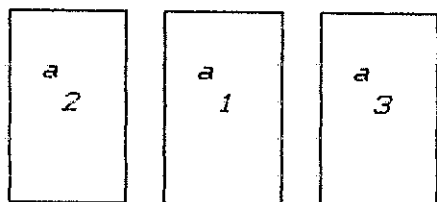
Pendiente 40%



Pendiente 25%



Pendiente 25%



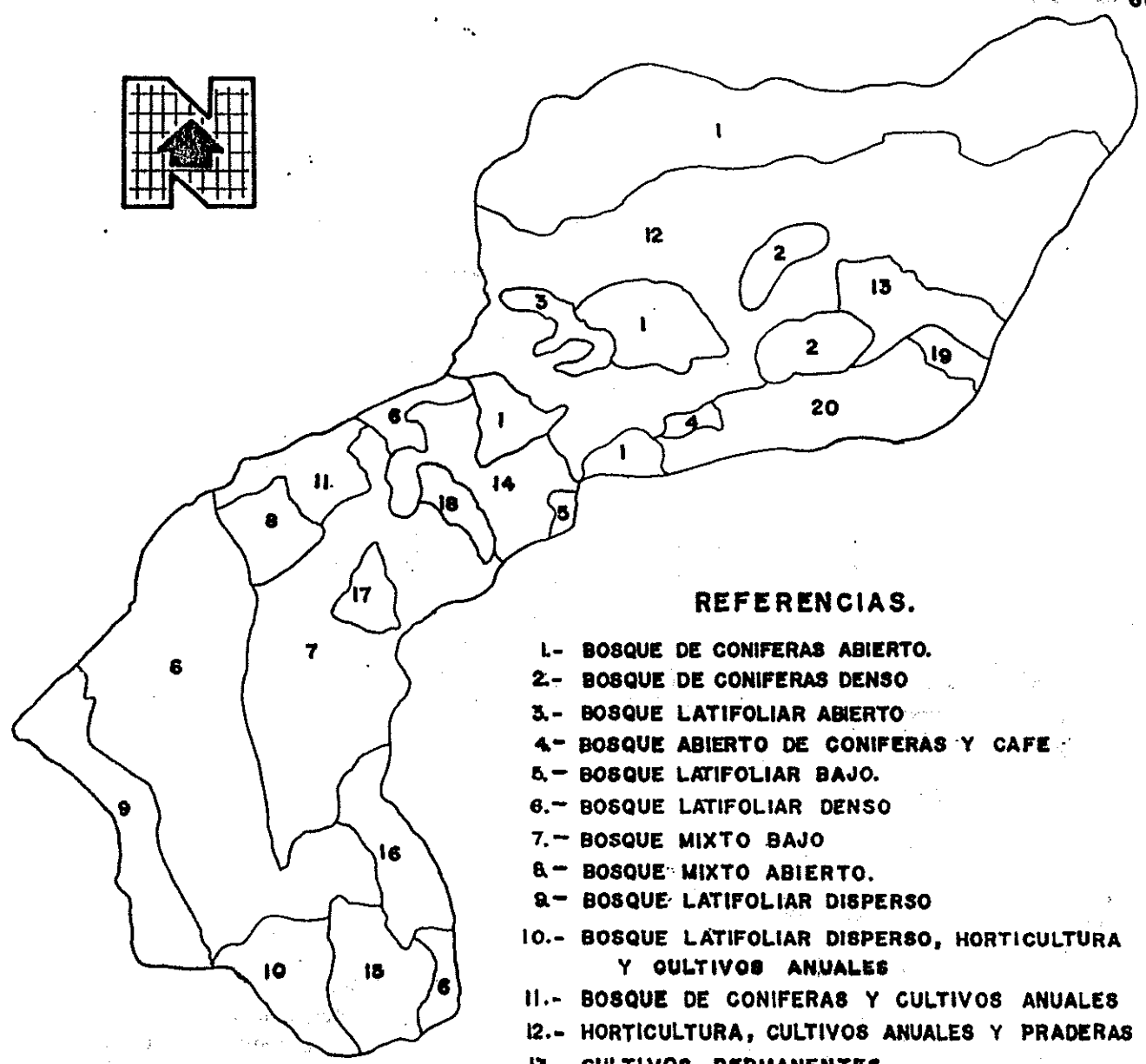
REFERENCIAS

a: Cobertura de pasto.

b: Cobertura de maíz.

c: Cobertura de brócoli.

d: Testigo. (sin cobertura)

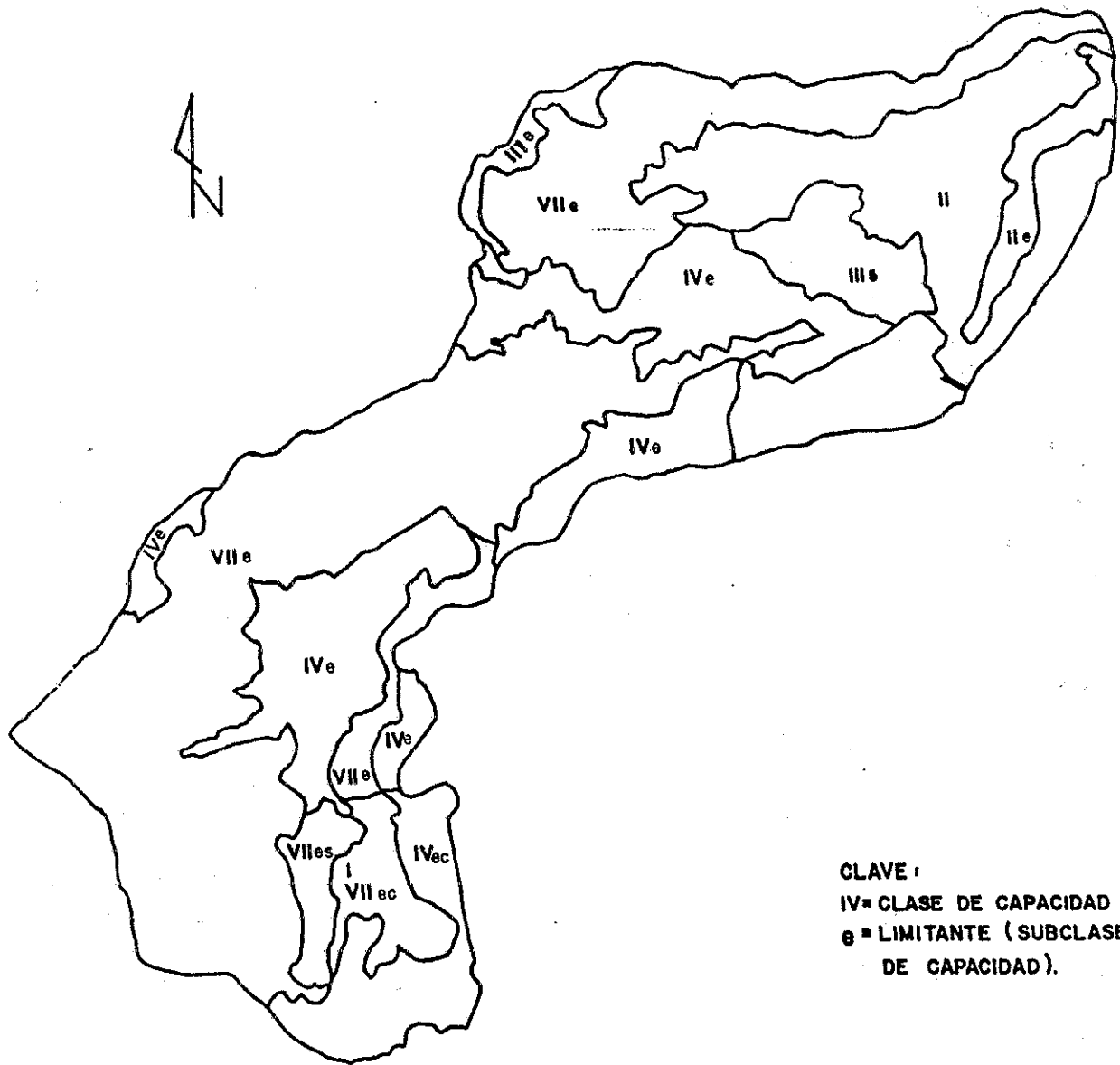


REFERENCIAS.

- 1.- BOSQUE DE CONIFERAS ABIERTO.
- 2.- BOSQUE DE CONIFERAS DENSO
- 3.- BOSQUE LATIFOLIAR ABIERTO
- 4.- BOSQUE ABIERTO DE CONIFERAS Y CAFE
- 5.- BOSQUE LATIFOLIAR BAJO.
- 6.- BOSQUE LATIFOLIAR DENSO
- 7.- BOSQUE MIXTO BAJO
- 8.- BOSQUE MIXTO ABIERTO.
- 9.- BOSQUE LATIFOLIAR DISPERSO
- 10.- BOSQUE LATIFOLIAR DISPERSO, HORTICULTURA Y CULTIVOS ANUALES
- 11.- BOSQUE DE CONIFERAS Y CULTIVOS ANUALES
- 12.- HORTICULTURA, CULTIVOS ANUALES Y PRADERAS
- 13.- CULTIVOS PERMANENTES
- 14.- CULTIVOS ANUALES Y HORTICULTURA
- 15.- PRADERAS NO MEJORADAS Y CULTIVO ANUALES.
- 16.- HORTICULTURA CULTIVOS ANUALES Y CENTRO POBLADO RURAL.
- 17. CULTIVOS ANUALES.
- 18. CULTIVOS ANUALES Y PERMANENTES.
- 19. HORTICULTURA, CULTIVOS ANUALES Y CENTRO URBANO.
- 20. CENTRO URBANO POBLADO.

**FIGURA II: MAPA DE USO DE LA TIERRA 1994.
ESCALA 1: 50000.**

FUENTE: Proyecto Investigación básica para la planificación del manejo de la cuenca del río Itzapa.
IIA. FAUSAC-DIGI.



CLAVE :
IV = CLASE DE CAPACIDAD
e = LIMITANTE (SUBCLASE
DE CAPACIDAD).

FIGURA 12:
MAPA DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA
METODO USDA.
ESCALA 1:50000.

FUENTE: Proyecto Investigación básica para la planificación del manejo de la cuenca del río Itzapa
IIA. FAUSAC-DIGI.

APENDICE II

Características físicas y químicas de los sedimentos.

Cuadro 20: Características físicas de los sedimentos según tratamientos, con 25% de pendiente.

Tratamientos	% arena	% limo	% arcilla	gr/cc d.a
Pasto	47.8	42.1	10.1	0.84
Brócoli	51.2	37.1	11.1	0.82
Maíz	53.1	37.9	9.0	0.82
Testigo	55.0	36.6	8.4	0.85

Cuadro 21: Características físicas de los sedimentos según los tratamientos evaluados en parcelas de 40% de pendiente.

Tratamiento	% arena	% limo	% arcilla	gr/cc d.a
Pasto	48.3	41.9	9.8	0.86
Brócoli	52.0	43.0	5.0	0.83
Maíz	54.1	42.0	3.9	0.82
Testigo	56.0	41.1	4.9	0.86

Cuadro 22: Características químicas de los sedimentos según tratamientos evaluados en parcelas de 25% de pendiente.

Tratamientos	PH	% MD	ppm p	ppm K	meq/100 ml	
					CA.	MG
Pasto	6.4	4.3	13.2	275	7.35	1.85
Maíz	6.5	4.1	17.6	239	8.21	2.65
Brócoli	6.5	3.9	18.4	262	7.82	2.34
Testigo	6.5	4.8	15.9	283	7.89	1.95

Cuadro 23: Características químicas de los sedimentos, según tratamientos evaluados en parcelas de 40% de pendiente.

Tratamientos	PH	% M.O.	ppm		meq/100 ml.	
			P	K	Ca	Mg
Pasto	6.4	4.4	15.30	262	7.79	2.02
Brócoli	6.5	5.1	16.70	255	8.43	2.15
Maíz	6.6	4.2	18.43	286	9.10	1.91
Testigo	6.6	4.1	19.18	279	7.81	2.13

Cuadro 24: Pérdida de nutrientes en el agua filtrada después de obtener los sólidos de suspensión en las dos pendientes evaluadas.

Tratamientos	ppm				
	N	P	K	Ca	Mg
Pasto	0	0	0.26	3.33	0.72
Maíz	0	0	1.58	4.72	1.22
Brócoli	0	0	0.82	5.27	1.16
Testigo	0	0	1.98	3.05	0.75

APENDICE III

*Descripción del perfil del sitio experimental
y sus características físicas y químicas*

Descripción del Pedón del sitio experimental:

Ubicación: 200m al Sur de Escuela Chicazanga.
Fecha de observación: 20-05-93
Observador: Ing. Agr. Hugo Tobías.
Altitud: 2,230 msnm
Posición fisigráfica: Escarpe
Pendiente: 40%
Vegetación: Brócoli (Brássica oleracea
var. itálica)
Material original: Ceniza volcánica basáltica
Pedregosidad: Ninguna
Erosión: Severa
Salinidad: Ninguna
Drenaje: Bien Drenado
Serie de suelos: Alotenango
Clasificación taxonómica: Vitric Hapludands
Ceniosa isomésica

Descripción del Perfil:

Horizonte	Profundidad	Descripción
AC	0-12	Color (10YR3/2) pardo oscuro en húmedo franco arenoso, estructura granular fina, consistencia suave en húmedo y seco, no plástico, límite neto y plano.
CA	12-30	Color 10YR5/2 en húmedo, textura franco arenoso, estructura granular fina, consistencia suave en seco y húmedo y no plástica, límite neto y plano.

- 2AC 30-59 Color 10YR25/2 en húmedo, textura franco arenoso, estructura en bloques sub-angulares pequeños, consistencia suave en seco y muy fiable en húmedo y no plástica, límite neto y plano.
- 3CA 59-84 Color 10YR3/2 en húmedo, textura arenosa, estructura granular mediana consistencia suelta en seco y en húmedo, no plástica, límite neto y plano.
- 3C 84-97 Color 10YR35/2 en húmedo, textura arenosa, estructura granular mediana, consistencia suelta en seco y en húmedo, no plástica, límite neto y plano.
- 4AC +97 Color 10YR4/2 en húmedo, textura arenosa, estructura en bloques sub-angulares, pequeños, ligeramente dura en seco, fiable en húmedo y plástica, límite neto y plano.

Cuadro 25: Características físicas de los horizontes del suelo en el sitio experimental.

Horizonte.	Profundidad	Z Arcilla	Z Limo	Z Arena	DAP	Retención de humedad (kpa)		Textura
						333	1500	
AC	0-12	9.94	23.15	66.91	1.20	27.40	10.26	Franco Arenoso
CA	12-30	7.83	18.95	73.22	1.18	24.21	8.99	Franco Arenoso
2AC	30-59	3.32	14.28	82.40	1.15	25.04	10.53	Arena Franca
3CA	59-84	3.62	13.98	82.40	1.20			Arena Franca
3C	84-97	5.73	14.73	79.54	1.22			Arena Franca
4AC	> 97	5.73	21.05	73.22	1.07			Franco Arenoso

Cuadro 26a: Características químicas de los horizontes del suelo en el sitio experimental.

Horizonte	% CO	Cationes Cambiables					% SB
		Meq/100ml					
		CIC	Ca	Mg	Na	K	
AC	3.45	19.20	4.80	1.10	0.01	0.51	33.43
CA	3.45	18.30	4.80	1.05	0.08	0.33	34.21
2AC	3.45	12.80	3.30	0.83	0.05	0.14	33.75
3CA	2.32	13.00	2.74	0.75	0.04	0.11	28.00
3C	2.10	12.00	2.43	0.65	0.09	0.12	27.42
4AC	2.21	14.80	3.30	1.00	0.13	0.20	31.28

Cuadro 26b: Características químicas de los horizontes del suelo en el sitio experimental.

Horizonte	pH H ₂ O	pH NaF	Elementos Extraíbles			
			µg/ml		Meq/100ml	
			P	K	Ca	Mg
AC	6.30	8.90	3.35	218	8.42	1.49
CA	6.60	9.20	2.71	152	9.04	1.64
2AC	6.70	8.80	2.06	73	6.24	1.23
3CA	6.70	8.80	3.35	58	4.99	0.98
3C	6.70	8.90	3.99	68	5.30	1.03
4AC	7.00	9.10	2.06	90	5.92	1.23

APENDICE IV

*Información utilizada en el estudio de correlación
y rendimiento del cultivo de Brócoli.*

Cuadro 27: Análisis de correlación simple entre las principales características de los sedimentos, escorrentía, porcentaje de cobertura y la intensidad media de precipitación, en parcelas de 25% de pendiente:

	X1	X2	X3	X4	X5
X2	0.97				
X3	0.61	0.57			
X4	-0.68	-0.62	-0.86		
X5	-0.42	-0.38	0.12	0.32	
X6	0.66	0.67	0.28	0.21	-0.81
X7	-0.82	-0.69	-0.82	0.39	0.38
X8	-0.76	-0.88			
X9	0.74	0.84			
X10	0.52	0.49			

Cuadro 28: Análisis de correlación simple entre las principales características de los sedimentos, escorrentía, porcentaje de cobertura y la intensidad media de precipitación, en parcelas de 40% de pendiente:

	X1	X2	X3	X4	X5
X2	0.80				
X3	0.63	0.55			
X4	-0.66	-0.62	-0.85		
X5	-0.39	-0.36	0.20	0.28	
X6	0.69	0.67	0.31	0.19	-0.85
X7	-0.82	-0.73	-0.80	0.30	0.41
X8	-0.76	-0.85			
X9	0.75	0.84			

REFERENCIAS:

- X1 = Escurrimiento superficial en m³ por hectáreas.
- X2 = Suelo erosionado en to/ha/año.
- X3 = % de arena
- X4 = % de limo
- X5 = % de arcilla
- X6 = Densidad aparente en gr/cc
- X7 = Materia Orgánica en %
- X8 = Porcentaje de cobertura
- X9 = Intensidad de precipitación
- X10 = Erosión por método de clavos en cms.

X7 = Materia Orgánica en %
X8 = Porcentaje de cobertura
X9 = Intensidad de precipitación
X10= Erosión por método de clavos en cms.

Cuadro 29: Rendimiento de brócoli en kg/ha en las dos pendientes evaluadas:

Pendiente	Rendimiento (Kg/ha)		
	Rechazo	Comercial	Total
25%	2,803.03	2,000.00	4,803.03
40%	1,742.4227	2,568.1818	4,310.60



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

Ref. Sem.028-95

LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA
PENDIENTE DEL TERRENO EN LA EROSION HIDRICA DE LA
MICROCUEENCA DEL RIO ITZAPA, CHIMALTENANGO".


DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MIGUEL ANGEL CARDONNA GUERRA


CARNET No: 8713127


HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Isaac Herrera
Ing. Agr. Raúl Escobar
Ing. Agr. Edgar Martínez

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


Ing. Agr. Hugo Tobías
A S E S O R


Ing. Agr. M.Sc. Maxdelio Herrera
A S E S O R


Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E


Ing. Agr. Efraín Medina Guerra
D E C A N O



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

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770