

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

"DETERMINACION DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y EROSION

**EN EL SUELO DEL AREA DEL PROYECTO DE CONSERVACION DE
SUELOS MICHATOYA"**

**TESIS DE REFERENCIA
NO**

**SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.**

TESIS

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

POR

**ALMA YOLANDA SANCHEZ MENDIA
EN EL ACTO DE INVESTIDURA DE
INGENIERO AGRONOMO**

Guatemala, mayo de 1979

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central
Sección de Tesis

R
01
T(406)
C.2

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. SAUL OSORIO VASQUEZ

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO EN FUNCIONES:

Ing. Agr. Rodolfo Estrada G

VOCAL PRIMERO:

VOCAL SEGUNDO:

Dr. Antonio Sandoval

VOCAL TERCERO:

Ing. Agr. Rudy Villatoro

VOCAL CUARTO:

Br. Juan Miguel Iriás

VOCAL QUINTO:

P. A. Giovanni Reyes

SECRETARIO a. i.:

Ing. Agr. Oscar González H.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO a. i.:

Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.

EXAMINADOR:

Dr. Antonio Sandoval

EXAMINADOR:

Ing. Agr. Gilberto Santa María

EXAMINADOR:

Ing. Agr. Ronaldo Prado

SECRETARIO:

Ing. Agr. Leonel Coronado C.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central
Sección de Tesis

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

Guatemala, 4 de abril de 1979.

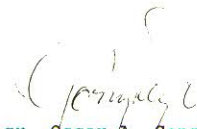
Ingeniero Agrónomo
Rodolfo Estrada González
Decano en Funciones
Facultad de Agronomía
Presente.

Señor Decano:

De acuerdo al nombramiento efectuado por esa Decanatura para asesorar a la estudiante Alma Yolanda - Sanchez Mendía, en su trabajo de Tesis titulado "DETERMINACION DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y EROSION EN EL SUELO DEL AREA DEL PROYECTO DE CONSERVACION DE SUELOS - MICHATOYA", me complace informar a usted que he revisado y asesorado el desarrollo de dicho trabajo, llegando a la conclusión de que reúne las condiciones y cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado como trabajo de Tesis previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo.

Dicho trabajo tambien constituye un aporte y un esfuerzo en el que hacer del manejo del recurso suelo.

Atentamente,


Ing. Agr. Oscar A. González
ASESOR

OAGH/ear.

Guatemala, abril de 1979

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador

Es para mi una satisfacción someter a su criterio profesional, la consideración de Tesis titulado "DETERMINACION DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y EROSION EN EL SUELO DEL AREA DEL PROYECTO DE CONSERVACION DE SUELOS MICHATOYA".

Al ser aprobado dicho trabajo, habré cumplido con el último requisito establecido por la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo, en el grado Académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Aprovecho la oportunidad, para suscribirme de Uds. muy atentamente,

Alma Yolanda Sánchez Mendiá

AGRADECIMIENTO

Deseo dejar constancia de mi agradecimiento a todas aquellas personas que en una u otra forma hicieron posible la realización de dicho trabajo, en especial:

Al Ing. Agr. Oscar González H., por su colaboración en el asesoramiento y revisión de esta tesis.

Al Ing. Agr. Víctor Hugo González B., por la ayuda brindada en el asesoramiento de campo.

A mis compañeros Br. Pedro Lavarreda A., P. A. Edgar Santiago; Sra. Mirian Sarmientos, secretaria del Proyecto Michatoya, y al personal de campo por su valiosa colaboración.

Al Ing. Agr. Gustavo Méndez G., al Br. Luis Angel Sánchez M., por la ayuda brindada en este trabajo.

Al personal de Laboratorio de Suelos de la Unidad de Estudios y Proyectos del Ministerio de Agricultura, por la colaboración en el análisis de suelo.

A la Señorita Mayra Sánchez M., por el trabajo de mecanografía.

ACTO QUE DEDICO

Al Creador del Universo

A Mis Padres

*Humberto Sánchez Gramajo
María Mendía de Sánchez*

A Mis Abuelitas

*Francisca G. vda. de Sánchez
Josefina Moreira Mollinedo*

A Mi tía

Sara Sánchez G.

A Mis Hermanos

*Enrique Rafael, Humberto Felipe,
Luis Angel, Mayra*

A Mis Cuñadas

*Gloria Abascal de Sánchez
Ivonne Montenegro de Sánchez*

A Mis Sobrinos

*Luis Enrique, Byron Rodolfo,
Enrique Rafael, Gloria María,
María José*

Al Maestro

*Ricardo Del Carmen Asensio
Yolanda F. de Del Carmen
Ricardo José Del Carmen Fortuny*

*A Mis Familiares, en
especial*

*Fam. Franco Deleón
Fam. De La Parra Mendía
Fam. Laguardia Moreira
Fam. Mendía Flores
Rafael, Manuel Sánchez G.*

A La Familia

Coronado Rivera

A Mi Primo

Hugo De La Parra Mendía (Q.E.P.D.)

A La

Dra. Aida González C.

Al

Dr. Jorge Rosales A.

DEDICO ESTA TESIS

A La *Ing. Agr. Ma. Eugenia Coronado R.*

A *Mi Asesor*
Ing. Agr. Oscar González H.

Al *Ing. Agr. Carlos Estrada C.*

Al *Ing. Agr. Edgar Ibarra A.*

Al *Ing. Agr. Salvador Sánchez L.*

Al *Ing. Agr. Carlos Echeverría*

A Mis Padrinos de Graduación

Lic. Feliciano Fuentes A.

Lic. Enrique Guzmán O.

Lic. Guillermo Ruiz M.

Lic. Roberto Letona A.

Ing. Agr. Victor Hugo González B.

Dr. Augusto Letona A.

A Los *Campesinos y Agricultores de*
Guatemala.

DEDICATORIA

*Esta rosa imaginaria, de matices delicados,
lleva en cada pétalo una lágrima escondida,
una sonrisa apretada y una angustia infinita,
al no ver presente en este acto, a la amiga
que partió al infinito: Sheny Coronado Rivera,
cuya memoria vivirá latente en mi corazón y
en mi recuerdo.*

Alma

INDICE

LISTA DE CUADROS Y GRAFICAS	i
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
3.1 Algunas características físicas del suelo importantes	5
3.2 El agua en el suelo	10
3.3 Etapas del proceso de erosión hídrica	17
3.4 Algunas prácticas para el control de escurrimiento en el proceso de erosión	20
3.5 Aplicación de las prácticas mecánicas para el control del escurrimiento y su relacion con las clases agrologicas	27
4. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	29
5. MATERIALES Y METODOS	35
5.1 Selección de Lotes de Registro	35
5.2 Caracterización física del suelo	35
5.3 Pruebas de infiltración	36
5.4 Instalación de Lotes de Registro	36
5.5 Registro de datos	36
5.6 Cálculo de coeficiente de escurrimiento	37
5.7 Cálculo de suelo erosionado	37
6. RESULTADOS Y DISCUSION	39
6.1 Características físicas del suelo	39
6.2 Infiltración del agua en el suelo	39
6.3 Escurrimiento y erosión	40

LISTA DE CUADROS

No. 1	Características físicas del suelo	45
No. 2	Capacidad de Retención de Humedad a 50 cm de profundidad	46
No. 3	Características Químicas	47
No. 4	Resultados de Prueba de Infiltración por el Método de Cilindro	48
No. 5	Precipitación Escurrimiento y Erosión del suelo en el Lote No. 1 sin cubierta Vegetal y usado para Cultivos Limpios	49
No. 6	Precipitación, Escurrimiento y Erosión del suelo en el Lote No. 2 con cubierta Vegetal de Pastos	50

LISTA DE GRAFICAS

No. 1	Velocidad de Infiltración, en el Lote No. 1 sin Cubierta Vegetal y usado para Cultivos Limpios	53a
No. 2	Velocidad de Infiltración, en el Lote No. 2 con Cubierta Vegetal de Pastos	53b
No. 3	Suelo Erosionado vrs Precipitación, en el Lote No. 1 y Lote No. 2	53c
No. 4	Volumen Escurrido vrs Volumen Precipitado, en el Lote No. 1 y Lote No. 2	53d

1. INTRODUCCION

Dentro de los recursos de un país que insiden directamente en su desarrollo se encuentran los recursos naturales renovables. Del manejo y protección que de estos se haga dependerá el éxito y la satisfacción de las necesidades de la población en forma mas duradera.

El suelo, como un recurso natural renovable, esta sujeto a procesos de destrucción provocado por la intervención del hombre en la naturaleza al romper el equilibrio natural, cuando hace uso o aprovechamiento de otros recursos como la vegetación o bien lo habilita para desarrollar actividades de producción agrícola.

En este momento, el hombre mismo debe de ingeniárselas para poder evitar o minimizar el daño que provoca su intervención. Sin embargo, esa responsabilidad no es aceptada y muchas veces desconocida.

Por otro lado, este proceso de destrucción del suelo, principalmente por la erosión debe ser caracterizado y cuantificado no solo para identificación del fenómeno sino para poder tener bases concretas para intervenir, y diseñar prácticas que contribuyan a minimizar el proceso de erosión.

El presente trabajo, va orientado a contribuir en esa caracterización y cuantificación, probando un método que permita determinar el escurrimiento superficial y el suelo erosionado en dos condiciones de cubierta superficial del suelo diferentes, una con pastos y la otra utilizada en cultivos limpios. Los resultados permiten definir que el método utilizado si es de utilidad, requiriendo únicamente algunos ajustes para poder obtener mejor información y hacer más validera su interpretación y análisis.

2. OBJETIVOS

1. Aplicación de un método práctico para determinar escurrimiento superficial y cuantificación de la erosión del suelo, bajo diferentes condiciones físicas del suelo, cubierta y topografía.
2. Elaboración de criterios para determinar las dimensiones en el diseño prácticas mecánicas, tomando como base el escurrimiento superficial y la erosión.

3. REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1 Algunas características Físicas del Suelo importantes :

La riqueza vital de un país está constituida por sus recursos tierra y agua. La manera en que sean conservados, desarrollados y manejados afectará el crecimiento económico del país (18).

Los suelos son mezclas de partículas inorgánicas (minerales), de materia orgánica en descomposición, de aire y de agua. Un suelo ideal estaría formado de :

- 25 o/o de agua
- 25 o/o de aire
- 45 o/o de minerales
- 5 o/o de materia orgánica

La formación de un suelo está en función directa de la acción de factores tales como: Clima, topografía, organismos, roca madre y tiempo, propiciando estas la formación de capas horizontales sobre la masa del subsuelo. Estas capas se pueden apreciar en zanjas y corte en los caminos fácilmente (2).

Las propiedades físicas del suelo están ligadas a dos características fundamentales: La textura que define las partículas componente del suelo y la estructura, o forma de agruparse de partículas. De estos dos factores dependen el comportamiento del aire y del agua en el suelo, cuyas consecuencias prácticas son particularmente importantes, sobre todo en el proceso de erosión (4).

Textura:

Existen varias definiciones, Mela, Mela (13), dice: "La textura se refiere al tamaño, de las partículas del suelo". Sirve de base para dividir el suelo en sus fracciones: Arena gruesa, arena fina, limo y arcilla.

Mazariegos (11). "La textura de un suelo se refiere al

tamaño relativo de las partículas del suelo, indicadora de la finura o aspereza del suelo". Se determina por el porcentaje de los diferentes tamaños de arena, limo y arcilla.

La textura se define de acuerdo con la proporción de elementos del suelo, clasificados por categorías en función de su tamaño (4).

Textura según su partícula:

Arena: Textura gruesa o liviana
 Limo: Textura media
 Arcilla: Textura fina o pesada

La textura tiene una influencia en el movimiento del agua del suelo, la circulación del aire y la velocidad de transformaciones químicas, que son de amplia importancia para la vida vegetal (10).

Clasificación de las partículas del suelo según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (16).

<u>Fracción del Suelo</u>	<u>Diámetro (mm)</u>
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00
Arena gruesa	1.00 - 0.50
Arena mediana	0.50 - 0.25
Arena fina	0.25 - 0.10
Arena muy fina	0.10 - 0.05
Limos	0.05 - 0.002
Arcilla	Menor de 0.002

Estructura:

Está ligada al estado de los coloides del suelo, que pueden estar floculados formando parte de agregados elementales, más o menos estables o, por el contrario dispersos.

La importancia de la estructura es considerable:

- Influye en la aireación del suelo
- En la resistencia a la penetración de las raíces
- Juega un papel importante en la resistencia a la erosión
- Interviene en el lavado de los suelos
- En su permeabilidad
- Importante en la mecanización del suelo

Existen varias definiciones. Mela, Mela (13). "Así como el término textura se refiere a su morfología individual, la segunda es producida por su morfología colectiva"

Mazariegos (11), dice: La estructura del suelo se puede definir como la disposición de las partículas de los constituyentes, tomando en cuenta que estas partículas pueden ser simples o primarias y secundarias o agregados.

Según Perdomo y Hampton (15), se puede definir la estructura del suelo como el arreglo de las partículas primarias y secundarias en patrones.

Las principales clasificaciones se basan en tamaños, configuraciones y carácter de la superficie de los agregados, fragmentos y terrones del suelo, él cita a Albareda y Hoyos, lo divide en dos grupos: Estructura simple con partículas no floculadas y compuestas con partículas floculadas (11).

Según el Manual de Recursos de Suelo del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, citado por Coronado (3), la estructura del suelo la divide en: Prismática, columnar, bloques angulares, bloques sub-angulares, laminar, granular y migajón.

Prismática:

Semeja prismas con dos dimensiones, la horizontal limitada y considerablemente menor que la vertical; la vertical con caras bien definidas, sin partes superiores redondeadas.

Bloques Angulares:

Semejando bloques, polihédricos o esferoides con tres

dimensiones del mismo orden de magnitud, dispuestos alrededor de un punto. Tienen superficies planas o curvas formadas por las caras que los circundan, la mayoría de los vértices fuertemente angulares.

Bloque Sub-angulares:

Igual que los anteriores, con diferencia que las caras aplastadas y redondeadas, están mezcladas con muchos vértices redondeados.

Laminar:

Semejando láminas con una dimensión (la vertical) limitada y mucho menos que las otras dos, arregladas alrededor de un plano horizontal, las caras son en su mayoría horizontales.

Granular:

Esferoides o polihedros que tienen caras planas o curvas que se ajustan ligeramente con la superficie de los agregados que lo circundan. Agregados relativamente no porosos.

Migajón:

Igual que anterior pero el agregado es poroso (5).

El contenido de materia orgánica está relacionado con las propiedades físicas de los suelos. La materia orgánica influye en propiedades del suelo, tales como la agregación (estructura), capacidad de retención del agua, grado de infiltración, densidad aparente, permeabilidad, susceptibilidad a la erosión; es probable que sea el material más importante que promueve el buen desarrollo estructural de los suelos. La relación de espacio poroso en los suelos es materialmente influenciada por la materia orgánica, afectando por lo tanto, la aireación, retención y, movimiento de agua en el suelo (15).

Consistencia del Suelo:

La consistencia del suelo comprende los atributos del material del suelo que están expresados en su grado y clase de cohesión y adhesión o en su resistencia a la deformación o ruptura.

Los fenómenos causados por la consistencia del suelo son: friabilidad, plasticidad, pagajosidad y resistencia a la compresión y a las rupturas.

Términos para designar la consistencia:

En Seco

Suelto
Blando
Ligeramente duro
Dura
Muy dura
Extremadamente duro

En Húmedo

Suelto
Muy friable
Friable
Firme
Muy firme
Extremadamente firme

Densidad Aparente:

Se refiere al peso de un volumen de suelo incluyendo el volumen ocupado por sus espacios porosos.

Si se tiene un volumen y un peso de suelo debe referirse a base seca para determinar la densidad aparente (8).

$$Da = \frac{\text{Peso (Gr.)}}{\text{Volumen (cc)}}$$

Densidad Real:

Se refiere a la determinación del peso evidente de las partículas de suelo, sin que para ello intervengan los líquidos y gases acumulados dentro de él.

3.2 El Agua en el Suelo:

El suministro de agua al suelo es indispensable para el crecimiento de la planta, por lo tanto se debe conocer la forma en que el agua se mueve en el perfil del suelo, la cantidad de agua que puede retener y la que puede aprovechar la planta (2).

Millar (14). Considera que el agua es el factor que recibe mayor atención general que cualquier otro que concierne a la producción de cultivos, es así como extensas regiones desérticas se han convertido en terrenos de alta productividad.

En regiones muy húmedas, de alta precipitación, se han construido sistemas de drenaje, aplicando prácticas agronómicas y mecánicas para controlar el exceso de agua, y no tener problemas con el escurrimiento superficial, que provoca la erosión del suelo.

Infiltración:

La infiltración, es una medida de la capacidad del suelo para absorber agua.

La velocidad de infiltración o de penetración del agua en el suelo es una función de muchas variables, entre las cuales cabe señalar como más relevantes: textura, estructura, grado de compactación y de agrietamiento del suelo; además tipo de cultivo, labores culturales, calidad del agua y sello superficial (7).

Varias expresiones se han elaborado empíricamente y con base en consideraciones físicas, para el flujo de agua dentro de un suelo idealizado. Las expresiones derivadas de la teoría se aplican a suelos que son y permanecen homogéneos durante el proceso de flujo y también suponen que el contenido de agua es una sola variable del potencial del agua.

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo, en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él. La cantidad de agua que se infiltra en el suelo, en un inter-

valo dado de tiempo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo, después de un tiempo largo, la velocidad con que el agua entra en el suelo se acerca a un valor constante conforme la curva se aproxima a una línea recta.

La velocidad de infiltración depende de muchos factores, entre ellos, los siguientes: el espesor de lámina de agua empleada para el riego o por la de la lluvia; la temperatura del agua y del suelo; la estructura y compactación, textura, contenido de humedad del suelo, estratificación, agregación y actividades microbianas.

Por lo general, la velocidad de infiltración se situa en una escala semi-logarítmica en ordenadas y el tiempo en abscisas. La curva puede ser una línea recta que, por consiguiente, puede representarse por la siguiente ecuación:

$$I = K t^n$$

Donde:

t = Tiempo

K, n = Parámetros que dependen del suelo y de su condición física.

El parámetro "K" representa la cantidad de infiltración durante el intervalo inicial; por lo tanto, depende de la estructura y de la condición del suelo en el momento en que se aplica el agua. Si el suelo tiene grietas y poros grandes, el valor de "K" relativamente es mayor que si solamente tiene poros pequeños.

El parámetro "n" indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo; por lo tanto, dependen de los cambios de estructura del suelo, resultantes de la mojadura.

Los suelos que se hinchan cuando se mojan y tienden a

sellarse y volverse impermeables: tienen un valor "n" pequeño. Los suelos que tienen una estructura muy estable presentan exponentes de "n" mayores de 0.6 y pueden aproximarse a 1.0 bajo condiciones en que predomina el flujo gravitacional. Este parámetro también depende de la geometría del flujo.

El método más preciso para medir directamente la infiltración en terrenos cultivados bajo riego consiste en aforar el agua aplicada, y a este volumen, substraer la que drena del terreno. Cuando no se puede efectuar esta medida directa se utilizan cilindros (infiltrómetros) con resultados aceptables (16).

Retención del Agua por el Suelo:

La retención y movimiento del agua por el suelo requiere energía. El humedecimiento del suelo está acompañado por una liberación de calor.

Dos fuerzas influyen en la retención de la humedad por los cuerpos sólidos, y son las siguientes:

- Atracción de las superficies sólidas para las moléculas de agua, a esto se le llama adherencia.
- Atracción de las moléculas de agua entre si, fenómeno de cohesión (15).

Por adherencia, los sólidos retienen las moléculas rígidamente a su superficie en la relación suelo-gas. Esto provoca que las moléculas de agua por cohesión retengan a otras de agua.

Esta función (adherencia y cohesión) permiten que los sólidos retengan buena cantidad de agua y controlen en alto grado su movimiento y utilización.

Esto hace que varíe la tensión con que el agua es retenida, por la distancia de las moléculas y los sólidos.

La importancia relativa de las fuerzas antes mencionadas del agua del suelo varían de un suelo a otro y de lugar a lugar, dentro de un mismo suelo; cuando el agua está en equilibrio en el suelo, el valor de cada una de estas fuerzas se ajustará en tal forma que su suma es constante en todos los puntos donde el agua está presente (2).

El agua retenida bajo estas dos fuerzas, está en posibilidades de mantener los microporos enteramente llenos de agua, y además mantener películas de agua relativamente gruesas en los macroporos.

A medida que estas películas son más gruesas van siendo más pesadas y la humedad de la superficie externa de la película de agua, está cada vez con menos fuerza adherida.

Esta humedad exterior está sujeta a un verdadero movimiento en respuesta a la atracción de la gravedad y sobre todo, de las películas de humedad adherida que no son tan gruesas.

De manera que cuando el suelo está casi saturado, es fácil extraer una pequeña cantidad de agua, pero a medida que la humedad es menor la fuerza para extraerla es mayor (2).

Capacidad de Campo (CC):

La capacidad de campo, es la máxima cantidad de agua retenida por el suelo en condiciones normales sin que para ello afecten fuerzas extrañas.

La utilización del agua por las plantas de un terreno decrece a medida que lo hace el espesor medio de la película. El agua será separada de los poros más grandes, donde está menos fuertemente adherida y permanecerá en los microporos alrededor de partículas sólidas, será así mientras las plantas pueden separar agua de las partículas (5).

La capacidad de campo no es un valor único del suelo, El sistema dinámico de remoción de agua por medio de drenaje, evaporación y transpiración, y el agua que se agrega por

medio del rocío de lluvia y de irrigación, son factores diversos, que nunca logran el equilibrio entre la cantidad de agua del suelo y el campo de fuerza gravitacional. Hay otros factores que influyen en el equilibrio, incluyendo la temperatura del suelo, su textura, estructura, etc.

El mejor uso de este término es para indicar una región general del contenido de humedad (16).

Punto de Marchitez Permanente (PMP):

Este también se conoce como Porcentaje permanente de marchitamiento, representa el índice de humedad del suelo en el cual las plantas no obtienen lo suficiente para sus necesidades de transpiración, se marchitan y no se recuperan más.

La tensión de la humedad en el suelo varía de 7 a 32 atmósferas para el PMP según sea la textura de éste, la clase y el estado de las plantas, la cantidad de sales solubles del terreno y, hasta cierto grado el medio ambiente y el clima del lugar. Hay que hacer notar que un cambio de tensión produce poca alteración en el contenido de humedad, hay poca diferencia en este porcentaje independientemente de la tensión que se tome como nivel permanente de marchitamiento. En estas condiciones la presión que comúnmente se toma para este nivel es de 15 atmósferas.

Sin embargo, durante períodos de baja humedad, alta temperatura y alta velocidad del viento muchas plantas con gran superficie foliar acusan marchitamiento, esto se observa porque el grado de transpiración de la planta excede a la rapidez con la cual dicha planta extrae la humedad del suelo, en este caso no debe confundirse con el PMP (5).

Coeficiente Higroscópico:

Es la parte del agua que está firmemente adherida a la partícula del suelo. Se encuentra en el suelo en tal forma que puede ser utilizada por la planta y se necesita ejercer una tensión grande, hasta aproximadamente 31 atmósferas, para determinarla.

Regularmente se encuentran absorbidas a las partículas coloidales y se adhiere tan fuertemente, que mucha de ella se considera no líquida y si de vapor (5).

Agua de Gravedad:

Corresponde a esta, el agua que percola por la acción de la gravedad. La característica fundamental de esta modalidad consiste en que el agua no es retenida, no por la atracción molecular, no por la tensión superficial, sino únicamente por obstáculos que encuentra en los espacios porosos del suelo, adoptando una modalidad dinámica y es la que más rápidamente se elimina, por lo que su permanencia en el suelo aunque variable, es siempre relativamente corta.

Se le denomina agua de percolación o de drenaje y produce propiedades negativas en lo que al suelo se refiere y al desarrollo vegetal al que da lugar; porque con ella arrastra los compuestos solubles en mayor o menor grado, ocupa el espacio del aire en los poros más grandes del suelo reduciendo el contenido de oxígeno disponible, con lo que disminuye la acción química y biológica, principalmente la actividad de los microbios aerobios, llegando a reducirse la humificación, las raíces no resisten el anegamiento prolongado, salvo algunas como el arroz.

En cuanto al sistema de drenaje artificial trae consigo la pérdida principalmente de N, Ca y K por lo que es conveniente el estudio de las cantidades adecuadas para determinar el riego de acuerdo con las cantidades específicas para cada cultivo (11).

Agua Capilar:

Se da el nombre de agua capilar a la que ocupa los espacios porosos, siendo esta de importancia por ser la aprovechable por las plantas.

El porcentaje de agua capilar retenido por cada clase de suelos dependerá esencialmente, no solo de la cantidad de espacios vacíos que en él existen, sino también de sus dimen-

siones a igualdad de volumen libre, el líquido retenido lo será en tanto mayor cantidad cuando mas estrechos sean los vacíos. De donde se deduce que las arenas tienen escasa retención capilar por los grandes vacíos que hay entre ellas, por el tamaño de sus partículas, por eso el agua en ellas toma el carácter gravitacional perdiéndose por drenaje gran parte del líquido.

Al disminuir el tamaño de las partículas, aumenta el porcentaje de agua capilar el cual es mayor en el limo y superior en arcilla, alcanzando un grado muy alto en el humus, que además es rico en espacios vacíos de mayor tamaño que si no tienen que ver en retención capilar, tienen importancia por contener aire para la actividad funcional del suelo.

La mayor importancia del agua capilar se cifra en que es la que las plantas toman en mayor proporción, ya que permanece en el suelo mucho más tiempo que la gravitacional, y su pérdida solo se lleva a cabo por evaporación que nos lleva consigo la pérdida de las materias disueltas. Así que su relativa estabilidad influye de manera importante en la alimentación de las plantas (11).

Escorrimento Superficial:

Es la parte de la precipitación o del agua de riego que fluye sobre la superficie del suelo, debido a que no logra infiltrarse.

Los factores que influyen en el escurrimento superficial son las características del suelo, su contenido de humedad, la pendiente y la velocidad de la aplicación del agua. Cuando la velocidad de aplicación del agua o precipitación sobrepasa la velocidad de infiltración el agua escurrir superficialmente.

Otra consideración importante en cuanto al escurrimento superficial que hay que hacer notar es que este es un factor determinante en el proceso de erosión, sobre todo por el poder de arrastre de partículas o poder erosivo

que llega a alcanzar cuando se asocia, al incremento de la pendiente del suelo.

3.3 Etapas del proceso de Erosión Hídrica:

La erosión del suelo es un proceso relativo al desprendimiento y arrastre de los materiales causados por agentes tales como: el agua y el viento.

En nuestro medio se presentan en forma generalizada el proceso de erosión causada por el agente agua (erosión hídrica).

El proceso de erosión hídrica se realiza en tres etapas consecutivas las cuales dependerán de las condiciones en que se encuentre el suelo en cuanto a cubierta vegetal, características físicas del suelo y al uso y manejo que se haga de este.

Así mismo depende de la intensidad, cantidad y duración de la precipitación o aplicación del agua de riego.

Estas tres etapas son las siguientes:

- Desprendimiento
- Arrastre o transporte
- Deposición

Etapas de Desprendimiento:

Esta etapa consiste en el desprendimiento inicial de las partículas primarias del suelo por acción del impacto de las gotas de lluvia en su superficie, conociéndose 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 natural o de cultivo, cuando es de cultivo dependerá del grado de cobertura que éste, le da al suelo.

Otro factor importante a considerar es la textura del suelo de acuerdo a Allison (1), los suelos con textura arenosa están sujetos a un mayor desprendimiento que los suelos de textura arcillosa los cuales presentan mayor resistencia en esta etapa de la erosión, bajo las mismas condiciones de precipitación.

Etapa de Arrastre o de 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 del agua de lluvia que no logra infiltrarse en el suelo. Los factores que influyen o determinan esta etapa son:

- El escurrimiento superficial
- La pendiente del terreno
- La textura

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

La pendiente influye en esta etapa del proceso, ya que determina la velocidad con que el agua escurre a través de la superficie del suelo. A mayor pendiente habrá mayor velocidad de escurrimiento y esta velocidad está directamente relacionada con el poder erosivo o de arrastre.

“Teóricamente las relaciones entre la velocidad del agua y su poder erosivo son de la siguiente magnitud:

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

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

Estos principios de hidráulica, sobre los cuales poco se reflexiona, pues existe la creencia generalizada de que dichos factores se relacionan aritméticamente, explica los inmensos peligros que existen en la destrucción de las defensas naturales de los terrenos escarpados. Afortunadamente, y como barrera a ese vertiginoso multiplicarse de los daños, existe un límite máximo para la cantidad de limo en suspensión que puede transportar el agua, el cual dependen de la velocidad y de la profundidad de la capa líquida. Cuando este límite se alcanza, cesa el desprendimiento y arrastre de material, aun suponiendo que el terreno sea muy erosionable, a menos que se aumente la velocidad o la profundidad del flujo. Así mismo, una reducción en cualquiera de estas dos características, origina la deposición de partículas.

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 ellos sus daños" (1).

De acuerdo a Allison (1), la textura también es un factor que influye en esta etapa, ya que partículas de suelo arenoso; aunque como se dijo anteriormente los arcillosos son más difíciles de desprender.

Etapa de Deposición:

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

3.4

Algunas prácticas para el control de Escorrimento en el Proceso de Erosión (6):

Existen dos tipos de prácticas y son las siguientes:

3.4.1 Estructuras o prácticas mecánicas:

Cultivo en Contorno:

Esta práctica siempre es recomendable para la conservación del suelo, y consiste en el trazado de surcos en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno, siguiendo curvas de nivel. Los surcos constituyen un obstáculo al escurrimiento y permite que se acumule el agua a lo largo de los surcos, lo cual permite su infiltración en el suelo.

Cuando la duración e intensidad de las lluvias es excesiva, el agua acumulada puede rebasar la capacidad de almacenamiento de los surcos provocándose el desbordamiento, por escurrimiento y erosión. En estas situaciones el cultivo en contorno debe combinarse con otras prácticas mecánicas como acequias de ladera o terrazas.

Objetivos:

- Reducir el escurrimiento superficial, provocar mayor infiltración del agua en el suelo y aumentar la humedad disponible para las plantas.

- Disminuir la erosión de los suelos.
- Evitar la formación de cárcavas en terrenos con pendientes.

Uso del Cultivo en Contorno:

Se usa en terrenos con pendientes mayores del 5 o/o; cuando esta es mayor del 5 o/o es conveniente combinar esta práctica con otras prácticas como terrazas y/o acequias de ladera.

Esta práctica tiene limitaciones en regiones con altas precipitaciones y donde los suelos sean arcillosos (muy pesado) o que tengan sub-suelo impermeable.

Para desalojar excesos de agua hacia drenajes naturales u otro sitio de descarga previamente protegidos con pastos.

Terrazas:

Son bordos de tierra o combinación de bordos y canales contruidos en sentido perpendicular ala pendiente del terreno.

Objetivos:

- Reducir la erosión del suelo
- Aumentar la infiltración del agua en el suelo.
- Desalojar la escorrentia superficial a velocidad controlada
- Mejorar la superficie de terrenos acondicionándola para las labores agrícolas
- Reducir el contenido de sedimentos en las aguas de escorrentia
- Disminuir escurrimientos maximos para proteger áreas bajas.

Para que un sistema de terrazas sea efectivo de-

be combinarse con otras prácticas tales como:

- Cultivo en contorno
- Cultivo en fajas
- Uso del suelo de acuerdo a su capacidad
- Cauces de drenaje natural empastado
- Estructura de desviación de escorrentía

Clasificación de las Terrazas:

1. Según condición de esconrrentía

- Terrazas con declive o de drenaje
- Terrazas a nivel

2. De acuerdo al tipo de sección transversal

- Terrazas de base ancha
- Terrazas de contrapendiente abrupta
- Terrazas de base angosta o formación sucesiva
- Terrazas de canal ancho o de zing
- Terrazas de bancale

3. De acuerdo al tipo de desagüe

- Terrazas con desagüe a un cause empastado
- Terrazas con desagüe a un sistema de drenaje superficial
- Terrazas de absorción

Acequías de Ladera:

Consisten en zanjias con 30 centímetros de fondo y con taludes de 1:1, con profundidad y pendiente variable.

La profundidad estará de acuerdo al volumen de escurrimiento. La pendiente de acuerdo a su función, es decir, si es construida para almacenar y absorber agua en el perfil del suelo o si su función es drenar el exceso de escurrimiento de agua hacia un dren natural o empastado.

Para absorción se utiliza en suelos de textura de mediana o gruesa o como dren en textura arcillosa y con abundante precipitación.

Generalmente se construyen en terrenos que se inician en cultivo y que tienen peligro de erosión hídrica o bien en terrenos que no tienen ninguna protección y que están siendo afectados por la erosión.

Objetivos:

- Proveer protección al suelo contra la escorrentía en regiones con precipitación alta.
- Evaluar y controlar excesos de agua de escorrentía hacia arcos de drenaje natural o empastado.
- Proveer almacenamiento por absorción al perfil del suelo.

Adaptación:

Se adapta en suelos de textura media y fina, en pendientes del 10 al 30 o/o. El distanciamiento depende que otra práctica se acompañe al momento de su aplicación.

3.4.2 Prácticas Agronómicas o Vegetativas:

Son las que consideran el desarrollo de plantas o cultivos, la vegetación impide el efecto erosivo por medio del follaje el cual amortigua la fuerza del impacto de las gotas sobre la superficie del suelo y las raíces que evitan que el suelo sea arrastrado, por el escurrimiento superficial.

Objetivos:

- Establecer una cubierta vegetal en áreas específicas
- Evitar o disminuir la erosión
- Dar mejor uso de los terrenos al mejorar sus características físicas y químicas.

Prácticas Principales:

- Rotación de cultivos
- Cultivos en fajas
- Abonos verdes
- Cultivos de cobertura
- Barreras vegetativas
- Huertos en terrenos inclinados
- Surcado Lister
- Cortinas rompevientos
- Reforestaciones

Rotación de Cultivos:

Es la sucesión de cultivos diferentes en ciclos continuos sobre un área de terreno determinado. Debe programarse en base a las condiciones ecológicas y económicas de la región, siendo conveniente incluir al menos una leguminosa dentro de la misma.

Objetivos:

- Mejorar o mantener la fertilidad de los suelos
- Prevenir la incidencia de plagas, malezas y enfermedades
- Controlar la erosión del suelo
- Asegurar un programa de trabajo en áreas de riego y en las de temporal mantener cubierto el suelo
- Prevenir o limitar los períodos críticos de requerimiento de agua de riego
- Conservar la humedad del suelo de una estación a la próxima

Principios agronómicos:

Para la planificación de una rotación se deben tomar en cuenta los siguientes principios:

- Crecimiento alternado de cultivos con sistemas radiculares que se desarrollan a diferentes profundida-

des

- Alternar cultivos agotadores del suelo con aquellos mejoradores de la fertilidad
- Alternar cosechas susceptibles a enfermedades con resistencia a ellas
- Tomar en cuenta las posibilidades de mercado
- Alternar cultivos con diferentes requerimiento críticos de labranza, agua, mano de obra, etc.

Usos:

La rotación de cultivos se recomienda usarla en :

1. Terrenos de clase II, III y IV que representen problemas como :

- Deficiencia de humedad
- Erosión
- Topografía
- Textura gruesa o fina
- Permeabilidades bajas o altas

2. Terrenos de clase I (aunque no presenten factores limitantes. No es imprescindible).

Requisitos que debe llenar un buen ciclo rotacional:

- Incluir al menos una leguminosa
- Si es posible establecer praderas de pastos + leguminosas para pastoreo
- El número de orden y espaciamiento de los cultivos limpios y densos debe de estar acorde con la erosión actual de los suelos. Suelos más erosionados deben preferirse cultivos densos y/o praderas
- Debe procurarse que el terreno permanezca la mayor parte cubierto con vegetación, cultivada o espontánea
- En época lluviosa los terrenos deben estar protegidos con cultivos o cualquier cubierta vegetal

Cultivo en Fajas:

“Es un sistema utilizado en la conservación de suelos que consiste en cultivar los terrenos de pendiente moderada en fajas alternas y de ancho variable, con cultivos limpios o de escarda y cultivos densos los que generalmente siguen un proceso de rotación”.

Tipo de cultivo en fajas:

Se tiene dos tipos de fajas dependiendo de problemas: cuando la erosión o el peligro de que ocurra es provocada por escurrimiento de agua superficial se utiliza el tipo de faja en contorno o sea transversales a la pendiente. Si el problema es ocasionado por el viento se usa el tipo transversales al viento, o sea a la dirección del viento, generalmente en terrenos planos.

Adaptación :

Especialmente son apropiados para terrenos de clase II, se pueden usar también en clase III y IV pero combinados con acequías de ladera o terrazas.

Incorporación de Materia Orgánica:

La incorporación de Materia Orgánica tiene las siguientes ventajas:

- Mejorar las condiciones físicas del suelo (estructura, permeabilidad)
- Estipula los procesos químicos y biológicos en el suelo
- Suministra nitrógeno al suelo a través de su descomposición por parte de microorganismos

La incorporación de Materia Orgánica se puede efectuar a través de:

- Incorporación de abonos verdes (leguminosas)
- Compost (aboneras)
- Incorporación de desechos de cosecha

3.5 Aplicación de las Prácticas Mecánicas para el Control del Esguerramiento y su Relación con las Clases Agrológicas:

La clasificación agrológica considera como un factor determinante en la delimitación de cada una de las clases de suelo la pendiente como un factor delimitante además de otros como: profundidad del suelo, la pedregosidad superficial, la deficiencia o exceso de agua, grado de erosión, salinidad y otros.

Tomando en cuenta la pendiente y lo planteado anteriormente en cuanto a su influencia en las etapas del proceso de erosión (arrastré) las prácticas mecánicas tales como: Terrazas, cultivo en contorno, acequias de laderas y otros se aplican en las clases agrológicas II y IV, cuando estas son puestas bajo cultivo para prevenir o disminuir el proceso de erosión, combinadas con las prácticas agrolómicas.

Conforme sube la categoría de la clase agrológica se debe intensificar la aplicación de dichas prácticas.

En las clases agrológicas VI y VII que deben ser destinadas para cultivos densos que permitan mantener el suelo bajo cubierta vegetal, la aplicación de las prácticas mecánicas se efectúan al momento en que se realizan la implicación de estos cultivos para evitar la erosión en el período inicial del cultivo.

4. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

4.1 Localización:

La cuenca Michatoya se encuentra localizada geográficamente entre los límites $90^{\circ} 04'$ y $90^{\circ} 42'$ longitud oeste, respecto al Meridiano de Greenwich y $14^{\circ} 16'$ y $14^{\circ} 39'$ latitud norte y abarca los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla, con una extensión de 104.605 Has. Esta cuenca se encuentra dividida en varias sub-cuencas, dentro de las cuales se describe la localización del área de trabajo constituida por las siguientes: Río el Mico, Sanjon Malena y Río las Minas.

4.2 Sub-cuenca el Mico y Quebrada de las Minas:

La sub-cuenca del Río Mico y de las Minas, se encuentra localizada a la altura del kilómetro 28, 30 de la carretera que conduce a la Costa Sur. Con un área de 451.9 Has.

Caracterizada por su conformación topográfica ya que forma una especie de encajonado, es una serie de zanjonnes y hondonadas que drena al Río Mico, el cual desemboca en el Río Michatoya.

En la parte más alta de la cuenca se encuentra un pequeño nacimiento del Río Mico, el cual en invierno aumenta su caudal que generalmente es muy reducido y en época de mucha sequía llega a desaparecer, siendo este río causante de serios problemas de derrumbes que han ocasionado inundaciones en la población de Amatitlán, trayendo consigo innumerables pérdidas económicas.

Accesibilidad de la Sub-cuenca:

Internamente la sub-cuenca tiene un camino principal que de la población de Amatitlán conduce a la Aldea Bárcena pasando por los Caseríos de la Aldea Las Trojes y Granjas; cuenta con una gran ramificación de caminos

secundarios que comunican a todas las áreas de la sub-cuenca.

En su mayor parte los caminos son de topografía difícil e irregular que obstaculizan el transporte de las cosechas anuales; en el invierno se torna prácticamente intransitable con vehículos motorizados.

Clima, Ecología y Aspecto Forestal de la Sub-cuenca:

El clima que predomina dentro de la sub-cuenca es:

Clima templado cálido

Precipitación promedio: 987.3 mm

Temperatura promedio:

máxima: 30.8°

mínima: 18.1°

Promedio: 21°

La Sub-cuenca ecológicamente se encuentra situada en la zona Tropical Húmeda. La vegetación es variada por la gran altitud entre la parte más baja y la más alta de la cuenca, que es de 1,300 a 2,000 M. respectivamente, esto da lugar al cambio notorio de vegetación.

La parte alta se encuentra cubierta por árboles aislados de encino, roble, pino y arbustos. Los bosques crecen formando una espesa selva, invadidos por arbustos y especies de muy poco valor económico, su crecimiento es lento y los árboles se encuentran remificados y torcidos.

Existen coníferas (pino y ciprés) pero no hay rodales puros, únicamente quedan árboles o grupos pequeños que producen semillas y regeneración natural que es destruida por los innumerables cultivos limpios.

Los agricultores de toda la región, de las aldeas y municipios vecinos de la cuenca, ven este lugar una fuente de producción de leña y carbón, diariamente se oyen las talas de los árboles por toda el área. Prácticamente los vecinos se han adueñado de toda el área de la cuen-

ca y hacen en ello lo que quieren sin que nadie los moleste o intervenga en sus actividades.

En la parte baja no existen bosques, solo árboles aislados y en los cercos y monte bajo, así como algunos pastos ya que ganado casi no existe relativamente, solo unos pocos bueyes y caballos que utilizan para carga.

4.3 Sub-cuenca Zanjon Malena:

La Sub-cuenca, está localizada en los municipios de Villa Nueva y Amatitlán, en los puntos siguientes:

Latitud norte : $14^{\circ} 29.06'$ y $14^{\circ} 31.95'$

Longitud oeste: $90^{\circ} 36.87'$ y $90^{\circ} 39.98'$

La altitud varia de 2,430 a 1,200 ms.n.m.

Factores Geográficos y Climáticos:

Clima:

El clima es semi-cálido, húmedo con tipo de variación de temperatura de invierno benigno, tipo de distribución de la lluvia con invierno seco y con vegetación natural característico de bosque, de acuerdo al mapa climatológico preliminar de la República de Guatemala, (sistema Thorntwite).

La temperatura media anual es de 17.7°C , observándose bastante estable. El promedio anual de precipitación pluvial es de 478.8 mm. concentrándose la mayor cantidad de lluvia en los meses de abril a octubre. Los vientos dominantes son fuertes, sobre todo en los meses de noviembre a febrero llegando hasta 24 Kms./hora, con dirección NNE dominante.

4.4 Recursos:

1. Agua:

La única fuente de agua es la precipitación pluvial,

que se concentra en los meses de abril a octubre, lográndose esta época para realizar los cultivos de estación. Sin embargo, por características de la zona, se aprovecha la humedad retenida por el suelo para efectuar cultivos de cebolla y tomate en la época seca.

2. Vegetación:

La vegetación predominante está compuesta de bosque, monte bajo, pastos y zona urbana con un área de 2015.0 Has.

3. Suelo:

Los suelos de esta zona pertenecen a la división fisiográfica de suelos de la altiplanicie central.

En general los suelos son profundos, de textura mediana franco arenosos y franco arcillo arenosos, en algunas áreas la estructura predominante es la de bloques subangulares medianos débilmente desarrollados, por las características anteriores estos suelos son permeables. El color predominante de estos suelos es pardo amarillento a pardo, siendo más claros en los horizontes inferiores.

La topografía, es de pendientes escarpadas, con pequeñas pareas de suelos casi planos a valles ondulados.

En general son suelos permeables y presentan una erosión de ligera a moderada en las áreas menos inclinadas y de moderadamente severa a severa para las áreas más pendientes.

4. Estructura Agraria:

El área de las Sub-cuencuas se encuentran explotadas intensivamente por arrendatarios y propietarios con cultivos de subsistencia (maíz y frijol), y cultivos económicos (maní, tomate, cebolla y otros).

Además dentro de estas áreas se encuentran propiedades

que oscilan de 3.0 a 6.0 Has. las cuales son dedicadas al cultivo de maíz en su mayoría.

5. MATERIALES Y METODOS

Tomando como base el Estudio Agrológico del área, efectuado por la División de Suelos de la Dirección de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura, se seleccionaron dos áreas para realizar el presente trabajo tomando en cuenta que fueran áreas que estuvieran comprendidas dentro de la Clase Agrológica VI y que estuviera siendo usada para pastos y cultivos limpios, por ser estas las actividades mas comunes en estas áreas. La Clase Agrológica fue seleccionada por ser la que requiere la aplicación de prácticas mecánicas de control de la erosión en forma más intensa, cuando es sometida a cultivos.

En dichas áreas se realizó lo siguiente:

5.1 Selección de Lotes de Registro:

Se seleccionaron dos puntos para ubicar los lotes de registro del escurrimiento superficial y cuantificación de la erosión, tomando como base que estuvieran localizados dentro de la pendiente media de la Clase Agrológica (35 o/o) y con diferente uso (cultivo limpio y pastos).

5.2 Caracterización Física del Suelo:

Para caracterizar el suelo se realizaron dos calicatas hasta una profundidad de 50 centímetros (0.75 x 0.75 x 0.50) en el área que representaba cada lote de registro. Se tomaron muestras de suelo en bolsas de polietileno, plenamente identificadas para cada estrato y fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Unidad de Estudios y Proyectos del Ministerio de Agricultura.

Las características estudiadas son:

1. Textura
2. Densidad aparente
3. Contenido de Materia Orgánica
4. Contenido de Humedad o Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente

5.3 Pruebas de Infiltración:

En cada uno de los puntos seleccionados se efectuaron pruebas de infiltración del agua en el suelo, utilizando el método del cilindro.

5.4 Instalación de Lotes de Registro:

El método empleado para la cuantificación del escurrimiento y la erosión del suelo se utilizó el método de "Lotes de escurrimiento", que consiste en lo siguiente:

1. Se delimitaron en cada punto localizado para los registros, un lote de 2 x 10 metros, a lo largo de la pendiente principal del área y se confinaron mediante tablas de madera, procurando que estas quedaran enterradas firmemente sobre saliendo sobre la superficie 25 centímetros.
2. En la parte baja de cada lote se colocó un tubo de poliducto de 6" de diámetro y luego un depósito, con una capacidad de 25 litros para captar los escurrimientos generados en cada día de lluvia. Se colocó una escala en el depósito para poder cuantificar el volumen de agua escurrida.
3. A la par de cada lote se instaló un pluviómetro para llevar los registros de precipitación diaria.

5.5 Registro de Datos:

Para llevar los registros de datos se diseñó un cuadro en el cual se llevaron las siguientes anotaciones:

1. Fecha
2. Identificación
3. Precipitación en milímetros
4. Volumen precipitado sobre el lote
5. Volumen escurrido
6. Número de muestra de agua mas sedimentos
7. Peso de sedimentos por muestra
8. Peso de sedimentos total en volumen escurrido

Estos datos se registraron de cada lluvia.

5.6 Cálculo de Coeficiente de Escorrimento:

Para calcular el coeficiente de escorrimento se determinó el volumen total precipitado durante la época de registros y el total de volumen escurrido, y se determinó con la siguiente expresión:

$$\frac{VTE}{VTP} \times 100 = CE$$

Donde:

VTP = Volumen total precipitado (m³)
 VTE = Volumen total escurrido (m³)
 CE = Coeficiente de escorrimento en o/o

5.7 Cálculo de Suelo Erosionado:

Para cuantificar el suelo erosionado se calculó para cada muestra de sedimento el suelo erosionado en cada lote, para cada día de lluvia en la forma siguiente:

$$\frac{PSs \times VE}{VMS \times 1000} \times 500 = SE$$

Donde:

PSs = Peso de sedimentos de la muestra (gr)
 VE = Volumen escurrido (cc)
 VMA = Volumen de muestra de agua (cc)
 SE = Peso de suelo erosionado en Kg/Ha

Para cuantificar el suelo total erosionado se realizó la suma total del volumen escurrido, el volumen total de volumen de muestra y del peso de sedimentos y se calculó el suelo erosionado en el período de registro.

$$\frac{\sum PSs \times \sum VE}{1000 \sum VMS} = SE \text{ total}$$

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Características Físicas del suelo:

De acuerdo a los análisis de laboratorio efectuados en las muestras tomadas en los lotes de escurrimiento, se obtuvieron los resultados que se muestran en el cuadro No. 1

Estas características tal como se muestran en el cuadro, corresponde a cada uno de los lotes donde se efectuó el trabajo, el lote No. 1 ha sido usado durante varios años para cultivar maíz y en el momento de realizar la presente investigación se encontraba sin cubierta vegetal, y el lote No. 2 bajo el uso con pastos.

En el cuadro No. 2 se presentan las características de retención de humedad de los suelos en ambos lotes. De acuerdo a dicho cuadro, el lote No. 2 cuyo uso se encuentra con pastos, es decir, con cubierta vegetal, presentó una mayor capacidad de retención de humedad que el lote No. 1 de cultivos limpios, esto debido a la variación textural.

Como un agregado se presenta el Cuadro No. 3 con algunas características químicas de dichos suelos.

6.2 Infiltración del agua en el suelo:

De las pruebas de infiltración realizadas dentro de cada uno de los lotes de escurrimiento, se obtuvieron los resultados que se reportan en el cuadro No. 4 y que se presentan en las gráficas No. 1 y No. 2. De dichas gráficas se dedujeron las siguientes ecuaciones empíricas, para calcular la lámina infiltrada en centímetros y en función del tiempo y la velocidad de infiltración instantánea en cm/hora.

Lote No.	d	I
1	1.7 t ^{0.73}	74.46 t ^{-0.27}
2	0.32 t ^{0.75}	14.4 t ^{-0.25}

Donde:

d = Lámina infiltrada (cm)

I = Velocidad de Infiltración (cm/hora)

De acuerdo al resultado obtenido en las pruebas de infiltración, se deduce que hay mayor velocidad de infiltración en los suelos del lote No. 1 sin cubierta vegetal, lo cual indica que en menos tiempo estarían siendo saturados en su capacidad de retención de humedad, por lo que habría mayor posibilidad de escurrimiento en comparación de los suelos del lote No. 2 y bajo las mismas condiciones de aplicación de agua.

6.3 Escurrimiento y Erosión:

De acuerdo a los registros llevados durante el desarrollo del trabajo, en cuanto a la precipitación presentada en cada uno de los lotes bajo estudio se obtuvieron los cuadros No. 5 y 6 donde se presenta la precipitación en mm, y el equivalente en volúmenes llovidos (litros) así como el volumen escurrido para cada lluvia. en el mismo cuadro se presenta la cantidad de suelo erosionado en gr/litro, y su equivalente en Kg/Ha.

De acuerdo a estos resultados, se hizo un análisis estadístico de regresión obteniéndose los siguientes modelos:

Lote No.				
1	Sin cubierta vegetal y usado para cultivos limpios	SE	=	-1.0168 + 5.79P
		VE	=	-1.76 + 0.016VP
2	Con cubierta vegetal de pastos	SE	=	-83.99 + 5.13P
		VE	=	-0.25 + 0.012VP

Donde:

SE = Suelo erosionado Kg/Ha
 P = Precipitación por lluvia (mm)
 VE = Volumen de escurrimiento (litros)
 VP = Volumen de precipitación (litros)

De acuerdo a esos modelos, se desarrollaron las gráficas No. 3 y 4 donde se relaciona el suelo erosionado en Kg/Ha y precipitación por lluvia en mm; volumen escurrido en litros y volumen llovido en litros.

6.3.1 Suelo Erosionado vrs. Precipitación:

En la gráfica No. 3 donde se presentan los resultados del suelo erosionado se comprueba objetivamente que independientemente del estado en que se encuentra la superficie del suelo, hasta después de ocurrida parte de la precipitación; aproximadamente entre 15 y 20 mm. no se realiza el proceso de arrastre del suelo, es decir, que únicamente se presentó el proceso de erosión por impacto de las gotas de lluvia, por consiguiente precipitaciones menores a esa magnitud no provocan la erosión en dichos suelos esto es explicable por la velocidad de infiltración que los mismos poseen.

Al incrementarse la precipitación se observa que se inicia la segunda etapa del proceso de la erosión, consis-

tente en el arrastre de las partículas desprendidas por el impacto de la lluvia, el cual se incrementa a medida que aumenta la precipitación caída por día.

Este incremento de suelo erosionado (arrastre) es mayor en el suelo que se encuentra sin cubierta vegetal, que en el suelo con pastos; esto debido a que se efectuó mayor desprendimiento de suelo en la primera fase del proceso de erosión, en el suelo que no presentaba ninguna protección contra ese impacto, o sea el suelo sin cubierta vegetal, mientras que el que estaba recubierto, de pasto se contrarestó el desprendimiento de partículas del suelo.

6.3.2 Volumen Escurrido vrs. Volumen Precipitado:

Del análisis de la gráfica No. 4 donde se relacionan los volúmenes escurridos en función de los volúmenes llovidos de cada día de lluvia, se deduce que aunque a volúmenes menores, aproximadamente 400 litros, el volumen escurrido en el lote con cubierta vegetal fue ligeramente mayor que en el lote sin cubierta vegetal, sin embargo, a medida que se sobrepasa este valor el escurrimiento se hace mayor en el lote sin cubierta vegetal, esto debido a que no existe mayor restricción que el movimiento del escurrimiento superficial como ocurre en el suelo del lote con pastos.

En resumen si se relaciona ambos resultados, es decir, el suelo erosionado y el volumen escurrido en función de precipitación estos son mayores en el área del lote sin cubierta vegetal por las razones siguientes:

- a) La fase de desprendimiento de partículas del suelo por el impacto de las gotas de lluvia es mayor.
- b) El escurrimiento a medida que se sobrepasa la capacidad de infiltración del agua en el suelo también es mayor; lo que proporciona mayor capacidad de transporte de partículas desprendidas, dando como resultado mayor erosión del suelo.

De acuerdo con los registros de 10 años de precipitación de la zona, la máxima precipitación diaria presentada fue de 82 mm. con lo cual podemos deducir que de acuerdo a los resultados obtenidos de la erosión estará oscilante 340 a 400 Kg/Ha como máximo por día de lluvia. Para cuantificar la erosión en Ton/Ha/año, se puede estimar acumulando la erosión que podría ocurrir de acuerdo a la precipitación de las lluvias, analizando los registros existentes.

6.4 Criterios para Diseños de Prácticas para el Control de Esguerrimiento:

Con los resultados obtenidos de volúmenes esguerridos, en función a volúmenes llovidos se puede estimar el volumen máximo a esguerrir en función del área de esguerrimiento con lo cual se lograría establecer la capacidad de almacenamiento que debería tener la estructura para controlar el esguerrimiento y evitar la erosión.

Los criterios y el procedimiento a seguir, puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Establecer la máxima precipitación diaria en los registros existentes, de preferencia que se encuentren con 10 años como mínimo.
2. Con esa precipitación encontrar el volumen esguerrido en litros y convertirlo a m^3 , en la gráfica No. 4 el cual corresponde a un área de 20 m^2 .
3. Multiplicar por un factor 1.5 el volumen encontrado (m^3).
4. Dimensionar una sección de la estructura, (acequias de ladera, terrazas) y determinar el volumen por unidad de longitud.
5. Determinar el volumen total del almacenamiento del agua de esguerrimiento dentro de la estructura.

6. Determinar el volumen total de almacenamiento del agua de escurrimiento dentro de la estructura.
7. Dividir el volumen de almacenamiento entre el volumen determinado en el inciso 3, lo cual determinará el área de aportación de escurrimiento hacia la estructura en m^2 .
8. Dividir el área entre la longitud de la estructura y dará el diatanciamiento entre la estructura en el área a proteger.

CUADRO No. 1

CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO

LOTE	PROFUNDIDAD	TEXTURA	DENSIDAD APARENTE GR/CM3	HUMEDAD EQUIV. o/o	Densidad Aparente	Materia Organica	PH	COLOR	
								SECO	HUME- DAD
1	0 - 20	Franco Arcilla Arenoso	1.0355	26.94	9.13	4.05	6.95	10YR 3/3	5YR 2/1
	20 - 50	Franco Arcilla Arenoso	1.0810	26.00	11.41	2.58	6.75	4/4	10YR 3/4
2	0 - 20	Arcilla	0.9481	35.47	15.19	2.77	6.36	5/4	10YR 3/4
	20 - 50	Franco arcilloso	0.9057	40.78	16.59	1.71	6.67	6/4	7.5YR 4/4

CUADRO No. 2

CAPACIDAD DE RETENCION DE HUMEDAD A

50 CENTIMETROS DE PROFUNDIDAD

LOTE	PROFUNDIDAD	TEXTURA	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO EN				LAMINA DE HUMEDAD APROVECHABLE (cm)
			o/o TENSION EN ATMOSFERAS (cc) 1/3	2.0	5.0	(PMP) 15.0	
1	0 - 20	Franco Arc. Arenoso	22.81	15.16	14.67	13.98	1.77
	20 - 50	Franco Arc. Arenoso	24.30	18.34	17.32	16.31	2.40
2	0 - 20	Arcilla	37.47	29.19	26.98	24.61	2.57
	20 - 50	Franco Arcilloso	40.78	32.12	30.27	27.28	4.05

Lamina de Humedad Aprovechable = $\frac{o/o \text{ CC} - o/o \text{ PMP}}{100} \times \text{Profundidad (cm)} = \text{Centimetros}$

100

CUADRO No. 3

CARACTERISTICAS QUIMICAS

LOTE	PROFUNDIDAD	CAPACIDAD TOTAL DE INTERCAMBIO	CA	MG	NA	K	H	SATURACION EN BASE o/o	Σ CATIONES
1	0 - 20	26.19	10.96	3.58	0.23	0.95	10.47	60.02	15.72
	20 - 50	27.56	9.94	4.34	1.33	0.42	11.53	58.16	16.03
2	0 - 20	36.99	10.01	4.40	0.26	1.45	19.87	46.28	17.12
	20 - 50	38.64	11.95	4.98	0.37	0.75	20.59	46.71	18.05

CUADRO No. 4

RESULTADOS DE PRUEBA DE INFILTRACION

POR EL METODO DE CILINDRO

LECTURAS ACUMULADAS		
TIEMPO (min)	LOTE No. 1 (cm.)	LOTE No. 2 (cm.)
5	4.8	0.9
10	9.0	1.7
15	13.0	2.4
20	16.2	2.9
30	21.2	3.9
45	27.2	5.3
60	33.2	6.7
90	45.7	8.9
120	58.1	10.9
180	77.7	14.1

CUADRO No. 5

PRECIPITACION, ESCURRIMIENTO Y EROSION DEL SUELO
EN EL LOTE No. 1 SIN CUBIERTA VEGETAL Y USADO PARA
CULTIVOS LIMPIOS

FECHA	PRECIPITACION (mm)	VOLUMEN LLUVIA (litros)	VOLUMEN ESCURRIDO (litros)	SUELO EROSIONADO gr/litros	kg/Ha
30/8/78	21.3	426	4,948	7,3157	18.09
3/9/78	14.3	286	2,827	1.8731	2.65
5/9/78	12.7	254	4,100	0.8686	1.78
6/9/78	21.0	420	5,089	2.1386	5.44
7/9/78	17.2	344	4,241	1.3043	2.77
13/9/78	36.7	734	9,189	15.7382	72.31
19/9/78	40.1	802	14,349	29.5221	211.80
20/9/78	28.8	576	5,321	2.0996	5.49
21/9/78	24.4	488	5,867	6.4475	18.91
25/9/78	18.3	366	4,241	1.8049	3.84

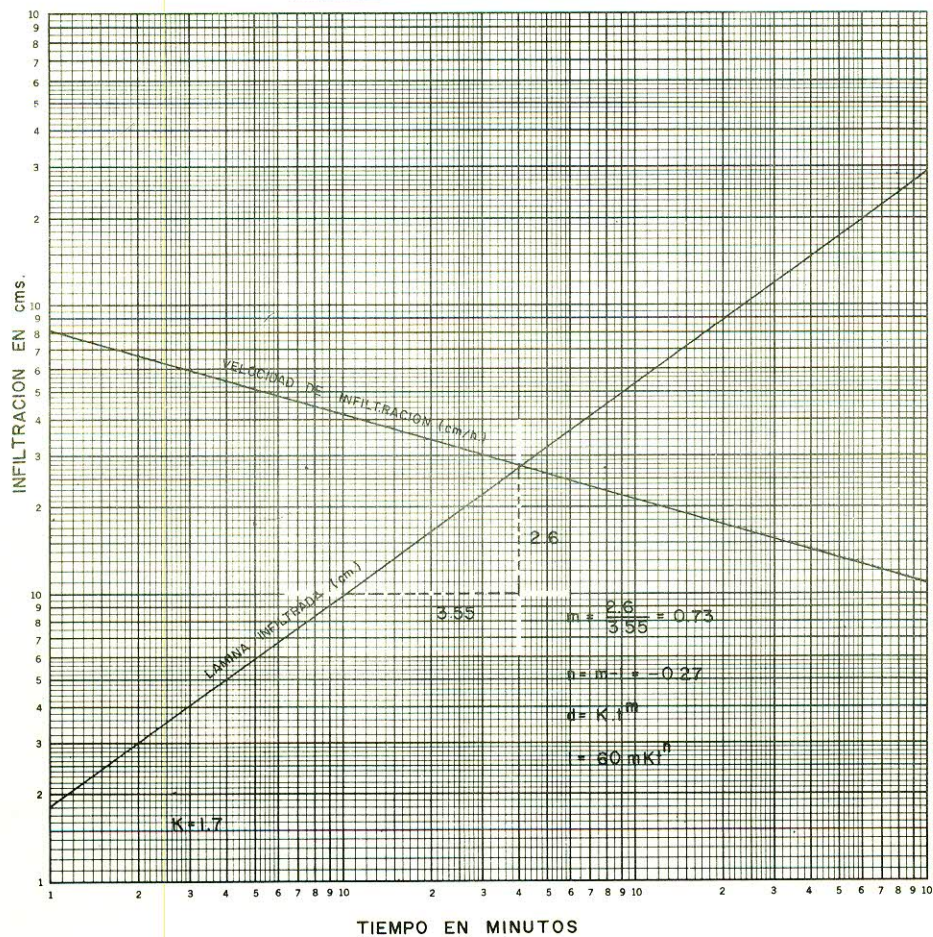
CUADRO No. 6

FECHA	PRECIPITACION (mm)	VOL. LLUVIA LITRO	VOLUMEN ESCURRIDO (cc)	SUELO EROSIONADO	
				Gr/litro	Kg/Ha
30/8/78	9.0	180	2,474	1.8293	2.26
3/9/78	7.1	142	2,262	1.3618	1.54
5/9/78	18.5	370	4,383	1.1406	2.50
6/9/78	22.5	450	4,948	4.7308	11.70
7/9/78	24.4	488	5,796	3.6557	10.59
13/9/78	30.0	600	7,775	10.3564	40.26
19/9/78	60.4	1280	15,622	38.9276	304.06
20/9/78	27.1	542	6,503	3.3780	10.98
21/9/78	38.3	766	7,493	14.0347	52.58

PRECIPITACION, ESCURRIMIENTO Y EROSION DEL SUELO EN EL LOTE No. 2
CON CUBIERTA VEGETAL DE PASTOS

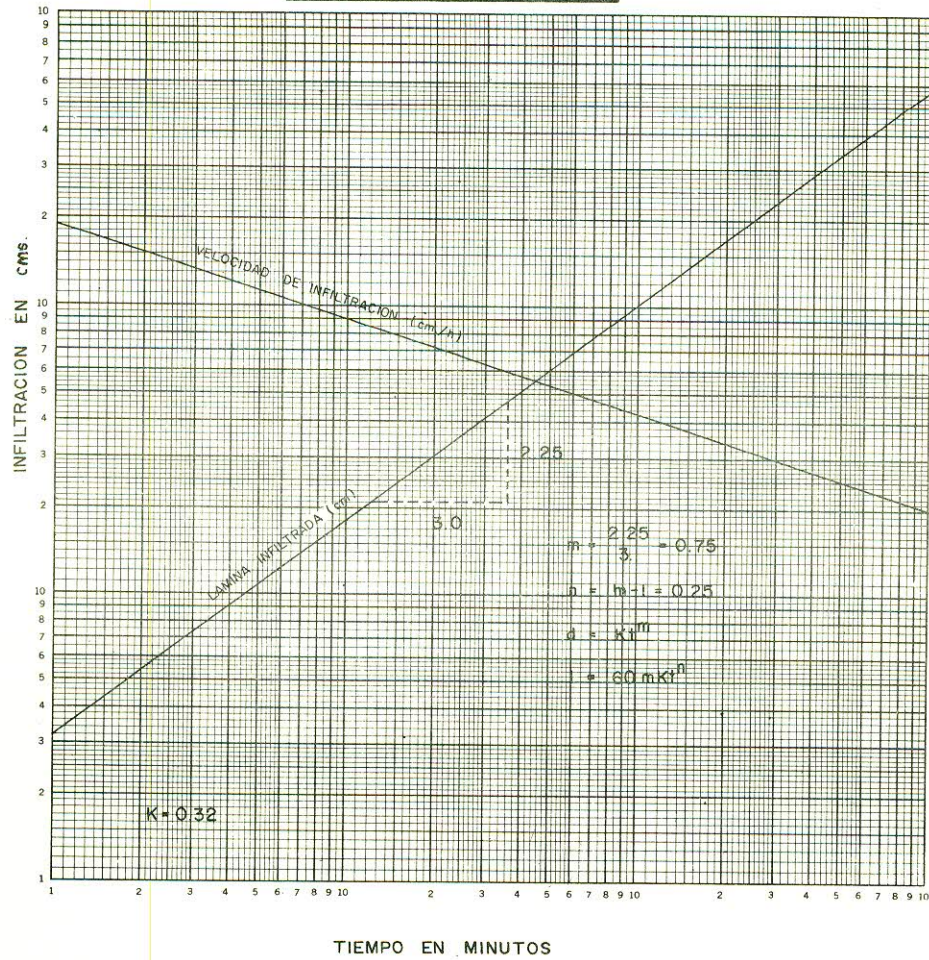
GRAFICA N° 1

VELOCIDAD DE INFILTRACION



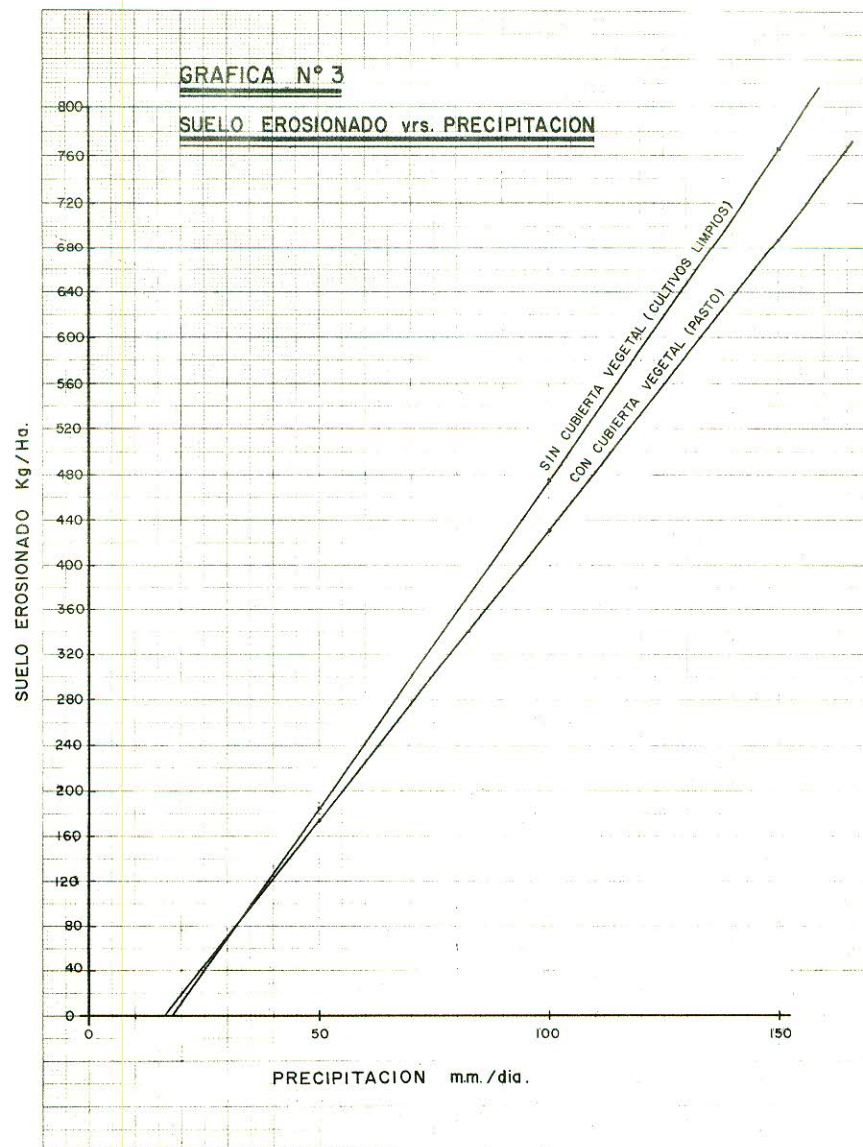
GRAFICA N° 2

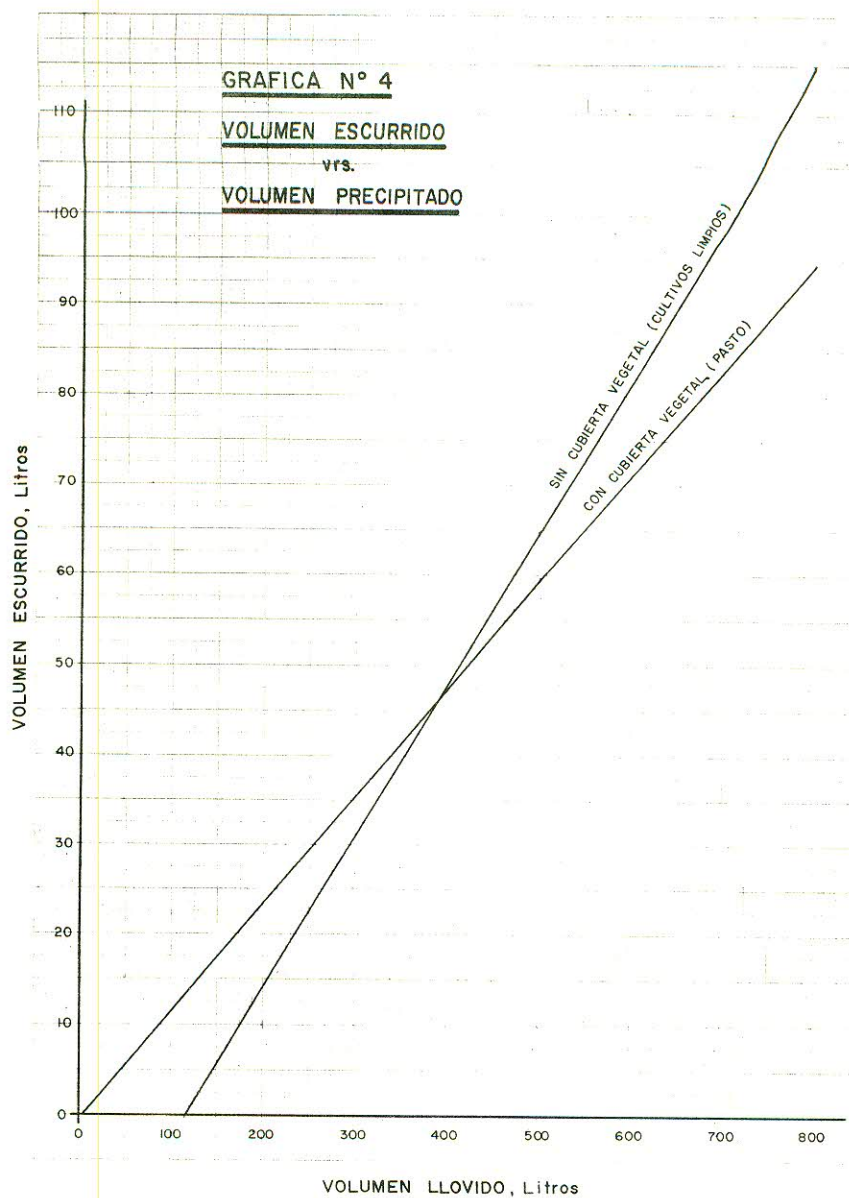
VELOCIDAD DE INFILTRACION



GRAFICA N° 3

SUELO EROSIONADO vrs. PRECIPITACION





7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos en el presente trabajo se enumeran las siguientes conclusiones:

1. La aplicación del método de lotes de escurrimiento para la cuantificación de la erosión del suelo, y de volumen de escurrimiento se considera un método práctico y de fácil complementación, bajo diferentes condiciones en que se encuentre la superficie del suelo.
2. De las dos áreas estudiadas en el presente trabajo, una con cubierta vegetal, (pastos) y la otra sin cubierta vegetal, se pueden diferenciar que en lote con cubierta vegetal se obtuvo menor erosión y menor volumen de escurrimiento, que en el lote sin cubierta vegetal.
3. Respecto al proceso de erosión ocurrido en ambos lotes estudiados, se pudo observar y cuantificar que la primera etapa de este proceso (el desprendimiento de partículas de suelo por el impacto de las lluvias) ocurre, dentro de la precipitación de los primeros 15 a 20 mm. en cada lluvia, en ambos lotes.
4. Al incrementarse la precipitación en cada lluvia, se inicia el escurrimiento superficial y la segunda etapa del proceso o sea el arrastre de las partículas desprendidas por el impacto de lluvia; este arrastre de partículas (suelo erosionado) es mayor en los suelos sin cubierta vegetal que en el suelo con pastos, esto debido a que en estos suelos fue mayor el volumen de escurrimiento y las partículas desprendidas.
5. De acuerdo a registros de precipitación en el área, la máxima precipitación diaria presentada fué de 82 mm., durante un periodo de 10 años.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, la erosión del suelo en el área, en días de lluvia estaba entre 340 a 400 Kg/Ha. como máximo.

6. En base a los resultados obtenidos en el inciso 6.4, se plantea los criterios, y el procedimiento a seguir para establecer la capacidad de almacenamiento de estructuras, para el control del escurrimiento y evitar la erosión.

De acuerdo a las conclusiones, y para mejorar la obtención de registros que permitan mayor información en cuanto al proceso de erosión de los suelos de un área se recomienda:

1. Establecer en forma permanente dentro de un área bajo estudio lotes de escurrimiento, que permitan obtener datos de áreas con diferentes usos, pendientes y tipos de suelos.
2. Obtener registros de precipitación que incluya intensidad y duración, durante todo un año hidrológico o más.
3. Estudiar condiciones de permeabilidad de los suelos con mayor detalle.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ALLISON, W. D. Soil erosion studies. Agricultural Engineering, 28, 1947. pp. 145-442.
2. RELACION ENTRE suelos-planta-agua. 2a. ed. Mexico Ed. Diana, 1973. 20 p (Colección Ingeniería de Suelos, 1).
3. CORONADO R. Ma. E. Estudio agrológico semidetallado del Valle de Salamá. Guatemala, Universidad de San Carlos. Facultad de Agronomía, 1975. pp. 11 (Tesis de Ing. Agr.).
4. DUCHAUFOUR, Manual de edafología. Traducido por T. Carballo Fernández. Barcelona, Toray-masson, 1975.
5. GONZALEZ B. V. H. Estudio de algunas constantes físicas del suelo con fines de riego. Guatemala, Universidad de San Carlos Facultad de Agronomía, 1975. 60 p. (Tesis de Ing. Agr.).
6. GONZALEZ H. O. Curso de prácticas mecánicas de Conservación de suelos. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1977. 20 p. (miméografiado)
7. GRASAI, C. J. Manual de drenaje agrícola. Mérida Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de aguas y tierras. (CIDIAT). s.f.
8. GUATEMALA, MINISTERIO DE AGRICULTURA. DIRENARE, Manual de laboratorio de suelos. Guatemala, DIRENARE, División de suelos, 1970. 200 p.
9. HUDSON, N. Soil conservation. Ithaca, New York, Cornell University Press. 1971 320 p.
10. ISRAELSEM, D. W. Principios prácticos del riego. Traducido por Alberto García Palacios. 4a. Ed. Barcelona Ed. Reverté, 1968. 344 p.

11. MAZARIEGOS A. F. J. Propiedades físicas de los suelos. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Departamento de suelos, 1970. 16 p.
12. — — — — —, Curso de física de suelos. Guatemala, Universidad de San Carlos, s. f. 31 p. (miméografiado).
13. MELA MELA, P. Tratado de Edafología y sus distintas aplicaciones. Madrid. Dossat, 1963. 625 p.
14. MILLER, C. E., et. al. Fundamentos de la ciencia del suelo. Traducido por Angel Reinoso F. México, Continental, 1967. 612 p.
15. PERDOMO, R. & HAMPTON, H. P. Ciencia y tecnología del suelo. Guatemala, Editorial Universitaria, 1970. 366 p.
16. GAVENDE, S. A. Física de suelos, Principios y aplicaciones. México, Limusa-Wiley, 1972. 351 p.
17. SUAREZ DE CASTRO, F. Conservación de suelos. Barcelona, Salvat, 1956. 283 p.
18. FLNNERY, R. D. Unidad de reconocimiento de suelos. Guatemala, I.N.T.A., 1971. 127 p.

Licda. Sonia Lidia Yac García

NOTA :

La bibliografía aparece ordenada conforme se fueron consultando las obras en el transcurso del trabajo de tesis.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

IMPRIMASE:

ING. AGR. RODOLFO ESTRADA GONZALEZ
D E C A N O

