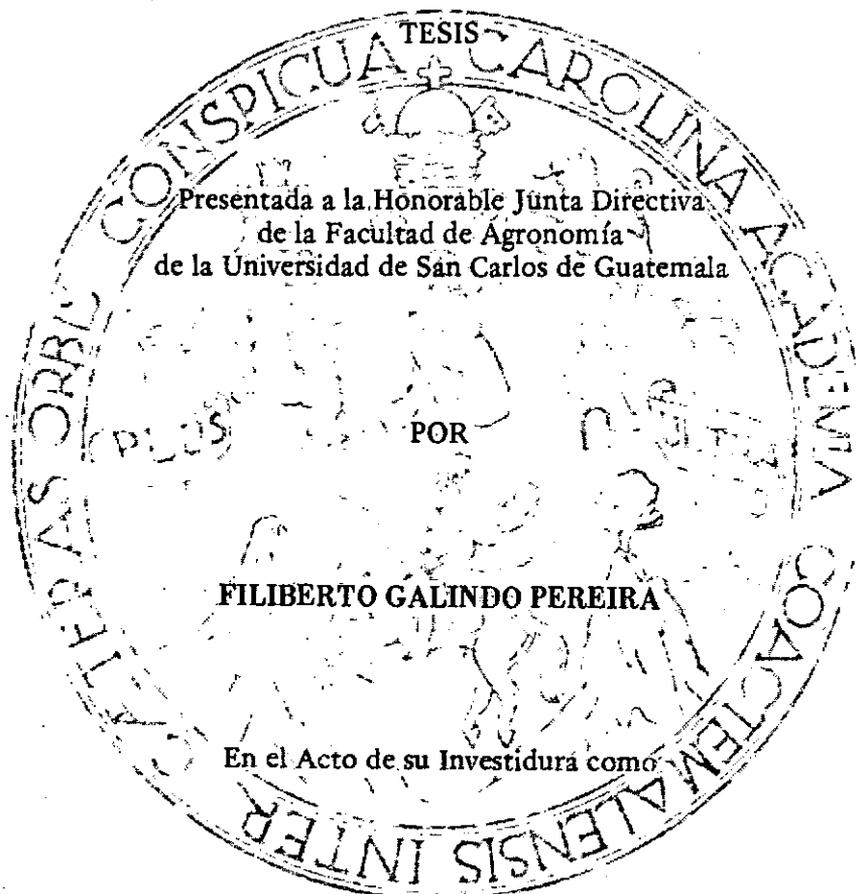


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

**DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA  
PARA LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS UBICADAS  
EN LA REGION SUR DE GUATEMALA**



Presentada a la Honorable Junta Directiva  
de la Facultad de Agronomía  
de la Universidad de San Carlos de Guatemala

**FILIBERTO GALINDO PEREIRA**

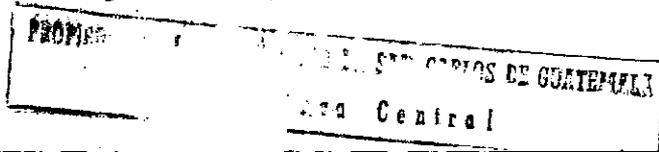
En el Acto de su Investidura como

**INGENIERO AGRONOMO**

En el Grado Académico de

**LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS**

Guatemala, Agosto de 1987



DL  
01  
T(1017)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Lic. RODERICO SEGURA TRUJILLO.

JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	ING. AGR. ANIBAL MARTINEZ.
VOCAL I	ING. AGR. GUSTAVO MENDEZ G.
VOCAL II	ING. AGR. JORGE E. SANDOVAL I.
VOCAL III	ING. AGR. MARIO F. MELGAR M.
VOCAL IV	Br. LUIS MOLINA MONTERROSO.
VOCAL V	T.U. CARLOS E. MENDEZ.
SECRETARIO	ING. AGR. ROLANDO LARA ALECIO.



Referencia .....
Asunto .....
.....

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

2 de Julio de 1987.

Ingeniero Agrónomo  
Aníbal Martínez,  
Decano de la  
Facultad de Agronomía.  
Su Despacho.

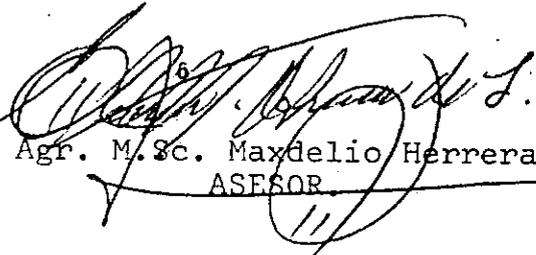
Señor Decano:

Tengo el agrado de informarle que he concluido el asesoramiento y la revisión del documento final del trabajo de tesis del señor Filiberto Galindo Pereira, Carnet No. 35955, titulado "DETERMINACION DEL INDICE DE EROSION DE LA LLUVIA PARA LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS UBICADAS EN LA REGION SUR DE GUATEMALA".

Este trabajo constituye un aporte al desarrollo de la metodología para predecir, evaluar y planificar las prácticas de conservación del suelo y del agua que permitan reducir la erosión del suelo por debajo del nivel de tolerancia; por tal motivo, solicito su autorización para que dicho trabajo sea publicado como tesis de grado.

Cordialmente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. M.Sc. Maxdelio Herrera de León.  
ASESOR

cc: Archivo.

Guatemala, 26 de Mayo de 1987.

Señores Miembros  
Honorable Junta Directiva,  
Facultad de Agronomía,  
Presente.

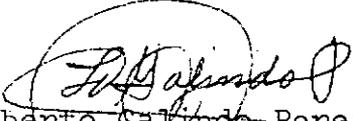
Apreciables Señores:

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

DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIIVIDAD DE LA LLUVIA -  
PARA LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS UBICADAS EN LA ---  
REGION SUR DE GUATEMALA.

Como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

En espera de su sanción favorable, de ustedes atentamente,

  
Filiberto Galindo Pereira.  
Carnet No. 35955.

TESIS QUE DEDICO:

- A MI PATRIA, GUATEMALA
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
- A LA FACULTAD DE AGRONOMIA
- A LOS CAMPESINOS DE GUATEMALA
- A INSTITUTO NORMAL PARA VARONES  
"ANTONIO LARRAZABAL"
- A CIUDAD VIEJA, SACATEPEQUEZ.

ACTO QUE DEDICO:

A DIOS, RECTOR DEL UNIVERSO.

A MIS PADRES:

VALENTIN GALINDO LARRAÑAGA (Q.E.P.D.)  
MARIA AGAPITA P. Vda. DE GALINDO.

A MIS HERMANOS:

MARIA EVELIA, MARIA ANA, FELIX, FELIPE,  
JOSE PEDRO, JULIA, AGUSTIN, JUAN JOSE,  
MARIA DOLORES, AURA EUFEMIA, FLAVIO Y  
CLEMENCIA.

A MI ESPOSA E HIJOS:

ANTONIETA CORONADO DE GALINDO,  
RUDY NELSO,  
JULIA MARIA,  
MARIELA IRASEMA,  
FILIBERTO,  
EDDY FERNANDO.

## AGRADECIMIENTOS

A los Ingenieros Agrónomos: José Jesús Chonay P. y Maxdelio Herrera, asesores, quienes con sus valiosas sugerencias, observaciones y orientaciones científicas contribuyeron grandemente para la realización del presente trabajo.

Al Ingeniero Eléctrico Juan José Galindo Pereira, por su valiosa ayuda en la elaboración de la presente tesis.

Al Departamento de Climatología del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Metereología e Hidrología, sección que proporcionó el material básico necesario para ejecución del mismo.

A mis compañeros de promoción que de una u otra forma pusieron su granito de arena para el mismo fin.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página:
INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	ii
INDICE DE ANEXOS	iii
RESUMEN	iv
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVO	4
III. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
A. Conceptos de erosión.	5
Tipos de erosión.	5
1. Erosión geológica.	5
2. Erosión inducida.	6
B. Factores de la erosión	6
C. Mecánica del proceso erosivo.	8
1. Etapas.	8
2. Daños causados en tierras agrícolas por la erosión del suelo.	8
3. Sedimentación.	9
4. Control de la erosión causada por el agua.	9
5. Determinación de la cantidad de escurrimiento de un área de drenaje.	10
6. Tolerancia de la pérdida de suelo.	10
7. Factor lluvia (R).	13
8. Cuantificación de las pérdidas por erosión.	18

	Página:
8.1 Métodos directos.	18
8.2 Métodos indirectos.	19
La Ecuación para predecir las pérdidas de suelo.	21
9. Indices de erosividad.	25
10. Aplicaciones de los índices de erosividad.	30
IV. MATERIALES Y METODOS	
1. Descripción de la Zona Sur de Guatemala.	31
2. Metodología de Wischmeier.	32
V. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	35
VI. CONCLUSIONES.	45
VII. RECOMENDACIONES.	46
VIII. BIBLIOGRAFIA.	47
IX. ANEXO.	50

## INDICE DE CUADROS

	Página
1. Clasificación de los suelos por tipo de erosión.	7
2. Cantidad de sedimentos transportados por varios ríos presa Washington Mills en - Fries, Virginia en Ton (año) <sup>-1</sup>	9
3. Pérdida de suelo por erosión hídrica en toneladas por acre por año y porcentaje de precipitación en diferentes cultivos o sistemas de cultivos.	12
4. Ubicación de las estaciones pluviográficas, A y B, Zona Sur de Guatemala.	31
5. Estaciones pluviográficas analizadas, - índice de erosividad, Región Sur de Guatemala.	35
6. Distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia, Estación Tiquisate, años 1973-1985 expresado en Mj.mm(ha.hr) <sup>-1</sup> .	38
7. Distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia, Estación Sábana Grande, años 1969 a 1985 expresado en Mj.mm(ha.hr) <sup>-1</sup> .	39
8. Distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia, Estación El Chupadero, años 1974 a 1985 expresado en Mj.mm(ha.hr) <sup>-1</sup> .	40
9. Distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia, Estación Comantulul, años 1971-1978, expresado en Mj. mm(ha.hr) <sup>-1</sup> .	41

10. Distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia, Estación Los Esclavos, años 1969 a 1985, expresado en  $Mj.mm(ha.hr)^{-1}$ . 42
  
11. Distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia, Estación San José, años 1955-1985, expresado en  $Mj.mm(ha.hr)^{-1}$ . 44

## INDICE DE FIGURAS

	Página
1. Localización de los departamentos de la Zona Sur de Guatemala.	34
2. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, Estación Tiquisate.	38
3. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, Estación Sábana Grande.	39
4. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, Estación El Chupadero	40
5. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, Estación Comantulul.	41
6. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, Estación Los Esclavos.	42
7. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, Estación San José.	44

## INDICE DE ANEXOS

	Página
1. Índice de erosividad de la lluvia anual de las estaciones pluviográficas de la Zona Sur de Guatemala, expresado en $Mj.mm(ha.hr.año)^{-1}$ .	51
2. Lluvia registrada el 1 de mayo de 1973, Estación Tiquisate, Escuintla.	52
3. Procedimiento para calcular el Factor R ó índice de erosividad en el pluviograma del anexo 2.	53
4. Cálculo directo, sin usar la fórmula $e = 0.119 + 0.0873 \log_{10} x$ , la energía de la lluvia en $Mj(ha)^{-1}$ .	55
5. Mapa del índice de erosividad de la lluvia, Factor "R" de la Zona Sur de Guatemala.	56

## R E S U M E N

El presente estudio fue planteado en función de la -- obtención del Factor "R", Índice de erosividad de la Ecua-- ción Universal de predicción de pérdida de suelo para las estaciones pluviográficas tipo A y B ubicadas en la región sur: Escuintla y Santa Rosa. Para lograr dicho objetivo, se siguió la metodología propuesta por Wishmeier, utili-- zando registros diarios de lluvia. Se escogieron aque--- llos aguaceros considerados como erosivos, los cuales de-- bían de ser mayores de 13 mm separados por intervalos de 6 horas y menores o iguales a 6 mm separados por interva-- los no menores de 15 minutos entre dos eventos de lluvia. El trabajo de gabinete se realizó en el Instituto de Sis-- mología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVU-- MEH. De las seis estaciones trabajadas: San José, Sábana Grande, El Chupadero, Comantulul, Tiquisate y Los Escla-- vos, las que mayor índice de erosividad registraron fue-- ron: Sábana Grande y Comantulul con  $29078.39 \text{ Mj.mm(ha.h. año)}^{-1}$  y  $26073.98 \text{ Mj.mm(ha.h.año)}^{-1}$  respectivamente. El mayor promedio mensual de índice de erosividad, para esta estación, corresponde al período comprendido de junio a - septiembre. Con los datos obtenidos de las seis estaciones, se elaboraron curvas de distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia para cada una de ellas. Estas curvas sirven para determinar en qué lapso de tiem-- po, la curva presenta mayor pendiente que corresponde al-- tiempo cuando hay más peligro de erosión. En base a la - interpretación de las curvas, puede orientar qué tipo -- de cultivo implantar para contrarrestar el efecto que la lluvia puede causar cuando no hay cubierta vegetal ade--

cuada. En conclusión, de las seis estaciones investigadas, cuatro presentan mayor peligro de erosión en el período de mayo a octubre, una en el período de junio a -- octubre y la última en el período de junio a septiembre.

## I. INTRODUCCION

El suelo es la capa en donde las plantas desarrollan su sistema radicular proporcionándole los nutrientes necesarios y el sostén para su crecimiento. Por tal razón, se hace necesario conservarlo a fin de mantener niveles aceptables de producción.

En Guatemala existe una estructura agraria en la que el 75% de suelos fértiles pertenecen a los terratenientes, mientras otras tierras aptas para los cultivos y de vocación forestal son utilizadas por nuestros campesinos para levantar sus escasas cosechas y de mala calidad, en la mayoría de veces, debido a prácticas rudimentarias fuera de toda técnica que realizan.

En función de lo anterior, la agricultura que practica el campesinado guatemalteco es de subsistencia, en consecuencia, se ve obligado a someter a fuerte presión de uso al suelo, no preocupándose de hacer ningún tipo de conservación al mismo y si a esto agregamos, la acción destructiva que causa la lluvia si no se tiene una cubierta vegetal adecuada, nos daremos cuenta que el problema es bastante serio ya que irá sufriendo un deterioro paulatino si no se toma ningún tipo de acción.

Uno de los problemas que se presentan en los suelos, es la erosión, en ésta intervienen varios factores: uso inadecuado del mismo, cubierta vegetal inapropiada, pendiente, intensidad de la lluvia, etc. La lluvia como factor activo de la erosión, ocasiona el escurrimiento superficial, cuando el suelo se encuentra saturado y ya no tiene capacidad para la infiltración.

En nuestro país, en la época lluviosa, precipita un volumen de agua de 268.322 millones de metros cúbicos -- promedio, de éstos escurren al mar 201,014 millones de metros cúbicos que equivale al 75% del total (6). Provocando el arrastre de grandes cantidades de sedimentos. Como ejemplo se menciona que en la cuenca del Río Villalobos en 1,976 el transporte de sedimentos finos en suspensión fue de 69,336 Ton(año)<sup>-1</sup> y en el año de 1,983 el transporte fue de 372,000 Ton(año)<sup>-1</sup>. Se concluye que la erosión es un factor crítico (4,18) por cuanto, según estudios, para formar 25 mm de suelo, se necesitan aproximadamente 25 años.

Como consecuencia de lo anterior, es necesario tener información básica sobre la erosión hídrica para establecer un programa para el control de la pérdida de suelo y hacer un uso racional de este recurso.

Existen varios modelos para la predicción de pérdida de suelo, entre ellos se encuentra la Ecuación Universal de predicción de pérdida de suelo. La misma en si, considera la longitud y porcentaje de la pendiente, cubierta vegetal y prácticas mecánicas y vegetativas de conservación.

Actualmente, Guatemala no cuenta con información sobre el factor R, Índice de Erosividad de la lluvia de la Ecuación Universal de la pérdida de suelo, siendo indispensable para conocer el potencial erosivo de la misma en regiones específicas.

La Universidad de San Carlos, a través de la Facultad de Agronomía, consciente de su papel histórico que le toca jugar en el desarrollo del país, se ha dado a la tarea de investigar a nivel nacional lo relacionado al Factor

R. A la fecha, ya han sido publicados dos trabajos como Tesis de Grado.

Para poder elaborar el mapa de isolíneas del Factor R a nivel nacional, se trabajan actualmente las cinco - regiones geográficas en que se divide Guatemala: norte, sur, oriente, occidente y centro. Al concluir estas investigaciones, se contará con una herramienta valiosa - para los conservacionistas del suelo así como para toda persona que tenga que ver con ese valioso recurso.

Finalmente, en la presente investigación, se trabajó en función de la obtención del objetivo planteado: - Determinar el Índice de Erosividad de la lluvia, de la Ecuación Universal de predicción de la Pérdida de Suelo para las estaciones pluviográficas ubicadas en los departamentos de Escuintla y Santa Rosa, esperando que - sea un aporte para el desarrollo agrícola del país.

## II. OBJETIVO

Determinar el Índice de Erosividad de la lluvia, de la Ecuación Universal de predicción de la Pérdida de Suelo para las estaciones pluviográficas ubicadas en los departamentos de Escuintla y Santa Rosa.

PROPIEDAD DE LA COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DEL INSTITUTO VECINAL DE CARLOS DE GUAYMAS  
Escuela Central

### III. REVISION BIBLIOGRAFICA

#### A. CONCEPTOS DE EROSION:

Es un proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes erosivos, en especial, la lluvia y el viento.

Consiste en la cantidad de suelo retirada por la acción de las gotas de lluvia y por escurrentía (1,19).

Además se puede indicar que ocurre cuando el escurrimiento es mayor que la cantidad de lluvia y en áreas de bajo poder de infiltración (19).

Tipos de Erosión:

##### 1. Erosión geológica:

La erosión que se presenta en forma natural, cuando no interviene el hombre sobre la superficie de la tierra, se llama geológica o natural. Cuando los bosques se tapan o las praderas se abren al cultivo, se acelera el proceso u ocurre la erosión artificial, a este tipo se le llama erosión acelerada. La geológica es lenta y la formación del suelo se mantiene en equilibrio. La erosión del suelo es rápida cuando los factores ambientales la favorecen, como ejemplo, se puede citar que en la Región de Stanville, Carolina del Norte, tierras sembradas con algodón en años consecutivos, sufren pérdida anual de 31 toneladas de suelo por acre al año  $12.55 \text{ Ton.}(\text{ha})^{-1}$ . La erosión geológica transporta a niveles bajos, cantidades muy grandes de material del suelo. Los geólogos estiman que, los Montes Apalaches tienen la mitad de su altura original (11).

2. Erosión inducida:

Es la provocada por el hombre (19).

B. FACTORES DE LA EROSION:

1. Los que determinan la velocidad de penetración de la lluvia al suelo.
2. Los que afectan la dispersión durante la lluvia y escurrimiento.
3. La diversidad de cursos de desagües naturales hechos por carreteras y vías férreas en terraplenes y tierras fangosas.
4. Económicos, sistemas de cultivos empleados, deudas, tamaño de las granjas y las relaciones de producción, forzándose a usar la tierra en forma inadecuada, trayendo con ello, graves consecuencias.
5. Temperatura, energía solar y el viento (2,3,16).

El grado de erosión sufrida por el suelo cuando es dejado descubierto o bajo la cosecha, es modificado significativamente por la temperatura. En latitudes meridionales donde la precipitación del invierno es casi exclusivamente en forma de lluvia y el suelo helado, la oportunidad para la erosión es más grande que donde la nieve en período de invierno y el suelo se quede helado por varios meses cada año (2).

Cuando el suelo se erosiona por causa del agua o por el viento, se pierden nutrientes para las plantas y suelo. El que aún queda por cultivar, tiene importancia para la determinación de las prácticas que habrá que hacer para conservarlo.

CUADRO 1. Clasificación de los suelos por el tipo de erosión.

Sin erosión evidente.	Erosión moderada	Erosión intensa.	Erosión muy intensa.	Formación de cárcavas.
Conserva la capa superficial original.	Los primeros 15 a 17.5 cm., quedan descubiertos como manchones, parte del subsuelo.	Los primeros 15 a 17.5 cm. son mezcla de suelo vegetal y subsuelo, se ven manchones de subsuelo desnudo.	Casi ha desaparecido la capa superficial, los primeros 15 a 17.5 cm., son de subsuelo.	La capa superficial ha desaparecido.

Fuente: Foth H.D. Fundamentos de la Ciencia del Suelo.

El conocimiento de esta clasificación (Cuadro 1) es esencial para el uso y las medidas para su conservación.

C. Mecánica del proceso erosivo:

1. Etapas

1.1 Desprendimiento: consiste en que las partículas primarias del suelo se desprenden por el impacto de las gotas de lluvia que provoca la salpicadura del suelo. Ocurre mayor desprendimiento en suelos sin cubierta vegetal. En suelos con textura arenosa, el desprendimiento es mayor que en los de textura arcillosa.

1.2 Arrastre o transporte: éste ocurre después del desprendimiento y es provocado por el escurrimiento superficial del agua de lluvia que no logra infiltrarse.

1.3 Deposición: se presenta cuando la velocidad del arrastre del agua ya no es suficiente y las partículas del material erosivo sufren sedimentación (20).

2. Daños causados en tierras agrícolas por la erosión del suelo:

En los Estados Unidos, se ha calculado, a través de métodos, que la erosión ha dañado suelos agrícolas, alrededor de 282 millones de acres ( $1.14 \times 10^8$  has) y menos severo, cerca de 750 mil millones de acres ( $3.04 \times 10^{11}$  has).

De los suelos utilizados para producción agrícola, se estima que cerca de 50 millones de acres ( $2 \times 10^{11}$  has) es inutilizado por la erosión y una cantidad semejante está cerca de esa condición. Unos 10 millones de

acres ( $4 \times 10^6$  has) se están cultivando aunque ya han perdido la mitad o más de su superficie y en otra cantidad semejante, la erosión está llevando a cabo su incómodo trabajo destructivo.

3. Sedimentación:

La cantidad de sedimentos transportados por las diversas corrientes, es enorme. Esto se muestra en las estimaciones hechas por el U.S. Geological Survey. Cuando se construyen presas para almacenar agua de los ríos que llevan grandes cantidades de sedimentos, sufren azolvamiento y pierden su poder de almacenamiento (11).

CUADRO 2. Cantidad de sedimentos transportados por varios ríos, presa Washington Mills en Fries, Virginia en  $\text{Ton(año)}^{-1}$ .

Río	$\text{Ton(año)}^{-1}$	Río	$\text{Ton(año)}^{-1}$
Hudson	240,000	Savannah	1,000,000
Susquehanna	240,000	Tennessee	11,000,000
Roanoke	3,000,000	Missouri	176,000,000
Alabama	3,039,000		

Fuente: Foth H.D. Fundamentos de la Ciencia del Suelo, 1,978.

4. Control de la erosión causada por el agua:

Los principios para reducir la erosión causada por el agua son:

- 4.1 Proteger la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia.
  - 4.2 Evitar la concentración del agua y su escurrimiento hacia abajo en un conducto estrecho.
  - 4.3 Obstaculizar el movimiento de agua para que escurra por abajo lentamente.
  - 4.4 Favorecer la entrada del agua en el suelo (11).
5. Determinación de la cantidad de escurrimiento de un área de drenaje:
- Esta dependerá de factores relacionados con el área, como: intensidad, duración por su efecto directo en el escurrimiento y volumen.
- Si el área posee pendiente fuerte, cubierta vegetal pobre y suelo impermeable, se producirá un escurrimiento mayor en comparación con un terreno de pendiente moderada, cubierta vegetal y permeable. Factores como: -- pendiente, capacidad del suelo para absorber agua, cubierta vegetal y cantidad de agua almacenada en la superficie y la cantidad de precipitación pluvial, son datos para el cálculo del escurrimiento (6,9).
6. Tolerancia de la pérdida de suelo:
- Es la cantidad de suelo expresada en toneladas por unidad de superficie que un suelo pierde; pero que conserva su utilidad productiva. Puede variar de 2 a 12.5 toneladas por hectárea al año y depende del espesor y propiedades físicas del mismo.
- Una pérdida de 12.5 toneladas por hectárea al año es tolerable en suelos de espesor grande, permeables y -- bien drenados. Pérdidas de 2 a 4 toneladas de suelo -- por hectárea, se pueden consentir en suelos con sub---

suelos desfavorables (8).

La tolerancia de la pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo que permita que se sostenga un alto nivel de productividad.

Por lo general, los suelos de textura media, profundos, moderadamente permeables y con características de subsuelo favorables para el crecimiento de las plantas, se les asigna una tolerancia de 1.1 Kg por  $m^2$  por año. A otros, con características inferiores, tolerancias bajas.

La tolerancia de la pérdida de suelo, se utiliza como una guía de planificación en la conservación de suelos (1).

Mientras Hudson en 1971, estima que la formación de 25 mm ocurre en 30 años, que equivalen aproximadamente a 1.8 toneladas por hectárea al año considerada como la máxima que puede erosionarse.

Entre los aspectos a tomarse en cuenta al señalar los límites para un suelo en particular, tenemos: se debe mantener una profundidad adecuada para una buena producción, las pérdidas de suelo deben estar por debajo de las que causan canales o cárcavas. La pérdida de suelo no debe causar azolves, zanjas de drenaje, canales, drenes de caminos, etc., a través de la disminución, aumentar la disponibilidad de agua útil para la planta y mantener la pérdida de suelo a niveles inferiores al punto en que la erosión comienza a producir daños a la planta originando rendimientos bajos (16).

CUADRO 3. Pérdida de suelo por erosión hídrica en toneladas por acre por año y porcentaje de precipitación en diferentes cultivos o sistemas de cultivos.

	Arado, 8 pulgadas sin cul- tivo.	Cubierta pasto azul.	Trigo ca da año.	Rotación más tri- go y tré- bol.	Maíz cada año.
Toneladas de suelo.		0.34	10.10	2.78	19.72
Número de años para erosionar 7 pulgadas de suelo.	24.00	3043.00	100.00	368.00	50.00
Porcentaje de escurrimiento superficial.	30.30	12.00	23.30	13.80	29.30
Libras de sue- lo perdidas por cada pulgada de agua escurrida	6734.00	142.00	2149.00	993.00	3314.00

Fuente: Foth H.D. Fundamentos de la Ciencia del Suelo.

## 7. Factor Lluvia (R):

El factor R es una definición de la erosividad como resultado de la precipitación pluvial, se define como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa, la energía cinética y la intensidad máxima en 30 minutos (15).

Se le considera como un índice numérico que expresa la capacidad que tiene la lluvia de erosionar un suelo sin protección. La lluvia puede ser medida a través de los pluviógrafos o pluviómetros situados en las estaciones metereológicas en centímetros o pulgadas. La cantidad de cm es equivalente a litros.

La erosión causada por la lluvia fue hallada del análisis, cuando los factores permanecen constantes, excepto la lluvia. Las pérdidas de suelo ocasionadas por la lluvia, son directamente proporcionales al producto de la energía cinética total.

### 7.1 Intensidad y duración de la lluvia:

Una lluvia muy intensa pero de corta duración, puede causar un gran escurrimiento porque la cantidad de lluvia excederá a la capacidad de infiltración. (19) Las lluvias de alta intensidad se presentan en períodos cortos y desarrollan una mayor erosión por su alta capacidad (22).

### 7.2 Característica física de la lluvia en relación a la erosión provocada:

- a) Cantidad de lluvia: la medida del volumen de agua precipitada en la superficie de la tierra.
- b) Intensidad de la lluvia: es la tasa de cambio de una cantidad de lluvia en un intervalo de tiempo, expresada en  $\text{cm ó mm (hr)}^{-1}$ .

- c) El tamaño de las gotas de lluvia: son medidas a través del diámetro de las mismas, es importante porque influye en la velocidad final.
- d) La distribución del tamaño de gotas: las lluvias están compuestas por gotas de todos tamaños que varían con las diferentes lluvias, el índice de distribución de tamaños está en función de la mediana del diámetro de las mismas.
- e) La velocidad final de las gotas de lluvia: está basada en la "Caída Libre de los Cuerpos". La velocidad máxima de los cuerpos está basada en el equilibrio entre la gravedad y la resistencia por la fricción del aire que depende del tamaño y forma del cuerpo (Hudson 1971) (17).

Las investigaciones más completas sobre la pérdida de -- suelo en relación con las características de la lluvia -- son las de Wischmeir y sus colaboradores (Wischmeir, -- Smith y Uhland, 1958; Wischmeir y Smith 1958; Wischmeir 1959). Los resultados de estas investigaciones demostraron buena correlación entre la cantidad de lluvia o la intensidad máxima en períodos cortos y las pérdidas de -- suelo; pero la energía de la lluvia dió alta correlación. La mejor se tuvo entre las pérdidas de suelo y el producto de la energía cinética durante la tormenta, multiplicada por la intensidad máxima en 30 minutos. Este producto fue denominado Índice de Erosión IE, significa que el potencial de erosión de una tormenta, está en función de la cantidad de lluvia, de la velocidad de las gotas y de la máxima intensidad sostenida. Representa los efectos totales de la energía de impacto de las gotas de lluvia y de la turbulencia del escurrimiento. Existe un alto grado de correlación entre las pérdidas del suelo y el

índice de erosión.

Si la intensidad de la precipitación excede a la filtración cuando el suelo está flojo y friable, las pérdidas del suelo son altas, no hay ligamiento entre gránulos y el suelo se erosiona hasta la base de la capa aflojada - (3).

7.3 Impacto de las gotas de lluvia y desprendimiento: - Salpicadura, las investigaciones de Ellison (1944-1946) condujeron a decir que una considerable cantidad de suelo era erosionada por simple proceso de salpicadura que rompe los agregados del mismo. Ellison propuso la ecuación siguiente para expresar la erosión por salpicadura:  $E = K.V.D.I.$

Donde:

E = cantidad relativa de suelo salpicada en 30 minutos.-

K = constante del suelo.

D = diámetro de la gota en mm.

V = velocidad de la gota de agua por segundo.

I = intensidad de la precipitación en pulgadas  $(hr)^{-1}$ . -

Ellison observó que la distancia máxima de salpicadura de una gota de 5.9 mm de diámetro es de 60 pulgadas --- (152.4 cm), la altura alcanzada era de 15 pulgadas (38.1 cm). Para Mihara (1952) una gota de 6 mm de diámetro salpicaba a una distancia de 17 pulgadas (43.18 cm) y a una altura de 12 pulgadas (30.48 cm) en suelo compacto. Una vez que el suelo ha sido desprendido por el impacto de las gotas de lluvia, la erosión laminar se da. Ellison - en 1945, estudió el efecto combinado dispersiva de las gotas de lluvia y del flujo superficial en el movimiento -- del suelo durante una tormenta y encontró que el flujo de la superficie en una parcela de suelo a una velocidad de

20 pulgadas  $(hr)^{-1}$  ( $50.8 \text{ cm}(hr)^{-1}$ ) sin acción de la lluvia, desprendía considerable cantidad de suelo en pocos minutos (3).

Las interacciones del tamaño, velocidad y forma de las gotas de lluvia, duración de la tormenta y la velocidad del viento, controlan la fuerza erosiva de la precipitación pluvial a medida que las gotas de lluvia aumentan, el tamaño de su velocidad también aumenta (15).

El impacto de las gotas de lluvia sobre un suelo sin protección es una fuerza destructiva. La energía cinética de una gota de lluvia es proporcional al producto de su masa y al cuadrado de su velocidad. Existen datos que indican que la velocidad de la lluvia al caer, tiene una magnitud de 20 millas  $(hr)^{-1}$  ( $32 \text{ Km}(hr)^{-1}$ ) y que una lluvia de dos pulgadas  $(acre)^{-1}$  ( $72.54 \text{ cm}(ha)^{-1}$ ) puede tener 6 millones de libras-pie de energía cinética. Esta energía es suficiente para levantar una capa de 7 pulgadas ( $17.78 \text{ cm}$ ) de suelo a 3 pies ( $90 \text{ cm}$ ). Las diferencias en las características de los suelos causan grandes variaciones en la cantidad de suelo desalojado por el impacto de la lluvia. El impacto de las gotas aceleran la desintegración de gránulos y terrones al humedecerlos, los separan en partículas más finas y las lanzan al aire, lo que conduce a que se acumulen en la superficie y se vuelva el suelo impermeable. En consecuencia, un alto porcentaje de aguas de lluvia fuerte escurrirán sobre la superficie del suelo en terrenos inclinados, viéndose más en suelos con alto porcentaje de arcilla coloidal. En terrenos planos, el desplazamiento de las partículas alcanzan hasta  $61 \text{ cm}$  y distancias laterales de  $152 \text{ cm}$ . La cantidad de suelo salpicada por las gotas de lluvia -

es de 50 a 90 veces mayor que la cantidad de suelo arratrada por el flujo superficial (Smith DD y Wischmeier) - (12).

En suelos desnudos, las lluvias fuertes e intensas, salpican más o menos 25 toneladas de suelo por ha.

Neal y Baver en 1937, estudiaron el efecto de la caída de la lluvia, determinaron que el impacto de las gotas de la misma, por unidad de área era determinado por el tamaño y número de gotas, mas algún aumento de velocidad por fuerza del viento (3).

Laws y Parsons en 1943, relacionaron la distribución del tamaño de las gotas de lluvia con la intensidad de la precipitación y expresaron la relación a través de la ecuación:

$$D_{50} = 2.23I^{0.182}$$

En donde:

$D_{50}$  = tamaño medio de la gota de lluvia que representa el punto medio del volumen total.

$I$  = intensidad media en pulgadas (hora)<sup>-1</sup> (25.4 mm --- (hr)<sup>-1</sup>).

Esta ecuación muestra que el tamaño de la gota aumenta con la intensidad. Encontraron que las velocidades finales de las gotas de agua de lluvia de 1-6 mm de diámetro eran de 4-9.3 m(seg)<sup>-1</sup> respectivamente.

Ellison en 1944, observó la erosión del suelo bajo la acción de las gotas de lluvia a través de discos metálicos y de lluvia artificial, concluyó que la cantidad relativa de suelo desprendido de la superficie, era en función del tamaño y la velocidad de las gotas de lluvia, así como su intensidad. El potencial de erosión de una masa -

pluvial para una velocidad y un tiempo dados, era función de la masa de la gota por sección transversal de la misma y del cuadrado de la velocidad de ella. La energía cinética de la gota que cae, determina la fuerza del impacto y la superficie horizontal regula la cantidad de suelo que lo recibe.

El peso muerto del agua que se precipita durante una tormenta ordinaria en el medio oeste, durante 30 minutos, puede exceder de 100 toneladas (acre)<sup>-1</sup> ó 224 ton(ha)<sup>-1</sup> (Wischmeier y Smith 1958). Ellison también observó que la distancia máxima de salpicadura de una gota de 5.9 mm de diámetro era de 60 pulgadas (152.4 cm), altura alcanzan de 15 pulgadas (38.10 cm).

#### 7.4 Diámetro de las gotas de lluvia:

Cuando el diámetro de las gotas de lluvia es menor que 2.5 mm de acuerdo a la velocidad e intensidad, las lluvias son ligeras; cuando el diámetro está entre 2.5 a 7.5 mm, la lluvia es mediana y cuando el diámetro es mayor de 7.5, la lluvia es intensa (16).

#### 8. Cuantificación de las pérdidas por erosión:

8.1 Métodos Directos: La erosión del suelo se mide volumétricamente y dinámicamente en puntos cuidadosamente seleccionados y representativos, o bien, en estaciones de medición. En mediciones directas, la cantidad medida está relacionada directamente a una escala. Así pues, la cantidad de ablación anual puede medirse con estacas de erosión y expresarse en metros. Este es un registro pluviométrico directo. El registro dinámico directo sería la determinación de la erosión por escurrentía en una pendiente al capturar el agua y el sedimento en colecto-

res, siendo expresado el resultado en gramos y litros. - La medición consiste en medir el efecto de una cantidad desconocida y a partir de este efecto medido, calcular - la cantidad de la misma. De esta manera, Laws en 1941, - midió fotográficamente la velocidad terminal de las go-- tas de lluvia y Hudson en 1963, midió su diámetro por el llamado método de las píldoras de harina, pesando las -- píldoras para determinar el diámetro de las gotas de llu via.

Las mediciones pueden aplicarse al efecto de la erosión - total, o bien, al estudio de un aspecto de la erosión de suelos, tal como la medición de los factores elementales de la erosión. Un ejemplo es cuando la erosión en pen-- diente se determina mediante un registro dinámico direc-- to con colectores. Deben medirse, primero, la longitud- y el grado de la pendiente de la parcela de prueba ---- (1,15).

8.2 Métodos indirectos: ésta puede utilizarse para la- determinación de valores significativos que se conside-- ran representativos del fenómeno de la erosión. Así -- pués, el índice de plasticidad de los tipos de suelo es-- pecíficos, se mide a fin de precisar el grado en que es-- te índice representa la erodabilidad. Ejemplo al deter-- minar la susceptibilidad de ciertos tipos de suelo a los deslizamientos de tierra (1).

Las técnicas de predicción de pérdida del suelo, se ha - venido desarrollando a lo largo de muchos años como re-- sultado de la creciente comprensión del proceso de la -- erosión, se llevó a cabo una investigación cada vez ma-- yor de la misma. Los primeros cálculos eran, sobre todo, de naturaleza cualitativa e ilustraban de una forma con-

veniente que algunas prácticas de cultivo diferían en -- cuanto a su capacidad para controlar la erosión de los -- suelos. Inicialmente se desarrollaron ecuaciones para -- describir las pérdidas de suelo mediante una variable in dependiente única. Esta ecuación de factor único, era -- para situaciones locales donde otros factores contribu-- yentes eran casi constantes.

El primer estudio de los efectos de la erosión se reali-- zó a fines del siglo XIX (Hudson 1971). Los estudios -- cualitativos en América los inició el Servicio Forestal-- en 1915. En 1917, M.F. Miller inició el estudio sobre -- el efecto de los cultivos en parcelas y rotaciones, so-- bre escurrimiento y erosión. Los peligros de la erosión en los años 20 y 30 fueron considerados de manera espe-- cial y de allí que hayan dado como resultado una mayor -- investigación científica sobre la erosión. Estos estu-- dios fueron cualitativos. Sin embargo, durante este pe-- ríodo (Ayres 1936) se obtuvo una noción elemental de los factores que afectan la erosión. La importancia del im-- pacto de las gotas de lluvia en el proceso de la erosión no se apreció plenamente hasta que se publicaron los es-- tudios de Laws en 1940, sobre precipitación plucial natu-- ral y el análisis de la acción mecánica de las gotas de-- lluvia por Ellison en 1947.

La primera ecuación empírica para la predicción de la -- erosión del suelo, relacionaba la pérdida de suelo con el grado de inclinación y con la longitud de la pendiente -- (Zingg 1940). Zingg demostró por medio de parcelas en -- condiciones simuladas de campo y de precipitación plu-- vial, que al duplicar el grado de pendiente, aumentaba -- la pérdida de suelo de 2.61 a 2.80 veces y al duplicar --

la longitud horizontal de la pendiente, aumentaba la pérdida de suelo por escurrimiento en 3.03 veces (1).

En los Estados Unidos, desde hace muchos años, han usado ecuaciones empíricas para el cálculo de pérdida de suelo, éstas se han convertido en instrumentos valiosos para el cálculo de pérdidas medias anuales de suelo. Se tienen ecuaciones de energía cinética de las tormentas, de índices de erosión, de efectos de pendientes y se ha resaltado la importancia de la humedad del suelo y las condiciones de la superficie del mismo en su influencia sobre la infiltración, escurrimiento o erosión (8).

Wischmeier, Smith y Uhland en 1958, determinaron la im--portancia de la humedad del suelo en pérdidas por ero---sión, propusieron que las variables fueran incluidas en las ecuaciones de predicción de pérdida de suelo. De esta manera, se propuso el "Índice de Precipitación Ante--cedente" para caracterizar el estado de humedad del sue--lo al tiempo de la caída de los 30 días anteriores --- (3,1 ).

La Ecuación para predecir las Pérdidas del Suelo:

Este es un método de cálculo indirecto. Se inició en --1940 con Zingg (Wischmeier y Smith en 1958) citado por - (1). Fue hasta 1962 con los trabajos de Wischmeier y colaboradores que hicieron posible la elaboración de la --Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y --Smith 1965) citado por (1). Esta ecuación tiene amplias aplicaciones; pero tiene restricciones de tipo geográfi--co y climático.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo fue diseñada --como una herramienta de trabajo para conservacionistas, --técnicos y programadores. (Wischmeier 1977) citado por-

(1). Las aplicaciones para las que la ecuación fue diseñada y probada son: predicción de pérdida de suelo, -- evaluación y selección de prácticas de conservación y para la estimación de las longitudes máximas permisibles -- de las pendientes para un sistema de cultivo dado.

Dicha ecuación, se utiliza para estimar la pérdida de -- suelo y para evaluar cómo las prácticas pueden reducir -- la pérdida de suelo por debajo del nivel de tolerancia -- (1).

Wischmeier y Smith en 1958, elaboraron la siguiente ecuación:

$$Y_c = b_0 + b_1 x_e + b_2 x_l + b_3 x_p + b_4 x_c$$

En donde:

$Y_c$  = pérdida calculada de suelo.

$x_e$  = energía cinética de la tormenta.

$x_l$  = índice de erosión.

$x_c$  = energía acumulada de la lluvia desde la última operación de cultivo.

$x_p$  = índice de precipitación antecedente.

$b_0, b_1, \dots, b_n$  = constantes que dependen del suelo y de -- la situación de la pendiente (3).

Los investigadores de la Soil and Water Conservation --- Roseach Division y los de Agricultural Roseach Service -- de la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos, -- implementaron las ecuaciones empíricas a través del em--- pleo de datos experimentales obtenidas de unas 8,000 parcelas. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, fue di señada para predecir la erosión laminar, pérdida promedio

anual procedente de la erosión de interarroyuelos y arroyuelos, al poder disponer de los valores de los parámetros, las alternativas, cultivos y de manejo. La erosión tiene que distinguirse del aforo de sedimentos de campo ya que la ecuación no explica la deposición de suelo en depresiones dentro del campo (1,15).

Los factores de la ecuación se desarrollaron mediante una parcela estandar de longitud de 22.13 metros con una pendiente uniforme de 9% en sentido longitudinal.

Según Wischmeier 1976, la ecuación puede utilizarse para: predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo en condiciones específicas para uso de la tierra; servir como guía en la selección de sistemas de cultivos y manejo de prácticas de conservación para suelos y pendientes específicas; predecir el cambio en la pérdida de suelo que resultará de un cambio en las cosechas de conservación de un campo específico; determinar cómo pueden aplicarse o alternarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intensivo; estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso adecuado distinto del agrícola y obtener estimaciones de pérdida de suelo para que la conservación sea determinada como una necesidad por los conservacionistas (1).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, involucra varios factores:

$$A = R K L S C P$$

Donde:

A = pérdida media de suelo en toneladas (acre)<sup>-1</sup> (2.47 ton(ha)<sup>-1</sup>)

R = factor erosividad de la lluvia en Mj.mm(ha hr)<sup>-1</sup>

K = factor erodabilidad del suelo que es la pérdida media de suelo en  $\text{ton(acre)}^{-1}$  ( $2.47 \text{ ton(ha)}^{-1}$ ) por unidad de índice de erosión.

L y S = factores de longitud y porcentaje de la pendiente. Adimensionales.

C = factor manejo de suelo. Adimensional.

P = factor prácticas mecánicas de control de la erosión. Adimensional.

Como uno de los factores de la ecuación, se menciona el índice del "uso y manejo del suelo" que involucra al índice potencial de erosión por el grado de desprotección de los grupos de cultivos. El índice potencial de erosión, es calculado en base a los factores "activo" y "pasivo", así:

$$\text{IPE} = A \times S$$

Donde:

A = agresividad de la lluvia.

S = susceptibilidad del suelo a la erosión.

El factor activo es la agresividad de la lluvia o sea la erosividad, que es determinada por el índice de erosividad, como el de Wischmeier.

El factor pasivo es la erodabilidad, denominada susceptibilidad del suelo a la erosión, se basa en las condiciones físicas y químicas del suelo (Hudson 1971). Las categorías obtenidas son: muy resistente, medianamente resistente, susceptible y muy susceptible (17).

Se han calculado índices de erosión pluvial con datos pluviométricos comprendidos entre 22 y 25 años. Si se suman todos los valores de lluvias mayores a 12 mm que cayeron en una localidad y la suma se divide por el número de años de registro, obteniéndose de esa manera, un índice

ce medio anual de erosión pluvial. Este se puede usar --  
como factor de lluvia "R" en la Ecuación de Pérdida de --  
Suelo (EUPS) (1).

Con los índices de erosión, se puede elaborar un mapa en  
donde se unan puntos de igual índice de erosión pluvial -  
promedio anual. Esos puntos se unirán con líneas, para -  
valores no situados entre esos puntos, se pueden obtener  
mediante interpolaciones lineales (8).

Ecuación de energía:

$$Y = 916 + 331 \log x$$

En donde:

Y = energía cinética en ton cortas pies x acre-pulgada --  
de lluvia.

x = intensidad de lluvia en pulgadas (hora)<sup>-1</sup>.

Esta ecuación fue obtenida en base a los datos proporcio-  
nados por Wischmeier, Parsons y Smith.

9. Índices de erosividad:

Entre los más importantes figuran:

9.1 EI<sub>30</sub>

Es el producto de la energía cinética total de la lluvia-  
(EC<sub>t</sub>) y la intensidad máxima en 30 minutos (I<sub>30</sub>)

Donde:

EI<sub>30</sub> = índice de erosividad de Wischmeier, expresado en -  
Mj mm(ha.hr.año)<sup>-1</sup>

I<sub>30</sub> = Intensidad máxima en 30 minutos cm(hr)<sup>-1</sup>

La energía cinética total de la lluvia se obtuvo al sumar  
la energía cinética de los segmentos de lluvia con inten-  
sidad diferente, de tal manera que si se tienen segmentos  
con intensidad i, la EC<sub>t</sub> será:

$$EC_t = \sum_{i=1}^n EC_i \times q_i$$

Donde:

$EC_t$  = energía cinética total de la lluvia en joules  $\times 10^3$   $(ha)^{-1}$ .

$EC_i$  = energía cinética del segmento de lluvia con intensidad  $i$ , en joules  $\times 10^3 (ha \times cm)^{-1}$ .

$q_i$  = cantidad de lluvia que ocurrió en la intensidad  $i$  (cm).

$i$  = número de segmentos de lluvia con intensidades diferentes.

La intensidad máxima en 30 minutos es definida como el doble de la mayor cantidad de lluvia que cae en cualquier intervalo de 30 minutos consecutivos.

El  $I_{30}$  fue seleccionado por proceso de eliminación en análisis de regresión exploratorio, utilizando los datos de pérdida de suelo como variable dependiente y 19 variables independientes simultáneamente.

Una lluvia con energía cinética equivalente a otra lluvia pero con menor intensidad máxima, tendrá un valor  $I_{30}$  menor, por lo que, la erosión calculada por la ecuación es menor a pesar que el valor energético es igual. Si la lluvía es de baja intensidad durante mucho tiempo, la infiltración disminuye y permite el escurrimiento y, en este caso, el producto  $EC \times I_{30}$  tiene un valor suficiente para predecir pérdida de suelo. Una lluvia de menor cantidad y menor energía cinética que cae a una intensidad alta, puede producir una pérdida de suelo comparada a la antes-apuntada.

## 9.2 $KI > 1$

De acuerdo a Hudson, el significado de esta expresión, es la energía cinética total de la lluvia que cae a intensidades mayores a  $1 \text{ pulg}(\text{hr})^{-1}$  ( $25.4 \text{ mm}(\text{hr})^{-1}$ ).

El  $KI > 1$  resultó de los estudios de Hudson en 1971 basados en el concepto que hay un valor crítico de intensidad en el cual la lluvia empieza a ser erosiva. Observó que a bajas intensidades, hay poca o no hay erosión, ya que a bajas intensidades, la lluvia está compuesta, principalmente, de gotas pequeñas que caen con poca velocidad por lo tanto, de baja energía. Aún cuando exista erosión por salpicamiento, generalmente, no hay suficiente escurrimiento para el transporte de las partículas salpicadas.

Por experimentos, se llegó a determinar un nivel crítico de intensidad y variación de las tormentas, la mayoría de las lluvias que caen a bajas intensidades, no son erosivas y la erosión es causada por lluvias que caen a intensidades mayores a ese nivel crítico que es de  $1 \text{ pulg}(\text{hr})^{-1}$

ó  $2.54 \text{ cm}(\text{hr})^{-1}$  con un coeficiente de determinación de 0.92. En otra etapa, se introdujo escurrimiento superficial y suelo, los resultados mostraron un coeficiente de determinación de 0.85. En la última etapa, se usó un lote experimental de 27.5 metros x 1.5 m con 5% de pendiente, obteniéndose un coeficiente de correlación de 0.88.

## 9.3 $AI_m$

Es la relación existente entre la intensidad máxima y la cantidad de lluvia en un día.

$$AI_m = \sum_{i=1}^{12} \sum_{i=1}^n (ai_m)$$

Donde:

$AI_m$  = índice de Lal (adimensional).

$a$  = lluvia total (cm).

$i_m$  = intensidad máxima de la lluvia  $\text{cm}(\text{hr})^{-1}$

$n$  = número de lluvias al mes.

Este índice desarrollado por Lal (1977) demostró ser más eficiente que  $EI_{30}$  y  $KE > 1$ . Se determinó que el  $EI_{30}$  es el que se toma, en vista que el  $AI_m$  es una variación de - aquel.

#### 9.4 $R_{am}$

Roose en 1977 publicó una ecuación válida en la república de Alto Volta y Nigeria, se permite estimar el índice R - encontrada por medio de regresión como una función de la cantidad de lluvia e intensidad máxima en 30 minutos:

$$R_{am} = (0.0158 H \times I_{30}) - 1.2$$

Donde:

( $R_{am}$  = Índice de erosividad (adimensional))

$H$  = cantidad de lluvia en milímetros.

$I_{30}$  = intensidad máxima en 30 minutos.

La ecuación anterior y la siguiente:

$R_{am} = 0.577 H - 5.766$  ayudan a predecir erosión laminar- en riachuelos, en áreas de lomeríos, excluyendo -- montañas donde la energía de escurrimiento y la -- lluvia tienen características muy diferentes (15).

9.5 Roose propuso 2 ecuaciones más:

$$M = KR \frac{mv}{m}$$

$$M = Kr \frac{mv^2}{m}$$

Donde:

M = cantidad de movimiento de la lluvia x unidad de área y unidad de tiempo.

K = energía cinética de la lluvia x unidad de área y tiempo.

R = intensidad de la lluvia en pulg(hr)<sup>-1</sup> (2.54 cm(hr)<sup>-1</sup>).

v = velocidad del impacto en metros (hr)<sup>-1</sup>

m = masa de agua caída en Kg.

Concluyó que el desplazamiento dependía más de m -- que de K, pues no representaba la presión ejercida por la precipitación.

La erosión es un proceso físico que requiere energía para realizar un trabajo mecánico o sea, romper agregados, dispersarlos, causar turbulencia en el escurrimiento superficial y transportar las partículas desprendidas (Wischmeier y Smith, 1958) esta energía es obtenida del momento (M) o la energía cinética (EC) de la lluvia.

$$EC = 1/2 m v^2$$

$$M = nv$$

Donde:

EC = energía cinética (ergios o joules)

m = masa de las gotas (g o Kg)

v = velocidad de las gotas (cm(seg)<sup>-1</sup>) o m(seg)<sup>-1</sup>

M = momento (ergios. seg.cm<sup>-1</sup> o joule. seg. m<sup>-1</sup>)

Estudios como los de Wischmeier (1972) reportaron la re--

lación existente entre la pérdida de suelo, varias características de la lluvia y parámetros compuestos como --- energía cinética y el momento, encontrando que la energía cinética, explicaba mejor la erosividad de la lluvia que el momento y las otras características de la lluvia (17). La función del factor R, concluyendo, es cuantificar las fuerzas erosivas interrelacionadas con la lluvia y el escurrimiento. Wischmeier (1972), cita varios requisitos-- que deben tener los índices de erosividad: debe ser pre--decible en base probabilístico a partir de datos meteorológicos; definible para tormentas específicas, para pe---ríodos específicos y anual y su evaluación estacional o -anual, debe ser calculada usando sólo las lluvias significativas en lugar del total anual.

#### 10. Aplicaciones de los índices de erosividad:

La capacidad de cuantificar la fuerza erosiva de la llu--via, tiene las 2 aplicaciones siguientes:

- a) en la práctica de conservación de suelos: ayuda a mejorar los diseños de trabajo de conservación mediante el trazo de mapas de erosividad, los cuales pueden -- ser usados para la planificación detallada de siste--mas de cultivos (Wischmeier y Smith 1965).
- b) En investigación: ayuda a aumentar nuestro conocimiento de la erosión, la investigación en conservación de suelos utiliza lluvias naturales o simuladas, en cualquier caso, una escala cuantitativa de erosividad, es una ventaja valiosa. Se puede usar también para rea-bilitar cárcavas, seleccionando el tiempo cuando las-lluvias no sean muy erosivas (22).

#### IV. MATERIALES Y METODOS:

En la determinación del Índice de Erosividad de la lluvia (R) de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, se usó la metodología propuesta por Wischmeier en 1958.

Los registros provienen de las estaciones pluviográficas ubicadas en la zona sur de Guatemala y archivadas en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

En el Cuadro 4 se presentan las estaciones meteorológicas con pluviógrafo, las que fueron analizadas para el presente estudio (13).

CUADRO 4 Ubicación de las estaciones pluviográficas, A y B, Zona Sur de Guatemala.

Clave	Estación	Elevación m.s.n.m.	Latitud	Longitud
5. 8. 8	San José	6	13°56'10"	50°50'04"
5. 1.14	Sábana Grande	740	14°22'00"	90°50'00"
5. 1.17	El Chupadero	270	14°16'05"	90°47'33"
5.10. 8	Comantulul	280	14°19'00"	91°03'00"
5.12. 8	Tiquisate	70	14°17'10"	91°22'21"
18. 1. 3	Los Esclavos	237	14°15'00"	91°17'00"

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

#### 1. Descripción de la Zona Sur de Guatemala:

La zona sometida a estudio, comprende los departamentos de Escuintla y Santa Rosa (Figura 1).

En el departamento de Escuintla, se encuentran las estaciones siguientes: San José, zona de vida bosque seco, - sub-tropical bs-s, clase de suelo del litoral del pacífico, temperatura media anual de 26.64°C, humedad relativa media anual de 78.29 % y una precipitación media anual de 1265.95 mm; Sábana Grande, zona de vida bosque muy húmedo, sub-tropical cálido bah-s(c), clase de suelo del declive del pacífico, temperatura media anual de 24.13°C humedad relativa media anual de 74.07 % y una precipitación media anual de 3205.43 mm. El Chupadero, zona de vida bosque muy húmedo, sub-tropical cálido bah-s(c), clase de suelo del declive del pacífico, temperatura media anual de 25.98°C, humedad relativa media anual de 75.08% y una precipitación media anual de 2847.46 mm. Comantulul, zona de vida bosque muy húmedo, sub-tropical cálido bah-s(c), clase de suelo del declive del pacífico, temperatura media anual de 24.84°C, humedad relativa media anual de 80.5 % y una precipitación media anual de 3577.57 mm y Tiquisate, zona de vida bosque muy húmedo, sub-tropical cálido bah-s(c), clase de suelo del litoral del pacífico, temperatura media anual de 25.96°C, humedad relativa media anual de 76.19 % y una precipitación media anual de 1909.51 mm.

Para el Departamento de Santa Rosa, se encuentra únicamente la Estación de los Esclavos, zona de vida bosque muy húmedo, sub-tropical cálido bah-s(c), clase de suelo del declive del pacífico, temperatura media anual de 24.82°C, humedad relativa media anual de 76.27% y una precipitación media anual de 1569.81 mm.

## 2. Metodología de Wischmeier:

Para el cálculo de la energía cinética, se hace uso de pluviogramas diarios de lluvia, con el siguiente procedimiento:

Descartar todos aquellos pluviogramas que registren lluvias meneros o iguales a 13 mm separados por intervalos mayores a 6 horas. Asimismo aquellos que registren lluvias menores o iguales a 6 mm separados por períodos no menores de 15 minutos entre dos eventos de lluvia (10).- Dividir cada pluviograma en segmentos que tengan la misma pendiente.

Calcular la energía cinética para cada uno de los segmentos por la siguiente ecuación:

$$EC = 0.119 + 0.0873 \log 10^X$$

Donde:

X = intensidad de la lluvia expresada en  $\text{mm}(\text{hr})^{-1}$  para cada uno de los segmentos. Las intensidades mayores de  $76 \text{ mm}(\text{hr})^{-1}$ , el valor tomado de la energía cinética será de  $0.283 \text{ Mj}(\text{ha mm})^{-1}$ . El tamaño medio de la gota de lluvia no continúa aumentando con intensidades de precipitación pluvial superior a  $76.2 \text{ mm}(\text{hr})^{-1}$  (15).

Se calcula la intensidad máxima en 30 minutos, para ello, se busca en el pluviograma la mayor pendiente, o sea, donde ha caído mayor cantidad de lluvia en una porción de tiempo equivalente a 30 minutos, expresado en  $\text{mm}(\text{hr})^{-1}$ . Obtención de la energía global para cada evento de lluvia por la sumatoria de las energías unitarias.

El EI para cada evento de lluvia, se obtiene multiplicando la energía global por la intensidad máxima en 30 minutos y el resultado se expresa en  $\text{Mj}.\text{mm}(\text{ha}.\text{hr})^{-1}$ .

El factor R para cada una de las estaciones pluviográficas se calcula utilizando todos los valores EI, para el tiempo de registro de cada estación y se divide entre el número de años, obteniéndose así una media.



ESCALA GRAFICA  
0 10 20 30 40 50KMS.

FIGURA No. 1 LOCALIZACION DE LOS DEPARTAMENTOS DE LA ZONA SUR DE GUATEMALA

V. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS:

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las estaciones pluviográficas ubicadas en Escuintla y Santa Rosa.

CUADRO 5 Estaciones pluviográficas analizadas, índice de erosividad, Región Sur de Guatemala.

Departamento	Estación	Años de Registro	R (Mj.mm(ha.h) <sup>-1</sup> ) $\bar{X}$
	San José	8	9770.09
	Sábana Grande	17	29078.39
Escuintla	El Chupadero	12	21413.47
	Comantulul	8	26073.98
	Tiquisate	13	19177.91
Santa Rosa	Los Esclavos	17	12739.14

Fuente: Elaboración personal.

En el Cuadro 5, después de realizar todos los cálculos, se determinó que el valor promedio anual de R mayor, corresponde a la Estación Sábana Grande con 29078.39 Mj.mm (ha.h.año)<sup>-1</sup> y el menor corresponde a la Estación San José con 9770.09 Mj.mm (ha.h.año)<sup>-1</sup>. La primera con 17 años de registro y la segundo con 8 años respectivamente.

Las estaciones que cuentan con mayor cantidad de años de

registro, se les considera de mayor confiabilidad en vista, que a más años, hay un comportamiento más uniforme.- El Cuadro 6, muestra los promedios mensuales del índice de erosividad, Estación Tiquisate. Se observa que el mayor promedio ocurre en el mes de septiembre con  $6925.39 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para un 36% y el menor promedio se verifica en el mes de diciembre con  $118.89 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para 0.62 %. El período de mayor índice de erosividad de la lluvia se da en los meses de mayo a octubre para un 92.02 %. El valor del factor R es de  $19177.91 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$ .

En la figura 2, curva de distribución promedio mensual acumulado, se observa el comportamiento de estos valores en el transcurso del año. El período analizado comprende del año 1973 a 1985.

En el Cuadro 7, se muestra los promedios mensuales del índice de erosividad, Estación Sábana Grande. El mayor promedio corresponde a los meses de septiembre y octubre con  $5575.05 \text{ Mj.mm(ha.h)}^{-1}$  y  $5114.41 \text{ Mj.mm(ha.h)}^{-1}$  para 19.17 % y 17.59 % respectivamente. El menor promedio es para el mes de febrero con  $40.37 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para un 0.14%. También se observa que el período de mayor precipitación o índice de erosión va del mes de mayo al mes de octubre para un 89.46 %. El valor promedio total anual de R es de  $29078.39 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$ . En la Figura 3, curva de distribución promedio mensual acumulado, se observa el comportamiento de estos valores en el transcurso del año. El período analizado comprende del año 1969 a 1985.

En el Cuadro 8, se presenta los promedios mensuales del índice de erosividad que corresponde a la Estación El Chupadero. Se observa que el mayor promedio de índice de erosividad corresponde al mes de mayo con  $4312.92 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para un 20.14 %. El menor promedio es para el

mes de enero con  $70.97 \text{ Mj.mm(ha.h)}^{-1}$  para un 0.33 %. -- Además el período de mayor índice de erosión va de los meses de mayo a octubre para un 89.36 %. El valor promedio total anual de R es de  $21413.47 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$ . En la Figura 4, curva de distribución promedio mensual acumulado, se observa el comportamiento de estos valores en el transcurso del año. El período analizado comprende -- del año 1974 a 1985.

El Cuadro 9, presenta los promedios mensuales de índice de erosividad, Estación Comantulul. El mayor promedio corresponde a los meses de mayo y septiembre con  $4348.80 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  y  $4339.60 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para un 16.68 % y 16.64 % respectivamente. El menor promedio es para el mes de diciembre con  $15.00 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para un 0.06 %. También se observa que el período de mayor precipitación o índice de erosión va del mes de mayo al mes de octubre para un 87.53 %. El valor promedio total de R es de --  $26073.98 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$ .

En la Figura 5, curva de distribución promedio mensual -- acumulado, se pone de manifiesto el comportamiento de estos valores en el transcurso del año. El período analizado comprende de los años 1971 a 1978.

En el Cuadro 10, se muestran los promedios mensuales de índice de erosividad, Estación Los Esclavos. El mayor promedio corresponde al mes de septiembre con  $5426.06 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para un 42.59 %. El menor promedio es para el mes de febrero con  $35.23 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para un 0.28%. Asimismo que el período de mayor índice de erosión de la lluvia corresponde a los meses de junio a octubre para un 88.10%. El valor promedio total anual de R es de  $12739.14 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$ . En la Figura 6, curva de distribución promedio mensual acumulado, se observa el comportamiento de estos valores en el transcurso del año. El período -- analizado comprende del año 1969 a 1985.

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA. ESTACION TIQUISATE. AÑOS 1,973 A 1,985 EXPRESADO EN  $Mj. mm (hd * hr)^{-1}$

MES	$\bar{x}$ MENSUAL FACTOR "R"	% MENSUAL FACTOR "R"	% ACUMULADO FACTOR "R"
ENERO	0.00	0.00	0.00
FEBRERO	0.00	0.00	0.00
MARZO	185.34	0.96	0.96
ABRIL	879.20	4.58	5.55
MAYO	1934.39	10.09	15.64
JUNIO	1973.45	10.29	25.93
JULIO	2348.27	12.25	38.17
AGOSTO	1756.66	9.16	47.33
SEPTIEMBRE	6925.39	36.11	83.44
OCTUBRE	2708.68	14.12	97.57
NOVIEMBRE	347.64	1.81	99.38
DECIEMBRE	118.89	0.62	100.00
	19177.91	100 %	

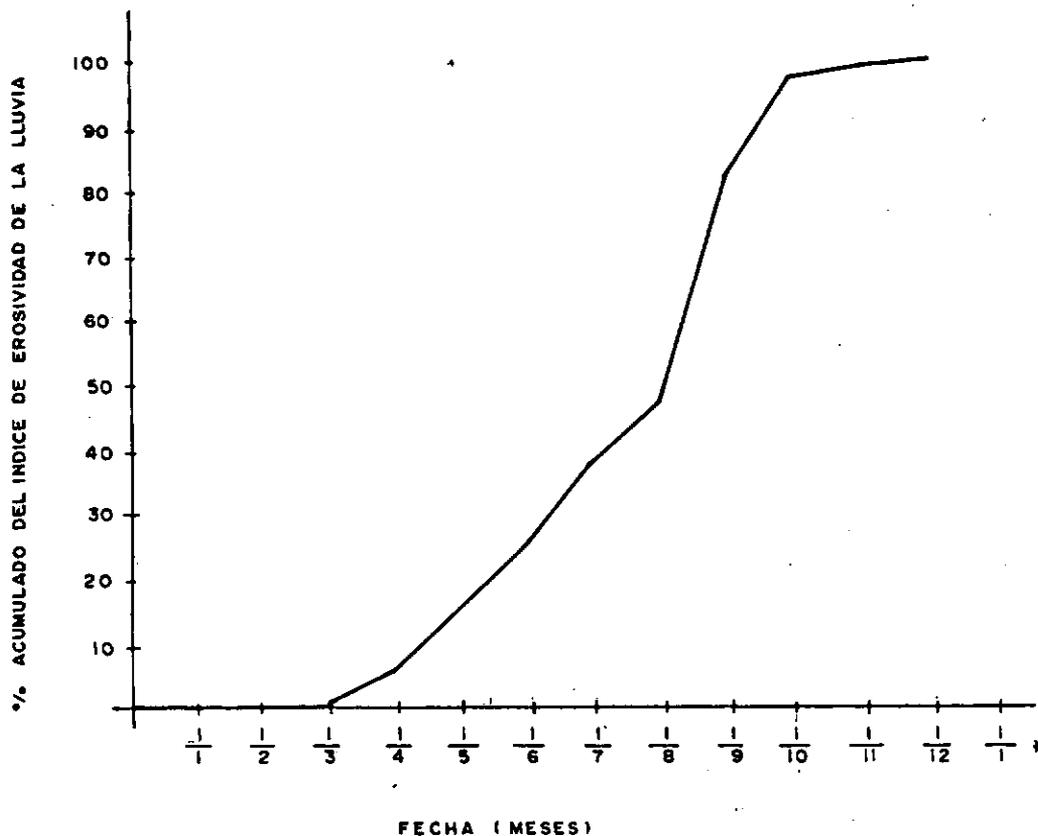


FIGURA No. 2

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA. ESTACION TIQUISATE

\* EL NUMERADOR SIGNIFICA EL PRIMER DIA DEL MES Y EL DENOMINADOR SIGNIFICA EL MES

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION SABANA GRANDE, AÑOS 1,989 A 1,985 EXPRESADO EN  $Mj, mm (hr \cdot hr)^{-1}$

MES	Í MENSUAL FACTOR "R"	% MENSUAL FACTOR "R"	% ACUMULADO FACTOR "R"
ENERO	101.83	0.35	0.35
FEBRERO	40.37	0.14	0.49
MARZO	813.19	2.80	3.29
ABRIL	990.32	3.41	6.70
MAYO	4482.49	15.42	22.12
JUNIO	4461.43	15.34	37.46
JULIO	3476.33	11.96	49.42
AGOSTO	2902.34	9.98	59.40
SEPTIEMBRE	5575.05	19.17	78.57
OCTUBRE	5114.41	17.59	96.16
NOVIEMBRE	962.67	3.31	99.47
DICIEMBRE	157.96	0.53	100.00
	29078.39	100 %	

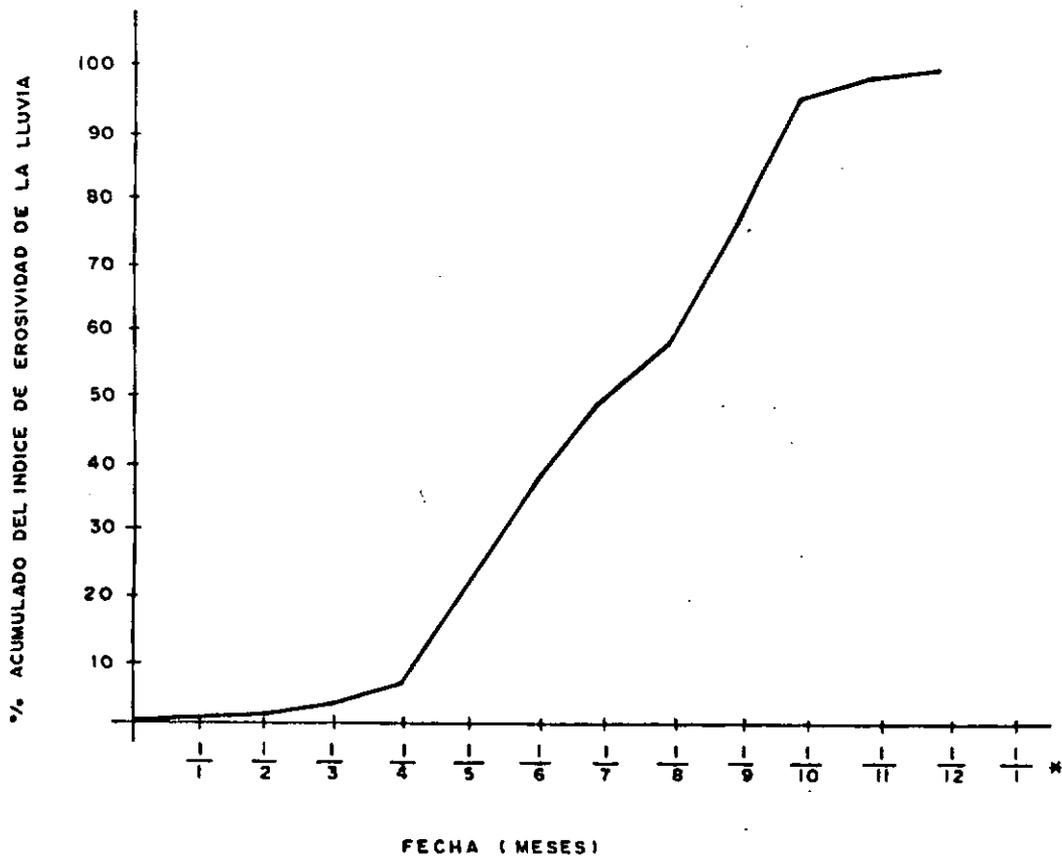


FIGURA No.3

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION SABANA GRANDE

\* EL NUMERADOR SIGNIFICA EL PRIMER DIA DEL MES Y EL DENOMINADOR SIGNIFICA EL MES

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION EL CHUPADERO, AÑOS 1,974 A 1,985 EXPRESADO EN  $Mj. mm (ho * hr)^{-1}$

MES	$\bar{x}$ MENSUAL FACTOR "R"	% MENSUAL FACTOR "R"	% ACUMULADO FACTOR "R"
ENERO	70.97	0.33	0.33
FEBRERO	74.14	0.35	0.68
MARZO	502.40	2.35	3.03
ABRIL	808.28	3.77	6.80
MAYO	4312.92	20.14	26.94
JUNIO	3006.86	14.04	40.98
JULIO	2346.22	10.96	51.94
AGOSTO	3100.51	14.48	66.42
SEPTIEMBRE	3640.32	17.00	83.42
OCTUBRE	2728.96	12.74	96.16
NOVIEMBRE	644.86	3.01	99.17
DICIEMBRE	177.03	0.83	100.00
	21413.47	100%	

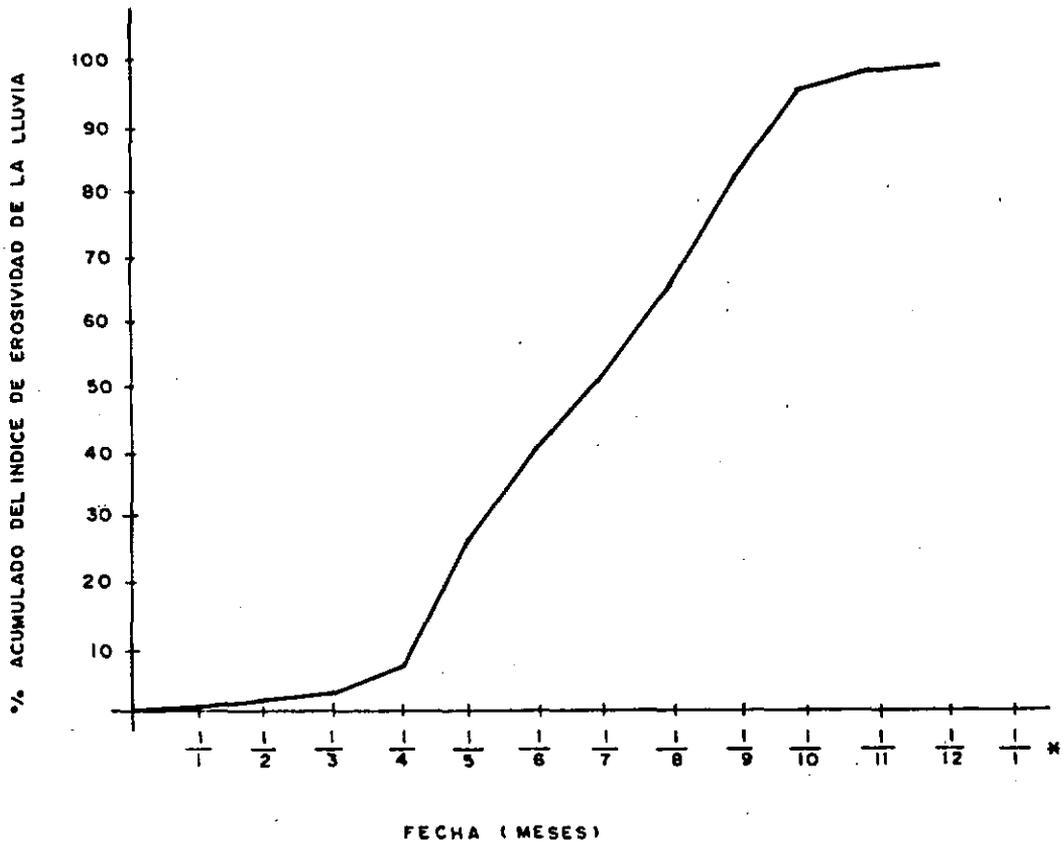


FIGURA No. 4

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION EL CHUPADERO

\* EL NUMERADOR SIGNIFICA EL PRIMER DIA DEL MES Y EL DENOMINADOR SIGNIFICA EL MES

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION COMANTULUL, AÑOS 1,971 A 1,978 EXPRESADO EN  $Mj. mm (hd * hr)^{-1}$

MES	$\bar{x}$ MENSUAL FACTOR "R"	% MENSUAL FACTOR "R"	% ACUMULADO FACTOR "R"
ENERO	40.73	0.16	0.16
FEBRERO	24.66	0.10	0.26
MARZO	177.82	0.68	0.94
ABRIL	1555.46	5.97	6.91
MAYO	4348.80	16.68	23.59
JUNIO	3164.44	12.14	35.73
JULIO	2832.88	10.86	46.59
AGOSTO	4085.53	15.67	62.26
SEPTIEMBRE	4339.80	16.64	78.90
OCTUBRE	4051.67	15.54	94.44
NOVIEMBRE	1437.39	5.51	99.95
DICIEMBRE	15.00	0.05	100.00
	26073.98	100 %	

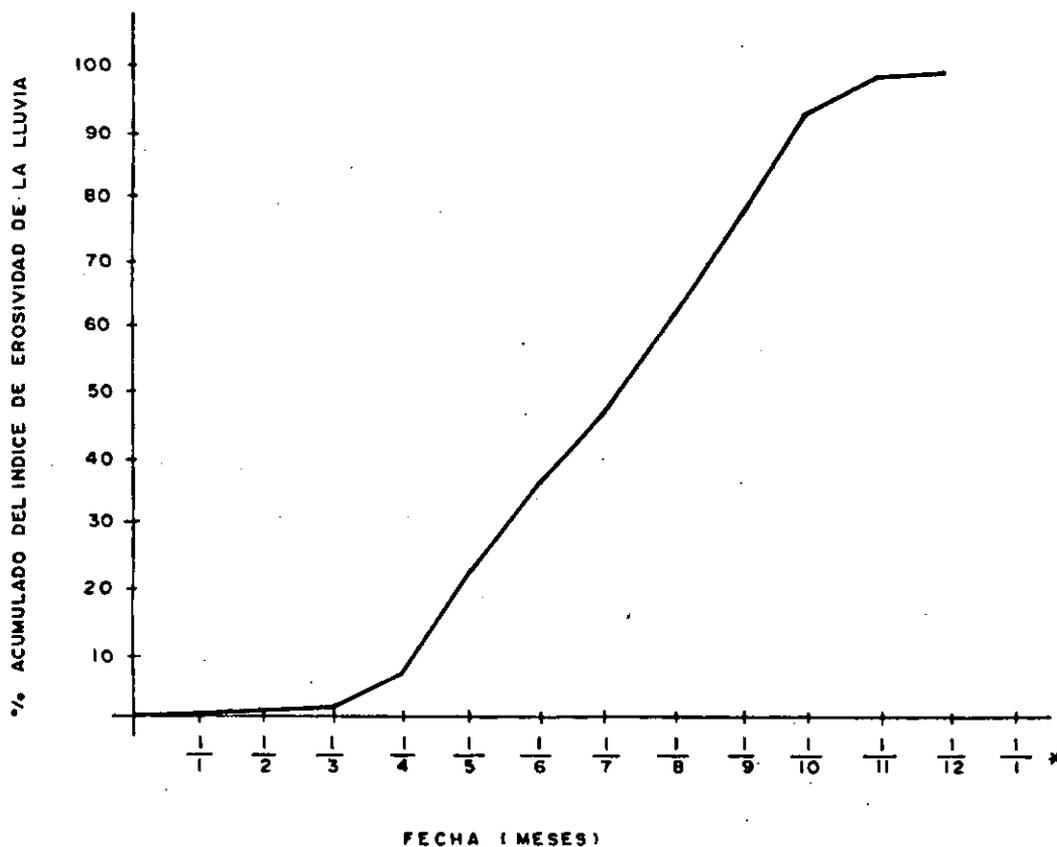


FIGURA No. 5

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION COMANTULUL

\* EL NUMERADOR SIGNIFICA EL PRIMER DIA DEL MES Y EL DENOMINADOR SIGNIFICA EL MES

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION  
LOS ESCLAVOS, AÑOS 1,969 A 1,986 EXPRESADO EN  $Mj, mm (ho * hr)^{-1}$

MES	̄ MENSUAL FACTOR "R"	% MENSUAL FACTOR "R"	% ACUMULADO FACTOR "R"
ENERO	0.00	0.00	0.00
FEBRERO	25.23	0.28	0.28
MARZO	37.85	0.30	0.58
ABRIL	211.26	1.66	2.24
MAYO	1079.17	8.47	10.71
JUNIO	1918.02	15.06	25.77
JULIO	1085.17	8.52	34.29
AGOSTO	1278.83	10.04	44.33
SEPTIEMBRE	5426.06	42.59	86.92
OCTUBRE	1526.96	11.99	98.91
NOVIEMBRE	0.00	0.00	100.00
DICIEMBRE	0.00	0.00	
	12739.14	100 %	

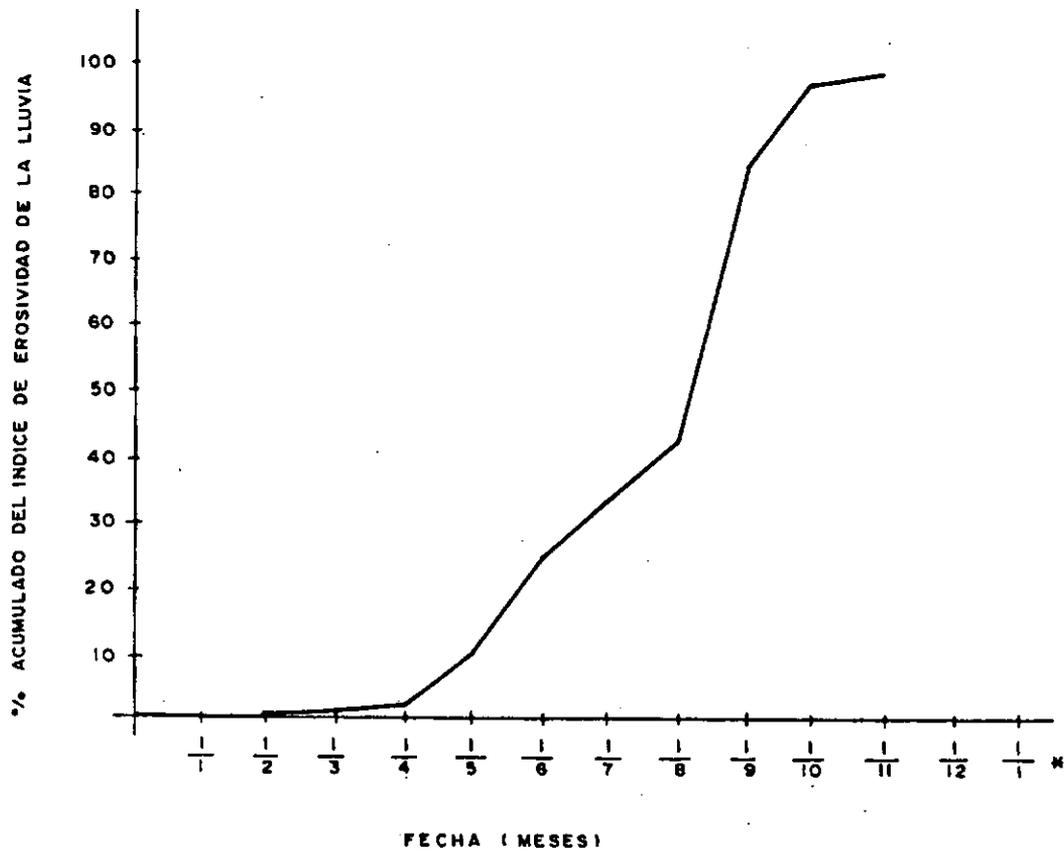


FIGURA No. 6

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION  
LOS ESCLAVOS

\* EL NUMERADOR SIGNIFICA EL PRIMER DIA DEL MES Y EL DENOMINADOR SIGNIFICA EL MES

En el Cuadro 11, se muestran los promedios mensuales de índice de erosividad que corresponde a la Estación San José. El mayor promedio de índice de erosividad de la lluvia corresponde al mes de julio con  $2985.27 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para un 30.56 %. El menor promedio es para el mes de abril con un  $183.83 \text{ Mj.mm (ha.h)}^{-1}$  para un 1.88 %. Además el período de mayor índice de erosión va de los meses de junio a septiembre para un 78.75 %. El valor promedio total anual de R es de  $9770.09 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$ . En la Figura 7, curva de distribución promedio mensual acumulado, se observa el comportamiento de estos valores en el transcurso del año. El período analizado comprende del año 1955 a 1958; del año 1973 a 1974 y de los años 1984 a 1985.

Si comparamos los valores de índice de erosividad de la lluvia presentados por Del Cid Asturias en 1986, que varían entre los límites de  $1034.11 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$  y  $2095.14 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$ ; mientras que Hernández Díaz en 1986, da valores entre  $1166.45 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$  y  $34047.58 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$  con los valores del presente trabajo, los cuales están entre los límites de  $12739.13 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$  y  $29078.39 \text{ Mj.mm (ha.h.año)}^{-1}$ . Se concluye que los de Del Cid son valores bajos, los de Hernández son similares a los de este estudio debido a que las precipitaciones de las zonas Sur-occidental y Sur son similares en vista de estar situadas sobre el Océano Pacífico, zona lluviosa (6,13).

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION  
 SAN JOSE, AÑOS 1,955 A 1,985 EXPRESADO EN  $Mj. mm (ha * hr)^{-1}$

MES	$\bar{x}$ MENSUAL FACTOR "R"	% MENSUAL FACTOR "R"	% ACUMULADO FACTOR "R"
ENERO	0.00	0.00	0.00
FEBRERO	0.00	0.00	0.00
MARZO	0.00	0.00	0.00
ABRIL	183.83	1.88	1.88
MAYO	752.98	7.71	9.59
JUNIO	1710.95	17.51	27.10
JULIO	2985.27	30.56	57.66
AGOSTO	1196.56	12.25	69.91
SEPTIEMBRE	1601.19	16.44	86.35
OCTUBRE	931.35	9.53	97.88
NOVIEMBRE	207.96	2.12	100.00
DICIEMBRE	0.00	0.00	
	9770.09	100.0%	

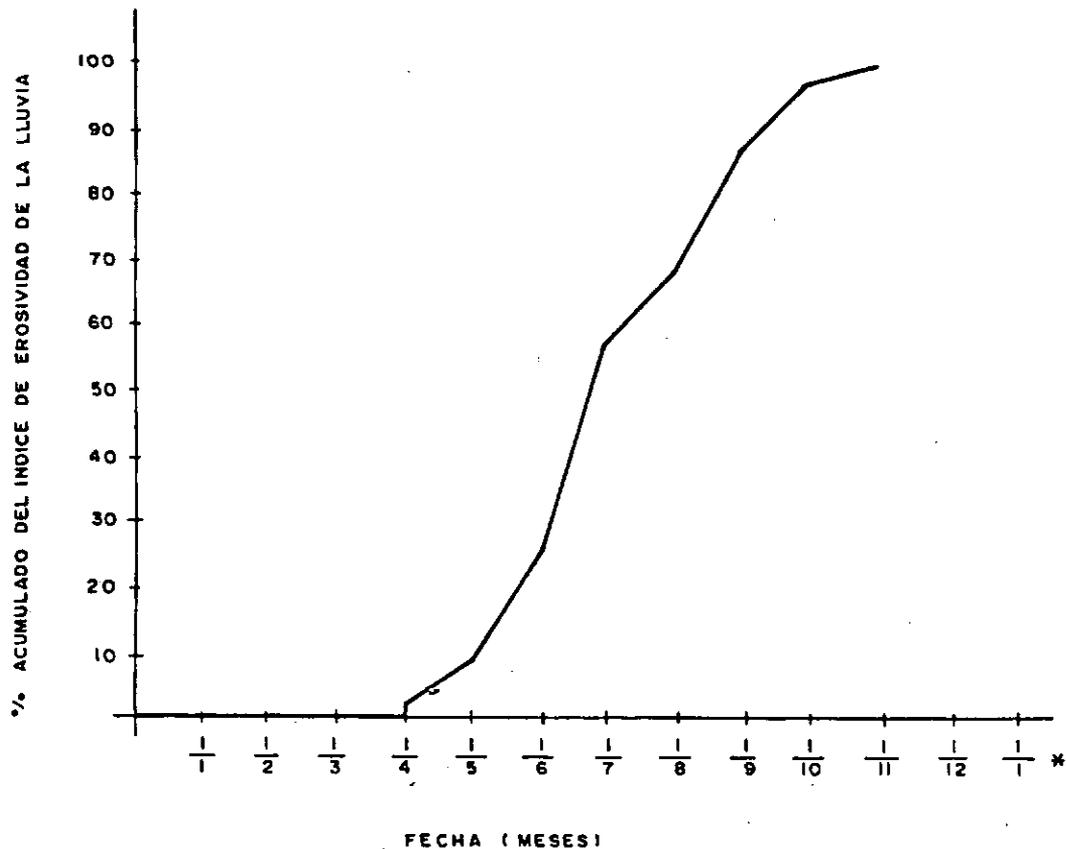


FIGURA No.7

DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, ESTACION  
 SAN JOSE

\* EL NUMERADOR SIGNIFICA EL PRIMER DIA DEL MES Y EL DENOMINADOR SIGNIFICA EL MES

## VI. CONCLUSIONES

- a) El comportamiento de la lluvia en las estaciones: Sábana Grande, El Chupadero, Comantulul y Tiquisate, es similar ya que los períodos de mayor índice de erosión corresponde a los meses de mayo a octubre.
- b) Para las Estaciones: San José y Los Esclavos, los períodos también son similares en vista que el índice de mayor precipitación se presenta en los meses de junio a septiembre y junio a octubre respectivamente.
- c) De las estaciones investigadas, Sábana Grande, presenta el mayor índice de erosión y San José el menor índice de erosión.
- d) Las curvas de distribución promedio mensual son similares entre sí para las estaciones: El Chupadero, Sábana Grande y Comantulul, asimismo -- presentan el mismo comportamiento, las estaciones: Los Esclavos, Tiquisate y San José.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que las curvas de distribución promedio mensual acumulado del índice de erosión de la lluvia en el manejo de la cubierta vegetal, Factor C, sean aplicadas para contrarrestar la erosión.
2. Se opina que el suelo deberá mantenerse cubierto con un cultivo apropiado, en la época septiembre y octubre cuando la lluvia causa mayores daños de erosión, con énfasis en las áreas que cubren las estaciones pluviográficas de -- Sábana Grande, El Chupadero y Comantulul, por ser éstas las que registran los índices de erosividad más altos, según el presente estudio.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS ROJO, H. M. 1980. El factor "R" de la ecuación universal de la pérdida de suelo en la cuenca del río Texcoso. Tesis Mag. Sc. Chapingo, Mex., Escuela de Postgraduados. 115 p.
2. AYRES QUINCY, C. 1936. Soil erosion and its control. New York, McGraw-Hill. 365 p.
3. BAVER, L. D. et al. 1973. Física de Suelos. Trad. de la 4ta. ed. inglesa por Jorge Manuel Rodríguez. México, UTEHA. p. 473-499.
4. CASTAÑEDA, L. et al. 1983. Diagnóstico de la situación de los recursos naturales renovables de Guatemala. Tikalia (Gua.) 1(2):93-97.
5. CRUZ, J. R. DE LA. 1976. Clasificación de la zona de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala, INAFOR. 24 p.
6. CURLEY, M. A.; URIZAR, M. T. 1978. Recursos naturales renovables. Guatemala, s.n. 226 p.
7. DEL CID ASTURIAS, R. G. 1986. Determinación del índice de erosividad de las lluvias para las estaciones pluviográficas de la zona noroccidental de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 47 p.
8. FAO. 1975. La erosión del suelo por el agua. Roma. p. 161-200.
9. FOSTER, A. B. 1977. Métodos aprobados para la conservación de suelos. México, Trillas. p. 29-76.

10. FOSTER, G. et al. 1981. Conversion of univer--  
sal soil equation to SI metric units. Jor--  
nal of Soil & Water Conservation. 36(6): --  
355-359.
11. FOTH, H. D. 1978. Fundamentos de la ciencia --  
del suelo. México, Continental. p. 405-435.
12. GAVANDE, S. A. 1979. Física de suelos, princi--  
pios y aplicaciones. México, LIMUSA. 351 p.
13. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VUL--  
CANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1982.  
Datos metereológicos. Guatemala. 221 p.
14. HERNANDEZ DIAZ, H. 1986. Determinación del ín--  
dice de erosividad de la lluvia para la zona  
sur-occidental de Guatemala. Tesis Ing. Agr.  
Guatemala, Universidad de San Carlos de Gua--  
temala, Facultad de Agronomía. 42 p.
15. KIRBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. 1984. Erosión -  
de suelos. México, LIMUSA. 375 p.
16. MANUAL DE conservación de suelos y agua. 1977.-  
Chapingo, Mex., Colegio de Postgraduados. --  
580 p.
17. METODOLOGIA PROVISIONAL para la evaluación de la  
degradación de suelos. 1980. Roma, FAO/ --  
UNESCO. p. 1-13.
18. MORATAYA JIMENEZ, J. C. 1975. Estudio sobre el  
transporte de sedimentos de la cuenca del --  
río Villalobos. Tesis Ing. Civil. Guatemala,  
Universidad de San Carlos de Guatemala, Fa--  
cultad de Ingeniería. 66 p.

19. SAMAYOA GUTIERREZ, M. L. 1976. Estudio preliminar de los problemas de inundación y drenaje en el parcelamiento La Blanca. Tesis Ing. - Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 65 p.
20. SANCHEZ MENDIA, A. 1979. Determinación del escurrimiento superficial y erosión en el suelo del área del proyecto de conservación de suelos Michatoya. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 17-20.
21. SIMMONS, CH. S.; TARANO, J. M.; PINTO, J. H. --- 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. -- Trad. por Pedro Tirado Sulsana. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000 p.
22. WORTEEN, E. L. 1949. Suelos agrícolas, su conservación y fertilización. México, UTEHA. - 463 p.

Uo. Bo.

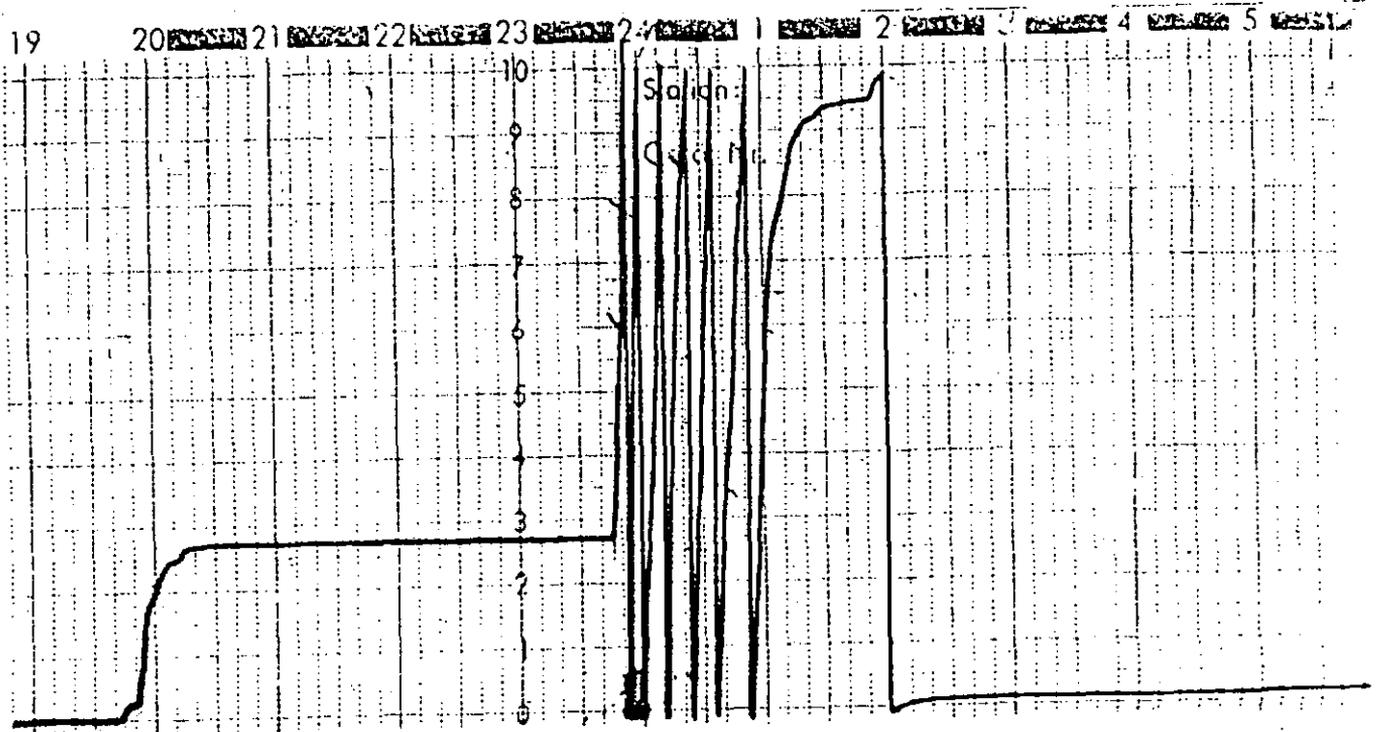
*Patuall*



IX. ANEXO

ANEXO No. 1 INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA ANUAL DE LAS ESTACIONES PEUVIOGRAFICAS DE LA ZONA SUR DE GUATEMALA,  
EXPRESADA EN Mj.m.m ( No \* hr \* año )

ESTACIONES												
	TIQUISATE		SABANA GRANDE		EL CHUPADERO		COMANTULUL		LOS ESCLAVOS		SAN JOSE	
AÑOS	No. DE EVENTOS	"R" TOTAL ANUAL										
1955											37	13307.13
1956											31	7477.03
1957											25	12490.92
1958											30	10362.93
1959												
1960												
1961												
1962												
1963												
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969			78	38109.38					49	10096.37		
1970			108	41833.49					36	5110.17		
1971			97	43616.92			69	22750.60	41	10169.79		
1972			88	37388.98			50	19511.19	15	5266.50		
1973	58	25198.25	88	32055.98			70	23404.29	33	7078.94	34	11166.79
1974	51	82368.44	87	39261.01	81	20824.38	19	19931.40	14	3955.12	17	5959.59
1975	36	6820.49	93	33778.25	39	17613.61	74	28334.48	30	74323.21		
1976	48	12629.79	44	20312.90	70	14910.74	44	19355.82	29	7055.65		
1977	51	19232.87	61	18535.90	63	14367.87	66	39748.42	25	11789.67		
1978	31	15867.03	89	33390.91	72	24175.34	62	35555.43	27	10501.27		
1979	29	20894.71	77	36933.28	78	28782.22			34	6333.02		
1980	29	21790.19			54	17770.24			62	14371.10		
1981	48	18669.62	63	26863.63	51	20907.78			62	11850.68		
1982	38	8004.62	62	32690.28	66	36336.66			39	10826.70		
1983	25	13283.01	67	26290.12	47	27365.74			60	10878.78		
1984	44	16824.78	68	18732.18	44	13664.53			47	8342.97	27	6071.88
1985	32	9929.42	61	16741.45	37	20282.64			38	8816.09	31	9324.29
SUMA	520	249313.22	1248	494322.64	702	258981.65	454	208591.83	651	216565.38	232	78160.56
X	40	19177.94	73	46000.17	59	21413.47	57	26073.98	38	12739.14	29	9770.07



ANEXO 2: Lluvia registrada el 1 de mayo de 1973,  
Estación Tiquisate, Escuintla.

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología,  
Metereología e Hidrología.

ANEXO 3 Procedimiento para calcular el factor R o índice de erosividad de la lluvia en el pluviograma del Anexo 2.

Hora	Lluvia en mm	Tiempo en min	Intensidad $\text{mm}(\text{hr})^{-1}$	Energía $\text{Mj}(\text{ha mm})^{-1}$	Incremento $\text{Mj}(\text{ha})^{-1}$
1	2	3	4	5	6
23:46	0.00	0	0.00	0.000	0.000
23:52	7.50	6	75.00	0.283	2.122
24:00	10.00	8	75.00	0.283	2.830
24:11	10.00	11	54.54	0.271	2.710
24:22	10.00	11	54.54	0.271	2.710
24:36	10.00	14	42.86	0.261	2.610
24:51	10.00	15	40.00	0.259	2.590
1:00	6.50	9	43.33	0.262	1.700
1:20	2.60	20	7.80	0.197	0.510
1:53	0.50	33	1.10	0.123	0.060
2:00	0.40	7	3.43	0.166	0.066
					17.908

- Establecer el  $I_{30}$  en el pluviograma, para nuestro -- ejemplo el  $I_{30}$  es de 31.5 mm, el cual se multiplica - por 2 para obtenerlo en  $\text{mm}(\text{hr})^{-1}$

$$I_{30} = 31.5 \times 2 = 63 \text{ mm} (\text{hr})^{-1}$$

- Se divide el pluviograma en segmentos que tengan la - misma pendiente.
- Se determina la cantidad de lluvia caída en cada seg- mento. Columna 2.
- Establecer el tiempo transcurrido en cada segmento. - Columna 3.
- Calcular la intensidad para cada segmento en  $\text{mm}(\text{hr})^{-1}$  Columna 4.

min	mm	
6	7.5	
60	x	x = 75 $\text{mm}(\text{hr})^{-1}$

- Calcular la energía correspondiente a la intensidad - de cada segmento mediante la fórmula

$$e = 0.119 + 0.0873 \log_{10}x. \quad \text{Columna 5.}$$

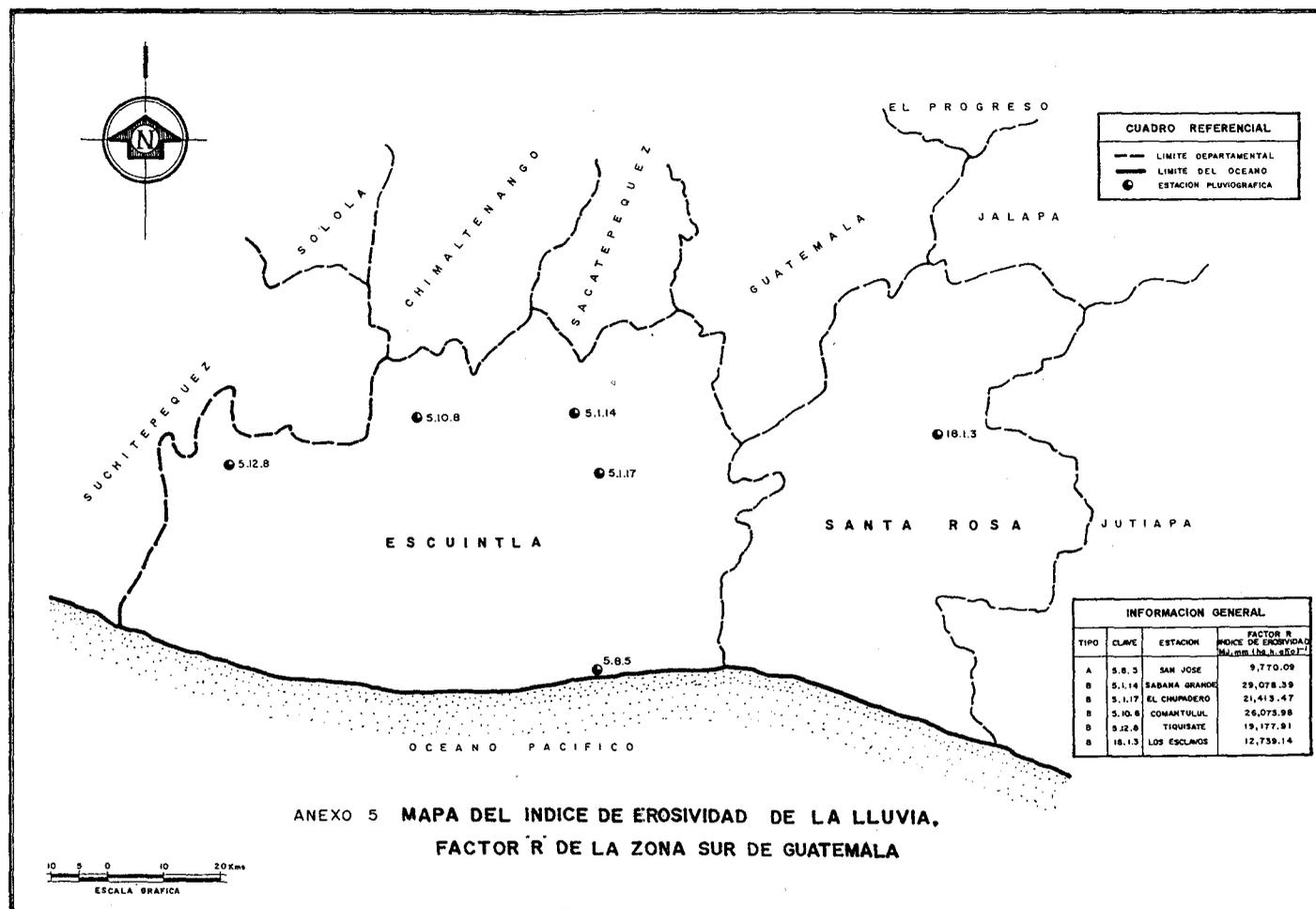
$$e = 0.119 + 0.0873 \log_{10}x = 0.119 + 0.0873 \log (75) \\ = 0.283$$

- Calcular la energía de cada segmento, columna 2 x 5  
 $7.50 \times 0.283 = 2.122$
- Obtener la energía global o energía cinética total su- mando la columna 6. En nuestro ejemplo 17.908.
- Calcular el  $EI_{30}$ , para ello, multiplicar el  $I_{30}$  x E.G.  
 $EI_{30} = I_{30} \times \text{E.G.} = 63 \times 17.908 = 1128.204 \text{ Mj.}$   
 $\text{mm} (\text{ha.hr})^{-1}$

ANEXO 4 Cálculo directo, sin usar la fórmula de  $e = 119 + 0.0873 \log_{10} x$ ,  
la energía de la lluvia en Mj/ha.

Intensidad de lluvia mm/hr	Energía cinética de la lluvia en Mj/ha.mm.									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0.119	0.145	0.161	0.172	0.180	0.187	0.193	0.198	0.202
10	0.206	0.210	0.213	0.216	0.219	0.222	0.222	0.224	0.226	0.229
20	0.233	0.234	0.236	0.238	0.239	0.241	0.243	0.244	0.245	0.247
30	0.248	0.249	0.250	0.252	0.253	0.254	0.255	0.256	0.257	0.258
40	0.259	0.260	0.261	0.262	0.262	0.263	0.264	0.265	0.266	0.267
50	0.267	0.268	0.269	0.270	0.270	0.271	0.272	0.272	0.273	0.274
60	0.274	0.275	0.275	0.276	0.277	0.277	0.278	0.278	0.279	0.280
70	0.280	0.281	0.281	0.282	0.282	0.283	0.283	-----	-----	-----

Fuente: Foster, G. Et Al Conversion of the universal soil loss equation  
to SI metric units. Journal of Soil Water Conservation. 1981.



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. ANIBAL B. MARTINEZ M.  
D E C A N O