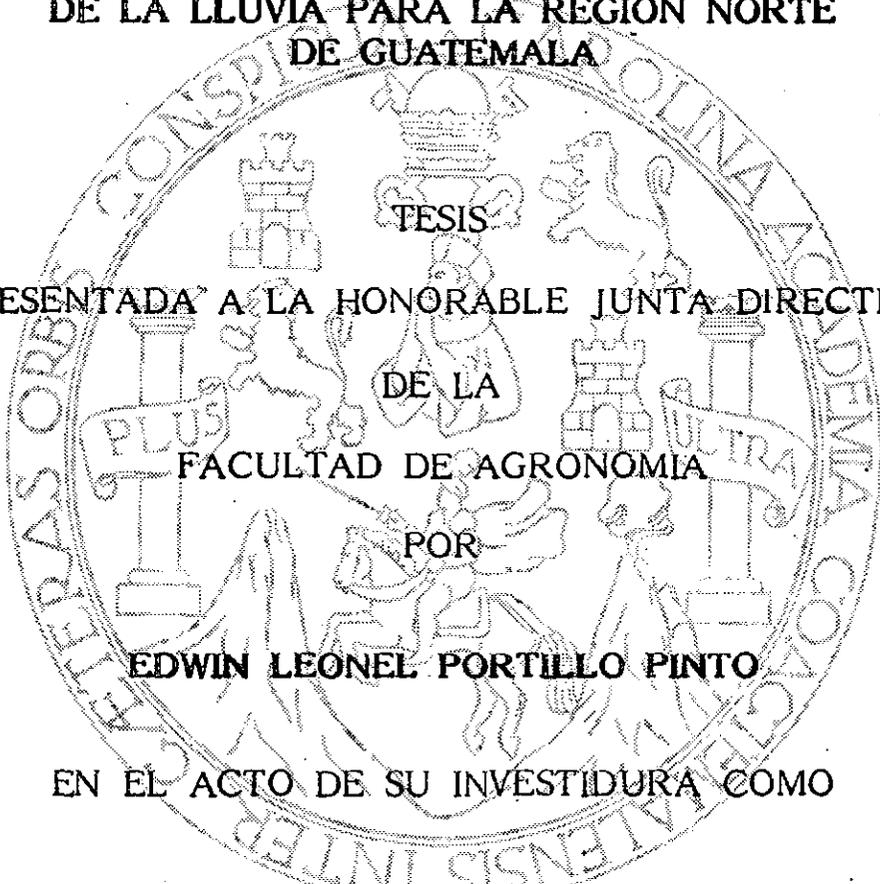


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC  
DEPOSITO LEGAL  
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD  
DE LA LLUVIA PARA LA REGION NORTE  
DE GUATEMALA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large circular emblem. It features a central shield with a crown on top, flanked by two lions. Below the shield is a banner with the motto 'PLUS ULTRA'. The shield is supported by two columns. The outer ring of the seal contains the Latin text 'LETTERAS ORBE CONSPICUOLINA ACADEMIA COECHEMENSIS INTER'.

TESIS  
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
POR

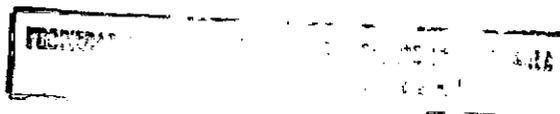
**EDWIN LEONEL PORTILLO PINTO**

EN EL ACTO DE SU INVESTIDURA COMO  
**INGENIERO AGRONOMO**

EN EL GRADO ACADEMICO DE

**LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS**

Guatemala, Noviembre de 1988



Dh  
01  
T(1215)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Lic. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Aníbal B. Martínez Muñoz
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez Gómez
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Jorge Sandoval Illescas
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Mario F. Melgar Morales
VOCAL CUARTO	Br. Marco Antonio Hidalgo
VOCAL QUINTO	P.A. Byron Milian
SECRETARIO	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio



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

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apertado Postal No. 1545

**GUATEMALA, CENTRO AMERICA**

23 de septiembre de 1988

Ingeniero Agrónomo  
Aníbal Martínez  
Decano Fac. Agronomía

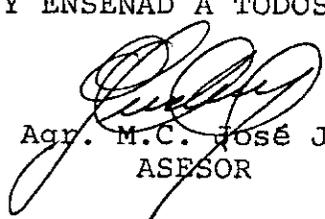
Señor Decano:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de tesis del estudiante Edwin - Leonel Portillo Pinto, carnet No. 78-02866, titulado "DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA PARA LA REGION NORTE DE GUATEMALA", el cual reúne las características y condiciones necesarias para ser autorizado como tal, tomando en cuenta que es un aporte valioso para la planificación de prácticas de conservación de suelos.

En virtud de lo anterior, ante usted con todo - respeto solicito su autorización para que dicho trabajo sea publicado como tesis de grado.

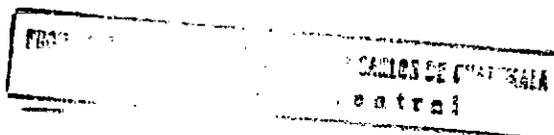
Cordialmente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. M.C. José Jesús Chonay  
ASESOR

cc. archivo

JJCh/nlzm



Guatemala,  
22 de septiembre de 1988

Honorable Junta Directiva  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

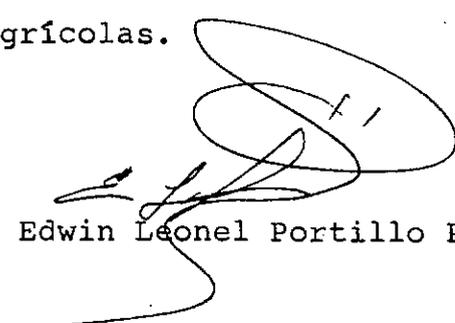
Señores miembros:

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

"DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD  
DE LA LLUVIA PARA LA REGION NORTE  
DE GUATEMALA"

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

Atentamente,



Edwin Leonel Portillo Pinto

## ACTO QUE DEDICO

- A DIOS TODOPODEROSO
- A Mis Padres:
  - Antonio José Portillo Cabrera (Que en paz descanse)
  - Mariana de J. Pinto Vda. de Portillo
- A Mi Esposa:
  - Jilma Dinora Paz de Portillo
- A Mis Hijos:
  - Edwin Antonio Portillo Paz
  - Lisbeth Mariana Portillo Paz
- A Mis Hermanos:
  - Jorge Antonio Portillo Pinto
  - Jairon Mardoqueo Portillo Pinto
  - Ana Judith Portillo de Orellana
  - Mario Antonio Sosa
- A La Familia:
  - Paz Aguirre
- A Mi Familia en general
- A Mis Amigos y Compañeros de estudio
- A La Facultad de Agronomía
- A La Universidad de San Carlos de Guatemala

## AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial, manifiesto mi sincero agradecimiento al Ingeniero Agrónomo M. C. José Jesús Chonay P. por la acertada asesoría, y sobre todo, su valiosa colaboración e interés en la realización del presente trabajo de investigación.

Agradezco también al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, especialmente al personal del Departamento de Climatología, por la atención y colaboración al presente trabajo.

Al Ingeniero Agrónomo Salvador Castillo Orellana, por su valiosa colaboración en la revisión de la presente investigación.

A los compañeros y amigos Otto René Paz Aguirre, Jorge Mario Roldán, Hernán Hernández, Rudy del Cid y Filiberto Galindo, que colaboraron en la investigación.

## INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Indice de cuadros	ii
Indice de figuras	iii
Resumen	iv
I. Introducción	1
II. Objetivo	2
III. Revisión de Literatura	3
1. Degradación de los suelos	3
2. Erosión hídrica	3
3. Características físicas de la lluvia	3
3.1 La cantidad de la lluvia	4
3.2 La intensidad de la lluvia	4
3.3 El tamaño de las gotas de lluvia	4
3.4 Distribución de tamaños de gotas	5
3.5 La velocidad final de las gotas de lluvia	6
3.6 Formas de las gotas de lluvia	6
4. La energía de la lluvia	6
5. Tolerancia de pérdida de suelo	6
6. Predicción de pérdida de suelo	7
6.1 Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo	7
6.2 Índice del Uso y Manejo del suelo	8
7. Índice de Erosividad (R)	9
8. Procedimiento para el cálculo de R	10
9. Distribución promedio mensual del índice de erosividad	10
IV. Metodología	12
V. Resultados	14
VI. Discusión de resultados	32
VII. Conclusiones	34
VIII. Recomendaciones	35
IX. Bibliografía	36
X. Anexos.	38

## INDICE DE CUADROS

Cuadros		Pág.
1.	Lista de clases de degradación por erosión hídrica	7
2.	Ubicación geográfica e Índice de la erosividad de la lluvia en las estaciones de la región norte de Guatemala.	14
3.	Datos climáticos de las estaciones meteorológicas de la región norte de Guatemala.	15
4.	Índice de erosividad de la lluvia, estación Mi Ilusión.	16
5.	Índice de erosividad de la lluvia, estación Puerto Barrios.	18
6.	Índice de erosividad de la lluvia, estación Mariscos.	20
7.	Índice de erosividad de la lluvia, estación Panzós.	22
8.	Índice de erosividad de la lluvia, estación Amates.	24
9.	Índice de erosividad de la lluvia, estación El Porvenir.	26
10.	Índice de erosividad de la lluvia, estación Las Vegas.	28
11.	Índice de erosividad de la lluvia, estación Cobán.	30
12.	Factores de conversión del índice de erosividad anual, R.	40

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Método para encontrar la mediana del diámetro de gotas ( $D_{50}$ )	5
2	Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Mi Ilusión.	17
3	Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Puerto Barrios.	19
4	Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Mariscos.	21
5	Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Panzós.	23
6	Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Amates.	25
7	Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación El Porvenir.	27
8	Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Las Vegas.	29
9	Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Cobán.	31
10	Mapa de la república de Guatemala; ubicación de la zona norte de Guatemala.	39

**DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD  
DE LA LLUVIA PARA LA REGION NORTE  
DE GUATEMALA**

**RAINFALL EROSION INDEX DETERMINATION  
FOR THE NORTHERN REGION OF GUATEMALA  
CENTRAL AMERICA**

**RESUMEN**

Debido a que la erosión hídrica afecta la capacidad actual y potencial del suelo, se tomó la decisión de determinar el índice de erosividad de la lluvia de la región norte de Guatemala y así ponerlo a disposición para la elección y planificación de prácticas en el control y prevención de la pérdida del suelo causada por la lluvia.

Para el cálculo del índice de erosividad en la región, se recopilaron los datos de precipitación de 8 estaciones meteorológicas tipo A y B en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Los valores calculados de erosividad oscilan entre 18,662 MJ.mm/ha.h.año y 3,700.35 MJ.mm/ha.h.año.

Se infiere que a mayor precipitación pluvial se da un incremento en el índice de erosividad con un grado de asociación lineal de 0.92.

Las estaciones meteorológicas Mi Ilusión en el departamento de El Petén y Puerto Barrios en Izabal presentaron los valores mayores; las estaciones Amates en Izabal, El Porvenir en El Petén, las Vegas en Izabal y Cobán en Alta Verapaz presentaron los valores menores, a las estaciones Mariscos en Izabal y Panzós en Alta Verapaz corresponden los intermedios.

## I. INTRODUCCION

Si consideramos que de 264,000 millones de metros cúbicos de agua que se precipitan anualmente en Guatemala, el 74.63 por ciento escurre hacia los ríos que arrastra hasta los océanos un 50 por ciento o más de volumen de suelo (3), y que entre los años de 1950 y 1981 el área forestal ha disminuído en un 25.10 por ciento (2), es evidente la necesidad de poner en marcha medidas de conservación del recurso suelo.

De acuerdo a la posición geográfica y a las características orográficas, la región norte de Guatemala, es una de las que posee una elevada precipitación pluvial, por lo que es una región donde la erosión del suelo es un problema bastante serio.

Es necesario estudiar los factores de la erosión para predecir la cantidad de suelo perdido por causa del agua y poder contar con una base para seleccionar y planificar las prácticas de conservación del suelo, en función del efecto erosivo de la lluvia. Esto se calcula mediante la aplicación de la Ecuación Universal de predicción de Pérdida de Suelo, que considera el conocimiento de la capacidad de las lluvias de causar erosión, así como de las características físicas y químicas del suelo, la longitud e inclinación de la pendiente, el manejo de los cultivos y las prácticas de control de la erosión, que facilitan la planificación de la conservación del suelo a fin de hacer uso racional de este recurso.

## II. OBJETIVO

Determinar el Índice de Erosividad de la lluvia o factor R, de la Ecuación Universal de predicción de Pérdida de Suelo, correspondiente a las estaciones meteorológicas localizadas en la región norte de Guatemala, que comprende los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal y El Petén.

### III. REVISION DE LITERATURA

#### 1. DEGRADACION DE LOS SUELOS

Se define como "un proceso que disminuye la capacidad potencial del suelo para producir cuantitativa y cualitativamente bienes y servicios". Existen cinco categorías de degradación del suelo que son: erosión hídrica, erosión eólica, degradación química, degradación física y degradación biológica; siendo la erosión hídrica la más importante para Guatemala.

#### 2. EROSION HIDRICA

Es la capacidad potencial de la lluvia para provocar el arrastre o transporte de partículas del suelo y así causar la erosión. Esta capacidad potencial es debida a la energía de la lluvia, la cual está en función de las características físicas de la misma (1).

La erosión es una remoción del suelo provocada por el efecto de la dispersión que ejercen las gotas de lluvia y el movimiento del agua. Lo mismo indica Paulet (12) sobre el impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial del agua en el proceso erosivo. Según Riquier (13), es una degradación del suelo que disminuye cuantitativamente y cualitativamente la capacidad de producción del suelo.

Se conocen varias formas de erosión hídrica como la erosión por salpicadura: al chocar las gotas de lluvia contra el suelo. La erosión laminar: que consiste en la remoción de capas delgadas y más o menos uniformes de suelo sobre toda una área. La erosión en surcos: que ocurre cuando por pequeñas irregularidades en la pendiente del terreno la esorrentía se concentra en algunos sitios hasta adquirir volumen y velocidad suficientes para hacer cortes y formar canalículos en el terreno. La erosión en zanjones o cárcavas: que se presenta generalmente cuando hay una gran concentración de la esorrentía en determinadas zonas del terreno y permite que año tras año vayan ampliándose los surcos formados por la acción de esas corrientes de gran volumen y velocidad (10).

#### 3. CARACTERISTICAS FISICAS DE LA LLUVIA

Las características físicas relacionadas con la erosión hídrica según Hudson, 1971 son: La cantidad de la lluvia, la intensidad de la lluvia, el tamaño de las go-

tas de lluvia, distribución del tamaño de las gotas, la velocidad final de las gotas de lluvia (1,15) y forma de las gotas de lluvia (15).

### 3.1 LA CANTIDAD DE LA LLUVIA

Aunque existe una relación directa entre la cantidad de la lluvia y la cantidad de suelo erosionado, la correlación entre las dos variables es baja, por lo que hay que considerar las otras características físicas de la lluvia (15).

### 3.2 LA INTENSIDAD DE LA LLUVIA

La intensidad de la lluvia es la tasa de cambio de una cantidad de lluvia en un tiempo determinado, expresada en mm/h; su cálculo es por medio de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P \times 60}{T}$$

Donde: I = Intensidad de la lluvia (mm/h)  
 P = Cantidad de la lluvia (mm)  
 T = Tiempo (minutos)

El análisis de intensidades se justifica porque en una misma lluvia de duración determinada, la cantidad de lluvia precipitada en una unidad de tiempo es variable (6).

Según Wischmeier y Smith (1), hay considerable evidencia de una asociación erosión-intensidad.

La intensidad de la lluvia tiene efectos sobre la erosión, puesto que el impacto de la lluvia sobre la superficie del suelo es mayor por unidad de tiempo a medida que aumenta la intensidad, además es la responsable del escurrimiento superficial (6).

### 3.3 EL TAMAÑO DE LAS GOTAS DE LLUVIA

Hudson (15), menciona que el tamaño de las gotas de lluvia varía dependiendo del tipo de lluvia. Existen variaciones en el tamaño de las gotas en una localidad, debido a influencias del viento, la evaporación y diferentes procesos en la formación de las gotas de lluvia; el tamaño superior de las gotas de lluvia parece ser de 5 mm de diámetro, ya que las gotas mayores se rompen al caer un gran número

de gotas pequeñas. Es así que Laws y Parsons (1), indican que el tamaño de las gotas de la lluvia influye en la velocidad final.

### 3.4 DISTRIBUCION DE TAMAÑOS DE GOTAS

En la distribución del tamaño de gotas se utiliza la mediana del diámetro de gotas, que se simboliza por  $D_{50}$ , tal que, la mitad del volumen de la lluvia cae con gotas de diámetro menor y la otra mitad con diámetro mayor que es obtenida de una gráfica que muestra la relación de volúmenes acumulados, según figura 1.

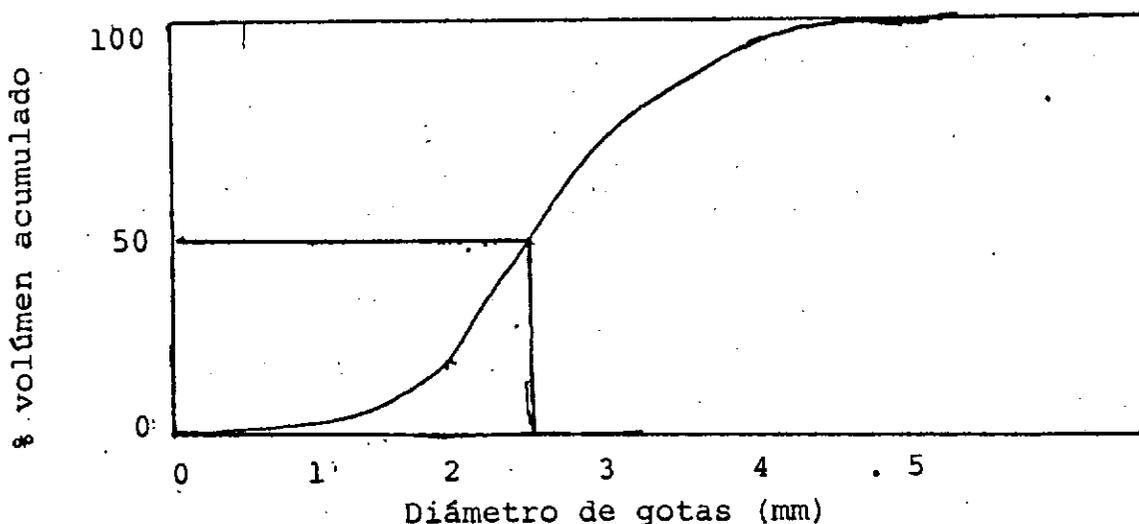


Figura 1. Método para encontrar la mediana del diámetro de gotas ( $D_{50}$ ) (Hudson, 1971) (1)

Laws y Parsons en 1934 y Hudson en 1971, desarrollaron la siguiente fórmula para determinar la mediana del diámetro de las gotas de lluvia:

$$D_{50} = 2.323 I^{0.182}$$

Donde:  $D_{50}$  = Mediana del diámetro de gotas (mm)  
 $I$  = Intensidad de la lluvia (pulg/h) (1).

Macgregor y Mutchler en 1977 desarrollaron para condiciones de lluvia tropical la siguiente ecuación exponencial:

$$D_{50} = 2.76 + 11.4e^{-1.04 I} - 13.16e^{-1.17 I}$$

Donde: D = Mediana del diámetro de las gotas (mm)  
 e = Base de los logaritmos neperianos  
 I = Intensidad (pulg/h) (1).

La relación entre el tamaño de las gotas y la intensidad han sido descritas por varios investigadores como Laws y Parsons en 1943 y Best en 1950, quienes señalan una relación directa entre el tamaño de las gotas de lluvia y la intensidad (1.15).

### 3.5 LA VELOCIDAD FINAL DE LAS GOTAS DE LLUVIA

Esta es la velocidad máxima que pueden alcanzar las gotas de lluvia basada en la caída libre de los cuerpos (1).

### 3.6 FORMA DE LAS GOTAS DE LLUVIA

Las gotas de lluvia alcanzan una forma estable después que han conseguido su velocidad final, ya que cuando golpean la superficie de la tierra, éstas no son esféricas debido a la diferencia en la presión del aire (15).

## 4. LA ENERGÍA DE LA LLUVIA

La erosión es un proceso físico que requiere de energía para romper los agregados del suelo, dispersarios, causar turbulencia en el escurrimiento superficial y transportar las partículas desprendidas (1).

Wischmeier y Smith (1958), basados en los datos de distribución de tamaños de gotas, publicados por Laws y Parsons, (1941), Gun y Kinzar (1949) (1), llegaron a la ecuación que relaciona a la energía cinética con la intensidad de la lluvia:

$$EC = 210.3 + \log 10^I$$

Donde: EC = Energía cinética de la lluvia o energía instantánea (Joules x 10<sup>3</sup>/ha.cm)  
 I = Intensidad (cm/h) (1).

## 5. TOLERANCIA DE PERDIDA DE SUELO

La tolerancia de pérdida de suelo es la cantidad mínima expresada en toneladas por hectárea por año, que un suelo puede perder sin dejar por ello de conser-

var su capacidad productiva (4).

En los Estados Unidos se considera una tolerancia aceptable la de 1.1 Kg/m<sup>2</sup>/año, en condiciones favorables de suelo para el crecimiento de las plantas.

El establecimiento de tolerancia para suelos han sido materia de juicio colectivo para su determinación en el que se han considerado factores físicos y económicos, llegando a la conclusión que las pérdidas máximas permisibles varían de 1.5 a 12.5 ton/ha/año, dependiendo de las propiedades y profundidad del suelo, así como de su grado de erosión (12).

Cuadro 1. Lista de clases de degradación por erosión hídrica.

CATEGORIA O CLASES	PERDIDA DE SUELO	
	ton/ha/año	mn/año
Ninguna a ligera	Menos de 10	Menos de 0.6
Moderada	10 - 50	0.6 - 3.3
Alta	50 - 200	3.3 - 13.3
Muy alta	Más de 200	Más de 13.3

Fuente: Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. 1980. Roma, FAO; UNESCO (10).

## 6. PREDICCIÓN DE PERDIDA DE SUELO

Existen intentos para cuantificar los efectos de la erosión y poder llegar a predecirla. Uno de los enfoques para la predicción de la erosión anual es la del uso de la Ecuación Universal de predicción de Pérdida de suelo, que considera los factores que intervienen en el proceso de erosividad del agua de la lluvia y los evalúa cuantitativamente. Una de las variaciones de esta ecuación es el Sistema del Índice de Uso y Manejo de cultivos para suelos de ladera, desarrollado en Colombia, donde en base a este sistema se han caracterizado los suelos de las regiones cafetaleras (1).

### 6.1 ECUACION UNIVERSAL DE PREDICCIÓN DE PERDIDA DE SUELO

La erosión ocasionada por el agua, se predice por la Ecuación Universal de Predicción de Pérdida de Suelo. Esta ecuación se utiliza para predecir las pérdidas de suelo y para evaluar las prácticas de conservación del suelo (10). Fue diseñada como una herramienta de trabajo para conservacionistas y técnicos (Wisch-

meier, 1974) (1).

La ecuación básica es una ecuación sencilla que puede expresarse así:

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

- Donde: A = Pérdida de suelo por unidad de superficie expresada en ton/ha/año.  
 R = Erosividad, número de unidades índice de erosión en el período de que se trate. El índice de erosión es la medida de la fuerza erosiva de una lluvia determinada. MJ.mm/ha./h/año.  
 K = Erodabilidad del suelo, susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Ton. ha./ha. MJ. mm.  
 L = Longitud del declive. Adimensional.  
 S = Pendiente del declive. Adimensional.  
 C = Factor cultivo-explotación. Adimensional  
 P = Factor prácticas de conservación. Adimensional (10).

A la Ecuación Universal de predicción de Pérdida de Suelo se le llamó "Universal" porque estaba exenta de algunas de las generalizaciones y restricciones geográficas y climáticas inherentes en otros modelos utilizados anteriormente a su surgimiento (8).

Es necesario conocer las limitaciones del modelo para su aplicación. La ecuación predice pérdidas promedio en período mayores y un determinado año o tormenta. También predice pérdidas debidas a erosión laminar o en pequeños surcos, pero es incapaz de ponderar pérdidas por erosión en cárcavas (7).

## 6.2 INDICE DEL USO Y MANEJO DEL SUELO

Es un sistema cualitativo, no cuantitativo para facilitarle al técnico la determinación de las prácticas de conservación de suelos en ladera. Desarrollada en Colombia hace uso de los siguientes valores:

$$I U M = I P E \times G C$$

- Donde: I U M = Índice del Uso y Manejo del Suelo  
 I P E = Índice potencial de erosión  
 G C = Grado de desprotección de los grupos de cultivos.

El grado de cobertura vegetal y las prácticas culturales varían entre límites de 1.0 para bosques y 5.0 para los cultivos limpios.

El índice potencial erosivo se estima así:

$$I P E = A \times S$$

Donde:

A = Erosividad de la lluvia, de Wischmeier

S = Susceptibilidad del suelo a la erosión (1).

## 7. INDICE DE EROSIVIDAD (R)

La función del factor R, erosividad de la lluvia es cuantificar las fuerzas erosivas interrelacionadas con la lluvia y el escurrimiento. Wischmeier en 1972 menciona que los requisitos del índice de erosividad son definibles para tormentas y períodos específicos y anual, predecible en base a probabilística a partir de datos meteorológicos y la evaluación estacional o anual debe ser calculada con las lluvias erosivas.

El factor lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo en un terreno sin protección (1).

Este factor se expresa en unidades del índice de erosividad de la lluvia en base a la ecuación:

$$R = E \times I_{30}$$

El  $E \times I_{30}$  es definido como el producto de la energía cinética total de la lluvia máxima en 30 minutos ( $I_{30}$ ). Este producto se divide entre 100:

$$R = \frac{EC_T \times I_{30}}{100}$$

Donde: R = Índice de erosividad de Wischmeier (unidades de índice de erosividad).

$EC_T$  = Energía cinética total de la lluvia, expresada en Joules  $\times 10^3$ /ha.

$I_{30}$  = Intensidad máxima en 30 minutos, expresada en cm/ha (1).

El cálculo de la erosividad de la lluvia se debe expresar como promedio de un período de varios años y representa la capacidad erosiva de las lluvias para el lugar en que se ha realizado el análisis.

La energía cinética total de la lluvia es obtenida al sumar la energía cinética de los segmentos de las bandas de registro de lluvia con intensidad diferente, de la siguiente forma:

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

Donde:  $EC_T$  = Energía cinética total de la lluvia. Joules  $\times 10^3$ /ha.

$EC_i$  = Energía cinética de lluvia con intensidad homogénea  $i$ . Joules  $\times 10^3$ /ha  $\times$  cm.

$q_i$  = Cantidad o lámina de lluvia que ocurrió a la intensidad  $i$ .

$i$  = Número de segmentos de lluvia con intensidad diferente.

$EC_i$  es calculada de acuerdo con la ecuación de la energía cinética de la lluvia o energía instantánea.

## 8. PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE R

De un pluviograma se registran las láminas de agua caída y tiempos en que la curva cambia de pendiente, por diferencia se calculan los intervalos de tiempo y altura, la intensidad correspondiente y la energía por centímetro y por período. La suma de los incrementos de energía en toda la lluvia constituye el valor de  $E$ . Luego se determina el valor de  $I_{30}$  buscando la mayor altura caída en un período continuo de 30 minutos. El producto de  $E$  por  $I_{30}/100$  constituye el valor  $EI_{30}$  para todas las lluvias en el año es el factor  $R$  (12).

## 9. DISTRIBUCION PROMEDIO MENSUAL DEL INDICE DE EROSIVIDAD

Se expresa gráficamente utilizando los porcentajes acumulados del valor anual de  $R$  y nos sirve para la planificación del uso de los suelos de acuerdo a los diferentes índices de erosividad, ya que son diferentes a lo largo de todo el año (12, 14).

Para obtener el factor  $C$  de la Ecuación Universal de la Pérdida del Suelo en una rotación de cultivos, el ciclo se divide en cinco etapas para las que se de-

termina el porcentaje del índice de erosividad en la curva de distribución promedio mensual, este valor se multiplica por la pérdida de suelo correspondiente y el resultado es el valor C. La suma de los valores de cada etapa se dividen entre el número de años de la rotación y el resultado es el valor C promedio anual (11).

#### IV. METODOLOGIA

1. Para la determinación del factor "R" Índice de erosividad de la lluvia, es necesario el uso de datos de las estaciones meteorológicas tipo A y B existentes para la zona (ver mapa en anexos; figura 10), por lo que se visitó el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
2. Los registros utilizados corresponden a datos en gráficas diarias con uno o varios eventos de lluvia.
3. Los períodos que no registraron precipitaciones en la gráfica se descartaron y ya que no todas ellas tienen características erosivas, se eliminaron aquellas menores o iguales a láminas de 13 milímetros, separadas de otro período de lluvia por más de 6 horas y también aquellas lluvias menores o iguales a láminas de 6 milímetros separadas por períodos de tiempo mayores de 15 minutos (15).
4. De cada gráfica correspondiente a un evento de lluvia, se dividió en segmentos con intensidad diferente o uniformes para la determinación de la energía cinética.
5. Para cada uno de los segmentos con intensidad diferente  $i$ , se calculó la energía cinética haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$EC_i = 0.119 + 0.0873 \text{ Log}_{10} x$$

Donde:  $EC_i$  = energía cinética del segmento de lluvia con intensidad  $i$ , expresada en MJ/ha.mm.

$x$  = Intensidad de la lluvia en el segmento, expresada en mm/h.

6. Cuando la intensidad excedió a los 76 mm/h, se asumió una energía cinética de 0.283 MJ/ha.mm.
7. La energía cinética total de la lluvia es igual a la suma de la energía cinética de los segmentos de lluvia con intensidades diferentes, de tal manera que si se tienen segmentos con intensidades  $i$ , la  $EC_t$  se calculó mediante la si-

guiente ecuación:

$$ECt = \sum_i^n ECi \times qi$$

Donde: ECt = energía cinética total de la lluvia, expresada en MJ.mm/ha.h.

qi = Cantidad de la lluvia que ocurrió a la intensidad i, expresada en mm.

i = número de segmentos de lluvia con intensidad diferente.

ECi = Energía cinética del segmento de lluvia con intensidad i, expresada en MJ/ha.mm.

8. Luego de calculada la energía cinética total, se procede a determinar la intensidad máxima en 30 minutos  $I_{30}$ , la cual se define como el doble de la mayor cantidad de lluvia que cae en un intervalo de 30 minutos consecutivos, por lo que para su determinación se buscó la parte de la curva en la gráfica del pluviograma que tenga mayor pendiente, en una porción de tiempo equivalente a 30 minutos; el resultado obtenido se multiplica por dos para expresar los datos en milímetros por hora.
9. Se establece un límite de 63.5 mm/h, para el componente  $I_{30}$ , (11).
10. Se usó la metodología propuesta por Wischmeier y Smith en 1958, la cual utiliza los datos anteriores como sigue:

$$EI_{30} = ECt \times I_{30}$$

Donde:  $EI_{30}$  = índice de erosividad de la lluvia, expresado en MJ.mm/ha.h.

ECt = energía cinética total de la lluvia, expresada en MJ/ha.

$I_{30}$  = intensidad máxima en 30 minutos, expresada en mm/h.

11. El valor de R se obtiene sumando los valores de  $EI_{30}$  por el período de tiempo analizado, dividido dentro el número de años evaluados, para obtener un promedio de R expresado en MJ.mm/ha.h.año.

## V. RESULTADOS

CUADRO 2. Ubicación geográfica e Índice de la erosividad de la lluvia de las estaciones de la región norte de Guatemala.

Estación	Latitud	Longitud	Elevación	R estimado	Años de
Departamento	G M S	G M S	m s n m	MJ.mm/ha.h.	Registro
Mi Ilusión El Petén	15 55 15	89 14 00	10	18662.228	5
Pto. Barrios Izabal	15 44 16	88 35 30	2	15022.638	10
Mariscos Izabal	15 25 26	89 04 54	1	11411.539	11
Panzós Alta Verapaz	15 23 50	89 38 25	30	11070.324	13
Amates Izabal	15 15 55	89 05 44	76	8245.380	10
El Porvenir El Petén	16 31 00	90 29 08	125	5777.464	12
Las Vegas Izabal	15 36 00	88 58 00	10	5540.449	7
Cobán Alta Verapaz	15 28 00	90 24 27	1323	3700.351	11

CUADRO 3. Datos climáticos de las estaciones meteorológicas de la región norte de Guatemala

Estación Departamento	Precipitación pluvial		Evapotranspiración potencial		Temperatura media anual	Humedad relativa		
	mm.	años de registro	mm.	años de registro	°C	%	años de registro	
Mi Ilusión Petén	3835.80	17	1733.20	10	26.60	14	81	14
Pto. Barrios Izabal	3227.80	15	1168.50	10	25.50	13	84	14
Mariscos Izabal	2464.90	15	1742.10	10	26.30	16	81	13
Panzós Alta Verapaz	2215.80	18	1687.10	10	26.10	17	81	17
Amates Izabal	1807.50	15	1833.20	10	27.00	17	77	13
El Porvenir Petén	1747.00	18	1545.40	10	24.60	18	85	15
Las Vegas Izabal	1777.60	10	1696.30	10	26.90	14	83	14
Cobán Alta Verapaz	2074.90	16	1250.20	10	17.50	17	88	16

CUADRO 4. Índice de erosividad de la lluvia, Estación Mi Ilusión, promedio de 5 años de registro, expresado en MJ.mm./ha.h.

Mes	$\bar{X}$ mensual Factor R	% mensual Factor R	% acumulado Factor R
Enero	323.890	1.735	1.735
Febrero	137.148	0.739	2.470
Marzo	902.799	4.873	7.308
Abril	293.930	1.575	8.883
Mayo	917.083	4.914	13.797
Junio	3742.406	20.053	33.850
Julio	2989.997	16.021	49.021
Agosto	2590.843	13.882	63.754
Septiembre	2973.781	15.934	79.688
Octubre	950.380	5.092	84.780
Noviembre	896.346	4.803	89.584
Diciembre	1943.945	10.416	100.000
	18662.558	100.000	

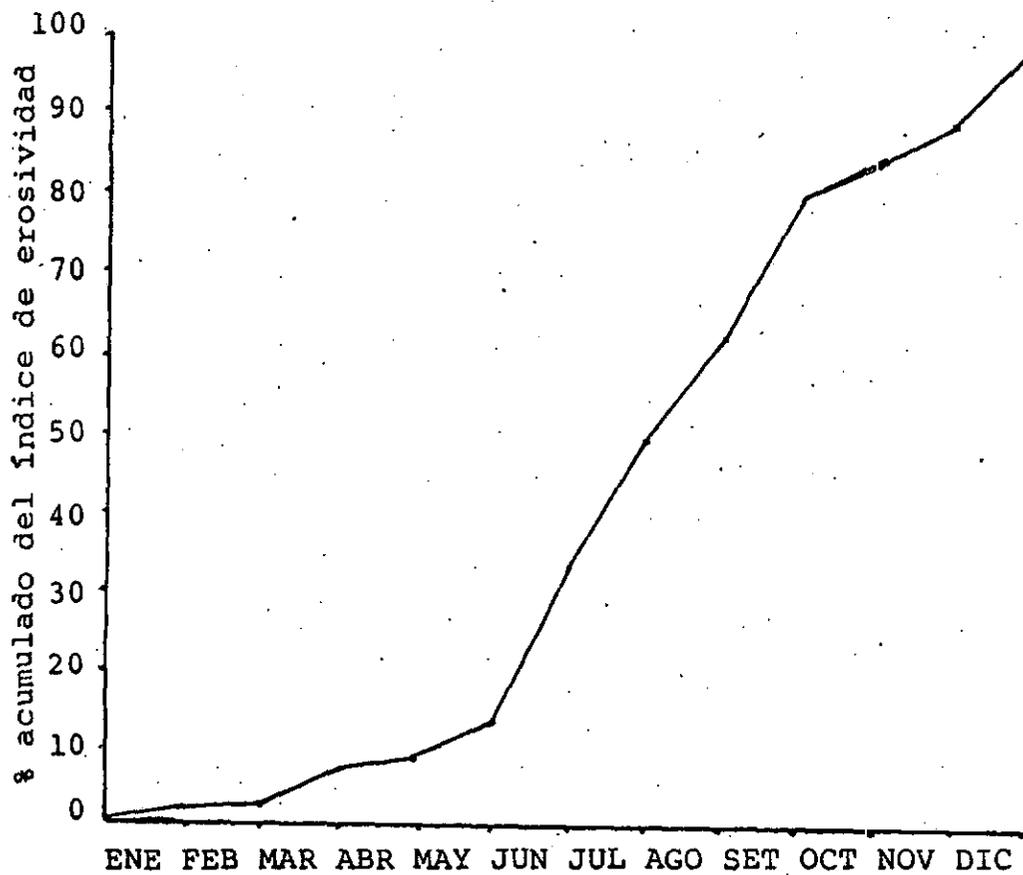


Figura 2. Distribución mensual del índice de erosividad. para la estación Mi Ilusión.

**CUADRO 5. Índice de erosividad de la lluvia, Estación Puerto Barrios, promedio de 10 años de registro, expresado en MJ.mm/ha.h.**

Mes	$\bar{X}$ mensual Factor R	% mensual Factor R	% acumulado Factor R
Enero	903.328	6.013	6.013
Febrero	536.597	3.586	9.581
Marzo	605.016	4.027	13.608
Abril	682.408	4.543	18.151
Mayo	935.237	6.225	24.376
Junio	1875.448	12.484	36.860
Julio	1602.446	10.669	47.529
Agosto	2267.710	15.095	62.625
Septiembre	1255.897	8.360	70.985
Octubre	1630.854	10.856	81.841
Noviembre	1625.357	10.819	92.660
Diciembre	1102.341	7.338	99.998
	15022.638	99.998	

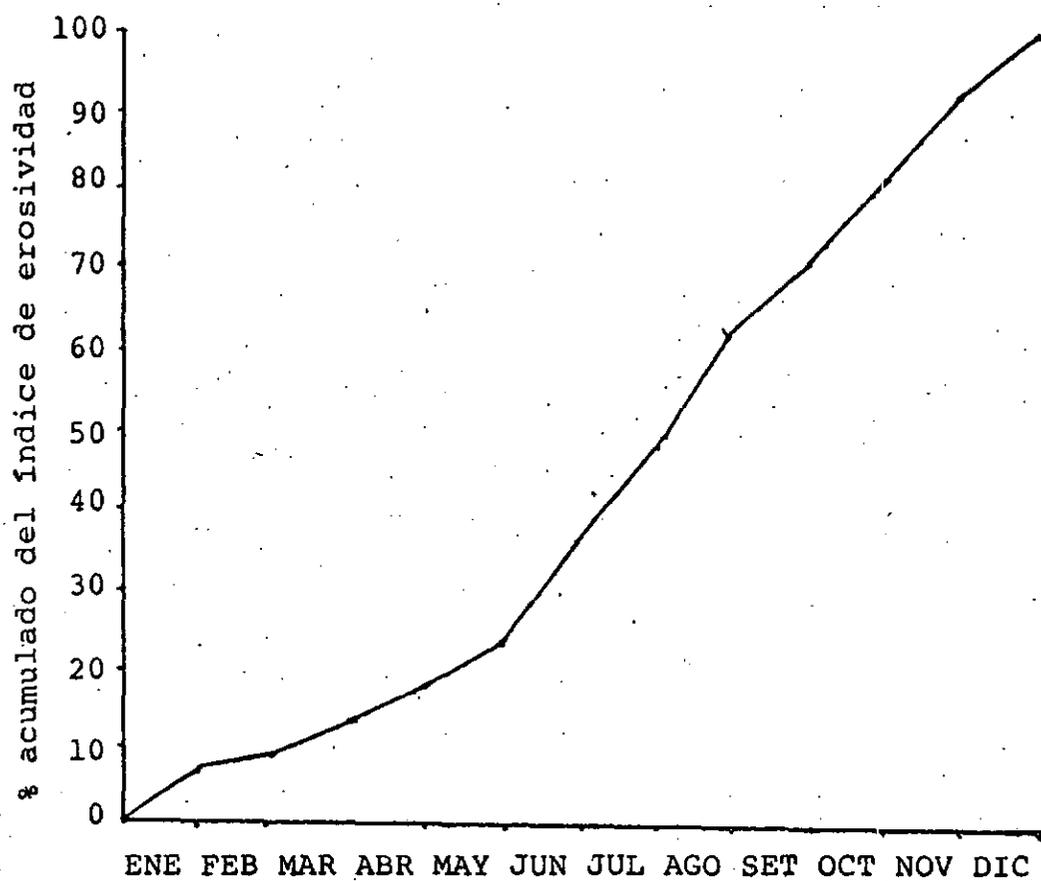


Figura 3. Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Puerto Barrios.

CUADRO 6. Índice de erosividad de la lluvia, Estación Mariscos, promedio de 11 años de registro, expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{X}$ mensual Factor R	% mensual Factor R	% acumulado Factor R
Enero	573.833	5.029	5.029
Febrero	184.538	1.617	6.029
Marzo	243.154	2.130	8.776
Abril	869.376	7.619	16.395
Mayo	584.965	5.126	21.521
Junio	1405.807	12.319	33.340
Julio	1321.336	11.579	45.419
Agosto	1442.296	12.639	58.058
Septiembre	1896.417	16.618	74.676
Octubre	1253.066	10.981	85.657
Noviembre	870.438	7.628	93.285
Diciembre	766.313	6.715	100.000
	11411.539	100.000	

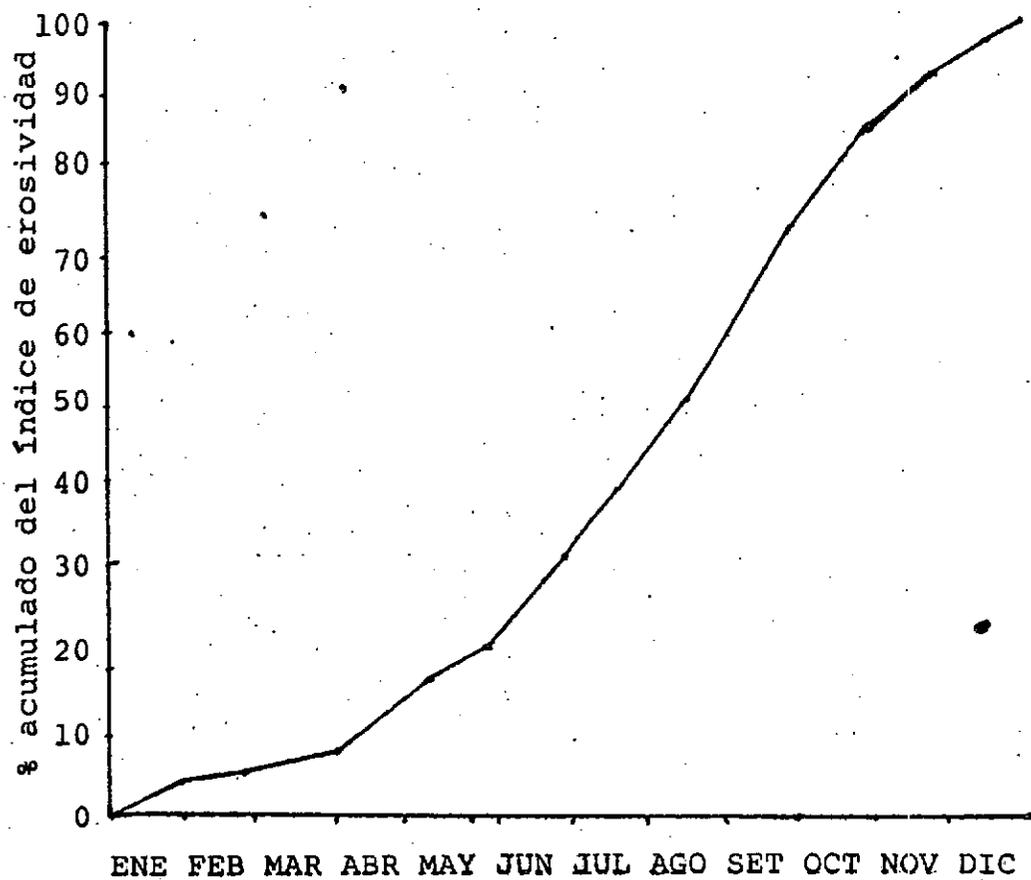


Figura 4. Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Mariscos.

CUADRO 7. Índice de erosividad de la lluvia, Estación Panzós, promedio de 13 años de registro, expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{X}$ mensual Factor R	% mensual Factor R	% acumulado Factor R
Enero	175.261	1.583	1.583
Febrero	67.238	0.607	2.190
Marzo	94.905	0.854	3.045
Abril	98.905	0.893	3.938
Mayo	913.117	8.248	12.183
Junio	1513.420	13.671	25.857
Julio	2732.449	24.683	50.540
Agosto	2182.611	19.716	72.256
Septiembre	2289.944	20.685	90.941
Octubre	663.649	5.995	96.936
Noviembre	286.749	2.590	99.526
Diciembre	52.439	0.474	100.000
	11070.324	100.000	

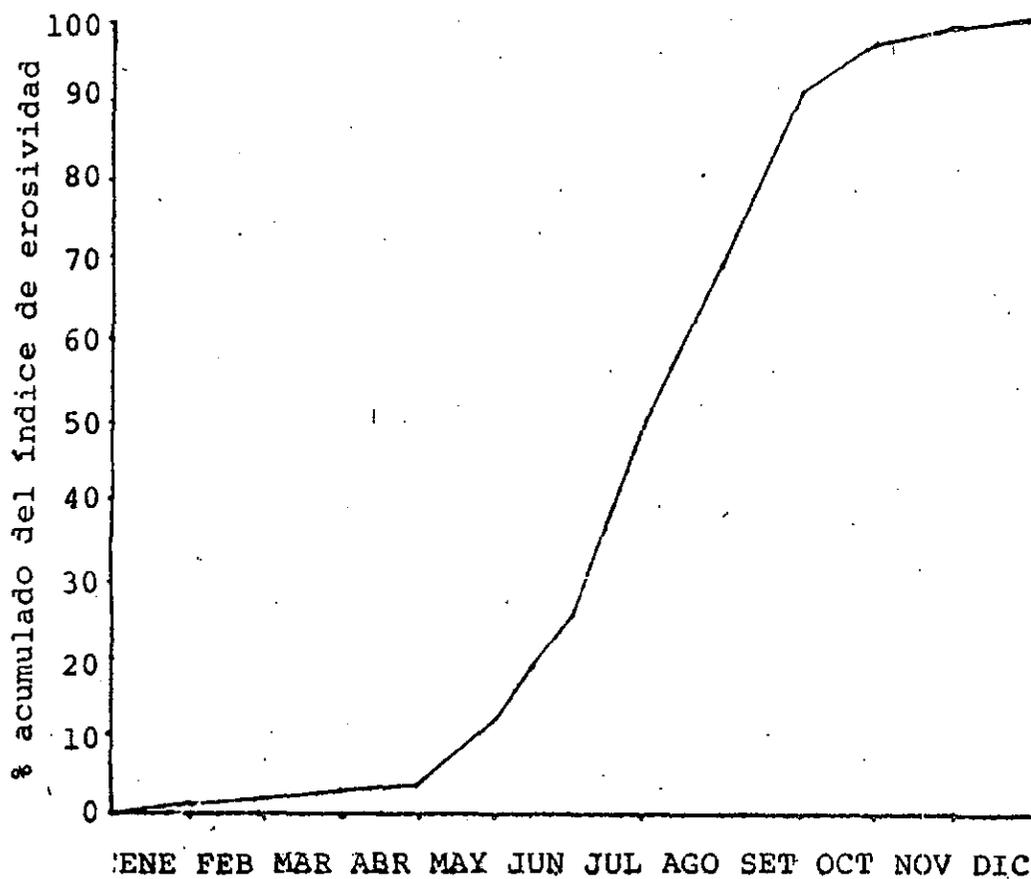


Figura 5. Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Panzós

CUADRO 8. Índice de erosividad de la lluvia, Estación Amates, promedio de 13 años de registro, expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{X}$ mensual Factor R	% mensual Factor R	% acumulado Factor R
Enero	230.404	2.790	2.790
Febrero	222.673	2.700	5.490
Marzo	59.196	0.720	6.210
Abril	411.916	4.990	11.210
Mayo	727.993	8.829	20.040
Junio	1788.080	21.690	41.730
Julio	757.728	9.190	50.910
Agosto	1549.333	18.790	69.700
Septiembre	1402.686	17.012	86.712
Octubre	748.349	9.076	95.788
Noviembre	253.690	3.077	98.865
Diciembre	93.331	1.132	99.999
	8245.380	99.999	

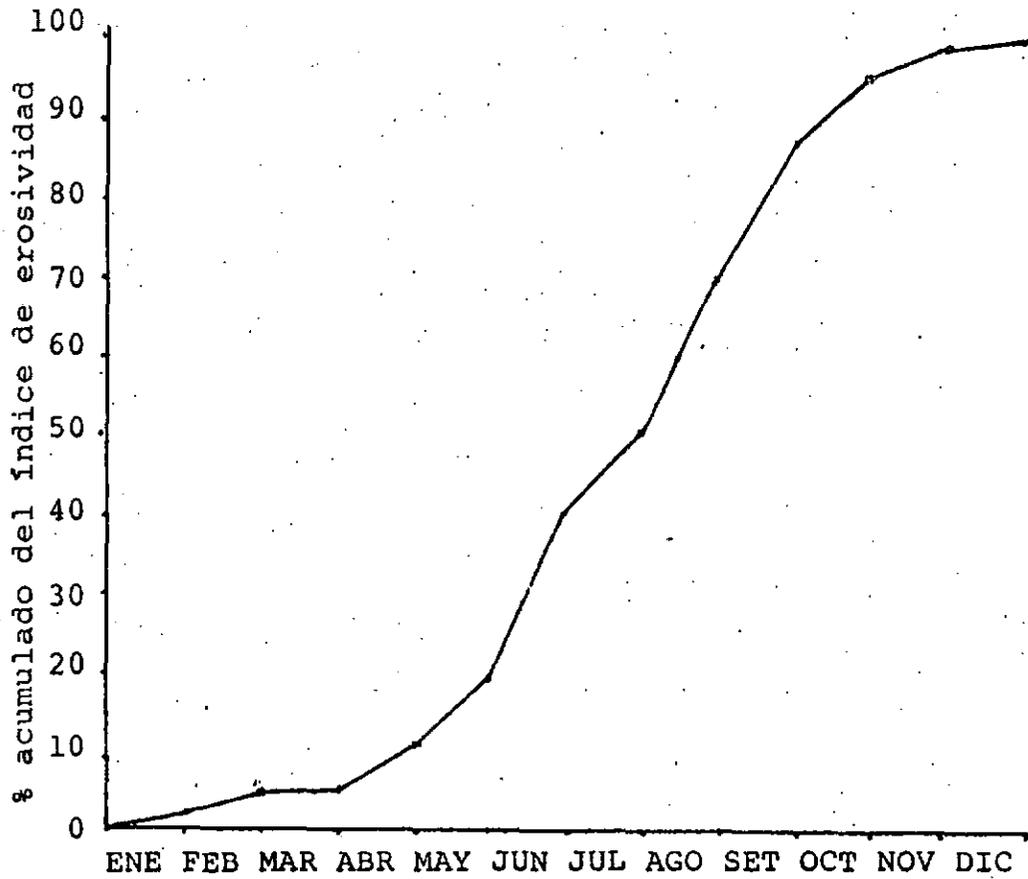


Figura 6. Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Amates.

CUADRO 9. Índice de erosividad de la lluvia, Estación El Porvenir, promedio de 12 años de registro, expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{X}$ mensual Factor R	% mensual Factor R	% acumulado Factor R
Enero	0.000	0.000	0.000
Febrero	3.854	0.067	0.067
Marzo	0.000	0.000	0.067
Abril	121.937	2.111	2.177
Mayo	577.564	9.997	12.174
Junio	1133.895	19.636	31.800
Julio	844.679	14.620	46.420
Agosto	796.708	13.798	60.210
Septiembre	1135.370	19.652	79.862
Octubre	939.747	12.804	92.666
Noviembre	250.981	4.344	97.999
Diciembre	172.729	2.990	99.999
	5777.464	99.999	

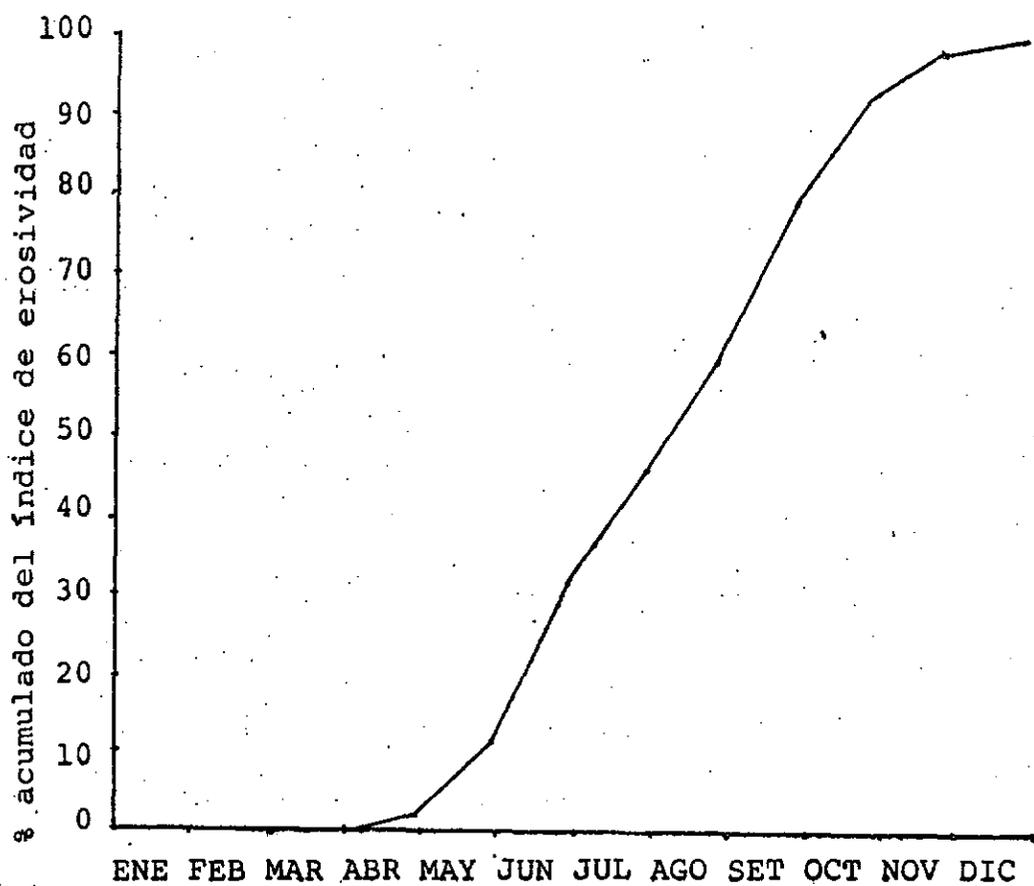


Figura 7. Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación El Porvenir,

CUADRO 10. Índice de erosividad de la lluvia, Estación Las Vegas, promedio de 7 años de registro, expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{X}$ mensual Factor R	% mensual Factor R	% acumulado Factor R
Enero	162.199	2.928	2.928
Febrero	163.932	2.959	5.886
Marzo	102.012	1.841	7.727
Abril	101.954	1.840	9.568
Mayo	366.950	6.623	16.191
Junio	1131.804	20.428	36.619
Julio	525.305	9.481	46.100
Agosto	465.301	8.398	54.498
Septiembre	837.828	15.122	69.620
Octubre	134.515	2.428	72.048
Noviembre	1088.916	19.654	91.702
Diciembre	459.733	8.298	99.999
	5540.449	99.999	

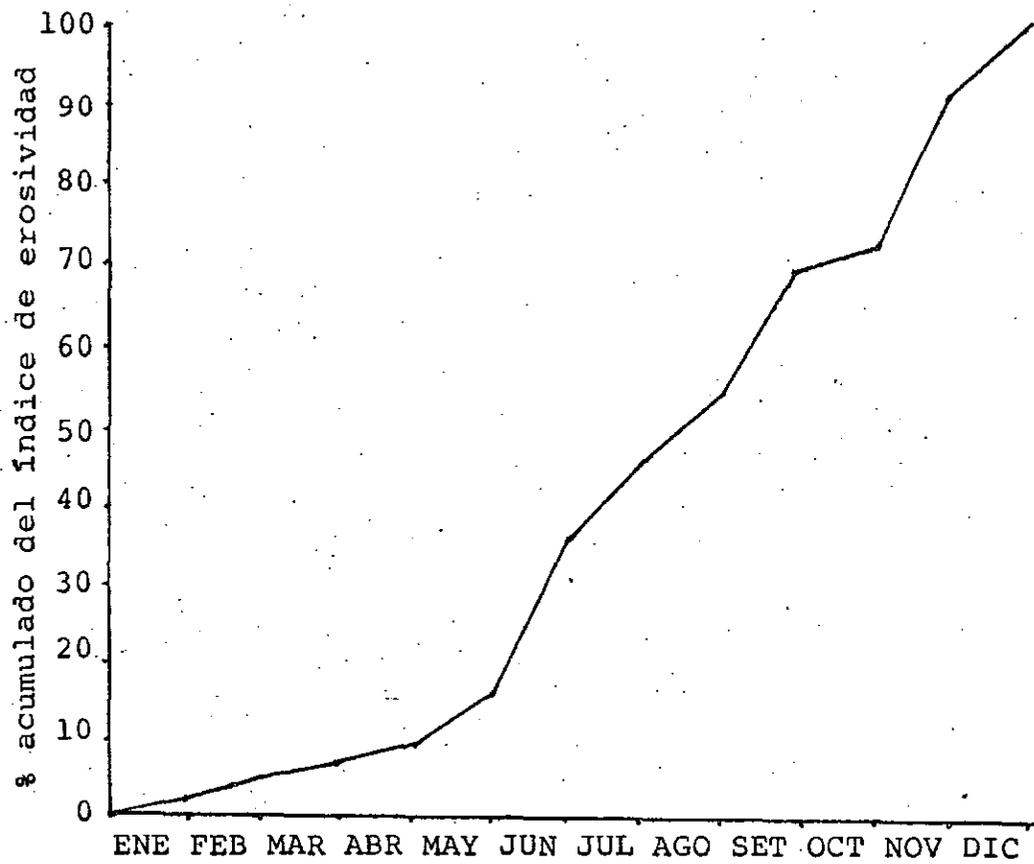


Figura 8. Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Las Vegas.

CUADRO 11. Índice de erosividad de la lluvia, Estación Cobán, promedio de 11 años de registro, Expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{X}$ mensual Factor R	% mensual Factor R	% acumulado Factor R
Enero	85.920	2.322	2.322
Febrero	35.711	0.965	3.287
Marzo	49.349	1.334	4.621
Abril	152.705	4.127	8.740
Mayo	415.123	11.218	19.966
Junio	639.884	16.860	36.826
Julio	102.678	2.775	39.600
Agosto	403.873	10.914	50.515
Septiembre	875.369	23.656	74.172
Octubre	575.011	15.539	89.654
Noviembre	182.903	4.943	100.000
	3700.351	100.000	

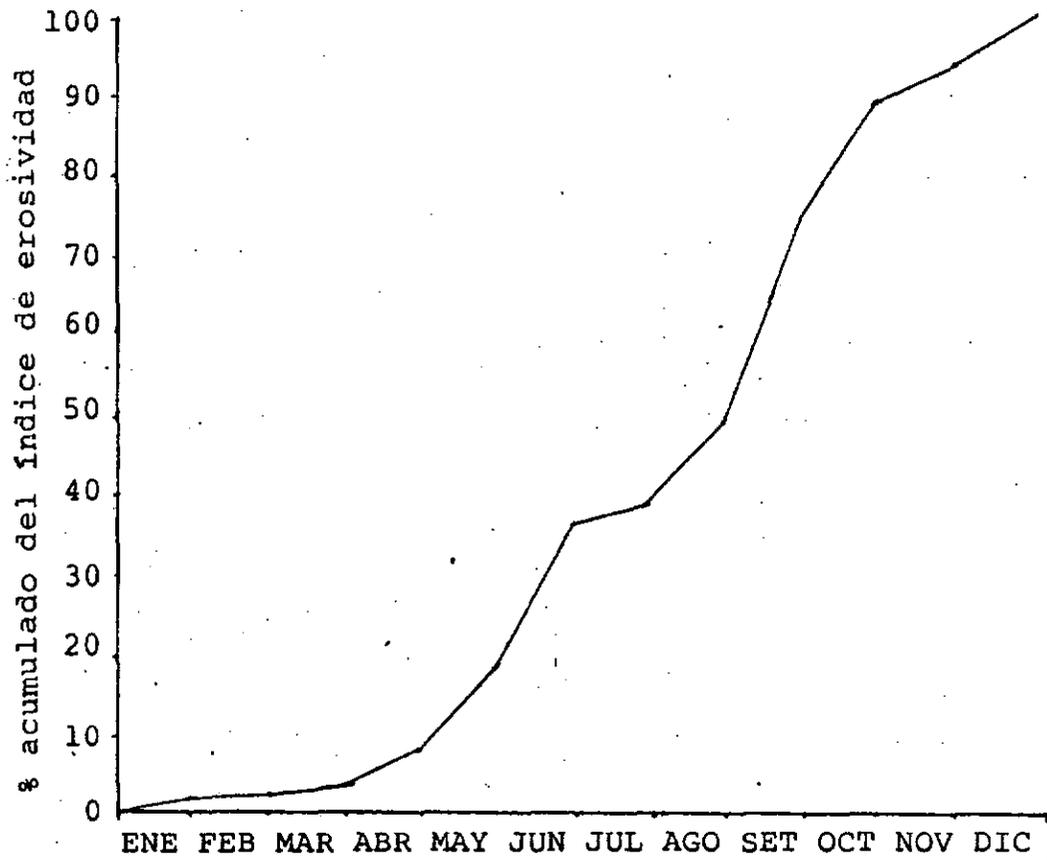


Figura 9. Distribución mensual del índice de erosividad, para la estación Cobán.

## VI. DISCUSION DE RESULTADOS

En los departamentos analizados, sólo en Baja Verapaz no se encontró estación con registros pluviográficos diarios. En Izabal se encontraron las estaciones: Mariscos, Puerto Barrios, Las Vegas y Amates. En Alta Verapaz las estaciones: Cobán y Panzós. En El Petén: El Porvenir y Mi Ilusión.

Se da una alta relación lineal entre la precipitación pluvial y el factor índice de erosividad de la lluvia con un coeficiente de correlación de 0.92.

En las estaciones pluviográficas evaluadas se obtuvo un valor descendente del factor "R", índice de erosividad de la lluvia, en el siguiente orden: Mi Ilusión, Puerto Barrios, Mariscos, Panzós, Amates, El Porvenir, Las Vegas y Cobán.

Para la estación Mi Ilusión en el departamento de El Petén, se establece en junio el mayor índice de erosividad de la lluvia con un valor de 3,742.406 MJ.mm/ha.h.año. De junio a septiembre se reportan los mayores índices de erosividad con un 65.89% del total anual.

Para la estación Puerto Barrios en el departamento de Izabal, se establece en agosto el mayor índice de erosividad de la lluvia con un valor de 2,267.710 MJ.mm/ha.h.año y en febrero el menor, con 536.597 MJ.mm/ha.h.año. De junio a octubre se reportan en esta estación los mayores índices de erosividad con un 68.28% del total anual.

Para la estación Mariscos en el departamento de Izabal, se establece en septiembre el mayor índice de erosividad de la lluvia con un valor de 1,896.066 MJ.mm/ha.h.año y en febrero el menor con 184.538 MJ.mm/ha.h.año. De junio a octubre se reportan los mayores índices de erosividad con un 64.136% del total anual.

Para la estación Panzós en el departamento de Alta Verapaz, se establece en julio el mayor índice de erosividad de la lluvia con un valor de 2,732.449 MJ.mm/ha.h.año y en diciembre el menor con 52.439 MJ.mm/ha.h.año. De junio a septiembre se reportan los mayores índices de erosividad con un 78.755% del total anual.

Para la estación Amates en el departamento de Izabal, se establece en junio el mayor índice de erosividad de la lluvia con un valor de 1,788.080 MJ.mm/ha.

h.año y en marzo el menor con 59.196 MJ.mm/ha.h.año. De junio a septiembre se reportan los mayores índices de erosividad con un 66.68% del total anual.

Para la estación El Porvenir en el departamento de El Petén, se establece en septiembre el mayor índice de erosividad de la lluvia con un valor de 1,135.370 MJ.mm/ha.h.año, seguido de septiembre y junio con 1,133.895 MJ.mm/ha.h.año y en el mes de enero y febrero los menores con 0.00 en cada uno. De junio a octubre se reportan los mayores índices de erosividad de la lluvia con un 80.5% del total anual.

Para la estación Las Vegas en el departamento de Izabal, se da un comportamiento uniforme, a diferencia de los meses de junio, septiembre y noviembre, donde se reportan los valores más altos que son: 1,131.804, 837,828 y 1,088.916 respectivamente.

Para la estación Cobán en el departamento de Alta Verapaz, se establece en septiembre el mayor índice de erosividad de la lluvia con un valor de 875.369 MJ.mm/ha.h.año y el menor en febrero con 35.711 MJ.mm/ha.h.año. De mayo a octubre se reportan los mayores índices de erosividad con un 80.962% del total anual.

## VII. CONCLUSIONES

Se determinó el Índice de Erosividad de la lluvia o factor R, de la Ecuación Universal de predicción de Pérdida de Suelo, para las estaciones meteorológicas localizadas en la región norte de Guatemala obteniéndose los siguientes valores:

Estación Mi Ilusión:	18,662.228	MJ.mm/ha.h.año
Estación Puerto Barrios	15,022.638	MJ.mm/ha.h.año
Estación Mariscos	11,411.539	MJ.mm/ha.h.año
Estación Panzós	11,070.324	MJ.mm/ha.h.año
Estación Amates	8,245.380	MJ.mm/ha.h.año
Estación El Porvenir	5,777.464	MJ.mm/ha.h.año
Estación Las Vegas	5,540.449	MJ.mm/ha.h.año
Estación Cobán	3,700.351	MJ.mm/ha.h.año

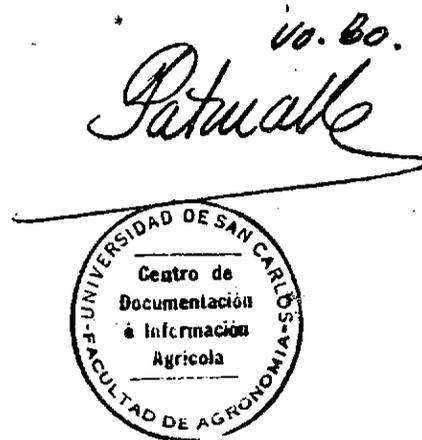
#### VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda determinar los demás factores que componen la Ecuación Universal de predicción de Pérdida de Suelo, para la región Norte de Guatemala.

## IX. BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS ROJO, H.M. 1980. El factor "R" de la ecuación universal de pérdida de suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis Mag.Sc. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados. 115 p.
2. CASTAÑEDA, L. et al. 1983. Diagnóstico de la situación de los recursos naturales renovables de Guatemala. Tikalia (Gua.) 2(1): 93-97.
3. EROSION; ENEMIGO Público No. 1 de la agricultura guatemalteca. 1981. Nuestro Campo (Gua.) 1(1): 19-21.
4. FAO (Italia). 1965. La erosión del suelo por el agua. Roma. p.161-178.
5. FOSTER, G. et al. 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of Soil & Water Conservation 36(6): 355-359.
6. INTENSIDADES MAXIMAS y erosividad de las lluvias en la república Dominicana: información y procedimientos. 1982. Santo Domingo, IICA. p.41-44.
7. KOOLHASS, M.H. 1977. La ecuación universal de pérdida de suelo. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Boletín No. 130. 31p.
8. KIRBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. 1984. Erosión de los suelos. México, D.F., Limusa. p. 41-44.
9. MANUAL DE conservación de suelos y del agua. 1979. Chapingo, Colegio de Postgraduados. 584 p.
10. METODOLOGIA PROVISIONAL para la evaluación de la degradación de suelos. 1980. Roma, FAO; UNESCO. p. 1-13.
11. MITCHEL, J. K.; BUBENZER, G. D. 1984. Estimación de la pérdida de suelo. In Erosión de suelos. Eds. Kyrkby, M. J. y Morgan, R.P.C. México, Limusa, p. 35-88.
12. PAULET ITURRI, M. 1973. Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 55 p.

13. RIQUIER, J. 1982. Evaluación Mundial de la Degradación de los Suelos. La naturaleza y sus Recursos (Francia) ,18(2): 19-23.
14. SANTA RODRIGUEZ, Q. 1980. Guía para el planeamiento del uso de las tierras de secano en la República Dominicana, Santo Domingo, Secretaría de Estado de Agricultura, Departamento de Tierras y Aguas. 86 p.
15. SOLANO DE LA SOLA TORRES, J. A. 1982. Efecto de la relación precipitación, escorrentía en el proceso erosivo en diferentes tipos de suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis Mag. Sc. Chapingo, México, Escuela de Postgraduados. 186 p.



X. ANEXOS

CUADRO 12. Factores de conversión del índice de erosividad anual, R.

De unidades del Sistema Internacional	A unidades del Sistema Inglés	Operación
$\frac{\text{megajoule.milimetre}}{\text{hectárea.hora.año}} \quad \frac{\text{MJ.mm}}{\text{ha.h.año}}$	$\frac{\text{Cientos de pies-tonf.pulgada}}{\text{acre.hora.año}}$	Dividir entre 17.02
$(\text{Ton x m/ha}) \times (\text{cm/hr}) \times 10^{-2}$	$\frac{\text{Cientos de pies-tonf.pulgada}}{\text{acre.hora.año}}$	Dividir entre 1.735

Fuente: Foster, G. et.al y Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. citados por Arias Rojo (1).

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apdo Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia  
Asunto 19 de octubre, 1988

"IMPRESA"  
1988 OCT 19



ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M.  
DECANO