

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

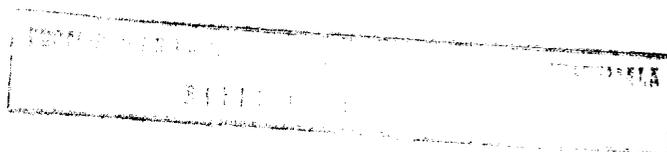
ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EROSIVIDAD DE  
LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA

T E S I S

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



LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS



TESIS DE REFERENCIA  
**NO**

SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA  
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.

Guatemala, 1988

DL  
01  
+ (1066)

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 M.
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Jorge Sandoval I.
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Mario Melgar
VOCAL CUARTO	Br. Mario Antonio Hidalgo
VOCAL QUINTO	P.A. Byron Milián Vicente
SECRETARIO	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto

2 de agosto de 1988

Ingeniero Agrónomo  
Aníbal B. Martínez M.  
Decano de la Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

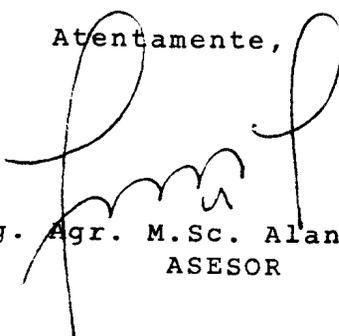
Señor Decano:

En atención a la designación que esa decanatura nos hiciera para asesorar el trabajo de tesis del estudiante Marco Enrique Bravo de León, titulado "ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EROSIIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA", informamos a usted que hemos concluido la asesoría y revisión del mismo.

Dicho trabajo constituye un valioso aporte a las investigaciones básicas sobre el comportamiento de la erosividad de las lluvias a nivel nacional. En tal sentido, recomendamos su aprobación e impresión ya que cumple con los requisitos establecidos por las normas para la planificación, ejecución y presentación de la investigación de tesis de grado en esta casa de estudios.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. M.Sc. Alan R. González  
ASESOR

  
Ing. Agr. B.C. José J. Chonay  
ASESOR

Guatemala,  
18 de julio de 1988

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

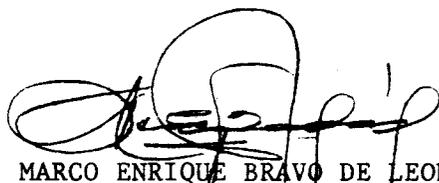
Señores miembros:

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:

"ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EROSIVIDAD DE  
LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA"

Presentándolo como requisito previo a optar al Título de In-  
geniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado aca  
démico de Licenciado.

En espera favorable, me suscribo de vosotros respetuosamente:



MARCO ENRIQUE BRAVO DE LEON

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS TODO PODEROSO
- A Mis Padres:  
Virgilio Bravo González  
María Eufemia de León Alvarado de Bravo
- A Mi Esposa:  
Blanca Margarita Ruíz Tejeda de Bravo
- A Mis Hijos  
Susan Marina  
Blanca Eugenia  
Pablo Enrique  
Gaby Eunice
- A Mis Hermanos  
Amparo Haydeé  
Teodoro Aníbal  
Fidel Reginaldo  
Miguel Osberto  
Sonia Imelda  
Irma Antonia  
Elba Felina  
Lucely Eugenia
- A La Familia  
Ruíz Tejeda
- A Mi Familia en general
- Al Lic. Edgar Arturo Ramírez R.
- A Marco Tulio Flores Hernández
- A Mis Amigos y compañeros de estudio
- Al Departamento de Carreteras  
de la Dirección General de Caminos
- A La Facultad de Agronomía
- A La Universidad de San Carlos de Guatemala.

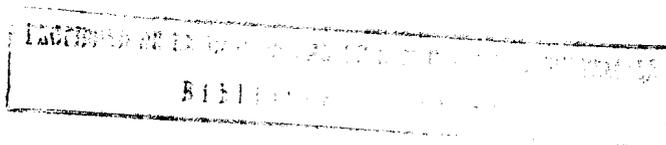
## AGRADECIMIENTOS

Hago constar mi más profundo agradecimiento a los Profesionales: Ingeniero Agrónomo M.C. José Jesús Chonay P. e Ingeniero Agrónomo M.Sc. Alan Roberto González Figueroa; por la acertada asesoría, sus valiosas indicaciones y el especial interés en la realización del presente trabajo de investigación.

Agradezco la cooperación de los compañeros Ingenieros Agrónomos: Rudy Geovany Del Cid, Hernán Hernández, Jorge Mario Roldán, Otto René Paz, Filiberto Galindo y Edwin Portillo.

Mi agradecimiento al Coronel de Aviación Jorge Mario Morales Montiel, Director del Instituto Geográfico Militar y al Señor Víctor Manuel Aragón Caballeros, Jefe del Departamento de Compilación Cartográfica y a su personal por la indispensable colaboración en la ejecución de ésta tesis.

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



## INDICE DE CONTENIDO

Página

INDICE DE CUADROS	
INDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISION DE LITERATURA	4
3.1 Conceptos generales	4
3.2 Utilidad del índice de erosión de las lluvias	4
3.3 Comentarios sobre la agresividad de las lluvias en la República Dominicana	7
3.4 La energía de la lluvia	7
3.5 Aplicaciones de los índices de erosividad	8
3.6 Índices de erosión por precipitación	8
3.7 Parámetro EI	9
3.8 Mapas de isoerosión	9
3.9 Curvas de distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia	10
3.10 Mapa de capacidad erosiva de las lluvias en la República Dominicana	10
3.11 Elaboración del mapa de isoerosividad para la cuenca del Río Grande de Térraba, Costa Rica	11
3.12 Dibujo de líneas de nivel	11
4. MATERIALES Y METODOS	14
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES	23
6. CONCLUSIONES	26

	<b>Página</b>
7. RECOMENDACIONES	27
8. BIBLIOGRAFIA	28
9. APENDICE	30

## INDICE DE CUADROS

### En el texto

Cuadros	Tema	Página
1.	Estaciones pluviográficas, su ubicación e índices de erosividad para la República de Guatemala.	17
2.	Estaciones analizadas con información pluviográfica, coeficientes de correlación y modelo estadístico para las Tierras bajas del Petén, Grupo 1.	19
3.	Estaciones analizadas con información pluviográfica, coeficientes de correlación y modelo estadístico para la Cordillera Central 1, Grupo 2.	19
4.	Estaciones analizadas con información pluviográfica, coeficientes de correlación y modelo estadístico para la Cordillera Central 2, Grupo 3.	20
5.	Estaciones analizadas con información pluviográfica, coeficientes de correlación y modelo estadístico para la Planicie costera del Pacífico.	20
6.	Ecuaciones de predicción para el estimado de "R" en cualquier estación pluviométrica según el grupo, provincia fisiográfica y coeficiente de correlación.	21

### En el apéndice

1.	Grupo 1, de estaciones pluviométricas a las cuales se les estimó el valor de "R" por medio de correlaciones.	31
----	--	----

2. Grupo 2, de estaciones pluviométricas a las cuales se les estimó el valor de "R" por medio de correlaciones. 32
3. Grupo 3, de estaciones pluviométricas a las cuales se les estimó el valor de "R" por medio de correlaciones. 33
4. Grupo 4, de estaciones pluviométricas a las cuales se les estimó el valor de "R" por medio de correlaciones. 35
5. Prácticas de conservación de suelos en base a los factores de la erosión. 38
6. Estaciones analizadas con información pluviográfica y resultados obtenidos de "R", para el análisis de correlación. 40

## INDICE DE FIGURAS

### En el texto

Figura	Tema	Página
1.	Interpolación usando una regla de escalas y una escuadra	13
2.	Zonas de estudio de determinación del índice de erosividad en la República de Guatemala.	16
3.	Mapa de isoerosividad en la República de Guatemala	24

### En el apéndice

1.	Mapa de ubicación de las estaciones pluviográficas y pluviométricas	37
----	---	----

# ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA

## PRELIMINAR STUDIE OF THE EROSIIVE RAINS IN THE REPUBLIC OF GUATEMALA

### RESUMEN

En la República de Guatemala, el problema de las pérdidas de suelos por erosión es ocasionada en gran parte por la distribución e intensidad de las lluvias. Para analizar este comportamiento es necesario cuantificar los índices de erosividad y conocer sus variaciones a nivel nacional.

Los estudios previos a esta investigación comprenden la determinación de los índices de erosividad de las lluvias para las estaciones pluviográficas del país (20, 19, 18, 11, 14, 8).

Por lo tanto el presente trabajo constituye la etapa final de la investigación sobre los cálculos de los índices de erosividad y la estimación de los índices de las estaciones pluviométricas mediante las ecuaciones de regresión para aumentar la densidad del factor de la agresividad de la lluvia en la elaboración del mapa de isoerosividad, el valor del factor "R" es uno de los parámetros en la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo que servirá como guía útil en la evaluación, selección y planificación de prácticas de conservación del suelo y del agua.

En este documento se establece un diagnóstico de la capacidad erosiva de las lluvias por medio del índice de erosividad calculado en base a la ecuación de Wischmeier.

Se elaboró el mapa de isoerosividad con curvas a intervalos a cada 2000 unidades, a mayores valores de "R" corresponden mayores riesgos a la pérdida del suelo por efectos de las lluvias, asociado con los demás factores que aceleran el desplazamiento de las partículas de suelo.

En base a los resultados obtenidos se concluye que el rango de variación de los valores de "R" es amplio. Los valores de isoerosividad varían de 2000 a 34000 MJ.mm/Ha.hora. año.

Los valores de "R" calculados van a tener importancia al relacionar dicha información con los demás parámetros de la ecuación universal de predicción de pérdidas del suelo.

A través de la superposición del mapa de isoerosividad con mapas temáticos del país se permitirá identificar áreas críticas a la pérdida del suelo.

## 1. INTRODUCCION

Guatemala requiere aprovechar de manera eficiente los recursos naturales con que cuenta en vista que la utilización de los mismos ha provocado su deterioro y en muchos casos su pérdida total.

De acuerdo a las características de suelo, clima y topografía la mayor parte del territorio nacional es de vocación forestal. Sin embargo, la cubierta vegetal ha disminuído a partir de 1950; para ese año se calculó que el 64.7% del territorio estaba cubierto por bosque denso, mientras que para 1981 se estimó en un 39.6% (6).

Esta disminución de la cubierta forestal que se hace cada vez más evidente en el país, nos hace pensar en la existencia de regiones cada vez mayores que han sido deforestadas, esto implica aumento a la susceptibilidad del suelo a la erosión (8). Por lo que cabe señalar que el efecto de la cubierta de la vegetación contra el impacto de las gotas de agua de lluvia, es un factor importante en la disminución de pérdidas de suelo por erosión (22).

El Instituto Nacional Forestal y el Instituto Geográfico Militar, mencionan que el 33% de los suelos del territorio nacional, presentan un alto grado de susceptibilidad a la erosión, en tanto que el 30.1% presentan muy algo grado (6).

En la época lluviosa, en Guatemala precipita un volúmen promedio de 268,222 millones de metros cúbicos de agua de los cuales escurren a través de los ríos 201,014 metros cúbicos, o sea el 75% del total, los cuales transportan hasta un 50% de suelo en suspensión (9). Los valores de transporte de sedimentos para los ríos Villalobos, Motagua, Chixoy y Samalá son 11.7, 8.89, 7.6 y 6.89 m<sup>3</sup>/Ha/año, respectivamente (3, 6). Arreaga (2) reporta pérdidas de suelo de 61.59 ton/Ha.año en el Parcelamiento Palo Verde, Bárcenas, Villa Nueva.

Como consecuencia de lo anterior, en algunas regiones del país se

manifiesta el alto grado de deterioro del recurso suelo, provocado por la intensidad de la precipitación que incide principalmente en los procesos erosivos (16). Por lo tanto se hace necesario contar con información acerca de la capacidad que tienen las mismas de producir erosión (8). Se debe cuantificar la agresividad de la lluvia y las variaciones en el tiempo, en vista que en general se acepta el hecho de que ésta, es el factor climático importante que determina la dispersión del suelo, al reducir la infiltración y aumentar la escorrentía (4).

El presente trabajo constituye la etapa final de la investigación sobre erosividad, ya que en estudios previos se determinaron los índices de erosividad de las lluvias para las estaciones pluviográficas del país (20, 19, 18, 11, 14, 8). Por lo tanto el mismo presenta información sobre la capacidad de las lluvias para producir erosión en el territorio de la República de Guatemala.

Utilizando la metodología de estimación de "R" por correlación, se trazan las líneas de isoerosividad en el mapa que establece un diagnóstico de la capacidad erosiva de las lluvias y es útil para la planificación y diseño de estructuras de conservación de suelos en cada lugar particular del territorio de Guatemala.

## 2. OBJETIVOS

- a) Estimar por medio de las ecuaciones de regresión lineal y geométrica, los índices de erosividad de las estaciones pluviométricas a nivel nacional, para aumentar la cantidad de valor del factor "R" requerida en la elaboración del mapa de isoerosividad.
  
- b) Elaborar el mapa de isoerosividad a nivel nacional, y poder interpolar en cualquier localidad, el valor del factor "R" para el uso de la ecuación universal de predicción de pérdida del suelo, que sirve como una guía útil en la evaluación, selección y planificación de prácticas de conservación del suelo y del agua.

### 3. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1 Conceptos generales

Las lluvias son manifestaciones de la dinámica del clima y de la influencia de variables físicas locales que originan modificaciones en la temperatura, humedad y presión de masas de aire sobre la tierra.

Las lluvias en una región determinada, se distribuyen en el tiempo y en el espacio en forma variable tanto cuando se trata de la frecuencia de lluvias.

La intensidad de la lluvia tiene los efectos principales: el impacto de la lluvia sobre la superficie del suelo y la intensidad de la lluvia es la principal responsable de las variaciones en el escurrimiento. Ambos efectos de la intensidad son de importancia para los procesos de formación de escorrentía y de la erosión de los suelos (17).

#### 3.2 Utilidad del índice de erosión de las lluvias.

El índice de erosión de las lluvias es uno de los factores de la ecuación universal de predicción de pérdida de suelos  $A = RKLSCP$ , donde A es el promedio anual de pérdida de suelo, expresado en ton/ha.año, R es el factor erosividad de la lluvia, expresado por un promedio anual en unidades de índice de erosividad, el cual es Mega Joule milímetro/hectárea hora año, K es el factor erodabilidad del suelo, en ton/ha/unidades de energía del índice de erosividad y varía generalmente entre 0.3 para suelos resistentes a la erosión a 0.6 para suelos susceptibles; L es el factor longitud de la pendiente, adimensional, S es el factor grado de la pendiente, adimensional; el LS es mayor a la unidad cuando la inclinación es mayor de 9% y la longitud excede los 22 m; C es el cociente de dividir la erosión que se obtiene con una determinada condición de cubierta vegetal o con siembras al contorno entre la pérdida del suelo sin cubierta vegetal con cultivo en dirección de la pendiente; P, se calcula con el cociente de la erosión de áreas de cultivo sin prácticas mecánicas de conser-

vacación de suelos y con prácticas mecánicas.

Según Paulet (17), menciona que cuando se usan las tierras sin cubierta vegetal, la pérdida de suelo esperada es igual a  $RKLS$  porque  $C$  y  $P$  tienen un valor de 1 y si la pendiente es mayor del 9% y la longitud excede los 22 metros, la pérdida esperada en determinado lugar es el producto de  $RK$ .

Si bien la ecuación universal es usada para evaluar la susceptibilidad de los terrenos a los peligros de erosión, su utilización principal ha sido en la planificación del uso de las tierras. Para el uso se establece un límite de tolerancia a la pérdida del suelo, que debe ser menor a 10 ton/ha.año. El programa de uso de la tierra que se elija debe ser compatible con los intereses económicos del usuario (17).

Gutierrez Díaz (13), manifiesta que las prácticas de manejo de suelos para la conservación se basan en dos aspectos fundamentales: mantener una tasa de infiltración elevada y conducir el agua de escorrentía de manera que minimizen la erosión.

Faustino, J. citado por Gutierrez Díaz (13), divide las prácticas de conservación de suelos en:

- a. Prácticas mecánicas-estructurales: son prácticas que se basan en el movimiento de tierras y requieren de conocimientos de ingeniería, normalmente estas estructuras están destinadas a disipar la energía y/o disminuir la escorrentía del agua.
- b. Prácticas agronómicas-culturales: Que tienen como objetivo principal disminuir la velocidad del agua de escorrentía, interceptar y retener el suelo como: labranza mínima, siembra en contorno, rotación de cultivos, barreras vivas y muertas.
- c. Prácticas forestales-agrológicas: Cuyo objetivo será la protección del suelo contra el impacto de la lluvia y control del escurrimiento favo-

reciendo la infiltración del agua, como: establecimiento de pastura con fines de protección, manejo de vegetación natural, sistemas agroforestales, pastoreo.

En el Cuadro 5, del apéndice se incluyen algunas prácticas de conservación de suelos en base a los factores de la erosión.

En la elaboración del mapa de isoerodentas de la cuenca del Río Grande de Térraba en Costa Rica (13), se tomó como base la correlación al relacionar los valores de R, con los valores promedio anuales de la precipitación, lo que indica que la red pluviográfica de la cuenca se encuentra influenciada por las condiciones orográficas y fenómenos atmosféricos y no por la ubicación altitudinal de los pluviógrafos cuya correlación es de -0.10.

Gutierrez Díaz (13) concluye que para la mayoría de estaciones pluviográficas de la cuenca del Río Grande, el modelo de regresión de mejor ajuste, es el lineal; para la relación del número de eventos de lluvia con el factor R.

Las curvas de isoerosividad, para la cuenca del Río Grande de Térraba en Costa Rica, demuestran que la ubicación geográfica juega un papel importante en la variación del valor R; que manifiesta una tendencia baja en la costa del pacífico y tiende a crecer hacia las zonas montañosas, debido a las influencias de los vientos alisios que desplazan grandes masas de nubes, en dirección Este de Costa Rica y se concentran en las cordilleras, donde se obtienen los valores mayores de R. En dicha cuenca el 45% del área presenta condiciones críticas en la susceptibilidad a la erosión hídrica.

Además Gutierrez Días (13) recomienda que la distribución de la capacidad erosiva de las lluvias durante el año, es un criterio muy útil para la toma de decisiones agrícolas, donde debe relacionarse las épocas de menor cobertura con los menores valores del potencial de erosión.

### 3.3 Comentarios sobre la agresividad de las lluvias en la República Dominicana.

las intensidades máximas y la capacidad erosiva define el potencial erosivo de las lluvias, que se encuentran en función de las intensidades y el efecto acumulativo de las precipitaciones y su relación con la erosión medida experimentalmente, por lo que se puede considerar como el más significativo de los índices (17).

### 3.4 La energía de la lluvia

Wischmeier y Smith, citados por Arias (1), mencionan que la erosión es un proceso físico que requiere energía para realizar un trabajo mecánico que consiste en el rompimiento de agregados y transportación de partículas desprendidas.

De esta manera se formuló una ecuación que relaciona la energía cinética con la intensidad de la lluvia.

La ecuación de estimación de energía cinética de la lluvia (11).

$$EC = 0.119 + 0.0873 \log_{10} X$$

EC = energía cinética, expresada en MJ/ha.mm

X = intensidad de la lluvia, expresada en mm/hora

El producto de esta ecuación, fué denominado índice de erosividad y significa que el potencial de la lluvia para causar erosión está en función de la cantidad de la lluvia, de la velocidad final de la gota y de la máxima velocidad sostenida. Representa los efectos totales del impacto de las gotas de lluvia y de la turbulencia del escurrimiento (4).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación según Hernández D. (14), menciona que el producto de la energía cinética por la intensidad de la lluvia, se consideran los factores para

el cálculo del índice que mide el potencial de un aguacero que causa erosión en un suelo.

### 3.5 Aplicaciones de los índices de erosividad

Hudson, citado por Arias (1), afirma que la cuantificación de la capacidad erosiva de las lluvias tiene dos aplicaciones:

- a. En la práctica de conservación de suelos, ayuda a mejorar el diseño de los trabajos de conservación mediante el trazo de mapas de isoerosividad, el cual puede ser utilizado para una planeación detallada de sistemas de cultivos.
- b. En la investigación: ayuda a aumentar nuestros conocimientos y entendimientos sobre la erosión.

### 3.6 Índices de erosión por precipitación

Los datos de investigaciones indican que cuando otros factores además de la lluvia se mantienen constantemente las pérdidas de suelo por tormenta en campos cultivados son directamente proporcionales a un parámetro de tormenta de lluvia identificado como el EI. La relación de pérdida de suelo a éste parámetro es lineal, y sus valores individuales de tormenta son directamente acumulativos. La suma de los valores EI de tormenta para un período dado es una medida numérica del potencial erosivo de la lluvia entre ese período. El total de % anual de los valores EI de tormenta en una localidad particular es el índice de erosión por lluvia para esta localidad. Los valores de EI por lluvia para los Estados Unidos se basan en 22 años de registro de las lluvias. Análisis exploratorios en este país muestran que se descartan lluvias menores de 0.5 pulgadas y separadas por períodos de lluvia por más de 6 horas, ya que estos EI por tales lluvias son usualmente muy pequeñas y tienen un efecto leve sobre los % mensuales del EI anual (23).

### 3.7 Parámetro EI

Según Wischmeier (23), el valor de EI para una tormenta dada equivale al producto energía total de la tormenta (E) multiplicada por la intensidad máxima de 30 minutos (I30). La energía de precipitación pluvial en sí misma no es un buen indicador del potencial erosivo. El desprendimiento de las gotas de lluvia aumenta con la intensidad, el tamaño de las gotas de lluvia aumenta con la intensidad de lluvia y la velocidad terminal de las gotas.

### 3.8 Mapas de isoerosión

Los valores locales del índice de erosión por precipitación pueden ser tomados directamente de los mapas de isoerosión (23, 17). Las líneas ploteadas en los mapas son llamadas isoerodentas debido a que unen puntos de igual erosividad. Los valores del índice de erosión para localidades entre las líneas son obtenidas por interpolación lineal (23).

Las interpolaciones lineales entre líneas aproximadas en regiones montañosas pueden corregirse de acuerdo con Paulet (17), aumentando la densidad de información sobre el factor "R" a través de correlacionar los índices erosivos con los valores de precipitación promedio anual para dichas regiones.

Los valores promedio anuales locales del índice de erosión en los Estados Unidos varían desde 851 MJ.mm/ha.h.año a 8510 MJ.mm/ha.h.año. Si el suelo y la topografía fueran iguales en todos lados, las pérdidas promedio anuales de suelo en terrenos con cultivos continuos variarían en proporción directa por las diferencias en suelo, topografía, cubierta vegetal (23).

De acuerdo con la discusión de resultados de Del Cid A. (8) debe elegirse la metodología adecuada a fin de obtener varios factores de correlación para evitar la mezcla de información en cuanto a capacidad erosiva de las lluvias en distintas regiones; con este procedimiento se estarán

determinando áreas homogéneas para establecer los coeficientes de correlación.

En el Cuadro 1, se presentan los índices de erosividad que se determinaron para la República de Guatemala; realizados por Del Cid A. (8), Galindo P. (11), Hernández D. (14), Paz A. (18), Portillo E. (19) y Roldán J.M. (20); cuyos valores oscilan entre 1034.50 a 34047.58 MJ.mm/ha.hora.año.

### 3.9 Curvas de distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia

En lo que respecta a la distribución promedio mensual del índice de erosividad se infiere que los valores más altos ocurren en los meses de mayo a octubre (8, 11, 14, 18, 19, 20). La curva de distribución mensual de "R", es útil en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y las prácticas de manejo de cultivos (8, 17).

### 3.10 Mapa de capacidad erosiva de las lluvias en la República Dominicana.

Para elaborar el mapa de capacidad erosiva de las lluvias de todo el territorio de la República Dominicana -curvas de isoerosividad- fué necesario ampliar la densidad de valores del factor "R" mediante la correlación de este factor con la precipitación media y en función de las cuales se estimaron los valores de R para las estaciones pluviométricas (17).

El R estimado se obtuvo de promediar los valores R anuales encontrados con la ecuación de predicción:

$$R = a + b (CMTA \times CO)$$

De donde:

$$R = \text{índice de erosividad estimado}$$

-a y b- son los coeficientes de regresión de la ecuación de predicción.

CMTA = Lluvia total anual de la estación para la que se desea estimar R

CO = es el promedio de las relaciones CMTE/CMTA de las estaciones pluviográficas

### 3.11 Elaboración del mapa de isoerosividad para la cuenca del Río Grande de Térraba, Costa Rica.

De acuerdo con Gutierrez Díaz (13), el mapa de isoerodentas para esta cuenca, se elaboró uniendo los valores de R. de las estaciones adyacentes por medio de líneas rectas y el trazo de mediatrices (método de Thiessen) y luego interpolar con el auxilio del mapa de isoyetas y así determinar áreas homogéneas para establecer los límites de la interpolación.

En áreas no muy bien definidas se razonó el criterio de interpolar siguiendo la misma tendencia y equidistancia de la conocida para el área.

Para la elaboración del mapa de isoerosividad en Guatemala, fué necesario la obtención de 2 ó más coeficientes de correlación de acuerdo a las condiciones de la fisiografía del país, y así evitar la mezcla de información erosiva de las lluvias en distintas regiones; procedimiento con el cual se establecieron los límites de la correlación entre regiones.

La utilización del mapa de isoyetas se efectuó en la cuenca del Río Grande de Térraba, debido a la correlación aceptable ( $r = 0.81$ ) entre los promedios de la precipitación y los valores de los índices de erosividad (R) en la cuenca del Río Grande.

### 3.12 Dibujo de líneas de nivel

De acuerdo con Brinker y Taylor (5), los puntos usados para locali-

zar las líneas de nivel se determinan de la misma manera que los que sirven para localizar los detalles. Las líneas de nivel determinadas por el método directo se dibujan al hacer pasar una línea por los puntos. En el método indirecto, es necesario interpolar entre los puntos dibujados.

La interpolación para determinar los puntos de las curvas entre puntos de elevación conocida puede hacerse de varias maneras:

- a. Por estimación
- b. Tomando la distancia entre los puntos de altura conocida con una escala y localizando los puntos de las curvas de nivel por proporciones.
- c. Usando una cinta de hule graduada a alguna escala y estirándola para que las marcas convenientes queden en las elevaciones conocidas.
- d. Usando una escuadra y una escala. (figura 1), para interpolar por la línea de nivel de 420 m entre el punto A a la elevación 415.20 y el punto B a la elevación 423.60 se coloca primero la marca 152 en una escala frente a A.

Luego, con uno de los catetos de la escuadra colocados contra la escala y situando el vértice de  $90^{\circ}$  en 236, se hacen girar juntas la escala y la escuadra alrededor de A, hasta que el borde perpendicular de la escuadra pase por el punto B. Luego se resbala la escuadra a la marca 200 y se traza una línea que corte el punto de A a B. Este es el valor interpolado de la línea de nivel P.

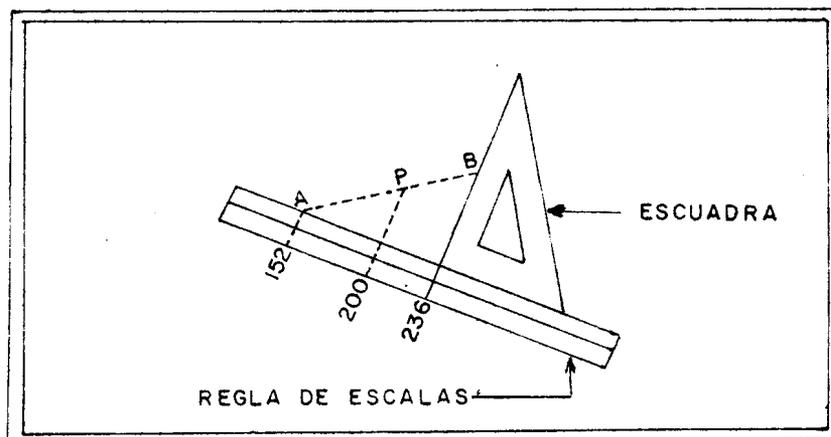


Figura 1. Interpolación usando una regla de escalas y una escuadra.

#### 4. MATERIALES Y METODOS

##### 4.1 Descripción del área de trabajo:

La República de Guatemala está situada en la región sub-tropical del hemisferio Norte, con una extensión de 108,889 km<sup>2</sup>, entre los paralelos 13°44' a 18°30' al Norte y meridianos 87°24' a 92°14' al Oeste de Greenwich. El país tiene 962 km fronterizos con México, 200 km con Belice, 147 km con El Salvador y 300 km con Honduras; sus litorales se prolongan a 170 km hacia el mar de las Antillas y 240 km del lado del pacífico, figura 2. El relieve es marcadamente alto, con casi el 60% de niveles montañosos.

Las diferentes zonas ecológicas varían desde 400 hasta 4000 mm anuales de precipitación pluvial, y se encuentran variaciones altitudinales desde el nivel del mar hasta 4000 m. La variabilidad del país en clima, suelos y altitud es un factor importante en el tipo de vegetación existente, y por tanto, en la clase de cultivos que pueden producirse (7).

En Guatemala dominan dos orientaciones estructurales y fisiográficas: (1) un arco Este-oeste, convexo hacia el Sur, de rocas cristalinas y sedimentarias paleozoicas y mesozoicas, que se extiende desde Chiapas hasta el mar Caribe; y (2) un alineamiento Noroeste-Sureste a través de América Central, expresado en rocas volcánicas terciarias o recientes, acentuada por una hilera de conos cuaternarios.

Se distinguen en el país cuatro provincias fisiográficas, que son de Norte a Sur; las tierras bajas del Petén, la cordillera central, la provincia volcánica y la planicie costera del pacífico (12).

A lo largo del litoral del Pacífico, los productos de erosión de las tierras altas volcánicas han creado la planicie costera del Pacífico, con un ancho promedio de 50 km. Los sedimentos de espesor desconocido, consisten en arenas, gravas, cenizas pómez y depósitos laháricos, que pasan gradualmente hacia las rocas volcánicas de detritus depositados en abani-

cos aluviales coalescentes, en combinación con un posible hundimiento, lo que ha producido áreas costeras con drenaje deficiente.

#### Hidrografía:

Según el Diccionario Geográfico Nacional (12), el sistema orográfico del país determina claramente dos regiones hidrográficas: la de los ríos que desembocan en el Océano Pacífico y la de los que vierten sus aguas en el Océano Atlántico, esta última se divide en dos: la región hidrográfica del Golfo de México y la del Golfo de Honduras.

#### Clima:

La temperatura de las diversas localidades es tan variada como la superficie del suelo, pero sin tocar en ninguna de ellas los extremos de frío o calor. Las estaciones del año se diferencian apenas una de la otra, conociéndose dos: época seca de noviembre a abril; y época de lluvias, de mayo a octubre (12).

#### 4.2 Descripción del trabajo de investigación

El presente trabajo de investigación, consistió en la recopilación de toda la información con respecto a los índices de erosividad de las lluvias, factor "R" de la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, en base a las regiones ilustradas en la figura 2. En dichos trabajos se utilizó la metodología del  $EI_{30}$ , propuesta por Wischmeier y Smith en 1959 (23). Esta se basa en el procesamiento y análisis de los datos sobre intensidad y energía cinética de la lluvia registrados en los pluviogramas recopilados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

En el cuadro 1, se presentan las estaciones meteorológicas que cuentan con pluviógrafo en todo el país, a las cuales se analizó y determinó el índice de erosividad (20, 19, 18, 11, 14, 8).

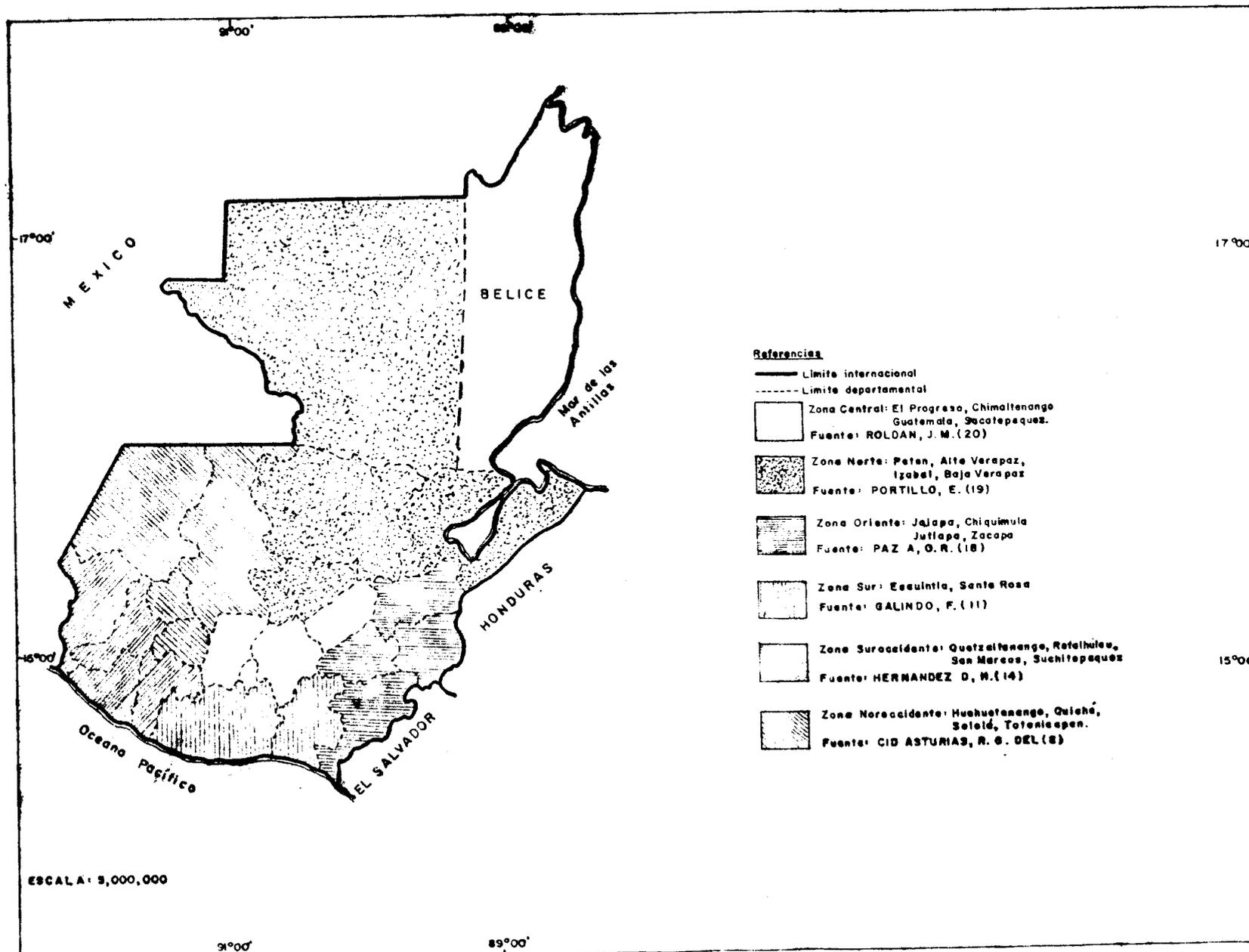


FIGURA 2. ZONAS DE ESTUDIO DE DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA.

Cuadro 1. Estaciones pluviográficas, su ubicación e índices de erosividad para la República de Guatemala.

Código	Nombre de la estación	Latitud G M S	Longitud G M S	Altura m.s.n.m	Índices de erosividad MJ.mm/Ha.hora.año
3.14.1	Santa Cruz Balanyá	14-41-18	90-54-55	2080	2548.01
6.1.20	Observatorio nacional	14-35-11	90-21-58	1502	3869.78
6.1.10	Radio Sonda	14-34-16	90-54-55	1460	3329.10
6.1.3	La Brigada	14-38-40	90-34-30	1610	3976.92
6.2.3	Mil Flores	14-28-12	90-37-45	1189	3251.25
12.3.1	Morazán	14-55-49	90-08-31	370	4568.72
11.9.5	Mi Ilusión	15-55-15	89-14-00	10	18662.56
8.1.4	Puerto Barrios	15-44-16	88-35-30	2	15022.64
8.4.6	Mariscos	15-25-26	89-04-54	1	11411.54
1.7.10	Panzós	15-23-50	89-38-25	30	11070.32
8.4.7	Los Amates	15-15-55	89-05-44	76	8245.38
11.11.2	El Porvenir	18-31-00	90-29-08	125	5777.46
8.3.6	Las Vegas	15-36-00	88-58-00	10	5540.45
1.1.8	Cobán	15-28-00	90-24-27	1323	3700.35
22.6.2	Unión	14-57-48	89-17-28	1000	6835.96
22.3.2	Fragua	14-57-51	89-35-04	218	1565.73
4.5.4	Ipala	14-37-15	89-37-05	828	4144.98
4.4.2	Esquipulas	14-33-32	89-20-31	950	6513.07
10.3.1	Asunción Mita	14-20-04	89-42-21	478	4590.39
10.11.2	Montúfar	13-48-32	90-09-18	10	8113.52
10.9.2	El Jobo	14-00-32	89-54-28	320	5332.46
9.1.2	Potrero Carrillo	14-45-38	89-55-56	1760	2667.75
2.3.3	Ceibita	14-29-34	89-52-32	960	4129.30
5.8.5	San José	13-56-10	50-50-04	6	9770.09
5.1.14	Sabana Grande	14-22-00	90-50-00	730	29078.39
5.1.17	El Chupadero	14-16-07	90-47-33	270	21413.47
5.10.8	comantulul	14-19-00	91-03-00	280	26073.98
5.12.8	Tiquisate	14-17-10	91-22-21	70	19177.91
18.1.3	Los Esclavos	14-15-10	90-16-42	737	12739.14
17.3.1	Catarina	14-51-20	92-04-38	233	30841.59
17.1.3	San Marcos	14-57-15	91-48-34	2420	1709.44
13.14.3	Labor Ovalle	14-51-20	91-30-50	2420	1166.45
15.3.2	El Asintal	14-32-43	91-43-28	355	30646.24
20.1.3	Chojojá	14-32-43	91-29-34	430	33635.89
20.4.11	La Concha	14-26-58	91-11-00	670	34047.58
7.1.3	Huehuetenango	15-19-02	91-28-05	1902	1603.79
7.19.2	San Pedro Necta	15-19-42	91-45-49	1600	1996.33
7.20.2	Soloma	15-39-10	91-26-03	1600	1642.95
7.31.2	Todos Santos	15-30-35	91-36-12	2500	1034.50
14.5.2	Chinique	15-02-22	91-01-41	2000	1552.82
14.8.1	nebj	15-23-53	91-08-22	1906	2905.14
19.10.5	El Capitán	14-38-35	91-08-26	1562	1615.04
19.19.4	Sgo. Atitlán	14-37-56	91-13-53	1592	1427.31
19.5.2	Xejuyú	14-44-20	91-07-20	2400	1307.31
21.1.4	Juchanep	14-56-08	91-22-58	2500	1068.11

Una vez recopilados los valores del factor "R", se localizó la red de estaciones con pluviógrafo, de acuerdo a las coordenadas geográficas y se asignó a cada estación su respectivo índice. Esta localización se realizó en un mapa de la República de Guatemala a escala 1:1,000,000 como se observa en la figura 1 del apéndice.

El total de la precipitación promedio anual de las estaciones pluviográficas registrados en las tarjetas de control meteorológico del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, se obtuvo para correlacionarlas con los totales de índices de erosividad de esas estaciones. Esta correlación se analizó en base a las provincias fisiográficas existentes en el país. Se recopiló la información de la precipitación promedio anual de las estaciones tipo B, C y D para ampliar la densidad de estaciones meteorológicas y la estimación de los valores de "R" o índices de erosividad a nivel nacional.

#### 4.3 Establecimiento de límites altitudinales del país.

El criterio utilizado de limitar las áreas de influencia de las estaciones pluviográficas en base a las provincias fisiográficas en la República de Guatemala a escala 1:250,000; estableció cuatro regiones límites a igual número de grupos de pluviógrafos, véase figura 1 del apéndice. Por la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación lineal, geométrico y exponencial entre las variables: el factor "R" y la precipitación pluvial de áreas homogéneas se eligió el coeficiente más cercano a la unidad.

##### 4.3.1 Análisis de correlación y regresión del índice de erosividad y la precipitación promedio anual para estaciones con pluviógrafo.

El análisis de las variables "X" precipitación promedio anual, "Y" índices de erosividad se realizó para la relación de mejor ajuste entre las variables seleccionadas con los modelos de regresión lineal, geométrica y exponencial (21). En los cuadros 2, 3, 4 y 5 se presentan el análisis de regresión para las provincias fisiográficas del país (12).

Cuadro 2. Estaciones analizadas con información pluviográfica, coeficientes de correlación y modelo estadístico para las Tierras bajas del Petén, Grupo 1. ver figura 1 del apéndice.

Estación	Precipitación prom. anual	Índices de erosividad	Provincia Fisiográfica.	$r_L$	$r_G$	$r_E$
	"X"	"Y"				
Cobán	2102	3700	Tierras	0.93	0.84	0.83
Las Vegas	1830	5540	bajas del			
Los Amates	1792	8245	Petén	modelo	modelo	modelo
El Porvenir	1847	5777		lineal	geométrico	exponencial
Panzós	2560	11070				
Mariscos	2603	11412		$y=a+bx$	$y= a x^b$	$y = a b^x$
Pto. Barrios	3205	15023				
Mi Ilusión	4042	18663				

Cuadro 3. Estaciones analizadas con información pluviográfica, coeficientes de correlación y modelo estadístico para la Cordillera Central 1, Grupo 2. ver figura 1 del apéndice.

Estación	Precipitación prom. anual	Índices de erosividad	Provincia Fisiográfica	$r_L$	$r_G$	$r_E$
	"X"	"Y"				
Soloma	2162	1647	Cordillera	0.59	0.57	0.55
San Pedro	1492	1996	Central			
Necta			1	modelo	modelo	modelo
Todos Santos	1238	1035		lineal	geométrico	exponencial
Huehuetenango	1019	1604				
Nebaj	1947	2095				
Labor Ovalle	808	1166		$y=a+bx$	$y=a x^b$	$y= a b^x$
Juchanep	979	1068				
Chinique	1266	1553				
Cantón Xejuyú	1065	1307				
Sgo. Atitlán	1000	1428				
Capitán	1008	1615				

Cuadro 4. Estaciones analizadas con información pluviográfica, coeficiente de correlación y modelo estadístico para la Cordillera Central 2, Grupo 3. Figura 1 del apéndice.

Estación	Precipitación prom. anual "X"	Índices de erosividad "Y"	Provincia Fisiográfica	$r_L$	$r_G$	$r_E$
Santa Cruz Balanyá	927	2548	Cordille- ra Central 2	0.81	0.85	0.84
Radio Sonda	949	3329				
La Brigada	1075	3977				
Observatorio nacional	1080	3870		modelo lineal	modelo geométrico	exponencial
Mil flores	912	3251				
Morazán	875	4569				
Potrero	991	2668		$y=a+bx$	$y=a x^b$	$Y=a b^x$
Carrillo						
Ceibita	960	4129				
Fragua	670	1566				
Unión	1522	6836				
Ipala	908	4145				
Esquipulas	1539	6513				
Asunción Mita	1264	4590				
El Jobo	1017	5332				
Los Esclavos	1565	12739				

Cuadro 5. Estaciones analizadas con información pluviográfica, coeficientes de correlación y modelo estadístico pasra la Planicie Costera del Pacífico, Grupo 4. Figura 1 del apéndice.

Estación	Precipitación prom. anual "X"	Índices de erosividad "Y"	Provincia Fisiográfica	$r_L$	$r_G$	$r_E$
Catarina	3649	30842	Planicie Costera del Pacífico	0.93	0.96	0.93
El Asintal	3001	30646				
Chojojá	3706	33636				
Tiquisate	2095	19178		modelo lineal	modelo geométrico	modelo exponencial
La Concha	3188	34048				
Comantulul	3568	26074				
Sabana Grande	3225	29078				
El Chupadero	2788	21413		$y=a+bx$	$y+a x^b$	$y+a b^x$
San José	1566	9770				
Montúfar	1333	8114				

#### 4.4 Estimación de "R" por correlación

Para la elaboración del mapa de capacidad erosiva de las lluvias en todo el territorio de la República de Guatemala, se utilizó la metodología propuesta por Paulet (17) modificada en la presente investigación para la estimación de los índices de erosividad, y por Brinker y Taylor (5) para la interpolación con el procedimiento siguiente:

1. Se recopiló el valor de la precipitación promedio anual de las estaciones meteorológicas con pluviómetro.
2. Para cada grupo y su provincia fisiográfica el "R" se estimó en base a la ecuación de regresión seleccionada según el análisis de correlación.

En el Cuadro 6, se presentan las ecuaciones de mejor ajuste, utilizadas para cada provincia.

Cuadro 6. Ecuaciones de predicción para el estimado de "R" en cualquier estación pluviométrica, según el grupo, provincia fisiográfica y coeficiente de correlación.

Grupo	Provincia Fisiográfica	Ecuación de predicción			r
		Modelo lineal $y = a + b (\overline{PPA})$			
1	Tierras bajas del Petén	"R" Estimado	a -5090.89	b + 6.01	( $\overline{PPA}$ ) 0.93
2	Cordillera Central 1	"	929.59	+ 0.47	( $\overline{PPA}$ ) 0.59
3	Cordillera Central 2	"	-3945.68	+ 7.95	( $\overline{PPA}$ ) 0.81
			Modelo geométrico $y = a(\overline{PPA})^b$		
4	Planicie Costera del Pacífico	"R" Estimado	a -0.29	b 1.35	( $\overline{PPA}$ ) 0.96

La interpolación con regla de escalas, se aplicó para encontrar valores entre el "R" estimado de una estación pluviométrica y el "R" calculado de una estación pluviográfica.

En el Cuadro 6 se observa que:

y = Estimación del valor "R" en MJ.mm/ha.hora.año

a y b Son los coeficientes de regresión

$\overline{PPA}$  = Precipitación promedio anual de cualquier estación pluviométrica

r = Coeficiente de correlación

#### 4.5 Técnicas de gabinete

La regularización espacial es un método gráfico muy importante que se menciona en esta investigación y que deberá utilizarse a escalas mayores ya que consiste en suavizar las irregularidades de las líneas obtenidas al representar en forma gráfica los datos de observación. Este método se utiliza al trazar las isolíneas con la ayuda de una curva flexible y posteriormente entintarse con rapidógrafo (15).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la figura 3, se presenta el mapa preliminar con las curvas de iso-erosividad para la República de Guatemala, escala 1:1,000,000; el cual se obtuvo a partir de la interpolación gráfica entre valores calculados y estimados como se muestra en la figura 1 del apéndice.

En los Cuadros 1, 2, 3 y, 4 del apéndice se presentan los resultados obtenidos de los índices de erosividad promedio anual estimados "R" para los números de años analizados para cada estación.

En la figura 1, del apéndice se presenta el mapa con los valores de los índices de erosividad calculados y estimados con sus estaciones pluviográficas y pluviométricas.

Como se puede observar el valor promedio anual estimado más alto del índice de erosividad corresponde a la estación Alabama Grande con 31937 MJ.mm/ha.hora.año, el más bajo ocurre en la estación El Rancho Fegua con 779 MJ.mm/ha. hora.año, y el valor promedio anual calculado más alto del índice corresponde a la estación La Concha con 34048 y el más bajo para la estación Todos Santos con 1035 MJ.mm/ha.hora.año.

### 5.1 Mapa de capacidad erosiva de las lluvias

La figura 3, muestra el mapa con las curvas de isoerosividad a cada 2000 unidades, o sea a intervalos con múltiplos de 2; que se distribuyen siguiendo tendencias definidas. Puede observarse que el Norte del país es atravesado por curvas de valores crecientes que oscilan de 2000 a 18,000 MJ.mm/ha.hora.año.

En el sector Centro Este las variaciones en las curvas van desde 2000 hasta 8000; mientras que para el Sur los valores tienen una tendencia creciente a partir del litoral del Pacífico hasta la zona interior.



Para el sector Oeste del país, los índices oscilan entre 1000 a 2000 MJ.mm/ha.hora.año; por lo que se le considera como zona de menor potencial erosivo de las lluvias. Este sector que se identifica como  $> 1 < 2$ , indica que el rango de valores se encuentra comprendido entre 1 y 2 según lo muestra la isolinia en la figura 3 y los datos calculados y estimados en las estaciones meteorológicas en la figura 1 del apéndice.

El valor de "R" para cualquier localidad, comprendido entre 1000 a 2000 MJ.mm/ha.hora.año se encuentra por interpolación gráfica.

Las zonas de mayor potencial erosivo coincide con la Planicie costera del Pacífico la cual por su posición fisiográfica recibe los sedimentos de las tierras altas volcánicas de la Provincia Volcánica.

El modelo de mejor ajuste que caracteriza las relaciones, entre estaciones pluviográficas es el modelo lineal.

Al relacionar los valores de "R", con la precipitación promedio anual de la red general de pluviógrafos, resultó una alta correlación  $r = 0.86$  que sirvió de base para inferir que la metodología de estimaciones de "R" es aplicable para lograr ampliar la información de éste índice y así elaborar el mapa de capacidad erosiva según se detalla en el Cuadro 6 del apéndice.

## 5.2 Areas potencialmente erosionables

La determinación de éstas áreas pueden efectuarse de acuerdo a los comportamientos variables de los valores de "R" resulta que a mayor valor de éste, corresponden mayores riesgos de pérdida de suelo por efectos de las lluvias. Que varían con las condiciones de cobertura vegetal, características del suelo y pendiente, estos aspectos se representan en los mapas temáticos del país.

## 6. CONCLUSIONES

1. El modelo de mejor ajuste, en el análisis de las provincias fisiográficas para la relación de la precipitación promedio anual con el factor "R" o índice de erosividad es el lineal, presentando diferentes coeficientes de correlación.
2. En el mapa de capacidad erosiva de las lluvias para la República de Guatemala, el rango de variación de los índices de erosividad va de 2,000 a 34,000 MJ.mm/ha.hora.año. La región de mayor potencial erosivo coincide con la Planicie Costera del Pacífico, mientras que al Oeste del país se le considera región de menor potencial erosivo; sin embargo el riesgo a la erosión puede ser mayor en esta región debido a la topografía accidentada y la escasa cobertura vegetal.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Relacionar la información que aquí se presenta con las características de cada lugar, en cuanto a los demás parámetros que componen la ecuación universal de predicción de pérdida del suelo, para apreciar la dimensión preliminar de la magnitud del problema de la erosión.
2. El mapa de capacidad erosiva de las lluvias en la República de Guatemala, ayudará a clasificar las áreas críticas debido a efectos de las lluvias, por el procedimiento de la superposición de éste mapa con los mapas temáticos de la República.
3. En el Oeste del país, los valores de "R" son bajos, pero la región se caracteriza por el elevado minifundismo y una alta densidad de población, factores que inciden a que suelos forestales sean utilizados en agricultura de cultivos limpios; la topografía y la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados eleva el riesgo a su pérdida por lo que se recomienda considerar prácticas de conservación del suelo.
4. Por la escasez de datos pluviográficos para el cálculo del factor "R", se consideró la necesidad de hacer estimaciones a través de este factor con los promedios de precipitación anual; por ello con la presente investigación se hace énfasis en la importancia de tener una distribución y densidad de pluviógrafos en el territorio nacional.
5. Se sugiere que para lograr uniformidad en las isolíneas cuando se elaboren mapas a escalas mayores, se utilice la metodología de regularización espacial.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS ROJO, H.M. 1980. El factor "R" de la ecuación universal de la pérdida de suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis Mag. Sc. Chapingo, Méx., Escuela de Postgraduados. 115 p.
2. ARREAGA P., H.G. 1982. Evaluación, mapeo y cuantificación del problema erosivo de los suelos del parcelamiento Palo Verde, Bárceñas, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 50 p.
3. AZURDIA LONGO, J.A. 1984. Estudio de la erosión hídrica en la cuenca del río Motagua (Análisis e interpretación existente). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 50 p.
4. BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. 1983. Física de suelos. Trad. de la 4ta. ed. inglesa por Jorge Manuel Rodríguez. México, UTEHA. 429 p.
5. BRINKER, R.C.; TAYLOR, W.C. 1969. Topografía elemental. Trad. por José Luis Lepe. México, D.F., Centro Regional de Ayuda Técnica. 686 p.
6. CASTAÑEDA, L. et al. 1983. Diagnóstico de la situación de los recursos naturales de Guatemala. Tikalia (Gua) 1(2):93-97
7. CASTAÑEDA, C.; PINTO, D. 1981. Recursos naturales de Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 142 p.
8. CID ASTURIAS, R.G. DEL. 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, Facultad de Agronomía. 47 p.
9. CURLEY, M.A.; URIZAR, M.T. 1978. Recursos naturales renovables. Guatemala, s.n. 226 p.
10. FOSTER, G. et al. 1981. Conversión of the universal soil equation to SI metric. Journal of soil & Water Conservation 36(3):355-359
11. GALINDO PEREIRA, F. 1987. Determinación del índice de erosividad de la lluvia para las estaciones pluviográficas ubicadas en la región sur de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala. Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 55 p.
12. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1978. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. tomo 2, 1083 p.

13. GUTIERREZ DIAZ, M.A. 1987. Determinación del índice de erosividad de las lluvias y su relación con la cobertura vegetal, suelos y pendientes, para la cuenca del río Grande de Térraba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 129 p.
14. HERNANDEZ DIAZ, H. 1986. Determinación del índice de erosividad de la lluvia en la zona suroccidental de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 42 p.
15. MEXICO. DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA Y METEOROLOGIA; ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL. 1975. Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico de la clase IV; Climatología. 2 ed. Tacubaya, Méx. v.2, 167 p.
16. MONTALDO, P. 1982. Agroecología del trópico americano. San José, C.R., IICA. 207 p.
17. PAULET I., M. et al. 1982. Intensidades máximas y erosividad de las lluvias en la República Dominicana. Santo Domingo, IICA-INDRHI. 83 p.
18. PAZ A., O.R. Determinación del índice de erosividad de la lluvia para las estaciones pluviográficas de la zona oriente de Guatemala.  
  
Sin publicar.
19. PORTILLO, E. Determinación del índice de erosividad de la lluvia para las estaciones pluviográficas de la zona norte de Guatemala.  
  
Sin publicar.
20. ROLDAN, J.M. Determinación del índice de erosividad de la lluvia para las estaciones pluviográficas de la zona central de Guatemala.  
  
Sin publicar.
21. SARCEÑO Z., E.R. 1984. Análisis estadístico descriptivo. Guatemala, Editorial Universitaria. 329 p.
22. SUAREZ DE CASTRO, F. 1980. Conservación de suelos. San José, C.R., IICA. 321 p.
23. WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook no. 537. 58 p.

10. 90.  
*Patruelle*



9. APENDICE

Cuadro 1. Grupo 1, de estaciones pluviométricas a las cuales se les estimó el valor de "R" por medio de correlaciones.

Nombre de la estación	Latitud G M S	Longitud G M S	Altura m.s.n.m	Precipitación prom. anual en mm	R Estimado MJ.mm/ha.h.año	años de Registro
1.1.5 Cubilguitz	15-40-20	90-25-20	519	4105	19595	31
1.3.2 Chajcar	15-29-00	90-11-10	1200	2893.8	12306	31
1.3.5 Chiquixji	15-33-58	90-17-20	1140	3183.2	14052	27
1.3.6 Raxhujá	15-32-25	90-16-43	987	2596.6	10524	30
1.3.9 Sebol	15-38-58	90-19-00	800	4111.4	19633	31
1.3.11 Sasis	15-30-10	90-08-59	1080	3169.2	13967	15
1.3.13 Santa Cecilia	15-29-35	90-09-30	1157	2537.5	10169	4
1.5.1 San Agustín Chixoy	16-04-00	90-26-20	140	2507.2	9986	26
1.5.3 Rubelsanto	15-59-30	90-26-25	487	2470.3	9764	6
1.7.1 Cabañas	15-18-35	89-54-08	100	2571.6	10374	33
1.7.2 Constancia	15-17-50	89-43-38	80	2601.9	10556	32
1.7.7 Jolomix	15-15-33	89-45-18	760	3633.5	16759	22
1.7.8 El porvenir	15-16-25	89-44-35	280	3388.5	15286	20
1.7.9 Saquiya	15-18-10	89-39-40	48	1957.0	6678	14
1.7.13 Miralvalle	15-18-30	89-43-55	28	2553.6	10265	25
1.7.14 Bella Flor	15-22-48	89-39-30	18	2396.1	9324	11
1.11.19 Sepamac	15-30-22	89-41	680	2780.4	11629	24
1.11.11 Los Alpes	15-20-30	89-58-00	900	3501.1	15963	17
1.14.1 Argentina	15-19-15	90-00-00	620	3086.5	13470	29
1.14.4 La Concepción	15-16-09	90-07-30	1500	3341.0	15000	29
1.15.1 Malecon	15-48-50	89-46-00	200	2962.3	12723	6
8.1.5 Santo Tomás de Castilla	15-41-32	88-37-03	3	3014.4	13036	8
8.4.2 Creek	15-18-35	88-57-17	60	2491.9	9894	45
8.4.4 Tenedores	15-33-12	88-33-12	26	1756.4	5471	43
8.5.2 Pawnee Playitas	15-21-16	88-49-17	59	2041.6	7186	45
8.5.3 Morales	15-28-20	88-49-30	40	1602.7	4547	6
11.1.4 Flores	16-55-44	89-53-29	123	1572.8	4367	14
11.3.2 San Fernando	16-46-03	90-46-03	100	1773.0	5571	7
11.3.4 Urrutía	16-53-40	91-02-07	100	1940.4	6578	3
11.5.5 San Pedro Moctun	17-15-35	90-44-55	60	1608.8	4584	16
11.8.1 Tikal	17-13-00	89-37-00	198	1281.9	2618	7
11.9.1 Poptún Aero- puerto.	16-19-29	89-25-08	500	1880.1	6215	4

Cuadro 2. Grupo 2, de estaciones pluviométricas a las cuales se les estimó el valor de "R" por medio de correlaciones.

Nombre de la estación	Latitud			Longitud			Altura m.s.n.m	Precipitación prom. anual en mm	R Estimado MJ.mm/ha.h.año	años de registro
	G	M	S	G	M	S				
3.15.6 Aldea Palana	14	51	30	91	00	50	2350	1745.9	1751	23
7.1.3 Huehuetenango	15	19	02	91	30	11	1870	1007.3	1402	18
7.6.2 Cuilco	15	24	23	91	57	10	1130	1019.8	1408	12
7.18.2 San Miguel Aca- tan	15	42	20	91	35	58	1800	981.5	1390	12
13.19.1 Las Lagunas	14	52	48	91	40	20	2800	1236.9	1511	16
14.3.2 La Perla	15	36	54	91	06	43	1280	3697.8	2673	18
14.10.1 Sacapulas	15	17	18	91	05	10	1180	792.1	1300	18
14.15.2 Chixoy	15	21	22	90	39	38	680	1179.4	1484	8
14.17.5 Sacpulub	14	52	19	91	03	53	2280	1695.0	1727	2
17.1.4 Serchil	15	02	48	91	48	20	2940	1387.0	1582	14
19.1.2 Chaquijya	14	49	32	91	11	37	2400	1166.8	1478	3
19.10.6 Cerro de oro	14	40	00	91	10	00	1600	901.3	1352	4
19.12.1 San Pedro la Laguna	14	41	21	91	16	17	1600	1123.1	1457	15
19.13.1 Santa Catarina Ixtahuacan	14	47	47	91	21	34	2300	1275.4	1529	17
19.13.2 Chirijox	14	49	18	91	20	28	2690	1392.1	1584	11
19.15.1 Santa Clara la Laguna	14	42	50	91	18	17	2100	1530.5	1650	7
21.1.3 Rancho de Teja	14	51	48	91	16	17	--	1822.9	1788	10
21.7.1 Santa Lucía	15	07	57	91	14	38	--	851.5	1329	9

Cuadro 3. Grupo 3 de estaciones pluviométricas a las cuales se les estimó el valor de "R" por medio de correlaciones.

Nombre de la estación	Latitud G M S	Longitud G M S	Altura m.s.n.m	Precipitación prom. anual en mm	R Estimado MJ.mm/ha.h.año	años de Registro
1.2.2 Santa María Cahabón	15-36-30	89-48-38	380	2404.5	15174	25
1.8.3 Sn. Cristóbal Verapaz	15-21-55	90-28-31	1490	1305.1	6432	9
2.2.2 Cubulco	15-06-32	90-36-51	994	950.8	3614	19
2.6.4 San Jerónimo	15-03-40	90-15-00	1000	895.4	3174	25
2.6.5 Las Astras	15-04-06	90-12-53	1200	1089.4	4717	26
3.1.2 Los Aposentos	14-38-02	90-48-12	1776	893.7	3161	14
3.11.1 San Martín Jilotepeque	14-46-43	90-47-19	1800	1249.3	5988	17
4.1.2 Chiquimula	14-47-50	89-32-08	38	727.3	1838	53
4.2.1 Camotan	14-49-14	89-22-22	450	940.3	3531	17
5.7.3 Palín	14-23-38	90-41-48	1120	1602.3	8795	52
6.1.2 Guatemala	14-37-40	90-30-40	1489	1181.8	5452	51
6.1.5 timoteo Santiago	14-40-00	90-29-25	1470	1247.6	5975	21
6.1.8 Presa La Brigada	14-39-16	90-35-26	1619	1073.4	4590	20
6.1.12 Planta Santa Luisa	14-37-17	90-28-11	1560	1281.8	6247	20
6.1.17 Florinda	14-38-12	90-29-35	1470	1320.5	6555	20
6.1.21 Presa Teocinte	14-33-50	90-23-00	1620	1304.3	6426	24
6.1.24 Ojo de Agua	14-31-50	90-33-28	1260	1070.9	4570	6
6.1.31 Planta Las Ilusiones	14-40-31	90-28-20	1580	1149.4	5194	8
6.2.1 Amatitlán	14-28-18	90-36-18	1158	1054.8	4442	40
6.2.2 San Bernardo	14-26-00	90-34-00	1210	1073.8	4593	19
6.2.4 Calderas	14-24-51	90-35-40	1178	1189.8	5516	12

Cuadro 3. Continuación....

6.9.3	La Soledad	14-30-10	90-23-50	1650	1615.1	8897	13
6.10.2	El Pilar	14-42-22	90-42-44	1850	1250.6	5999	26
6.12.1	San Pedro						
	Ayampuc	14-46-35	90-27-17	1200	1045.7	4369	17
6.16.2	Laguna E.E.	14-27-10	90-34-10	1200	1202.5	5616	24
6.16.3	Morán Fegua	14-29-10	90-32-03	1220	1173.4	5385	36
6.16.4	San Agustín						
	Las Minas	14-31-43	90-31-04	1350	1106.3	4851	16
10.2.1	Agua Blanca	14-31-16	89-36-30	890	875.5	3016	45
10.3.2	Anguiatú	14-21-06	89-34-45	492	913.3	3317	27
10.3.9	Guayabo	14-13-42	89-31-29	450	1276.1	6202	7
10.9.1	Jalpatagua	14-08-09	90-00-32	557	1235.1	5875	29
10.13.1	Quezada	14-15-58	90-02-16	980	1079.1	4633	17
10.15.1	Santa Catari-						
	na Mita	14-27-00	89-44-35	700	874.8	3010	7
12.4.1	Sanarate	14-47-02	90-12-11	812	689.7	1539	51
12.5.1	La Montañita	14-42-48	90-08-16	1360	893.7	3161	26
12.6.1	El Rancho						
	Fegua	14-55-00	90-00-25	280	594.2	779	52
12.6.3	Puente Ore-						
	llana	14-55-10	90-00-07	280	631.8	1078	7
16.1.1	Antigua	14-33-20	90-43-54	1530	963.7	3717	52
16.2.1	Potrero	14-31-43	90-45-58	1520	910.6	3295	77
18.4.1	La Morena	14-10-47	90-22-48	780	1764.9	10088	52
18.7.2	Nueva Santa						
	Rosa	14-22-50	90-17-87	1001	1162.5	5290	13
18.7.3	El Valle	14-24-24	90-15-38	1000	2561.9	16426	24
18.18.1	Santa Isabel	14-12-16	90-27-50	1060	1976.3	11769	25
18.10.1	Portezuelo	14-26-10	90-08-03	1420	1091.9	4737	12
22.7.1	Pasabién	15-01-48	89-40-48	260	723.3	1806	10
22.9.1	Teculután	14-59-15	89-43-06	-	904	3243	9

Cuadro 4. Grupo 4. de estaciones pluviométricas a las cuales se les estimó el valor de "R" por medio de correlaciones.

Nombre de la estación		Latitud G M S	Longitud G M S	Altura m.s.n.m	Precipitación prom. anual en mm	R Estimado MJ.mm/ha.h.año	años de Registro
3.2.1	Las Delicias	14-31-35	91-01-12	1000	2708	12974	27
3.12.6	Peña Plata	14-27-05	91-05-20	620	3321.5	17104	40
5.1.3	Escuintla E.E	14-18-23	90-40-07	360	2895.6	14205	27
5.1.9	San Andres						
	Ozuna	14-22-20	90-55-00	730	3887.5	21162	53
5.1.18	Los Azacuanes	14-12-13	90-43-13	120	1988.6	8543	10
5.6.5	Santá María	14-12-35	90-50-23	125	2209.6	9852	53
5.6.7	Santillana del mar	14-12-40	90-47-10	160	2159.6	9552	18
5.7.5	San José						
	Bella Vista	14-23-03	90-44-25	--	2618.2	12935	27
5.7.1	María Santísi- ma	14-21-18	90-44-42	620	3246.2	16581	29
5.8.2	San José	13-55-36	90-49-11	4	1282.1	4716	53
5.10.3	Los Tarros	14-23-50	90-59-36	700	3975.9	21816	29
5.10.9	La Recompensa	14-24-40	91-02-46	600	3920.6	21407	6
6.16.6	Potrero Largo	14-21-11	90-31-40	1120	1455.6	5600	11
13.6.2	Monte grande	14-41-52	91-55-15	340	3475.6	18186	63
13.6.5	La Paz	14-36-32	91-59-21	20	2899.5	14231	24
13.7.6	La Esmeralda	14-42-15	91-42-57	960	4057.6	22425	50
13.7.19	Vizcaya	14-45-05	91-46-44	940	4147.9	23103	62
13.7.20	La Violeta	14-45-12	91-43-38	1280	3192.8	16213	30
13.7.21	San Jerónimo	14-42-48	91-45-24	1000	4184.6	23380	26
13.10.2	Santa Anita	14-39-32	91-50-25	470	4050.3	22371	21
15.1.2	La Esperanza	14-25-32	91-52-52	40	1635.8	6559	25
15.1.4	Las Delicias	14-28-37	91-52-52	160	2681.2	12800	22
15.6.2	Las Fuentes	14-37-23	91-37-36	520	4201	23504	23
15.6.5	San Luis	14-36-44	91-37-25	460	3919.9	21401	20

Cuadro 4. Continuación....

15.8.2	El Tambor	14-38-38	91-36-48	640	3927.4	21457	41
17.2.1	Tecun Uman	14-40-25	92-08-22	28	1403.2	5329	17
17.7.1	Alabama Grande	14-50-34	91-55-38	880	5269.1	31937	47
17.7.5	El Rosario	14-52-00	91-57-05	820	4778.4	27979	51
17.10.2	El Baluarte	14-48-35	91-48-45	1220	3551.9	18728	24
17.10.6	La Victoria	14-47-35	91-50-24	940	4531.8	26043	22
17.10.7	Las Casas	14-48-40	91-48-32	1250	3377.3	17494	22
17.10.9	Santa Teresa						
	Canapa	14-45-24	91-52-33	480	4059.6	22440	13
17.22.3	Santa Teresa	14-58-48	91-59-43	800	3600.7	19078	47
18.12.2	La Gloria	14-07-15	90-17-12	960	2382.2	10908	33
18.14.1	Cartago	14-03-14	90-34-23	10	1397.5	7451	23
19.19.2	Monte de Oro	14-32-55	91-14-33	980	4158.3	23182	47
19.19.5	Montequina	14-33-24	91-15-53	1040	3716.4	19912	11
20.3.1	Bella Flor	14-35-54	91-20-45	820	4551.2	26195	26
20.3.6	Los Angeles	14-35-54	91-20-45	1020	4457.9	25470	27
20.4.4	Los Tarrales	14-31-20	91-08-08	760	3042.9	15191	52
20.4.8	El Vesubio	14-32-51	91-09-43	1440	2845.9	13876	32

G = grados

M = minutos

S = segundos

m.s.n.m = metros sobre el nivel del mar.



**Cuadro 5. Prácticas de conservación de suelos en base a los factores de la erosión.**

Factor de erosión	Medio de Control	Medida	Ejemplo
Erosividad de la lluvia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducir el impacto antes de llegar al suelo</li> <li>- Amortiguar el impacto al llegar al suelo.</li> <li>- Asegurar una cobertura máxima y permanente del suelo.</li> </ul>	Plantación de árboles en cortinas e intercalados.	-Agroforestería en general, cultivos permanentes.
		Agricultura en varios estratos	-Cultivos intercalados con plátano, yuca,...
		Arboles intercalados con los cultivos.	-Agroforestería.
		Cobertura del suelo con los mismos cultivos.	-Cultivos intercalados. -Cultivo de cobertura
Erodabilidad del suelo.	- Crear una estructura estable del suelo.	Cobertura del suelo entre dos períodos de cultivo.	-Barbechos de gramíneas o leguminosas. -Abono Verde.
		Enriquecimiento orgánico y mineral del suelo.	-Mulching  -Fertilización orgánica por: -Compost -Estiércol -Mulching -Abono Verde -Agroforestería -Fertilización mineral (NPK, Encalamiento).

BIBLIOTECA CENTRAL

Continuación.. Cuadro 5

-Mejorar la infiltración del agua en el suelo

Cobertura del suelo

-Mulching  
-Intercalamiento y cultivo de cobertura  
-Agroforestería

Enraizamiento Profundo; evitar la formación de capas duras.

-Agroforestería  
-Fertilización orgánica.  
-Intercalamiento de gramíneas/ tubérculos.  
-Arado profundo o

-Aumentar la capacidad de retención de agua de suelo.

Aumentar la porosidad y estabilizar la estructura.

-Fertilización orgánica.  
-Abono Verde  
-Encalamiento.

Trabajar la tierra en profundidad.

-Arado profundo o camellones  
-Integración de árboles (agroforestería).

Aumentar el contenido de materia orgánica.

-Fertilización Orgánica.  
-Abono Verde  
-Mulching  
-Agroforestería.

Cuadro 6. Estaciones analizadas con información pluviográfica y resultados obtenidos de R. para el análisis de correlación.

Código	Nombre de estación	PPA mm	Indices de erosividad
3.14.1	Sta. Cruz Balanyá	927	2548
6.1.20	Obs. Nacional	1080	3870
6.1.10	Radio Sonda	949	3329
6.1.3	La Brigada	1075	3977
6.2.3	Mil Flores	912	3251
12.3.1	Morazán	875	4569
11.9.5	Mi Ilusión	4042	18663
8.1.4	Puerto Barrios	3205	15023
8.4.6	Mariscos	2603	11412
1.7.10	Panzós	2560	11070
8.4.7	Los Amates	1792	8245
11.11.2	El Porvenir	1847	5777
8.3.6	Las vegas	1830	5540
1.1.8	Cobán	2102	3700
22.6.2	Unión	1522	6836
22.3.2	Fragua	670	1566
4.5.4	Ipala	908	4145
4.4.2	Esquipulas	1539	6513
10.3.1	Asunción Mita	1264	4590
10.11.2	Montúfar	1333	8114
10.9.2	El Jobo	1017	5332
9.1.2	Potrero Carri- llo	991	2668
9.3.3	Ceibita	960	4129
5.8.5	San José	1566	9770
5.1.14	Sabana Grande	3225	29078
5.1.17	El Chupadero	2788	21413
5.10.8	Comantulul	3568	26074
5.12.8	Tiquisate	2095	19178
18.1.3	Los Esclavos	1565	12739
17.3.1	Catarina	3649	30842
17.1.3	San Marcos	1047	1709
13.14.3	Labor Ovalle	808	1166
15.3.2	El Asintal	3001	30646
20.1.3	Chojojá	3706	33636
20.4.11	La Concha	3188	34048
7.1.3	Huehuetenango	1019	1604
7.19.2	San Pedro	1492	1996
	Necta		
7.20.2	Soloma	2162	1643
7.31.2	Todos Santos	1238	1035
14.5.2	Chinique	1266	1553
14.8.1	Nebaj	1947	2095
19.10.5	El Capitán	1008	1615
19.19.4	Santiago	1000	1428
19.5.2	Cantón Xejuyú	1065	1307
21.14	Juchanep	979	1068

Análisis de correlación

r = 0.86  
a = -6962.98  
b = 9.12  
n = 45 parejas de  
datos  
PPA = Precipitación  
promedio anual

Modelo lineal

R = a + bx Donde:  
R = índice de erosivi-  
dad  
-a y b- Coeficientes  
de regresión  
x = Precipitación  
promedio anual  
PPA

$$\Sigma_x = 79390 \quad \Sigma_y = 410509$$

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1948

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto 3 de agosto, 1988

"IMPRIMASE"



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