

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA
PARA LA ZONA SUROCCIDENTAL DE GUATEMALA

TESIS

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

POR

HERNAN HERNANDEZ DIAZ

En el acto de conferirsele el título de

INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA

1,986.

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T 253

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Dr. MARIO MORENO CAMBARA.

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	<i>Ing. Agr. Cesar A. Castañeda</i>
VOCAL I	<i>Ing. Agr. Oscar R. Leiva R.</i>
VOCAL II	<i>Ing. Agr. Jorge E. Sandoval I.</i>
VOCAL III	<i>Ing. Agr. Mario F. Melgar M.</i>
VOCAL IV	<i>P.A. Leopoldo Jordan Z.</i>
VOCAL V	<i>P.A. Axel Gómez Ch.</i>
SECRETARIO	<i>Ing. Agr. Luis A. Castañeda A.</i>



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia	_____
Asunto	_____

22 de abril de 1986

Ingeniero Agrónomo
Aníbal Martínez
Director del Instituto
de Investigaciones Agronómicas

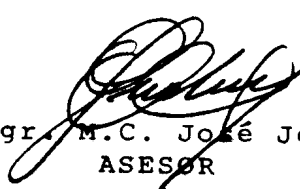
Ingeniero Martínez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de tesis del estudiante Hernán - Hernández Díaz, titulado "DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA PARA LA ZONA SUROCCIDENTAL DE GUATEMALA", el cual según mi criterio reúne las caracterís-
ticas 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.

Deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


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

Guatemala, 18 de Abril de 1986

Honorable Junta Directiva
Facultad de Agronomía
Presente

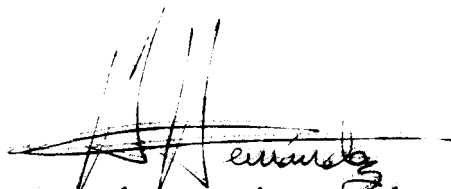
Señores Miembros:

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 titu-
lado:

"DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA
PARA LA ZONA SUR-OCCIDENTAL DE GUATEMALA"

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

En espera favorable, me suscribo de vosotros respe--
tuosamente;



Hernán Hernández Díaz

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

CREADOR DE LA VIDA

A MIS PADRES

*FRANCISCO ANTONIO HERNANDEZ
(FLORES SOBRE SU TUMBA)
FRANCISCA ANTONIA DIAZ PEREZ*

A MIS HERMANOS

*JULIA GRACIELA
JOSE LEONARDO
ORALIA
FRANCISCO ANTONIO
MARCIAL
ODILIA
LUIS ALBERTO
ALBA LUVIA*

A MIS SOBRINOS

A MIS CUÑADOS

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE PROMOCION

TESIS QUE DEDICO

- A** *MI PATRIA GUATEMALA*
- A** *LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS*
- A** *LA FACULTAD DE AGRONOMIA*
- A** *INSTITUTO NACIONAL CENTRAL DE VARONES*
- A** *INSTITUTO NACIONAL MIXTO “MARIO MENDEZ
MONTENEGRO”, CHIQUIMULILLA, S.R.*
- A** *ESCUELA NACIONAL URBANA “EDUARDO PINEDA
PIVARAL”, CHIQUIMULILLA, S.R.*
- A** *CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA*

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Agrónomo M.C. José Jesús Chonay P. asesor del presente trabajo de investigación, por sus valiosas observaciones y orientación científica.

Al INSIVUMEH, especialmente al departamento de Climatología, por la atención y cooperación 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 que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo de investigación.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
Indice de cuadros	— ii —
Indice de figuras	— iii —
Resumen	— iv —
I. Introducción	1
II. Objetivo	3
III. Revisión de literatura	4
A. Conceptos de erosión	4
B. Erosión hídrica	4
C. Factores de la erosión	4
1. Clima	5
2. Topografía	5
3. Vegetación	5
4. Suelo	6
D. Erosión permisible	6
E. Métodos para predecir la pérdida de suelo	6
F. Ecuación universal de predicción de pérdida de suelo	7
IV. Materiales y métodos	12
A. Descripción de la zona suroccidental de Guatemala	12
B. Metodología de Wischmeier y Smith, 1958	14
C. Metodología de Hudson, 1971	15
V. Resultados y discusión	17
VI. Conclusión	35
VII. Recomendaciones	37
VIII. Bibliografía	38
IX. Apéndice	40

INDICE DE CUADROS

Cuadros	Página
1 Ubicación de las estaciones pluviográficas	12
2 Indice de erosividad de la lluvia, estación Catarina, de 1969 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h	17
3 Energía cinética de la lluvia, estación Catarina, de 1969 a 1984, expresado en MJ/ha	19
4 Indice de erosividad de la lluvia, estación San Marcos, de 1972 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h	20
5 Energía cinética de la lluvia $KE > 25$, estación San Marcos, de 1972 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h	22
6 Indice de erosividad de la lluvia, estación Labor Ovalle, de 1971 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h.	23
7 Energía cinética de la lluvia $KE > 25$, estación Labor Ovalle, de 1971 a 1984, expresado en MJ/ha.	25
8 Indice de erosividad de la lluvia, estación El Asintal, de 1973 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h.	26
9 Energía cinética de la lluvia $KE > 25$, estación El Asintal, de 1973 a 1984, expresado en MJ/ha.	28
10 Indice de erosividad de la lluvia, estación Chojojá, de 1971 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h.	29
11 Energía cinética de la lluvia $KE > 25$, estación Chojojá, de 1971 a 1984, expresado en MJ/ha.	31
12 Indice de erosividad de la lluvia, estación La Concha, de 1978 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h.	32
13 Energía cinética de la lluvia $KE > 25$, estación La Concha, de 1978 a 1984, expresado en MJ/ha.	34
14 Indice de erosividad de la lluvia anual de las estaciones pluviograficas de la zona suroccidental de Guatemala, en MJ.mm/ha.h.año.	41
15 Energía cinética de la lluvia $KE > 25$ anual de las estaciones pluviográficas de la zona suroccidental de Guatemala, en MJ/ha.año.	42

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ubicación de la zona suroccidental de Guatemala	13
2	Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación Catarina	18
3	Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación San Marcos	21
4	Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación Labor Ovalle	24
5	Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación El Asintal	27
6	Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación Chojojá.	30
7	Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación La concha	33

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación, fué determinar el índice de erosividad de la lluvia, para la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, de las estaciones pluviográficas ubicadas en la zona suroccidental de Guatemala, por lo que se utilizó la metodología propuesta por Wischmeier y Smith en 1958; además, se determinó la energía cinética $KE > 25$ por la metodología propuesta por Hudson en 1971.

Los resultados obtenidos se describen a continuación:

La estación "Catarina", se encuentra ubicada a 233 m.s.n.m., latitud $14^{\circ} 51' 20''$, longitud $92^{\circ} 04' 38''$, en el departamento de San Marcos, para la cual se determinó el índice de erosividad de la lluvia de 30841.59 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ de 586.96 MJ/ha.año, promedios de los años de 1969 a 1984. El porcentaje más alto del índice de erosividad y energía cinética $KE > 25$, se dá de junio a octubre con 74.76 y 74.75 respectivamente. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad, es útil en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo.

La estación "San Marcos", se encuentra ubicada a 2420 m.s.n.m., latitud $14^{\circ} 57' 15''$, longitud $91^{\circ} 48' 34''$, en el departamento de San Marcos, para la cual se determinó el índice de erosividad de la lluvia de 1709.44 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ de 25.03 MJ/ha.año, promedios de los años de 1972 a 1984. El porcentaje más alto del índice de erosividad y energía cinética $KE > 25$, se dá de mayo a octubre con 90.82 y 86.70 respectivamente. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad, es útil en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo.

La estación "Labor Ovalle", se encuentra ubicada a 2420 m.s.n.m., latitud $14^{\circ} 51' 20''$, longitud $91^{\circ} 30' 50''$, en el departamento de Quetzaltenango, para la cual se determinó el índice de erosividad de la lluvia de 1166.45 MJ.mm/ha. h.año y la energía cinética $KE > 25$ de 18.44 MJ/ha.año, promedios de los años de 1971 a 1984. El porcentaje más alto del índice de erosividad y energía cinética $KE > 25$, se dá de mayo a septiembre con 92.71 y 97.18 respectivamente. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad, es útil en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo.

La estación "El Asintal", se encuentra ubicada a 355 m.s.n.m., latitud $14^{\circ} 32' 43''$, longitud $91^{\circ} 43' 28''$, en el departamento de Retalhuleu, para la cual se determinó el índice de erosividad de la lluvia de 30646.24 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ de 535.90 MJ/ha.año, promedios de los años de 1973 a 1984. El porcentaje más alto del índice de erosividad y energía cinética $KE > 25$, se da mayo a octubre con 85.71 y 85.52 respectivamente. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad, es útil en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo.

La estación "Chojojá", se encuentra ubicada a 430 m.s.n.m., latitud $14^{\circ} 32' 43''$, longitud $91^{\circ} 29' 34''$, en el departamento de Suchitepéquez, para la cual se determinó el índice de erosividad de la lluvia de 33635.89 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ de 618.13 MJ/ha.año, promedios de los años de 1971 a 1984. El porcentaje más alto del índice de erosividad y energía cinética $KE > 25$, se da mayo a octubre con 84.50 y 83.96 respectivamente. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad, es útil en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo.

La estación "La Concha", se encuentra ubicada a 670 m.s.n.m., latitud $14^{\circ} 26' 58''$, longitud $91^{\circ} 11' 00''$, en el departamento de Suchitepéquez, para la cual se determinó el índice de erosividad de la lluvia de 34047.58 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ de 535.89 MJ/ha.año, promedios de los años de 1978 a 1984. El porcentaje más alto del índice de erosividad y energía cinética $KE > 25$, se da de mayo a octubre con 87.66 y 86.26 respectivamente. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad, es útil en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo.

I. INTRODUCCION

El suelo es un recurso natural renovable, que está sujeto a procesos destructivos debido a la erosión, la que provoca un desequilibrio natural entre la formación y la pérdida del suelo (19).

En Guatemala, la utilización de los recursos naturales renovables ha provocado un deterioro y una subutilización de los mismos (4).

El agua es el agente que provoca mayor erosión, comprobándose que la energía de las gotas de lluvia provocan desplazamientos de partículas de suelo que alcanzan alturas de 61 cm y distancias laterales de 152 cm en terrenos planos; además, la cantidad de suelo desplazado alcanza de 50 a 90 veces más que el suelo arrastrado por flujo superficial, determinándose un promedio de 25 ton/ha (3). Esto es susceptible en terrenos con poca cubierta vegetal, cultivos anuales de gran extensión, en hileras y una rotación sencilla (24).

En la época lluviosa, para Guatemala cae un volumen promedio de 268,222 millones de metros cúbicos de agua, de los cuales se escurren a través de los ríos 201,014 metros cúbicos de agua, o sea el 75 o/o del total, en los cuales transporta hasta un 50 o/o de suelo en suspensión (6).

Se ha estimado el transporte de sedimentos en el río Villalobos de 372,000 toneladas de suelo, lo que equivale a $11.3 \text{ m}^3/\text{ha.año}$ y en el río Chixoy de $7.3 \text{ m}^3/\text{ha.año}$, lo que contrasta con los datos del río Pasión y el de San Pedro, cuyos valores son 0.05 y $0.23 \text{ m}^3/\text{ha.año}$, respectivamente (4). Arriaga (2), reporta pérdidas de suelo de 61.59 ton/ha.año en el parcelamiento Palo Verde, Barcenas, Villa Nueva.

El reconocer la gravedad del problema hace necesario contar con información básica acerca de la erosividad de la lluvia, a fin de planificar las medidas de conservación que garanticen el uso racional del suelo (20).

La ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, fué diseñada y probada para predecir la pérdida anual del suelo; ésta ecuación incluye los factores manejo de los cultivos, erosividad, erodabilidad, cubierta vegetal y las prácticas de conservación del suelo, además es importante para desarrollo municipal, producción de fuerza eléctrica y control de cauces (1).

Para el estudio se determinó el índice de erosividad de la lluvia o factor R y la ener-

gía cinética $KE > 25$, de la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, por lo que se utilizó los registros diarios de precipitación de las estaciones pluviográficas ubicadas en la zona suroccidental de Guatemala, correspondiente a los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Retalhuleu.

II. OBJETIVO

“Determinar el índice de erosividad de la lluvia o factor R , para la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, a partir de registros llevados por las estaciones pluviográficas, ubicadas en la zona suroccidental de Guatemala”.

III. REVISION DE LITERATURA

A. CONCEPTOS DE EROSION

Ellison en 1947, definió la erosión como el proceso de separación y transporte de los materiales del suelo por los agentes erosivos (9). La erosión puede ocurrir por los agentes, agua, viento, hielo y gravedad (23).

En el fenómeno de la erosión interviene un agente pasivo, que es el suelo, bajo condiciones de pendiente y agentes activos o erosivos, como el agua y el viento y un intermediario, la vegetación (22)

B. EROSION HIDRICA

Es una remoción del suelo, provocada por el efecto combinado de dispersión de las gotas de lluvia y el movimiento del agua (12).

La erosión causada por el agua puede ser: laminar, en surcos y en zanjones o cárcavas (22).

La erosión laminar es la remoción de capas delgadas más o menos uniformes de suelo sobre toda un área. Es la menos notable y la más peligrosa por la remoción del humus, donde comienza a tomarse de color más claro el suelo superficial, por lo que reduce la productividad de los terrenos en forma progresiva (22). En observaciones de campo, se ha podido notar que ésta erosión se presenta en pequeños canales. Los escurrimientos superficiales en pequeños canales tienen velocidades cercanas a un metro por segundo (12).

La erosión en surcos, se forma a lo largo de la pendiente y constituye zonas de concentración de escurrentía, ocurren especialmente durante lluvias de gran intensidad y pendientes pronunciadas (22).

La erosión en zanjones o cárcavas es la más severa de erosión, y se da por concentración de los caudales de los pequeños canales. Los zanjones formados no pueden ser borrados con implementos agrícolas (12).

C. FACTORES DE LA EROSION

En el estudio de la erosión se distinguen los factores siguientes: clima, vegetación, suelo y topografía.

1. Clima

Las principales características del clima que influyen en el proceso erosivo es la precipitación, temperatura y viento.

La precipitación tiene una relación directa con la erosión y es la responsable de las pérdidas de suelo. Dentro de las características físicas de la lluvia se debe considerar: cantidad, intensidad y distribución. Las lluvias de baja intensidad se presentan en períodos más largos y su acción erosiva disminuye.

La temperatura tiene incidencia en la erosión del suelo, donde a mayor temperatura la intensidad de las lluvias es alta en condiciones tropicales. Esto se explica que al aumentar la temperatura el porcentaje de vapor de agua por metro cúbico de aire es mayor. En regiones tropicales y subtropicales se presenta mayor erosión que en regiones templadas (23).

El viento es el agente de la erosión eólica, que ocurre en regiones planas y de escasa precipitación, poca vegetación natural que ofrece una reducida protección al suelo.

2. Topografía

Es el factor principal en la erosión hídrica, junto al relieve y el porcentaje de pendiente (16).

Los relieves raras veces son uniformes desde la cima hasta el valle. Donde esta variación es pronunciada y donde se alternan relieves empinados y suaves, puede ser considerable el efecto de la escurrentía. Las áreas concavas planas tienen la tendencia a disminuir la escurrentía y a sedimentar el suelo (23).

El porcentaje de pendiente, es la diferencia de nivel que se observa entre dos puntos situados a 100 metros de distancia. Generalmente, cuanto más largo es el declive, tanto más veloz es el desplazamiento del agua y del desgaste del suelo. De esta manera, sobre las lomas más suaves, pero de gran longitud, los perjuicios de la erosión pueden resultar más cuantiosos que en lugares de pendiente fuerte y corta (15).

3. Vegetación

La cubierta vegetal es la defensa natural de un terreno contra la erosión hídrica. Toda planta, desde la más minúscula hierba, hasta el árbol más corpulento, defiende al suelo de la erosión provocada por la precipitación en forma y proporción diferente (22).

4. Suelo

Por suelo se entiende como la parte de la capa superior meteorizada de la corteza sólida terrestre que sirve de sostén a las plantas que sobre ella crece (7).

La erosión del suelo está determinada por sus características física y químicas.

La textura del suelo es una de las características permanentes. Depende del material y los factores de formación. Por ejemplo, un suelo formado de calizas tiene un mayor contenido de arcillas que un suelo formado por areniscas, por lo tanto es fácil de erosionarse; los arenosos son sueltos, friables, mientras que los arcillosos son plásticos y pegajosos (15).

La estructura se refiere a la forma como se ordenan las partículas primarias del suelo, que determinan en gran parte la facilidad para trabajar los terrenos, la permeabilidad y la resistencia a la erosión (13).

Los cationes como el Ca y H tienen una acción floculante y le ofrecen al suelo mayor resistencia a la erosión. En cambio, cuando predominan cationes como Na y Mg tienen una acción dispersante y los suelos se erosionan más rápidamente (23).

D. EROSION PERMISIBLE

Cada terreno tiene su grado de tolerancia de pérdida de suelo y puede variar entre 2 a 12.5 ton/ha.año, según el tipo de suelo; el espesor y diversas propiedades físicas del mismo. Por lo general una pérdida de 12.5 ton/ha.año, es tolerable en los suelos profundos y bien drenados, mientras que pérdidas de 2 a 4 ton/ha.año, se puede consentir en suelos poco profundos y subsuelos desfavorables. En los demás suelos se toleran pérdidas intermedias entre éstas dos (16).

E. METODOS PARA PREDECIR PERDIDA DE SUELO

Se conocen dos métodos para predecir pérdida de suelo: método directo y método indirecto.

En el método directo tenemos: transectos de cárcavas, clavos con rondanas, tapas o corcholatas, lotes de escurrimiento y levantamientos topográficos; mientras que, en el método indirecto se tiene, la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo.

F. ECUACION UNIVERSAL DE PREDICCIÓN DE PERDIDA DE SUELO

El primer estudio científico de los efectos de la erosión se piensa que lo hizo Wollny a fines del siglo XIX. Los primeros estudios cuantitativos en América los inició el Servicio Forestal en 1915. En 1917 Miller, comenzó un estudio en parcelas acerca del efecto de los cultivos y las relaciones sobre el escurrimiento y la erosión.

La importancia del impacto de las gotas de lluvia en el proceso de la erosión no se apreció plenamente hasta que se publicaron los estudios de Laws en 1940, sobre precipitación pluvial natural y el análisis de la acción mecánica de las gotas de lluvia por Ellison en 1947.

Varios científicos comenzaron a idear ecuaciones empíricas para la predicción de la erosión del suelo a medida que los datos se fueron acumulando e intercambiando. La primera de ellas relacionaba la pérdida del suelo con el grado de inclinación y con la longitud de la pendiente por Zingg en 1940. Por medio de parcelas en condiciones simuladas de campo y de precipitación pluvial, Zingg demostró que el duplicar el grado de pendiente aumentaba la pérdida del suelo de 2.6 a 2.8 veces y duplicando la longitud horizontal de la pendiente aumentaba la pérdida de suelo por escurrimiento en 3.03 veces.

Smith en 1941 evaluó los efectos de las prácticas de conservación mecánica para cuatro combinaciones de rotación de cultivos y tratamientos del terreno para un suelo. Determinó que:

La pérdida por el contorneado del suelo es del 57 o/o de la observada al trabajar una colina de arriba a abajo.

La pérdida del suelo debido a las cosechas en rotación por franjas es del 25 o/o de la que se presenta al trabajar una colina de arriba a abajo, y

La pérdida de suelo debida a las terrazas es del 3 o/o de la presentada al trabajar una colina de arriba a abajo.

Browning y colaboradores en 1947, ampliaron el procedimiento propuesto por Smith en 1941 para varias rotaciones de cultivos y para la mayor parte de los suelos de Iowa. Además, se hizo un cálculo del efecto de las diversas prácticas de manejo del terreno sobre la pérdida del suelo.

La relación de las características de precipitación pluvial con la cantidad de suelo erosionado fue introducida por Musgrave en 1947.

En 1954 la investigación para la predicción de erosión de suelos se consolidó en un esfuerzo cooperativo que tenía por objeto superar muchas de las desventajas inherentes a los proyectos de investigación local o regional. Se compilaron datos de investigaciones de la erosión en más de 8000 parcelas año en 36 localidades de 21 estados de E.E.U.U. Se hizo una reevaluación de los diversos factores que afectaban la pérdida de suelo, Smith y Wischmeier en 1957, Wischmeier y Smith en 1958 y Wischmeier y colaboradores en 1958, lo cual condujo a la formulación del método de predicción de pérdida de suelo de mayor uso, llamada Ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, la cual es:

$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ donde:

A = Promedio anual de pérdida de suelo, expresado en ton/ha.año

R = 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 = factor erodabilidad del suelo, expresado como la tasa de erosión por unidad
de índice de erosividad, el cual es toneladas hectárea año/hectárea Mega Joule
milímetro

L = factor longitud de la pendiente, adimensional

S = factor grado de la pendiente, adimensional

C = factor manejo de cultivos, adimensional

P = factor prácticas mecánicas de control de erosión, adimensional

La ecuación universal de predicción de pérdida de suelo se desarrolló mediante la evaluación de parcelas estándar, de 22.13 metros de longitud con pendiente del 9 por ciento, área de 40.5 m² y un ancho de 1.83 metros (14).

Su uso en programas regionales de conservación de suelos han confirmado su confiabilidad. Sin embargo, en ocasiones la ecuación se utiliza también para otros fines, para los cuales no había sido diseñada, simplemente porque parece satisfacer la necesidad mejor que cualquier otro instrumento disponible, según Wischmeier en 1976 (19).

El rango de variación aproximado de los índices medios anuales de erosión pluvial para gran parte de los Estados Unidos, oscila entre menos de 851 en las planicies semi-áridas del oeste y más de 10212 en los Estados reibereños del Golfo de México. Más concretamente, éstos índices varían entre 851 y 2253 en Dakota del norte, Dakota del sur y la parte oriental de los Estados de Colorado y Nuevo México. La variación está comprendida entre 1267.5 y 4255 en los Estados centro septentrionales y nororientales, expresados en MJ.mm/ha.h.año (16).

Los valores anuales promedio del índice de erosividad de lluvia, África occidental oscila entre 1702 a 34040 MJ.mm/ha.h.año (14)

Hudson en 1971, citado por (1), dice que el índice de erosividad permite evaluar el efecto erosivo en cualquier clima y que, probablemente la aplicación más importante es que permite una explicación sencilla de porqué la erosión es más espectacular en países tropicales y subtropicales, pero raramente notable en climas templados.

La capacidad de cuantificar la fuerza erosiva de la lluvia tiene dos aplicaciones:

En la práctica de conservación de suelos: ayuda a mejorar el diseño de los trabajos de conservación, mediante el trazo de mapas de erosividad, el cual puede ser utilizado para una planeación detallada de sistemas de cultivos.

En la investigación: ayuda a aumentar nuestro conocimiento y entendimiento de la erosión (1).

Se han elaborado mapas de iso-erosividad para Túnez y la cuenca del río Tet al sur de Francia, así como curvas de distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia para estas regiones. Estas curvas de distribución se utilizan junto con datos detallados de manejo de cosechas para obtener los factores de cosechas estacionales o para combinar información sobre rotación de cultivos. Las curvas de distribución se usan para determinar el factor manejo de cultivos. La efectividad del control de la erosión de cada cobertura y prácticas de manejo se aproximan al dividir el ciclo de los cultivos en cinco etapas, de manera que, la efectividad de cada etapa de desarrollo del cultivo puede relacionarse con la severidad de las lluvias que se esperan en ese período, las etapas son las siguientes:

- Etapa 1. Barbecho burdo. De la labranza de inversión hasta una labranza secundaria.
- Etapa 2. Camellones. De labranza secundaria para camellones hasta un 10 por ciento de cobertura por follaje.
- Etapa 3. Establecimiento. De 10-50 por ciento de cobertura por follaje.
- Etapa 4. Desarrollo. De 50-70 por ciento de cobertura por follaje.
- Etapa 5. Cultivo de maduración. Del 70 por ciento de cobertura de follaje hasta la cosecha del cultivo. (14).

El índice de erosividad de la lluvia, cuantifica las fuerzas de la lluvia y el escurrimiento. Wischmeier en 1972, menciona varios requisitos que debe tener el índice de erosividad:

Debe ser predecible en base probabilística a partir de datos meteorológicos.

Debe ser definible para tormentas específicas, períodos específicos y anual.

Su evaluación estacional o anual debe ser calculada tomando en cuenta sólo las lluvias significativas, mayores de 13 mm de precipitación (1)

Debido a un análisis de la cantidad de suelo perdido y datos pluviográficos, se dedujo que cuando todos los factores, menos la lluvia permanecen constantes, las pérdidas de suelo ocasionadas por los aguaceros en los terrenos inclinados son directamente proporcionales a las características de la energía de la lluvia y su máxima intensidad en 30 minutos (16).

De acuerdo a la metodología de Hudson, el significado de la energía cinética $KE > 25$, es la energía cinética de las lluvias que caen a intensidades mayores de 25 mm/h. El $KE > 25$ resultó de los estudios de Hudson en 1971, basados en el concepto de que hay un valor crítico de intensidad en el cual la lluvia empieza a ser erosiva. La idea resultó de la observación que a bajas intensidades hay poca o ninguna erosión, ya que, a bajas intensidades la lluvia está compuesta principalmente de gotas pequeñas, que caen con poca velocidad y por lo tanto de baja energía (8).

Hudson, citado por Mitchell (14), llevó a cabo estudios extensivos sobre erosión edáfica en suelos de Africa subtropical; observó que la pérdida de suelos está estrechamente relacionada con la energía cinética de las lluvias aisladas con intensidades mayores de 25 mm/h, describió este parámetro como el índice $KE > 25$.

El índice EI_{30} o sea el índice de erosividad de la lluvia, es menor en lugares que reciben una larga porción de lluvias con intensidades altas. Para regiones tropicales y subtropicales, propone la energía cinética $KE > 25$ mm/h; lluvias menores a 25 mm/h son desechadas (16).

Según Neal y Baver en 1937 (3), en un estudio sobre el efecto de la caída de la lluvia, se encontró que el impacto de las gotas por unidad de área era determinada por el tamaño y número de gotas. Por lo tanto, al ser mayor el número de gotas y ser éstas mayores, crece la energía del aguacero. Aunque la energía de un aguacero da una buena indicación de la pérdida de suelo, el factor intensidad máxima en 30 minutos es importante, por su efecto sobre la energía cinética. Resultados de investigaciones han mostrado una alta correlación entre la pérdida del suelo y el producto de la energía cinética durante una tormenta multiplicada por la intensidad en 30 minutos. La energía cinética de la tormenta

se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$EC = 0.119 + 0.0873 \log_{10} X \quad \text{donde:}$$

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

X = intensidad de la lluvia, expresada en mm/h (8).

El producto de esta ecuación, fue denominado índice de erosividad y significa que el potencial de la erosión de ésta tormenta 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 (3).

El producto de la energía cinética por la intensidad de la lluvia, se considera el índice exacto hasta ahora para medir el potencial de un aguacero que causa erosión en un suelo (16).

IV. MATERIALES Y METODOS

La determinación del índice de erosividad de la lluvia, para la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, se hizo de acuerdo a la metodología propuesta por Wischmeier y Smith en 1958 (8), y la energía cinética $KE > 25$, de acuerdo a la metodología propuesta por Hudson en 1971 (11).

Para determinar éstos índices de erosividad de la lluvia, se usó los registros diarios de precipitación de las estaciones pluviográficas del Cuadro 1, las cuales tienen un radio de acción de 10 kilómetros (9).

CUADRO 1. Ubicación de las estaciones pluviográficas.

Número	Estación	Elevación m.s.n.m.	Latitud	Longitud
17.3.1.	Catarina	233	14° 51' 20"	92° 04' 38"
17.1.3.	San Marcos	2420	14° 57' 15"	91° 48' 34"
13.14.3.	Labor Ovalle	2420	14° 51' 20"	91° 30' 50"
15.3.2.	El Asintal	455	14° 51' 20"	91° 43' 28"
20.1.3.	Chojojá	430	14° 32' 43"	91° 29' 34"
20.4.11.	La Concha	670	14° 26' 58"	91° 11' 00"

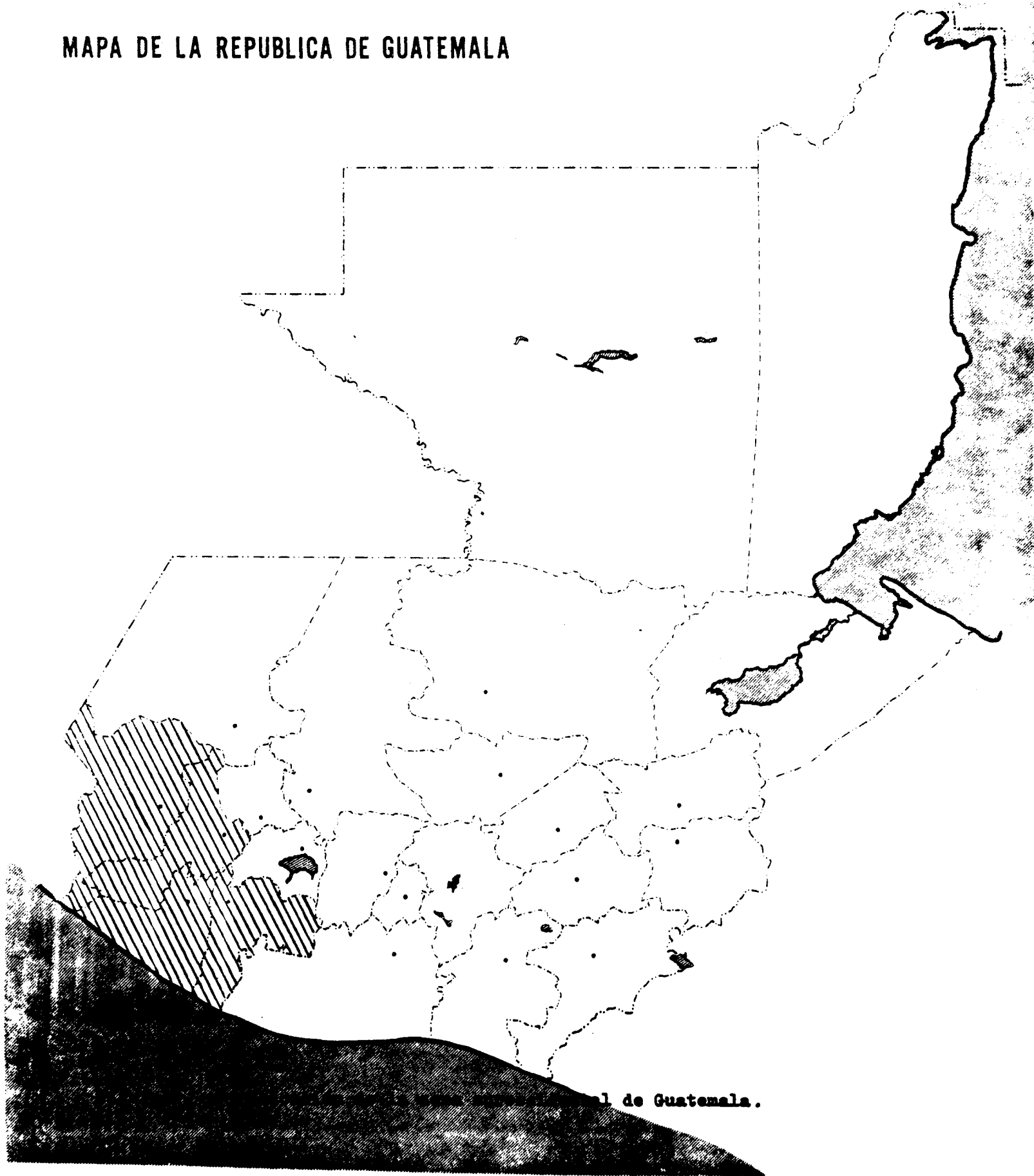
A. DESCRIPCION DE LA ZONA SUROCCIDENTAL DE GUATEMALA.

La zona de estudio comprende los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu y Suchitepéquez, como se observa en la figura 1.

En el departamento de San Marcos, se encuentra la estación Catarina, en el municipio de Catarina, zona de vida Bosque muy húmedo subtropical (cálido) *bmh-S(c)*, clase de suelos misceláneo (suelos aluviales no diferenciados), temperatura media anual de 26.64° C, humedad relativa media anual de 80.0 o/o y una precipitación media anual de 3709.3 mm y estación San Marcos, en el municipio de San Marcos, zona de vida Bosque muy húmedo Montano bajo Subtropical *bmh-MB*, clase de suelos de las montañas volcánicas, temperatura media anual de 14.1° C, humedad relativa media anual de 85.5 o/o y una precipitación media anual de 1075.28 mm.

Para el departamento de Quetzaltenango se encuentra la estación Labor Ovalle en el municipio de Olinstepeque, zona de vida Bosque muy húmedo Montano bajo subtropical

MAPA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA



bmh-MB, clase de suelos de la altiplanicie central, temperatura media anual de 13.43°C, humedad relativa media anual de 74 o/o y precipitación media anual de 801.23 mm.

Donde en el departamento de Retalhuleu se encuentra la estación El Asintal, en el municipio de El Asintal, zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical (cálido) bmh-S(c), clase de suelos del declive del pacífico, temperatura media anual de 26.48° C, humedad relativa media anual de 76.4 o/o y una precipitación media anual de 2674.86 mm

Por lo que en el departamento de Suchitepéquez se encuentra la estación Chojó, en el municipio de San Bernardino, zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical (cálido) bmh-S(c), clase de suelos del declive del pacífico, temperatura media anual de 25.56° C, humedad relativa media anual de 93.8 o/o y precipitación media anual de 3555.84 mm y la estación La Concha en el municipio de San Juan Bautista, zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical (cálido) bmh-S(c), temperatura media anual de 23.82° C, humedad relativa media anual de 74.75 o/o y precipitación media anual de 3558.85 mm (5, 21).

B. METODOLOGIA DE WISCHMEIER Y SMITH, 1958

La energía cinética se calcula a través de los registros pluviográficos diarios, los cuales se dividen en segmentos con una intensidad uniforme. De cada segmento del pluviograma se calcula la intensidad en mm/h y la energía cinética para cada uno de los segmentos con intensidades uniformes, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

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

Donde X, es la intensidad de la lluvia en mm/h de cada uno de los segmentos y las intensidades no excedan de 76 mm/h, a mayores de dicho valor se asume una energía cinética de 0.283 MJ/ha.mm.

Las tormentas menores de 13 mm separadas de otro período de lluvia por mas de 6 horas no son incluidas en el cálculo, a no ser que sea tanto como 6 mm de lluvia que cae en 15 minutos (8).

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 tienen n segmentos con intensidades i, la ECt será:

$$ECt = \sum_{i=1}^n EC_i \times q_i \quad \text{donde:}$$

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

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

q_i = cantidad de lluvia que ocurrió a la intensidad i , expresada en mm

i = número de segmentos de lluvia con intensidad diferente.

La EI_{30} es definida como el producto de la energía cinética total de la lluvia y la intensidad máxima en 30 minutos I_{30} .

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

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

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

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

La intensidad máxima en 30 minutos I_{30} , se define como el doble de la mayor cantidad de lluvia que cae en un intervalo de 30 minutos consecutivos (1)

Se establece un límite de 63.5 mm/h para el componente I_{30} (14).

C. METODOLOGIA DE HUDSON, 1971

De acuerdo a la metodología de Hudson, el significado de la energía cinética $KE > 25$, es la energía cinética de la lluvia que cae a intensidades mayores de 25 mm/h (8).

La energía cinética $KE > 25$, es igual a la suma de la energía cinética de los segmentos de lluvia con intensidades mayores de 25 mm/h, de tal manera que si se tiene n segmentos con intensidades i , la $KE > 25$ será:

$$KE > 25 = \sum_{i=1}^n ECi \times q_i \quad \text{donde:}$$

$KE > 25$ = energía cinética, expresada en MJ/ha.

ECi = energía cinética de la lluvia, expresada en MJ/ha.mm

q_i = cantidad de lluvia que ocurrió a la intensidad i , expresada en mm

i = número de segmentos de lluvia con intensidad diferente.

El índice de erosividad de la lluvia y la energía cinética $KE > 25$, son empíricos, con unidades arbitrarias y no son intercambiables (11).

Se suman todos los valores del índice de erosividad y $KE > 25$, de los eventos de

lluvia que caen en un año, para cada una de las estaciones pluviográficas, luego se suman los valores anuales y se divide entre el número de años de registros, donde se obtiene el índice medio anual de erosión pluvial y una energía media anual, como se observa en los Cuadros 14 y 15 del apéndice (16).

Se suman todos los valores del índice de erosividad y $KE > 25$, de los eventos de lluvia que caen en los meses del año, para cada una de las estaciones pluviográficas, luego se suman los valores del mes del total de años de registros, se divide entre el total de años calculados, donde se obtiene la distribución promedio mensual durante el año, como se observa en los Cuadros 2 al 13 (18).

Se realizan las curvas de distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia, para las estaciones pluviográficas del Cuadro 1, donde se acumula los porcentajes mensuales, ver figuras 2 al 7.

Se elaboró el mapa de la zona suroccidental de Guatemala, donde se ubicó las estaciones pluviográficas, con sus respectivos índices de erosividad de la lluvia, ver figura 8 del apéndice.

La erosividad de la lluvia y la energía cinética $KE > 25$, se calcula con los datos de precipitación recogidos en un período de 5 a 20 años (16).

V. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos en la presente investigación, donde se observa el índice de erosividad de lluvia, su curva de distribución promedio mensual y la energía cinética $KE > 25$, para cada una de las estaciones pluviográficas que aparecen en el Cuadro 1, capítulo anterior.

CUADRO 2. Índice de erosividad de lluvia, estación Catarina, de 1969 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h

Mes	$\bar{x}$ mensual Factor R.	o/o mensual Factor R.	o/o acumulado Factor R.
Enero	282.22	0.91	0.91
Febrero	198.98	0.64	1.56
Marzo	373.16	1.21	2.77
Abril	1704.37	5.53	8.30
Mayo	2885.74	9.36	17.35
Junio	4376.94	14.19	31.84
Julio	4210.23	13.65	45.50
Agosto	4878.79	15.82	61.31
Septiembre	5798.56	18.80	80.12
Octubre	4405.95	14.28	94.40
Noviembre	1587.70	5.15	99.55
Diciembre	139.14	0.45	100.00
	30841.59	100.00	

En el Cuadro 2, se presenta los promedios mensuales del índice de erosividad que corresponde a los años de 1969 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de septiembre de 5798.56 MJ.mm/ha.h, que es el 18.80 o/o y el menor promedio mensual en diciembre de 139.14 MJ.mm/ha.h, con el 0.45 o/o. De junio a octubre corresponde a los meses de mayor precipitación e índice de erosividad del 76.74 o/o del total. El valor promedio anual del índice de erosividad de lluvia es 30841.59 MJ.mm/ha.h.año.

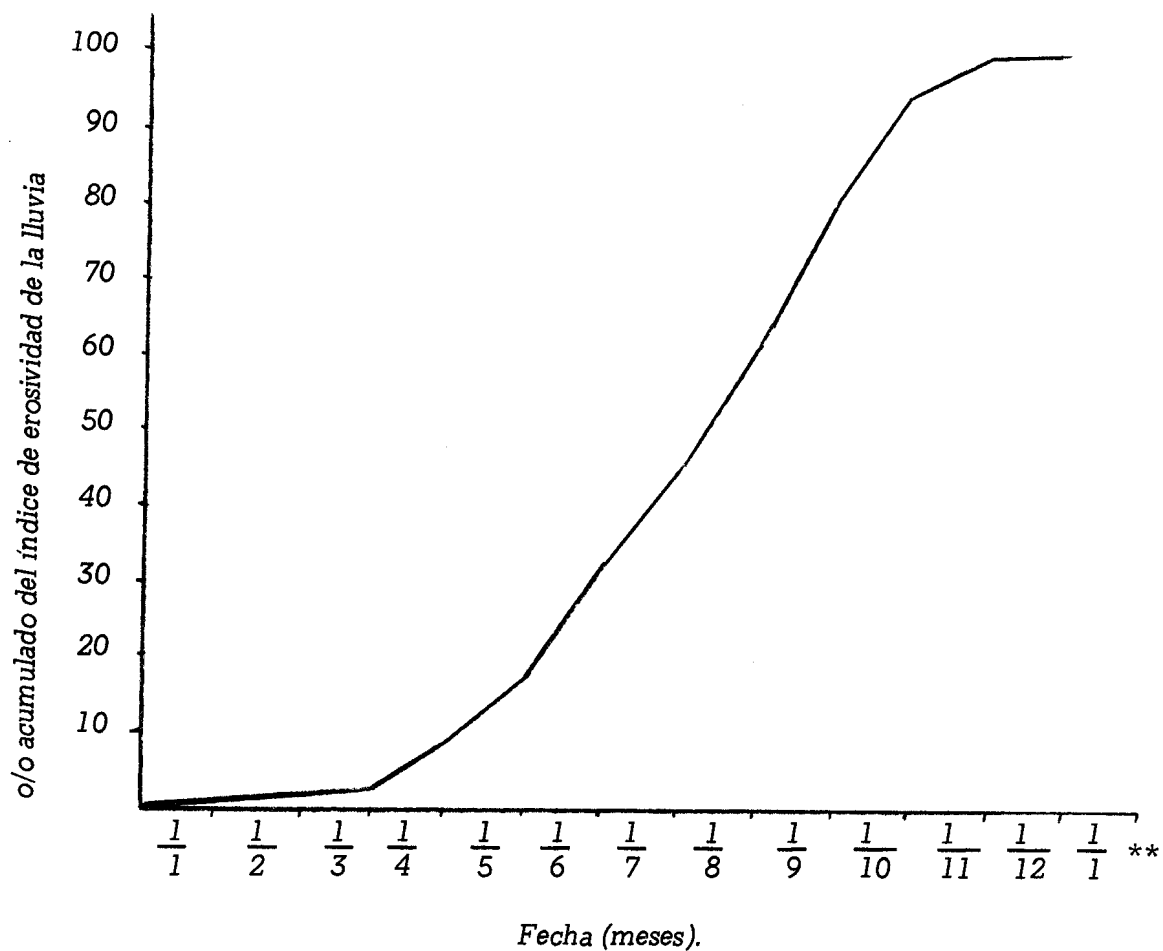


Figura 2. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación Catarina.

En la figura 1, se observa la curva de distribución promedio mensual acumulado del índice de erosividad de la lluvia para la estación Catarina, que es utilizada en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo (14, 16, 18).

****** El numerador significa el primer día del mes
El denominador significa el mes.

CUADRO 3. Energía cinética de lluvia $KE > 25$, estación Catarina, de 1969 a 1984, expresado en MJ/ha.

Mes	$\bar{x}$ mensual KE > 25.	o/o mensual KE > 25.	o/o acumulado KE > 25.
Enero	6.50	1.11	1.11
Febrero	4.44	0.76	1.87
Marzo	8.18	0.88	2.75
Abril	35.72	6.08	8.83
Mayo	57.94	9.87	18.83
Junio	83.07	14.15	32.85
Julio	73.47	12.52	45.37
Agosto	91.58	15.60	60.97
Septiembre	107.39	18.29	79.27
Octubre	83.27	14.19	93.46
Noviembre	31.70	5.40	98.86
Diciembre	3.71	0.64	100.00
	586.96	100.00	

En el Cuadro 3, se presenta los promedios mensuales de energía cinética $KE > 25$, que corresponde a los años de 1969 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de septiembre de 107.30 MJ/ha, que es el 18.29 o/o, y el menor promedio mensual en diciembre de 3.71 MJ/ha, con el 0.64 o/o. De junio a octubre corresponde a los meses de mayor precipitación y energía cinética $KE > 25$ de 74.75 o/o del total. El valor promedio anual de energía cinética $KE > 25$ de lluvia es 586.96 MJ/ha.año.

CUADRO 4. Índice de erosividad de lluvia, Estación San Marcos, de 1972 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h

Mes	$\bar{x}$ mensual Factor R	o/o mensual Factor R	o/o acumulado Factor R
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	16.60	0.97	0.97
Marzo	83.51	4.88	5.86
Abril	30.47	2.19	8.05
Mayo	215.57	12.61	20.66
Junio	343.84	20.11	40.77
Julio	254.59	14.89	55.67
Agosto	239.97	14.04	69.71
Septiembre	249.23	20.43	90.14
Octubre	149.49	8.74	98.98
Noviembre	19.11	1.12	100.00
Diciembre	0.00	0.00	0.00
	1709.44	100.00	

En el Cuadro 4, se presenta los promedios mensuales de índice de erosividad, que corresponde a los años 1972 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de septiembre de 349.23 MJ.mm/ha.h, que es el 20.43 o/o, y el menor promedio mensual en febrero de 16.60 MJ.mm/ha.h, con 0.97 o/o. De mayo a octubre corresponde a los meses de mayor precipitación e índice de erosividad del 90.82 o/o. El valor promedio anual de índice de erosividad de lluvia es 1709.44 MJ.mm/ha.h.año.

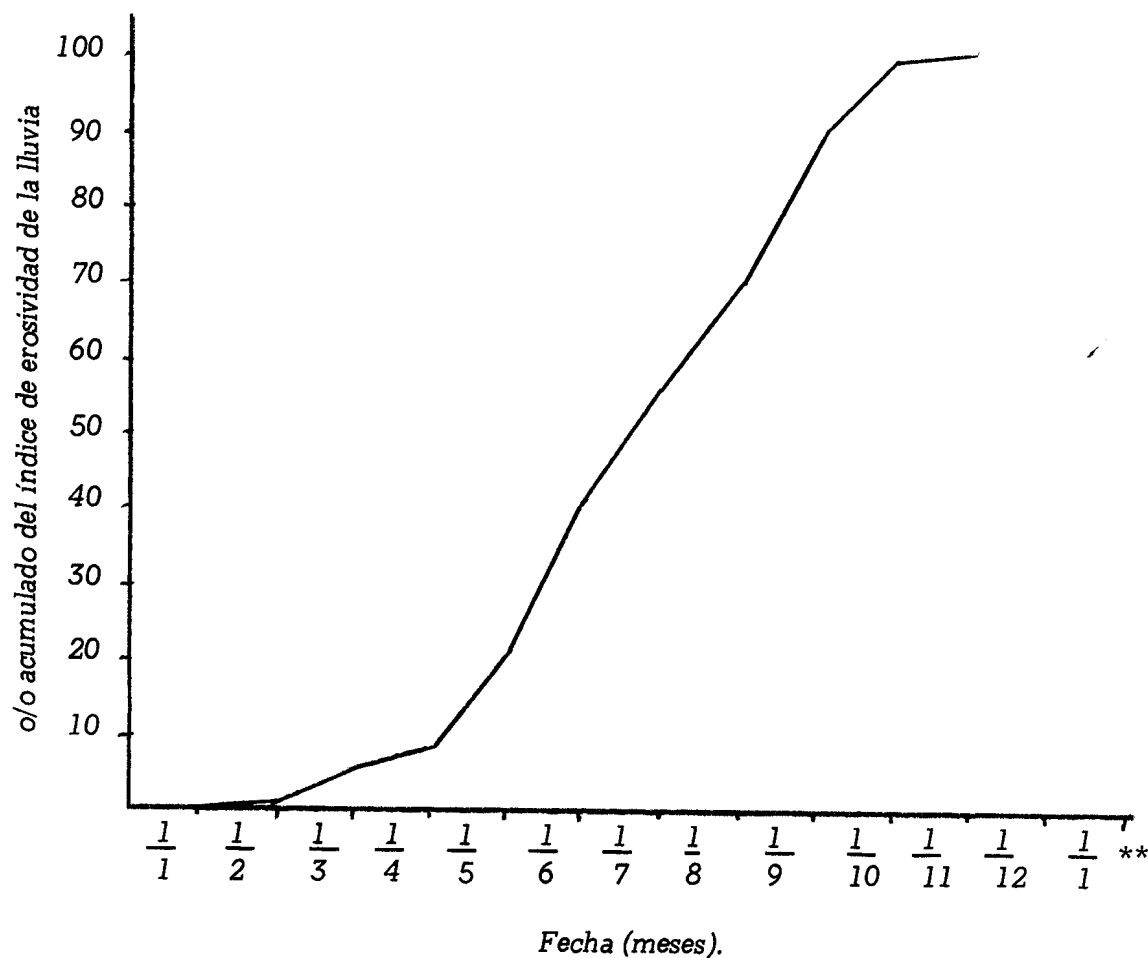


Figura 3. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación San Marcos.

En la figura 2, se observa la curva de distribución promedio mensual acumulado del índice de erosividad de la lluvia para la estación San Marcos, que es utilizada en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo (14, 16, 18).

** El numerador significa el primer día del mes

El denominador significa el mes

CUADRO 5. Energía cinética de la lluvia $KE > 25$, Estación San Marcos, de 1972 a 1984, expresado en MJ/ha.

Mes	$\bar{x}$ mensual $KE > 25$	o/o mensual $KE > 25$	o/o acumulado $KE > 25$
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.53	2.12	2.12
Marzo	2.20	8.79	10.91
Abril	0.24	0.96	11.86
Mayo	2.75	10.99	22.85
Junio	5.21	20.81	43.67
Julio	4.72	18.86	62.53
Agosto	2.43	9.67	72.19
Septiembre	4.05	16.18	88.37
Octubre	2.56	10.23	98.60
Noviembre	0.35	1.40	100.00
Diciembre	0.00	0.00	0.00
	25.03	100.00	

En el Cuadro 5, se presenta los promedios mensuales de energía cinética $KE > 25$ que corresponde a los años de 1972 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de junio de 5.21 MJ/ha, que es el 20.81 o/o, y el menor promedio mensual en noviembre de 0.35 MJ/ha, con el 1.40 o/o. De junio a octubre corresponde los meses de mayor precipitación y energía cinética $KE > 25$ del 86.74 o/o. El valor promedio anual de energía cinética $KE > 25$ es 25.03 MJ/ha.año.

CUADRO 6. Índice de erosividad de lluvia, estación Labor Ovalle, de 1971 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{x}$ mensual Factor R	o/o mensual Factor R	o/o acumulado Factor R
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00
Marzo	5.71	0.44	0.44
Abril	0.00	0.00	0.00
Mayo	320.61	27.49	27.93
Junio	204.53	17.53	45.46
Julio	135.34	11.60	57.03
Agosto	196.10	16.81	73.88
Septiembre	224.95	19.28	93.16
Octubre	79.77	6.84	100.00
Noviembre	0.00	0.00	0.00
Diciembre	0.00	0.00	0.00
	1166.45	100.00	

En el Cuadro 6, se presenta los promedios mensuales de índice de erosividad, que corresponde a los años de 1971 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de mayo de 320.61 MJ.mm/ha.h, que es el 27.49 o/o y el menor promedio mensual en marzo de 5.17 MJ.mm/ha.h, con el 0.44 o/o. De mayo a septiembre corresponde a los meses de mayor precipitación e índice de erosividad del 92.71 o/o. El valor promedio anual de índice de erosividad de lluvia es 1166.45 MJ.mm/ha.h.año.

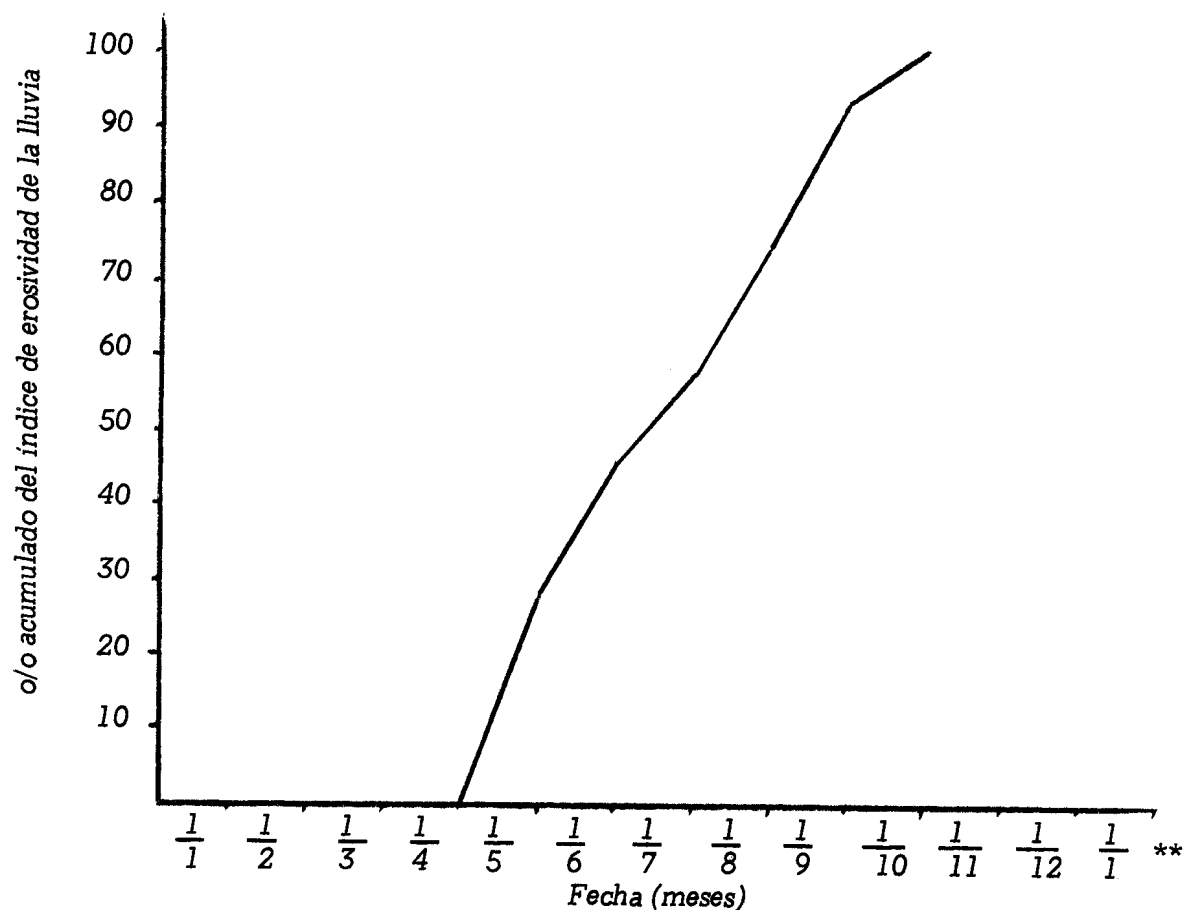


Figura 4. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación Labor Ovalle.

En la figura 3, se observa la curva de distribución promedio mensual acumulado del índice de erosividad de la lluvia para la estación Labor Ovalle, que es utilizada en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo (14, 16, 18)

****** El numerador significa el primer día del mes

El denominador significa el mes.

CUADRO 7. Energía cinética de lluvia $KE > 25$, estación Labor Ovalle, de 1971 a 1984, expresado en MJ/ha

Mes	$\bar{x}$ mensual KE > 25	o/o mensual KE > 25	o/o acumulado KE > 25
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00
Marzo	0.00	0.00	0.00
Abril	0.00	0.00	0.00
Mayo	4.46	24.19	24.19
Junio	4.41	23.91	48.10
Julio	2.30	12.47	60.57
Agosto	3.75	20.34	80.91
Septiembre	3.00	16.27	97.18
Octubre	0.52	2.82	100.00
Noviembre	0.00	0.00	0.00
Diciembre	0.00	0.00	0.00
	18.44	100.00	

En el Cuadro 7, se presenta los promedios mensuales de energía cinética $KE > 25$, que corresponde a los años 1971 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de mayo de 4.46 MJ/ha, que es el 24.19 o/o y el menor promedio mensual en octubre de 0.52 MJ/ha, con el 2.82 o/o. De mayo a septiembre corresponde a los meses de mayor precipitación y energía cinética $KE > 25$ del 97.18 o/o. El valor promedio anual de energía cinética de lluvia es 18.44 MJ/ha. año.

CUADRO 8. Índice de erosividad de lluvia, estación El Asintal, de 1973 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{x}$ mensual Factor R	o/o mensual Factor R	o/o acumulado Factor R
Enero	326.60	1.07	1.07
Febrero	348.59	1.14	2.21
Marzo	417.73	1.36	3.57
Abril	1686.67	5.50	9.02
Mayo	3505.75	11.44	20.51
Junio	4604.22	15.02	35.53
Julio	3634.38	11.86	47.39
Agosto	4479.71	14.62	62.01
Septiembre	5960.04	19.45	81.86
Octubre	4082.54	13.32	94.78
Noviembre	1308.28	4.27	99.05
Diciembre	291.24	0.95	100.00
	30645.24	100.00	

En el Cuadro 8, se presenta los promedios mensuales de índice de erosividad, que corresponde a los años de 1973 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de septiembre de 5960.04 MJ.mm/ha.h, que es el 19.45 o/o, y el menor promedio mensual en diciembre de 291.28 MJ.mm/ha.h, con el 0.95 o/o. De mayo a octubre corresponde a los meses de mayor precipitación e índice de erosividad del 30645.24 MJ.mm/ha.h.año.

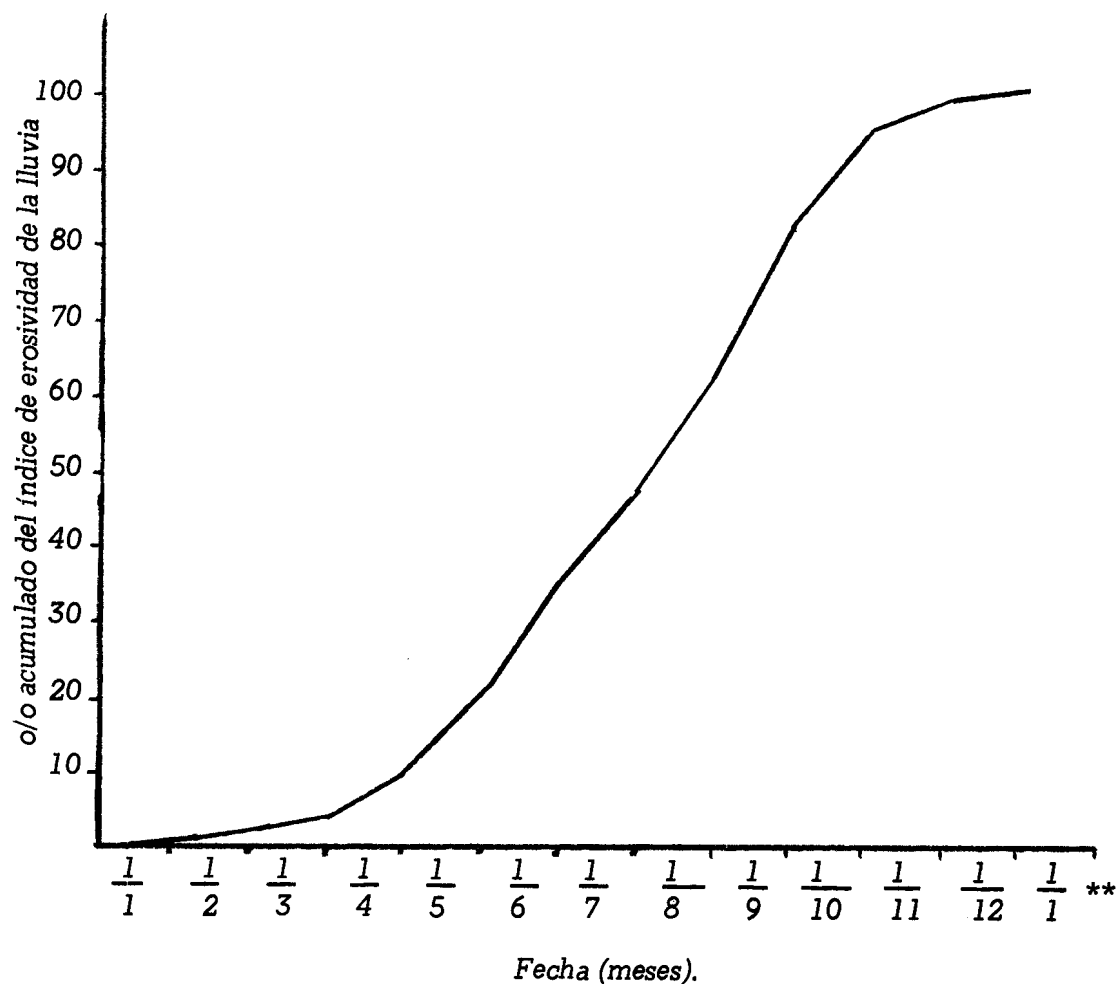


Figura 5. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación El Asintal.

En la figura 4, se observa la curva de distribución promedio mensual acumulado del índice de erosividad de la lluvia para la estación El Asintal, que es utilizada en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo (14, 16, 18)

****** El numerador significa el primer días del mes

El denominador significa el mes.

CUADRO 9. Energía cinética de lluvia $KE > 25$, estación El Asintal, de 1973 a 1984, expresado en MJ/ha

Mes	$\bar{x}$ mensual KE > 25	o/o mensual KE > 25	o/o acumulado KE > 25
Enero	6.14	1.14	1.14
Febrero	5.83	1.09	2.23
Marzo	7.45	1.39	3.62
Abril	29.71	5.54	9.17
Mayo	60.49	11.29	20.45
Junio	80.46	15.01	35.47
Julio	64.16	11.97	47.44
Agosto	73.46	13.71	61.15
Septiembre	106.88	19.94	81.09
Octubre	72.90	13.60	94.69
Noviembre	23.52	4.39	99.08
Diciembre	4.87	0.92	100.00
	534.90	100.00	

En el Cuadro 9, se presenta los promedios mensuales de energía cinética $KE > 25$, que corresponde a los años de 1973 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de septiembre de 106.88 MJ/ha, que es el 19.94 o/o, y el menor promedio mensual en diciembre de 4.87 MJ/ha, con el 0.92 o/o. De mayo a octubre corresponde a los meses de mayor precipitación y energía cinética $KE > 25$, del 85.52 o/o. El valor promedio anual de energía cinética $KE > 25$ es 535.90 MJ/ha.año.

CUADRO 10. Índice de erosividad de lluvia, estación Chojó, de 1971 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{x}$ mensual Factor R	o/o mensual Factor R	o/o acumulado Factor R
Enero	36.61	0.10	0.10
Febrero	335.48	1.00	1.10
Marzo	1074.52	3.19	4.29
Abril	1482.10	4.41	8.70
Mayo	4089.40	12.16	20.85
Junio	4690.71	13.94	34.80
Julio	3671.26	10.91	45.92
Agosto	4431.05	13.17	58.89
Septiembre	6741.45	20.04	78.93
Octubre	4822.63	14.34	92.27
Noviembre	1896.55	5.64	98.91
Diciembre	367.34	1.09	100.00
	33635.89	100.00	

En el Cuadro 10, se presenta los promedios mensuales de índice de erosividad, que corresponde a los años de 1971 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de septiembre de 6741.45 MJ.mm/ha.h, que es el 20.04 o/o y el menor promedio mensual enero de 36.61 MJ.mm/ha.h, con el 0.10 o/o. De mayo a octubre corresponde a los meses de mayor precipitación e índice de erosividad del 84.56 o/o. El valor promedio anual de índice de erosividad de lluvia es 33635.89 MJ.mm/ha.h.año.

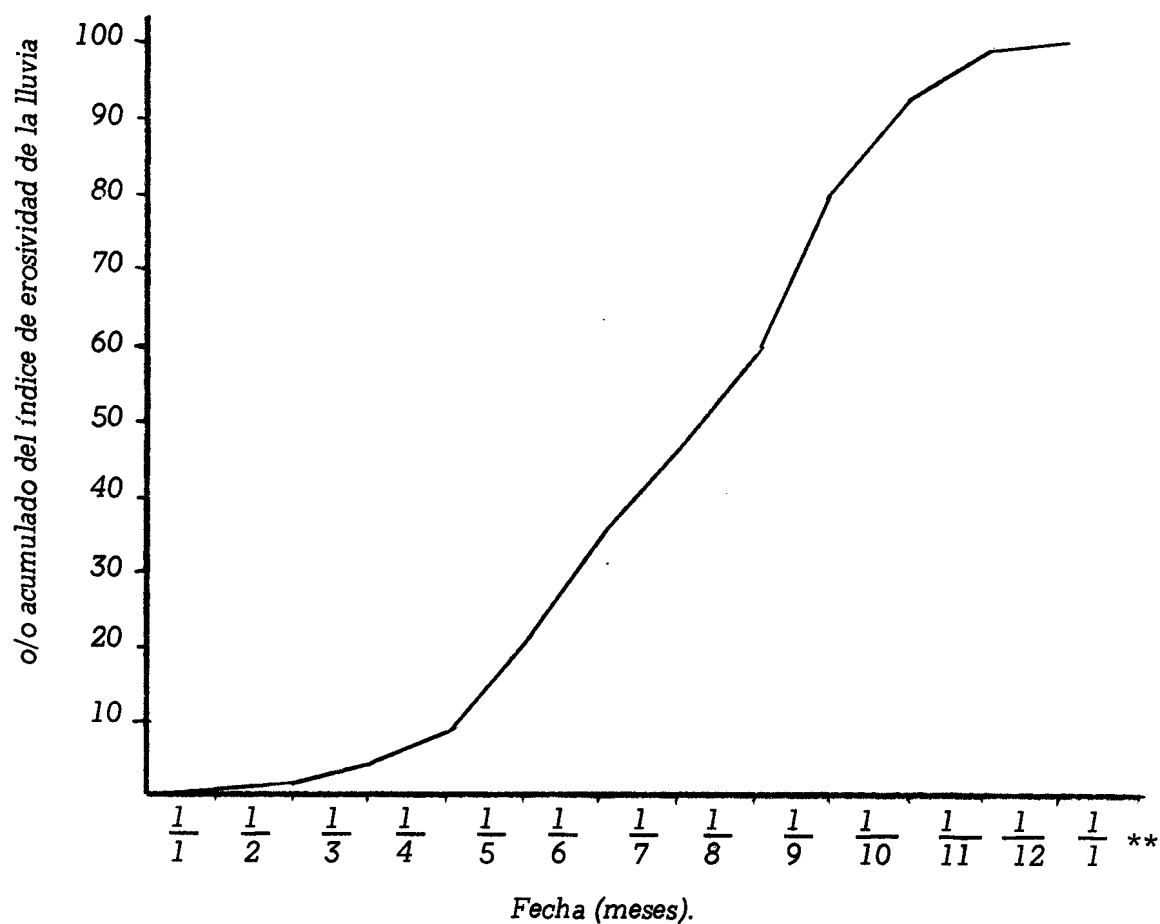


Figura 6. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación Chojó.

En la figura 5, se observa la curva de distribución promedio mensual acumulado del índice de erosividad de la lluvia para la estación Chojó, que es utilizada en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo (14, 16, 18).

** El numerador significa el primer día del mes

El denominador significa el mes

CUADRO 11. Energía cinética de lluvia $KE > 25$, estación Chojó, de 1971 a 1984, expresado en MJ/ha

Mes	$\bar{x}$ mensual $KE > 25$	o/o mensual $KE > 25$	o/o acumulado $KE > 25$
Enero	1.13	0.18	0.18
Febrero	6.11	0.99	1.17
Marzo	19.59	3.17	4.34
Abril	28.78	4.65	9.00
Mayo	73.52	11.89	20.89
Junio	88.77	14.36	35.25
Julio	66.89	10.82	46.07
Agosto	81.28	13.15	59.22
Septiembre	123.91	20.04	79.27
Octubre	84.71	13.70	92.97
Noviembre	36.91	5.97	98.94
Diciembre	6.68	1.06	100.00
	618.13	100.00	

En el Cuadro 11, se presenta los promedios mensuales de energía cinética $KE > 25$, que corresponde a los años de 1971 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de septiembre de 123.91 MJ/ha, que es el 20.04 o/o, y el menor promedio mensual en enero de 1.13 MJ/ha, con el 0.18 o/o. De mayo a octubre corresponde a los meses de mayor precipitación y energía cinética $KE > 25$ del 83.96 o/o. El valor promedio anual de energía cinética $KE > 25$ es 618.13 MJ/ha.año.

CUADRO 12. Índice de erosividad de lluvia, estación La Concha, de 1978 a 1984, expresado en MJ.mm/ha.h.

Mes	$\bar{x}$ mensual Factor R	o/o mensual Factor R	o/o acumulado Factor R
Enero	27.09	0.08	0.08
Febrero	59.85	0.18	0.26
Marzo	459.33	1.33	1.59
Abril	1516.73	4.45	6.04
Mayo	7570.72	22.24	28.28
Junio	4991.88	14.66	42.95
Julio	4519.07	10.34	53.28
Agosto	4089.19	12.01	65.29
Septiembre	6666.39	19.58	84.87
Octubre	3347.99	8.83	94.70
Noviembre	1795.74	5.27	99.97
Diciembre	9.57	0.03	100.00
	34047.58	100.00	

En el Cuadro 12, se presenta los promedios mensuales del índice de erosividad, que corresponde a los años de 1978 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de septiembre de 6666.39 MJ.mm/ha.h, que es el 19.58 o/o y el menor promedio mensual en diciembre de 9.57 MJ.mm/ha.h, con el 0.03 o/o. De mayo a octubre corresponde a los meses de mayor precipitación e índice de erosividad del 87.66 o/o. El valor promedio anual de índice de erosividad de lluvia es 34047.58 MJ.mm/ha.h.año.

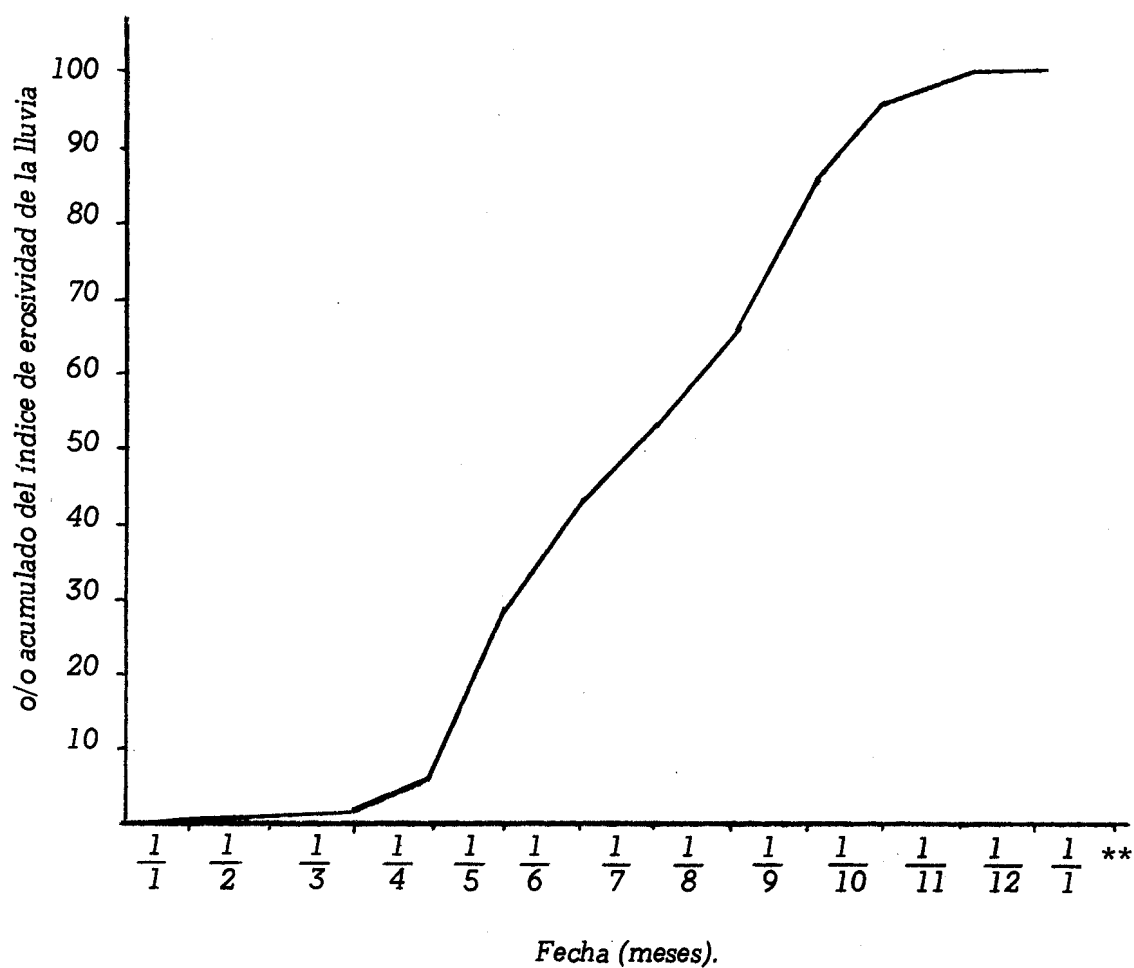


Figura 7. Distribución promedio mensual del índice de erosividad, para la estación La Concha.

En la figura 6, se observa la curva de distribución promedio mensual acumulado del índice de erosividad de la lluvia para la estación La Concha, que es utilizada en la determinación del factor C, correlacionada con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo (14, 16, 18).

** El numerador significa el primer día del mes
El denominador significa el mes.

CUADRO 13. Energía cinética de lluvia $KE > 25$, estación La Concha, de 1978 a 1984, expresado en MJ/ha

Mes	$\bar{x}$ mensual KE > 25	o/o mensual KE > 25	o/o acumulado KE > 25
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	1.62	0.30	0.30
Marzo	10.86	2.03	2.33
Abril	30.91	5.77	8.10
Mayo	52.97	9.88	17.98
Junio	87.92	16.41	34.39
Julio	68.79	12.84	47.22
Agosto	72.48	13.52	60.75
Septiembre	118.16	22.05	82.80
Octubre	61.96	11.56	94.36
Noviembre	30.20	5.64	100.00
Diciembre	0.00	0.00	0.00
	535.89	100.00	

En el cuadro 13, se presenta los promedios mensuales de energía cinética $KE > 25$, que corresponde a los años de 1978 a 1984, donde se observa un mayor promedio en el mes de septiembre de 118.16 MJ/ha, que es el 22.05 o/o y el menor promedio mensual en febrero de 1.62 MJ/ha, con el 0.30 o/o. De mayo a octubre corresponde a los meses de mayor precipitación y energía cinética $KE > 25$ de 86.26 o/o. El valor promedio anual de energía cinética $KE > 25$ es 535.89 MJ/ha.año.

VI. CONCLUSIONES

A continuación se presenta las conclusiones de esta investigación:

Para la estación "Catarina", el índice de erosividad de la lluvia anual es 30841.59 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ es 586.97 MJ/ha.año. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad es utilizada en la determinación del factor C. El porcentaje más alto del índice de erosividad y de energía cinética $KE > 25$, corresponde a los meses de junio a octubre del 76.74 y 74.75 respectivamente.

Para la estación "San Marcos", el índice de erosividad de la lluvia anual es 1709.44 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ es 25.03 MJ/ha.año. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad es utilizada en la determinación del factor C. El porcentaje más alto del índice de erosividad y de energía cinética $KE > 25$, corresponde a los meses de mayo a octubre del 90.82 y 86.70 respectivamente.

Para la estación "Labor Ovalle", el índice de erosividad de la lluvia anual es 1166.45 MJ.mm/ha.h.año y energía cinética $KE > 25$ es 18.44 MJ/ha.año. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad es utilizada en la determinación del factor C. El porcentaje más alto del índice de erosividad y de energía cinética $KE > 25$, corresponde a los meses de mayo a septiembre del 92.71 y 97.18 respectivamente.

Para la estación "El Asintal", el índice de erosividad de la lluvia anual es 30646.24 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ es 535.90 MJ/ha.año. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad es utilizada en la determinación del factor C. El porcentaje más alto del índice de erosividad y de energía cinética $KE > 25$, corresponde a los meses de mayo a octubre de 85.71 y 85.52 respectivamente.

Para la estación "Chojó", el índice de erosividad de la lluvia anual es 33635.89 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ es 618.13 MJ/ha.año. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad es utilizada en la determinación del factor C. El porcentaje más alto del índice de erosividad y de energía cinética $KE > 25$, corresponde a los meses de mayo a octubre de 84.50 y 83.96 respectivamente.

Para la estación "La concha", el índice de erosividad de la lluvia anual es 34047.58 MJ.mm/ha.h.año y la energía cinética $KE > 25$ es 535.89 MJ/ha.año. La curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad es utilizada en la determinación del factor C. El porcentaje más alto del índice de erosividad y de energía cinética $KE > 25$, corresponde a los meses de mayo a octubre del 87.66 y 86.26 respectivamente.

Para la estación "San Marcos", se tiene un índice de erosividad de 1709.44 MJ.mm/ha.h.año, energía cinética $KE > 25$ de 25.03 MJ/ha.año y la estación "Labor Ovalle" un índice de erosividad de 1166.45 MJ.mm/ha.h.año, energía cinética $KE > 25$ de 18.44 MJ/ha.año; para lo cual ambas estaciones se encuentra a una altitud de 2420 m.s.n.m. Mientras que la estación "Catarina", tiene un índice de erosividad de 30841.59 MJ.mm/ha.h.año, energía cinética $KE > 25$ de 586.96 MJ/ha.año, estación "El Asintal", un índice de erosividad de 30645.24 MJ.mm/ha.h.año, energía cinética $KE > 25$ de 535.90 MJ/ha.año, estación "Chojó", posee un índice de erosividad de 33635.89 MJ.mm/ha.h.año, energía cinética $KE > 25$ de 618.13 MJ/ha.año, y para la estación "La Concha", con un índice de erosividad de 34047.58 MJ.mm/ha.h.año, energía cinética $KE > 25$ de 635.89 MJ/ha.año; las cuales se encuentran a una altitud de 233, 455, 430 y 670 m.s.n.m. respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda usar el índice de erosividad de la lluvia y la energía cinética $KE > 25$, para predecir la pérdida de suelo, en las áreas de influencia de las estaciones pluviográficas de: Catarina, San Marcos, Labor Ovalle, El Asintal, Chojó y La Concha.

Se recomienda usar las curvas de distribución promedio mensual del índice de erosividad de la lluvia, para determinar el factor C, correlacionado con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo del cultivo.

Se recomienda determinar los demás factores que componen la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, para las estaciones pluviográficas de Catarina, San Marcos, Labor Ovalle, El Asintal, Chojó y La Concha.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS R., H.M. El factor "R" de la ecuación universal de la pérdida de suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis Mag. Sc. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, 1980. 115 p.
2. ARRIAGA P., H.G. Evaluación, mapeo y cuantificación del problema erosivo de los suelos del parcelamiento Palo Verde, Barcenas, Villa Nueva. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1982. 69 p.
3. BAVER, L.D., GARDNER, W.H. Y GARDNER, W.R. Física de suelos. Trad de la 4ta. ed. inglesa por Jorge Manuel Rodríguez. México, UTEHA, 1983. 429 p.
4. CASTAÑEDA, L. et al. Diagnóstico de la situación de los recursos naturales renovables de Guatemala. Tikalia (Guatemala). 2(1): 75-106. 1983.
5. CRUZ, J.R. DE LA. Clasificación de la zona de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala, INAFOR, Unidad de Evaluación y Promoción, 1976. 24 p.
6. CURLEY G., M.A. Y URIZAR M., M.T. Recursos naturales renovables. Guatemala, s.e., 1978. 228 p.
7. FAUSSER, O. Mejoramiento de suelos agrícolas. Trad. de la 5ta. ed. alemana por María Teresa Toral. México, UTEHA, 1965. 153 p.
8. FOSTER, G. et.al. Conversión of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of Soil & Water Conservation. 36 (6): 355 - 359. 1981.
9. GAVANDE, S.A. Física de suelos; principios y aplicaciones. México, LIMUSA, 1979. 351 p.
10. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Datos meteorológicos. Guatemala, 1982. 221 p.
11. HUDSON, N. Soil conservation. New York, Cornell University Press, 1979. 320 p.
12. MANUAL DE conservación de suelos y del agua. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, 1979. 584 p.

13. MAZARIEGOS, F.J. *Propiedades físicas de los suelos*. Guatemala, Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Departamento de Suelos, 1970. 16 p.
14. MITCHELL, J.K. Y BUBENZER, G.D. Estimación de la pérdida del suelo. In. M.J. Kirby y R.P.C. Morgan, eds. *Soil Erosion*. Trad. de la 1a. ed. inglesa por Jorge Hurtado Vega. México, LIMUSA, 1984. pp. 35 - 88.
15. MORALES M., J.O. *Manual de conservación de suelo*. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas, 1983. 72 p.
16. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. *La erosión del suelo por el agua*. Roma, 1965. pp. 161-178.
17. PAULET I., M. *Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú*. Perú, Universidad Nacional Agraria "La Molina", 1983. 55 p.
18. PAULET I., M. et.al. *Intensidades máximas y erosividad de la lluvia en la República Dominicana*. Santo Domingo, IICA-INDRHI, 1978. 83 p.
19. PLOEY, J. DE Y GABRIELS, D. Medición de la pérdida de suelo y estudios experimentales. In. M.J. Kirby y R.P.C. Morgan, eds. *Soil Erosion*. Trad. de la 1a. ed. inglesa por José Hurtado Vega. México, LIMUSA, 1984. pp. 89 - 139.
20. RIQUIER, J. *Evaluación mundial de la degradación de los suelos*. *La Naturaleza y sus Recursos*. 18(2): 19 - 23. 1982.
21. SIMMONS, CH.S., TARANO, J.M. Y PINTO, J.H. *Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala*. Trad. por Pedro Tirado Sulsana. Guatemala, José Pineda Ibarra, 1959. 1000 p.
22. SUAREZ DE CASTRO, F. *Conservación de suelos*. San José, Costa Rica, IICA, 1980. 321 p.
23. VARELA, J. *Notas sobre problemas de erosión y su mapeo*. Bogotá, Colombia, Centro Interamericano de Fotointerpretación, 1979. 42 p.
24. ZWICK, W. *Obstaculización de la erosión del suelo por medio de laboreo mínimo y el empleo de herbicidas de postemergencia en soja*. Basf, Reportes Agrícolas (Alemania, R.F.). Edición especial "Soja". pp. 9 - 12.



Patualle

IX. APENDICE

CUADRO 14. Índice de erosividad de la lluvia, anual de las estaciones pluviográficas de la zona suroccidental de Guatemala, en MJ.mm/ha.h.año.

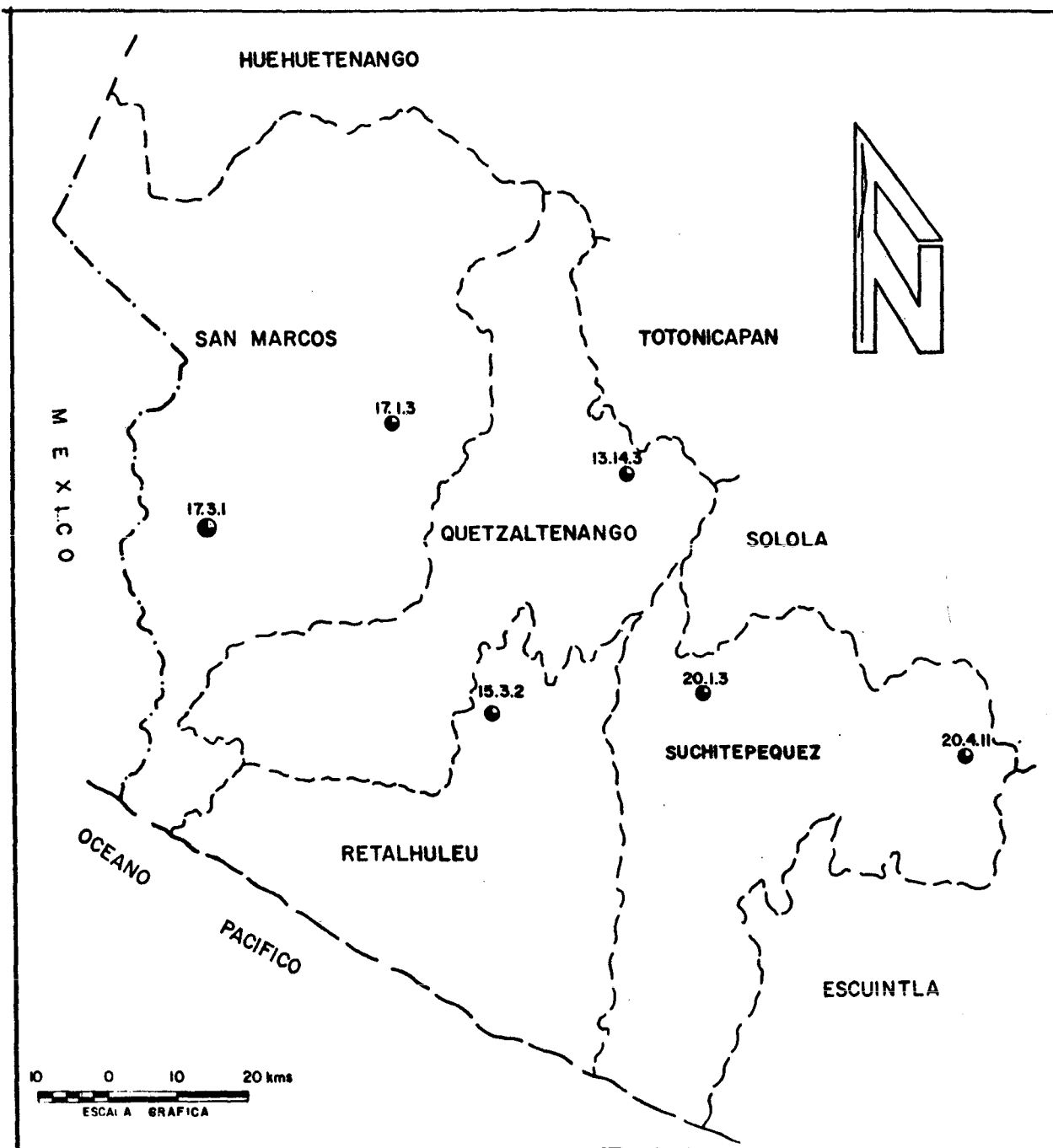
ESTACION Años	CATARINA		SAN MARCOS		LABOR OV ALLE		EL ASINTAL		CHOJOJA		LA CONCHA	
	R total anual	No de e- ventos	R total anual	No. de e- eventos	R total anual	No. de e- ventos	R total anual	No. de e- ventos	R total anual	No. de e- ventos	R total anual	No. de e- ventos
1969	40240.60	81										
1970	29655.44	85										
1971	33571.33	89			980.16	12			32796.35	73		
1972	26543.02	65	1788.19	22	1627.94	16			28579.96	68		
1973	27113.84	76	1629.90	11	750.97	11	32256.42	87	43240.01	93		
1974	29607.20	84	1155.40	10	1288.51	20	38284.59	83	35647.07	80		
1975	31766.50	93	1854.00	16	913.93	11	28250.50	74	35668.20	66		
1976	18104.38	66	656.29	14	888.24	15	30762.49	66	31853.06	69		
1977	17120.63	65	568.50	9	1841.58	17	32656.11	68	32561.99	68		
1978	22943.58	68	1599.00	19	1179.46	13	29246.27	75	37199.82	73	28128.70	60
1979	34639.05	75	1953.62	33	1390.98	15	42083.73	85	37227.98	88	16050.58	42
1980	34199.05	74	1318.68	16	1301.69	10	35700.15	76	46115.15	89	33185.50	63
1981	27173.09	95	2420.05	35	766.71	9	16721.67	61	31933.05	74	61058.70	71
1982	32000.95	75	2028.58	19	1452.48	7	18421.19	51	38577.23	82	32092.12	68
1983	37914.94	81	2104.83	21	932.39	11	32250.09	80	21846.36	54	36718.50	84
1984	40751.06	69	2145.46	28	1015.45	6	26121.72	79	17671.35	41	31078.93	64
SUMA	493465.43	1241	22222.69	253	16630.37	173	367754.89	885	470902.51	1018	238333.04	452
$\bar{x}$	30841.59	78	1709.44	19	1166.45	12	30646.24	74	33635.89	73	34047.58	65

CUADRO 15. Energía cinética de la lluvia $KE > 25$, anual de las estaciones pluviográficas de la zona suroccidental de Guatemala, en MJ/ha.año.

ESTACION	CATARINA		SAN MARCOS		LABOR OVALLE		EL ASINTAL		CHOJOJA		LA CONCHA	
	KE > 25 to- tal anual	No. de e- ventos	KE > 25 to- tal anual	No. de e- ventos	KE > 25 to- tal anual	No. de e- ventos	KE > 25 to- tal anual	No. de e- ventos	KE > 25 to- tal anual	No. de e- ventos	KE > 25 to- tal anual	No. de e- ventos
Años												
1969	795.96	71										
1970	561.00	49										
1971	657.01	57			14.68	3			569.01	56		
1972	474.01	41	31.10	5	33.35	4			491.95	51		
1973	515.86	42	32.79	6	11.37	5	695.75	68	826.95	77		
1974	578.82	50	17.15	3	10.49	2	673.20	66	686.46	65		
1975	573.01	53	30.91	5	16.79	5	448.28	57	624.19	51		
1976	387.22	36	3.14	1	5.68	2	506.82	57	595.30	56		
1977	382.37	34	7.70	2	35.52	11	562.15	60	612.63	59		
1978	447.47	40	21.57	6	13.53	5	496.16	57	688.96	57	526.16	49
1979	650.03	55	38.37	5	27.30	4	735.75	67	673.78	58	287.64	22
1980	631.13	47	15.79	2	28.59	7	655.22	60	859.23	79	608.65	53
1981	706.48	62	26.44	5	21.17	7	249.39	32	608.76	56	553.96	51
1982	640.75	40	36.47	5	8.07	2	315.60	34	705.18	64	552.77	43
1983	677.99	64	33.96	6	16.52	6	589.47	63	404.91	39	675.84	63
1984	710.49	55	30.30	6	14.98	4	463.08	53	307.27	30	546.19	50
SUMA	9391.60	795	325.69	57	258.04	66	6430.87	674	8653.86	798	3751.21	331
$\bar{x}$	586.97	50	25.03	4	18.44	5	535.90	56	618.13	57	535.89	47

Figura 8

MAPA DEL ÍNDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA DE LAS ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS DE LA ZONA SUR-OCCIDENTAL DE GUATEMALA.



REFERENCIAS	
LÍMITE DEPARTAMENTAL	---
LÍMITE INTERNACIONAL	-.-.-
EST. PLUVIOGRÁFICA	●

Nº.	Est. Pluviográfica	Factor R. M.J. m.m / h.a. h. año
17.3.1	CATARINA	30841.59
17.1.3	SAN MARCOS	1709.44
13.14.3	LABOR OVALLE	1166.45
15.3.2	EL ASINTAL	30646.24
20.1.3	CHOJOJA	33635.89
20.4.11	LA CONCHA	34047.58

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

"IMPRIMASE"

ING. AGR. CÉSAR A. CASTAÑEDA S.
DECANO

