

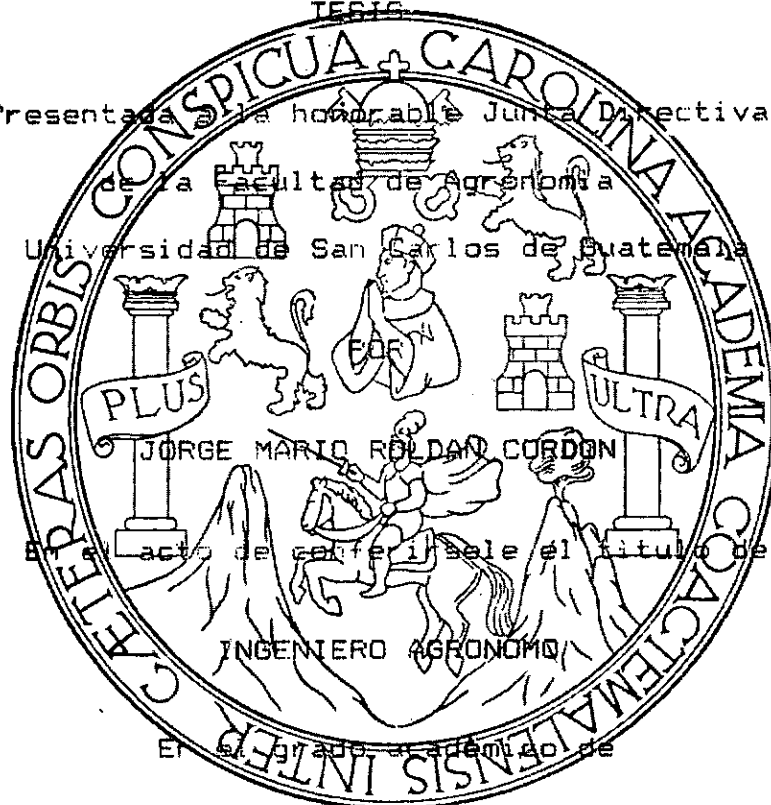
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA
ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO EN LA
REGION CENTRAL DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA.

TESIS

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



LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA

1,988

TESIS DE REFERENCIA
NO

SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC

PROPIEDAD DE LA BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC

DL
01
T(1039)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Lic. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

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



Referencia
Año

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apertado Postal No. 1848

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

18 de octubre de 1,988.

Ingeniero Agrónomo
Anibal Martínez M.
Decano Fac. de Agronomía

Señor Decano:

En atención a la designación que esa decanatura me hiciera para asesorar el trabajo de tesis del estudiante Jorge Mario Roldán Cordón, carnet No. 79-10211, titulado: "DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIDIDAD DE LA LLUVIA DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO EN LA REGION CENTRAL DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA", informo a usted que he concluido la asesoría y revisión del mismo.

Dicho trabajo constituye un valioso aporte a la investigación básica sobre el potencial erosivo de las lluvias. En tal sentido, recomiendo su aprobación e impresión ya que cumple con los requisitos establecidos por las normas para la planificación, ejecución y presentación de tesis de grado en esta casa de estudios.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. M. C. José J. Chonay P.

Guatemala,
17 de Octubre de 1,988

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

Señores miembros:

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

DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA
ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO EN LA
REGION CENTRAL DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA.

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

Atentamente,



Jorge María Roldán Córdón

ACTO QUE DEDICO

A DIOS TODO PODEROSO

A Mis Padres José Mario Roldàn León
 Rosa Elena Cordòn de Roldàn

A Mis Hermanos Candida Regina Roldàn Cordòn
 Ana Maria Roldàn de Sandoval
 José Maria Sandoval Umaña

A Mis Abuelitos Manuel Roldàn Orellana
 (Q.E.F.D.)
 Candida León de Roldàn
 Abelardo Cordòn León
 Felisa Vargas de Cordòn

A la Señora Aura de de León

A la Memoria de Carlos Humberto de León

A Mi Familia en general

TESIS QUE DEDICO

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE PROMOCION

AGRADECIMIENTOS

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

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

A los compañeros y amigos Otto René Paz Aguirre, Edwin Leonel Portillo, Hernán Hernández, Rudy del Cid y Filiberto Galindo, que colaboraron en la investigación.

INDICE DE CONTENIDO

	PAGINA
INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVO	3
III. REVISION DE LITERATURA	4
1. Erosión	4
1.1 Erosión Hidrica	4
2. Limite Aceptable de Erosión	5
3. Mecánica del Proceso de Erosión	5
3.1 Desprendimiento	5
3.2 Arrastre o Transporte	7
3.3 Depositación	8
4. Factores Asociados a la Precipitación	8
5. Ecuación Universal de Pérdida de suelo	9
6. Indice de Erosividad	11
7. Aplicaciones del Indice de Erosividad	13
8. Descripción de la Región Central de Guatemala	14
IV. MATERIALES Y METODOS	17
1. Formas de Obtener la Información	17
2. Metodología Wischmeier y Smith	18
V. RESULTADOS	20
VI. DISCUSION DE RESULTADOS	29
VII. CONCLUSIONES	31
VIII. RECOMENDACIONES	32

I N D I C E D E C O N T E N I D O

	PAGINA
IX. BIBLIOGRAFIA	33
X. APENDICE	35

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
En el Contenido		
1	Ubicación de las estaciones metereológicas.-	17
2	Estaciones metereológicas, años analizados,- resultados obtenidos del índice de erosividad y número de evento con intensidades erosivas	20
3	Índice de erosividad, estación Santa Cruz - Balanyá, Chimaltenango, del año 1973 a 1975, sin incluir los años 1966, 1969 y 1974.	22
4	Índice de erosividad, estación Observatorio- Nacional, Guatemala, años 1947 a 1975, sin - incluir los años 1966, 1969 y 1974.	23
5	Índice de erosividad, estación Radio Sonda,- Guatemala, años 1974 a 1980.	24
6	Índice de erosividad, estación Brigada, Gua- malá, años de 1965 a 1970.	26
7	Índice de erosividad, estación Mil Flores, - Amatitlan, Guatemala, años de 1975 a 1980.	27
8	Índice de erosividad, estación Morazán, El - Progreso, años de 1976 a 1984.	28

En el Apéndice

- | | | |
|----|--|----|
| 9 | Estaciones metereológicas, años analizados y resultados obtenidos del índice de erosividad. Expresado en MJ. mm./ha. h. año. | 36 |
| 10 | Tabla para calcular la energía de la lluvia en mj.ha. por milímetro de lluvia en función de la intensidad en mm./h. | 37 |
| 11 | Factores de Converción del índice de erosividad anual. | 38 |

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Mapa de localización de la zona central de - la República de Guatemala.	16
2	Distribución Promedio Mensual acumulada del - índice de erosividad, estación Santa Cruz - Balanyá, Chimaltenango.	22
3	Distribución promedio mensual acumulado del - índice de erosividad, estación Observatorio - Nacional, Guatemala.	23
4	Distribución promedio mensual acumulado del - índice de erosividad, estación Radio Sonda, - Guatemala.	24
5	Distribución promedio mensual acumulado del - índice de erosividad, estación Brigada, Gua - mala.	26
6.	Distribución promedio mensual acumulado del - índice de erosividad, estación Mil Flores, - Amatitlán, Guatemala.	27
7	Distribución promedio mensual acumulado del - índice de erosividad, estación Morazán, El - Progreso.	28

Determinación del Índice de Erosividad de la Lluvia de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la Región Central de la República de Guatemala.

Determination of Rain Erosiveness Index based on the Universal Soil Loss Equation for the Central Region of Republic of Guatemala.

Autor: Jorge Mario Roldán Córdón.

RESUMEN

El conocer y cuantificar la erosividad de las lluvias en un determinado lugar, facilita la selección de cultivos y el manejo del recurso suelo.

La energía de la lluvia está en relación directa con la intensidad de la misma o su capacidad para producir erosión.

Este estudio tiene la finalidad de determinar el índice de erosividad de la lluvia como factor de la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, en la región central de la República de Guatemala, a partir de registros pluviográficos de las estaciones meteorológicas tipo A y B.

La metodología empleada para el cálculo de la erosividad es la propuesta por Wischmeier y Smith en 1,959, modificada en 1,961 y se basa en la cuantificación de la energía cinética por cada evento de lluvia, siempre que la tormenta sea mayor de 13-milímetros de precipitación, en un intervalo de tiempo menor o igual a 6 horas, así como lluvias de 6 milímetros separadas por

un lapso menor o igual a 15 minutos.

El índice de erosividad es el producto de la energía cinética con su intensidad máxima de 30 minutos y se expresa en Mega-Joules mm./ha. h.año. La sumatoria de los índices de erosividad de cada lluvia en un año, nos da el índice de erosividad o factor R de ese año en particular. Los valores de R no interesan en un año determinado sino el resultado de sumar los R anuales, dividido por el número de años para obtener una media.

Los índices de erosividad o factor R, de las estaciones meteorológicas Santa Cruz Balanyá, Observatorio Nacional, Radio Sanda, Brigada, Mil Flores y Morazán son respectivamente 2,548.01, 3,869.78, 3,329.10, 3976.92, 3251.25 y 4,568.72 Mega-joules mm./ha.h.año.

La correlación lineal entre el índice de erosividad y la precipitación promedio anual de las estaciones pluviográficas de la región central es de 0.27, por lo tanto no es significativo. Esto se debe a que el comportamiento de las lluvias es distinto por estar las estaciones meteorológicas ubicadas en tres diferentes zonas bioclimáticas.

Pero si se correlacionan las estaciones Observatorio Nacional, Brigada, Radio Sanda y Mil Flores, ubicadas en la misma zona bioclimática, se obtiene un coeficiente de correlación lineal de 0.87.

I. INTRODUCCION

El suelo, un recurso natural renovable, está sujeto a procesos destrutivos provocados por la intervención del hombre en la naturaleza, el cual rompe el equilibrio natural. Este equilibrio, entre la erosión del suelo y la formación del mismo que prevalece bajo condiciones naturales se ve alterado por la incorporación de nuevas áreas a la explotación agrícola o por el aprovechamiento inadecuado de los recursos naturales.

Guatemala, es un país de vocación agrícola donde se derrochan una gran cantidad de recursos naturales. El porcentaje de sedimentos que algunos rios transportan en la época lluviosa es del orden del 50% de suelo en suspensión. (3)

El agua es el agente que provoca mayor erosión en nuestro medio. Se ha demostrado que la energía de las gotas de lluvia provocan desprendimientos y salpicamientos de partículas de suelo que alcanzan alturas de 61 cm. y distancias laterales de 152 cm. en terrenos planos. Además, la cantidad de suelo salpicado por las gotas de lluvia es de 50 a 90 veces más grande que la cantidad arrastrada por el flujo superficial.

Es importante predecir las pérdidas de suelo a fin de determinar las medidas de conservación, para esto se hace necesario el análisis de los siguientes factores: Cubierta Vegetal, características de lluvia y suelo, prácticas agronómicas, prác-

ticas del control mecánico de la erosión y largo y grado de pendiente. Todos estos factores considera la ecuación universal de predicción de la pérdida del suelo provocada por la lluvia. Esta ecuación permite predecir la pérdida anual de suelo.

Nuestro estudio consiste en el análisis del índice de erosividad de la lluvia para la región central del país, que comprende los departamentos de Guatemala, El Progreso, Chimaltenango y Sacatepéquez.

II. OBJETIVO

Determinar el índice de erosividad de la lluvia, o factor-R de la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo, - de las estaciones metereológicas ubicadas en la región central- de la república de Guatemala.

III. REVISION DE LITERATURA

1. EROSION

Llamaremos eroción al proceso físico que consiste en el desprendimiento, remoción y depositaci3n de las partículas del suelo provocada por los agentes del inteperismo. (2)

En nuestro medio se dan generalmente dos tipos de eroci3n: eroci3n geol3gica o natural e inducida, est3 3ltima puede ser e3lica e hidrica. (3)

1.1 Eroci3n Hidrica

Es una remoci3n del suelo, provocado por el efecto de las gotas de lluvia y el escurrimiento que provoca el lavado de capas de suelo, esta etapa se llama eroci3n laminar; la remoci3n m3s o menos uniforme, raras veces ocurre como tal, sino en peque1os canales de acuerdo a las depreciones del terreno. Estos escurrimientos superficiales en peque1os canales alcanzan velocidades cercanas a un metro por segundo, a esta etapa se le llama eroci3n en canales y la erosi3n en carcavas que es una forma m3s severa de erosi3n y se da por la concentraci3n de los caudales del escurrimiento.

La velocidad del escurrimiento superficial, est3 en funci3n de la magnitud y velocidad del flujo, la pendiente, la longitud del declive, as3 como las caracteristicas fisicas del-

suelo y vegetación. (4)

2. Limite aceptable de Erosión

La tolerancia de pérdida de suelo es la cantidad de suelo, expresada en ton./ha./año que un suelo puede perder, sin dejar de conservar durante largo tiempo su índice de productividad.

Cada terreno tiene su grado de tolerancia de pérdida de suelo y puede variar entre 2 0 12.5 ton./ha./año, según la clase textural, el espesor y propiedades físicas del suelo. Por lo general una pérdida de 12.5 toneladas por hectárea al año es tolerable en los suelos profundos, permeables y drenados. Una pérdida de 1 a 4 toneladas de suelo por hectárea al año se puede consentir en suelos con poca profundidad y subsuelos desfavorables. (4)

3. Mecánica del Proceso de Erosión

Según Bayer L. D., Gardner W. H. y Gardner W. R., la mecánica del proceso de erosión, consta de tres etapas consecutivas y son, las siguientes:

Desprendimiento, Arrastre o Transporte y Depositación.

3.1 Desprendimiento

Consiste en la remoción de las partículas del suelo por acción del impacto de las gotas de lluvia en su superficie, y -

se conoce como salpicadura del suelo.

El constante golpeo de las gotas de lluvia mantiene en suspensión las partículas finas del suelo, además existe un límite máximo de saturación para la cantidad de arcilla y limos en suspensión que está determinada por la velocidad y la profundidad de la lámina de agua. (3)

Los productos de la dispersión tapan los poros superficiales y unidos a la acción percusora de las gotas de agua, forman una película sobre la superficie del suelo. La permeabilidad de esta película es muy pequeña, por lo que, una vez formada, disminuye considerablemente la capacidad de infiltración del agua en el suelo. (3)

En esta etapa reviste especial importancia el estado de cubierta vegetal, dándose el caso de que suelos sin cubierta vegetal.

Además es importante considerar la textura del suelo, según Allison citado por Gavande 1979 (6), los suelos con textura arenosa son más susceptibles al desprendimiento, que los suelos arcillosos, en las mismas condiciones de precipitación y los suelos con estructura granular la presencia de materia orgánica y calcio, son bastantes resistentes a la dispersión.

3.2 Arrastre o Transporte

Una vez empieza el proceso de erosión, se inicia la etapa de arrastre, cuando el agua no logra infiltrarse en el suelo y se llama escurrimiento superficial.

Estas láminas de agua carecen de la capacidad de transporte de suelo, sin embargo, cuando la energía de las gotas de lluvia forman turbulencia, la capacidad de transporte aumenta.

(4)

La capacidad erosiva del escurrimiento superficial está determinada por la cantidad, intensidad y distribución de las lluvias, y la capacidad de infiltración del agua en el suelo.

A mayor cantidad e intensidad de lluvia mayor escurrimiento.

La velocidad de la lámina de agua es otro factor a considerar, está en función de su espesor y de la magnitud de la magnitud de la caída vertical, y la capacidad de transporte aumenta exponencialmente al aumentar la velocidad. Cuando el espesor de la lámina de agua en movimiento crece, el agua de escurrimiento arranca y arrastra otras partículas además de las que desprenden las gotas de agua. (4)

El tamaño de las partículas primarias o secundarias, determinan la velocidad. Baver, 1932 (3) demostró que la velocidad del agua necesaria para transportar diferentes partículas

de suelo es la siguiente:

- 0.25 pies por segundo para limos
- 1.00 pies por segundo para arenas
- 2.00 pies por segundo para gravas

Es obvio que con el mismo escurrimiento, un suelo con partículas de tamaño de arenas no tendrá tanta erosión como cuando sus partículas son de tamaño de limo.

3.3 Depositación

Se presenta cuando la velocidad del flujo disminuye y las partículas en suspensión se sedimentan en la superficie del suelo.

La velocidad de sedimentación está determinada por el tamaño de las partículas, temperatura, densidad y fuerza gravitacional. (4)

4. Factores Asociados a la Precipitación

Dentro de los factores se encuentran: duración, frecuencia e intensidad, siendo esta última la más importante por tener una relación directa con la erosión. (4)

La intensidad es la cantidad de lluvia expresada en lámina de agua por unidad de tiempo, mm./h. o cm./h. y ésta determina el tamaño de las gotas. Las lluvias son ligeras cuando el diámetro de la gota es menos de 2.5 milímetros; medianas o moderadas cuando tienen un diámetro que fluctúa de 2.5 a 7.5 milíme -

tros; e intensas cuando el diámetro es mayor a 7.5 milímetros -
(4)

El tamaño de las gotas está ligado a la duración de la -
lluvia; gotas pequeñas corresponden a lluvias de mayor duración,
y gotas más grandes corresponden a lluvias de menor duración. -

5. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

Zingg en 1940, inició el desarrollo de ecuaciones empíri -
cas para calcular pérdidas de suelo, pero en 1962 con los tra -
bajos de Wischmeier y colaboradores hicieron posible la elabo -
ración de la ecuación universal de pérdida de suelo, que puede -
tener múltiple aplicaciones.

La EUPS fué diseñada, originalmente para predecir la pér -
dida de suelo en los Estados Unidos de Norte América, posteri -
ormente tomó carácter "Universal" porque se consideró exenta -
de restricciones geográficas y climáticas que tenían los prime -
ros modelos.

Esta ecuación refleja la influencia de los factores que de -
terminan la erosión por la lluvia. La ecuación es la siguiente:

$$A = RKLSCP \quad \text{donde:}$$

A = es la pérdida de suelo en toneladas por unidad de superfi -
cie en un determinado tiempo.

R = Factor erosividad de la lluvia expresada en promedio anual -

en unidades de índice de erosividad Mega-Joule x milímetro/
hectárea x hora x año.

K = Factor erodabilidad del suelo, expresada como la tasa de --
erosión por unidad de índice de erosividad, el cual es to --
neladas x hectárea x hora/hectárea x Mega-Joule x milímetro

L = Factor longitud del declive, adimensional. --

S = Factor grado de pendiente, adimensional.

C = Factor manejo y ordenación del cultivo, adimensional. --

P = Factor prácticas de conservación del suelo, adimensional. --

(9)

Los valores de los factores se determinaron mediante una --
parcela estándar. Una parcela estándar es una longitud de --
22.13 metros sobre una pendiente uniforme de 9 por ciento en --
sentido longitudinal. La parcela estándar es simplemente el --
resultado del desarrollo histórico de la EUPS. Sin embargo, --
se tomó como base para definir la variación de L, S, C y P. (9)

A pesar de conferirle carácter universal la EUPS, presenta
limitaciones:

La ecuación predice pérdidas promedio en periodos largos --
de tiempo, no así las pérdidas en un determinado año o tormenta
y predice pérdidas debidas a erosión laminar o pequeños surcos,
pero es inoperante en cuantificar las pérdidas en cárcavas. (1)

La ecuación universal es utilizada para evaluar la erosión
actual, su contribución principal ha sido el planeamiento de --
uso de las tierras agrícolas. La información en que se susten-

ta es el resultado de más de 20 años de investigación en parcelas de escurrimiento y diversos tratamientos de conservación de suelos aunque actualmente se encuentran estudios en diversos países incluyendo regiones tropicales en áreas urbanas, forestales, y sedimentos de las cuencas. (2)

6. Índice de Erosividad

Neal y baver 1937, estudiaron el efecto de la lluvia, y en encontraron que el impacto de las gotas por unidad de área está determinado por el número y tamaño de las gotas. Entre mayor es el número de gotas mayor es la energía del aguacero. (1)

Laws y Parsons 1943, midieron el tamaño de las gotas de lluvia a partir de su diámetro, encontraron una correlación entre el diámetro y la velocidad final de la gota. (1)

Sin embargo, Hudson 1977, concluye que la EUPS es válida para intensidades bajas, porque hay un límite superior de tamaño de gota en el cual las gotas se dividen en más pequeñas. (1)

Wischmeir y Smith 1958, basándose en los datos de distribución de tamaño de las gotas publicadas por laws y Parsons y los datos de las velocidades terminales de las gotas de lluvia de diferentes tamaños, de Laws 1941 y Gunn y Kinser 1949, llegaron a la ecuación que relaciona a la energía cinética con la intensidad de la lluvia. (1)

Así se encontró que existía correlación significativa entre la erosión medida en parcelas bajo ciertas condiciones por un

periodo determinado de tiempo, y el resultado de sumar los productos de la energía total de cada lluvia por su correspondiente intensidad máxima de treinta minutos de duración EI 30.

La energía para cada lluvia es la suma de sus incrementos de energía correspondientes a intervalos de lluvias con intensidades iguales. Cada incremento de energía se calcula con la siguiente ecuación: (4)

$$e = 0.119 + 0.0873 \log x$$

En donde, (e) representa la energía cinética expresada en Mega-Joules por hectárea y x la intensidad de la lluvia homogénea en milímetros por hora. (7)

Significa que el índice de erosión EI 30 está en función de la cantidad de la lluvia, y la velocidad de la gota. Representa los efectos del impacto de las gotas de lluvia y de la turbulencia del encurrimiento. (6)

Weschmeier 1972, indica sin embargo, que el uso de EI 30 tiene dos restricciones:

Las lluvias en las cuales las gotas son formadas en altitudes bajas y en nubes calientes así como en sotavento. Este tipo de lluvia se caracteriza por tener gotas pequeñas e intensidades bajas, y las asociadas con huracanes, en las partes planas sobrepredicen las pérdidas de suelo debido a que las velocidades de escurrimiento son bajas para ser erosivas y las prolongadas intensidades altas cubren la superficie del suelo con una película de agua que lo protegen del impacto de las go-

tas. (14)

Arias 1972, citando a Wischmeier indica los requisitos que se deben tomar en cuenta en el cálculo del índice de erosividad

Deben ser definidos para tormentas específicas, predecible en base probabilística a partir de datos metereológicos y su evaluación estacional o anual debe ser calculada para lluvias significativas. (1)

7. Aplicaciones del índice de Erosividad

Los índices de erosividad según Hudson tienen dos aplicaciones:

En la planificación de los trabajos de conservación de suelos, mediante mapas con líneas de erosividad que ayudan al diseño de trabajos de conservación y adecuado uso de los suelos y en la investigación es una herramienta importante en el análisis de datos de la pendiente, cobertura y manejo del suelo.

(14)

8. Descripción de la Zona Central de Guatemala

La zona central de la república de Guatemala, en la que se encuentran las estaciones meteorológicas analizadas en este estudio, está localizada respecto al meridiano de Greenwich entre las coordenadas geográficas 14 28'12" a 14 55'49" de latitud norte y 90 08'31" a 90 54'55" de longitud oeste y comprende los departamentos de El Progreso, Guatemala, Sacatepequez y Chimaltenango. Ver figura 1.

En el departamento de El Progreso, se encuentra la estación meteorológica Morazán, ubicada en una zona bioclimática con vegetación de bosque espinoso subtropical, precipitación media anual de 907.39 mm, temperatura media anual de 27.27°C y un 62.11 % de humedad relativa. El relieve correspondiente a esta zona de vida, es plano a ligeramente accidentado.

En el Departamento de Guatemala se encuentran las estaciones meteorológicas Brigada, Radio Sonda, Observatorio Nacional y Mil Flores.

La estación brigada, en el municipio de Guatemala se localiza en una zona bioclimática con vegetación de bosque húmedo subtropical templado, precipitación anual de 915.95 mm, temperatura media anual de 18.54 °C y un 76.20% de humedad relativa. El relieve correspondiente a esta zona de vida, es ondulado a

accidentado y escarpado.

La estación Mil Flores, en el municipio de Amatitlán en el departamento de Guatemala se localiza en una zona bioclimática con vegetación de bosque húmedo sub-tropical templado, precipitación media anual de 841 mm, temperatura media anual de 20.42 °C y un 73.5% de humedad relativa. El relieve correspondiente a esta zona de vida, es ondulado a accidentado y escarpado.

En el departamento de Chimaltenango se encuentra la estación meteorológica Santa Cruz Balanyá, ubicada en una zona bioclimática con vegetación de bosque húmedo, montado bajo subtropical, precipitación media anual de 943.88 mm, temperatura media anual de 16.18 °C y un 62.11% de humedad relativa. El relieve correspondiente a esta zona de vida es generalmente plano y accidentado. (5)

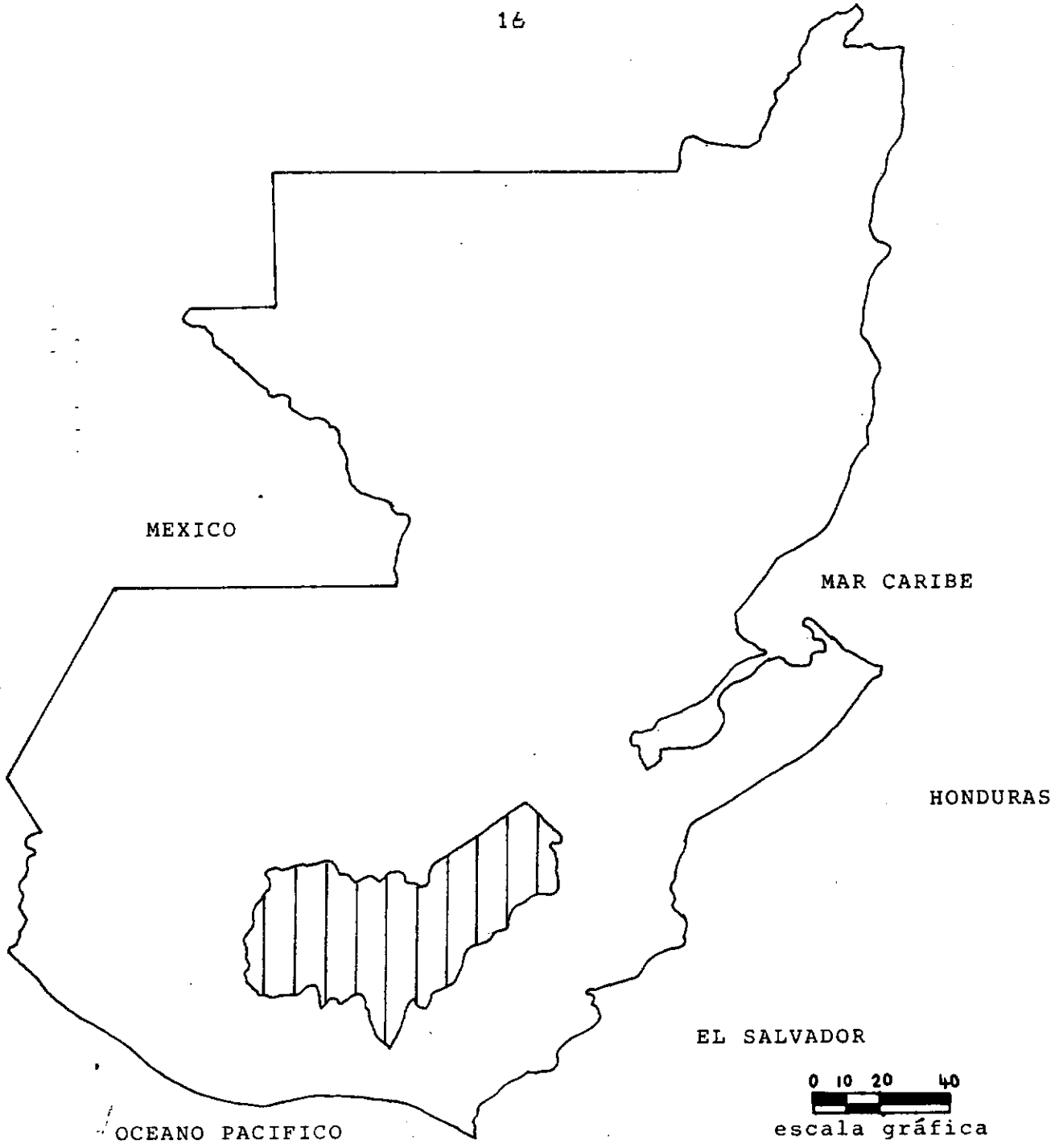


Figura 1. Mapa de localización de la región central de la republica de Guatemala.

IV. MATERIALES Y METODOS

1. Forma de Obtener la Información

Las estaciones metereológicas que se toman en cuenta en este estudio deben llenar ciertos requisitos:

Tienen que ser estaciones que tengan pluviógrafo y el mayor número posible de años de registros, para nuestro estudio se estableció un mínimo de 6 años.

La información en que se basa esta investigación se obtuvo del Instituto Nacional de Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH, a través del análisis cuantitativo de los registros pluviográficos diarios de cada estación metereológica de la zona de estudio. En el cuadro 1 se detalla la ubicación geográfica de cada una de las estaciones metereológicas.

CUADRO 1. Ubicación geográfica de las estaciones metereológicas

Número de Clave	Nombre Estación	Elevación m.s.n.m.	Latitud	Longitud
3.14.01	Sta.Cruz Balanyá	2,080	14 41'12"	90 54'55"
6.01.20	Observatorio Nac.	1,502	14 35'11"	90 31'58"
6.01.10	Radio Sonda	1,460	14 34'16"	90 54'55"
6.01.03	Brigada	1,610	14 38'40"	90 34'30"
6.02.03	Mil Flores	1,189	14 28'12"	90 37'45"
12.03.01	Morazán	370	14 55'49"	90 08'31"

2. Metodología Wischmeier y Smith:

1. Para determinar el factor R, índice de erosividad es necesario contar con los registros pluviográficos de las estaciones meteorológicas ubicadas en los departamentos de El Progreso, Guatemala, Sacatepequez y Chimaltenango.

2. Se empleó el método propuesto de Wischmeier y Smith con sus modificaciones en 1,961, donde el índice de erosividad está en función de la intensidad máxima en 30 minutos y la energía cinética.

3. Para determinar la intensidad máxima en 30 minutos se considera una porción de tiempo equivalente a 30 minutos y expresada en milímetros por hora.

4. Las tormentas menores o iguales a 13 milímetros separadas por más de 6 horas no son incluidas en el cálculo, así como tormentas menores o iguales a 6 milímetros separadas por períodos de 15 minutos.

5. La energía cinética se calcula con la siguiente ecuación:

$$EC = 0.119 + 0.0073 \text{ Log } X \text{ } 10$$

Donde X es la intensidad de la lluvia en milímetros por hora y a intensidades mayores o iguales a 76 mm, la energía ci-

nética es 0.283 mj/ha.

6. La energía cinética total de la lluvia, es igual a la suma de energías cinéticas parciales de las intensidades homogéneas la cual se multiplica por la intensidad máxima de 30 minutos expresada en milímetros por hora.

7. Los valores EI 30 por eventos se suman y se obtiene una media, la cual es el índice de erosividad de la lluvia o factor R. (5)

V. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados del análisis del índice de erosividad de la lluvia y su gráfica de distribución mensual acumulado para cada una de las estaciones meteorológicas que aparecen en el cuadro 1.

En el cuadro 2, se presentan las estaciones meteorológicas con los años analizados y resultados obtenidos del índice de erosividad total, los promedios anuales, número total y promedio anual de las lluvias erosivas.

CUADRO 2. Estaciones meteorológicas, años analizados, resultados obtenidos del índice de erosividad y número de eventos con intensidades erosivas.

Nombre Estación	Años de Registro	R unificada- EI- 30	R promedio anual	Número total Eventos	Promedio Anual eventos
Santa Cruz Balanyá	12	3,0576..12	2,548.01	372	31
Observatorio Nacional	25	9,6744..50	3,869.78	475	19
Radio Sonda	07	2,3303..70	3,329.10	161	23
Brigada	06	2,3861..52	3,976.92	156	26
Mil Flores	06	1,9507..50	3,251.25	108	18
Morazán	08	3,6549..76	4,568.72	144	18

En el Cuadro 3, se presenta el promedio anual del índice de erosividad de la estación Santa Cruz Balanya, el cual es de 2548.01 Mega-Joule mm./ha. h. año, el porcentaje mensual y el porcentaje mensual acumulado de R. Los valores más altos corresponden a los meses de Septiembre, Julio, con 958.04, 671.74 y 654.42 Mega-Joule mm./ha. h. año respectivamente. La distribución promedio mensual de estos valores se presenta en la figura 2. El periodo analizado comprende los años de 1,973 y 1,984.

En el cuadro 4, se presenta el promedio anual del índice de erosividad de la estación Observatorio Nacional, el cual es de 3869.78 Mega-Joule mm./ha. h. año, el porcentaje mensual y el porcentaje mensual acumulado de R. Los valores más altos corresponden a los meses de Septiembre, Julio y Junio con 958.04, 671.74 y 564.42 Mega-Joule mm./ha. h. año, respectivamente. La distribución promedio mensual de estos valores se presenta en la figura 3. El periodo analizado comprende los años de 1,952 a 1981.

En el cuadro 5, se presenta el promedio anual del índice de erosividad de la estación Radio Sonda, el cual es de 3329.10 Mega-Joule mm./ha. h. año, el porcentaje mensual y el porcentaje mensual acumulado de R. Los valores más altos corresponden a los meses de Septiembre, Junio y Julio con 935.60, 626.22 y 482.68 Mega-Joule mm./ha. h. año, respectivamente. La distribución promedio mensual de estos valores se presentan en

la Figura 4. El periodo analizado comprende los años de 1,974, a 1,980.

CUADRO 3. Índice de erosividad y su distribución promedio mensual en la estación Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango.

Mes	Media de R	% de R	% R Acumulado
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00
Marzo	2.36	0.09	0.09
Abril	3.39	0.13	0.22
Mayo	461.33	18.11	18.33
Junio	444.41	17.44	35.77
Julio	311.75	12.23	48.00
Agosto	269.29	10.57	58.57
Septiembre	811.45	31.86	90.43
Octubre	218.51	8.57	99.00
Noviembre	25.52	1.00	100.00
Diciembre	0.00	0.00	100.00
Total	2,548.01	100.00	

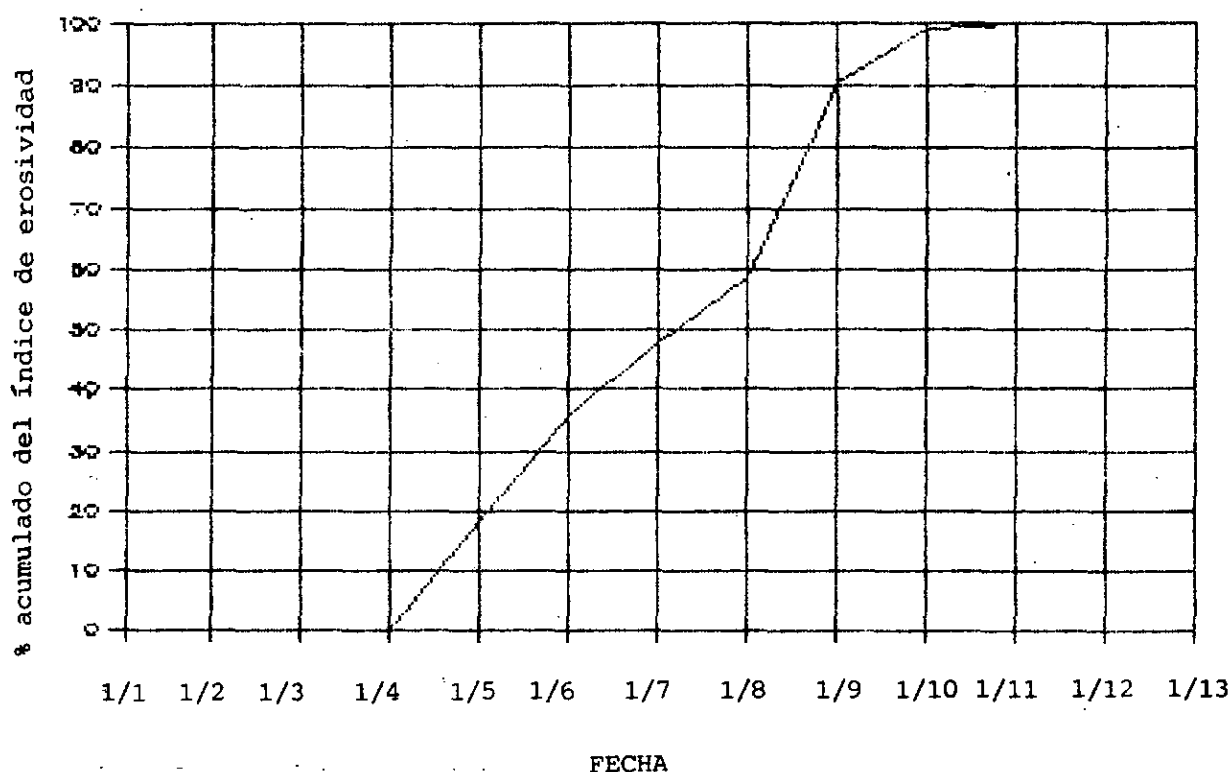


Figura 2. Curva de distribución mensual del índice de erosividad en la estación Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango.

CUADRO 4. Índice de erosividad y su distribución promedio mensual en la estación Observatorio Nacional, Guatemala.

Mes	Media de R	% de R	% R Acumulado
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00
Marzo	0.00	0.00	0.00
Abril	83.77	2.16	2.16
Mayo	465.91	12.04	14.20
Junio	564.42	14.58	28.78
Julio	671.74	17.36	46.14
Agosto	561.45	14.52	60.66
Septiembre	958.04	24.76	85.42
Octubre	490.20	12.66	98.08
Noviembre	54.75	1.42	99.50
Diciembre	19.50	0.50	100.00
Total	3,869.78	100.00	

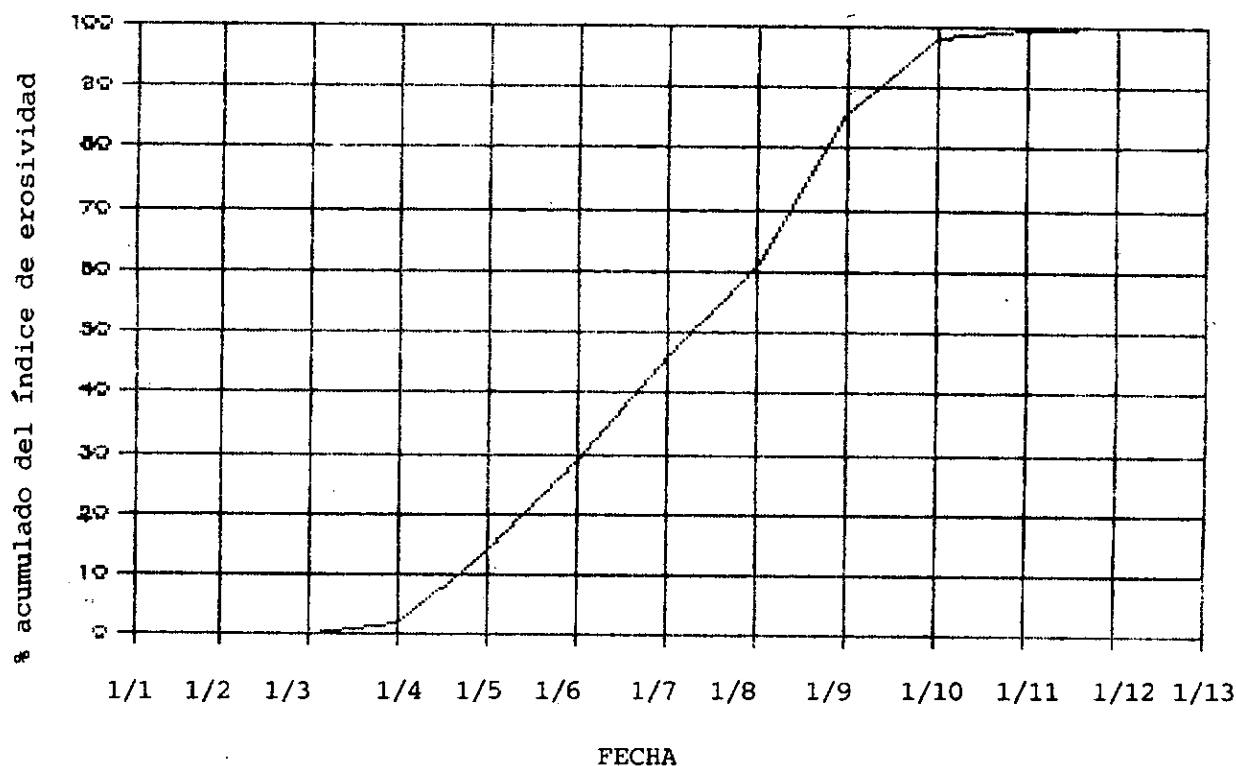


Figura 3. Curva de distribución mensual del índice de erosividad en la estación Observatorio Nacional, Guatemala.

CUADRO 5. Índice de erosividad y su distribución promedio mensual en la estación Radio Sonda, Guatemala.

Mes	Media de R	% de R	% R Acumulado
Enero	9.02	0.27	0.27
Febrero	0.00	0.00	0.27
Marzo	14.65	0.44	0.71
Abril	22.72	0.68	1.38
Mayo	355.72	10.68	12.07
Junio	626.22	18.81	30.81
Julio	482.68	14.50	45.38
Agosto	419.40	12.60	57.98
Septiembre	935.60	28.10	86.08
Octubre	446.98	13.43	99.51
Noviembre	16.11	0.49	100.00
Diciembre	0.00	0.00	100.00
Total	3,329.10	100.00	

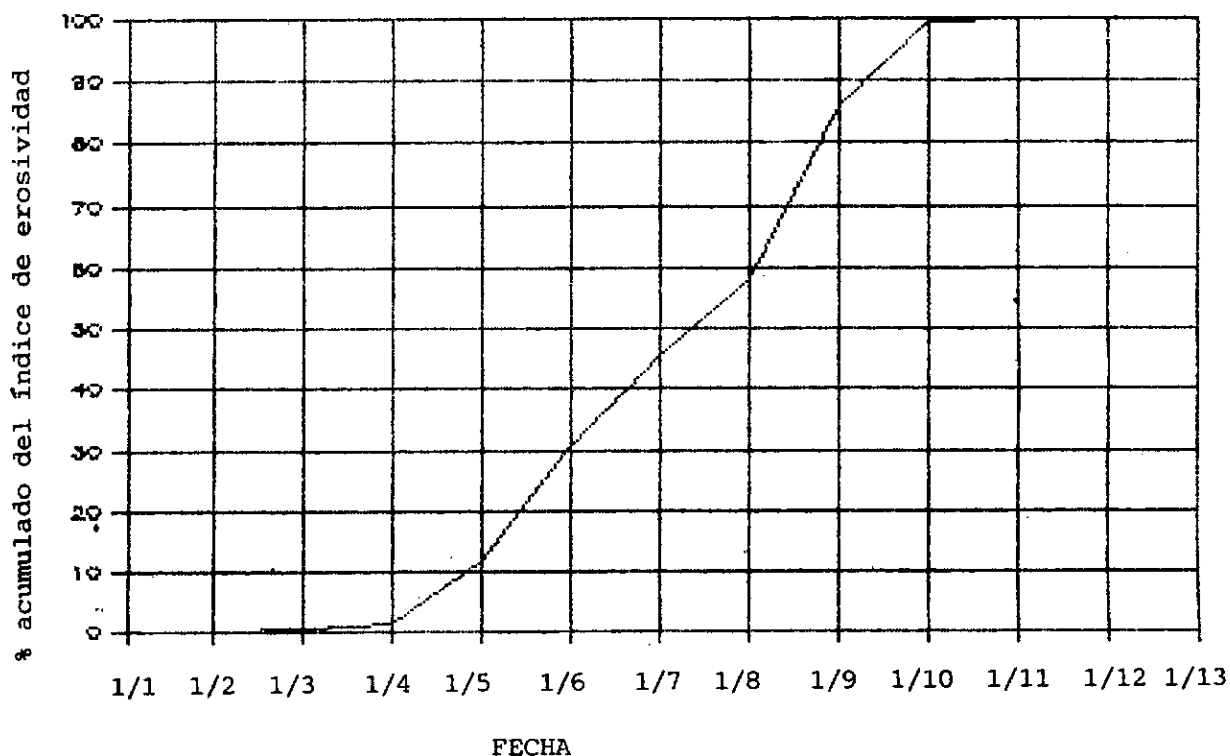


Figura 4. Curva de distribución mensual del índice de erosividad en la estación Radio Sonda, Guatemala.

En el cuadro 6, se presenta el promedio anual del índice de erosividad de la estación Brigada, el cual es de 3,976.92 Mega-Joules mm./ha. h. año, el porcentaje mensual y el porcentaje mensual acumulado de R. Los valores más altos corresponden a los meses de Agosto, Julio y Septiembre con 982.33, 917.03 y 819.47 Mega-Joule mm./ha. h. año, respectivamente. La distribución del promedio mensual de estos valores se presentan en la Figura 5. El periodo analizado comprende los años 1,965- a 1,970.

En el cuadro 7, se presenta el promedio anual del índice de erosividad de la estación Mil Flores, el cual es de 3,251.25 Mega-Joules mm./ha. h. año, el porcentaje mensual y el porcentaje mensual acumulado de R. Los valores más altos corresponden a los meses de Agosto, Julio y Septiembre con 1,343.46, 437.32 y 513.14 Mega-Joule mm./ha. h. año, respectivamente. La distribución del promedio mensual de estos valores se presentan en la Figura 6. El periodo analizado comprende los años 1,976- a 1,979.

En el cuadro 8, se presenta el promedio anual del índice de erosividad de la estación Morazá, el cual es de 4,568.72 Mega-Joules mm./ha. h. año, el porcentaje mensual y el porcentaje mensual acumulado de R. Los valores más altos corresponden a los meses de Mayo, Junio y Agosto con 1,338.63, 726.58 y 614.00 Mega-Joule mm./ha. h. año, respectivamente. La distribución del promedio mensual de estos valores se presentan en la

Figura 7. El periodo analizado comprende los años 1,976 a 1,984.

CUADRO 6. Índice de erosividad y su distribución promedio mensual en la estación Brigada, Guatemala.

Mes	Media de R	% de R	% R Acumulado
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.21	0.21
Marzo	0.00	0.00	0.21
Abril	67.27	1.69	1.90
Mayo	283.02	7.11	9.00
Junio	513.55	12.89	21.89
Julio	917.03	23.00	44.90
Agosto	982.33	24.65	69.55
Septiembre	819.47	20.56	90.11
Octubre	315.09	7.91	98.02
Noviembre	79.16	1.98	100.00
Diciembre	0.00	0.00	100.00
Total	3,976.92	100.00	

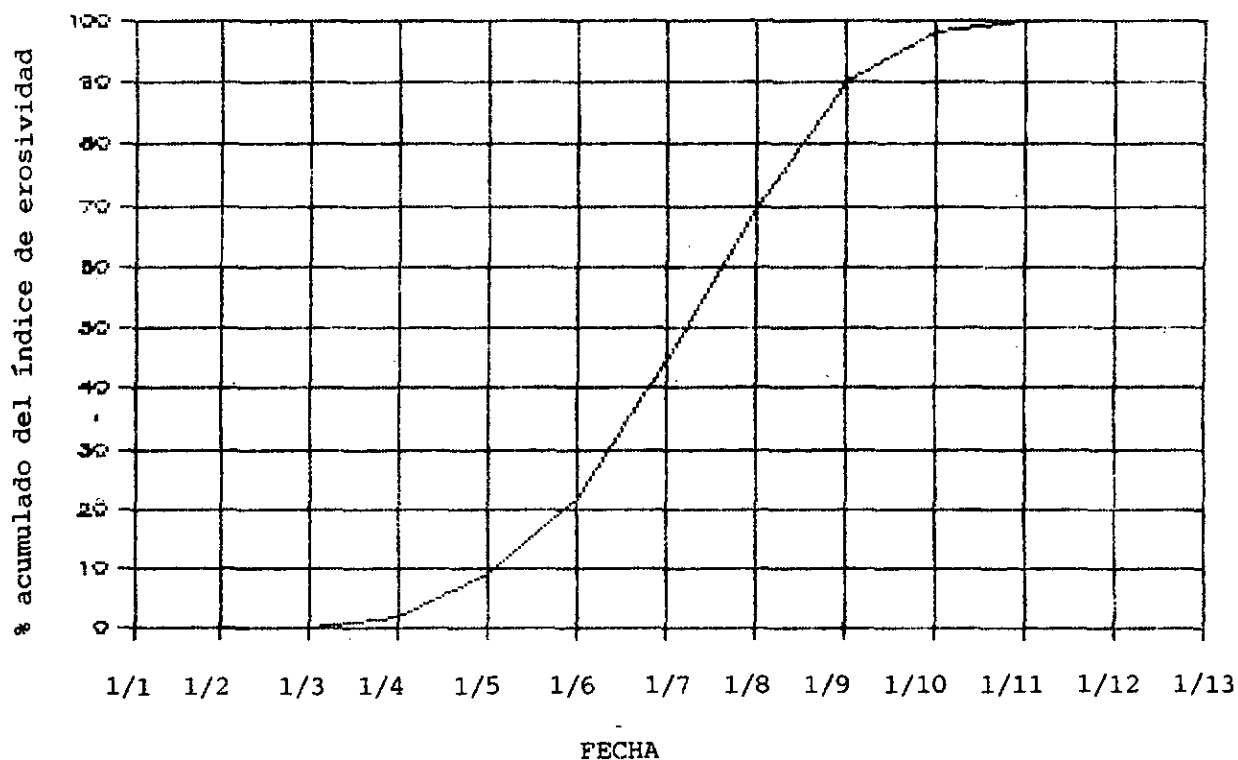


Figura 5. Curva de distribución mensual del índice de erosividad en la estación Brigada, Guatemala.

CUADRO 7. Índice de erosividad y su distribución promedio mensual en la estación Mil Flores, Guatemala.

Mes	Media de R	% de R	% R Acumulado
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00
Marzo	0.00	0.00	0.00
Abril	162.99	5.03	5.03
Mayo	383.39	11.78	16.81
Junio	230.93	7.10	23.91
Julio	437.32	13.45	37.36
Agosto	1,343.46	41.32	78.68
Septiembre	513.14	15.78	94.46
Octubre	180.02	5.54	100.00
Noviembre	0.00	0.00	100.00
Diciembre	0.00	0.00	100.00
Total	3,251.25	100.00	

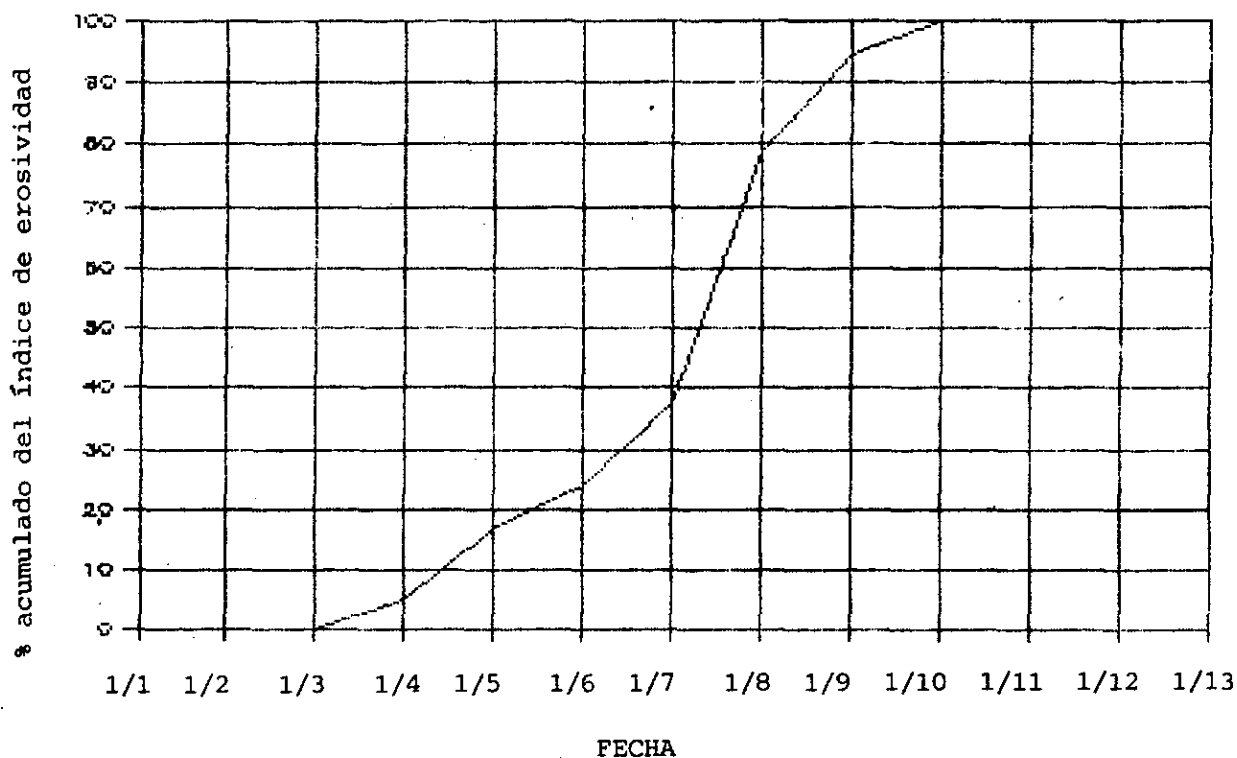


Figura 6. Curva de distribución mensual del índice de erosividad en la estación Mil Flores, Guatemala.

CUADRO 8. Índice de erosividad y su distribución promedio mensual en la estación Morazán, El Progreso.

Mes	Media de R	% de R	% R Acumulado
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00
Marzo	4.35	0.10	0.10
Abril	43.65	1.00	1.00
Mayo	1,338.63	29.29	30.39
Junio	726.58	15.90	46.29
Julio	481.86	10.54	56.83
Agosto	614.00	13.44	70.27
Septiembre	589.11	12.88	83.15
Octubre	511.87	11.20	94.35
Noviembre	258.67	5.65	100.00
Diciembre	0.00	0.00	100.00
Total	4,568.72	100.00	

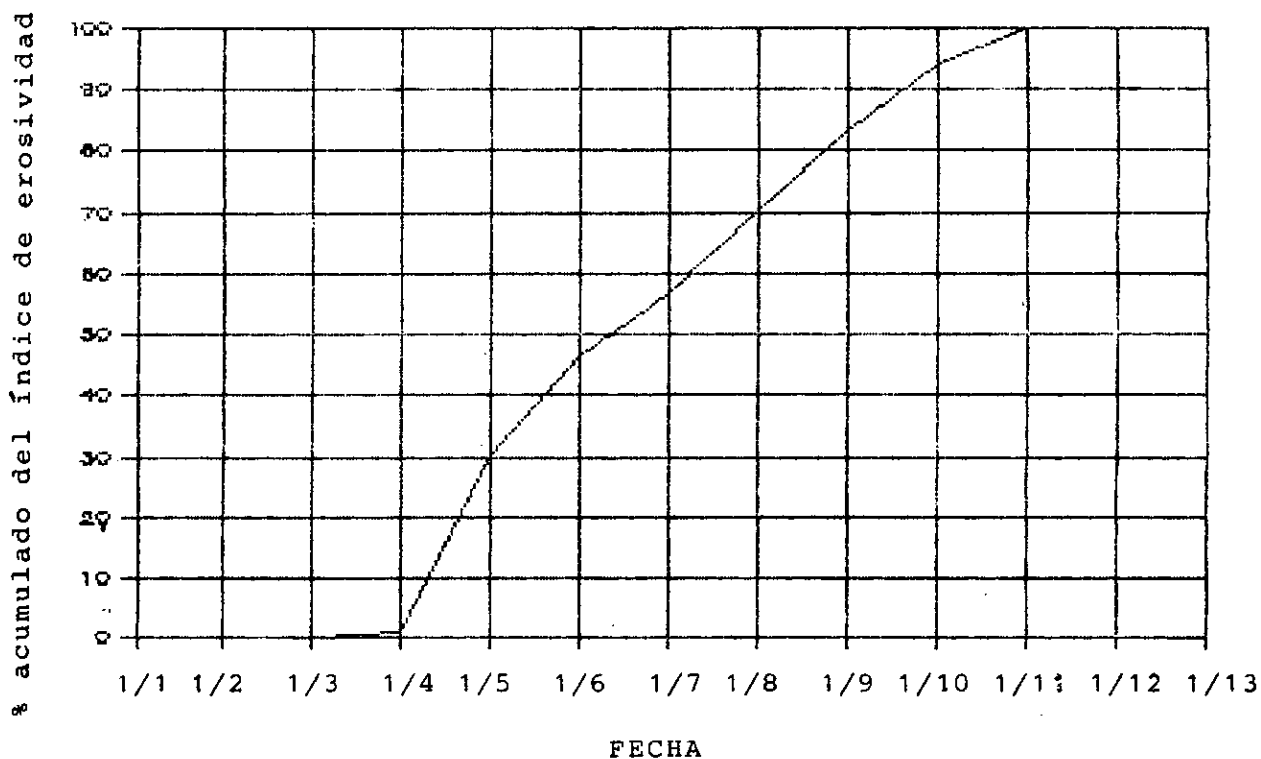


Figura 7. Curva de distribución mensual del índice de erosividad en la estación Morazán, El Progreso.

VI. DISCUSION DE RESULTADOS

La capacidad erosiva de la lluvia no depende únicamente de la energía cinética e intensidad máxima, sino también de factores locales, características de lugar, como el relieve de terreno, la textura y estructura del suelo, cubierta vegetal y de las prácticas de conservación de suelo y agua. Todos estos factores concidera la ecuación de predicción de pérdida de suelo.

Al analizar la información obtenida de los registros pluviográficos, se puede constatar que en todas las estaciones estudiadas, el poder erosivo de la lluvia aumenta en los meses de Agosto y Septiembre, con excepción de la estación Morazán que es en los meses de Mayo y Junio. Esto es teóricamente válido porque la estación Morazán, está en una zona bioclimática muy distinta a las demás estaciones, el comportamiento de la lluvia varia, registrandose lluvia con corta duración pero con intensidades altas. Lo anterior indica que la lluvia que prevalece es de tipo convectiva. No así la mayoría de lluvias de las otras estaciones, que tiene características del tipo orográfica, y se caracterizan por se lluvias de larga duración, con baja intensidad y por consiguiente con menor potencial erosivo.

Los índices de erosividad varían, en un rango de 2,548.01 hasta 4,568.72 Mega-Joule mm./ha.h.año y corresponden a las estacio -

nes Santa Cruz Balanyá y Morazán respectivamente. Comparando los resultados de estas dos estaciones, existe una diferencia de 2,020.71 Mega-Joule mm./ha.h.año.

Las estaciones Observatorio Nacional, Brigada, Radio Sonda y Mil Flores, por estar en la misma zona bioclimática, el índice de correlación lineal es de 0.87. Esto demuestra que el comportamiento de la lluvia en esta zona de vida es la misma.

La información obtenida cuantifica el poder erosivo de la lluvia y es obvio que el riesgo a la erosión es mayor cuanto más altos son los valores del índice de erosividad.

VII. CONCLUSIONES

Es importante indicar que las especulaciones que se pueden dar en base al análisis de datos meteorológicos son mucho más valiosos, cuanto mayor es el número de años de observación, generalmente se considera adecuado un período de 15 a 20 años, porque en períodos cortos, puede no haberse registrado magnitudes que son características del lugar.

Podemos concluir lo siguiente:

Los índices de erosividad de las estaciones Santa Cruz Balanyá, Observatorio Nacional, Radio Sonda, Brigada, Mil Flores y Morazán son: 2548.01, 3869.78, 3329.10, 3976.92, 3251.25 y 4568.72 Mega-Joule mm./ha. h. año.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda usar los índices de erosividad, como guía en el planteamiento del uso de las tierras, así como para evaluar las condiciones de los suelos en relación al peligro de la erosión actual.

La información que se presenta puede y debe modificarse en el futuro, de ser posible en forma periódica, para ir reduciendo las restricciones derivadas de errores de registro, escasez de datos en determinadas áreas y reducido número de años de registro de algunas estaciones metereológicas.

IX. BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS R., H. M. 1980. El factor "R" de la ecuación universal pérdida de suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis Mag. Sc. Chapingo, Meexico. Colegio postgraduados. p-115.
2. ARNOLDUS H.M.J. 1977. Predicting soil due to sheet and rill erosion. FAO. Conservation Guide no.1. P. 99-124.
3. BAYER L.D. ; GARDNER, W.H.; GARDNER W.R. 1973. Física de suelos. trad. de la 4ta. ed. inglesa por Jorge Manuel Rodríguez. Mexico D.F., UTEHA. p. 473-499.
4. COLEGIO DE POSTGRADUADOS. (Mex). 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. Chapingo, Mexico. p. 6-24.
5. CRUZ, J.R. DE LA. 1976. Clasificación de la zona de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. p. 13-29.
6. EROSION ENEMIGO público número uno de agricultura guatemalteca. 1984: Nuestro Campo (Gua.) 1(1): 19-21.
7. FAO (Roma). 1965. La erosión del suelo por el agua. Roma. p. 161-200.
8. FOSTER, G. et al. 1984. Conversion off the universal soil equation to simetric units. Journal of soil & water conservation. 36(6):355-359.
9. GAVANDE, S.A. 1979. Física de suelos, principios y aplicaciones. Mexico. LIMUSA. p. 17-20.
10. HUDSON. N. 1979. Soil coservation. New York, Cornell University Press. 320 p.
11. MITCHELL, J.K.; BUBENZER, G.D. 1984. Estimación de la pérdida de suelo. In M.J. Kirbby y R.P.C. Morgan, eds. soil erotion. Trad. de la 1a. ed. inglesa por Jorge Hurtado Vega. Mexico, LIMUSA. p. 35-88.
12. MORALES M.,J.O. 1983. Manual de conservación de suelo. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas. 72 p.

13. PAULET I., M. et al. 1978. Intensidades máximas y erosividad de las lluvias en la República Dominicana. Santo Domingo, IICA-INDRHI. 83 p.
14. SANCHEZ, A. 1979. Determinación de escurrimiento superficial en el suelo del área del proyecto de conservación de suelos Michatoya. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, facultad de Agronomía. p. 17-20.
15. WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall-erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, D.C., Department of agriculture. Agriculture Handbook no. 537. 58 p.

Olaya Ramirez



X. APENDICE

CUADRO 9. Estaciones metereológicas, años analizados y resultados del índice de erosividad. Expresados en MJ. mm./ha. h.año.

Años	Santa Cruz Balanya	Radio Sonda	Observa- toria Nacional	Brigada	Mil Flores	Morazán
1,952			3,514.21			
1,953			5,527.14			
1,954			3,914.21			
1,955			4,328.11			
1,956			4,311.99			
1,957			5,023.48			
1,958			2,881.92			
1,959			5,945.80			
1,960			3,143.42			
1,961			4,221.51			
1,962			4,668.22			
1,963			2,831.18			
1,964			3,185.02			
1,965			4,357.69	4,955.26		
1,966				4,779.69		
1,967			4,110.95	4,085.04		
1,968			4,415.31	3,880.57		
1,969				3,085.58		
1,970			3,372.33	3,075.37		
1,971			4,723.74			
1,972						
1,973	1,843.17		3,017.29			
1,974	2,631.00	4,459.85			3,529.00	
1,975	3,017.15	3,798.04	3,974.14		2,590.14	
1,976	1,814.87	4,834.40	4,233.21		3,356.01	4133.50
1,977	2,383.14	2,743.23	3,443.71		5,025.83	3728.25
1,978	2,761.92	3,793.41	2,350.12		2,413.70	3618.93
1,979	1,523.51	2,388.30			2,592.81	3863.09
1,980	3,417.11	1,286.46	3,128.02			3090.57
1,981	2,368.12		2,121.77			8968.41
1,982	1,862.89					3964.56
1,983	3,981.41					
1,984	2,971.81					5285.45

CUADRO 10. Tabla para calcular la energía de la lluvia en MJ/ha por mm. de lluvia en función de la intensidad en mm./h.,

Inten- sidad de lluvia mm/h	Energía cinética de la lluvia en Mj/ha.mm 1/									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0	0.119	0.145	0.161	0.172	0.180	0.187	0.193	0.198	0.202
10	.206	.210	.213	.216	.219	.222	.222	.224	.226	.229
20	.233	.234	.236	.238	.239	.241	.243	.244	.245	.247
30	.248	.249	.250	.252	.253	.254	.255	.256	.257	.258
40	.259	.260	.261	.262	.262	.263	.264	.265	.266	.267
50	.267	.268	.269	.270	.270	.271	.272	.272	.273	.274
60	.274	.275	.275	.276	.277	.277	.278	.278	.279	.280
70	.280	.281	.281	.282	.282	.283	.2832	-	-	-

FUENTE: Foster, G. et. al. Conversion of the universal soil equation to simetric units. Journal of soil & Water conservation.

1/ Cálculo con $ec = 0.119 + 0.0873 \log i$, donde EC es la energía cinética en mj/ha. mm de lluvia e "i" es la intensidad en mm/hr.

2/ Cuando la intensidad "i" excede los 76 mm/hr se utiliza esta cifra límite para el cálculo de EC.

CUADRO 11. Factores de conversión del índice de erosividad anual,
R.

De unidades del sistema Internacional	A unidades del sistema Inglés	Operación
mega joule.milimetro mj.mm	cientos de pies-tonf.pulg.	Dividir entre 17.02
hectárea.hora.año ha.h.año	acre.hora.año	
(ton x m/ha)x(cm/hr)x 10 ⁻²	cientos de pies-tonf.pulg. acre.hora.año	Dividir entre 2 1.735

Fuente:

1. Foster, G. et al. Conversión of the universal soil equation to SI metric units Journal of soil & Water conservation.
2. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Agriculture Handbook no. 537, 1978.

UNIVERSIDAD D. SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apdo Postal No. 1545


GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Año 26 de octubre de 1988

"IMPRIMASE"




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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Biblioteca Central

31A