

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

**DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS  
PARA LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS  
DE LA ZONA NOROCCIDENTAL DE GUATEMALA**



**LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS**

GUATEMALA, MAYO 1986

DL  
01  
T(844)

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**RECTOR**

**DR. MARIO MORENO CAMBARA**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

|            |                                 |
|------------|---------------------------------|
| DECANO     | Ing. Agr. César A. Castañeda S. |
| VOCAL I    | Ing. Agr. Oscar R. Leiva R.     |
| VOCAL II   | Ing. Agr. Jorge E. Sandoval I.  |
| VOCAL III  | Ing. Agr. Mario F. Melgar M.    |
| VOCAL IV   | P. A. Angel Leopoldo Jordan Z.  |
| VOCAL V    | P. A. Axel Gómez Chavarry       |
| SECRETARIO | Ing. Agr. Luis A. Castañeda A.  |

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                 |
|------------|---------------------------------|
| DECANO     | Ing. Agr. César A. Castañeda S. |
| EXAMINADOR | Ing. Agr. Carlos Echeverría     |
| EXAMINADOR | Ing. Agr. Oscar R. Leiva R.     |
| EXAMINADOR | Ing. Agr. Fredy Hernández Ola   |
| SECRETARIO | Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez P.  |



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apertado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

|                  |
|------------------|
| Referencia ..... |
| Asunto .....     |
| .....            |

12 de Mayo de 1986.

Ingeniero Agrónomo  
César A. Castañeda S.  
Decano de la Facultad de Agronomía,  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Señor Decano:

En atención a la designación que esa Decanatura me hiciera para asesorar el trabajo de tesis del estudiante -- Rudy Geovanni Del Cid Asturias, titulado "DETERMINACION DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS PARA LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS DE LA ZONA NOROCCIDENTAL DE GUATEMALA", informo a usted que he concluído la asesoría y revisión - del mismo.

Dicho trabajo constituye un valioso aporte a las investigaciones básicas 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 la investigación de tesis de grado en esta casa de estudios.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. M.C. José J. Chonay  
A s e s o r .

Guatemala,  
14 de Mayo de 1986.

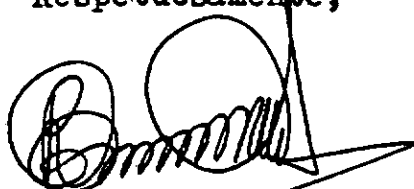
Señores  
Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señores :

De conformidad con lo que establece la Ley Orgánica de 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 LAS LLUVIAS PARA LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS DE LA ZONA NOROCCIDENTAL DE GUATEMALA".

Presentandolo como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, confío merezca vuestra aprobación.

Respetuosamente,

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Rudy Geovanni Del Cid Asturias', with a long horizontal stroke extending to the right.

Rudy Geovanni Del Cid Asturias

**ACTO QUE DEDICO**

**A DIOS**

**A MIS PADRES**

José Matilde Del Cid  
Zoila Asturias de Del Cid

**A MIS HERMANOS**

Amabilia, Luis René,  
Jorge Alfonso, Byron Leonel,  
Jocsan Joel y Mary Floridalma

**TESIS QUE DEDICO**

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE PROMOCION

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fué realizada bajo la asertada asesoría del Ing. Agr. M. C. José J. Chonay, quien proporcionó valiosas indicaciones y tuvo especial interés en la ejecución de la misma.

Agradezco la cooperación de los compañeros Ingenieros Agrónomos, Hernán Hernández, Jorge Mario Roldan, Otto René Paz, Edwin Portillo y Filiberto Galindo.

Asimismo, recibí valiosa colaboración del personal de la Sección de Climatología del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

## INDICE DE CONTENIDO

Página

### INDICE DE CUADROS

### INDICE DE FIGURAS

### INDICE DE ANEXOS

### RESUMEN

|       |                                                        |    |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| I.    | INTRODUCCION                                           | 1  |
| II.   | OBJETIVO                                               | 2  |
| III.  | REVISION DE LITERATURA                                 | 3  |
| 1.    | Conceptos generales                                    | 3  |
| 2.    | Mecánica del proceso de erosión hídrica                | 3  |
| 2.1   | Etapas de desprendimiento                              | 3  |
| 2.2   | Etapas de arrastre o transporte                        | 4  |
| 2.3   | Etapas de deposición                                   | 4  |
| 3.    | Tolerancia a la pérdida del suelo                      | 4  |
| 4.    | Métodos para cuantificar la pérdida suelo              | 6  |
| 5.    | La ecuación universal de pérdida de suelo              | 6  |
| 6.    | La energía de la lluvia                                | 8  |
| 7.    | Indices de erosividad                                  | 8  |
| 7.1   | Indice $EI_{30}$ de Wischmeier                         | 9  |
| 7.2   | Distribución promedio mensual del índice de erosividad | 11 |
| 7.3   | Aplicaciones de los índices de erosividad              | 11 |
| IV.   | MATERIALES Y METODOS                                   | 12 |
| V.    | RESULTADOS                                             | 17 |
| VI.   | DISCUSION DE RESULTADOS                                | 34 |
| VII.  | CONCLUSIONES                                           | 35 |
| VIII. | RECOMENDACIONES                                        | 36 |
| IX.   | BIBLIOGRAFIA                                           | 37 |
| X.    | ANEXOS                                                 | 40 |

## INDICE DE CUADROS

| Cuadro                                                                                                                 | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Guía para la asignación de valores de tolerancia a la pérdida del suelo a diferentes profundidades de enraizamiento | 5      |
| 2. Algunos valores de R en distintas partes del mundo                                                                  | 10     |
| 3. Estaciones analizadas con información pluviográfica y ubicación de las mismas                                       | 12     |
| 4. Estaciones analizadas con resultados obtenidos de índice de erosividad y número de eventos con intensidad erosiva   | 18     |
| 5. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Huehuetenango                       | 21     |
| 6. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación San Pedro Necta                     | 22     |
| 7. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Soloma                              | 23     |
| 8. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Todos Santos                        | 25     |
| 9. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Chinique                            | 26     |
| 10. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Nebaj                              | 27     |
| 11. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación El Capitán                         | 29     |
| 12. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Santiago Atitlán                   | 30     |
| 13. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Cantón Xejuyú                      | 31     |
| 14. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Juchanep                           | 33     |

## INDICE DE FIGURAS

| Figura |                                                                                                  | Página |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1      | Mapa de localización de la zona noroccidental de Guatemala                                       | 15     |
| 2      | Mapa de erosividad de la lluvia en la zona noroccidental de Guatemala                            | 19     |
| 3      | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Huehuetenango     | 21     |
| 4      | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación San Pedro Necta   | 22     |
| 5      | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Soloma            | 23     |
| 6      | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Todos Santos      | 25     |
| 7      | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Chinique          | 26     |
| 8      | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Nebaj             | 27     |
| 9      | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación El Capitán        | 29     |
| 10     | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Santiago Atitlán. | 30     |
| 11     | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Cantón Xejuyú     | 31     |
| 12     | Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Juchanep.         | 33     |

## INDICE DE ANEXOS

| Anexo |                                                                                                                                                   | Página |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1     | Registro de una lluvia en un pluviograma                                                                                                          | 41     |
| 2     | Ejemplo de cálculo del índice de erosividad de la lluvia registrada en el pluviograma del Anexo 1                                                 | 42     |
| 3     | Estaciones y años analizados con información pluviográfica y resultados obtenidos de índice de erosividad total anual y número de eventos anuales | 43     |
| 4     | Tabla para calcular la energía de la lluvia en MJ/ha por mm de lluvia en función de la intensidad en mm/hr.                                       | 46     |
| 5     | Factores de conversión del índice de erosividad anual, R.                                                                                         | 47     |

## RESUMEN

El suelo es un recurso natural renovable y sujeto a procesos destructivos por las fuerzas de la naturaleza o por la intervención del hombre.

Como consecuencia de la disminución de la cubierta forestal, la susceptibilidad de los suelos a la erosión y las altas tasas de escurrimiento superficial, en algunas regiones del país se evidencia el deterioro del recurso suelo provocado por la acción de las lluvias, por lo que es necesario contar con información acerca de la erosividad de las mismas.

El objetivo de esta investigación fué determinar el índice de erosividad de la lluvia, factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo, para las estaciones pluviográficas de la zona noroccidental de Guatemala.

En el presente estudio se analizaron los registros diarios provenientes, de 10 estaciones meteorológicas que cuentan con pluviógrafo. La zona en la que se encuentran las mencionadas estaciones comprende los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Sololá y Totonicapán.

En base a los resultados obtenidos se concluyó que los valores de erosividad de la lluvia tienen un rango de 1,034.50 a 2,095.14 MJ.mm/ha.h.año, en tanto que el número promedio anual de lluvias con intensidad erosiva oscila entre 16 y 46.

En lo que respecta a la distribución promedio mensual del índice de erosividad, los valores más altos ocurren durante los meses de mayo, junio y septiembre.

La información obtenida sobre capacidad erosiva de las lluvias debe complementarse con aquella sobre las condiciones de susceptibilidad a la erosión y la misma puede utilizarse como elemento de juicio sobre el riesgo a la erosión en la planificación del uso de los suelos.

## I. INTRODUCCION

El suelo es un recurso natural renovable y está sujeto a procesos destructivos por las fuerzas de la naturaleza o por la intervención del hombre que mediante su laboreo acelera el proceso de erosión.

En base a las características de suelo, clima y topografía la mayor parte del territorio nacional es de vocación forestal. Sin embargo, la cubierta forestal ha disminuído a partir de 1950, para ese año se calculó que el 64.7% del territorio nacional estaba cubierto por bosque denso, mientras que para 1981 se estimó en un 39.6% (7).

Dutchover, citado por Castañeda (7), señala que 45,500 km<sup>2</sup> del suelo nacional son de vocación agrícola, de los cuales 16,000 km<sup>2</sup> son aptos para la agricultura intensiva y 29,500 km<sup>2</sup> para la agricultura extensiva.

El Instituto Nacional Forestal y el Instituto Geográfico Nacional, mencionan que el 33% de los suelos del territorio nacional presentan un alto grado de susceptibilidad a la erosión, en tanto que el 30.1% presentan un muy alto grado (7).

Se ha calculado que del total de lluvia precipitada en nuestro país. el 75% se escurre y arrastra a su paso suelos de cultivo o suelos forestales (9). También se ha estimado la cantidad de pérdida de suelo en las cuencas de los ríos de acuerdo a la concentración de sedimentos en los mismos. Los valores de transporte de sedimentos, expresados en m<sup>3</sup>/ha/año, para los ríos Villalobos, Motagua, Chixoy y Samalá son respectivamente 11.7, 8.89, 7.6 y 6.89 (5,7).

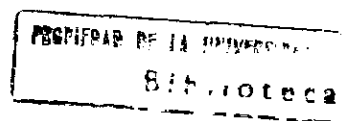
Como consecuencia de lo anterior, en algunas regiones del país se evidencia el alto grado de deterioro del recurso suelo provocado por la acción erosiva de las lluvias, por lo que es necesario contar con información acerca de la erosividad de las mismas.

El conocimiento de la capacidad de las lluvias de causar erosión así como de las características físicas y químicas del suelo, la longitud e inclinación de la pendiente, el manejo de los cultivos y las prácticas de control de la erosión facilitan la planificación de la conservación del suelo a fin de hacer un uso racional de éste recurso. Los anteriores factores son los parámetros de la ecuación universal de pérdida del suelo.

El objetivo del presente estudio fué presentar información básica sobre la capacidad erosiva de las lluvias en la zona noroccidental del país mediante la determinación del índice de erosividad de las lluvias, factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo.

## II. OBJETIVO

Determinar el índice de erosividad de las lluvias, factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo, para las estaciones pluviográficas de la zona noroccidental de Guatemala.



### **III. REVISION DE LITERATURA**

#### **1. Conceptos generales**

Erosión es el proceso físico que consiste en la remoción de los materiales componentes del suelo por los agentes erosivos a una velocidad mayor que la de su formación. Dichos agentes son el agua, viento, temperatura, biológicos y la acción del hombre. De acuerdo con las causas de su ocurrencia existen dos tipos de erosión: erosión geológica normal o natural y erosión inducida o acelerada que se presenta cuando a la acción de los agentes naturales se agrega la acción del hombre (16).

Riquier (22), clasifica la erosión hídrica como un proceso de degradación del suelo que disminuye cuantitativa y/o cualitativamente la capacidad de producción del suelo, y según Paulet (21), consiste en la remoción del mismo por el efecto combinado del impacto de las gotas de lluvia y del escurrimiento superficial del agua.

Hudson (13), menciona que la erosión hídrica es una función de la erosividad de la lluvia y de la erodabilidad del suelo.

La erosividad es la capacidad potencial de la lluvia de causar erosión, es el factor "activo" o de agresividad de la lluvia y es cuantificada por índices de erosividad como el  $EI_{30}$  de Wischmeier.

La erodabilidad es la susceptibilidad del suelo a la erosión, es el factor "pasivo" y está determinada por las características físicas y químicas del suelo, el manejo que se le dá al mismo de acuerdo a la longitud e inclinación de la pendiente, el manejo de los cultivos y por las prácticas de control de la erosión que se ejecuten.

#### **2. Mecánica del proceso de erosión hídrica**

Según Sánchez (23), la mecánica del proceso de erosión hídrica consta de tres etapas:

Desprendimiento  
Arrastre o Transporte  
Deposición

##### **2.1 Etapa de desprendimiento**

Consiste en el desprendimiento de las partículas del suelo por la acción del impacto de las gotas de lluvia en la superficie y por el constante golpeteo de las mismas.

que mantienen en suspensión las partículas finas y en rodamiento las partículas gruesas. La dispersión de las partículas sella los poros superficiales lo que disminuye la capacidad de infiltración del agua (19).

En esta etapa tiene importancia la cubierta vegetal ya que suelos desprovistos de vegetación son susceptibles al desprendimiento.

Ayres (4), menciona los efectos de la cubierta vegetal que se resumen a continuación:

- a. Protección contra el impacto de las gotas de lluvia.
- b. Dispersión e intercepción de la lluvia por medio del follaje.
- c. Consolidación del suelo por las raíces que impiden el desprendimiento de partículas.

## **2.2 Etapa de arrastre o transporte**

El arrastre de partículas sucede cuando el agua no se filtra en el suelo y se produce el escurrimiento superficial. La capacidad erosiva de éste último está determinada por la cantidad, intensidad y distribución de las gotas de lluvia; asimismo, por la capacidad de retención del agua en el suelo y por la velocidad de la lámina de agua (19).

## **2.3 Etapa de deposición**

Se presenta cuando la velocidad del flujo disminuye y las partículas en suspensión se sedimentan en la superficie del suelo (23).

## **3. Tolerancia a la pérdida del suelo**

Wischmeier y Smith (28), la definen como la máxima tasa anual de erosión del suelo que permite un alto nivel de productividad de los cultivos.

El criterio de decisión para el uso racional de los suelos agrícolas es adecuar las prácticas de manejo del agua y suelo de manera que la erosión sea igual o menor que un límite de tolerancia previamente establecido (20, 24).

Una estimación de la velocidad de formación del suelo es un factor importante para establecer la tolerancia de pérdida del suelo. Se ha estimado que se necesitan cerca de 300 años para formar una capa de 25 mm de suelo superficial, sin embargo cuando existe alteración del suelo por el laboreo y pastoreo se acelera el intemperismo y el período de formación se reducen a 30 años (15). Esta velocidad de formación del suelo equivale a 12.5 ton/ha/año.

Según Arnoldus (3), el límite superior de pérdida de suelo de 11.2 ton/ha/año fué seleccionado para usarse con la ecuación universal de pérdida de suelo por las siguientes razones:

- a. Las pérdidas de suelo superiores a 11.2 ton/ha/año afectan el costo, mantenimiento y efectividad de estructuras de control del agua que se ven afectadas por los sedimentos que se acumulan.
- b. La excesiva erosión es acompañada por la formación de cárcavas lo que ocasiona problemas adicionales en las labores de cultivo y azolve de diques, ríos y canales.
- c. El valor monetario por pérdida de nutrimentos disponibles para la planta, a causa de la erosión, es menor que el considerado como excesivo.
- d. Se conocen numerosas prácticas de control de la erosión que se pueden usar exitosamente para mantener las pérdidas del suelo por debajo de 12.5 ton/ha/año.

En el Cuadro 1, se presenta una guía para asignar valores de tolerancia a la pérdida del suelo, para suelos renovables y suelos no renovables, a diferentes profundidades de enraizamiento.

**Cuadro 1. Guía para asignación de valores de tolerancia a la pérdida de suelo a diferentes profundidades de enraizamiento.**

| Profundidad de enraizamiento<br>cms | Tolerancia a la pérdida del suelo       |                                            |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                     | Suelo renovable <sup>1/</sup><br>ton/ha | Suelo no renovable <sup>2/</sup><br>ton/ha |
| 0 - 25                              | 2.2                                     | 2.2                                        |
| 25 - 51                             | 4.5                                     | 2.2                                        |
| 51 - 102                            | 6.7                                     | 4.5                                        |
| 102 - 152                           | 9.0                                     | 6.7                                        |
| 152+                                | 11.2                                    | 11.2                                       |

Fuente: Schertz, D. L. The basis for soil loss tolerances Journal of Soil & Water Conservation, 1983.

<sup>1/</sup> Suelos con sustrato favorable que pueden ser renovados con el uso de fertilizantes, materia orgánica y otras prácticas de manejo.

<sup>2/</sup> Suelos con sustrato desfavorable, tal como rocas, que no pueden ser renovados económicamente.

#### 4. Métodos para cuantificar la pérdida de suelo

Existen métodos directos para cuantificar la pérdida de suelo, tales como transectos de cárcavas, clavos con rondanas, tapas o corcholatas, lotes de escurrimiento y levantamientos topográficos. Estos métodos cuantifican la lámina de suelo perdido en un intervalo de tiempo (16).

#### 5. La ecuación universal de pérdida de suelo

La ecuación universal de pérdida de suelo es el modelo matemático usado para la predicción de pérdida de suelo debido a la erosión. El índice de erosividad y la forma de evaluar el factor manejo de los cultivos en función de la distribución promedio mensual del índice de erosividad constituyen el punto medular de éste modelo. Los parámetros de la ecuación son el resultado de más de 20 años de investigación en parcelas de escurrimiento estándar con una longitud de la pendiente de 22.11 metros, pendiente uniforme de 9%, suelo en barbecho continuo cultivado, surcando en el sentido de la pendiente y un ancho de 1.83 metros. Por barbecho continuo cultivado se entiende, un suelo arado, disqueado y mantenido libre de vegetación por un período de por lo menos dos años (3, 14, 17, 28).

Las aplicaciones de la ecuación universal de la pérdida de suelo, según Wischmeir citado por Arias (2), son:

- a. Predicción de pérdida de suelo
- b. Evaluación, selección y planificación de prácticas de conservación para el uso de los suelos.

Según Aguilar (1), con el uso de la fotointerpretación e información existente para condiciones de México, se pueden calcular los parámetros de la ecuación universal y la pérdida de suelo se puede predecir con una eficiencia del 95%

Morgan y Nalepa (18) en Texas, Estados Unidos de Norteamérica, utilizaron la fotointerpretación de fotografía infrarrojo color en combinación con la ecuación universal e indican que se ahorra una considerable cantidad de tiempo en la predicción de pérdidas de suelo.

La ecuación se expresa en los siguientes términos (3, 13, 14, 27, 28)

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

Donde:

- A = Es el promedio anual de pérdida de suelo para condiciones específicas de lluvia, suelo, topografía, manejo de los cultivos y prácticas de conservación. Se expresa en ton/ha.
- R = Factor erosividad de la lluvia. El índice de erosividad es una medida de la fuerza erosiva de la lluvia y se define como el producto de la energía cinética de la lluvia y la intensidad máxima durante 30 minutos. Se expresa en unidades de energía del índice de erosividad.
- K = Factor erodabilidad del suelo. Este factor se define como la cantidad de suelo perdido por unidades de energía del índice de erosividad a partir de una parcela estándar. Debido a la dificultad de evaluar éste factor para una gran número de suelos se desarrolló un método para determinarlo en base a propiedades físicas y químicas de los mismos. Este método fué mejorado y se diseñó un nomograma para el cálculo de la erodabilidad. Se expresa en ton/ha/unidades de energía del índice de erosividad.
- L = Factor longitud de la pendiente. Adimensional.
- S = Factor inclinación de la pendiente. Adimensional.

Los efectos de longitud e inclinación de la pendiente a menudo se evalúan como un factor topográfico único, LS. Este factor único se define como la relación de pérdida de suelo por unidad de área en una parcela estándar.

- C = Factor por manejo de los cultivos. Este factor representa la relación de pérdida del suelo de tierras cultivadas bajo condiciones específicas a la correspondiente pérdida en tierras labradas en barbecho continuo. Adimensional.
- P = Factor por prácticas de control de la erosión. Este factor en la ecuación es la relación de pérdida de suelo con laboreo en el sentido de la pendiente. Adimensional.

Cuando las condiciones señaladas para una parcela de escurrimiento estándar se verifican, los factores L, S, C y P toman el valor de 1.0 y por lo tanto la ecuación básica es:

$$A = R K$$

De ésta ecuación se obtiene que el factor K es igual a A/R, en consecuencia la erodabilidad del suelo es el único factor de la ecuación que se expresa en ton/ha/unidades de energía del índice de erosividad.

La ecuación universal de pérdida de suelo fué desarrollado originalmente en el Sistema Inglés, en éste trabajo la información obtenida se presenta en el Sistema Internacional.

## 6. La energía de la lluvia

De acuerdo con Wischmeier y Smith, citados por Arias (2), la erosión es un proceso físico que requiere energía para realizar un trabajo mecánico, consistente en romper los agregados, dispersarlos, causar turbulencia en el escurrimiento superficial y transportar las partículas desprendidas.

Los mismos investigadores, basados en la información sobre la distribución de tamaños de las gotas de lluvia en función de la intensidad, y sobre la velocidad terminal de las mismas, formularon la ecuación que relaciona la energía cinética con la intensidad de la lluvia.

La ecuación de estimación de la energía cinética de la lluvia, expresada en unidades del Sistema Internacional, es (10):

$$EC = 0.119 + 0.0873 \log i$$

Donde:

EC = Energía cinética de la lluvia, expresada en megajoule/hectárea.milímetro.

i = Intensidad, expresada en milímetro/hora.

## 7. Índices de erosividad

La capacidad potencial de la lluvia de producir erosión es cuantificada por medio de índices de erosividad a partir de la energía cinética e intensidad de la misma.

Arias (2), evaluó en México cinco índices de erosividad y concluyó que el EI<sub>30</sub> mostró el mayor coeficiente de correlación respecto a la pérdida de suelo en el área de estudio. Los otros índices evaluados fueron: el de Fournier, que se define como la relación entre el cuadrado de la precipitación máxima para un período dado y la precipitación total del mismo; el KE<sub>>1</sub> de Hudson, que es la energía cinética total de la

lluvia que cae a intensidades mayores de 25 mm/hr; el  $AI_m$  de La1 y el  $R_{am}$ , que son una variación del  $EI_{30}$  y están basados en la relación entre la energía cinética de la lluvia y la intensidad máxima.

Paulet (21), en la República Dominicana determinó el índice de erosividad por la metodología del  $EI_{30}$  y correlacionó la información obtenida con el promedio anual de lluvia erosiva de las estaciones pluviométricas. Como conclusión afirma que a pesar de haber obtenido un alto coeficiente de determinación de valores de  $R$ , persiste el hecho de que es una suposición que los mismos puedan aplicarse a estaciones sin pluviógrafo.

### 7.1 Índice $EI_{30}$ de Wischmeier

El  $EI_{30}$  es el producto de la energía cinética total de la lluvia y la intensidad máxima en 30 minutos, y ésta última se define como el doble de la mayor cantidad de lluvia que cae en cualquier intervalo de 30 minutos consecutivos (2).

Las unidades de energía del índice de erosividad  $EI_{30}$  en el Sistema Internacional son megajoule.milímetro/hectárea.hora. año, MJ.mm/ha.h.año.

Amézquita, citado por Bermudes (6), analizó la información pluviográfica de los años 1958 a 1974 en Turrialba, Costa Rica. El valor del índice de erosividad  $EI_{30}$  que determinó fué de 1,196.80 MJ.mm/ha.h.año y el valor promedio anual de la precipitación para el mismo período fué de 2,680 mm.

En el Cuadro 2, se presentan otros valores de índice de erosividad de la lluvia en distintas partes del mundo.

Cuadro 2. Algunos valores de R en distintas partes del mundo

| Países                | Rango de R<br>MJ.mm/ha.h.año |        | Observaciones y lugares<br>aproximados                                 |
|-----------------------|------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------|
| ALTO VOLTA            | 3,924                        | 11,772 | Africa Occidental                                                      |
| COSTA MARFIL          | 8,829                        | 22,363 | Africa Occidental                                                      |
| ESTADOS UNIDOS        |                              |        |                                                                        |
| Noreste               | 981                          | 3,924  | Desde Maine hasta Maryland                                             |
| Sureste               | 3,924                        | 8,829  | Desde Maryland a la Florida                                            |
| Medio Oeste           | 1,962                        | 3,924  | Iowa, Missouri, Illinois,<br>Indiana                                   |
| Medio Sur             | 3,924                        | 9,810  | Mississippi, Georgia,<br>Nueva Orleans                                 |
| Oeste Medio           | 785                          | 5,886  | Texas, Nuevo México,<br>Colorado, Nebraska                             |
| FRANCIA               | 981                          | 5,886  | Sur de Francia                                                         |
| HAWAII                | 1,471                        | 14,715 | Valores más altos en la<br>cordillera                                  |
| ISLAS VIRGENES        | 5,886                        |        |                                                                        |
| MARRUECOS             | 785                          | 4,905  | Norte de Africa                                                        |
| MEXICO <sup>1/</sup>  | 1,668                        | 2,158  | Cuenca del río Texcoco                                                 |
| PERU SELVA            |                              | 25,505 | Zona de Iquitos                                                        |
| Sierra                | 981                          | 1,962  | Zona del Mantaro, Huancayo                                             |
| PUERTO RICO           | 5,886                        | 7,848  | Valores más altos en la<br>cordillera                                  |
| REP. DOMINICANA       | 981                          | 17,658 | Valores más altos en las zonas<br>montañosas y en la región<br>noreste |
| TUNEZ                 | 981                          | 4,905  | Norte de Africa                                                        |
| URUGUAY <sup>2/</sup> | 2,354                        | 5,886  |                                                                        |

Fuente: Paulet Iturri, M. Intensidades máximas y erosividad de las lluvias en la República Dominicana. Santo Domingo, 1982.

<sup>1/</sup> Arias Rojo, H. M. El factor "R" de la ecuación universal de la pérdida de suelo en la cuenca del río Texcoco. México, 1980.

<sup>2/</sup> Koolhaas, M. H. La ecuación universal de pérdida de suelo. Montevideo, Uruguay, 1977.

## **7.2 Distribución promedio mensual del índice de erosividad**

Se expresa como porcentaje acumulado respecto al valor anual de R, es importante porque las lluvias no son igualmente erosivas en todo el año y cuando se planifica el uso de los suelos las distintas prácticas y técnicas de cultivo deben adecuarse a la erosividad de las lluvias (20, 24)

Se ha desarrollado un procedimiento para determinar valores locales del factor manejo de los cultivos, en base a la distribución promedio mensual del índice de erosividad en combinación con información sobre la pérdida de suelo para determinada cubierta, secuencia, nivel de productividad, prácticas de cultivo y manejo de residuos. Para obtener el valor C de una rotación, el ciclo de los cultivos se divide en cinco etapas para las que se determina el porcentaje del índice de erosividad en la curva de distribución promedio mensual, éste valor se multiplica por la pérdida de suelo correspondiente y el resultado es el valor C. La suma de los valores de cada etapa se divide entre el número de años de la rotación y el resultado es el valor C promedio anual (17).

## **7.3 Aplicaciones de los índices de erosividad**

Hudson (13), afirma que la cuantificación de la capacidad erosiva de las lluvias tiene dos aplicaciones:

- a. En la práctica de conservación de suelos, ayuda a mejorar el diseño de los trabajos.
- b. Facilita la clasificación de las lluvias de acuerdo a su potencial erosivo.

#### IV. MATERIALES Y METODOS

Para la determinación del índice de erosividad de la lluvia, factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo, se utilizó la metodología del  $EI_{30}$  propuesta por Wischmeier en 1959. Esta se basa en el procesamiento y análisis de los datos sobre intensidad y energía cinética de la lluvia registrada en los pluviogramas.

En el Cuadro 3, se presentan las estaciones meteorológicas que cuentan con pluviógrafo y de las cuales provinieron los pluviogramas analizados en este estudio. Las estaciones son operadas por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. De acuerdo con Linsley (15) por estar ubicadas en una región montañosa, cada estación cubre un área de 100 a 250 km<sup>2</sup>.

**Cuadro 3. Estaciones analizadas con información pluviográfica y ubicación de las mismas.**

| Código  | Nombre<br>de la Estación | Latitud    | Longitud  | Elevación<br>m.s.n.m. |
|---------|--------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 7. 1.3  | Huehuetenango            | 15°19'02"  | 91 28'05" | 1,902                 |
| 7.19.2  | San Pedro Necta          | 15°19'42"  | 91 45'49" | 1,600                 |
| 7.20.2  | Soloma                   | 15°39'10"  | 91 26'06" | 1,600                 |
| 7.31.2  | Todos Santos             | 15°30'35"  | 91 36'12" | 2,500                 |
| 14. 5.2 | Chinique                 | 15°02'22"  | 91 01'41" | 2,000                 |
| 14. 8.1 | Nebaj                    | 15°23'53"  | 91 08'22" | 1,906                 |
| 19.10.5 | El Capitán               | 14° 38'35" | 91 08'26" | 1,562                 |
| 19.19.4 | Santiago Atitlán         | 14°37'56"  | 91 13'53" | 1,592                 |
| 19. 5.2 | Cantón Xejuyú            | 14°44'20"  | 91 07'30" | 2,400                 |
| 21. 1.4 | Juchanep                 | 14°56'08"  | 91 22'58" | 2,500                 |

##### 1. Descripción de la zona noroccidental de Guatemala

La zona en la que se encuentran las estaciones meteorológicas enumeradas anteriormente, está localizada respecto al meridiano de Greenwich entre las coordenadas geográficas 14°37'56" a 15°30'10" de latitud norte y 91°01'41" a 91°45'49" de longitud oeste. La misma comprende los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Sololá y Totonicapán, ver Figura 1.

En el departamento de Huehuetenango se encuentran las estaciones Huehuetenango, San Pedro Necta, Soloma y Todos Santos.

La estación Huehuetenango, en el municipio de Huehuetenango, se encuentra en una zona bioclimática con vegetación de bosque húmedo montano bajo subtropical, bh-MB; precipitación media anual de 994.41 mm, temperatura media anual de 16.88°C y un 72.93% de humedad relativa. Suelos de la altiplanicie central, mal drenados, con pendientes predominantes entre 0 y 3% y con un alto peligro de erosión.

La estación San Pedro Necta, en el municipio de San Pedro Necta, se encuentra en una zona bioclimática con vegetación de bosque húmedo montano bajo subtropical, bh-MB; precipitación media anual de 1,492.15 mm, temperatura media anual de 19.28°C y un 71.77% de humedad relativa. Suelos de los cerros de caliza, que son suelos poco profundos a altitudes medianas, con pendientes entre 20 y 30% y alto peligro de erosión.

La estación Soloma, en el municipio de San Pedro Soloma, se encuentra en una zona bioclimática con vegetación de bosque muy húmedo montano subtropical, bmh-M; precipitación media anual de 2,161.52 mm, temperatura promedio anual de 13.81°C y un 86.61% de humedad relativa. Suelos de los cerros de caliza, con pendientes predominantes entre 3 y 7% y un regular peligro de erosión.

La estación Todos Santos, en el municipio de Todos Santos Cuchumatán, se encuentra en una zona bioclimática con vegetación de bosque muy húmedo montano subtropical, bmh-M; precipitación media anual de 1,295.97 mm, temperatura media anual de 12.96°C y un 84.77% de humedad relativa. Suelos de los cerros de caliza, poco profundos a gran altitud con pendientes predominantes entre 40 y 50% y con un alto peligro de erosión.

En el departamento de el Quiché se encuentran las estaciones Chinique y Nebaj.

La estación Chinique, en el municipio de Chinique, se encuentra en una zona bioclimática con vegetación de bosque húmedo montano bajo subtropical, bh-MB; precipitación media anual de 1,506.67 mm, temperatura media anual de 17.71°C y un 81.4% de humedad relativa. Suelos de la altiplanicie central, bien drenados, profundos, sobre ceniza volcánica de color claro, con pendientes predominantes entre 5 y 12% y un alto peligro de erosión.

La estación Nebaj, en el municipio de Nebaj, se encuentra en una zona bioclimática con vegetación de bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bmh-MB; precipitación promedio anual de 1,902.59 mm, temperatura media anual de 15.25°C y una humedad relativa de 79.80%. Suelos de los cerros de caliza, poco profundos, con

pendientes predominantes entre 4 y 8% y un alto peligro de erosión.

En el departamento de Sololá se encuentran las estaciones El Capitán, Santiago Atitlán y Cantón Xejuyú.

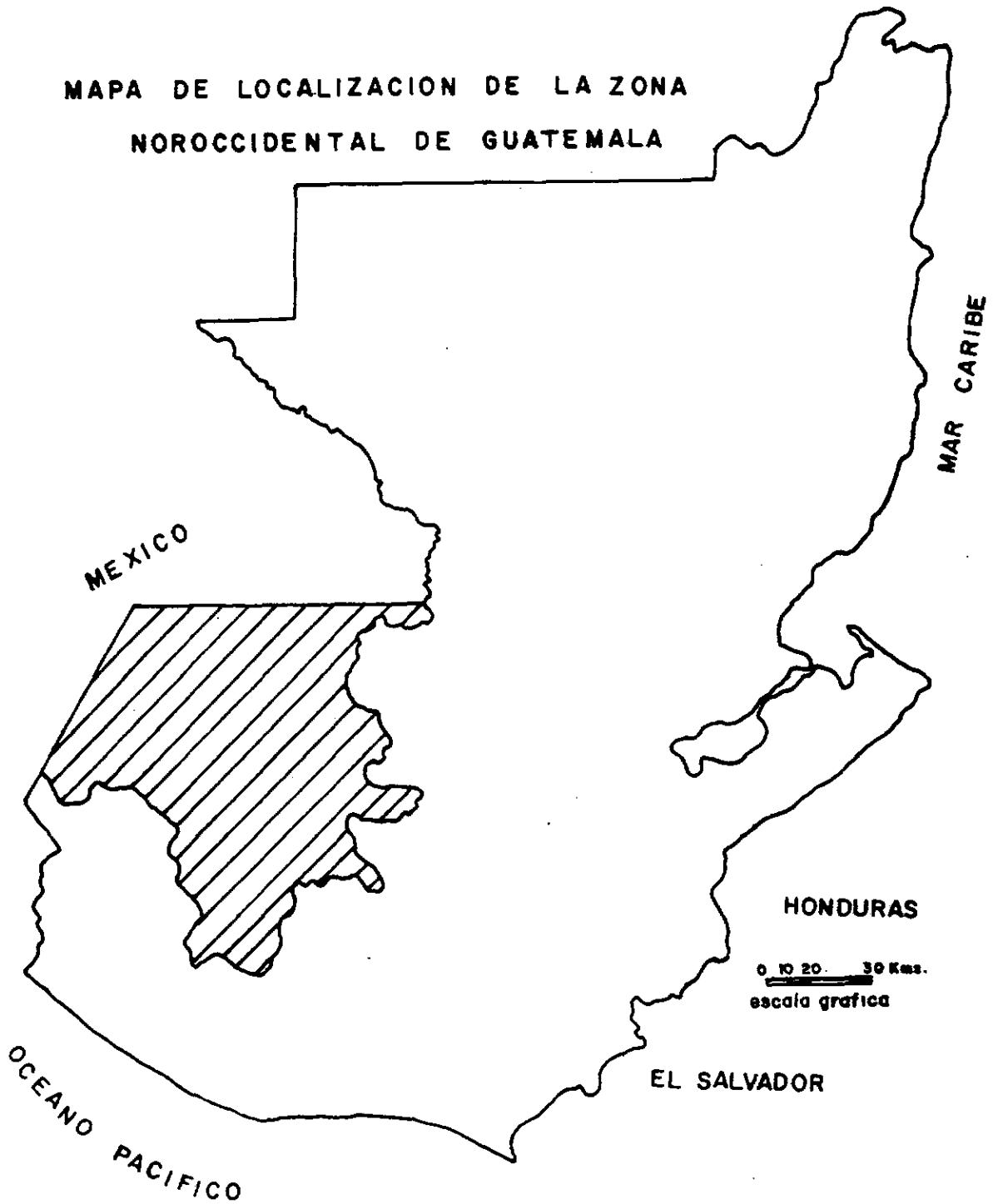
La estación El Capitán, en el municipio de San Lucas Tolimán, se encuentra en una zona bioclimática con vegetación de bosque húmedo montano bajo subtropical, bh-MB; precipitación media anual de 998.07 mm, temperatura promedio anual de 19.10°C y 80.2% de humedad relativa. Suelos del declive del pacífico, con pendientes predominantes entre 30 y 40% y un alto peligro de erosión.

La estación Santiago Atitlán, en el municipio de Santiago Atitlán, se encuentra en una zona bioclimática con vegetación de bosque húmedo montano bajo subtropical, bh-MB; precipitación media anual de 1,000.4 mm, temperatura promedio anual de 18.68°C y 81.15% de humedad relativa. Suelos del declive del pacífico, con pendientes predominantes entre 30 y 40% y un muy alto peligro de erosión.

La estación Cantón Xejuyú, en el municipio de San Andrés Semetabaj, se encuentra en una zona bioclimática con vegetación de bosque húmedo montano bajo subtropical, bh-MB; precipitación media anual de 1,063.73 mm. Suelos de la altiplanicie central, profundos, con pendientes predominantes entre 20 y 25% y un alto peligro de erosión.

En el departamento de Totonicapán y en el municipio del mismo nombre se encuentra la estación Juchanep, en una zona bioclimática con vegetación de bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bmh-MB; precipitación promedio anual de 1,036.50 mm. Suelos de las montañas volcánicas con pendientes predominantes de 10% y regular peligro de erosión.

FIGURA I



## 2. Metodología del índice de erosividad $EI_{30}$

La metodología de análisis de intensidad y energía cinética de la lluvia para la determinación del índice de erosión  $EI_{30}$  de Wischmeier es la siguiente:

1. Para cada lluvia con intensidad erosiva se determina la energía cinética total y la intensidad máxima en 30 minutos.

Se descartan las lluvias menores de 13 mm separadas por períodos de 6 horas sin lluvia, a menos que 6 mm se precipiten en 15 minutos (10, 21, 28)

2. La energía cinética total de una lluvia es la suma de los productos de la energía de cada segmento del pluviograma con intensidad diferente por la cantidad de lluvia precipitada en el mismo. La energía cinética de cada segmento se calcula con la ecuación

$$EC = 0.119 + 0.0873 \log i.$$

La intensidad de 76 mm/hr se utiliza como límite para el cálculo de la energía cinética ya que el diámetro medio de las gotas de lluvia no aumenta cuando la intensidad excede ésta cifra (10, 21, 28).

3. Para el cálculo de la intensidad máxima en 30 minutos se busca en el pluviograma la parte de la curva en la que ha caído la mayor cantidad de lluvia en una porción de tiempo equivalente a 30 minutos. Como la intensidad máxima se expresa en milímetros por hora se multiplica por dos.

Para éste parámetro se establece un límite máximo de 63.5 mm/hr (17, 21, 28).

4. La suma de los productos de la energía cinética total de cada lluvia por su correspondiente intensidad máxima en 30 minutos se expresa como promedio anual y el resultado es el índice de erosividad de la lluvia de la región para la que se ha realizado el análisis.

En la representación gráfica de la distribución promedio mensual del índice de erosividad, Figuras 3 a 14, la fecha se anota en el eje de las abscisas utilizando un número racional cuyo numerador representa el día y el denominador representa el mes. En el eje de las ordenadas se anota el porcentaje acumulado del índice de erosividad.

## V. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el presente estudio:

### 1. Índice de erosividad $EI_{30}$

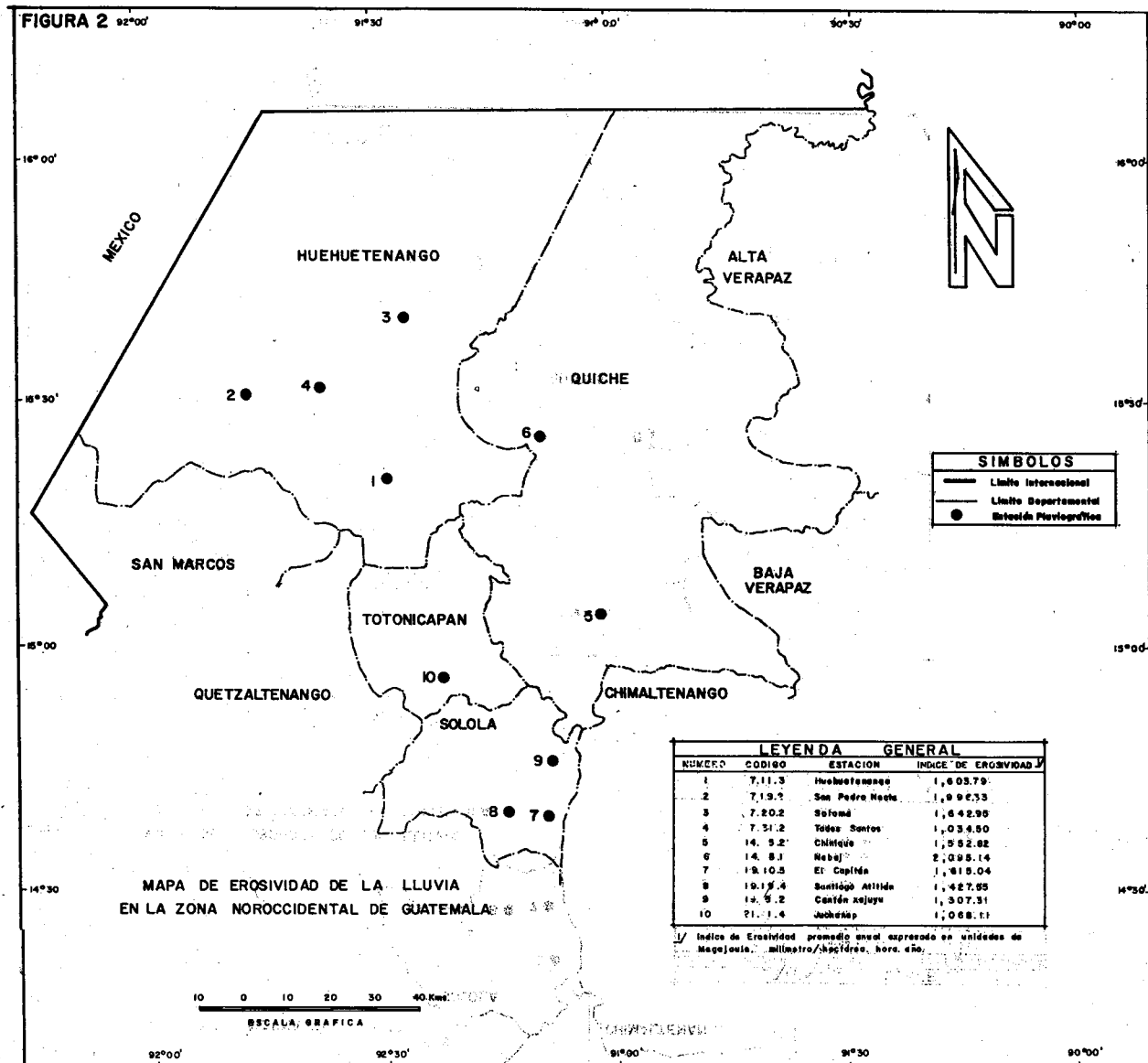
En el Cuadro 4, se presentan las estaciones meteorológicas que cuentan con pluviógrafo, el número de años analizados y los resultados obtenidos de índice de erosividad total y promedio anual, número total y promedio anual de eventos de lluvia con intensidad erosiva. Como se puede observar el valor promedio anual más alto del índice de erosividad corresponde a la estación Nebaj y es de 2,095.14, el más bajo ocurre en la estación Todos Santos y es 1,034.50. Los valores mencionados son expresados en unidades de energía del índice de erosividad. En éste Cuadro también se observa que el mayor número de eventos con intensidad erosiva con 14 años de registros analizados, ocurre en la estación Soloma, el total es 644 y el promedio anual es 46. En la estación Chinique, para 6 años de registros analizados, el total de lluvias erosivas es 100, o sea 17 por año. En la estación Santiago Atitlán, con 13 años de información analizada, el total de eventos erosivos es de 204, equivalentes a 16 por año.

En la Figura 2, se presenta el mapa de erosividad de la lluvia en la zona noroccidental de Guatemala. Las estaciones pluviográficas se identifican con el código asignado por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

**Cuadro 4. Estaciones analizadas con resultados obtenidos de índice de erosividad y número de eventos con intensidad erosiva.**

| Nombre de la Estación | Años analizados | R Total Unidades EI 30 | R Promedio anual | Número total de eventos | Promedio anual de eventos |
|-----------------------|-----------------|------------------------|------------------|-------------------------|---------------------------|
| <b>Huehuetenango</b>  |                 |                        |                  |                         |                           |
| Huehuetenango         | 13              | 20,849.27              | 1,603.79         | 274                     | 21                        |
| San Pedro Necta       | 14              | 27,948.62              | 1,996.33         | 457                     | 33                        |
| Soloma                | 14              | 23,001.30              | 1,642.95         | 644                     | 46                        |
| Todos Santos          | 10              | 10,345.00              | 1,034.50         | 256                     | 26                        |
| <b>Quiché</b>         |                 |                        |                  |                         |                           |
| Chinique              | 6               | 9,316.92               | 1,552.82         | 100                     | 17                        |
| Nebaj                 | 15              | 31,427.10              | 2,095.14         | 454                     | 30                        |
| <b>Sololá</b>         |                 |                        |                  |                         |                           |
| El Capitán            | 8               | 12,920.32              | 1,615.04         | 157                     | 20                        |
| Santiago Atitlán      | 13              | 18,558.15              | 1,427.55         | 204                     | 16                        |
| Cantón Xejuyú         | 8               | 10,458.48              | 1,307.31         | 172                     | 22                        |
| <b>Totonicapán</b>    |                 |                        |                  |                         |                           |
| Juchanep              | 8               | 8,544.88               | 1,068.11         | 167                     | 21                        |

FIGURA 2 92°00'



## 2. Distribución promedio mensual del índice de erosividad.

En el Cuadro 5, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad en la estación Huehuetenango, el cual es de 1,603.79. Durante los meses de mayo, junio y septiembre ocurren los valores promedio mensuales más altos de erosividad y los mismos son 345.91, 357.66 y 326.61, respectivamente. El comportamiento de estos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que se presenta en la Figura 3. El período analizado comprende los años de 1972 a 1984.

En el Cuadro 6, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad y los valores promedio mensuales en la estación San Pedro Necta. El valor promedio anual es de 1,996.33 y los valores promedio mensuales más altos son 320.49 en mayo, 421.81 en junio y 355.66 en agosto. El comportamiento de estos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que se presenta en la Figura 4. El período analizado comprende los años de 1971 a 1984.

En el Cuadro 7, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad en la estación Soloma, es cual es de 1,642.95. Los valores promedio mensuales más altos de erosividad son 335.21 en junio, 300.88 en julio y 280.55 en septiembre. El comportamiento de estos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que presenta en la Figura 5. El período analizado comprende los años de 1971 a 1984.

Cuadro 5. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Huehuetenango.

|            | Promedio<br>E I | %<br>de R | %<br>Acumulado |
|------------|-----------------|-----------|----------------|
| Enero      | 0.00            | 0.00      | 0.00           |
| Febrero    | 1.83            | 0.11      | 0.11           |
| Marzo      | 34.29           | 2.14      | 2.25           |
| Abril      | 70.36           | 4.39      | 6.64           |
| Mayo       | 345.91          | 21.57     | 28.21          |
| Junio      | 357.66          | 22.30     | 50.51          |
| Julio      | 127.49          | 7.95      | 58.46          |
| Agosto     | 172.06          | 10.73     | 69.19          |
| Septiembre | 326.61          | 20.36     | 89.55          |
| Octubre    | 113.70          | 7.09      | 96.64          |
| Noviembre  | 38.97           | 2.43      | 99.07          |
| Diciembre  | 14.91           | 0.93      | 100.00         |
| TOTAL      | 1603.79         | 100.00    |                |

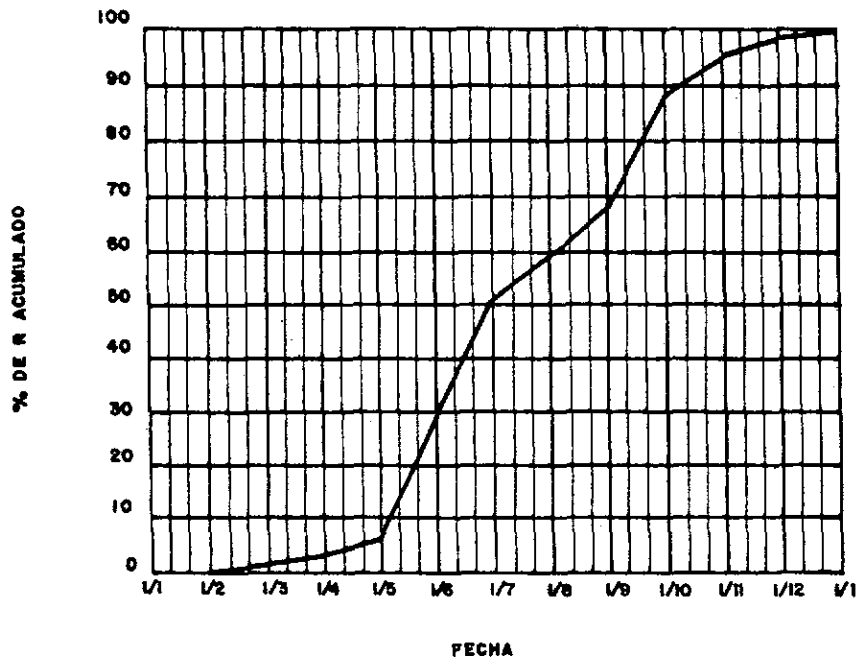


Figura 3. Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Huehuetenango.

Cuadro 6. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación San Pedro Necta.

|            | Promedio<br>EI | %<br>de R | %<br>Acumulado |
|------------|----------------|-----------|----------------|
| Enero      | 0.00           | 0.00      | 0.00           |
| Febrero    | 2.99           | 0.15      | 0.15           |
| Marzo      | 25.74          | 1.29      | 1.44           |
| Abril      | 61.28          | 3.07      | 4.51           |
| Mayo       | 320.49         | 16.05     | 20.56          |
| Junio      | 421.81         | 21.13     | 41.69          |
| Julio      | 267.76         | 13.41     | 55.10          |
| Agosto     | 355.66         | 17.82     | 72.92          |
| Septiembre | 305.68         | 15.31     | 88.23          |
| Octubre    | 150.21         | 7.52      | 95.75          |
| Noviembre  | 78.55          | 3.93      | 99.68          |
| Diciembre  | 6.16           | 0.31      | 100.00         |
| TOTAL      | 1996.33        | 100.00    |                |

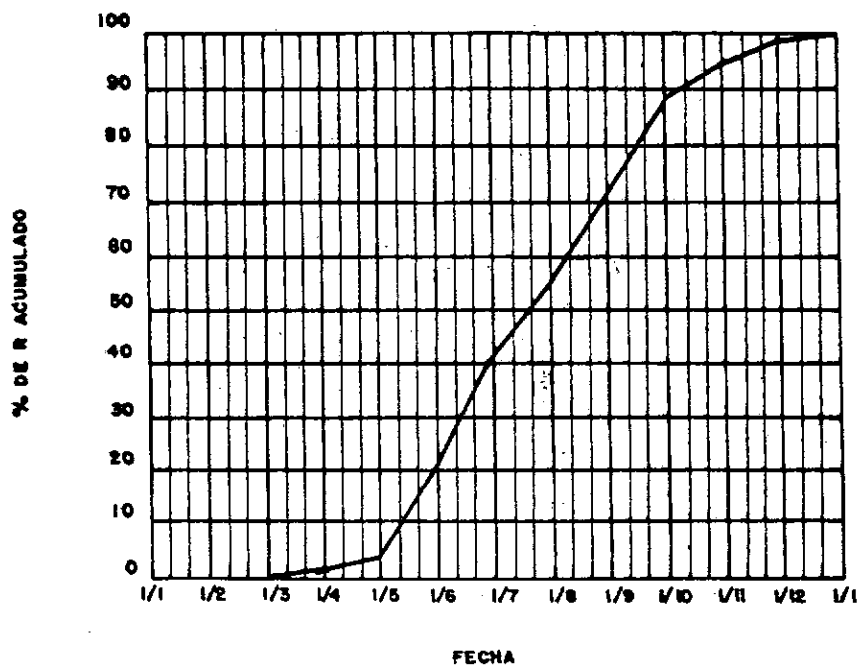


Figura 4. Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación San Pedro Necta

Cuadro 7. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Soloma.

|            | Promedio<br>E I | %<br>de R | %<br>Acumulado |
|------------|-----------------|-----------|----------------|
| Enero      | 8.36            | 0.51      | 0.51           |
| Febrero    | 16.04           | 0.98      | 1.49           |
| Marzo      | 2.78            | 0.17      | 1.66           |
| Abril      | 32.04           | 1.95      | 3.61           |
| Mayo       | 116.85          | 7.11      | 10.62          |
| Junio      | 335.21          | 20.40     | 31.12          |
| Julio      | 300.88          | 18.31     | 49.43          |
| Agosto     | 255.80          | 15.57     | 65.00          |
| Septiembre | 280.55          | 17.07     | 82.07          |
| Octubre    | 219.14          | 13.34     | 95.41          |
| Noviembre  | 51.70           | 3.15      | 98.56          |
| Diciembre  | 23.60           | 1.44      | 100.00         |
| TOTAL      | 1642.95         | 100.00    |                |

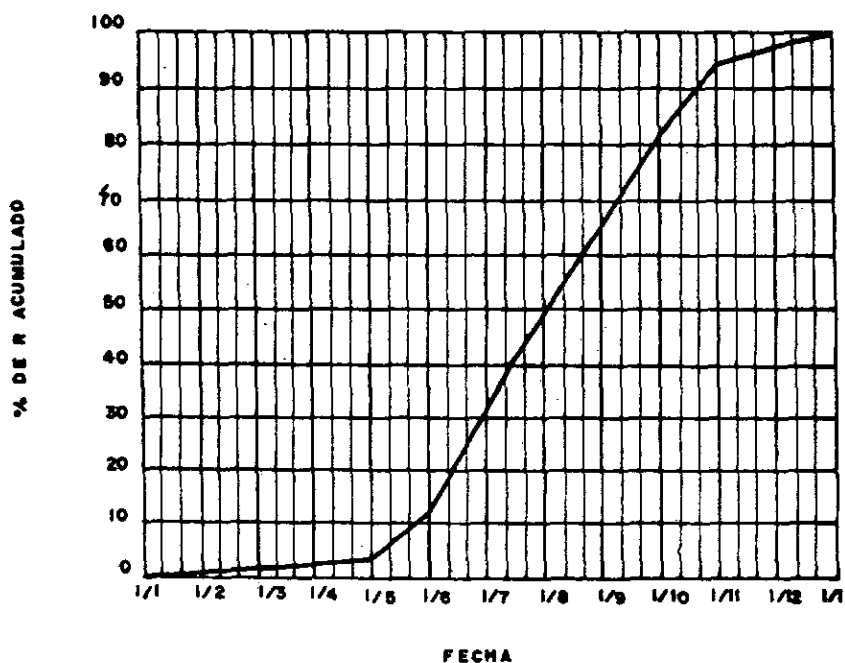


Figura 5. Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Soloma.

En el cuadro 8, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad y los valores promedio mensuales en la estación Todos Santos. El valor promedio anual es 1,034.50, que es el más bajo que se registró en el presente estudio. Los valores promedio mensuales más altos son 202.54 en mayo, 311.78 en junio y 182.06 en septiembre. El comportamiento de éstos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que se presenta en la Figura 6. El período analizado comprende los años de 1971 a 1978 y de 1983 a 1984.

En el Cuadro 9, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad y los valores promedio mensuales en la estación Chinique. El valor promedio anual es de 1,552.82. Los valores promedio mensuales más altos son 535.15 en junio, 187.17 en julio y 326.07 en agosto. El comportamiento de estos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que se presenta en la Figura 7. El período analizado comprende los años de 1973 a 1978.

En el Cuadro 10, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad en la estación Nebaj, el cual es de 2,095.55. Este valor es el más alto registrado en las diez estaciones analizadas en el presente estudio. Los valores promedio mensuales más altos de erosividad ocurren durante los meses de junio, agosto y septiembre con valores de 613.62, 355.27 y 313.68, respectivamente. El comportamiento de éstos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que se presenta en la Figura 8. El período analizado comprende los años de 1969 a 1979 y de 1981 a 1984.

Cuadro 8. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Todos Santos.

|            | Promedio<br>E I | %<br>de R | %<br>Acumulado |
|------------|-----------------|-----------|----------------|
| Enero      | 0.00            | 0.00      | 0.00           |
| Febrero    | 1.22            | 0.12      | 0.12           |
| Marzo      | 37.98           | 3.67      | 3.79           |
| Abril      | 55.37           | 5.35      | 9.14           |
| Mayo       | 202.54          | 19.58     | 28.72          |
| Junio      | 311.78          | 30.14     | 58.86          |
| Julio      | 91.80           | 8.87      | 67.73          |
| Agosto     | 78.59           | 7.60      | 75.33          |
| Septiembre | 182.06          | 17.60     | 92.93          |
| Octubre    | 54.96           | 5.31      | 98.24          |
| Noviembre  | 13.67           | 1.32      | 99.56          |
| Diciembre  | 4.53            | 0.44      | 100.00         |
| TOTAL      | 1034.50         | 100.00    |                |

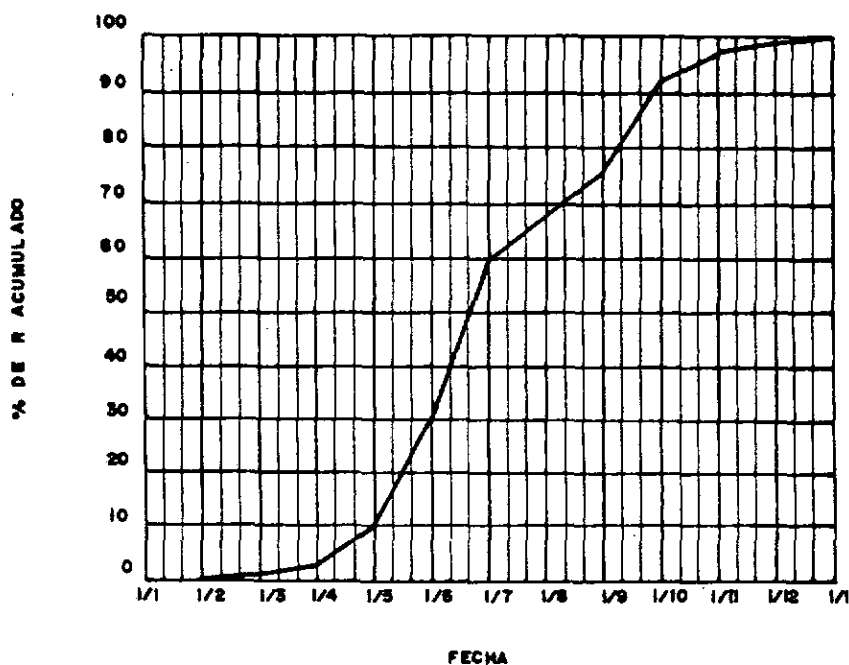


Figura 6. Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Todos Santos.

Cuadro 9. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Chinique.

|              | Promedio<br>E I | %<br>de R     | %<br>Acumulado |
|--------------|-----------------|---------------|----------------|
| Enero        | 0.00            | 0.00          | 0.00           |
| Febrero      | 0.00            | 0.00          | 0.00           |
| Marzo        | 7.40            | 0.48          | 0.48           |
| Abril        | 0.00            | 0.00          | 0.48           |
| Mayo         | 149.16          | 9.61          | 10.09          |
| Junio        | 535.15          | 34.46         | 44.55          |
| Julio        | 187.17          | 12.05         | 56.60          |
| Agosto       | 326.07          | 21.00         | 77.60          |
| Septiembre   | 175.79          | 11.32         | 88.92          |
| Octubre      | 172.08          | 11.08         | 100.00         |
| Noviembre    | 0.00            | 0.00          | 0.00           |
| Diciembre    | 0.00            | 0.00          | 0.00           |
| <b>TOTAL</b> | <b>1552.82</b>  | <b>100.00</b> |                |

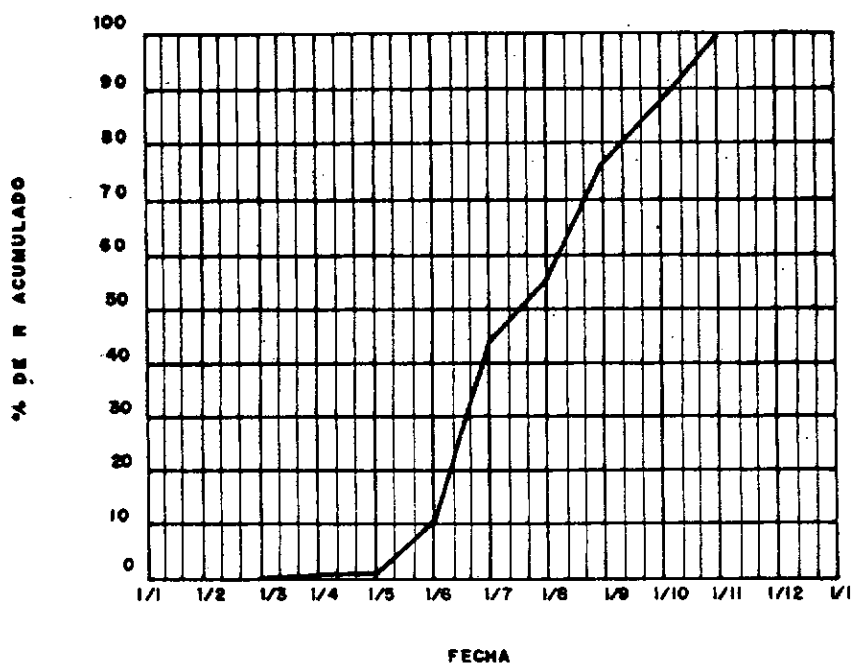


Figura. 7. Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Chinique.

Cuadro 10. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Nebaj.

|            | Promedio<br>E I | %<br>de R | %<br>Acumulado |
|------------|-----------------|-----------|----------------|
| Enero      | 2.16            | 0.10      | 0.10           |
| Febrero    | 2.26            | 0.11      | 0.21           |
| Marzo      | 28.36           | 1.35      | 1.56           |
| Abril      | 66.46           | 3.17      | 4.73           |
| Mayo       | 233.10          | 11.13     | 15.86          |
| Junio      | 613.62          | 29.29     | 45.15          |
| Julio      | 307.44          | 14.67     | 59.82          |
| Agosto     | 355.27          | 16.96     | 76.78          |
| Septiembre | 313.68          | 14.97     | 91.75          |
| Octubre    | 145.20          | 6.93      | 98.68          |
| Noviembre  | 24.52           | 1.17      | 99.85          |
| Diciembre  | 3.07            | 0.15      | 100.00         |
| TOTAL      | 2095.14         | 100.00    |                |

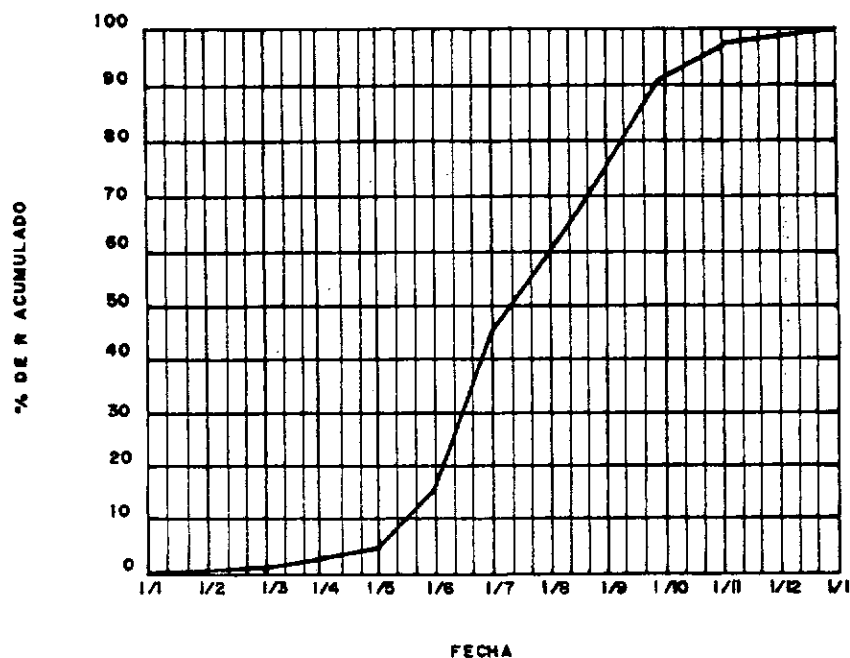


Figura 8. Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Nebaj.

En el Cuadro 11, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad en la estación El Capitán, el cual es de 1,615.04. Los valores promedio mensuales más altos de erosividad son 219.61 en junio, 304.63 en agosto y 533.63 en septiembre. El comportamiento de estos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que se presenta en la Figura 9. El período analizado comprende los años de 1977 a 1984.

En el Cuadro 12, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad y los valores promedio mensuales en la estación Santiago Atitlán. El valor promedio anual es de 1,427.55 y los valores promedio mensuales más altos son 282.06 en mayo, 281.04 en junio y 318.43 en septiembre. El comportamiento de estos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que se presenta en la Figura 10. En esta estación se analizaron los años de 1970 a 1974, de 1976 a 1978 y de 1981 a 1984.

En el Cuadro 13, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad en la estación Cantón Xejuyú, el cual es de 1,307.31. Los valores promedio mensuales más altos de erosividad ocurren durante los meses de mayo, junio y septiembre con valores de 338.11, 189.88 y 362.96, respectivamente. El comportamiento de estos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que se presenta en la Figura 11. El período analizado comprende los años de 1977 a 1984.

Cuadro II. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación El Capitán.

|            | Promedio<br>El | %<br>de R | %<br>Acumulado |
|------------|----------------|-----------|----------------|
| Enero      | 0.00           | 0.00      | 0.00           |
| Febrero    | 27.54          | 1.71      | 1.71           |
| Marzo      | 50.01          | 3.10      | 4.81           |
| Abril      | 39.93          | 2.47      | 7.28           |
| Mayo       | 122.26         | 7.57      | 14.85          |
| Junio      | 219.61         | 13.60     | 28.45          |
| Julio      | 214.96         | 13.31     | 41.76          |
| Agosto     | 304.63         | 18.86     | 60.62          |
| Septiembre | 533.63         | 33.04     | 93.66          |
| Octubre    | 65.30          | 4.04      | 97.90          |
| Noviembre  | 15.19          | 0.94      | 98.84          |
| Diciembre  | 21.98          | 1.36      | 100.00         |
| TOTAL      | 1615.04        | 100.00    |                |

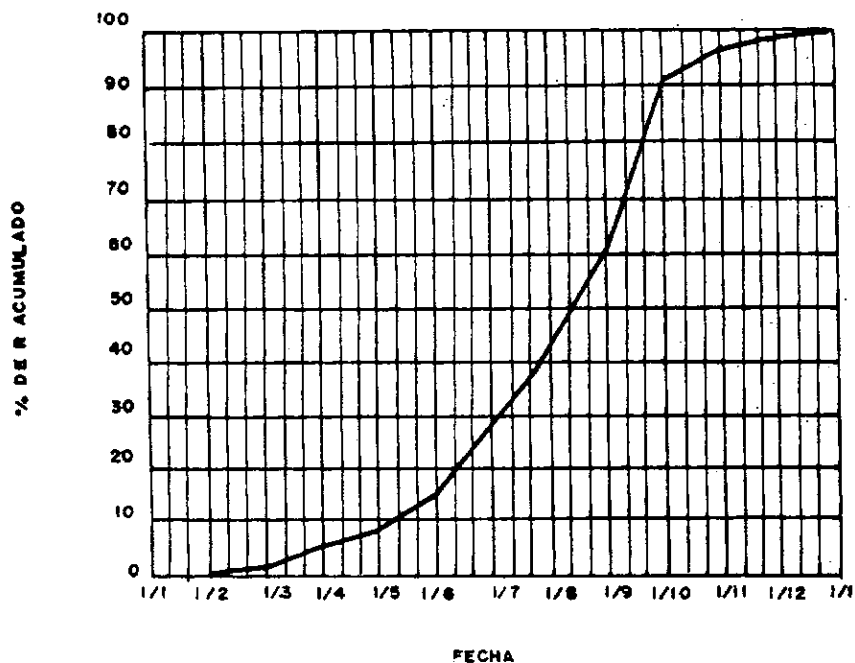


Figura 9 Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación El Capital.

Cuadro 12. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Santiago Atlán.

|            | Promedio<br>E I | %<br>de R | %<br>Acumulado |
|------------|-----------------|-----------|----------------|
| Enero      | 0.00            | 0.00      | 0.00           |
| Febrero    | 9.42            | 0.66      | 0.66           |
| Marzo      | 55.92           | 3.92      | 4.58           |
| Abril      | 137.57          | 9.36      | 13.94          |
| Mayo       | 282.06          | 19.76     | 33.70          |
| Junio      | 281.04          | 19.69     | 53.39          |
| Julio      | 117.99          | 8.26      | 61.65          |
| Agosto     | 157.83          | 11.05     | 72.70          |
| Septiembre | 318.43          | 22.30     | 95.00          |
| Octubre    | 45.62           | 3.20      | 98.20          |
| Noviembre  | 19.06           | 1.34      | 99.54          |
| Diciembre  | 6.61            | 0.46      | 100.00         |
| TOTAL      | 1827.55         | 100.00    |                |

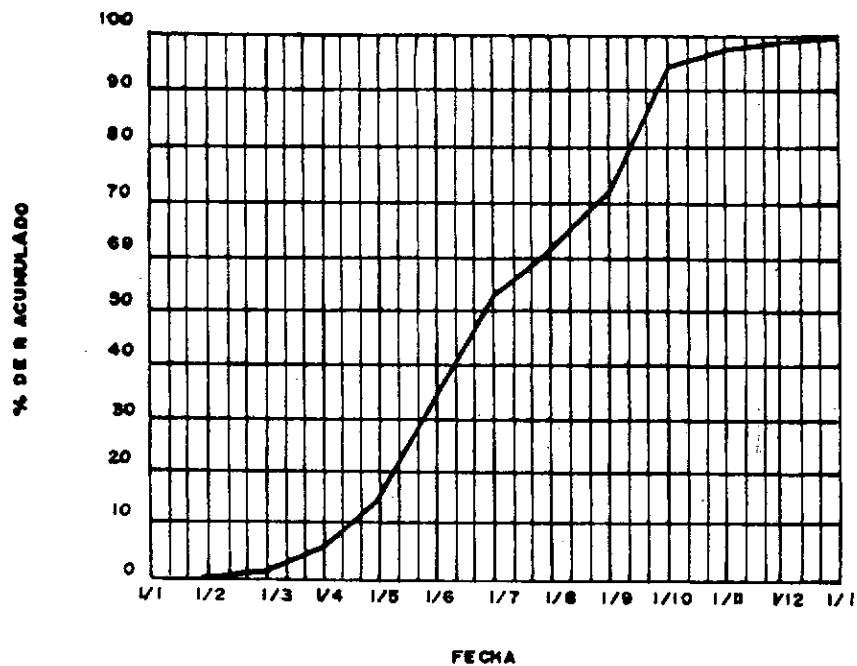


Figura 10. Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Santiago Atlán.

Cuadro 13. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Cantón Xejuyú

|            | Promedio<br>E I | %<br>de R | %<br>Acumulado |
|------------|-----------------|-----------|----------------|
| Enero      | 0.00            | 0.00      | 0.00           |
| Febrero    | 2.64            | 0.20      | 0.20           |
| Marzo      | 7.81            | 0.60      | 0.80           |
| Abril      | 91.72           | 7.02      | 7.82           |
| Mayo       | 338.11          | 25.86     | 33.68          |
| Junio      | 189.88          | 14.52     | 48.20          |
| Julio      | 108.07          | 8.27      | 56.47          |
| Agosto     | 74.04           | 5.66      | 62.13          |
| Septiembre | 362.96          | 27.76     | 89.89          |
| Octubre    | 124.51          | 9.52      | 99.41          |
| Noviembre  | 7.52            | 0.58      | 100.00         |
| Diciembre  | 0.00            | 0.00      | 0.00           |
| TOTAL      | 1307.31         | 100.00    |                |

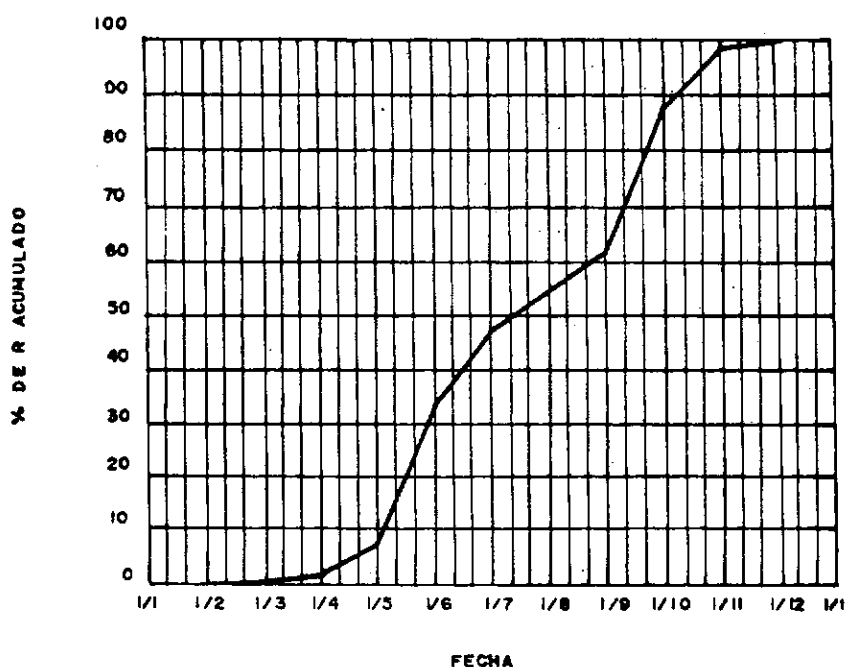


Figura 11. Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Cantón Xejuyú.

En el Cuadro 14, se presenta el valor promedio anual del índice de erosividad en la estación Juchanep, el cual es de 1,068.11. Durante los meses de abril, mayo y junio ocurren los valores promedio mensuales más altos de erosividad y los mismos son 168.40, 189.48 y 209.26, respectivamente. El Comportamiento de estos valores en el transcurso del año se observa en la curva de distribución promedio mensual, que se presenta en la Figura 12. El período analizado comprende los años de 1977 a 1984.

Cuadro 14. Valor R y distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Juchanep.

|            | Promedio<br>E I | %<br>de R | %<br>A acumulado |
|------------|-----------------|-----------|------------------|
| Enero      | 0.00            | 0.00      | 0.00             |
| Febrero    | 6.20            | 0.58      | 0.58             |
| Marzo      | 69.74           | 6.53      | 7.11             |
| Abril      | 168.40          | 15.77     | 22.88            |
| Mayo       | 189.48          | 17.44     | 40.62            |
| Junio      | 209.26          | 19.59     | 60.21            |
| Julio      | 100.83          | 9.44      | 69.65            |
| Agosto     | 105.09          | 9.84      | 79.49            |
| Septiembre | 150.75          | 14.11     | 93.60            |
| Octubre    | 68.36           | 6.40      | 100.00           |
| Noviembre  | 0.00            | 0.00      | 0.00             |
| Diciembre  | 0.00            | 0.00      | 0.00             |
| TOTAL      | 1068.11         | 100.00    |                  |

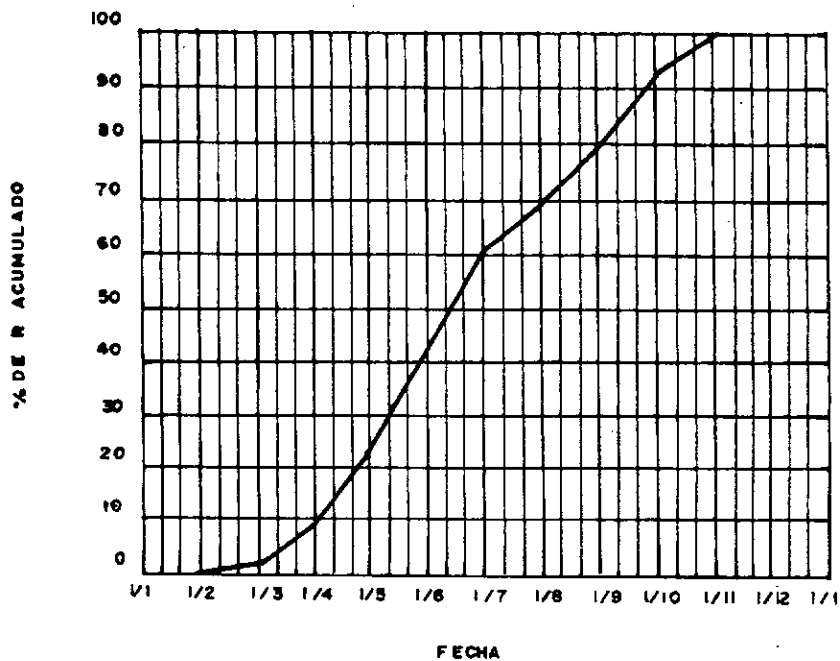


Figura 12. Curva de distribución promedio mensual del índice de erosividad en la estación Juchanep.

## VI. DISCUSION DE RESULTADOS

### Discusión general

La capacidad erosiva de las lluvias está definida por el índice de erosividad de la lluvia, factor R, y por su distribución promedio mensual. Ambos parámetros constituyen el punto medular de la ecuación universal de la pérdida del suelo y hacia los mismos se enfocó la presente investigación.

La erosividad depende entre otros factores de la intensidad y energía cinética de la lluvia. Al analizar la información registrada en los pluviogramas provenientes de las estaciones pluviográficas estudiadas, se encontró que aproximadamente el 90% de las intensidades estan comprendidas en un intervalo de 0 a 25 mm/hr. Lo anterior nos indica que el tipo de lluvias al que más se adapta la analizada es a la precipitación orográfica, que de acuerdo con Linsley (15), son lluvias formadas por el ascenso de nubes a través de las montañas y se caracteriza por ser de larga duración, con intensidades bajas y en consecuencia con menor potencial erosivo del que tienen las lluvias convectivas, que son de corta duración, poca cantidad pero con intensidades muy altas.

Los valores del índice de erosividad que se determinaron tienen un rango de 1,034.50 a 2,095.14. Estos valores son relativamente bajos en comparación con los reportados por Hernández (12) para la zona suroccidental del país, los cuales oscilan entre 1,166.45 y 34,047.58. Pero es evidente que el riesgo a la erosión es mayor cuando los valores de R son bajos, la topografía accidentada y la cubierta vegetal disminuye debido al uso del recurso forestal.

En efecto, la zona en la que se encuentran las estaciones pluviográficas analizadas corresponde a parte del altiplano del país que se caracteriza por un marcado minifundismo y una alta densidad de población, factores que inciden en que suelos forestales sean usados en agricultura, principalmente de cultivos limpios. A lo anterior se suman las pendientes predominantemente pronunciadas y la alta susceptibilidad de los suelos a la erosión, lo que hace que el riesgo a la misma sea alta, aún con valores de erosividad relativamente bajos.

La información obtenida facilita la clasificación de las lluvias en cuanto a su potencial erosivo pero será objetivo de estudios especiales relacionarla con información sobre las condiciones topográficas, de cobertura y de manejo del suelo en el área de influencia de cada estación pluviográfica para poder conocer las implicaciones de la erosión y en consecuencia planificar la conservación de los suelos.

## VII. CONCLUSIONES

De un total de diez estaciones con registros de información pluviográfica analizados se concluye lo siguiente:

1. El valor más alto de índice de erosividad ocurre en la estación Nebaj. De 15 años de información analizada, el valor R promedio anual es 2,095.14 MJ.mm/ha.h.año.
2. El valor más alto de índice de erosividad ocurre en la estación Todos Santos. De 10 años de información analizada, el valor R promedio anual es de 1,034.50 MJ.mm/ha.h.año.
3. En la estación Soloma ocurre el número más alto de lluvias con intensidad erosiva. Con 14 años de información analizada, el número total fué de 644 que equivalen a 46 por año.
4. En la estación Santiago Atitlán ocurre el número más bajo de lluvias con intensidad erosiva. Con 13 años de información analizada, el número total fué de 204, o sea un promedio anual de 16 eventos.
5. En la distribución promedio mensual del índice de erosividad los valores más altos del mismo ocurren durante los meses de mayo, junio y septiembre.

## VIII. RECOMENDACIONES

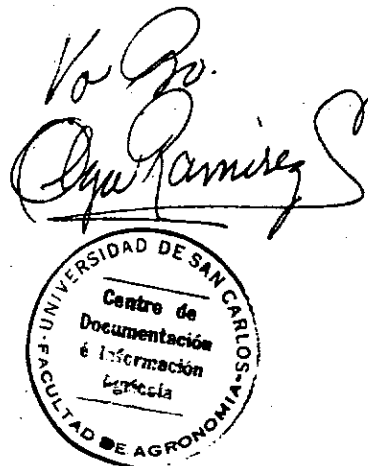
1. Utilizar el índice de erosividad de las lluvias como elemento de juicio sobre el riesgo a la erosión en la planificación del uso de los suelos agrícolas en el área de influencia de las estaciones pluviográficas estudiadas.
2. Efectuar investigaciones sobre los demás factores de la ecuación universal de pérdida de suelo a fin de complementarlas con la información de erosividad de las lluvias.

## IX. BIBLIOGRAFIA

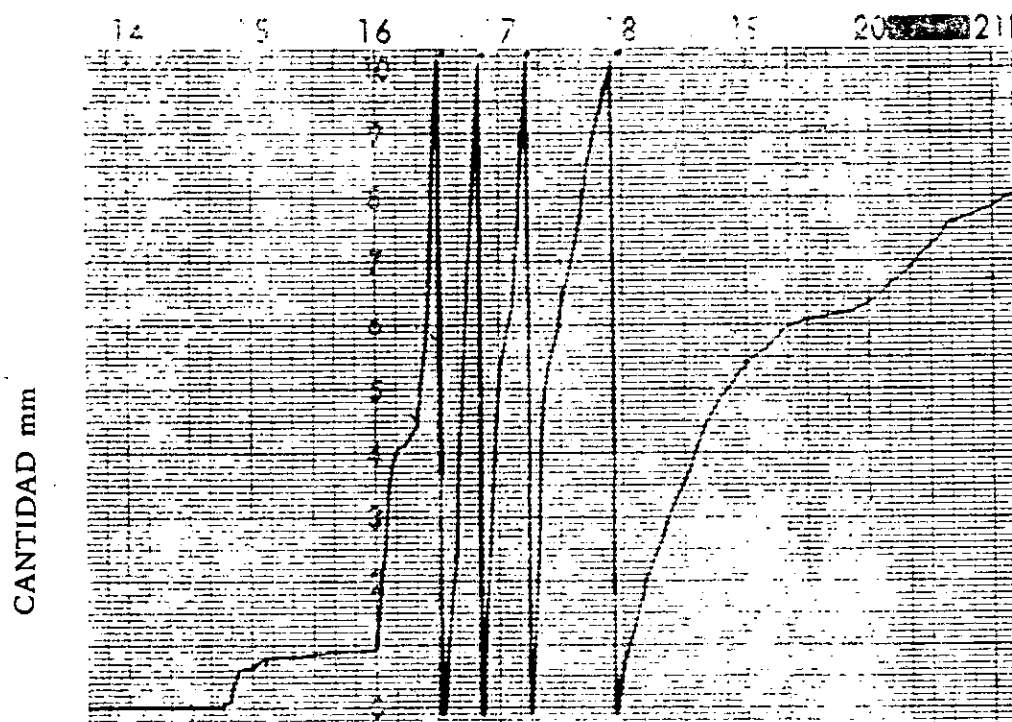
1. AGUILAR SANCHEZ, G. Metodología para obtener y aplicar factores de la ecuación universal de pérdidas de suelo, para condiciones de México. Tesis Ing. Agr. Chapingo, México, Universidad Autónoma Chapingo, 1982. 77 p.
2. ARIAS ROJO, H. M. El factor "R" de la ecuación universal de la pérdida del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis M. C. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, 1980. 113 p.
3. ARNOLDUS, H. M. J. Predicting soil due to sheet and rill erosion. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Conservation Guide No. 1. 1977. pp. 99-124.
4. AYRES, Q. C. La erosión del suelo y su control. Barcelona, España, Omega, 1960. 441 p.
5. AZURDIA LONGO, J. A. Estudio de la erosión hídrica en la cuenca del río Motagua (Análisis e interpretación de la información existente). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1984. 50 p.
6. BERMUDEZ MENDEZ, M. M. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema café-poro-laurel en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1980. 74 p.
7. CASTAÑEDA, L. *et al.* Diagnóstico de la situación de los recursos naturales renovables de Guatemala. Tikalía (Guatemala) 1(2): 93-97. 1983.
8. CRUZ, J. R. DE LA. Clasificación de zona de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala, INAFOR, Unidad de Evaluación y Promoción, 1976. 24 p.
9. CURLEY, M. A. y URIZAR, M. T. Recursos naturales renovables. Guatemala, s. e., 1978. 226 p.
10. FOSTER, G. *et al.* Conversion of the universal soil equation to SI metric units. Journal of Soil & Water Conservation 36(3): 355-359. 1981.
11. GUATEMALA. DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS AGRICOLAS. DIRECCION TECNICA DE RECURSOS NATURALES. Estudios integrados de áreas rurales; clima y vegetación. Guatemala, 1981. 72 p.

12. HERNANDEZ DIAZ, H. Determinación del índice de erosividad de la lluvia en la zona suroccidental de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1986. 42 p.
13. HUDSON, N. Soil conservation. Ithaca, New York, Cornel University Press, 1981. 324 p.
14. KOOLHAAS, M. H. La ecuación universal de pérdida de suelo. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Boletín No. 130. 1977. 31 p..
15. LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A. y PAULUS, J. L. Hidrología para ingenieros. Trad. de la 2 ed. inglesa por Alejandro Deeb, Jaime Ordoñez y Fabio Castrillón. México, McGraw-Hill, 1984. 386 p.
16. MANUAL DE CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, 1977. 580 p.
17. MITCHEL, J. K. y BUBENZER, G. D. Estimación de la pérdida de suelo. *In* Kyrkby, M. J. y Morgan, R. P. C. eds. Erosión de suelos. México, Limusa, 1984. pp. 35-88.
18. MORGAN, K. M. and NALEPA, R. Aplicación of aerial photographic and computer analysis tot the USLE for areawide erosion studies. *Jornal of Soil & Water Conservation* 37(6): 347-350. 1980.
19. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La erosion del suelo por el agua. Roma, 1965. pp. 161-178.
20. PAULET ITURRI, M. Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú. Lima, Peru, Universidad Nacional Agraria La Molina, 1973. 55 p.
21. ————. Intensidades máximas y erosividad de las lluvias en la República Dominicana. Santo Domingo, IICA-INDRHI, 1982. 83 p.
22. RIQUEIR, J. Evaluación mundial de la degradación de los suelos. *La naturaleza y sus Recursos* (Francia) 18(2): 19-23. 1982.
23. SANCHEZ MENDIA, A. Y. Determinación del escurrimiento superficial en el suelo del área del proyecto de conservación de suelos Michatoya. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1979. 54 p.

24. SANTANA RODRIGUEZ, Q. Guía para el planeamiento del uso de las tierras de secano en la República Dominicana. Santo Domingo, Secretaría de Estado de Agricultura, Departamento de Tierras y Aguas, 1980. 86 p.
25. SCHERTZ, D. L. The basis for soil loss tolerances. Journal of Soil & Water Conservation 38(1): 10-14. 1983.
26. 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.
27. SUAREZ DE CASTRO, F. Conservación de suelos. San José, Costa Rica, IICA, 1980. 321 p.
28. WISCHMEIER, W. H. and SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, D. C., U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 537. 1978. 58 p.



X. ANEXOS



TIEMPO Horas

Anexo 1. Registro de una lluvia en un pluviógrafo

**Anexo 2. Ejemplo de cálculo del índice de erosividad de la lluvia registrada en el pluviograma del Anexo 1.**

| Hora  | Cantidad<br>mm | Duración<br>min | Intensidad<br>mm/hr | Energía<br>MJ/ha. mm | Incremento<br>MJ/ha |
|-------|----------------|-----------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 1     | 2              | 3               | 4                   | 5                    | 6                   |
| 14:45 | 0              |                 |                     |                      |                     |
| 15:05 | 0.8            | 20              | 2.40                | 0.152                | 0.12                |
| 16:00 | 0              | 0               | 0                   | 0                    | 0                   |
| :10   | 3.1            | 10              | 18.60               | 0.230                | 0.71                |
| :20   | 0.5            | 10              | 3.00                | 0.161                | 0.08                |
| :50   | 15.5           | 30              | 31.00               | 0.249                | 3.85                |
| 17:13 | 10.0           | 23              | 26.10               | 0.243                | 2.43                |
| :30   | 6.0            | 17              | 21.17               | 0.235                | 1.41                |
| :53   | 4.0            | 23              | 10.40               | 0.207                | 0.83                |
| 19:00 | 5.4            | 67              | 4.80                | 0.178                | 0.96                |
| 20:00 | 1.0            | 60              | 1.00                | 0.119                | 0.12                |
| :40   | 1.2            | 40              | 1.80                | 0.141                | 0.17                |
| 21:10 | 0.5            | 30              | 1.00                | 0.119                | 0.06                |
|       | 48.0           | 330             |                     |                      | 10.74               |

El pluviograma del Anexo 1 se divide en segmentos con intensidad diferente. La hora en que se produce el cambio de intensidad se anota en la columna 1. La cantidad, duración e intensidad de cada segmento se anotan en las columnas 2, 3 y 4. La energía correspondiente a la intensidad de cada segmento se anota en la columna 5 y se obtiene al sustituir la intensidad en la ecuación  $EC = 0.119 + 0.0873 \log i$ . La energía de cada segmento se anota en la columna 6 y es el resultado de multiplicar las columnas 5 y 2.

La energía cinética total de la lluvia es la suma de las energías de cada segmento con intensidad diferente y en éste caso es 10.74 MJ/ha.

La intensidad máxima en 30 minutos para ésta lluvia es  $15.5 \times 2 = 31.00$  mm/hr, y ocurra de 16:20 a 16:50 hrs.

Por lo tanto, el  $EI_{30}$  es  $10.74 \times 31 = 332.94$  MJ.mm/ha.hr.

Anexo 3. Estaciones y años analizados con información pluviográfica y resultados obtenidos de índice de erosividad total anual y número de eventos anuales

| Estación | Huehuetenango       |                         | San Pedro Necta     |                         | Soloma              |                         | Todos Santos        |                         |
|----------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Año      | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos |
| 1971     |                     |                         | 2188.88             | 23                      | 1634.27             | 32                      | 936.24              | 11                      |
| 1972     | 794.32              | 16                      | 2121.92             | 30                      | 1549.03             | 54                      | 1311.00             | 35                      |
| 1973     | 1752.63             | 25                      | 2052.71             | 33                      | 871.39              | 31                      | 1037.15             | 35                      |
| 1974     | 2331.75             | 25                      | 1190.23             | 19                      | 1932.51             | 49                      | 955.63              | 25                      |
| 1975     | 1011.06             | 20                      | 1969.43             | 37                      | 1659.67             | 46                      | 830.96              | 19                      |
| 1976     | 2909.35             | 30                      | 1536.79             | 32                      | 1080.40             | 39                      | 778.67              | 27                      |
| 1977     | 2611.19             | 24                      | 2129.55             | 32                      | 2136.07             | 46                      | 662.46              | 22                      |
| 1978     | 1248.50             | 19                      | 1129.94             | 32                      | 2258.64             | 47                      | 1568.20             | 24                      |
| 1979     | 2048.47             | 34                      | 2549.29             | 41                      | 1742.82             | 54                      |                     |                         |
| 1980     | 1393.91             | 19                      | 2468.85             | 28                      | 1605.77             | 57                      |                     |                         |
| 1981     | 1822.83             | 29                      | 2487.15             | 44                      | 1122.74             | 42                      |                     |                         |
| 1982     | 1163.17             | 15                      | 2694.73             | 39                      | 1867.15             | 52                      |                     |                         |
| 1983     | 1489.91             | 9                       | 1574.69             | 26                      | 1974.02             | 41                      | 1536.60             | 29                      |
| 1984     | 272.22              | 9                       | 1854.70             | 41                      | 1567.13             | 54                      | 728.06              | 29                      |

Continuación del Anexo 3

| Estación | Chinique            |                         | Nebaj               |                         | El Capitán          |                         | Santiago Atitlán    |                         |
|----------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Año      | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos |
| 1969     |                     |                         | 2575.06             | 33                      |                     |                         |                     |                         |
| 1970     |                     |                         | 1925.70             | 35                      |                     |                         | 2271.06             | 24                      |
| 1971     |                     |                         | 2296.70             | 44                      |                     |                         | 558.45              | 13                      |
| 1972     |                     |                         | 2845.13             | 41                      |                     |                         | 633.95              | 8                       |
| 1973     | 2770.56             | 21                      | 1574.19             | 38                      |                     |                         | 2088.67             | 26                      |
| 1974     | 861.22              | 10                      | 2265.24             | 20                      |                     |                         | 1157.33             | 7                       |
| 1975     | 920.23              | 11                      | 1305.36             | 32                      |                     |                         |                     |                         |
| 1976     | 1575.15             | 15                      | 1359.14             | 26                      |                     |                         | 1151.21             | 6                       |
| 1977     | 1127.86             | 14                      | 1553.66             | 31                      | 820.12              | 10                      | 933.01              | 16                      |
| 1978     | 2061.92             | 29                      | 2157.04             | 34                      | 2500.98             | 28                      | 2440.47             | 21                      |
| 1979     |                     |                         | 1439.14             | 3                       | 2146.49             | 28                      | 985.21              | 16                      |
| 1980     |                     |                         |                     |                         | 2124.08             | 16                      |                     |                         |
| 1981     |                     |                         | 4485.49             | 41                      | 1392.65             | 19                      | 1529.03             | 24                      |
| 1982     |                     |                         | 877.97              | 19                      | 1744.67             | 24                      | 1360.88             | 9                       |
| 1983     |                     |                         | 2361.96             | 27                      | 1218.27             | 18                      | 1600.91             | 10                      |
| 1984     |                     |                         | 2405.85             | 30                      | 973.17              | 14                      | 1848.18             | 24                      |

Continuación del Anexo 3

| Esta-<br>ción | Cantón Xejuyú       |                         | Juchanep            |                         |
|---------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
|               | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos | R<br>Total<br>Anual | Número<br>de<br>Eventos |
| Año           |                     |                         |                     |                         |
| 1977          | 929.05              | 17                      | 1058.76             | 17                      |
| 1978          | 1458.29             | 22                      | 936.28              | 28                      |
| 1979          | 1977.10             | 32                      | 1491.11             | 23                      |
| 1980          | 1151.76             | 14                      | 1040.13             | 15                      |
| 1981          | 1964.11             | 33                      | 675.46              | 15                      |
| 1982          | 1365.79             | 25                      | 581.77              | 19                      |
| 1983          | 853.16              | 10                      | 1428.00             | 23                      |
| 1984          | 759.30              | 19                      | 1333.41             | 27                      |

RESERVA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
Biblioteca Central

Anexo 4. Tabla para calcular la energía de la lluvia en MJ/ha por mm de lluvia en función de la intensidad en mm/hora.

| Intensidad<br>de lluvia<br>mm/hr | Energía cinética de la lluvia en MJ/ha.mm <sup>1/</sup> |       |       |       |       |       |                    |       |       |       |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|
|                                  | 0                                                       | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6                  | 7     | 8     | 9     |
| .0                               | 0                                                       | 0.119 | 0.145 | 0.161 | 0.172 | 0.180 | 0.187              | 0.193 | 0.198 | 0.202 |
| 10                               | .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  | .283 <sup>2/</sup> | —     | —     | —     |

Fuente: Foster, G. *et al.* Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of Soil & Water Conservation. 1981.

<sup>1/</sup> Calculada 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.

<sup>2/</sup> Cuando la intensidad "i" excede los 76 mm/hr se utiliza ésta cifra como límite para el cálculo de EC.

Anexo 5. Factores de conversión del índice de erosividad anual, R.

| De unidades del<br>Sistema Internacional  |              | A unidades del<br>Sistema Inglés                     | Operación                        |
|-------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <u>megajoule.milímetro</u>                | <u>MJ.mm</u> | <u>Cientos de pies-tonf.pulgada</u>                  | Dividir entre <u>1/</u><br>17.02 |
| hectárea.hora.año                         | ha.h.año     | acre.hora.año                                        |                                  |
|                                           |              |                                                      | Dividir entre <u>2/</u><br>1.735 |
| (Ton x m/ha) x (cm/hr) x 10 <sup>-2</sup> |              | <u>Cientos de pies-tonf.pulgada</u><br>acre.hora.año |                                  |

Fuente: 1/ Foster, G. *et al.* Conversion of the universal soil equation to SI metric units. Journal of Soil & Water Conservation. 1981.

2/ Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Agriculture Handbook no. 537, 1978.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1645

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

"IMPRIMASE"

ING. AGR. CESAR A. CASTANEDA S.  
DECANO



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CALLE 13, ZONA 12, CIUDAD UNIVERSITARIA, GUATEMALA