

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Sistema de Estudios de Posgrado

Determinación del índice de erosividad de las
lluvias y su relación con la cobertura vegetal,
suelos y pendientes, para la Cuenca del Río Grande
de Térraba, Costa Rica

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa
Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y
Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza para
optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

por

Maria Antonieta Gutiérrez Díaz

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
Departamento de Recursos Naturales Renovables
Turrialba, Costa Rica

1987

DEDICATORIA

A mi madre: Tomaza Diaz.

A mis hermanos y sobrinos.

AGRADECIMIENTOS

. Deseo dejar constancia de mi agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

. Al M.Sc. Jorge Faustino, consejero principal, por sus enseñanzas, orientaciones y apoyo constante.

. A los miembros del Comité Asesor, Ing. M.Sc. José Arze, Ing. M.Sc. Eric Richters e Ing. M.Sc. Francisco Jiménez, por sus recomendaciones y colaboración en la revisión del original y sugerencias para mejorar el trabajo.

. A José Francisco Di Stéfano, Ph.D., Director del Programa de Posgrado UCR/CATIE, por su interés y valiosa contribución al documento final.

. Al personal técnico y de apoyo del Programa de Manejo de Cuencas del CATIE, por la colaboración recibida.

. A todas las personas y amigos que de una u otra forma han contribuido en la ejecución del presente trabajo de tesis.

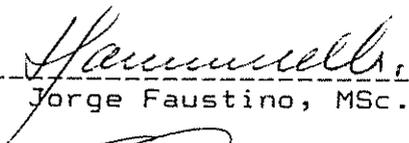
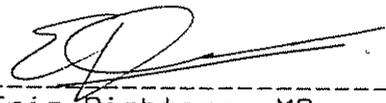
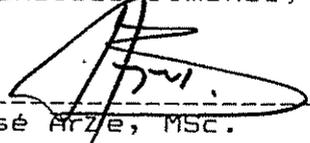
. Al Gobierno de Holanda por la beca que garantizó mis estudios en CATIE.

. Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y a la Universidad de Costa Rica (UCR), por que me permitieron ampliar mi formación profesional.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:

| | |
|---|---|
|  ----- Jorge Faustino, MSc. | Consejero Principal |
|  ----- Eric Richters, MSc. | Miembro del Comité |
|  ----- Francisco Jiménez, MSc. | Miembro del Comité |
|  ----- José Arze, MSc. | Miembro del Comité |
|  ----- José Francisco Di Stefano, PhD. | Director del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, UCR-CATIE |
|  ----- Luis Estrada N., PhD. | Decano del Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica |
|  ----- María Antonietta Gutiérrez D. | Candidato |

CONTENIDO

| | |
|------------------|------|
| RESUMEN | ix |
| SUMMARY | xi |
| LISTA DE CUADROS | xiii |
| LISTA DE FIGURAS | xvi |

| | Página |
|--|--------|
| 1. INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1 Definición del problema | 1 |
| 1.2 Importancia y justificación del estudio..... | 2 |
| 1.3 Objetivos | 3 |
| 1.4 Hipótesis de trabajo..... | 3 |
| 2. REVISION DE LITERATURA | 4 |
| 2.1 El uso de la tierra en Costa Rica | 4 |
| 2.2 Manejo de la tierra en la cuenca del rio Grande de Térraba..... | 5 |
| 2.3 La erosión hidrica | 7 |
| 2.3.1 Mecánica del proceso de la erosión hidrica..... | 7 |
| 2.3.1.1 Etapa de desprendimiento..... | 8 |
| 2.3.1.2 Etapa de arrastre o transporte..... | 8 |
| 2.3.1.3 Etapa de deposición o sedimentación... | 8 |
| 2.4 Factores que originan la erosión hidrica.... | 8 |
| 2.4.1 La precipitación..... | 9 |
| 2.4.1.1 Cantidad total de la lluvia | 9 |
| 2.4.1.2 Frecuencia de la lluvia..... | 11 |
| 2.4.1.3 Intensidad de la lluvia | 12 |

| | Página |
|---|-----------|
| 2.4.1.4 El tamaño y distribución de las gotas de lluvia | 12 |
| 2.4.1.5 Velocidad terminal de las gotas..... | 12 |
| 2.4.1.6 Energía cinética..... | 13 |
| 2.4.2 El suelo..... | 14 |
| 2.4.3 La cobertura vegetal..... | 15 |
| 2.4.4 La topografía..... | 17 |
| 2.4.5 La actividad humana..... | 18 |
| 2.5 Limite de tolerancia de pérdida de suelo.... | 20 |
| 2.6 La ecuación universal de pérdida de suelo .. | 21 |
| 2.7 Estudios de los índices de erosividad de las lluvias..... | 22 |
| 2.8 Ambitos de valores del índice de erosividad o factor R..... | 29 |
| 3. MATERIALES Y METODOS | 30 |
| 3.1 Area de estudio..... | 30 |
| 3.2 Materiales..... | 30 |
| 3.2.1 Mapa de cobertura vegetal..... | 30 |
| 3.2.2 Mapa de suelos..... | 32 |
| 3.2.3 Mapa de pendiente..... | 33 |
| 3.2.4 Informaciones pluviográficas..... | 34 |
| 3.3 Metodología..... | 37 |
| 3.3.1 Aplicación de la metodología de Wischmeier y Smith para la determinación del índice de erosividad "EI30"..... | 37 |
| 3.3.2 Selección de las estaciones pluviográficas y determinación del numero de años de registro..... | 38 |
| 3.3.3 Aplicación del programa INDICE para el cálculo del índice "EI ₃₀ " o factor R.... | 38 |
| 3.3.4 Procedimiento para la elaboración del mapa de las isocrodonas..... | 41 |
| 3.3.5 El proceso de zonificación para la determinación de áreas críticas..... | 43 |

| | Página |
|--|-----------|
| 3.3.6 Análisis de regresión del número de lluvias erosivas con los índices de erosividad de las lluvias..... | 44 |
| 3.3.7 Análisis de regresión entre los valores altitudinales de los pluviógrafos, preci- pitación y los índices de erosividad (R).. | 45 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES | 47 |
| 4.1 Cobertura vegetal..... | 47 |
| 4.2 Unidades de suelos..... | 49 |
| 4.3 Pendientes..... | 52 |
| 4.4 Los índices de erosividad o factor R de las lluvias y el trazo de las isoerodentas..... | 54 |
| 4.5 El mapa de las isoerodentas..... | 56 |
| 4.6 Variación de los índices de erosividad en función del número de lluvias erosivas y su categorización por grupos..... | 60 |
| 4.6.1 Descripción de la categoría del grupo I: De valor R bajo..... | 64 |
| 4.6.2 Descripción de la categoría del grupo II: De valor R medio..... | 65 |
| 4.6.3 Descripción de la categoría del grupo III: De valor R alto..... | 66 |
| 4.7 Areas potencialmente erosionables..... | 67 |
| 4.8 Distribución promedio mensual de los índices de erosividad por estación pluviográfica..... | 71 |
| 5. CONCLUSIONES | 86 |
| 6. RECOMENDACIONES | 89 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 92 |

| | |
|--|-----|
| 8. APENDICE..... | 96 |
| Apéndice 1A. Procedimiento para la conversión de unidades del sistema inglés al sistema métrico del factor R o índice de erosividad de las lluvias... | 97 |
| Apéndice 2A. Listado del programa "INDICE" para el cálculo de la energía e índice de erosividad de la lluvia..... | 99 |
| Apéndice 3A. Representación gráfica (parcial y acumulada) de promedios mensuales de los índices de erosividad en cada estación pluviográfica de la cuenca del río Grande de Térraba..... | 109 |
| Apéndice 4A. Características de las unidades de suelos principales en la cuenca del río Grande de Térraba..... | 121 |

GUTIERREZ DIAZ, M. A. 1987. Determinación del índice de erosividad de las lluvias y su relación con la cobertura vegetal, suelos y pendientes, para la cuenca del río Grande de Térraba, Costa Rica. Tesis M. Sc. UCR/CATIE. Turrialba, Costa Rica.

RESUMEN

En las cuencas tropicales, el problema de la pérdida de suelo es ocasionada en gran parte por la alta intensidad de las lluvias.

La cuenca del río Grande de Térraba (5.180km²), área de estudio se ubica al Suroeste de Costa Rica. En esta cuenca por las condiciones biofísicas adversas combinado con el uso intensivo (aproximadamente 66% del área) causa una degradación acelerada de los recursos naturales.

Se ha establecido un diagnóstico de la capacidad erosiva de las lluvias, con el propósito de identificar áreas críticas en relación a la cobertura vegetal, suelos y pendientes. El índice de erosividad ($R=EI_{30}$) es una función de la energía e intensidad de la lluvia y fue seleccionado como representante de la capacidad erosiva de la lluvia.

Para determinar el índice de erosividad se seleccionaron once estaciones meteorológicas distribuidas en toda el área de la cuenca. Desde 1980 a 1985, ocurrieron 1.132 lluvias erosivas, observadas en las 24.090 bandas pluviográficas diarias (2.190 por estación).

La determinación de los valores R (índice de erosividad) se realizó con el programa de cómputo "INDICE", elaborado para tal propósito.

Los valores de R en promedio comprenden ámbitos de 445 a 1.555 $\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$, y fueron categorizados como:

Bajo (de 445 a 793) en las estaciones de Buena Vista, Maiz de Boruca, Bolivia, Potrero Grande, Alto San Juan y Guácimo.

Medio (de 1.037 a 1.243) en San Jerónimo, Mellizas y Limoncito.

Alto (de 1.520 a 1.555) en Ujarrás y Volcán de Buenos Aires.

Esta categoría fue determinada con base en la posición de los valores promedios de R, con respecto a la línea de regresión característica para la cuenca.

Con los valores de R para cada estación, se elaboró el mapa de las isoerodentas que representan curvas de igual capacidad erosiva de las lluvias. Mediante la superposición con los mapas de cobertura vegetal, suelos y pendientes se realizó la identificación de áreas críticas, así las zonas de pastos y cultivos se pueden clasificar en: áreas más críticas (1.628 km², 31.44%), críticas (676.1km², 13.05%) y menos críticas (1.20km², 23.27%).

Las áreas de cobertura boscosa y manglares comprenden 1.566km² (30.25%) y 102.5km² (1.98%) respectivamente, y son consideradas como zonas con mínimos efectos erosivos.

Se determinó también la distribución mensual de los índices de erosividad para cada estación. Los mayores porcentajes mensuales se concentran de abril a noviembre, ocurriendo en agosto, setiembre y octubre los valores picos de R. La distribución de valor R bajo, es recomendado para las prácticas agrícolas y puede ajustarse a periodos de suelo descubierto.

Palabras claves: cuenca, índice de erosividad o valor R, isoerodentas, ámbito.

Para convertir kgm/m² x mm/h a MJ/ha x mm/h (S.I.) multiplicar por el factor 10,22.

GUTIERREZ DIAZ, M. A. 1987. Determination of the rain erosivity index and its relation with the plant cover, soils, and slopes, for the Grande de Terraba river watershed, Costa Rica. Tesis Mg.Sc. UCR/CATIE. Turrialba, Costa Rica.

SUMMARY

In the tropical watersheds, the problem of soil loss is caused mostly by the high intensity of the rain.

The watershed of the Grande de Terraba river (5,180 km²) is located in the south west of Costa Rica. In this watershed, adverse biophysical conditions combined with intensive land use in approximately 66 % of the area, causes accelerated degradation of natural resources.

A diagnosis of the erosive capacity of the rain was established, with the purpose of identifying critical areas in relation to plant cover, soils and slopes. The erosivity index ($R=EI_{30}$) which is a function of the energy and intensity of the rain, was selected as indicative of the erosion capacity of the rain.

To determine the erosivity index, 11 meteorological stations distributed throughout the watershed, were selected. From 1980 to 1985, 1,132 erosive rains occurred as was observed in the 24,090 daily pluviographic charts studied. (2,190 per station)

The R values were determined with the computer program INDEX, which was designed for this purpose.

On the average the R value ranged scope from 445 to 1.555 Kqm/m² x mm/h, and can be categorized as:

Low (from 445 to 793) in the Buena Vista, Maiz de Boruca, Bolivia, Potrero Grande, Alto San Juan and Guácimo stations.

Medium (from 445 to 1,243) in San Jerónimo, Mellizas and Limoncito.

High (from 1,520 to 1,555) in Ujarrás and Volcán de Buenos Aires.

The category was determined by observing the position of the average values of R, with respect to the characteristic regression line for the watershed.

With the R values for each station, a map of isoerodents was made to represent the curves of equal erosive capacity of the rain. Through the superposition of the maps showing plant cover, soils and slopes, critical areas were identified, likewise the zones for crops and pastures were classified in: more critical (1,628 km², 31.44%), critical (676,1 km², 13.05%) and less critical (1,205 km², 23.27%).

The forest cover and mangrove swamp areas measure 1,566 km² (30.25%) and 102.5 km² (1.98%) respectively, and are considered zones with the least erosion.

The monthly distribution of erosivity indexes was also determined for each station. The highest monthly indexes are concentrated in the period from april to november, with the peak R values occurring in august, september and october. The distribution of R value low is recommended that agricultural practices and be adjusted with bare soil period.

Key words: watershed, erosivity index our R factor, isoerodents, ranged.

To convert kgm/m² x mm/h to Mj/ha x mm/h (I.S) multiply by the factor 10.22.

LISTA DE CUADROS

En el texto

| Cuadro nº | | Página |
|-----------|---|--------|
| 1 | Registro de lluvias, erosión y escorrentia de 5 años en cultivos de maíz y "Napier" en pendientes de 3%, 4,5% y 6% en valores promedios para seis parcelas..... | 10 |
| 2 | Cantidad de lluvia, intensidad y pérdidas de suelo. Chinchiná, Colombia..... | 10 |
| 3 | Pérdida de suelo con distintas frecuencias e intensidades..... | 11 |
| 4 | Relación entre el tamaño de gota y su velocidad terminal..... | 13 |
| 5 | Pérdida de suelo para varias longitudes de pendiente..... | 18 |
| 6 | Relación del índice de erosión (X), con la pérdida de suelo (Y) en ton/ha..... | 27 |
| 7 | Valores del índice de erosividad o factor R en distintas partes del mundo..... | 29 |
| 8 | Características principales de los suelos en la cuenca del río Grande de Térraba..... | 33 |
| 9 | Información sobre las estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio..... | 36 |
| 10 | Distribución de la superficie de la cuenca, por grandes grupos de cobertura vegetal, año 1983..... | 47 |
| 11 | Distribución de las unidades de suelos en la cuenca del río Grande de Térraba..... | 50 |
| 12 | Distribución de las categorías de pendientes en la cuenca del río Grande de Térraba..... | 52 |
| 13 | Índices de erosividad de las lluvias y número de lluvias erosivas (total y promedio anual) en las estaciones pluviográficas de estudio... | 55 |

| | | |
|----|--|----|
| 14 | Categorización de los índices de erosividad y características de la línea de regresión para cada estación pluviográfica y para la cuenca. | 63 |
| 15 | Categorización de las áreas, según ámbitos de los índices de erosividad o factor R, unidades de suelos y ámbitos de pendientes, bajo cobertura de pastos y cultivos..... | 69 |
| 16 | Distribución de las áreas por categorías, según condiciones de estado, en la cuenca del río Grande de Térraba..... | 70 |
| 17 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Buena Vista, año 1980-1985..... | 73 |
| 18 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Alto San Juan, año 1980-1985..... | 74 |
| 19 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación San Jerónimo, año 1980-1985..... | 75 |
| 20 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Bolivia, año 1980-1985..... | 76 |
| 21 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Volcán de Buenos Aires, año 1980-1985..... | 77 |
| 22 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Ujarrás, año 1980-1985..... | 78 |
| 23 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Maíz de Boruca, año 1980-1985..... | 79 |
| 24 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Potrero Grande, año 1980-1985..... | 80 |
| 25 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Guácimo, año 1980-1985..... | 81 |

| | | |
|----|--|----|
| 26 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Limoncito, año 1980-1985..... | 82 |
| 27 | Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2 \cdot \text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Las Mellizas, año 1980-1985..... | 83 |
| 28 | Estaciones pluviográficas con los ámbitos de variaciones promedios mensuales de los índices de erosividad "EI ₃₀ " o valores R. Año: 1980-1985..... | 84 |

En el apéndice

Cuadro n°

| | | |
|-----|---|-----|
| 1A. | Aplicación del programa "INDICE"..... | 105 |
| 2A. | Valores de la elevación, precipitación y R (índice de erosividad) en las estaciones de la cuenca del río Grande de Terraba..... | 107 |
| 3A. | La lucha anti-erosiva integrada..... | 125 |

LISTA DE FIGURAS

En el texto

| Figura n° | Página |
|---|--------|
| 1 Localización de la cuenca del río Grande de Terraba..... | 31 |
| 2 Pluviógrafo tipo Hellmann o de sifón.... | 35 |
| 3 Localización de las estaciones pluviográficas seleccionadas para el estudio..... | 39 |
| 4 Areas de influencia por estación pluviográfica en la cuenca del río Grande de Terraba..... | 42 |
| 5 Distribución de los grupos de cobertura vegetal en la cuenca del río Grande de Terraba..... | 48 |
| 6 Distribución de las unidades de suelos en la cuenca del río Grande de Terraba... | 51 |
| 7 Distribución de las categorías de pendiente en la cuenca del río Grande de Terraba..... | 53 |
| 8 Distribución de los índices de erosividad en las estaciones pluviográficas..... | 57 |
| 9 Diagrama de dispersión entre los valores altitudinales de los pluviógrafos, precipitación promedio anual y los índices de erosividad..... | 58 |
| 10 Líneas de igual potencialidad erosiva de las lluvias (isoerodentas)..... | 59 |
| 11 Asociación del número de lluvias erosivas con los valores anuales de los índices de erosividad o valores R..... | 62 |
| 12 Distribución de áreas potencialmente erosionables, en la cuenca del río Grande de Terraba..... | 68 |

En el apéndice

| <u>Figura nº</u> | | <u>Página</u> |
|------------------|--|---------------|
| 1A | Banda pluviográfica para los registros de las intensidades de la lluvia..... | 106 |
| 2A | Isoyetas medias anuales (período 1963-1983) para la cuenca del río Grande de Térraba... | 108 |
| 3A | Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Buena Vista, año 1980-1985..... | 110 |
| 4A | Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Alto San Juan, año 1980-1985..... | 111 |
| 5A | Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación San Jerónimo, año 1980-1985..... | 112 |
| 6A | Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Bolivia, año 1980-1985..... | 113 |
| 7A | Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Volcán de Buenos Aires, año 1980-1985..... | 114 |
| 8A | Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Ujarrás, año 1980-1985..... | 115 |
| 9A | Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Maíz de Boruca, año 1980-1985..... | 116 |
| 10A | Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Potrero Grande, año 1980-1985..... | 117 |
| 11A | Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Guácimo, año 1980-1985..... | 118 |

Página

| | |
|--|-----|
| 12A Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Limoncito, año 1980-1985..... | 119 |
| 13A Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Las Mellizas, año 1980-1985..... | 120 |

1. INTRODUCCION

1.1 Definición del problema.

Costa Rica, país tropical con 51.800 km² de área superficial, es considerado como uno de los países más lluviosos de Centro América, con zonas donde generalmente ocurren altas intensidades de lluvia, por lo que la erosión hídrica causa pérdidas significativas del suelo.

En el área de estudio (cuenca del río Grande de Térraba), que comprende gran parte de la región Sur del país, existen altos riesgos erosivos por la abundante precipitación de alta intensidad y favorecido aún más por el mal manejo de los suelos (mayormente establecidas en laderas de zonas muy quebradas), sobrepastoreo, deforestación que provocan continuos deterioros en esta cuenca hidrográfica.

La cuenca hidrográfica es definida como una división topográfica que limita áreas vertedoras de agua y es considerada como una unidad de análisis y planificación. El manejo de cuencas, que es toda gestión que el hombre realiza a nivel de la cuenca para aprovechar y proteger los recursos naturales que le ofrece con una producción óptima y sostenida, tiene como uno de sus objetivos afrontar los problemas de erosión.

Por lo tanto, se hace necesario desarrollar procedimientos que permitan conocer las zonas problemáticas a nivel de la cuenca hidrográfica, a fin de caracterizarlas y poder formular acciones prácticas de manejo para controlar los impactos negativos sobre el recurso suelo, causados principalmente por el poder erosivo de las lluvias.

1.2 Importancia y justificación del estudio

La evaluación de los pluviogramas y el análisis de la información básica para obtener los valores correspondientes del índice de erosividad de las lluvias "EI₃₀" (factor importante en la explicación de pérdida de suelo) o factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo, se utilizó para la elaboración del mapa de las isoerodentas (que representan líneas de igual capacidad erosiva de las lluvias) que relacionado a los mapas de cobertura vegetal, suelos y pendientes, permitió identificar y clasificar las áreas de mayor impacto erosivo por las lluvias.

Esta técnica propuesta, se aplicará en la cuenca del río Grande de Térraba, Costa Rica, ubicada en la Vertiente del Pacífico Sur del País.

La importancia de elección de la cuenca se fundamenta en las siguientes consideraciones:

- Es la cuenca con primera prioridad, que presenta una continua degradación de los recursos naturales, entre ellas el sobreuso del suelo, que unido a las condiciones de topografía muy accidentada, precipitaciones con altas intensidades, convierten al área como muy susceptible a la erosión.

- La importancia de la zona, desde el punto de vista agrícola y pecuaria, donde aproximadamente un 67 por ciento del área total, está cubierto bajo cultivos y pastos, practicados mayormente en zonas de ladera.

- Debido al desarrollo integral de siete proyectos hidroeléctricos, lo que convierten a la cuenca con el mayor potencial hidroeléctrico del país.

- Asimismo, la zona dispone de pluviómetros con registros diarios para el análisis de la intensidad de las lluvias. Además por la existencia de las informaciones de cobertura vegetal, suelos, pendientes e isoyetas para el análisis biofísico de la cuenca.

1.3 Objetivos

1.- Determinar y caracterizar los índices de erosividad de las lluvias, representado por el factor R en la ecuación universal de pérdida de suelo, para las estaciones pluviométricas en la cuenca del río Grande de Térraba.

2.- Elaborar el mapa de las isoerodentas.

3.- Zonificar áreas críticas con relación a las características descriptivas de los mapas de cobertura vegetal, suelos y de pendientes, sirviendo de base para orientar las acciones de manejo y prácticas de conservación del suelo, introduciendo la capacidad erosiva de las lluvias como elemento de juicio importante.

1.4 Hipótesis de trabajo

"El EI_{30} , índice de erosividad de las lluvias, se distribuye en forma diferente en el área de la cuenca del río Grande de Térraba".

Este planteamiento supuesto permitirá relacionarla con los mapas temáticos de cobertura vegetal, suelos y pendientes, para establecer áreas críticas por efectos erosivos de las lluvias. Las características de clima y de relieve son variables que indican probabilidades del planteamiento de la hipótesis.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 El uso de la tierra en Costa Rica.

En general el uso de la tierra en Costa Rica determina en gran parte las posibilidades de aumentos continuos de la productividad agrícola.

Con el incremento de la población, la limitada disponibilidad de nuevas áreas de colonización con vocación agrícola y la falta de planificación en la distribución y en el uso de la tierra, se ha propiciado la invasión de colonos hacia ambientes montañosos poco aptos para la agricultura. Muchas de estas zonas montañosas tienen severas restricciones para el uso agropecuario por su relieve quebrado, alta precipitación y suelos poco fértiles y/o superficiales (Budowski, 1976).

Hartshorn, et al., (1983) infieren el siguiente uso de la tierra más intensivo en este país: 9.437 km² (19% del país) para la producción permanente de cultivos anuales, 4.656 km² (9%) para pasto permanente, 8.158 km² (16%) para cultivos perennes; 16.088 km² (32%) para bosques productores y 12.491 km² (24%) que requieren protección absoluta. Para 1980 había alrededor de 19.000 km² en pasto y 2.250 km² de cultivo en limpio, incluyendo banano y caña de azúcar. Los potreros ocupan hasta un 76% de las tierras aptas para el cultivo anual lo cual constituye una subutilización de la capacidad de los suelos..

Durante las dos últimas décadas se desarrolló una extensiva deforestación para el pastoreo, de los bosques potencialmente productivos, lo que determinó una sobreutilización de la capacidad de los suelos (Hartshorn, et al., 1983).

La deforestación de las áreas boscosas en las cuencas cuya vocación de uso es el de bosque permanente de protección, da lugar a procesos erosivos, degradación de suelos y alteraciones en el escurrimiento de las aguas (Sylvander, 1981).

Cálculos nacionales de erosión hídrica indican que el 17 por ciento del país se encuentra extremadamente erosionado y que el 24 por ciento moderadamente erosionado. Un cálculo aproximado estima que la pérdida de suelos por erosión es de 680 millones de toneladas por año (Hartshorn, 1983).

Según cifras obtenidas en 1983, casi un 60 por ciento de los suelos de aptitud forestal ya han sido deforestados, a tal punto que sólo pueden reponerse sus bosques mediante plantaciones y regeneración natural (Costa Rica, Ministerio de Agricultura, 1984).

2.2 Manejo de la tierra en la cuenca del río Grande de Térraba.

La región del Pacífico Sur de este país es un área ocupada casi totalmente por la cuenca del río Grande de Térraba.

La parte alta de la cuenca se encuentra en la cordillera de Talamanca, la cual abarca el bosque virgen más extenso del país. Este bosque extensivo, situado entre elevaciones de 200 y 3.549 msnm (metros sobre el nivel del mar), comprende una riqueza extraordinaria de comunidades naturales forestales. Esta parte alta de la cuenca se halla sobre terrenos que por su topografía quebrada, suelos frágiles y altas precipitaciones, son marginales para sostener algún tipo de actividad agropecuaria (Tosi, 1967).

La cordillera de Talamanca constituye un ambiente para las explotaciones de cobre porfídico. Existen proyectos de extracción de cobre en los yacimientos ubicados en la parte alta de la cuenca, principalmente en el Parque Internacional de la Amistad y el Parque Nacional de Chirripó, mediante el procedimiento de minería de cielo abierto, lo cual constituye una incompatibilidad de uso con los objetivos de dichas áreas protegidas, en vista de los impactos ambientales negativos que conllevaría. Este tipo de minería generalmente causa un notable deterioro al medio, en condiciones de altas precipitaciones, topografía quebrada y suelos frágiles (CATIE/Servicios de Parques Nacionales, 1982).

En esta cuenca se ha visualizado la posibilidad de un desarrollo integral de siete proyectos hidroeléctricos, que convierten a la cuenca con mayor potencial hidroeléctrico del país. Uno de dichos proyectos es el gigantesco complejo de generación de fuerza hidroeléctrica denominado Boruca-Térraba, que planea crear un embalse de 19.800 hectáreas en el valle al Sur de la cordillera de Talamanca, con una potencia máxima a generar de 1.520 Mw (megawatts) y una energía anual media de 6.036 Gwh (gigawatts-hora), constituyéndose en el proyecto hidroeléctrico de mayor envergadura del país (Mora, 1979).

En general en la cuenca del río Grande de Térraba se evidencia un uso de la tierra no planificado, lo cual ha provocado un deterioro acelerado de la cuenca, debido a la intervención de áreas sumamente frágiles, con una gran desproporción en la distribución de la tierra y a las quemadas extensas que han afectado el bosque superior principalmente (Olaya, 1985 ; Gonzalez, 1986).

Principalmente los valles de El General y Coto Brus, presentan un panorama sombrío en lo que a conservación del medio biofísico se refiere. Los problemas de deforestación, erosión por las pronunciadas pendientes, altas precipitaciones, agotamiento de suelos, etc., se presentan frecuentemente. La deforestación en la cuenca ha llegado a la tasa promedio de 4.700 ha/año. De continuarse con esta tendencia la totalidad de la cuenca alta será deforestada al año 2.000 (Tosi y Zadroga, 1975).

2.3 La erosión hídrica.

La erosión hídrica es un proceso físico, definido como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por acción del agua. Las gotas de lluvia desprenden el suelo y el agua de escorrentía es la encargada de realizar el transporte y la sedimentación (Hudson, 1981 ; Paulet, 1974).

Este tipo de erosión puede presentarse en forma laminar, en surcos y cárcavas. La erosión laminar es menos evidente y a veces la más dañina, al lavar el suelo más fértil y que contiene los fertilizantes que se aplican en el cultivo (FAO, 1967).

2.3.1 Mecánica del proceso de erosión hídrica.

Según Sánchez, mencionado por Asturias (1986), la mecánica del proceso de erosión hídrica consta de tres etapas:

- Desprendimiento
- Arrastre o Transporte
- Deposición o sedimentación

2.3.1.1 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 choque 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.

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

2.3.1.2 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.

2.3.1.3 Etapa de deposición o sedimentación.

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

2.4 Factores que originan la erosión hídrica.

Los principales factores que se relacionan al proceso de la erosión hídrica son: precipitación, cobertura vegetal, suelo y topografía. Dourojeanni y Paulet (1976) clasifican estos factores de acuerdo a su acción en activos y pasivos:

Factor activo: precipitación.

Factor pasivo: cobertura vegetal, suelo y topografía.

2.4.1 La precipitación

La precipitación tiene una relación directa con la erosión; para que se produzca es necesario que exista una fuente de energía. Esta fuente de energía es la lluvia y por eso se le llama factor activo. Su poder erosivo viene dado por una combinación de sus características como son: la cantidad, frecuencia, tamaño y distribución de las gotas, intensidad, velocidad terminal y energía.

Considerada la lluvia como un factor esencial en el proceso de la erosión, es necesario conocer las investigaciones realizadas en diversos países acerca de las características físicas más importantes que intervienen en dicho proceso. A continuación se describen algunos de ellos.

2.4.1.1 Cantidad total de la lluvia.

La relación entre la pérdida de suelo y la cantidad de agua precipitada parece obvia. Sin embargo, en diversos estudios se ha observado una relación pobre (Wischmeier y Smith, 1959).

En el cuadro 1, se puede observar que durante los periodos 1953-54 y 1955-56, a pesar de presentar registros de precipitación total parecidos, se muestran diferencias sustanciales en las tasas de erosión y escorrentía. Por otro lado, en los años 1954-55 y 1957-58, se observa una relación inversa entre la pérdida de suelo y la cantidad de precipitación (Hudson, 1981).

Cuadro 1. Registro de lluvias, erosión y escorrentía de 5 años en cultivos de maíz y "Napier" en pendientes de 3%, 4.5% y 6% en valores promedios para seis parcelas.

| Año | Precipitación (mm) | Escorrentía (mm) | Erosión (ton/ha) |
|---------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 1953-54 | 917,2 | 91,18 | 5,12 |
| 1954-55 | 1.129,8 | 56,86 | 1,23 |
| 1955-56 | 907,8 | 49,53 | 3,44 |
| 1956-57 | 962,2 | 71,37 | 5,12 |
| 1957-58 | 696,5 | 51,56 | 3,36 |

Fuente: Hudson, 1981.

Suárez de Castro (1980) encontró que las lluvias, aún cuando las cantidades totales son similares, pueden causar pérdidas de suelo muy diferentes (cuadro 2). Señala además, que en Colombia para un período de ocho años, el 9,9% de las lluvias causaron el 88,7% de las pérdidas de suelo.

Cuadro 2. Cantidad de lluvia, intensidad y pérdidas de suelo Chinchiná, Colombia.

| Cantidad de lluvia (mm) | Intensidad máx. en 5 min | Escorrentía (mm) | Erosión (ton/ha) |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| 20,5 | 7,9 | 6,8 | 7,35 |
| 21,4 | 5,0 | 11,1 | 1,74 |
| 18,0 | 4,5 | 7,8 | 1,06 |
| 21,8 | 2,2 | 4,5 | 0,47 |
| 20,0 | 1,9 | 0,8 | 0,12 |

Fuente: Suárez de Castro, 1980.

2.4.1.2 Frecuencia de la lluvia

La humedad del suelo, tiene una estrecha relación con la frecuencia de las lluvias y su capacidad para permitir la infiltración (Fournier, 1975).

Si los intervalos entre dos lluvias son cortos el contenido de humedad del suelo al comenzar el segundo evento es alto, aumentándose la posibilidad de escorrentía aún con lluvias de baja intensidad (Suarez de Castro y Rodríguez, A. 1962).

El efecto de la frecuencia de las lluvias en la pérdida de suelo se ilustra muy bien al observar, el cuadro 3.

Cuadro 3. Pérdidas de suelo con distintas frecuencias e intensidades.

| Fecha de lluvia anterior | Evento | Precipitación (mm) | Intensidad en 5 min | Erosión (ton/ha) |
|--------------------------|--------|--------------------|---------------------|------------------|
| 3/8 | 20/8 | 17,8 | 3,0 | 0,002 |
| 20/10 | 22/10 | 12,6 | 2,2 | 0,395 |

Fuente: Suárez de castro, 1980.

Luego de 17 días sin precipitación, la lluvia del 20 de agosto produjo muy poca erosión si se compara con la lluvia del 22 de octubre, donde la lluvia anterior ocurrió dos días antes. Roose (1975) trabajando en Africa observó que después de 10 días, una lluvia no tiene influencia sobre la erosión.

2.4.1.3 Intensidad de la lluvia.

En la India, Bathia y Singh (1976) observaron que las lluvias de alta intensidad y mayor duración han producido la mayor cantidad de erosión en comparación con lluvias ligeras. Roose (1975), determinó que, en los trópicos húmedos, las lluvias responsables del mayor porcentaje de erosión generalmente están representadas por un grupo de 10 a 20 lluvias al año.

Los intervalos de tiempo utilizados para medir la intensidad máxima están muy relacionados con la escorrentía y la erosión. Estudios realizados en Estados Unidos, demuestran que la intensidad máxima en 30 minutos ha sido el intervalo mejor correlacionado con la pérdida de suelo (Smith, 1978).

2.4.1.4 El tamaño y distribución de las gotas de lluvia.

El tamaño de las gotas de lluvia tiene una estrecha relación con la intensidad. Las lluvias de baja intensidad generalmente son prolongadas, de bajo volumen y gotas pequeñas. Por el contrario, las lluvias de alta intensidad son cortas, de gran volumen y compuesta de gotas grandes.

Hudson (1981) observó que el límite superior es de 5mm de diámetro y sobre este tamaño, las gotas se rompen en otras más pequeñas, volviéndose más inestables.

2.4.1.5 Velocidad terminal de las gotas.

La velocidad de caída de las gotas de lluvia depende de su masa y la distancia recorrida. A medida que aumentan el tamaño de las gotas es mayor su velocidad terminal. Además, la distancia que debe recorrer la gota para lograr la velocidad máxima está en función de su tamaño (Lal, 1977).

Cuadro 4. Relación entre el tamaño de la gota y su velocidad terminal.

| Tamaño de la gota(mm) | velocidad terminal (m/s) | Distancia para lograr el 95% de vel.terminal(m) |
|-----------------------|--------------------------|---|
| 0,25 | 1,0 | - |
| 0,50 | 2,0 | - |
| 1,0 | 4,0 | 2,2 |
| 2,0 | 6,5 | 5,0 |
| 3,0 | 8,1 | 7,2 |
| 4,0 | 8,8 | 7,8 |
| 5,0 | 9,1 | 7,6 |
| 6,0 | 9,3 | 7,2 |

Fuente: Lal, 1977.

Como se observa, en el cuadro 4, para cada tamaño de la gota habrá una distancia mínima a recorrer en la cual va a alcanzar su velocidad máxima, pues una gota que cae libremente se acelera hasta que la fuerza de fricción del aire es igual a la fuerza de gravedad; a partir de ese momento la velocidad será constante.

2.4.1.6 Energía cinética

Wischmeier y Smith (1959), obtuvieron una alta correlación entre la intensidad de las lluvias y su energía. Para ello fue necesario conocer el tamaño de las gotas y su velocidad terminal, ya que la energía cinética, al momento del choque de la gota al suelo, es igual a la mitad de la masa por su velocidad terminal elevada al cuadrado, o sea: $E_c = 1/2 MV^2$.

Se expresó la energía cinética (E_c) en función de la intensidad (I) por medio de la siguiente ecuación:

$$E_c = 1,214 + 0,887 \log_{10} I \dots (1)$$

donde:

E_c = energía cinética expresada en $\text{kgm/m}^2/\text{mm}$.

I = intensidad en mm/h .

Se efectúa luego el producto del valor de la ecuación (1) con la cantidad de mm de agua caída en cada período considerado del registro. La suma de estos productos representa el valor de la energía cinética total de la lluvia.

2.4.2 EL suelo.

Hernández (1986) menciona que el suelo es un recurso natural renovable, que esta sujeto a procesos destructivos debido a la erosión, la que provoca un desequilibrio natural entre la formación y la pérdida de suelo.

La erodabilidad del suelo es su vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión. Un suelo con erodabilidad elevada sufrirá más erosión que un suelo con erodabilidad baja si ambos están expuestos al mismo tipo de lluvia. Dentro de los factores que influyen en la erodabilidad están en primer lugar, las características físicas del suelo, es decir, el tipo edáfico, y en segundo lugar, el manejo a que se le haya sometido. Entonces desde el punto de vista para su control, interesan aquellas propiedades que incrementan su capacidad de infiltración, ya que serán importantes para

reducir la escorrentía, y aquellas que aumentan la resistencia a su dispersión y transporte para que ésta sea mínima (Kirkby y Morgan, 1984).

La textura del suelo es una de las características permanentes; según sea esta (fina, media o gruesa) se modificará el grado de dispersión y transporte.

El agua que un suelo retiene depende en parte de su contenido de materia orgánica, cuyo papel en el mejoramiento de la estructura es muy importante. Además, actúa como formador de agregados aumentando la porosidad y la velocidad de infiltración. En términos generales, la permeabilidad es un indicador de la resistencia a la erosión superficial, ya que la infiltración, la escorrentía y la erosión son procesos muy relacionados entre sí (Baver, L. D., et al. 1983).

2.4.3 La cobertura vegetal.

La cobertura vegetal con una densidad adecuada es la mejor defensa natural de un suelo contra la erosión, ya que disminuye grandemente los impactos de las gotas de lluvia, interceptándolas y absorbiendo la energía antes que actúe en ella. El efecto de los bosques se debe principalmente a los diferentes estratos de vegetación que interceptan la lluvia reduciendo su energía y a la presencia de un mantillo protector del suelo (FAO, 1967). En los bosques tropicales las pérdidas de suelo por erosión hídrica son muy bajas (Mozo, 1967).

Cuando una gota de lluvia golpea un suelo cubierto con una vegetación densa, se rompe en minúsculas gotitas que penetran fácilmente en los innumerables intersticios y canales de suelo. Cuando esa gota golpea un suelo desnudo la fuerza del impacto desprende partículas que quedan en

suspensión y a medida que el agua se infiltra, se depositan en los espacios porales del suelo, obstruyéndolos y dificultando el paso posterior del agua. A la vez el suelo se va saturando, entonces el agua es obligada a fluir sobre la superficie del terreno.

Por otra parte, la vegetación al morir y descomponerse, aumenta el contenido de materia orgánica y de humus del suelo y con ellos la porosidad y capacidad de retención de agua de los terrenos (Paulet 1974 y Suarez de Castro 1980).

Ayres, citado por Suárez de Castro (1980), resume como la vegetación protege al suelo contra la erosión, principalmente de las siguientes maneras:

i) Protección directa contra el impacto de las gotas de lluvia.

ii) Efecto sujetador del sistema radicular sobre las partículas de suelo.

iii) Penetración de las raíces a través del perfil, las cuales al morir y descomponerse aumentan el contenido de materia orgánica con el mejoramiento de la estructura del suelo y consiguiente aumento de la infiltración.

iv) Aumento de la fricción superficial y control del volumen del agua de escorrentía, disminuyendo su poder erosivo.

De todos estos efectos, los más notables son los relacionados con el aumento en la infiltración y con la protección directa contra el impacto de las lluvias. Estas influencias de la vegetación, varían según los cultivos, el

suelo, el clima, y con el tipo de material vegetativo, particularmente las raíces, la altura de las plantas, y los residuos vegetales.

2.4.4 La topografía.

La topografía condiciona la pendiente tanto en su inclinación como en su longitud. La potencia erosiva del agua en movimiento y su transporte dependen del volumen y la velocidad de la escorrentía, ambas sujetas al grado de la pendiente. Si se considera que va escurrir sobre ella no sólo la cantidad de agua que rechaza sino también aquella rechazada por toda la superficie por encima hasta la cumbre de la vertiente, se comprende que la longitud de la pendiente sea otro factor importante.

Zingg, mencionado por Hernández (1981), por medio de parcelas en condiciones similares de campo y de precipitación pluvial, relacionó la pérdida de suelo con el grado de inclinación y con la longitud de la pendiente, demostrando que al duplicar el grado de pendiente aumentaba la pérdida de suelo de 2.6 a 2.8 veces y duplicando la longitud horizontal de la pendiente aumentaba la pérdida de suelo por escurrimiento en 3,03 veces.

Generalmente, sobre las lomas de gran longitud, los perjuicios de la erosión pueden resultar más cuantiosas que en lugares de pendiente corta (FAO, 1967), como puede observarse en el cuadro 5.

Cuadro 5. Pérdida del suelo para varias longitudes de pendiente.

| Longitud de la pendiente (m) | Pérdida de suelo/unidad de área. |
|------------------------------|----------------------------------|
| 0 - 23 | 0,91 |
| 23 - 46 | 1,65 |
| 46 - 69 | 2,13 |
| 69 - 92 | 2,52 |

Fuente: FAO, 1967.

2.4.5 La actividad humana.

Entre las principales actividades humanas que favorecen la erosión acelerada tenemos la agricultura en terrenos inclinados, sistemas inadecuadas de cultivo, la deforestación, la construcción inadecuada de caminos y el sobrepastoreo (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1975).

Al mismo tiempo, el hombre puede actuar sobre los llamados factores pasivos como el suelo, la cobertura vegetal y la topografía, controlando y minimizando la energía desarrollada por las gotas de lluvia y reduciendo el movimiento del agua para disminuir la erosión. Para este efecto posee una serie de alternativas entre las cuales debe escoger para aplicar la que sea más eficaz.

Según Lal (1977), las prácticas de manejo de suelos para la conservación se basan en dos aspectos fundamentales: mantener una tasa de infiltración elevada y conducir el agua de escorrentía de una manera segura que minimizen la erosión.

Smith, mencionado por Hernández(1986), evaluó los efectos de las prácticas de conservación mecánica para cuatro combinaciones de rotación de cultivos y tratamientos del terreno para un suelo y determinó que:

- La pérdida de suelo por siembra a contorno es de 57% de la observada al trabajar una colina en sentido de la pendiente.

- La pérdida de suelo debido a la siembra en rotación por franjas es de 25% de la que se presenta al trabajar una colina en sentido de la pendiente.

- La pérdida de suelo debida a las terrazas es de 3% de la presentada al trabajar una colina en sentido de la pendiente.

Faustino (1986), señala que en general las prácticas de conservación de suelos pueden dividirse en:

- Prácticas mecánicas - estructurales: prácticas que se basan en el movimiento de tierras y requieren de conocimiento de ingeniería. Normalmente estas medidas están destinadas a disipar la energía y/o controlar la descarga del agua, como: acequia de ladera, terrazas individuales, terrazas de huerto.

- Prácticas agronómicas - culturales: que tienen como objetivo principal disminuir la velocidad del agua de

escorrentía, interceptar y retener el suelo que aquella arrastra, y se puede realizar por medio de labranza mínima, siembra en contorno, rotación de cultivos, barreras vivas y muertas

- Prácticas forestales - agrostológicas: cuyo objetivo es la protección del suelo contra el impacto de la lluvia y control del escurrimiento favoreciendo la infiltración del agua, y se puede realizar por medio de establecimiento de pastura con fines de protección, manejo de vegetación natural, sistemas agroforestales y pastoreo sistematizado.

2.5 Limite de tolerancia de pérdida de suelo.

El limite de pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo que permite que se sostenga un alto nivel de productividad. Por lo general, a los suelos profundos, de textura media, moderadamente permeables y que tienen características de subsuelo favorables para el crecimiento de las plantas, se les asignaron tolerancias de $1,1 \text{ kg/m}^2/\text{año}$. A los suelos con una zona radical superficial u otras características de detrimento se les asignaron tolerancias inferiores, cerca de $0,2 \text{ kg/m}^2/\text{año}$.

La tolerancia a la pérdida de suelo para un suelo específico se utiliza como una guía para la planificación en la conservación de suelos. La ecuación universal de pérdida de suelo (E.U.P.S.) se utiliza para estimar la pérdida de suelo real y para evaluar cómo los cambios en las prácticas pueden aplicarse para reducir la pérdida de suelo por debajo del nivel de tolerancia (Kirkby y Morgan, 1984).

2.6 La ecuación universal de pérdida de suelo.

Smith y Wischmeier (1972) y Wischmeier et al. (1976), condujeron a la formulación del modelo de predicción de pérdida de suelo. Esta investigación para la predicción de erosión de suelos se consolidó en un esfuerzo cooperativo que tenía por objeto superar muchas de las desventajas inherentes a los proyectos de investigación local o regional. Se compilaron datos de investigaciones de la erosión en más de 8.250 parcelas-año de 36 localidades de E.E.U.U. Se hizo una reevaluación de los diversos factores que afectaban la pérdida de suelo, en la denominada ecuación universal de pérdida de suelo, la cual es representada por:

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

donde:

A = promedio anual de pérdida de suelo, en ton/ha/año. Puede ser computada sobre una base de probabilidades tales como una vez en dos años, una vez en cinco años u otros. Pero para esto, el factor R debe ser calculado para igual frecuencia.

R = factor erosividad de las lluvias, y es una medida de la fuerza erosiva de las lluvias. Se expresa en unidades de energía del índice de erosividad.

K = factor de suelo, y viene a ser las toneladas de pérdida de suelo por unidad de área y por unidad de índice de erosión para una pendiente de dimensiones específicas (9% y 22,13 metros de largo). Puede variar con el tipo de suelo, y grado de erosión, y está expresado como la pérdida que ocurre en un campo en barbecho, sin la influencia de cultivo de cobertura.

C = factor de cultivos. Este factor combina el tipo de efectos de cultivos, rotación de los mismos y las varias prácticas de manejo.

L = factor de longitud de pendiente. Es la relación de pérdida de suelo entre un campo de longitud y pendiente determinada cualquiera y el campo empleado para calcular el valor K, de dimensión estandar (9% y 22,13 m de largo).

S = factor de inclinación de la pendiente.

P = factor por prácticas de control de la erosión (terrazas, cultivos en fajas, cultivos en contorno etc.).

2.7 Estudios de los índices de erosividad de las lluvias.

Según Hernández (1986), la importancia del impacto de las gotas de lluvia en el proceso de la erosión no se apreció plenamente hasta que se publicaron los estudios de Laws en 1940, sobre la precipitación pluvial y el análisis de la acción mecánica de las gotas de lluvia por Ellison en 1944.

Existe una gama de índices de erosividad de la lluvia que con el transcurso de los años se han ido perfeccionando por las investigaciones en diversos países.

Ellison (1944), en un primer intento por describir el fenómeno y explicar la pérdida de suelo en relación con la lluvia planteó la siguiente ecuación:

$$S = V^{4.33} D^{1.07} I^{0.45}$$

donde:

S = gramos de suelo salpicado en 30 min.

V= velocidad de las gotas en pies/s.

D= diámetro de las gotas en mm.

I= intensidad de la lluvia en pulg/h.

Este fue un intento de correlacionar la pérdida de suelo con algunas características de lluvia.

Wischmeier y Smith (1959), presentaron un índice de erosividad o factor R basado en la relación directa entre: i) la energía cinética (E) y ii) la intensidad (I) de la lluvia.

i) Energía cinética de la lluvia (E).

La energía cinética representa el trabajo por golpeteo y salpicadura de las gotas de lluvia caídas sobre la superficie del suelo. Obtuvieron una alta correlación entre la intensidad de las lluvia y su energía. (tal como se señala en el acápite 2.4.1.6).

ii) Máxima intensidad en 30 minutos.

Indican que cuando el compute de energía de la lluvia, es multiplicada por la máxima intensidad de las lluvias con duración de 30 minutos, se obtienen altas correlaciones con las pérdidas de suelo.

Una vez conocida la energía cinética total y la máxima intensidad en 30 minutos de la lluvia (que corresponde a la lectura de lámina mayor de todos los intervalos de 30 minutos consecutivos de la lluvia) se calcula el índice EI_{30} de acuerdo a la siguiente expresión:

$$EI_{30} = E_c * I_{30}$$

donde:

E_c = energía cinética total de la lluvia en kilogramos por metro cuadrado (kgm/m^2).

I_{30} = máxima intensidad en 30 minutos en milímetros por hora (mm/hr).

Este producto fue denominado índice de erosividad y significa que el potencial erosivo de la lluvia esta en función de la cantidad de la misma y de su máxima velocidad de caída sobre la superficie del suelo. Representa los efectos totales del impacto de las gotas de lluvia.

Smith y Wischmeier (1972), llegaron a esta ecuación luego de estudiar los resultados obtenidos en 8.250 parcelas-año de escorrentía y de comparar intensidades de las lluvias para diferentes periodos de 5, 10, 15, 30 y 60 minutos. Comprobaron que el " EI_{30} " es el mejor índice que caracteriza la capacidad erosiva de las lluvias por lo siguiente: el coeficiente de determinación entre la pérdida de suelo y los valores " EI_{30} " por lluvia, osciló entre el 71 y 96 por ciento de la variación total de pérdida de suelo, parcela a parcela.

Wischmeier, et al. (1976), mencionan los requisitos que debe tener el índice de erosividad:

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

-Debe ser definible para lluvias específicas, periodos específicos y anual.

-Su evaluación estacional o anual debe ser calculada tomando en cuenta sólo las lluvias erosivas, es decir las mayores de 13mm de precipitación y separadas de otra por el tiempo de 6 horas para ser considerada independiente.

Desventajas del índice "EI₃₀"

-Requiere de bandas diarias con división como mínimo de 30 minutos.

-Se considera sólo lluvias erosivas.

-Se establece un límite de 76,5 mm/hr, para la intensidad de las lluvias.

Babu et al. (1970), en la India, encontraron una mejor correlación entre pérdida de suelo y el "EI₃₀" que con otros períodos de 5, 10, 15, y 60 minutos, trabajando en parcelas de suelo desnudo con una pendiente de 8%, presentaron la siguiente ecuación de regresión:

$$Y = 8,4 + 1,88 X ; \quad \text{con } r^2=0,74$$

donde:

X= EI₃₀

Y= pérdida de suelo

Estos mismos señalan además la importancia del índice ("EI₃₀ o factor R) en que: "clasifica en forma exacta las lluvias según su potencial erosivo y es una eficiente herramienta para análisis de efecto de pendiente y cobertura vegetal".

Fournier (1975), trabajando en Francia, presentó su índice $C=p^2/P$ estableciendo una correlación entre la erosividad de las lluvias y la cantidad de agua precipitada.

donde:

C = índice de erosividad de la lluvia.

p² = cantidad de lluvia mensual al cuadrado.

P = cantidad de lluvia anual.

Hudson (1981), llevó a cabo estudios sobre la erosión en suelos de Africa Tropical y Subtropical, observando que la pérdida de suelo está estrechamente relacionada con la energía cinética de las lluvias con intensidades mayores de 25mm/hr. Describió este parámetro como el índice KE>25, la que se representa como:

$$KE>25 = \sum_{i=1}^n E_{Ci} * q_i$$

donde:

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

E_{Ci} = energía cinética de la lluvia, expresada en Mj/ha/mm.

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

i = número de segmentos de lluvia con intensidad diferente.

El KE>25 resultó por el concepto de que hay un valor crítico de intensidad en el cual la lluvia empieza a ser erosiva. La idea resultó de la observación que a bajas intensidades hay poca o ninguna erosión, ya que la lluvia está compuesta principalmente de gotas pequeñas, que caen con poca velocidad y por lo tanto de baja energía .

Bathia y Singh (1976), trabajando en la India Tropical, observaron que las tormentas de alta intensidad y mayor duración, han producido la mayor cantidad de erosión en comparación con lluvias ligeras. Señalan además, que las lluvias responsables del mayor porcentaje de erosión en los trópicos, generalmente están representadas por un grupo de 10 a 20 aguaceros al año. Compararon pérdidas de suelo con intensidad de lluvia en diferentes períodos y encontraron el mejor ajuste para el EI₃₀, como puede observarse en el cuadro 6.

Cuadro 6. Relación del índice de erosión (X), con la pérdida de suelo (Y) en ton/ha.

| Períodos | Ecuación de regresión | Coefficientes de determinación (r^2) |
|------------------|-----------------------|--|
| | | <u>1)</u> |
| EI ₅ | Y= 5,7 + 0,0076 X | 0,16 |
| EI ₁₀ | Y= 4,4 + 0,0013 X | 0,24 |
| EI ₁₅ | Y= 0,6 + 0,28 X | 0,36 |
| EI ₃₀ | Y= 4,8 + 0,006 X | 0,73 * |
| EI ₆₀ | Y= 7,5 + 0,009 X | 0,30 |

Fuente: Bathia y Singh, 1976.

1)
X = EI Y = pérdida de suelo.

* = valor significativo.

Singh et al. (1976), mediante estudios comparativos en el Centro de Investigaciones de Vasasd en la India, encontraron que el comportamiento de los índices del KE>25 y "EI₃₀" fueron similares en la producción de las pérdidas de suelo.

Lal (1977), en Ibadan, Nigeria, informó una alta correlación entre la pérdida de suelo anual y el producto de la cantidad total de lluvia con la intensidad máxima en 30 minutos. Está representado por la siguiente relación:

$$AIm = \sum_1^{12} \sum_{i=1}^n (aim)$$

donde:

AIm= Índice de erosividad de las lluvias.

- a= Total de lluvia en cm.
im= Intensidad máxima en 30 minutos en cm/hr.
n= Número de días de lluvia en el mes.

Roose, citado por Rocha (1977), indica que para el caso de las zonas tropicales se ha observado que la escorrentía y las grandes pérdidas de suelo obedecen mayormente a la agresividad de las lluvias, que a la fragilidad particular de los suelos.

Rocha (1977), determinó alta correlación, entre las pérdidas del suelo y el índice de erosividad " EI_{30} ".

Amézquita y Forsythe (1975) y Bermúdez (1980), encontraron en Turrialba, Costa Rica, que los índices mejor correlacionados fueron la cantidad de lluvia y el " EI_{30} ".

Arias (1980) evaluó en México varios índices de erosividad y concluyó que el " EI_{30} " 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, el $KE > 25$ de Hudson, el AI_m de Lal. Todos éstos son una variación del " EI_{30} " y están basados en la relación entre la energía cinética de la lluvia y la intensidad máxima.

Baver et al. (1983), en un estudio sobre el efecto de la caída de la lluvia, encontraron que el impacto de las gotas por unidad de área era determinada por el tamaño y número de gotas. Por lo tanto, a mayor cantidad de número de gotas y de mayor diámetro, crece la energía de la lluvia. Señalan, además, que la energía de una lluvia da una buena indicación de la pérdida de suelo, siendo también importante el factor de intensidad máxima de 30 minutos por su efecto sobre dicha energía.

2.8 Ambitos de valores del índice de erosividad o factor R.

Algunos valores para el factor lluvia, se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Valores del índice de erosividad o factor R en distintas partes del mundo.

| Paises | Ambito del índice de erosividad (R) (Kgm/m ² *mm/h) | Observaciones y lugares aproximados. |
|------------------|---|---|
| ----- | | |
| -Estados Unidos | | |
| Noreste | 1098-4395 | Desde Maine hasta Maryland |
| Sureste | 4395-9890 | Desde Maryland a la Florida |
| Medio-Sur | 4395-10.989 | Mississippi, Georgia. |
| Oeste-Medio | 879-6593 | Texas, Colorado, Nuevo México |
| -Puerto Rico | 6593-8791 | Valores más altos en la cordillera |
| -Rep. Dominicana | 1098-19.780 | Valores más altos en las zonas montañosas |
| -Hawaii | 1648-16.483 | Valores más altos en la cordillera |
| -Costa Marfil | 9890-25.274 | Africa Occidental |
| -Perú Selva | 28.571 | Zona de Iquitos |
| " Sierra | 1098-2197 | Zona de Mantaro (Huancayo) |

Fuente: Paulet, 1974.

Para convertir kgm/m²*mm/h a Mj/ha*mm/h (S.I.),
multiplic. por el factor 10,22.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Area de estudio.

Como área general de estudio se determinó la cuenca del río Grande de Térraba (figura 1), ubicada en el Pacífico Sur de Costa Rica, entre los paralelos 8° 45' y 9° 35' de latitud Norte y entre los meridianos 82° 45' y 83° 45' de longitud Oeste. Es la cuenca más grande de Costa Rica, con un área de 5.180 km², aproximadamente el 10% de la superficie total del país. Presenta una precipitación promedio de 2.650 mm/año y elevación media de 1.264 msnm. Su eje longitudinal está orientado de Noroeste a Sureste. Dicha orientación coincide con los ejes principales de las cordilleras de Talamanca y fila Costeña. Ambas cordilleras con sus derivaciones forman la divisoria de aguas de la cuenca, el río Grande de Térraba desemboca en la Bahía de Coronado sobre el Océano Pacífico.

Según la ubicación de la cuenca, el clima se caracteriza por una estación seca y otra lluviosa bien definida, con un periodo lluvioso de mayo a noviembre y seco de enero a abril; abril y diciembre son meses de transición entre una estación y otra. El mes más lluvioso suele ser octubre.

3.2 MATERIALES.

3.2.1 Mapa de cobertura vegetal

El mapa de cobertura vegetal fue elaborado por la Dirección General Forestal (D.G.F.) y actualizado al año 1983 a escala 1:200.000.*

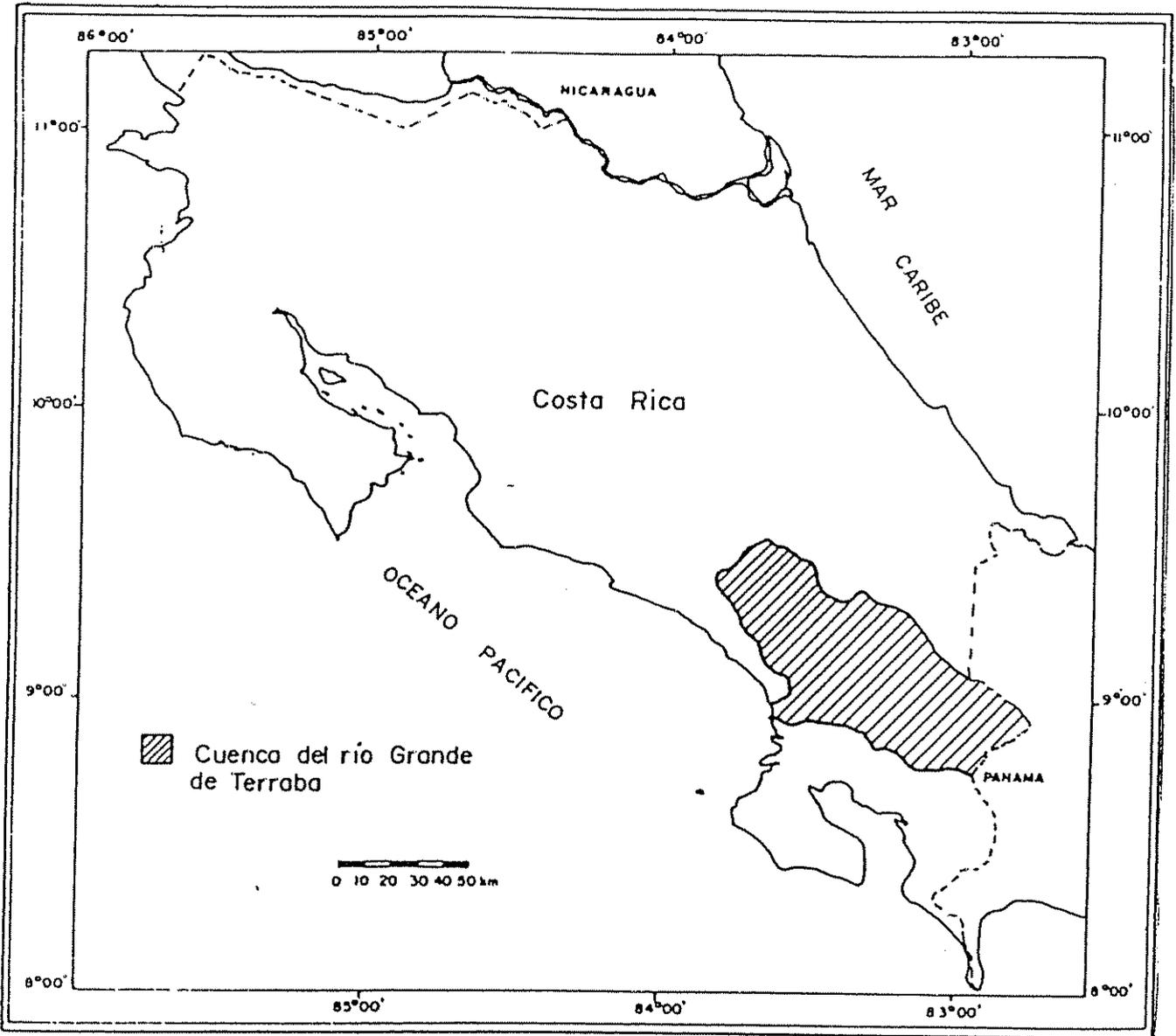


Figura 1. Localización de la cuenca del río Grande de Térraba.

La cobertura vegetal está clasificado por grandes grupos de acuerdo al uso de la tierra. Dichas áreas se cuantificaron por medio de la planimetría.

3.2.2 Mapa de suelos.

El mapa de suelos utilizado fue elaborado por SEPSA (Secretaría de Planificación del Sector Agropecuario y de Recursos Naturales) y se presenta a escala 1:200.000.*

En la cuenca se presentan nueve unidades de suelos principales, que fueron clasificados utilizando el sistema taxonómico, desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Perez, 1979).

Dichas unidades están descritas bajo las siguientes características.

Textura: fina (arcillo limoso, arcillo arenoso), media (franco limoso, limoso), gruesa (arena franca).

Drenaje: mal (napa freática muy alta), medio (napa freática algo alta), bueno (el agua es removida rápidamente).

Susceptibilidad a la erosión: baja (erosión laminar), media (erosión por surcos), alta (formación de cárcavas).

Por medio de la planimetría se determinó las áreas respectivas de cada unidad de suelo. El cuadro 8, presenta un resumen de dichas características, para los diferentes suelos identificados.

Cuadro 8. Características principales de los suelos en la cuenca del río Grande de Térraba.

| Tipo de suelo | símbolo | textura | drenaje | suscept. a la erosión | profundidad (cm) | pendiente (%) | limitante |
|------------------------|---------|---------|---------|-----------------------|------------------|---------------|-------------|
| Ustoxic-Palehumult | U-2 | fina | medio | alta | > 50 | 15-45 | pendiente |
| Plinthic-Palehumult | U-3 | fina | medio | media | > 50 | 15-60 | pendiente |
| Andic-Humitropept | I-13 | fina | bueno | alta | > 50 | 15-45 | pendiente |
| Andic-Humitropept | I-14 | fina | bueno | media | > 50 | > 30 | pendiente |
| Typic-Dystropept | I-26 | fina | medio | media | > 50 | 30-45 | pendiente |
| Lithic-Dystropept | I-30 | fina | medio | media | < 50 | 45-60 | profundidad |
| Typic-Tropohumult | U-4 | fina | bueno | media | > 50 | 30-45 | pendiente |
| Fluvaquentic-Hapludoll | M-3 | media | mal | media | > 50 | 0-15 | drenaje |
| Typic-Sulfaquent | E-6 | gruesa | nulo | baja | > 50 | 0-15 | drenaje |

Fuente: SEPSA, 1979.

3.2.3 Mapa de pendiente

La información fue obtenida del mapa elaborado por Secretaría de Planificación del Sector Agropecuario y de Recursos Naturales (SEPSA) a escala 1:200.000.* Se presenta áreas con intervalos de pendiente similares cada 15%, desde plano (0 a 5%) a muy quebrado (> 60%).

Las áreas por cada agrupación de pendientes fueron estimadas por planimetría.

3.2.4 Informaciones pluviográficas.

Se utilizaron las estaciones meteorológicas de tipo B y PG (estaciones pluviográficas), instaladas por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y que cubren toda el área de la cuenca del río Grande de Térraba.

Los pluviógrafos empleados son los llamados de sistema Hellmann o de sifón (figura 2), que proporcionan registros diarios en bandas de 10mm (se descartaron los pluviógrafos de registros mensuales y trimestrales).

Para el análisis de los bandas se revizaron un total de 24.090 pluviogramas diarias, correspondientes a las 11 estaciones (2.190 por cada estación) para el periodo de 6 años de estudio (1980 a 1985).

El cuadro 9 presenta las estaciones seleccionadas, indicando algunas características.

Por fines de estudio, la escala 1:200.000 utilizada en los mapas temáticos es la adecuada, sin embargo para análisis más detallados se recomienda utilizar escalas más grandes como 1:50.000.

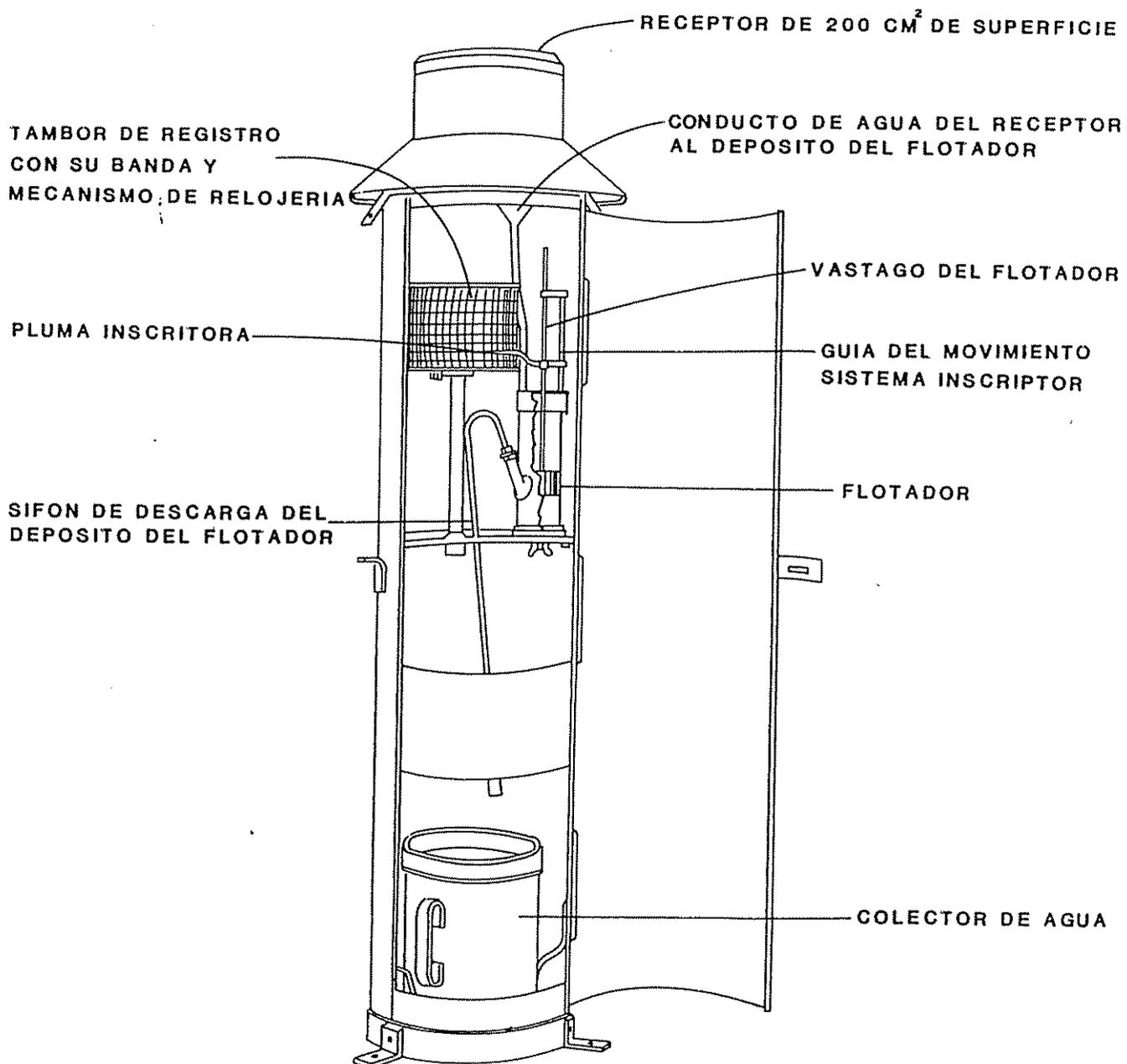


Figura 2. Pluviógrafo tipo Hellmann o de sifón.

Cuadro 9. Información sobre las estaciones meteorológicas, seleccionadas para el estudio.

| Estaciones Pluviográficas | Tipo | Coord. Geográficas | | Elev. (m.s.n.m.) |
|------------------------------|------|--------------------|---------|---------------------|
| | | Lat. | Long. | |
| | 1] | | | |
| -Volcán de Buenos Aires | B | 09° 13' | 83° 27' | 418 |
| -Bolivia | B | 09° 11' | 83° 38' | 950 |
| -Potrero Grande | B | 09° 01' | 83° 11' | 183 |
| -Ujarrás | PG | 09° 14' | 83° 18' | 525 |
| -Buena Vista | PG | 09° 30' | 83° 40' | 1310 |
| -Alto San Juan | PG | 09° 20' | 83° 44' | 1040 |
| -San Jerónimo | PG | 09° 21' | 83° 30' | 1140 |
| -Guácimo | PG | 08° 56' | 83° 07' | 360 |
| -Limoncito | PG | 08° 51' | 83° 00' | 820 |
| -Maíz de Boruca | PG | 09° 01' | 83° 25' | 520 |
| -Las Mellizas | PG | 08° 52' | 82° 47' | 1420 |

Fuente: ICE, 1986.

1]

B : estaciones con otros instrumentos de medición climática.

PG: estaciones sólo con pluviógrafo.

Las estaciones de Bolivia, Buena Vista, San Jerónimo y Alto San Juan, pertenecen a la provincia de San José.

Las estaciones de Volcán de Buenos Aires, Potrero Grande, Ujarrás, Guácimo, Limoncito, Maíz de Boruca y Las Mellizas pertenecen a la provincia de Puntarenas.

Otros materiales utilizados fueron:

- Programa INDICE (índice de erosividad).
- Microcomputador IBM-XT del Proyecto Regional de Manejo Cuencas. Esta herramienta fue de suma importancia e imprescindible para el procesamiento de la cuantiosa información que comprendió las 1.132 lluvias erosivas, obtenidas de las bandas pluviográficas.
- Impresora, diskette, papel, cinta.
- Mapa de Isoyetas a escala 1:200.000.
- Hojas cartográficas del área de la cuenca.
- Planimetro.
- Equipo y materiales de dibujo.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Aplicación de la metodología de Wischmeier y Smith para la determinación del índice de erosividad "EI₃₀".

La determinación del índice de erosividad de la lluvia "EI₃₀" o factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo, se hizo de acuerdo al planteamiento propuesto por Wischmeier y Smith (1959).

Tal como señala la metodología propuesta, se utilizó sólo lluvias mayores de 13 mm y separada de otra por 6 horas para ser considerada una lluvia erosiva.

3.3.2 Selección de las estaciones pluviográficas y determinación del número de años de registro.

En la cuenca existen pluviógrafos de tipo diario, mensual y trimestral, lo requerido para el presente estudio son los pluviógrafos diarios, los cuales se seleccionaron de la siguiente manera:

1°. Utilizando el mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca, se observó la distribución de los pluviógrafos diarios, los mismos que cubren el área total de la cuenca.

2°. Se procedió a la observación de los años de registro, al mismo tiempo que se verifica la existencia de las bandas pluviográficas de cada estación.

3°. En las once estaciones seleccionadas, (figura 3) se buscaron uniformizar registros de los últimos años. Se encontró que todas las estaciones podrían presentar seis años de registros continuos y comunes, para los años (1980-1985). Esta uniformidad fue realizada buscando la posibilidad de comparación por condiciones ambientales similares.

3.3.3 Aplicación del programa "INDICE" para el cálculo del índice "EI₃₀" o factor R.

La determinación del índice R implica un trabajo repetitivo, muy continuo e intenso por lo cual se elaboró el programa "INDICE", obteniendo los valores de "EI₃₀", en unidades métricas. Originalmente la ecuación fue desarrollada en el sistema inglés, su conversión al sistema métrico, se muestra en el apéndice 1A.

El proceso de aplicación del programa "INDICE" es el siguiente:

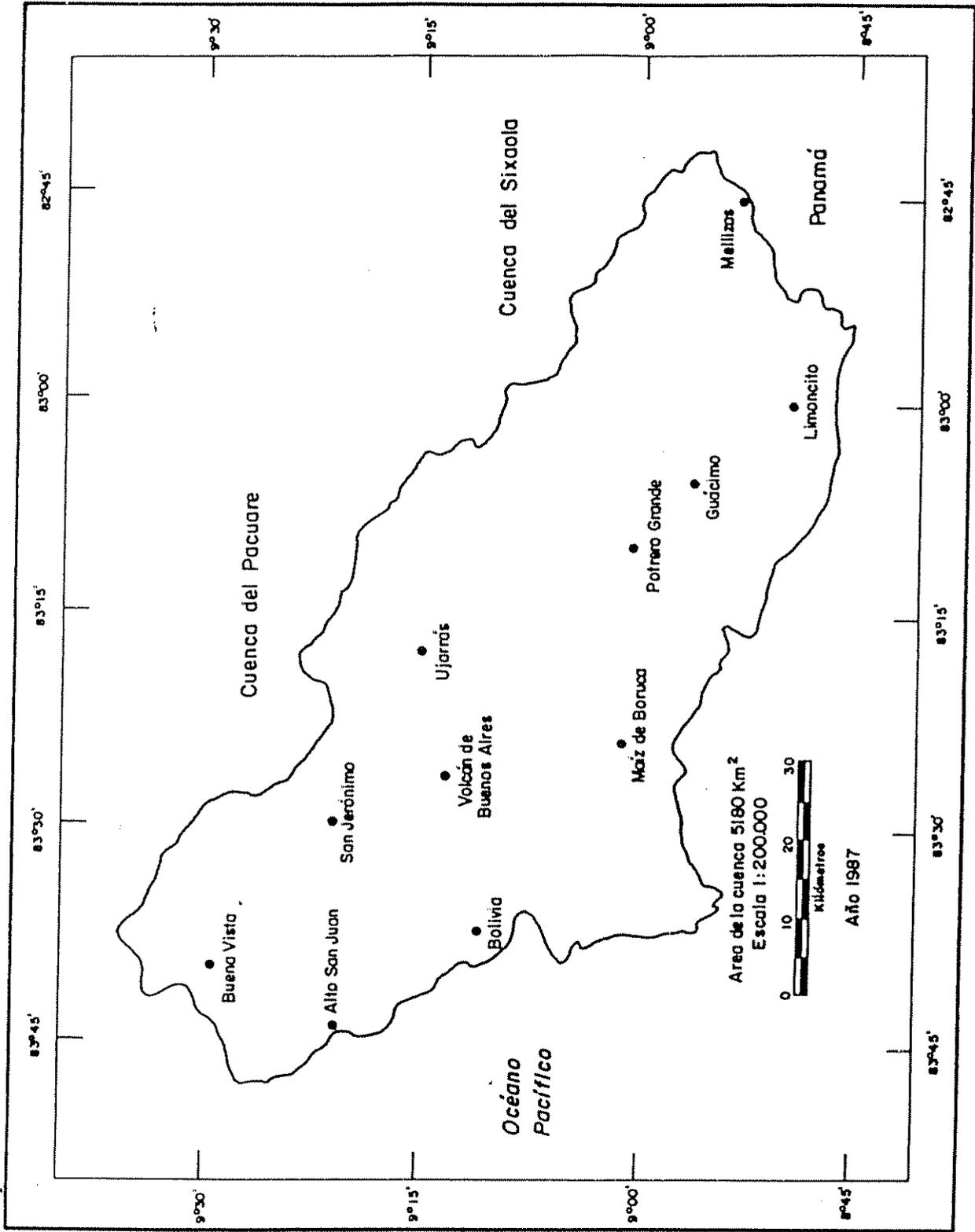


Figura 3. Localización de las estaciones pluviográficas seleccionadas para el estudio.

1°. Inicialmente de una banda pluviográfica, se registran las alturas de agua caídas (en mm) y tiempo (en min), en que la curva cambia de pendiente, siendo anotadas en los formularios, las mismas que constituyen los datos básicos.

2°. Se ingresa los datos básicos, al programa "INDICE", para calcular la intensidad respectiva en mm/hora, designado por I.

3°. Cálculo de la energía instantánea E_i , para cada intensidad I, hasta completar la duración total de la lluvia, empleando la ecuación :

$$E_i = 1,214 + 0,887 \log I; \quad \text{en } \text{kgm/m}^2/\text{mm}.$$

4°. Suma del valor de los productos de la energía calculada para cada intensidad por la cantidad en mm de lluvia caída en el respectivo período, determinando la energía total de la lluvia en kgm/m^2 y designado por E.

5°. Para hallar el valor I_{30} (máxima intensidad en 30 minutos) de cada lluvia, el programa selecciona el período de treinta minutos continuos donde se obtiene la mayor cantidad de lluvia precipitada.

6°. El producto de la energía total de lluvia E por I_{30} , representa el factor "R" o índice de erosividad de la lluvia.

7°. El promedio total anual de R, resulta de la suma de los valores " $E I_{30}$ " totales de cada año dividido por el número de años de estudio.

El listado del programa "INDICE" elaborado en lenguaje basic y una aplicación de cálculo se muestran en el apéndice 2A y cuadro 1A respectivamente.

3.3.4 Procedimiento para la elaboración del mapa de las isoerodentas.

Este mapa presenta líneas que unen puntos de igual capacidad erosiva de las lluvias. Dichas líneas se trazan cada 100 unidades interpolando los datos puntuales del valor del índice de erosividad "EI₃₀" o factor R, obtenido para cada estación pluviográfica, mediante el siguiente procedimiento:

1°. Se unen los valores de R de las estaciones adyacentes por medio de líneas rectas, las cuales dividen el área en una serie de triángulos. Se trazan mediatrices a cada trazo formando así, los polígonos (por el método de Thiessen), en la cual cada uno contiene una estación (figura 4), cada estación es representativa de la superficie que la rodea. (Linsley, et al. 1982).

2°. Para la interpolación se relaciona las condiciones locales representado básicamente por el mapa de isoyetas (figura 6A) y mediante la superposición, con los polígonos por estación, se pudo caracterizar y determinar áreas homogéneas que indican aproximadamente los límites para la interpolación con un comportamiento variable de R.

3°. En zonas no muy bien definidas por la anterior superposición, la interpolación de las líneas se realizó en base al siguiente criterio.

i. Para la zona que corresponde a una misma área de influencia de una estación, las líneas de interpolación siguen la misma tendencia y equidistancia, de la conocida para el área que comprende el polígono.

La utilización del mapa de isoyetas para la interpolación de las líneas de las isoerodentas, se apoyó por la

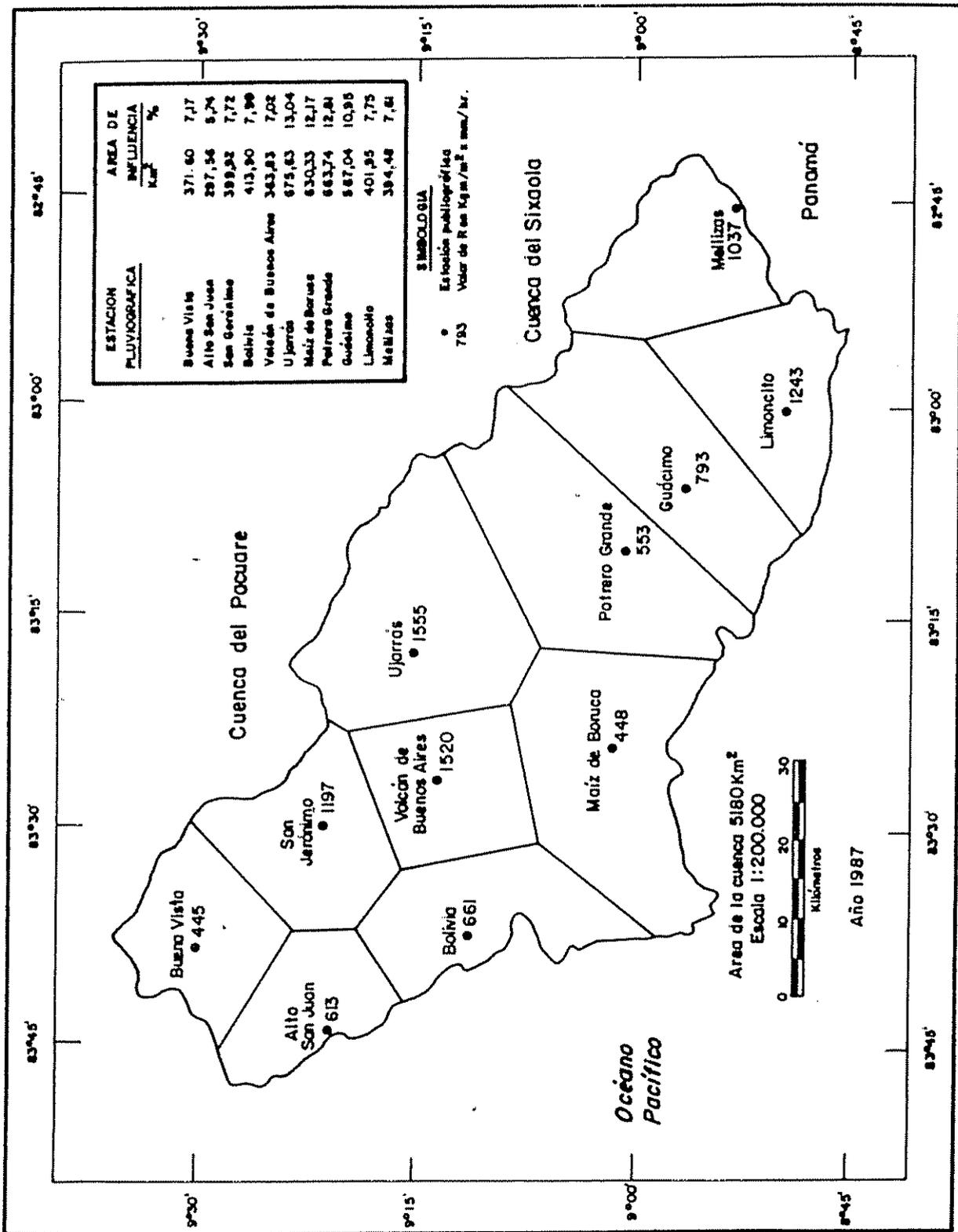


Figura 4. Areas de influencia por estación pluviográfica en la cuenca del río Grande de Térraba.

alta correlación que existe, entre los promedios anuales de precipitación con los valores de los índices de erosividad (R), en la cuenca.

3.3.5 El proceso de zonificación para la determinación de áreas críticas.

Las áreas potencialmente erosionables en la cuenca del río Grande de Térraba, se determinó fundamentalmente por el mapa de las isoerodentas, que apoyado a las condiciones de cobertura vegetal, suelos y pendientes, facilitó la zonificación de las áreas. Mediante el siguiente procedimiento:

1°. Superposición de un mapa base de la cuenca, al mapa de cobertura vegetal para determinar principalmente las áreas de bosques, que se consideran como zonas de menor riesgo erosivo al efecto de la capacidad erosiva de las lluvias.

2°. El mapa base anterior, se superpone al mapa de suelos, delimitando las diferentes unidades de suelo, la que se distribuyen en toda el área de la cuenca.

3°. Superposición del mapa base al mapa de pendientes. Cabe destacar que un mismo tipo de suelo presenta diferentes ámbitos de pendientes, por lo que se procede a su delimitación con base al valor dominante de la mayor pendiente.

Determinadas las zonas por las características de cobertura vegetal, suelos y pendientes que muestran áreas de mayor o menor riesgo sin relacionarla al efecto probable de los índices de erosividad, se procede a superponer estas características al mapa de las isoerodentas manteniendo el orden siguiente:

i). Las características de cobertura vegetal al mapa de las isoerodentas, determinan que las áreas de manglares, pantanos y áreas protegidas de bosques, significan un mínimo riesgo erosivo, ante un valor de R alto o bajo. Este riesgo señalado será dependiente de la composición del bosque en cuanto a la densidad, tipo, tamaño etc. y por la protección de la superficie del suelo por los rastrojos.

ii). Las áreas en cultivos y pastos indican riesgos muy variables y relacionado al mapa de suelos con respecto a las características físicas de alto grado de susceptibilidad a la erosión y mal drenaje, resultan áreas de mayores riesgos erosivos por las lluvias.

iii). Paralelamente al análisis anterior y en cada unidad de suelo considerado por el límite, se procede a la relación con las características de las pendientes, determinando un mayor riesgo erosivo, ante un valor mayor de pendiente.

4°. Integradas y relacionadas las áreas caracterizadas por la cobertura vegetal, tipo de suelo, pendiente dominante y valores específicos del índice de erosividad, se definen las áreas erosionables en tres categorías como:

i) áreas más críticas, ii) críticas y iii) menos críticas en base a las consideraciones más o menos desfavorables por los análisis anteriores.

3.3.6 Análisis de regresión del número de lluvias erosivas con los índices de erosividad de las lluvias.

Este análisis, se realizó con la finalidad de determinar la relación de mejor ajuste entre el número de lluvias erosivas con los valores obtenidos por estación de

los índices de erosividad o factor R. Se probaron con los modelos de regresión lineal, logarítmico y exponencial, en base a los siguientes pasos:

1°. Se grafica en escala aritmética el diagrama de dispersión correspondiente a la variable del número de lluvias erosivas (eje X), con los valores anuales de los índices de erosividad (eje Y).

2°. Se obtienen los parámetros de los estimadores por estación, que sirvió de base para determinar la influencia y relación que existe con respecto a la línea de regresión característica para la cuenca (determinada con base a la relación del número de lluvias erosivas con los índices de erosividad o valores R de todas las estaciones).

3°. Determinados los diagramas de dispersión por la distribución de las variables de cada estación, se procede a la categorización de los índices de erosividad por grupos, en función a la ubicación de sus valores promedios anuales con respecto a la línea de regresión característica de la cuenca.

4°. Estadísticamente mediante la prueba de Fisher (F) y para niveles de significancias seleccionadas, se determinó la probabilidad de repetirse cierta distribución de los eventos.

3.3.7 Análisis de regresión entre los valores altitudinales de los pluviógrafos, precipitación promedio anual y los índices de erosividad (R).

Mediante el análisis de regresión con el modelo lineal ($Y=a+bX$), se correlacionó los valores de los índices de erosividad o valores R, con los valores de la posición altitudinal de las estaciones pluviográficas y luego con los

valores de las precipitaciones promedios anuales (del mapa de isoyetas) que se utilizó como una herramienta para el trazo de las isoerodentas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Cobertura vegetal.

La cuenca del río Grande de Térraba, presenta tres grandes usos principales de la tierra. En el cuadro 10, se indica la distribución de la cobertura con sus áreas respectivas.

Cuadro 10. Distribución de la superficie de la cuenca, por grandes grupos de cobertura vegetal, año 1983.

| Categoría | Área km ² | Área (%) |
|------------------------|-------------------------|-------------|
| - Cobertura boscosa | 1.566,9 | 30,25 |
| - Cultivos y pastos | 3.443,2 | 66,47 |
| - Pantános y manglares | 169,9 | 3,28 |
| Total | 5.180 | 100 |

Asimismo en la figura 5, se muestra el mapa de la distribución de los grandes grupos de cobertura con un patrón de uso definido, observándose en la parte alta de la cuenca las áreas de cobertura boscosa, en la región media y baja las áreas de cultivo, pasto, manglares y pantanos.

Hasta 1983, dos de las tres partes (66,4 por ciento) de la superficie total de la cuenca, se manejan bajo cultivos anuales y permanentes, comprendiendo alrededor de un 46 por ciento en cultivos de yuca, algodón, hortalizas, piña, café, banano, etc. y aproximadamente un 20 por ciento en pastos, generalmente estos cultivos son establecidos sobre laderas con pendientes de 15 a 45 por ciento.

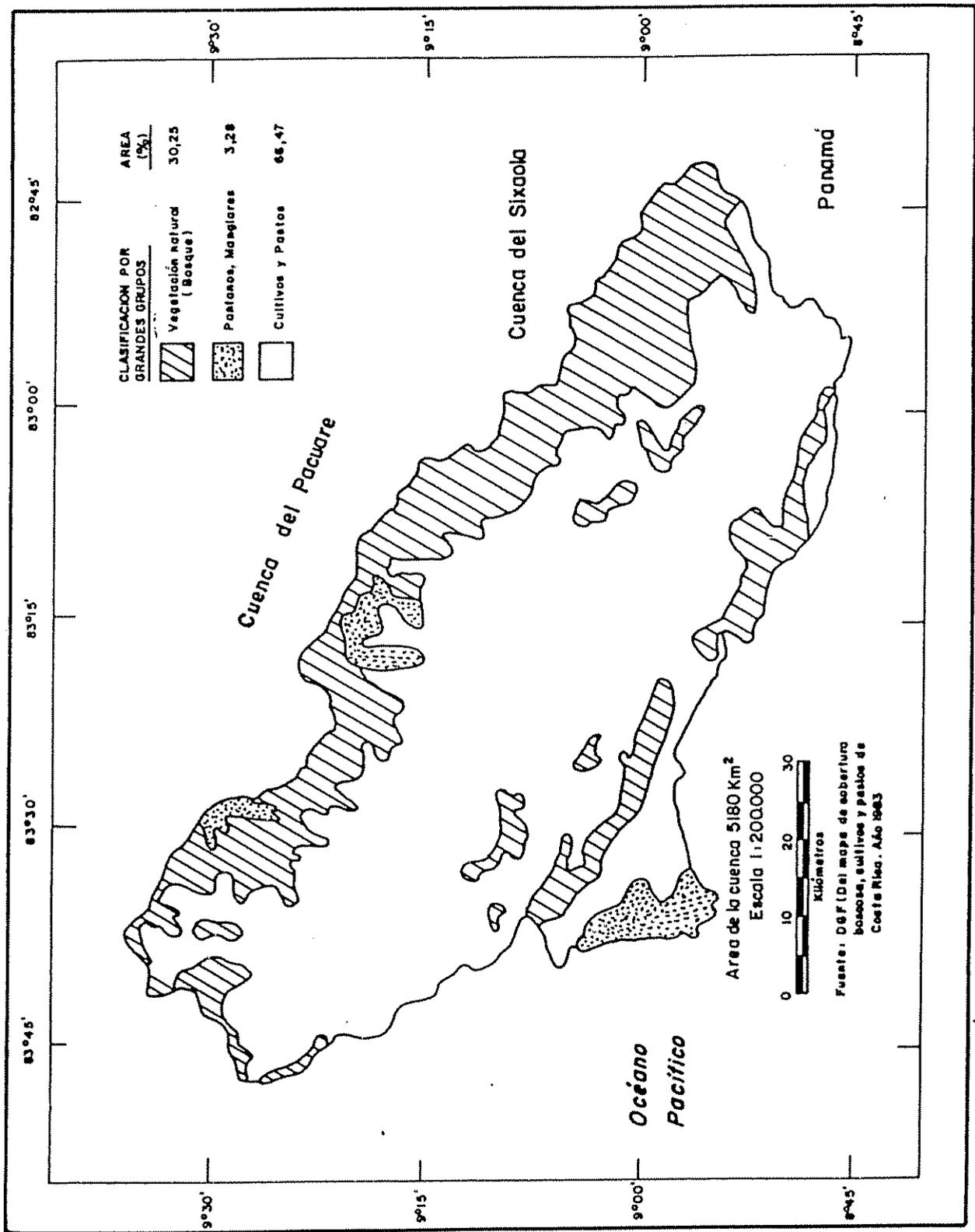


Figura 5. Distribución de los grupos de cobertura vegetal en la cuenca del río Grande de Terraba.

La cobertura de cultivos y pastos ofrecen menos protección, principalmente durante la etapa de establecimiento donde el suelo queda desprotegido y aún en la etapa de desarrollo, generalmente, quedan los espacios libres entre plantas, convirtiéndose en áreas más susceptibles a la erosión. Tal como se indicó anteriormente esta es un área predominante en la cuenca (66,4 por ciento).

En la parte alta de la cuenca predomina la cobertura boscosa que cubre alrededor de un 30,25 por ciento del área total, donde aproximadamente un 80 por ciento esta bajo cobertura natural en pendientes mayores a 45 por ciento.

El bosque se presenta como la mejor defensa natural del suelo contra la erosión, ya que disminuye grandemente el riesgo erosivo por impactos de las gotas de lluvias, interceptándolas y absorbiendo la energía de las mismas antes que actúe sobre la superficie. Las áreas de manglares y pantanos cubren aproximadamente el 3,28 por ciento, del área bajo pendientes de 0 a 5 por ciento.

4.2 Unidades de suelos.

La cuenca del río Grande de Térraba presenta una distribución dispersa de las unidades de suelos, el cuadro 11 muestra las diferentes tipos de unidades con algunas de sus características y áreas respectivas.

Cuadro 11. Distribución de las unidades de suelos en la cuenca del río Grande de Térraba.

| Tipo de suelo | símbolo | profundidad (cm) | pendiente (%) | Area km ² | (%) |
|------------------------|---------|------------------|---------------|----------------------|------|
| Ustoxic-Palehumult | U-2 | > 50 | 15-45 | 930,64 | 17,9 |
| Plinthic-Palehumult | U-3 | > 50 | 15-60 | 787,86 | 15,2 |
| Typic Tropohumult | U-4 | > 50 | 30-45 | 109,54 | 2,1 |
| *Andic-Humitropept | I-13 | > 50 | 15-45 | 857,31 | 16,6 |
| Andic-Humitropept | I-14 | > 50 | >30 | 1780,87 | 34,4 |
| Typic-Dystropept | I-26 | > 50 | 30-45 | 64,21 | 1,2 |
| Lithic-Dystropept | I-30 | < 50 | 45-60 | 423,07 | 8,3 |
| Fluvaquentic-Hapludoll | M-3 | > 50 | 0-15 | 86,87 | 1,7 |
| Typic Sulfaquent | E-6 | > 50 | 0-5 | 139,65 | 2,7 |

*Unidad de suelo sin ninguna asociación.

En el mapa de suelos figura 6, se observa que la unidad de suelo predominante es el Andic Humitropept (I-14), que comprende aproximadamente el 34,4 por ciento del área total. Esta unidad se localiza principalmente en toda la región alta de la cuenca coincidiendo con la cordillera de Talamanca, con áreas de cobertura boscosa, se caracterizan por presentar de media a alta susceptibilidad a la erosión que indican presencia de erosión por surcos y cárcavas, pendientes mayores a 45 por ciento, y profundidades mayores de 50 cm, por la presencia de una alta cobertura boscosa se define que un buen porcentaje de estos suelos están bien protegidos.

Las unidades de suelo: Ustoxic Palehumult (U-2), Plinthic-Palehumult (U-3) y el Andic Humitropept (I-13), cubren aproximadamente la mitad del área total de la cuenca (49,17 por ciento), localizados en la parte central y baja de la cuenca, cubiertos en su mayor parte por pastos y cultivos con características de susceptibilidad a la erosión de media

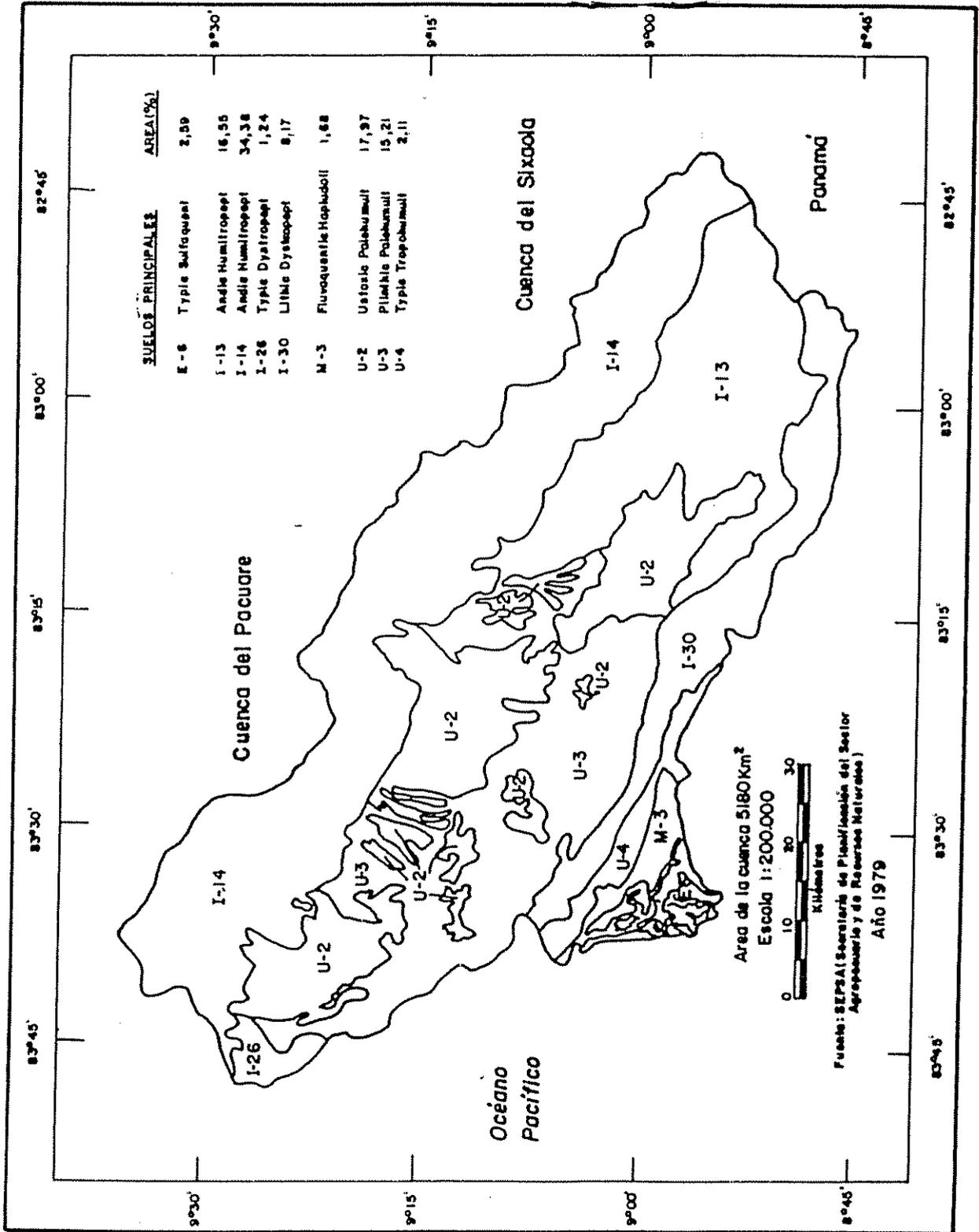


Figura 6. Distribución de las unidades de suelos en la Cuenca del río Grande de Térraba.

a alta (erosión en surcos y cárcavas), pendientes de 15 a 45 por ciento, textura fina a media (arcilla y limo) que tienden a compactarse fácilmente por efectos de los impactos de las gotas de lluvia implicando mayor peligro a la erosión.

Las unidades Typic-Tropohumult (U-4), Typic-Dystropept (I-26), Lithic-Dystropept (I-30), Fluvaquentic-Hapludoll (M-3), Typic Sulfaquent (E-6), comprenden aproximadamente el 16 por ciento del área de la cuenca y cubren pequeñas áreas de bosque, manglares, pantanos, cultivos y pastos.

4.3 Pendientes

La fisiografía del área de la cuenca del río Grande de Térraba, es muy variable, predominando los paisajes montañosos. La atravieza longitudinalmente la cadena montañosa de la cordillera de Talamanca y una parte de la región Sur por la cordillera Costeña. Dentro de las condiciones topográficas de la cuenca se consideró cinco categorías de pendientes, calificados según su valor. El cuadro 12, muestra las distribución de las categorías de pendientes en porcentajes con sus áreas respectivas.

Cuadro 12. Distribución de las categorías de pendientes en la cuenca del río Grande de Térraba.

| Simbolo | pendiente (%) | Descripción | Area km ² | (%) |
|----------------|---------------|-----------------|----------------------|-----|
| A ^o | 0 - 5 | plano | 51,8 | 1 |
| A | 5 - 15 | plano ondulado | 51,8 | 1 |
| B | 15 - 30 | accidentado | 984,2 | 19 |
| C | 30 - 45 | muy accidentado | 2.072,0 | 40 |
| D | 45 - 60 | quebrado | 1.087,0 | 21 |
| E | más de 60 | muy quebrado | 932,4 | 18 |

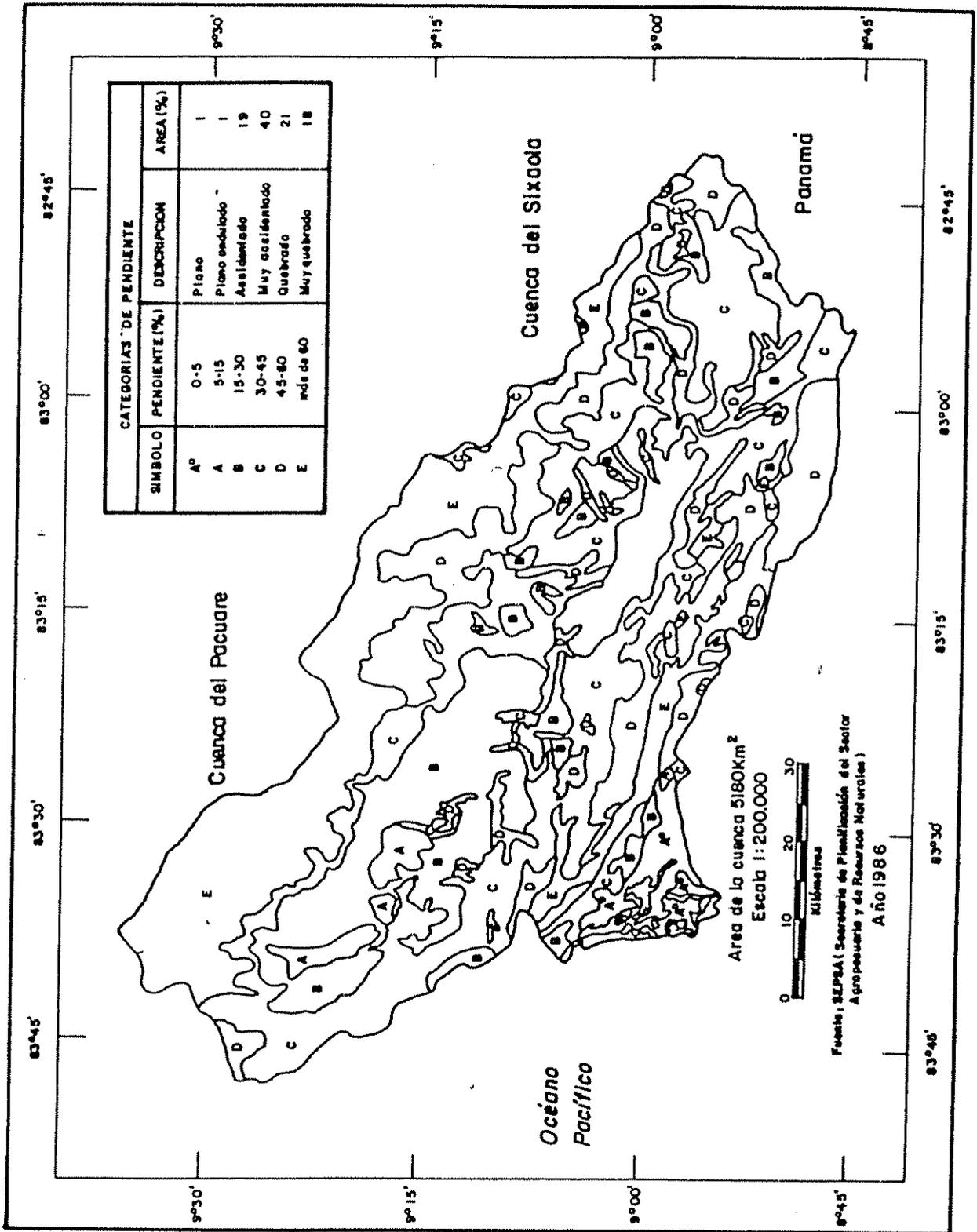


Figura 7. Distribución de las categorías de pendiente en la cuenca del río Grande de Térraba.

En la figura 7 se presenta las categorías de pendientes, distribuidos de la siguiente manera:

Las áreas de 0 a 15 por ciento de pendiente son casi planas, cubren aproximadamente el 2 por ciento del área total y se concentran en la parte baja de la cuenca, cerca al mar.

Las áreas de 15 a 45 por ciento de pendiente son consideradas como zonas accidentadas a muy accidentadas, comprendiendo un área de aproximadamente un 59 por ciento, localizados mayormente en la región central y baja de la cuenca, con coberturas de pastos y cultivos.

Las áreas con pendientes mayores a 45 por ciento ocupan aproximadamente un 39 por ciento del área total de la cuenca, y en su mayoría cubren a suelos con cobertura boscosa.

Nótese que aproximadamente el 79 por ciento del área total presentan pendientes mayores de 30 por ciento y sólo un 21 por ciento del área corresponde a pendientes menores de 30 por ciento, lo que implica una gran limitante para el manejo de los cultivos y la necesidad de aplicar las prácticas de conservación para controlar los efectos erosivos de las lluvias.

4.4 Los índices de erosividad o factor R de las lluvias y el trazo de las isoerodentas.

En el cuadro 13, se presentan los resultados obtenidos de los totales y los promedios anuales de los índices de erosividad y del número de lluvias erosivas, para cada estación pluviográfica durante el período de estudio (1980-1985).

Cuadro 13. Indices de erosividad de las lluvias y número de lluvias erosivas (total y promedio anual) en las estaciones pluviométricas de estudio.

| Est. Años | Buena Vista | | Alto San Juan | | San Jerónimo | | Bolívia | | Voicán de Buenos Aires | | Ujarrés | | Maíz de Boruca | | Potrero Grande | | Guácimo | | Limoncito | | Las Heliñas | |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | R total anual | Nº de eventos | R total anual | Nº de eventos | R total anual | Nº de eventos | R total anual | Nº de eventos | R total anual | Nº de eventos | R total anual | Nº de eventos | R total anual | Nº de eventos | R total anual | Nº de eventos |
| 1980 | 495,595 | 9 | 1.029,65 | 15 | 1.728,89 | 18 | 381,715 | 12 | 1.325,821 | 19 | 1.346,07 | 23 | 658,204 | 10 | 274,735 | 8 | 1.268,935 | 22 | 1.361,319 | 25 | 991,168 | 13 |
| 1981 | 608,338 | 12 | 251,22 | 7 | 775,98 | 15 | 970,377 | 11 | 2.505,569 | 29 | 2.477,407 | 26 | 612,469 | 9 | 1.055,067 | 14 | 843,978 | 20 | 1.423,59 | 32 | 1.056,049 | 15 |
| 1982 | 531,64 | 8 | 461,68 | 14 | 859,55 | 19 | 735,982 | 12 | 1.063,869 | 19 | 1.783,847 | 17 | 404,609 | 13 | 258,94 | 11 | 580,078 | 15 | 967,34 | 19 | 1.577,639 | 21 |
| 1983 | 257,228 | 9 | 586,21 | 12 | 959,04 | 19 | 612,51 | 10 | 2.176,47 | 26 | 1.615,74 | 21 | 432,812 | 14 | 576,357 | 13 | 605,162 | 14 | 1.767,815 | 25 | 985,473 | 16 |
| 1984 | 558,106 | 14 | 706,56 | 13 | 1.201,19 | 18 | 865,869 | 12 | 859,22 | 18 | 959,14 | 19 | 322,035 | 10 | 724,101 | 13 | 784,308 | 18 | 868,105 | 15 | 1.094,895 | 20 |
| 1985 | 221,051 | 11 | 641,28 | 10 | 1.658,54 | 16 | 402,338 | 9 | 1.189,314 | 17 | 1.147,805 | 19 | 500,601 | 10 | 432,589 | 9 | 778,806 | 18 | 1.072,58 | 16 | 517,497 | 15 |
| SUMA TOTAL | 2.672,02 | 63 | 3.678,63 | 71 | 7.183,19 | 105 | 3.968,79 | 66 | 9.120,26 | 128 | 9.330,01 | 135 | 2.930,73 | 66 | 3.321,78 | 68 | 4.761,26 | 107 | 7.469,75 | 132 | 6.222,52 | 100 |
| PROM. anual | 445,34 | 10 | 613,11 | 11 | 1.197,19 | 17 | 661,47 | 11 | 1.520,05 | 21 | 1.555,00 | 20 | 488,45 | 11 | 553,63 | 11 | 793,54 | 17 | 1.243,46 | 22 | 1.037,09 | 16 |

Como se puede observar el valor promedio anual más alto del índice de erosividad corresponde a la estación Ujarrás con $1.555 \text{ kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$, el más bajo ocurre en la estación Buena Vista con $445 \text{ kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$.

En la figura 8, se presenta el mapa de la cuenca con los valores de los índices de erosividad o factor R, en cada estación pluviográfica.

La hipótesis planteada es probada, por la amplia variación de los índices de erosividad en toda el área de la cuenca, lo que permitió el trazo de las isoerodentas mediante la interpolación de dichos valores, para ello se complementó con el mapa de las isoyetas, la que se consideró como confiable por la alta asociación ($r=0,82$), existente entre los promedios anuales de precipitación con los valores de los índices de erosividad. La relación con los valores de ubicación altitudinal (m.s.n.m.) de los pluviógrafos fue descartada por la baja asociación que resultó ($r=-0,10$), como se observa en la figura 9.

4.5 El mapa de las isoerodentas.

La figura 10, muestra el mapa de las isoerodentas con líneas de igual potencialidad erosiva de las lluvias, las cuales fueron interpoladas cada 100 unidades de R, que se distribuyen con las siguientes tendencias. Las curvas de las isoerodentas que oscilan de 700 a 1.100 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$), atraviezan longitudinalmente la cuenca. Para otros sectores las variaciones en las tendencias de las curvas se aproximan entre 300 a 600 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$) por las estaciones Buena Vista y Alto San Juan, entre 400 a 600 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$) por las estaciones de Maiz de Boruca y Potrero Grande, entre 1.200 a 1.500 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$) por las estaciones San Jerónimo, Volcán de Buenos Aires y Ujarrás y entre 1.200 a

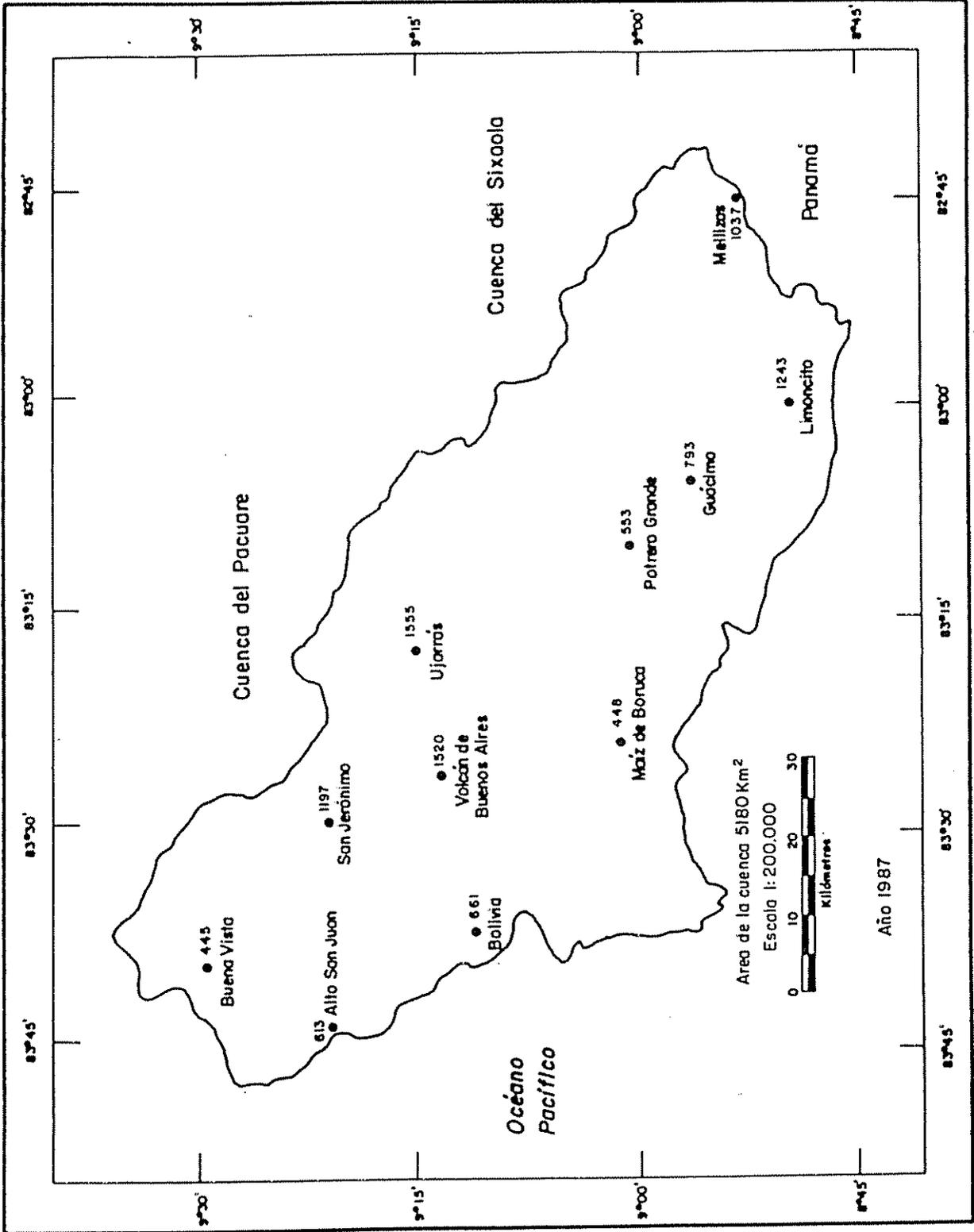


Figura 8. Distribución de los índices de erosividad en las estaciones pluviográficas.

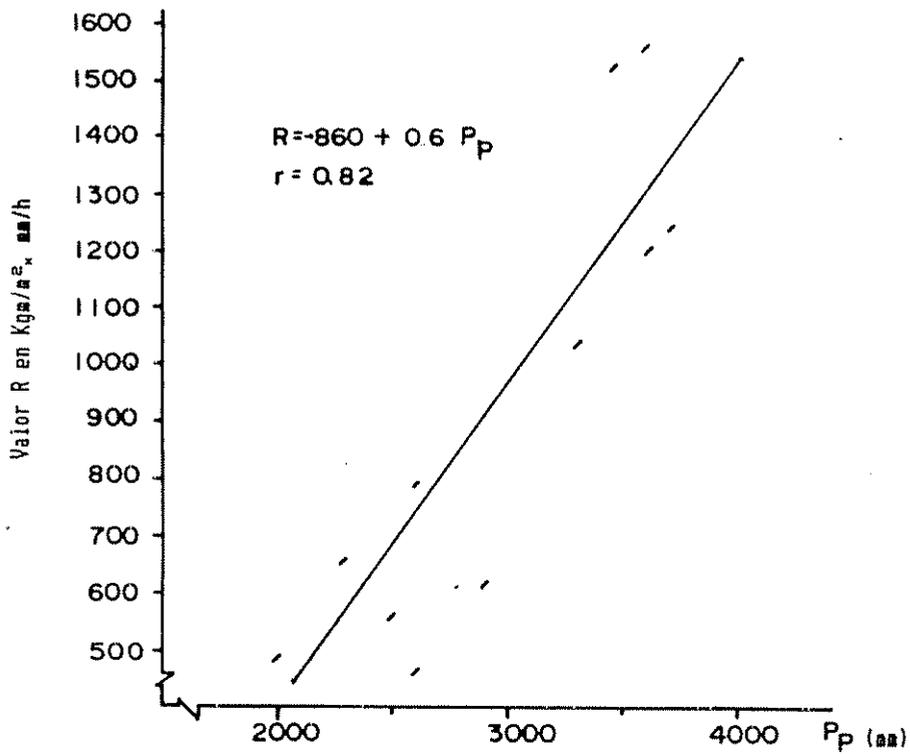
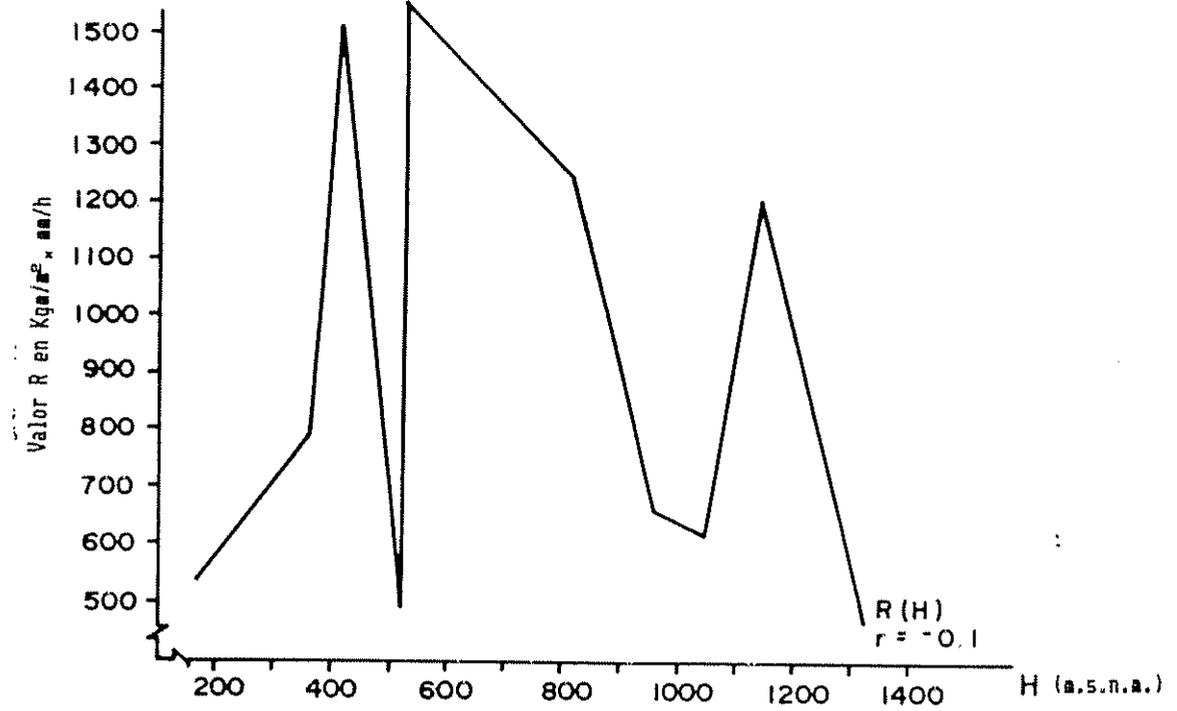


Figura 9. Diagrama de dispersión entre los valores altitudinales de los pluviógrafos, precipitación promedio anual y los índices de erosividad.

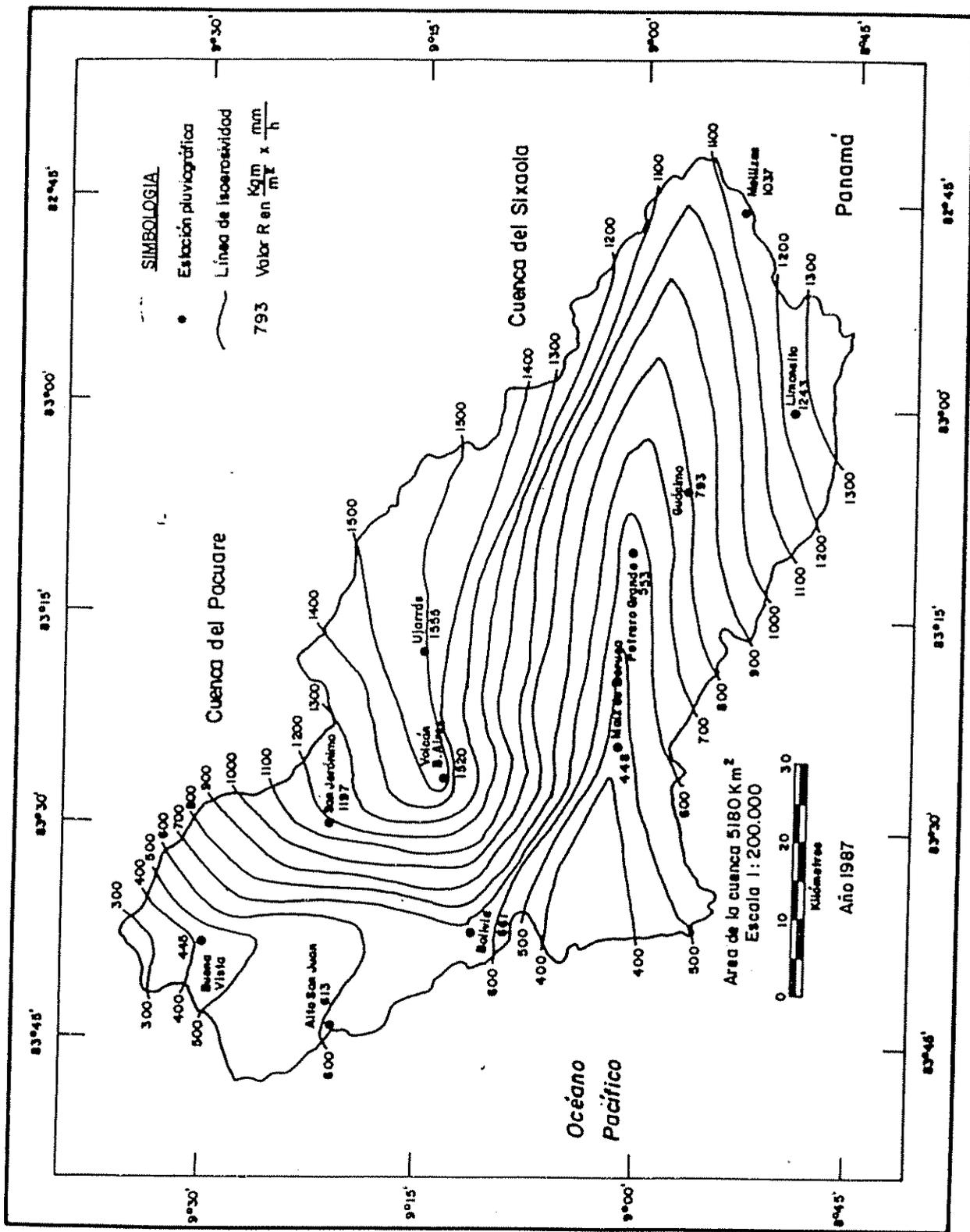


Figura 10. Líneas de igual potencialidad erosiva de las lluvias (isoserodentas).

1.300 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$) por la estación Limoncito.

Las zonas de mayor potencial erosivo de las lluvias coinciden con la posición de la cordillera de Talamanca, los que corresponden a lugares de las estaciones: San Jerónimo, Volcán de Buenos Aires, Ujarrás y Las Mellizas, con promedios de índices de erosividad iguales a: 1.197, 1.520, 1.555 y 1.037 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$), respectivamente.

Las zonas de menor potencial erosivo de las lluvias, coincide con áreas cercanas a la Vertiente del Pacífico, donde se ubican las estaciones de Alto San Juan, Bolivia, Maíz de Boruca, Potrero Grande y Guácimo, con promedios de índices de erosividad iguales a: 613, 448, 558 y 793 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$), respectivamente.

Para las estaciones de Buena Vista y Limoncito con valores promedios de índices de erosividad igual a 445 y 1.243 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$) se presenta una situación inversa a lo señalado.

Lo anterior es un indicativo de las influencias atmosféricas locales y de las características fisiográficas. Como se observa los mayores valores de R ocurren en las zonas montañosas, esto posiblemente por la influencia de los vientos alisios que trasladan grandes masas nubosas hacia las montañas donde ocurren las precipitaciones orográficas con altas intensidades y mayores valores de índice de erosividad.

4.6 Variación de los índices de erosividad en función del número de lluvias erosivas y su categorización por grupos.

Para la mayoría de las estaciones el modelo resultante de mejor ajuste que caracterizó la asociación del número de

lluvias erosivas con los valores anuales de los índices de erosividad o valores R fue lineal. Para los modelos logarítmico y exponencial la asociación fue menor ($r=0,44$).

En la figura 11 se presenta el diagrama de dispersión entre dichas asociaciones. Asimismo se muestra la categorización por grupos de los índices de erosividad, basados en la ubicación de sus promedios con respecto a la línea de regresión característica de la cuenca.

En el cuadro 14 se indica la categorización de los índices de erosividad o factor R, los resultados del análisis de regresión por estación (coeficientes a y b, r, r^2 , la prueba de Fischer (F) con diferentes niveles de probabilidad), ámbitos de los índices de erosividad, el promedio anual y el número de lluvias erosivas.

Para el análisis de la prueba F, se consideró como aceptable un nivel de probabilidad mayor de 75 por ciento. Este nivel de aceptación se tomó debido a la distribución errática de las lluvias, dado en el periodo de estudio (1980-1985).

Para dicho análisis se plantearon las siguientes hipótesis.

H_0 = La asociación entre el número de lluvias erosivas e índice de erosividad o factor R, siguen una tendencia lineal, con una probabilidad mayor al 75% de repetirse.

H_a = La asociación entre el número de lluvias erosivas e índice de erosividad o factor R, no siguen una tendencia lineal, con una probabilidad mayor al 75% de repetirse.

A continuación se presenta la descripción de los grupos

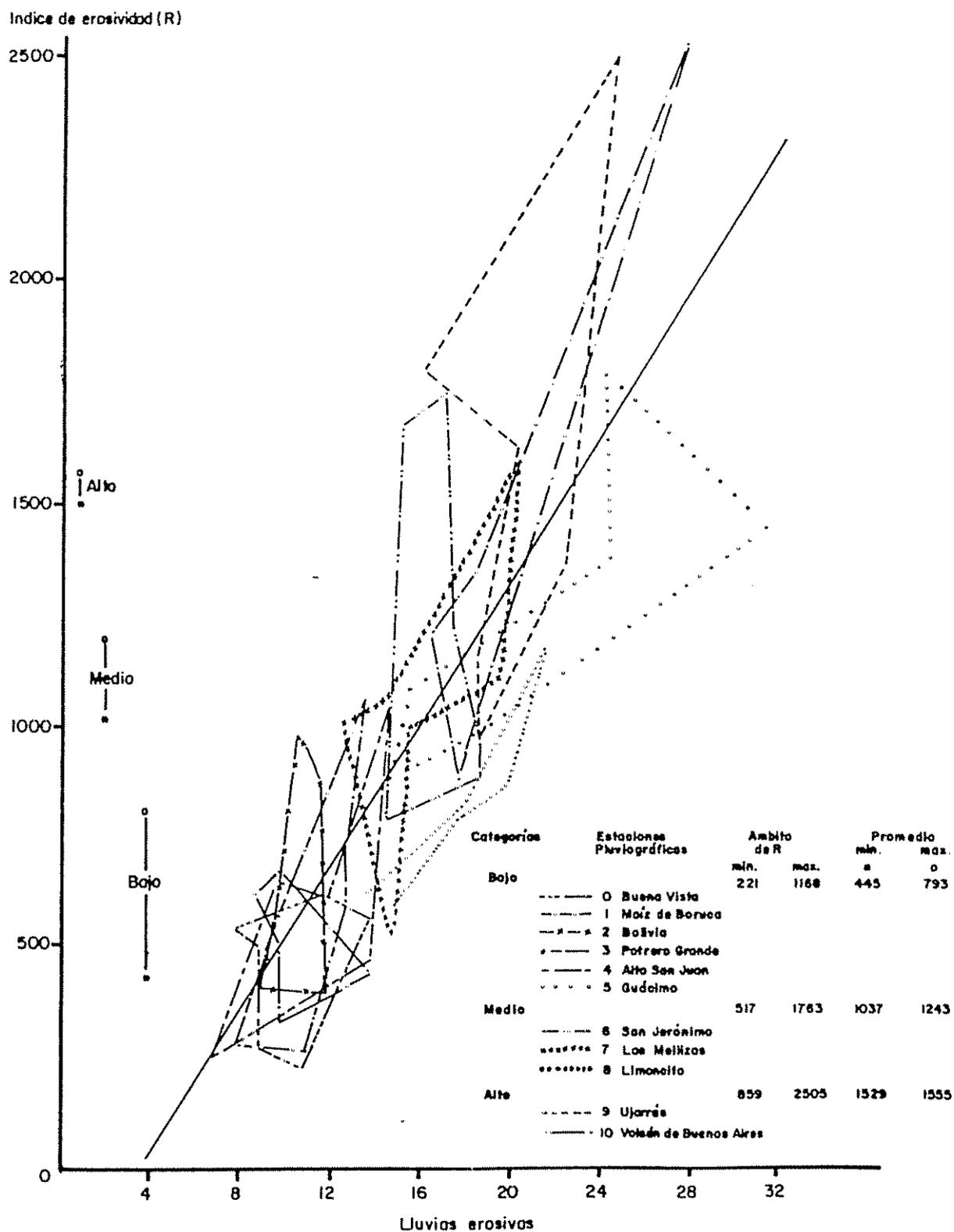


Figura 11. Asociación entre el número de lluvias erosivas con los valores anuales de los índices de erosividad o valores R.

Cuadro 14. Categorización de los índices de erosividad y características de la línea de regresión para cada estación estación pluviográfica y para la cuenca.

| GRUPO POR VALORES DE R | Nombre de la estación | Valor de a | Coeficiente de regresión (b) | Coeficiente de correlación (r) | Coeficiente de determinación (r ²) | Prueba de F | Promedio anual de erosividad (R) | Valores del índice de erosividad evento | |
|------------------------|----------------------------------|------------|------------------------------|--------------------------------|--|-------------|----------------------------------|---|------------|
| | | | | | | | | min. -max. | min. -max. |
| | Buena Vista | 231,9 | 20,32 | 0,28 | 0,08 | - | 445 | 221 - 608 | 8 - 14 |
| | Maiz de Boruca | 817,4 | 29,91 | 0,47 | 0,22 | - | 448 | 322 - 658 | 9 - 14 |
| | Alto San Juan | -158,6 | 65,21 | 0,73 | 0,54 | * | 613 | 251 - 1.029 | 7 - 15 |
| GRUPO I | Potrero Grande | -593,0 | 101,23 | 0,81 | 0,65 | * | 553 | 258 - 1.055 | 8 - 14 |
| R - BAJO | Guácimo | -398,2 | 66,83 | 0,94 | 0,89 | * | 793 | 580 - 1.168 | 14 - 22 |
| | Bolivia | -117,3 | 70,80 | 0,37 | 0,14 | - | 661 | 381 - 970 | 9 - 12 |
| | San Jerónimo | 1.501,6 | 17,40 | 0,07 | 0,0046 | - | 1.197 | 775 - 1.728 | 15 - 19 |
| GRUPO II | Mellizas | -169,7 | 72,41 | 0,67 | 0,45 | - | 1.037 | 517 - 1.577 | 13 - 21 |
| R - MEDIO | Limoncito | 391,5 | 38,72 | 0,75 | 0,56 | - | 1.243 | 868 - 1.767 | 15 - 32 |
| | Ujarrás | -528,9 | 100 | 0,60 | 0,36 | - | 1.555 | 959 - 2.477 | 17 - 26 |
| GRUPO III | Volcán de Buenos Aires | -1.253,1 | 129,99 | 0,96 | 0,93 | * | 1.520 | 859 - 2.505 | 17 - 29 |
| R - ALTO | Cuenca del río Grande de Terraba | -306,30 | 78,25 | 0,86 | 0,74 | * | - | 191 - 2.505 | 7 - 32 |

* Valor significativo.

por valores promedios de los índices de erosividad o valores R.

4.6.1 Descripción de la categoría del Grupo I : De valor R bajo.

En este grupo, se encuentran las estaciones pluviográficas de Buena Vista, Maíz de Boruca, Alto San Juan, Potrero Grande, Guácimo y Bolivia.

Los coeficientes de correlación (r) resultantes son: 0,28, 0,48, 0,73, 0,81, 0,94 y 0,37 y los coeficientes de regresión (b) son: 20,3, -20,1, 65,2, 101,2, 66,8 y 70,8, respectivamente.

En la figura 11, se observa que la asociación del número de lluvias erosivas con los valores de los índices de erosividad o valores R, de las estaciones de Buena Vista y Maíz de Boruca, se presentan mediante una agrupación local con respecto a la tendencia de la línea de regresión característica para la cuenca, con un número de 8 a 14 lluvias erosivas, ocurre lo contrario para las estaciones de Alto San Juan, Potrero Grande, Guácimo y Bolivia, que presentan valores más dispersos y definidos con respecto a la línea de regresión de la cuenca. Por el coeficiente de regresión (b), la estación Potrero Grande presenta los valores de los índices de erosividad o valor R más agresivos al incrementarse en una unidad el número de lluvias erosivas.

En relación con los otros grupos, estas estaciones presentan ámbitos de valores promedios del índice de erosividad entre 445 a 793 y se ubican en la parte inferior de la línea de regresión característica de la cuenca, aunque presentan ámbitos de R entre 221 a 1.168. A este grupo se le denomina de valor R Bajo.

Mediante la prueba de F, con un nivel de probabilidad 0,75 resultaron significativos los valores de las estaciones: Alto San Juan, Potrero Grande y Guácimo, por la tendencia definida de las asociaciones, ocurriendo lo contrario para las estaciones de Buena Vista, Maíz de Boruca y Bolivia que presentan una distribución local de las asociaciones sin tendencia.

4.6.2 Descripción de la categoría del Grupo II : De valor R medio.

En este grupo se encuentran las estaciones de San Jerónimo, Las Mellizas y Limoncito.

Los coeficientes de correlación (r) son: 0,07, 0,67, 0,75 y los coeficientes de regresión (b) son: -17,4, 72,4 y 38,7 respectivamente.

En la figura 11, se observa que la asociación del número de lluvias erosivas con los valores de los índices de erosividad o valores R, presentan una distribución dispersa con respecto a la tendencia de la línea de regresión característica para la cuenca. El número de lluvias que ocurren es de 13 a 32 lluvias. Por el coeficiente de regresión (b), la estación Las Mellizas, presenta los valores de R más agresivos al incrementarse en una unidad el número de lluvias erosivas.

Los valores promedios de los índices de erosividad para dichas estaciones están entre 1.037 a 1.243 y ocupan la región media con respecto a la línea de regresión característica de la cuenca, aunque presentan ámbitos de valores de R entre 517 a 1.763. A este grupo se le denomina de valor R Medio.

Mediante la prueba de F, con un nivel de probabilidad 0,75, resultaron significativos los valores de las estaciones Las Mellizas y Limoncito, debido a la tendencia definida de la asociación, ocurriendo lo contrario para la estación San Jerónimo, donde los valores de la asociación se encuentran más concentrados y sin tendencia.

4.6.3 Descripción de la categoría del Grupo III: De valor R alto.

En este grupo se encuentran las estaciones pluviográficas de Ujarrás y Volcán de Buenos Aires.

Los coeficientes de correlación (r) resultantes son: 0,6 y 0,96 y los coeficientes de regresión son: 100 y 129,9.

En la figura 11, se observa que la asociación del número de lluvias erosivas con los valores del índice de erosividad, o valores R con respecto a la línea de regresión característica de la cuenca, están dispersos presentando un ámbito de 17 a 29 lluvias erosivas. Por el coeficiente de regresión (b), la estación Volcán de Buenos Aires, presenta valores de los índices de erosividad más agresivos al incrementarse en una unidad el número de lluvias erosivas.

Los valores promedios de los índices de erosividad comprenden valores de 1.529 a 1.555 y se ubican en la parte superior de la línea de regresión de la cuenca, aunque presentan ámbitos de R entre 859 a 2.505. A este grupo se le denomina de valor R alto.

Mediante la prueba de F, con un nivel de probabilidad 0,75, resultaron significativos los valores de las estaciones Ujarrás y Volcán de Buenos Aires, las mismas que presentan una tendencia definida de las asociaciones con respecto a la línea de regresión.

4.7 Areas potencialmente erosionables

La determinación de las áreas nominadas como: a) más crítica, b) crítica y c) menos crítica, que se presenta en el mapa de la distribución de áreas potencialmente erosionables (figura 12), se realizó con base a una consideración relativa de comparación, principalmente por los comportamientos variables de los índices de erosividad o valores R (representado en el mapa de las isoerodentas), resultando que a mayor valor R corresponden áreas de alto riesgo erosivo por efectos de las lluvias, dichos efectos pueden variar en función de las condiciones presentes de cobertura, características del suelo y pendientes, lo que determina las diferentes categorizaciones por condiciones de estados de las áreas (cuadro 15), la cuantificación de dichas áreas se muestran en el cuadro 16.

Dentro de una unidad de suelo, la condición de área más crítica determina zonas más susceptibles a la erosión, principalmente por la capacidad erosiva de las lluvias, que es diferente para las otras unidades que también presentan áreas nominadas como más críticas, por las características diferentes entre las mismas unidades de suelos.

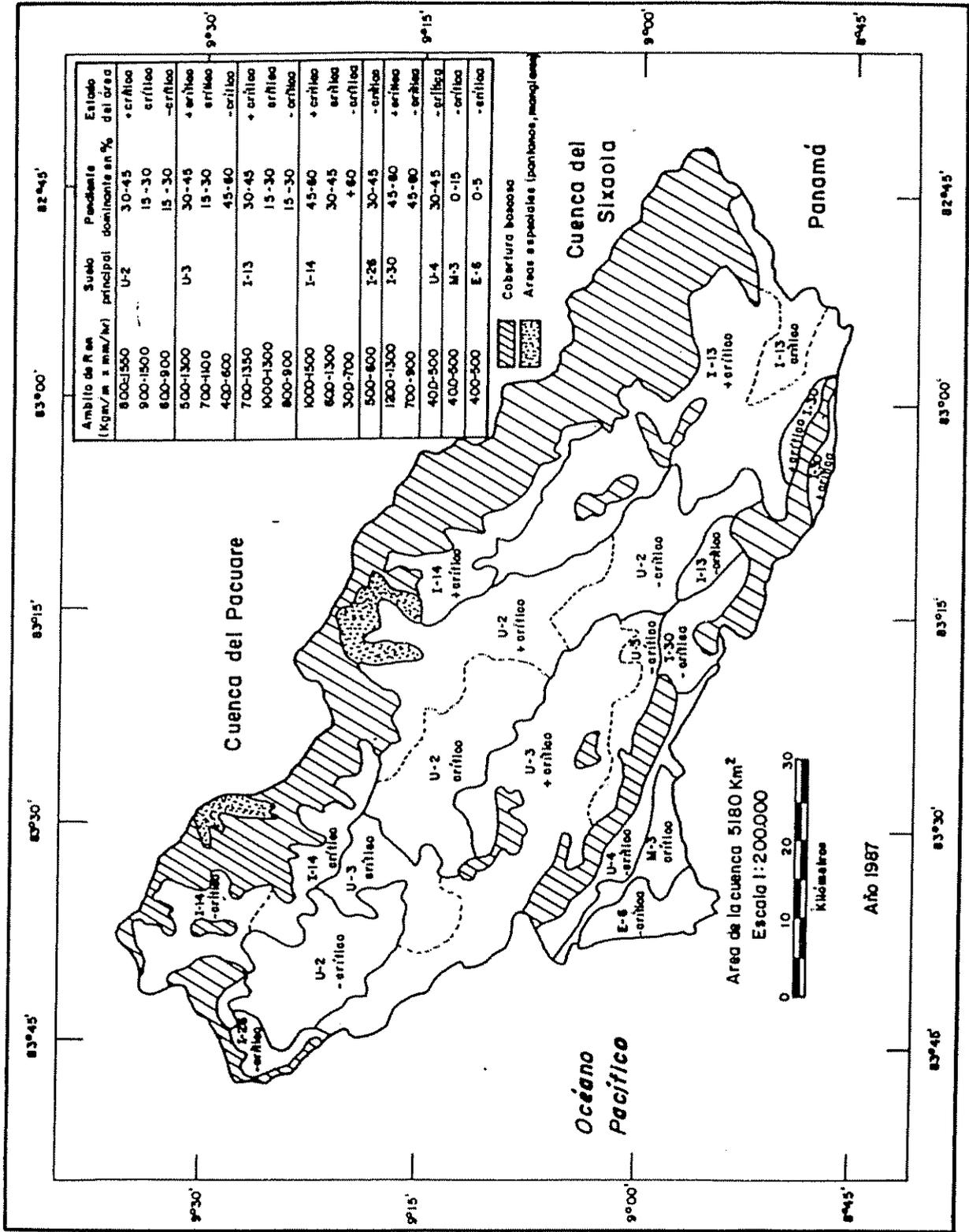


Figura 12. Distribución de áreas potencialmente erosionales, en la cuenca del río Grande de Térraba.

Cuadro 15. Categorización de las áreas, según ámbitos de los índices de erosividad o valor R, unidades de suelos y ámbitos de pendientes, bajo cobertura de pastos y cultivos.

| Ambito de R (kgm/m ² *mm/h) | Suelo principal (simbología) | Ambito de pendiente(%) | Estado del área |
|---|---------------------------------|---------------------------|--------------------|
| | Ustoxic Palehumult (U-2) | | |
| 800-1550 | | 30 - 45 | +critica |
| 900-1500 | | 15 - 30 | critica |
| 600-900 | | 15 - 30 | -critica |
| | Plinthic Palehumult (U-3) | | |
| 500-1300 | | 30 - 45 | +critica |
| 700-1100 | | 15 - 30 | critica |
| 400-600 | | 45 - 60 | -critica |
| | Andic Humitropept (I-13) | | |
| 700-1350 | | 30 - 45 | +critica |
| 1000-1300 | | 15 - 30 | critica |
| 800-900 | | 15 - 30 | -critica |
| | Andic Humitropept (I-14) | | |
| 1000-1500 | | 45 - 60 | +critica |
| 600-1300 | | 30 - 45 | critica |
| 300-700 | | > 60 | -critica |
| | Typic Dystropept (I-26) | | |
| 500-600 | | 30 - 45 | -critica |
| | Lithic Dystropept (I-30) | | |
| 1200-1300 | | 45 - 60 | +critica |
| 700-900 | | 45 - 60 | -critica |
| | Typic Tropohumult (U-4) | | |
| 400-500 | | 30 - 45 | -critica |
| | Fluvaquentic Hapludoll (M-3) | | |
| 400-500 | | 0 - 15 | -critica |
| | Typic Sulfaquent (E-6) | | |
| 400-500 | | 0 - 5 | -critica |

El cuadro 16, presenta la distribución de las áreas por cobertura y las categorías de riesgo para las zonas bajo cultivos y pastos.

Cuadro 16. Distribución de las áreas por categorías, según condiciones de estado, en la cuenca del río Grande de Térraba.

| Categorías | Area | |
|---|-----------------|--------------|
| | km ² | % |
| + crítica* | 1.628,6 | 31,4 |
| crítica* | 676,1 | 13,0 |
| - crítica* | 1.205,6 | 23,2 |
| Áreas de cobertura boscosa | 1.566,9 | 30,2 |
| Áreas especiales (pantanos y manglares) | 102,5 | 1,9 |
| Total | 5.180,0 | 100,0 |

* áreas bajo cultivos y pastos.

Como se puede observar, aproximadamente la mitad del área de la cuenca (44,4%), bajo cobertura de pastos y cultivos, comprende las condiciones de áreas críticas a más críticas, donde los valores de R son altos (de 600 a 1.550), pendientes pronunciadas (de 15 a 60%), suelos de textura media (arcilla y limo), drenaje medio, susceptibilidad a la erosión de media a alta (erosión en surcos y cárcavas) y profundidad del suelo mayor de 50 cm.

Las áreas de cobertura boscosa juegan un papel importante, ante la energía de las lluvias, consideradas como zonas de menor riesgo erosivo ante un valor de R alto o bajo, dependiendo de la composición del bosque de acuerdo al tipo, y tamaño, densidad, especie etc., consideración adoptada también para las zonas de manglares y pantános.

4.8 Distribución promedio mensual de los índices de erosividad por estación pluviográfica.

A continuación, en los cuadros 17 al 27 se presentan, las distribuciones de los promedios mensuales de los índices de erosividad o valores R, para las once estaciones pluviográficas y para el periodo de estudio 1980-1985. En el apéndice 4A se representan las gráficas (parcial y acumulada) correspondientes.

En el cuadro 28, se presenta un resumen de la distribución de los índices de erosividad por ciclos durante el año, donde se observó lo siguiente:

El valor promedio mensual " EI_{30} ", en cada estación manifiesta una gran variación en los valores para los diferentes meses del año.

Para todas las estaciones, los meses que ocurren índices de erosividad de mayor valor es entre mayo a noviembre, ocurriendo valores picos en los meses de agosto, setiembre y octubre.

Los meses que se observan los menores valores del índice de erosividad o valores R son enero, febrero, marzo y abril.

Los meses secos se dan entre enero a abril y los húmedos de mayo a noviembre, donde a medida que ocurren las altas precipitaciones se manifiestan también los mayores valores de los índices de erosividad.

Esto se demuestra también por la relación existente entre la distribución espacial de las líneas de las iso-erodentas con las líneas de isoyetas de la cuenca, donde ambas permiten observar tendencias similares en su configuración.

Cuadro 17. Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2\text{mm/h}$ y su distribución promedio mensual. Estación Buena Vista, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 4,77 | 1,07 | 1,07 |
| Febrero | 5,91 | 1,33 | 2,40 |
| Marzo | 15,38 | 3,45 | 5,85 |
| Abril | 40,85 | 9,17 | 15,02 |
| Mayo | 47,91 | 10,76 | 25,78 |
| Junio | 81,47 | 18,29 | 44,07 |
| Julio | 58,02 | 13,03 | 57,10 |
| Agosto | 27,77 | 6,24 | 63,34 |
| Setiembre | 38,51 | 8,65 | 71,99 |
| Octubre | 62,54 | 14,04 | 86,03 |
| Noviembre | 43,86 | 9,85 | 95,88 |
| Diciembre | 18,35 | 4,12 | 100,00 |
| TOTAL: de R | 445,34 | 100,00 | |

Cuadro 18. Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2\text{mm/h}$
 Y su distribución promedio mensual. Estación
 Alto San Juan, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 0 | 0 | 0 |
| Febrero | 2,41 | 0,39 | 0,39 |
| Marzo | 0 | 0 | 0,39 |
| Abril | 44,31 | 7,23 | 7,62 |
| Mayo | 98,17 | 16,01 | 23,63 |
| Junio | 83,14 | 13,56 | 37,19 |
| Julio | 86,30 | 14,07 | 51,26 |
| Agosto | 45,81 | 7,47 | 58,73 |
| Setiembre | 107,28 | 17,50 | 76,23 |
| Octubre | 66,88 | 10,89 | 87,12 |
| Noviembre | 69,87 | 11,40 | 98,52 |
| Diciembre | 8,94 | 1,46 | 100,00 |
| TOTAL: de R | 613,11 | 100,00 | |

Cuadro 19. Valor del índice de erosividad en kgm/m²mm/h y su distribución promedio mensual. Estación San Jerónimo, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 18,56 | 1,55 | 1,55 |
| Febrero | 10,00 | 0,84 | 2,39 |
| Marzo | 28,58 | 2,39 | 4,78 |
| Abril | 86,04 | 7,19 | 11,97 |
| Mayo | 203,81 | 17,02 | 28,99 |
| Junio | 160,68 | 13,42 | 42,41 |
| Julio | 92,03 | 7,69 | 50,10 |
| Agosto | 93,22 | 7,79 | 57,89 |
| Setiembre | 260,87 | 21,79 | 79,68 |
| Octubre | 146,65 | 12,25 | 91,93 |
| Noviembre | 87,99 | 7,35 | 99,28 |
| Diciembre | 8,77 | 0,73 | 100,00 |
| TOTAL: de R | 1197,19 | 100,00 | |

Cuadro 20. Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2\text{mm/h}$
 y su distribución promedio mensual. Estación
 . Bolivia, año 1980-1985.

Cuadro

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 2,52 | 0,38 | 0,38 |
| Febrero. | 0 | 0 | 0,38 |
| Marzo | 13,73 | 2,08 | 2,46 |
| Abril | 18,47 | 2,79 | 5,25 |
| Mayo | 126,15 | 19,07 | 24,32 |
| Junio | 42,02 | 6,35 | 30,67 |
| Julio | 50,03 | 7,56 | 38,23 |
| Agosto | 63,85 | 9,65 | 47,88 |
| Setiembre | 65,53 | 9,91 | 57,79 |
| Octubre | 89,02 | 13,46 | 71,25 |
| Noviembre | 182,82 | 27,64 | 98,89 |
| Diciembre | 7,32 | 1,11 | 100,00 |
| TOTAL: de R | 661,47 | 100,00 | |

Cuadro 21. Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2\text{mm/h}$
 Y su distribución promedio mensual. Estación
 Volcán de Buenos Aires, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 25,09 | 1,65 | 1,65 |
| Febrero | 17,74 | 1,17 | 2,82 |
| Marzo | 28,72 | 1,89 | 4,71 |
| Abril | 205,29 | 13,51 | 18,22 |
| Mayo | 122,11 | 8,03 | 26,25 |
| Junio | 248,28 | 16,33 | 42,58 |
| Julio | 101,57 | 6,68 | 49,26 |
| Agosto | 305,96 | 20,13 | 69,39 |
| Setiembre | 188,18 | 12,38 | 81,77 |
| Octubre | 162,86 | 10,71 | 92,48 |
| Noviembre | 77,91 | 5,13 | 97,61 |
| Diciembre | 36,39 | 2,39 | 100,00 |
| TOTAL de R | 1520,05 | | |

Cuadro 22. Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2\text{mm/h}$
 y su distribución promedio mensual. Estación
 Ujarrás, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 9,83 | 0,63 | 0,63 |
| Febrero | 16,87 | 1,08 | 1,71 |
| Marzo | 18,04 | 1,16 | 2,87 |
| Abril | 116,46 | 7,49 | 10,36 |
| Mayo | 225,31 | 14,49 | 24,85 |
| Junio | 204,52 | 13,15 | 38,00 |
| Julio | 111,64 | 7,18 | 45,18 |
| Agosto | 238,66 | 15,35 | 60,53 |
| Setiembre | 288,21 | 18,53 | 78,88 |
| Octubre | 204,22 | 13,13 | 92,01 |
| Noviembre | 97,63 | 6,28 | 98,29 |
| Diciembre | 23,60 | 1,52 | 100,00 |
| TOTAL: de R | 1555,00 | 100,00 | |

Cuadro 23. Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2\text{mm/h}$
 Y su distribución promedio mensual. Estación
 Maiz de Boruca, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 3,63 | 0,74 | 0,74 |
| Febrero | 0 | 0 | 0 |
| Marzo | 20,81 | 4,26 | 5 |
| Abril | 4,14 | 0,85 | 5,85 |
| Mayo | 87,04 | 17,82 | 23,67 |
| Junio | 90,85 | 18,60 | 42,27 |
| Julio | 27,26 | 5,58 | 47,85 |
| Agosto | 46,60 | 9,54 | 57,39 |
| Setiembre | 44,20 | 9,04 | 66,43 |
| Octubre | 99,05 | 20,28 | 86,71 |
| Noviembre | 27,53 | 5,64 | 92,35 |
| Diciembre | 37,33 | 7,64 | 100,00 |
| TOTAL: de R | 488,45 | | |

Cuadro 24. Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2\text{mm/h}$
 Y su distribución promedio mensual. Estación
 Potrero Grande, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 13,29 | 2,40 | 2,40 |
| Febrero | 0 | 0 | 0 |
| Marzo | 52,58 | 9,49 | 11,89 |
| Abril | 28,6 | 5,17 | 17,06 |
| Mayo | 97,00 | 17,52 | 34,58 |
| Junio | 126,81 | 22,91 | 57,49 |
| Julio | 8,02 | 1,45 | 58,94 |
| Agosto | 39,72 | 7,17 | 66,11 |
| Setiembre | 45,79 | 8,27 | 74,38 |
| Octubre | 58,86 | 10,63 | 85,01 |
| Noviembre | 79,61 | 14,38 | 99,39 |
| Diciembre | 3,44 | 0,62 | 100,00 |
| TOTAL de R | 553,63 | 100,00 | |

Cuadro 25. Valor del índice de erosividad en kgm/m²mm/h
 y su distribución promedio mensual. Estación
 Guácimo, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 0 | 0 | 0 |
| Febrero | 35,62 | 4,49 | 4,49 |
| Marzo | 33,32 | 4,20 | 8,69 |
| Abril | 69,50 | 8,76 | 17,45 |
| Mayo | 142,50 | 17,96 | 35,41 |
| Junio | 129,02 | 16,26 | 51,67 |
| Julio | 97,31 | 12,26 | 63,93 |
| Agosto | 36,74 | 4,63 | 68,56 |
| Setiembre | 59,72 | 7,53 | 76,09 |
| Octubre | 103,89 | 13,09 | 89,18 |
| Noviembre | 53,94 | 6,79 | 95,97 |
| Diciembre | 31,98 | 4,03 | 100,00 |
| TOTAL de R | 793,54 | 100,00 | |

Cuadro 26. Valor del índice de erosividad en $\text{kgm/m}^2\text{mm/h}$
 Y su distribución promedio mensual. Estación
 Limoncito, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|-------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 33,819 | 2,72 | 2,72 |
| Febrero | 41,476 | 3,34 | 6,06 |
| Marzo | 45,452 | 3,66 | 9,72 |
| Abril | 64,747 | 5,21 | 14,93 |
| Mayo | 141,041 | 11,34 | 26,27 |
| Junio | 967,50 | 7,78 | 34,05 |
| Julio | 186,940 | 15,03 | 49,08 |
| Agosto | 145,063 | 11,67 | 60,75 |
| Setiembre | 191,453 | 15,40 | 76,15 |
| Octubre | 73,534 | 5,91 | 82,06 |
| Noviembre | 176,603 | 14,20 | 96,26 |
| Diciembre | 46,577 | 3,75 | 100,00 |
| TOTAL: de R | 1243,46 | 100,00 | |

Cuadro 27. Valor del índice de erosividad en kgm/m²mm/h
 y su distribución promedio mensual. Estación
 Las Mellizas, año 1980-1985.

| Mes | \bar{X} mensual, Factor R | % mensual, Factor R | % Acumulado, Factor R |
|------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| Enero | 0 | 0 | 0 |
| Febrero | 0 | 0 | 0 |
| Marzo | 84,21 | 8,12 | 8,12 |
| Abril | 105,94 | 10,22 | 18,34 |
| Mayo | 174,50 | 16,83 | 35,17 |
| Junio | 85,89 | 8,28 | 43,45 |
| Julio | 70,28 | 6,78 | 50,23 |
| Agosto | 144,30 | 13,91 | 64,14 |
| Setiembre | 184,46 | 17,79 | 81,93 |
| Octubre | 129,37 | 12,47 | 94,4 |
| Noviembre | 58,14 | 5,61 | 100,00 |
| Diciembre | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL de R | 1037,09 | 100,00 | |

Cuadro 28. Formaciones de ciclos por variación de promedios mensuales de los índices de erosividad o valores R. (Periodo 1980 - 1985) en cada estación pluviográfica

| Estación Cuadro - Figs. | Mes de mayor R (R) - (X) | Mes de menor R (R) - (X) | Meses de mayor concentración de R (% del total) | Valor promedio anual R en Kg/m ² x mm/h | Formación de ciclos por distribución de R |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|---|
| <u>Buena Vista</u> | Junio | Enero | Abril a Noviembre | | Formación de dos ciclos: 1 ^{ro} . Varía de Marzo a Agosto. 2 ^{do} . Varía de Agosto a Diciembre |
| Cuadro 17 Fig. 3A | 81,4 - 18,2 | 4,77 - 1,07 | 90,0 | 445 | |
| <u>Alto San Juan</u> | Setiembre | Enero y Marzo | Abril a Noviembre | | Formación de ciclos: 1 ^{ro} . Varía de Abril a Agosto. 2 ^{do} . Varía de Agosto a Diciembre |
| Cuadro 18 Fig. 4A | 107,2 - 17,5 | 0 | 98,1 | 613 | |
| <u>San Jerónimo</u> | Setiembre | Diciembre | Abril a Noviembre | | Formación de dos ciclos: 1 ^{ro} . Varía de Febrero a Julio. 2 ^{do} . Varía de Agosto a Diciembre |
| Cuadro 19 Fig. 5A | 260,8 - 21,7 | 8,77 - 0,73 | 94,5 | 1.197 | |
| <u>Bolivia</u> | Noviembre | Febrero | Marzo a Noviembre | | La distribu- ción sigue una tendencia creciente, desde Marzo a Noviembre |
| Cuadro 20 Fig. 6A | 182,8 - 27,6 | 0 | 93,6 | 661 | |

...Continuación Cuadro 28.

| Estación Cuadro - Figs. | Mes de mayor R (R) - (%) | Mes de menor R (R) - (%) | Meses de mayor concentración de R (% del total) | Valor promedio anual R en Kgm/m ² x mm/h | Formación de ciclos por distribución de R |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|---|--|
| <u>Volcán de Buenos Aires</u> | Agosto | Febrero | Abril a Noviembre | | Formación de tres ciclos: 1 ^{ro} . Varía de Marzo a Mayo. 2 ^{do} . Varía de Mayo a Julio. 3 ^{ro} . Varía de Julio a Diciembre |
| Cuadro 21 Fig. 7A | 305,9 - 20,1 | 17,74 - 1,17 | 92,9 | 1.520 | |
| <u>Ujarrás</u> | Setiembre | Enero | Abril a Noviembre | | Formación de dos ciclos: 1 ^{ro} . Varía de Marzo a Mayo. 2 ^{do} . Varía de Julio a Diciembre. |
| Cuadro 22 Fig. 8A | 288,2 - 18,5 | 9,83 - 0,63 | 95,4 | 1.555 | |
| <u>Maiz de Boruca</u> | Octubre | Febrero | Mayo a Diciembre | | Formación de dos ciclos: 1 ^{ro} . Varía de Abril a Julio. 2 ^{do} . Varía de Julio a Diciembre.. |
| Cuadro 23 Fig. 9A | 99,0 - 20,2 | 0 | 80,5 | 488 | |
| <u>Potrero Grande</u> | Junio | Febrero | Marzo a Noviembre | | Formación de tres ciclos: 1 ^{ro} . Varía de Febrero a Abril. 2 ^{do} . Varía de Abril a Julio. 3 ^{ro} . Varía de Julio a Diciembre. |
| Cuadro 24 Fig. 10A | 126,8 - 22,9 | 0 | 96,9 | 533 | |

...Continuación Cuadro 28.

| Estación Cuadro - Figs. | Mes de mayor R (R) - (%) | Mes de menor R (R) - (%) | Meses de mayor concentración de R (% del total) | Valor promedio anual R en Kg/m ² x mm/h | Formación de ciclos por distribución de R |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|--|
| <u>Guácimo</u> | Setiembre | Enero | Abril a Octubre | | Formación de dos ciclos: 1 ^{ro} . Varía de Febrero a Agosto. 2 ^{do} . Varía de Agosto a Diciembre |
| Cuadro 25 Fig. 11A | 142,5 - 17,9 | 0 | 80,4 | 793 | |
| <u>Liaoncito</u> | Setiembre | Enero | Abril a Noviembre | | Formación de cuatro ciclos: 1 ^{ro} . Varía de Febrero a Junio. 2 ^{do} . Varía de Junio a Agosto. 3 ^{ro} . Varía de Agosto a Octubre. 4 ^{to} . Varía de Octubre a Diciembre. |
| Cuadro 26 Fig. 12A | 191,4 - 15,4 | 33,81 2,72 | 86,5 | 1.243 | |
| <u>Las Mellizas</u> | Setiembre | Diciembre Enero-Febrero | Abril a Noviembre | | Formación de dos ciclos: 1 ^{ro} . Varía de marzo a Junio. 2 ^{do} . Varía de Julio a Noviembre. |
| Cuadro 27 Fig. 13A | 184,4 - 17,7 | 0 | 100 | 1.037 | |

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten establecer las siguientes conclusiones:

1.- En la cuenca del río Grande de Térraba, el ámbito de variación de los valores R es amplio. El menor valor promedio del índice de erosividad o factor R es $445 \text{ kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$ para la estación Buena Vista y el mayor valor promedio es $1.555 \text{ kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$ para la estación Volcán de Buenos Aires, lo cual permite la elaboración del mapa de las Isoerodentas que representan curvas de igual capacidad erosiva de las lluvias para toda el área de la cuenca.

2.- En la mayoría de las estaciones el modelo de regresión de mejor ajuste, para la asociación del número de lluvias erosivas con los índices de erosividad o valores R es lineal, presentando diferentes niveles de asociación (r^2).

3.- Las estaciones con buena asociación entre el número de lluvias erosivas y los índices de erosividad para un nivel de probabilidad mayor al 75 por ciento son: Alto San Juan ($\alpha = 0,10$), Potrero Grande ($\alpha = 0,05$), Guácimo ($\alpha = 0,05$), Mellizas ($\alpha = 0,25$), Limoncito ($\alpha = 0,10$), Ujarrás ($\alpha = 0,25$) y Volcán de Buenos Aires ($\alpha = 0,05$). Las estaciones con ajustes poco probables son: Buena Vista, Maíz de Boruca, Bolivia y San Jerónimo, donde las variaciones posiblemente son influenciadas por la intensidad de las lluvias de la ecuación del índice de erosividad "EI₃₀", más que por el número de lluvias erosivas. La cuenca se caracteriza por presentar una asociación altamente significativa con un nivel de probabilidad ($\alpha = 0,01$).

Para convertir $\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$ a $\text{MJ/ha} \times \text{mm/h}$ (S.I.) multiplicar por el factor 10,22.

4.- Por la ubicación de los valores promedios anuales de los índices de erosividad o valores R de cada estación con respecto a la línea de regresión característica para la cuenca, se le categorizó como bajo a los valores R con ámbitos de 445 a 793 $\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$, medio con ámbitos de 1.037 a 1.243 $\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$ y alto con ámbitos de 1.529 a 1.555 $\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$.

5.- En la cuenca del río Grande de Térraba, las curvas de las Isoerodentas, muestran que las características topográficas juegan un papel importante en la variación de los índices de erosividad : los valores de estos índices cercanos a la Costa del Pacífico son bajos de 445 a 793 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$) y crecen hacia las zonas montañosas de 1.037 a 1.555 ($\text{kgm/m}^2 \times \text{mm/h}$), esto por las influencias de los vientos alisios que desplazan grandes masas de nubes, en dirección Este y se concentran en las cordilleras, provocando lluvias orográficas muy intensas, donde ocurren los índices de erosividad o valores R más altos.

6.- En la cuenca del río Grande de Térraba, aproximadamente el 45 por ciento del área, presenta condiciones críticas (áreas más susceptibles a la erosión), por efectos principales de la capacidad erosiva de las lluvias, además de relacionarse a las condiciones biofísicas de cobertura vegetal (pastos y cultivos), pendientes y características del suelo.

7.- Los mayores valores de los índices de erosividad o valores R coinciden con la época húmeda de la cuenca, correspondiente a los meses de abril a noviembre, en los

cuales los valores picos se presentan en los meses de agosto, setiembre y octubre. Los meses con menores valores de R son enero, febrero y marzo.

8.- Al relacionar los índices de erosividad, con los promedios anuales de precipitación resultó una alta correlación ($r=0,82$). La relación con respecto a la ubicación altitudinal de los pluviógrafos resultó muy bajo ($r=-0,10$).

9.- La cobertura boscosa, puede influir y modificar en gran medida el poder erosivo de las lluvias, dependiendo de sus características, lo que ayudaría a disminuir los riesgos de erosión por impacto de las gotas de lluvia.

6. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se plantean en este estudio son las siguientes:

1.- Continuar con la cuantificación de la agresividad de las lluvias, representado por el índice de erosividad "E₁₀₀", como un factor importante en la explicación de las pérdidas de suelos, principalmente en cuencas de países tropicales, donde se producen altas precipitaciones.

2.- Este tipo de estudio, es factible realizar en cuencas relativamente grandes (por ej. para la cuenca del río Grande de Térraba), que presenten condiciones tanto de suelo, clima y cobertura diferente.

3.- Los datos provenientes de la red pluviográfica que se utiliza para este análisis, deberían cubrir la mayor área posible y tener una adecuada distribución y densidad con periodos suficientes de información para el análisis de las intensidades de lluvias, que servirá de base para la elaboración del mapa de las Isoerodentas.

4.- Por la ubicación de importantes proyectos hidroeléctricos que se deben proteger para extender su vida útil y debido a que la cuenca del río Grande de Térraba esta cubierta en su mayor parte por cultivos y pastos (66,5 por ciento), del cual aproximadamente un 45 por ciento son clasificadas como áreas críticas principalmente por efectos erosivos de las lluvias, se recomienda considerar las medidas de conservación, que se especifica en el apéndice 2A, donde se presentan los diferentes aspectos de lucha anti-erosiva en relación con los diversos factores de la erosión.

5.- Del análisis del mapa de las isoerodentas, se determinan que los mayores valores de los índices de erosividad de las lluvias coinciden con las zonas montañosas de la cordillera de Talamanca, por lo que la función protectora de los bosques es fundamental para proteger el suelo del impacto de las gotas de lluvia, por lo tanto se debe evitar la deforestación de estas zonas.

6.- La distribución de la capacidad erosiva de las lluvias durante el año, es un criterio muy útil para la toma de decisiones agrícolas, donde debe tratarse de buscar coincidencias entre las épocas de menor cobertura con los menores valores mensuales de los índices de erosividad de las lluvias (R). En la cuenca del río Grande de Térraba, los valores mínimos de R ocurren en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Esta recomendación sería muy útil para el sector gubernamental de agricultura en la planificación del uso de los suelos agrícolas.

7.- Se recomienda usar las curvas de distribución promedio mensual de los índices de erosividad, para determinar el factor C de la ecuación universal de pérdida de suelo, correlacionado con el grado de protección de la cubierta vegetal y prácticas de manejo de cultivo.

8.- Se recomienda realizar investigaciones tendientes a buscar relaciones del índice "EI₃₀" con otros, como el de Hudson y Fournier (evaluados en países tropicales) y que en gran medida superaría las desventajas señaladas por el índice de Wichmeier.

7. BIBLIOGRAFIA

- AMEZQUITA, C.É.; FORSYTHE, W. 1975. Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en Turrialba, Costa Rica. IV Coloquio Nacional sobre Suelos. Medellín, Colombia. 30 p.
- ARIAS, H.M. 1980. El factor "R" de la ecuación universal de la pérdida de suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis M. C. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados. 113 p.
- ASTURIAS, R. 1986. Determinación del índice de erosividad de las lluvias para las estaciones pluviográficas de la zona Noroccidental de Guatemala. Tesis Ing. Ag. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 48p.
- BABU, R.; GUPTA, S.K.; TEJWANI, K.G. 1970. Correlation of soil with various energy intensity products. The Indian Forester (India) 96 (10):771-774.
- BATHIA, K.S.; SINGH, R.S. 1976. Evaluation of rainfall intensities and erosion index values for soil conservation. The Indian Forester (India) 102(10):726-734.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. 1983. Física de suelos. Trad. de la 4ta. ed. inglesa por Jorge Rodríguez. México, UTEHA. 429 p.
- BERMUDEZ, M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (Coffea arabica L.), Poró (Erythrina poeppigiana) y Laurel (Cordia alliodora) en Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. UCR/CATIE. 74 p.
- BUDOWSKI, G. 1976. Población y recursos. Turrialba, Costa Rica. 9 p. (mimeo.).
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA Y SERVICIO DE PARQUES NACIONALES. 1982. Inventario preliminar de recursos naturales y culturales. Parque Internacional de la Amistad (sector costarricense). San José, Costa Rica, Fondo de dos etapas GOCR-AID-MIDEPLAN. 89 p.
- COSTA RICA. INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1970. Hojas topográficas: CR2CM-7, Quepos; CR2CM-8, Talamanca y CR2CM-9, Golfito. San José. Esc. 1:200.000. Color.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. DIRECCION GENERAL FORESTAL. 1984. Diagnóstico tecnológico del subsector forestal. San José, CONICIT/AID. 334 p.

- DOUROJEANNI, A. ; PAULET, M. 1976. La ecuación universal de pérdida de suelo y su aplicación al planeamiento del uso de las tierras agrícolas, estudio del factor de las lluvias en el Perú. Lima, Universidad Nacional Agraria. Publicación n° 2. 78 p.
- ELLISON, W. 1944. Soil erosion. Soil Science Society Proceedings (EE.UU.) 11(12):479-484.
- FAO. 1967. La erosión del suelo por el agua. Colección FAO: Fomento de tierras y aguas no.7 FAO, Roma. 207 p.
- FAUSTINO, J. 1986. Conservación de suelos y agua. Notas de clase. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, BOGOTA. 1975 Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. 267 p.
- FOURNIER, F. 1975. Conservación de suelos. Traducido del francés por Eds. Mundi-Prensa, Madrid. 254 p.
- GONZALES, F.A. 1986. Identificación de áreas críticas y formulación de directrices generales para un desarrollo sostenido en la cuenca del Rio Grande de Térraba, Costa Rica. Tesis M.Sc. Programa UCR/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 210 p.
- HARTSHORN, G. et al. 1983. Costa Rica. Perfil ambiental. San José, Costa Rica, CCT/AID. 152 p.
- HERNADEZ DIAZ, H. 1986. Determinación del índice de erosividad de la lluvia para la zona sur-occidental de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 44 p.
- HUDSON, N. 1981. Soil Conservation. Ithaca, New York, Cornell University Press. 324 p.
- KIRKBY, M. ; MORGAN, P. 1984. Erosión de suelos. Trad. del inglés por José Hurtado Vega. México, D.F. Limusa. 375p.
- LAL, R. 1977. Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil ecodivility. In GREENLAND, D. and LAL, R. eds. Conservation and Management in the Humid Tropics, Ibadan, Nigeria. John Wiley and Sons Ltd. 1977. pp. 49-56.
- LINSLEY, R.K.; KOHLER, M.A.; PAULHUS, J.L. 1982. Hidología para ingenieros. 2ª ed. México, D.F., McGraw-Hill. 186p.

- MORA CASTRO, S. 1979. Proyecto hidroeléctrico Boruca. Informe de progreso no.5. Fase de factibilidad. San José, Costa Rica, ICE. 172 p.
- MOZO, T. 1967. Conservación del suelo a través del bosque. Revista Nacional de Agricultura. (Colombia) 17: 46-47.
- OLAYA, A. 1985. Metodología para determinar prioridades de manejo integral de cuencas y su aplicación en Costa Rica. Tesis M.Sc. UCR/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 110 p.
- PAULET, I.M. 1974. Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú. Universidad Agraria La Molina. Depto. de Recursos de Agua y Tierra. Publicación no.5. 55 p.
- PEREZ, S. et al. 1979. Manual descriptivo de los criterios, clases y subclases del mapa capacidad de uso de los suelos de Costa Rica. San José, Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. 100 p.
- ROCHA, J.A. 1977. Erosión de los suelos de pendientes cultivadas con maíz y frijol con diferentes grados de cobertura viva dentro de una plantación forestal. Tesis M.Sc. UCR/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 182 p.
- ROOSE, E.J. 1975. Erosion et suiss ellement en Afrique de l' ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. ORSTOM, Laboratoire de pédalogie. Abidjam, Costa de Matil. 72 p.
- SINGH, A.; SHAH, C.M.; KAMANNAVAR, H.K. 1976. Rainfall erositivity analysis of soil conservation research centre, Vasod (Gujerst). Indian Forester (India) 102(2):126-132.
- SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook no.537.
- SMITH, D.; WISCHMEIER, W. H. 1972. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook no.282. 47 p.
- SUAREZ DE CASTRO, F. 1980. Conservación de suelos. San José, Costa Rica, IICA. 321 p.
- ; RODRIGUEZ, A. 1962. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros en Colombia. Bogotá. 473 p.

SYLVANDER, R.B. 1981. Los bosques del país y su distribución por provincias. San José, Costa Rica, Universidad Nacional a Distancia. 121 p.

TOSI, J.A. 1967. Un estudio de reconocimiento de los recursos naturales y potenciales de las tierras de la reserva indígena de salitre, el Valle del General. Costa Rica. San José, UNDP. 77 p.

-----; ZADROGA, F. 1975. El proyecto Boruca: futuro impacto ecológico sobre el hombre y la naturaleza en el sureste de Costa Rica y medidas para su mitigación y control. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica. 252 p.

WISCHMEIER, W.H. ; SMITH, D. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Science Society American, Proceedings (EE.UU) 23(3):246-249.

-----; SMITH, D. ; WOODRUFF, C. 1976. Use and misuse of the universal soil-loss equation. Journal of Soil and Water Conservation (EE.UU.) 31(1):5-9.

8. APENDICE

APENDICE 1A

Procedimiento para la conversión de unidades de sistema inglés al sistema métrico del factor R o índice de erosividad de las lluvias.

El factor R representa el número de unidades del índice de erosión y es función de la energía de las lluvias y de la intensidad máxima de 30 minutos de cada lluvia. En el sistema inglés la energía se obtiene con una ecuación que en función de la intensidad de la lluvia, en pulgadas por hora, da la energía en toneladas-pie/acre-pulg. Para su aplicación en Costa Rica, se debe encontrar la expresión que en función de la intensidad de la lluvia en milímetros por hora de la energía de la lluvia en unidades métricas de energía, tal como kilográmetros por m² por milímetro de lluvia.

$$Y = 916 + 331 \log X \dots (1)$$

donde:

Y = Energía de lluvia en toneladas-pie/acre-pulgada.

X = Intensidad de la lluvia en pulgadas/hora.

i) Conversión para Y de ton-pie/acre-pul a kgm/m²/mm.

$$\frac{1 \text{ ton-pie}}{\text{acre-pulgada}} = \frac{276,51 \text{ kgm.}}{4046,8 \text{ m}^2 * 25,4 \text{ mm}} = 0,00269 \frac{\text{kgm}}{\text{m}^2 \text{ mm.}}$$

Multiplicando la ecuación (1) por este factor, se obtiene:

$$Y = (0,00269) * 916 + (0,00269) * 331 \log X$$

donde:

$$Y = 2,464 + 0,89 \log X \text{ , en kgm /m}^2\text{/mm} \dots (2)$$

ii) Conversión para X de la ecuación (2) de pulg/hora a mm/hora.

Para X = 1 pulgada = 25,4 mm.

Log 1 = 0 .
 . Diferencia = 1,4048
 Log 25,4 = 1,4048 .

Para X = 2 pulgadas = 50,8 mm.

Log 2 = 0,30103 .
 . Diferencia = 1,4048
 Log 50,8 = 1,70586 .

Se observa que al aplicar mm en vez de pulgadas, el $\log X$ aumenta en una cantidad constante equivalente a 1,4048. O sea que si se utilizan mm para el valor de X, en la ecuación (2), se esta multiplicando el valor 0,89 por 1,4048 = 1,25, lo que representa un agregado de valor del segundo término, creándose una desigualdad. Sin embargo, como esta diferencia es siempre la misma, se puede restar de la constante 2,464, manteniéndose de esta forma la igualdad.

Así:

$$Y = 2,464 - 1,25 + 0,89 \log X$$

Finalmente:

$$Y = 1,214 + 0,89 \text{ Log } X \quad \dots \quad (3).$$

donde:

$$Y = \text{kgm/m}^2/\text{mm} \quad ; \quad X = \text{mm/hora.}$$

APENDICE 2A. Listado del programa "INDICE" para el cálculo de la energía e índice de erosividad de la lluvia.

```

10 *=====
20 *
30 *ESTE PROGRAMA CALCULA LA ENERGIA E INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA
40 *EI30 ( factor R de la Ecuacion Universal de perdida de suelo E.U.P.S)
50 *EN BASE AL REGISTRO DE UNA TORMENTA EN UN FLUVIOGRAMA DIARIO DE 10 mm
60 *1. LA INTENSIDAD EN MM/HRA. PARA DIFERENTES DURACIONES
70 *2. LA ENERGIA Ep EN Kgm/m2.mm EN FUNCION DE LA INTENSIDAD
80 * USANDO LA FORMULA :E=1.214+0.887*log(INT)
90 *3. LA ENERGIA PARA LA ALTURA DE FRECIPITACION PARA CADA
100 *INTERVALO EN Kg-m/m2 CON E=Ep*H
110 *4. LA ENERGIA TOTAL PARA TODA LA DURACION DE LA LLUVIA
120 * ET=E1+E2+.....En
130 *5. LA INTENSIDAD MAXIMA (Imax) PARA 30 min DE DURACION EN mm/hra.
140 *6. EL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EI=ET*I30
150 *
160 * ====> ELABORADO POR: MARIA ANTONIETA GUTIERREZ DIAZ <====
170 *
180 *=====
190 *
200 *
210 CLEAR
220 OPTION BASE 1
230 DIM CDT(30),DH$(30),T(30,50),H(30,50),H(30,50)
240 *
250 *
260 PRT=0
270 *
280 CLS:PRINT "MENU"
290 PRINT :PRINT " Introduccion de datos -----(1)"
300 PRINT :PRINT " Procesamiento de datos -----(2)"
310 PRINT :PRINT " Fin del programa -----(3)"
320 W$=INKEY$:IF W$="" THEN 320
330 IF W$="1" THEN GOSUB 2700 :GOTO 280
340 IF W$="2" THEN GOSUB 680 :GOTO 280
350 IF W$="3" THEN 390
360 *
370 GOTO 320
380 *
390 END
400 *
410 *
420 *///////////////// Leer ///////////////////////////
430 NF$=""
440 PRINT
450 PRINT " Va a usar la impresora ? (Y)es / (N)o "
460 P$=INKEY$:IF P$="" THEN 460
470 IF P$="Y" OR P$="y" THEN PRT=1:GOTO 500
480 IF P$="N" OR P$="n" THEN PRT=0 :GOTO 500
490 GOTO 460
500 PRINT:FILES:PRINT
510 INPUT "Seleccione el nombre del archivo deseado ",NF$
520 IF NF$="" THEN 640
530 FRINT
540 OPEN NF$ FOR INPUT AS #1
550 IF EOF(1) THEN 630
560 INPUT#1,A$,EST$,B$:CDH=VAL(B$)
570 FOR I=1 TO CDH
580 INPUT#1,DH$(I),B$:CDT(I)=VAL(B$)
590 FOR J=1 TO CDT(I)
600 INPUT#1,B1$,B2$,B3$:T(I,J)=VAL(B1$):H(I,J)=VAL(B2$):H(I,J)=VAL(B3$)
610 NEXT J
620 NEXT I
630 CLOSE#1

```

```

640 RETURN
650 '
660 '
670 '////////// Procesamiento //////////
680 CLS
690 GOSUB 430
700 CLS:TM=0:TH=0:TE=0:TR=0
710 GOSUB 810 :IF FRT=1 THEN GOSUB 940
720 GOSUB 1090
730 PRINT "-----"
740 PRINT
750 IF FRT=1 THEN LPRINT "-----"
760 PRINT "Fresione una tecla cualquiera para volver al MENU"
770 P$=INKEY$:IF P$="" THEN 770
780 RETURN
790 '
800 '////////// IMPRESION DE TITULOS //////////
810 PRINT
820 PRINT "Estacion : ";EST$
830 PRINT
840 PRINT "CALCULO DE LA ENERGIA E INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EN BASE"
850 PRINT "AL REGISTRO DE LLUVIA EN UN PLUVIOGRAMA DIARIO."
860 PRINT "-----"
870 PRINT "Datos del pluviograma Y[kgm/m2.mm]=0.887log10X+1.214 E[kgm/m2]"
880 PRINT "-----"
890 PRINT " Hora Minutos mm(h) mm/hora(X) log X 0.887*log10X Y (Y)*(h)"
900 PRINT "-----"
910 RETURN
920 '
930 '////////// IMPRESION DE TITULOS EN IMPRESORA //////////
940 LPRINT
950 LPRINT "Estacion : ";EST$
960 LPRINT
970 LPRINT "CALCULO DE LA ENERGIA E INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EN BASE"
980 LPRINT "AL REGISTRO DE LLUVIA EN UN PLUVIOGRAMA DIARIO."
990 LPRINT "-----"
1000 LPRINT "Datos del pluviograma Y[kgm/m2.mm]=0.887log10X+1.214 E[kgm/m2]"
1010 LPRINT "-----"
1020 LPRINT " Hora Minutos mm(h) mm/hora(X) log X 0.887*log10X Y (Y)*(h)"
1030 LPRINT "-----"
1040 RETURN
1050 '
1060 '
1070 '
1080 '//////////Proceso 1 //////////
1090 FOR I=1 TO 30
1100 TH=0:TH=0:TE=0
1110 IF DM$(I)=" " THEN I=30:GOTO 1160
1120 GOSUB 1210
1130 GOSUB 1690
1140 R=TE*IM
1150 TR=TR+R
1160 NEXT I
1170 RETURN
1180 '

```

```

1190 *
1200 *////////// Proceso 2 //////////// : Calculos basicos
1210 FOR I=1 TO 50
1220   IF H(I,K)=0 THEN CD=K;K=50 ELSE GOSUB 1430
1230 NEXT K
1240 GOSUB 1280 : IF PRT=1 THEN GOSUB 1350
1250 RETURN
1260 *
1270 *////////// IMPRESION DE TOTALES POR PANTALLA ////////////
1280 PRINT "-----"
1290 PRINT USING "      ###.##" E=
###.###";TM;TH;TE
1300 PRINT "-----"
1310 RETURN
1320 *
1330 *
1340 *////////// IMPRESION DE TOTALES POR IMPRESORA ////////////
1350 LPRINT "-----"
1360 LPRINT USING "      ###.##" E
=###.###";TM;TH;TE
1370 LPRINT "-----"
1380 RETURN
1390 *
1400 *
1410 *
1420 *////////// Proceso 2.1 ////////////
1430 X=(60/H(I,K))*H(I,K)           : X [mm/h]
1440 IF X<=0 THEN L=0 ELSE L=LOG(X)/LOG(10)           : L:Logaritmo en base 10
1450 OL=.887*L
1450 Y=OL+1.214
1470 E=Y*H(I,K)
1480 *
1490 TM=TM+H(I,K)           : Total de minutos ( Tiempo )
1500 TH=TH+H(I,K)           : Altura total de lluvia
1510 TE=TE+E               : Total de E
1520 GOSUB 1580
1530 IF PRT=1 THEN GOSUB 1630
1540 RETURN
1550 *
1560 *
1570 *////////// RESULTADOS POR PANTALLA .0 ////////////
1580 PRINT USING " ##.##  ##  ###.##  ###.##  ##.###  ##.###  ##.###"
##.###";T(I,K);M(I,K);H(I,K);X;L;OL;Y;E
1590 RETURN
1600 *
1610 *
1620 *////////// IMPRESION DE RESULTADOS .0 ////////////
1630 LPRINT USING " ##.##  ##  ###.##  ###.##  ##.###  ##.###  ##.###"
##.###";T(I,K);M(I,K);H(I,K);X;L;OL;Y;E
1640 RETURN
1650 *
1660 *
1670 *
1680 *////////// Proceso 3 //////////// : Intensidad maxima con una duracion de 30 min

1690 CD=CD-1;MM=0;IM=0
1700 FOR K=CD TO 1 STEP -1
1710   MM=MM+M(I,K)
1720   IF MM>=30 THEN CD1=K;K=1
1730 NEXT K

```

```

1740 FOR K=1 TO CD1           : ' CD contador de datos que ingresan
1750   IF M(I,K)<30 THEN GOSUB 2020
1760   IF M(I,K)>30 THEN GOSUB 2090
1770   IF M(I,K)=30 THEN GOSUB 2280
1780 NEXT K
1790 GOSUB 1850
1800 IF PRT=1 THEN GOSUB 1930
1810 RETURN
1820 '
1830 '
1840 '////////// Resultado de Intensidad Maxima //////////
1850 PRINT USING "           &/& ";DM$(I);A$
1860 PRINT USING " I=I.M en 30 min. (de ##.## a ##.## horas)=###.#[mm]=###.#[mm/
horaJ";MAXT1;MAXT2;IM;IM*2
1870 PRINT USING " EI/100=####.### ";((TE*2)*IM)/100
1880 PRINT "-----"
":PRINT
1890 RETURN
1900 '
1910 '
1920 '////////// Impresion de la Intensidad Maxima //////////
1930 LPRINT USING "           &/& ";DM$(I);A$
1940 LPRINT USING " I=I.M. en 30 min.(de ##.## a ##.## horas)=###.#[mm]=###.#[mm
/horaJ";MAXT1;MAXT2;IM;IM*2
1950 LPRINT USING " EI/100=####.### ";((TE*2)*IM)/100
1960 LPRINT "-----"
-":LPRINT
1970 RETURN
1980 '
1990 '
2000 '
2010 '////////// Proceso 3.1 //////////
2020 PM=(H(I,K)/M(I,K))*10           : ' PM - Promedio de 10 minutos
2030 FOR M1=M(I,K)\10 TO 1 STEP -1
2040   GOSUB 2450
2050 NEXT M1
2060 RETURN
2070 '
2080 '////////// Proceso 3.2 //////////
2090 PM=(H(I,K)/M(I,K))*10           : ' PM - Promedio de 10 minutos
2100 D1=PM*3
2110 IF IM<D1 THEN GOSUB 2330
2120 '+++++
2130 G=T(I,K)                       : 'G - Guardar un dato
2140   OM1=M(I,K)-20
2150   OM=((T(I,K)-INT(T(I,K)))*100)+OM1) MOD 60
2160   OH1=((T(I,K)-INT(T(I,K)))*100)+OM1)\60
2170   OH=(INT(T(I,K))+OH1)\24
2180   OM=OM*100
2190 T(I,K)=OH+OM
2200 '+++++
2210 FOR M1=(M(I,K) MOD 30) TO 1 STEP -1
2220   GOSUB 2450
2230 NEXT M1
2240 T(I,K)=G
2250 RETURN
2260 '
2270 '////////// Proceso 3.3 //////////
2280 D1=H(I,K)
2290 IF IM<D1 THEN GOSUB 2330
2300 RETURN
2310 '

```

```

2320 /////////////////////////////////////////////////////////////////// Proceso 3.4 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
2330 IM=D1
2340 CM01=(T(I,K)-INT(T(I,K)))*100      : CM01 - Cal. Minuto 01
2350 MAXT1=T(I,K)
2360 CM01=CM01+30
2370 CM00=(CM01 MOD 50)/100
2380 CH01=CM01\50
2390 CH00=CH01+INT(MAXT1)
2400 MAXT2=CH00+CM00
2410 *++++*
2420 RETURN
2430 *
2440 /////////////////////////////////////////////////////////////////// Proceso 3.5 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
2450 T1=M1*10
2460 CT=1
2470 D1=PM*M1
2480 *++++*
2490 T1=T1+M(I,K+CT)
2500 IF T1>30 THEN GOTO 2570
2510 IF T1=30 THEN D1=D1+M(I,K+CT) :GOTO 2620
2520 *++++*
2530 D1=D1+M(I,K+CT)
2540 CT=CT+1
2550 GOTO 2490
2560 *++++*
2570 OP=(M(I,K+CT)/M(I,K+CT))*10      : OP - Otro promedio de 10 minuto
2580 T1=T1-M(I,K+CT)
2590 FT=(30-T1)\10                    : FT - Falta de tiempo
2600 D1=D1+(OP*FT)
2610 *++++*
2620 IF IM>=D1 THEN GOTO 2660
2630 *++++*
2640 GOSUB 2330
2650 *++++*
2660 RETURN
2670 *
2680 *
2690 /////////////////////////////////////////////////////////////////// Introduccion de datos ///////////////////////////////////////////////////////////////////
2700 CLS
2710 LOCATE 1,1:INPUT "Introducir el nombre de la Estacion :",EST$
2720 LOCATE 3,1:INPUT "Introduzca el dato del ano : aaaa ",A$
2730 FOR I=1 TO 30
2740 LOCATE 5,1:PRINT " Cuando ya no hay datos , Presione la tecla <RETURN>"
2750 LOCATE 6,1:INPUT " Introduzca datos del: Dia y Mes ( dd/mm )           ",D
M$(I)
2760 IF DM$(I)="" THEN CDM=I-1 :GOTO 3030
2770 LOCATE 10,1:INPUT " Introduzca la hora inicial : hh.mm           ",T(I,1)
2780 FOR J=1 TO 50
2790 LOCATE 12,1:PRINT " Cuando no hay datos ,Presione la tecla <RETURN>"
2800 LOCATE 14,1:PRINT USING "           ##.##"
;T(I,J)
2810 LOCATE 16,1:PRINT "
"
2820 LOCATE 16,1:INPUT " Introduzca los Minutos           ",M(I,J)
2830 IF M(I,J)<=0 THEN M(I,J)=0:CDT(I)=J-1:J=50:GOTO 2870
2840 GOSUB 2350
2850 LOCATE 17,1:PRINT "
"
2860 LOCATE 17,1:INPUT " Introduzca altura de lluvia           ",H(I,J)
2870 NEXT J
2880 CLS
2890 NEXT I

```

```
2900 GOSUB 3030
2910 RETURN
2920 '
2930 '
2940 '////////// Procreso para calculo del tiempo //////////
2950 MO1=((T(I,J)-INT(T(I,J)))*100)+M(I,J)
2960 MO =(INT(T(I,J)) +(MO1\60)) MOD 24
2970 MO=(MO1 MOD 60)/100
2980 T(I,J+1)=MO+MO
2990 RETURN
3000 '
3010 '
3020 '////////// Procesos con File //////////
3030 NF$=""
3040 FILES:PRINT
3050 PRINT " Si no quiere crear el archivo, presione la tecla <RETURN>"
3060 INPUT " Introduzca el nombre del Archivo ",NF$
3070 IF NF$="" THEN 3180
3080 PRINT
3090 OPEN NF$ FOR OUTPUT AS #1
3100 PRINT#1,A$;",";EST$;",";STR$(CDM)
3110 FOR I=1 TO CDM
3120     PRINT#1 ,DM$(I);",";STR$(CDT(I))
3130     FOR J=1 TO CDT(I)
3140         PRINT#1,STR$(T(I,J));",";STR$(M(I,J));",";STR$(H(I,J))
3150     NEXT J
3160 NEXT I
3170 CLOSE#1
3180 RETURN
```

Cuadro 1A. Aplicación del programa "INDICE".

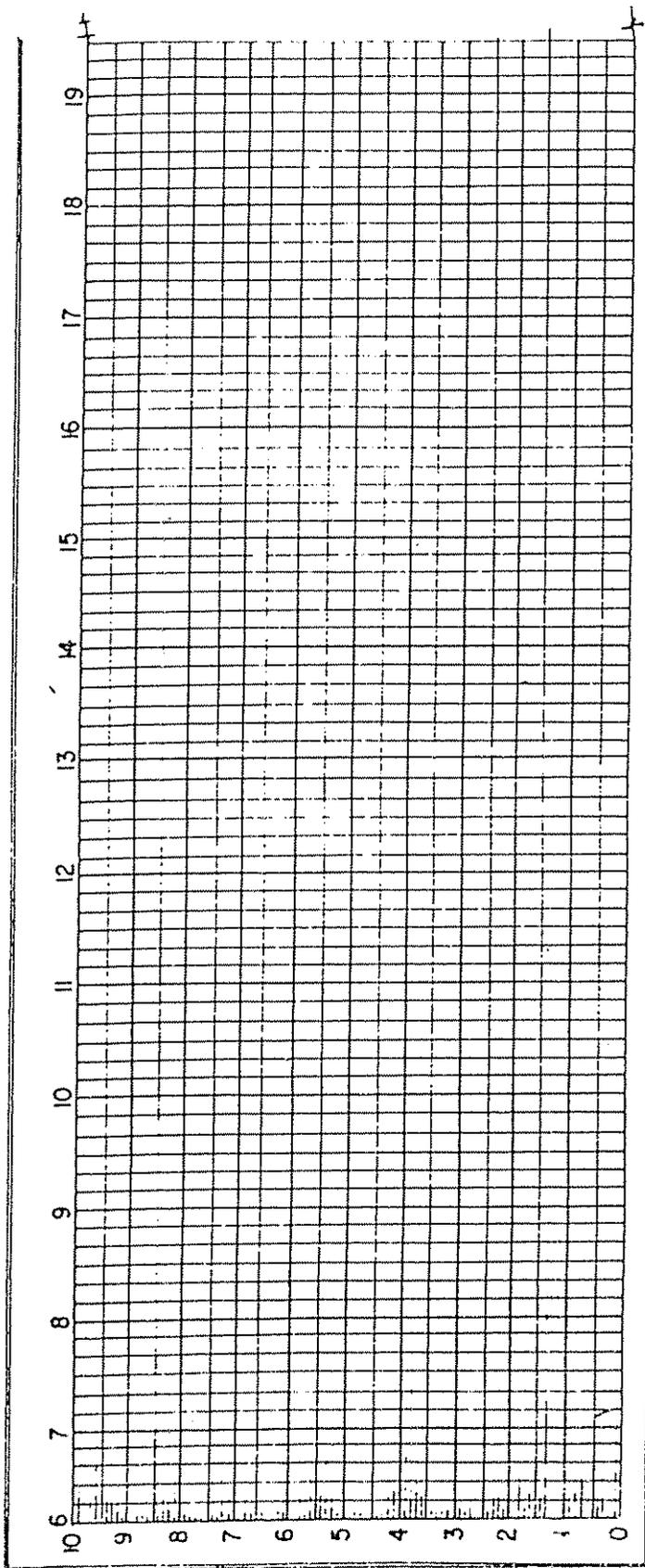
Estacion : ALTO DE SAN JUAN

CALCULO DE LA ENERGIA E INDICE DE EROSIIVIDAD DE LA LLUVIA EN BASE
AL REGISTRO DE LLUVIA EN UN PLUVIOGRAMA DIARIO.

| Datos del pluviograma $Y[\text{kgm/m}^2.\text{mm}] = 0.887 \log_{10} X + 1.214$ $E[\text{kgm/m}^2]$ | | | | | | | |
|---|---------|-------|------------|-------|-----------------------|-----------|---------|
| Hora | Minutos | mm(h) | mm/hora(X) | log X | $0.887 * \log_{10} X$ | Y | (Y)*(h) |
| 14.40 | 10 | 4.7 | 28.2 | 1.450 | 1.286 | 2.500 | 11.752 |
| 14.50 | 10 | 5.3 | 31.8 | 1.502 | 1.333 | 2.547 | 13.497 |
| 15.00 | 20 | 12.0 | 36.0 | 1.556 | 1.380 | 2.594 | 31.133 |
| 15.20 | 10 | 2.5 | 15.0 | 1.176 | 1.043 | 2.257 | 5.643 |
| 15.30 | 10 | 1.2 | 7.2 | 0.857 | 0.760 | 1.974 | 2.369 |
| 15.40 | 10 | 4.0 | 24.0 | 1.380 | 1.224 | 2.438 | 9.753 |
| 15.50 | 10 | 5.7 | 34.2 | 1.534 | 1.361 | 2.575 | 14.676 |
| 16.00 | 10 | 9.0 | 54.0 | 1.732 | 1.537 | 2.751 | 24.756 |
| 16.10 | 10 | 7.9 | 47.4 | 1.676 | 1.485 | 2.700 | 21.333 |
| 16.20 | 10 | 2.7 | 16.2 | 1.210 | 1.073 | 2.287 | 6.174 |
| 16.30 | 20 | 4.0 | 12.0 | 1.079 | 0.957 | 2.171 | 8.685 |
| 16.50 | 10 | 13.2 | 79.2 | 1.899 | 1.684 | 2.898 | 38.256 |
| 17.00 | 10 | 6.1 | 36.6 | 1.563 | 1.387 | 2.601 | 15.865 |
| 17.10 | 10 | 3.2 | 19.2 | 1.283 | 1.138 | 2.352 | 7.527 |
| 17.20 | 10 | 4.7 | 28.2 | 1.450 | 1.286 | 2.500 | 11.752 |
| 17.30 | 10 | 5.5 | 33.0 | 1.519 | 1.347 | 2.561 | 14.085 |
| 17.40 | 10 | 1.0 | 6.0 | 0.778 | 0.690 | 1.904 | 1.904 |
| 17.50 | 10 | 0.5 | 3.0 | 0.477 | 0.423 | 1.637 | 0.819 |
| 18.00 | 10 | 1.5 | 9.0 | 0.954 | 0.846 | 2.050 | 3.091 |
| 18.10 | 20 | 1.0 | 3.0 | 0.477 | 0.423 | 1.637 | 1.637 |
| 18.30 | 10 | 0.2 | 1.2 | 0.079 | 0.070 | 1.284 | 0.257 |
| 18.40 | 20 | 0.8 | 2.4 | 0.380 | 0.337 | 1.551 | 1.241 |
| 19.00 | 10 | 0.2 | 1.2 | 0.079 | 0.070 | 1.284 | 0.257 |
| 19.10 | 20 | 1.0 | 3.0 | 0.477 | 0.423 | 1.637 | 1.637 |
| 19.30 | 10 | 0.3 | 1.8 | 0.255 | 0.225 | 1.440 | 0.432 |
| 19.40 | 10 | 0.6 | 3.6 | 0.556 | 0.493 | 1.707 | 1.024 |
| 19.50 | 30 | 1.5 | 3.0 | 0.477 | 0.423 | 1.637 | 2.456 |
| 20.20 | 20 | 0.6 | 1.8 | 0.255 | 0.226 | 1.440 | 0.864 |
| 360 | 100.9 | | | | | E=252.876 | |

26/05/1986

I=I.M. en 30 min. (de 15.50 a 16.20 horas) = 22.6[mm] = 45.2[mm/hora]
EI/100 = 114.300



- Características : 1.- Diario
2.- Altura de registro 10 mm.
3.- Longitud = 40 cm.
4.- Lectura = c./5 minutos

Figura 1A. Banda pluviográfica para los registros de las intensidades de la lluvia.

Cuadro 2A. Valores de la elevación, precipitación e índice de erosividad (R) para las estaciones de la cuenca del río Grande de Térraba.

| Estaciones Pluviográficas | Elevación (m.s.n.m.) | Precipitación (m m) | Valor R (Kgm/m ² xmm/h) |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| -Volcán de Buenos Aires | 418 | 3.400 | 1.520 |
| -Bolivia | 950 | 2.300 | 661 |
| 971 λ -Potrero Grande | 183 | 2.500 | 553 |
| -Ujarrás | 525 | 3.600 | 1.555 |
| -Buena Vista | 1.310 | 2.600 | 455 |
| -Alto San Juan | 1.040 | 2.900 | 613 |
| -San Jerónimo | 1.140 | 3.600 | 1.197 |
| -Guácimo | 360 | 2.600 | 793 |
| -Limoncito | 820 | 3.700 | 1.243 |
| -Maiz de Boruca | 520 | 2.000 | 488 |
| -Las Mellizas | 1.420 | 3.300 | 1.037 = 3126 |

APENDICE 3A.

Representación gráfica (parcial y acumulada)
de promedios mensuales de los índices de
erosividad en cada estación pluviográfica de
la cuenca del río Grande de Térraba.

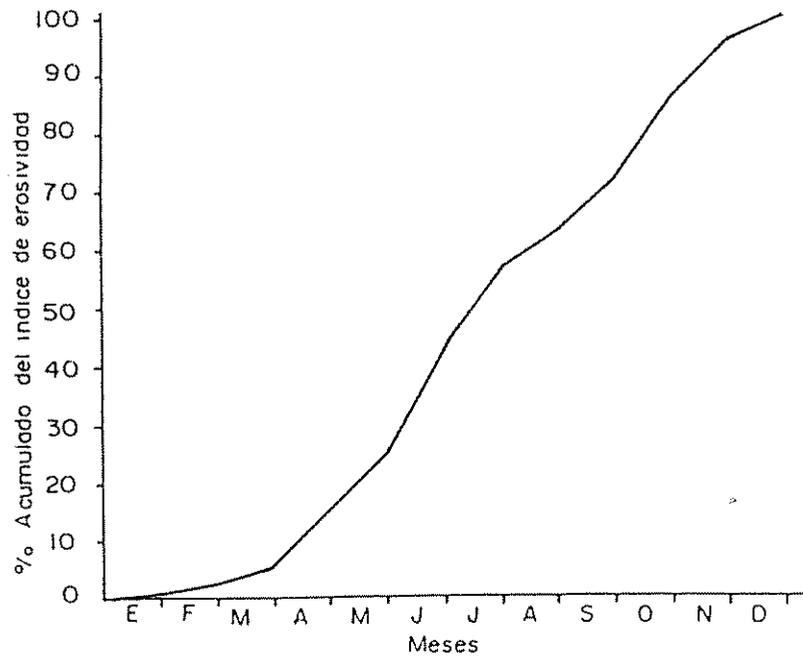
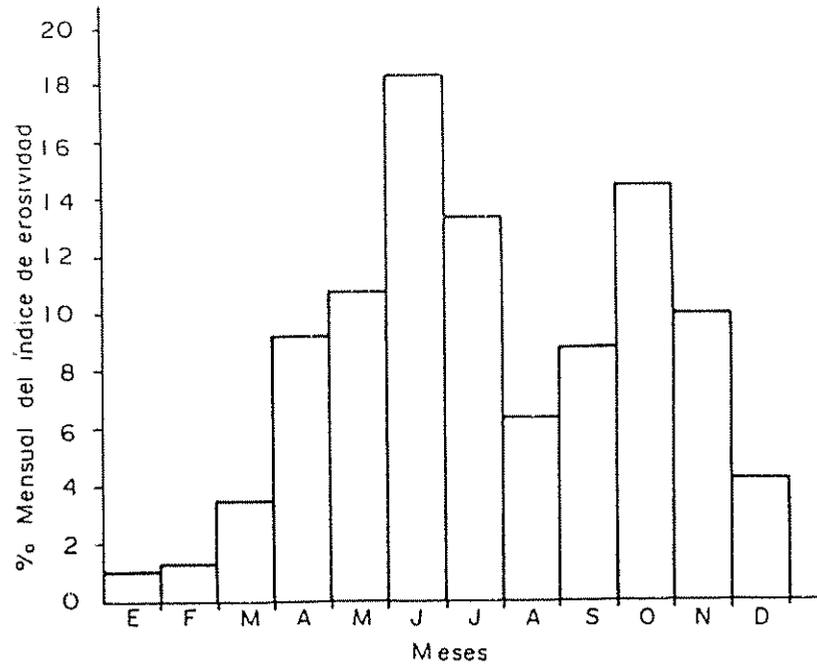


Figura 3A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Buena Vista, año 1980-1985.

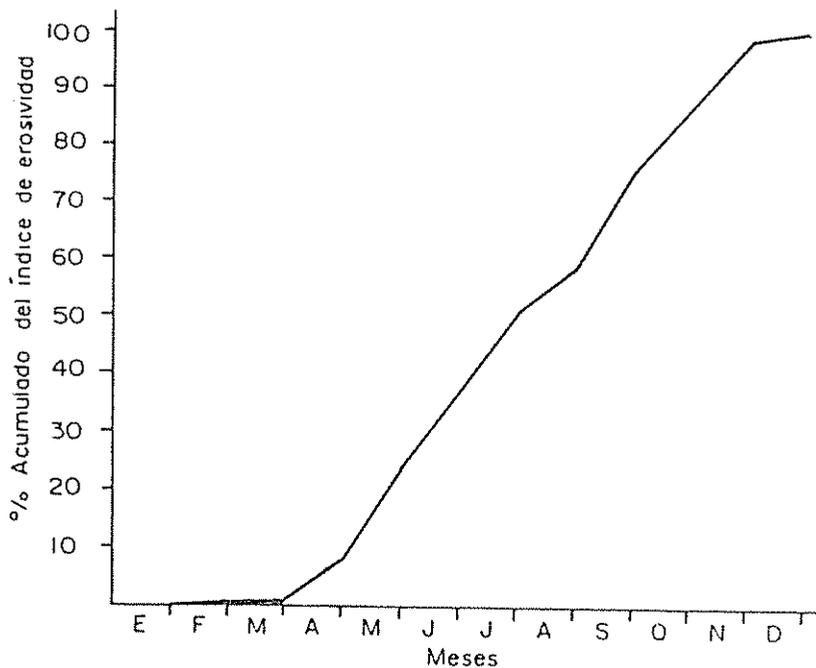
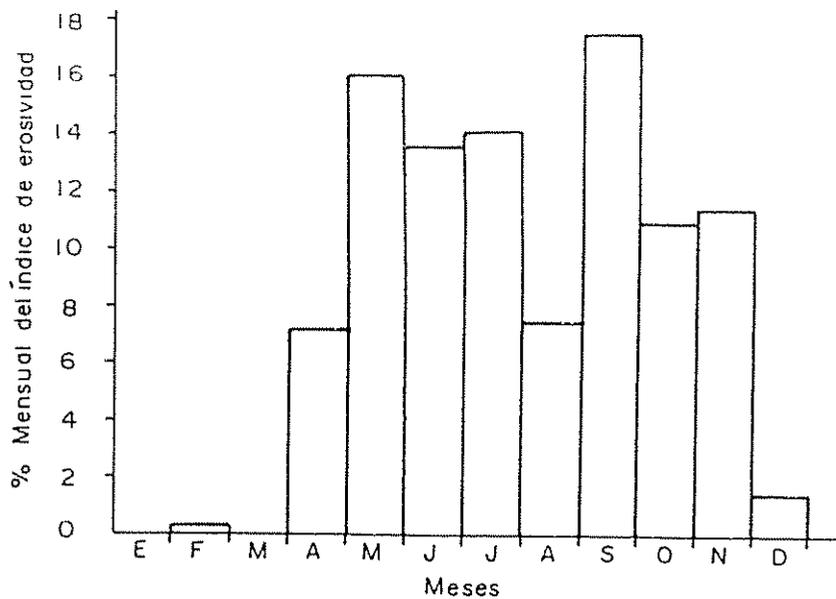


Figura 4A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Alto San Juan, año 1980-1985.

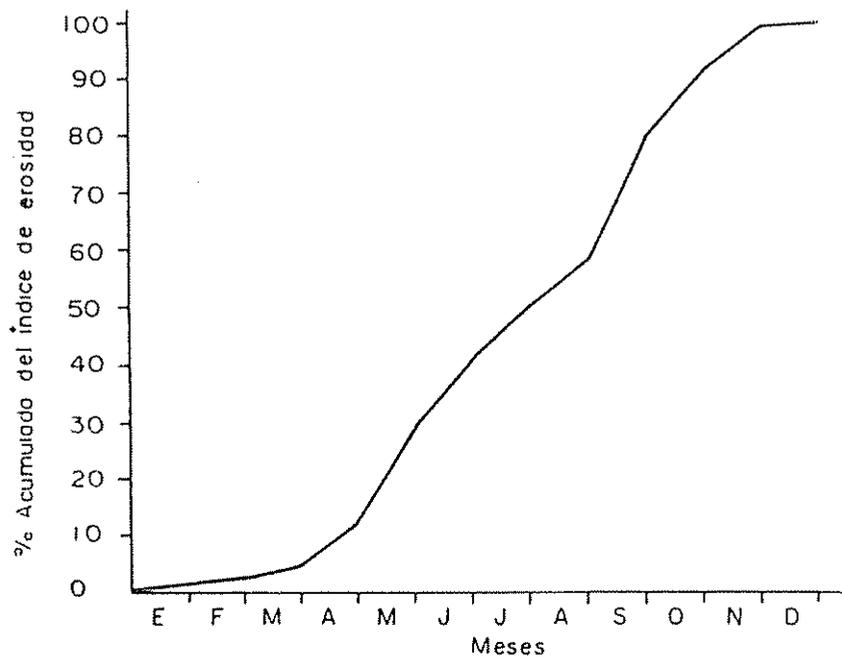
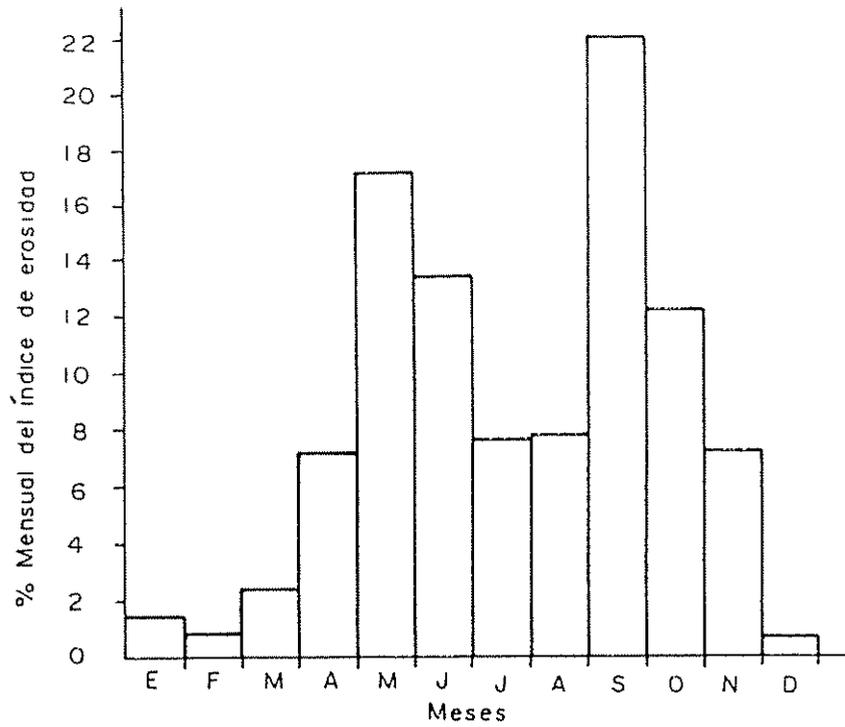


Figura 5A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación San Jerónimo, año 1980-1985.

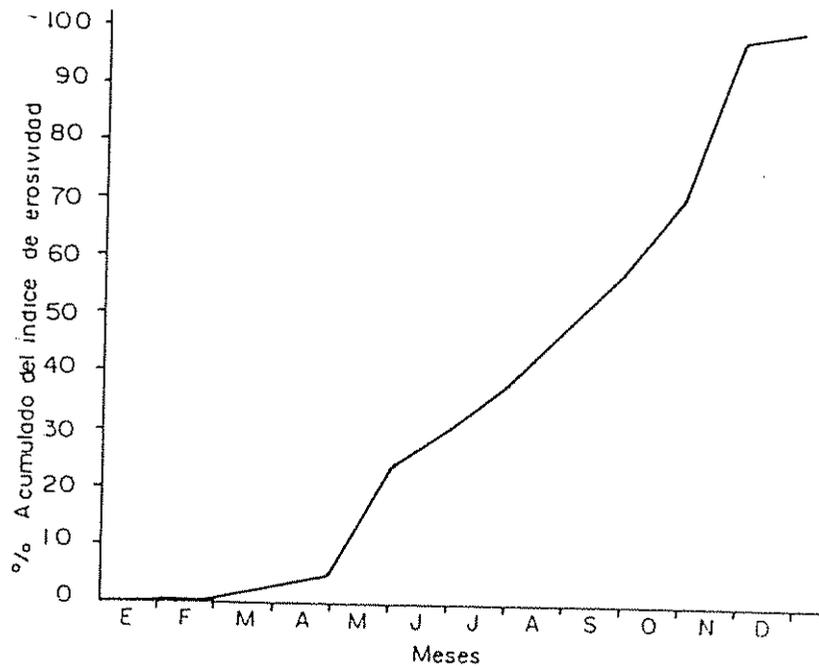
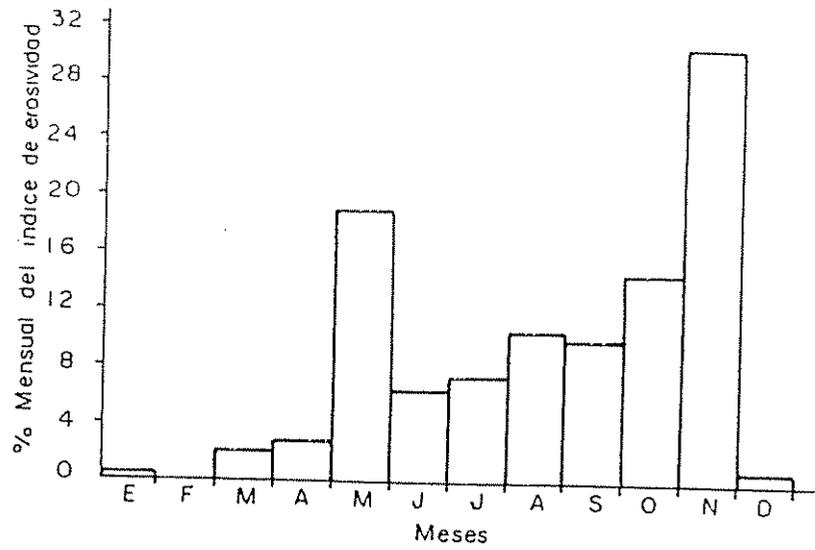


Figura 6A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Bolivia, año 1980-1985.

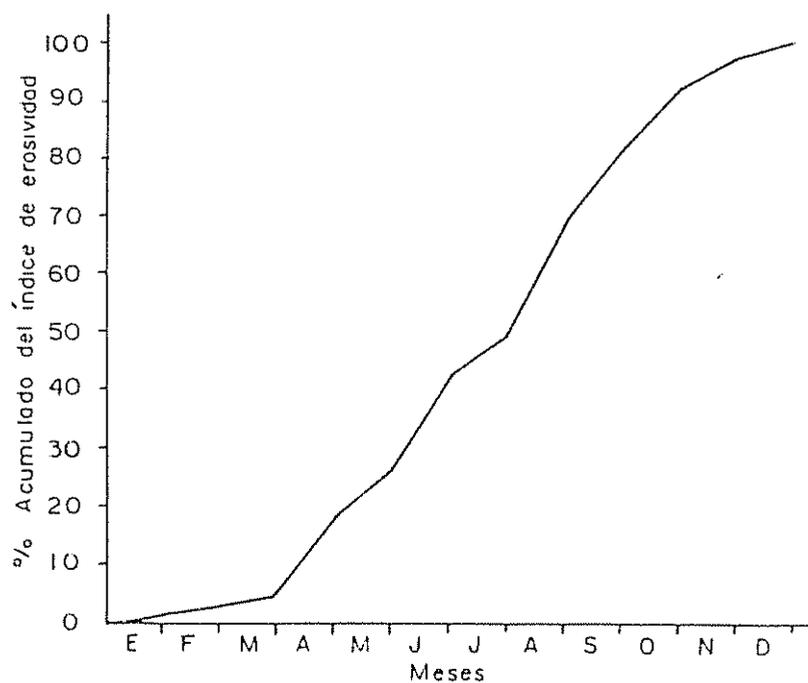
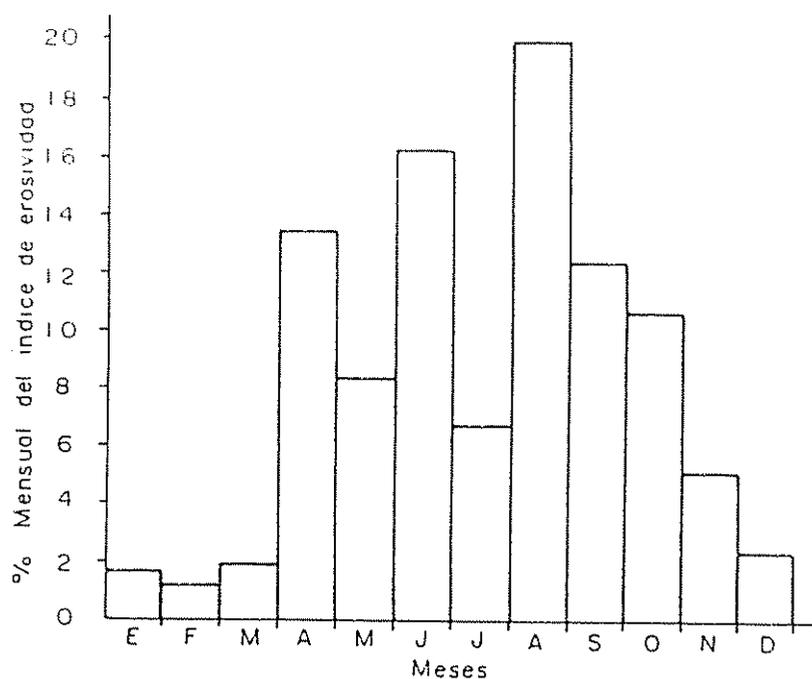


Figura 7A Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Volcán de Buenos Aires, año 1980-1985.

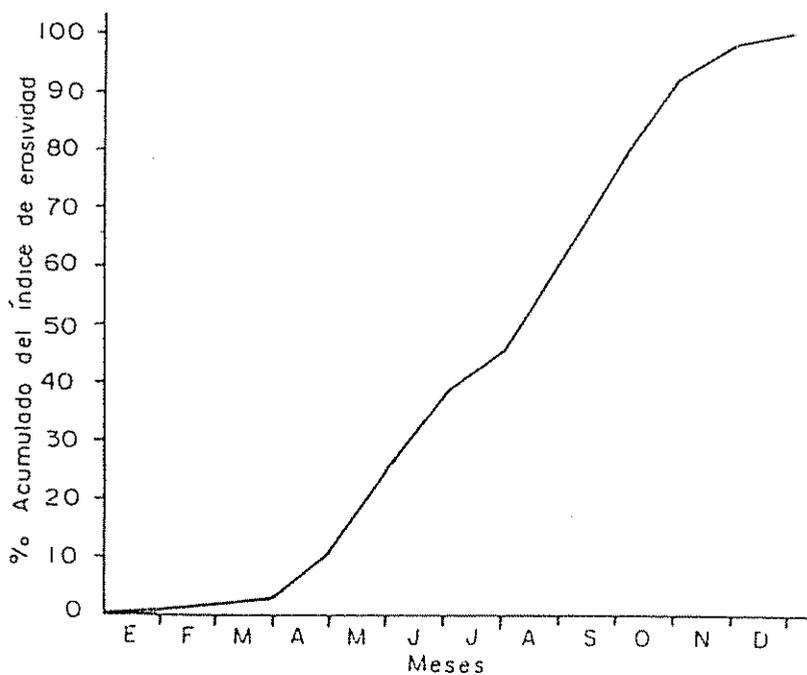
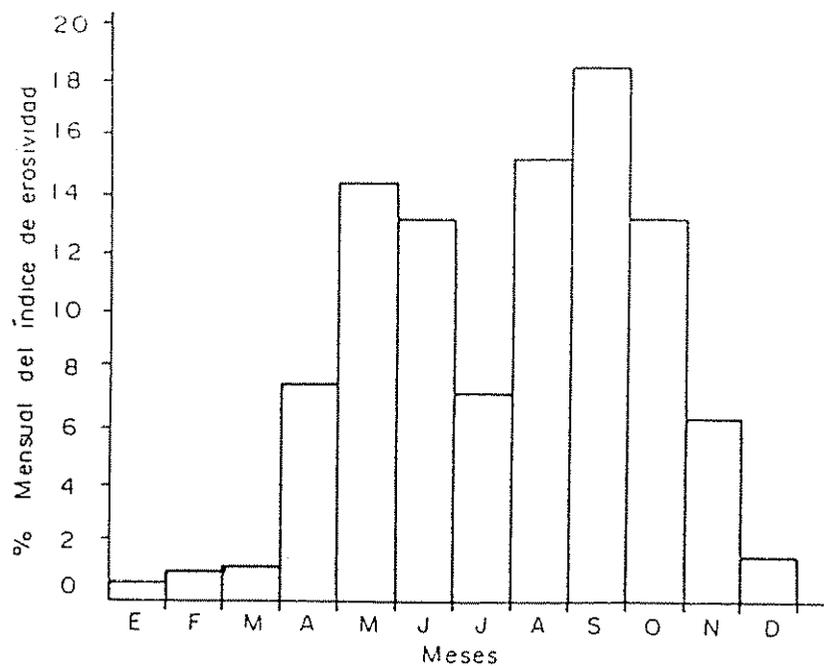


Figura 8A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Ujarrás, año 1980-1985.

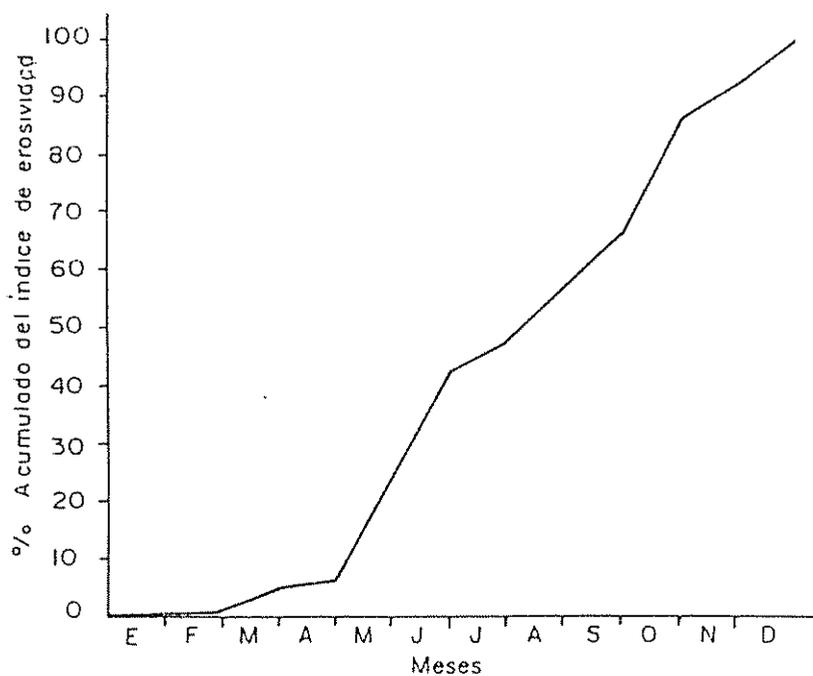
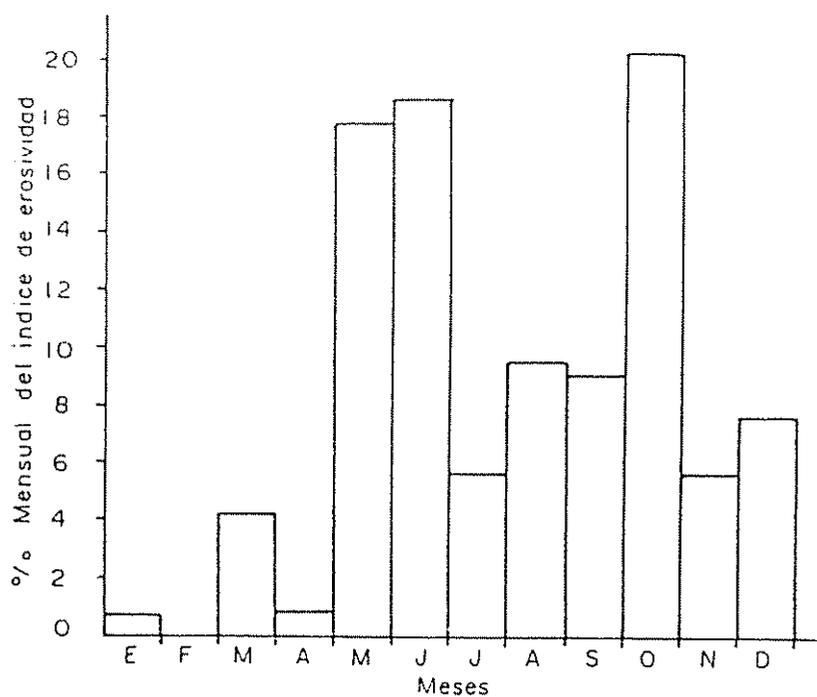


Figura 9A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Maíz de Boruca, año 1980-1985.

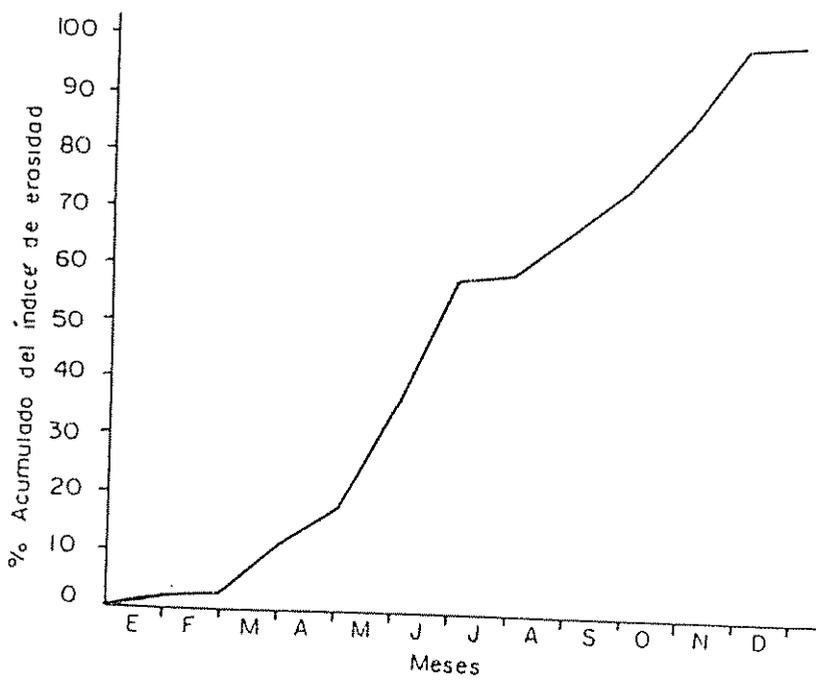
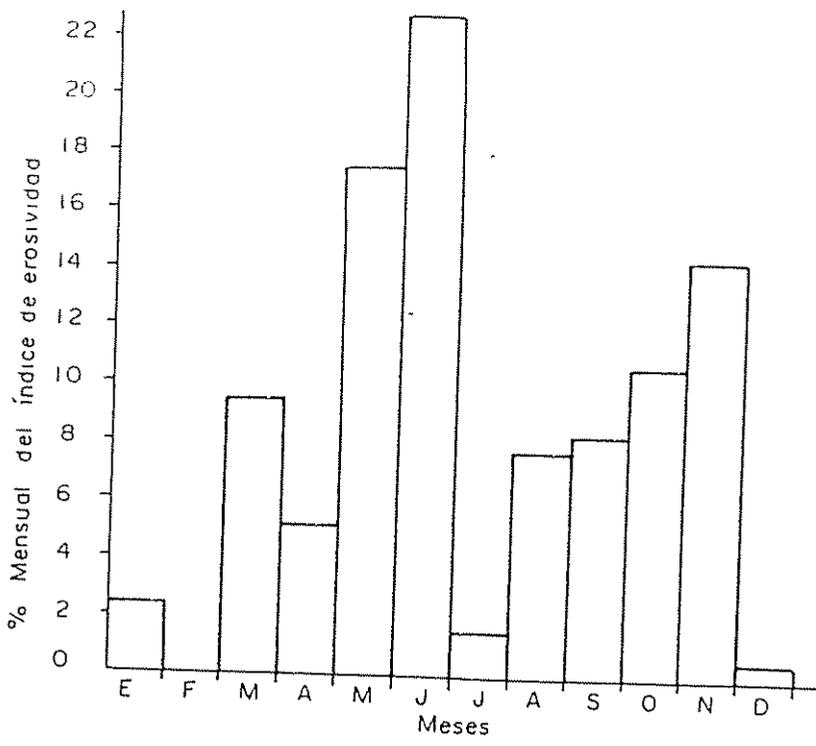


Figura 10A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Potrero Grande, año.1980-1985.

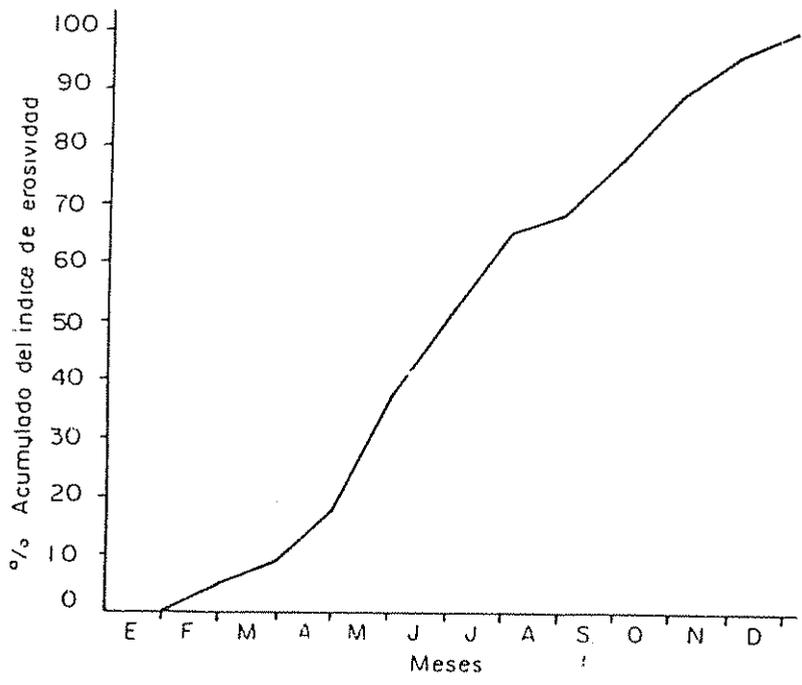
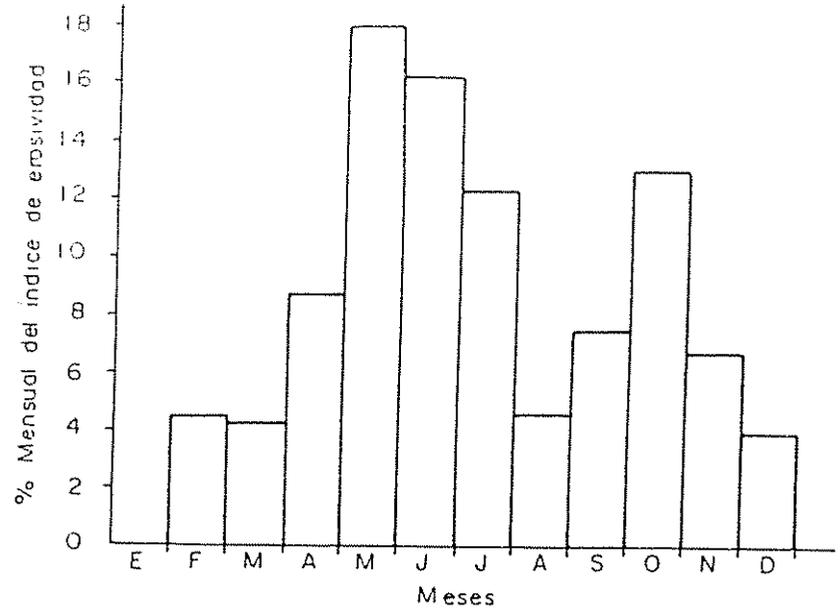


Figura 11A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Guácimo, año 1980-1985.

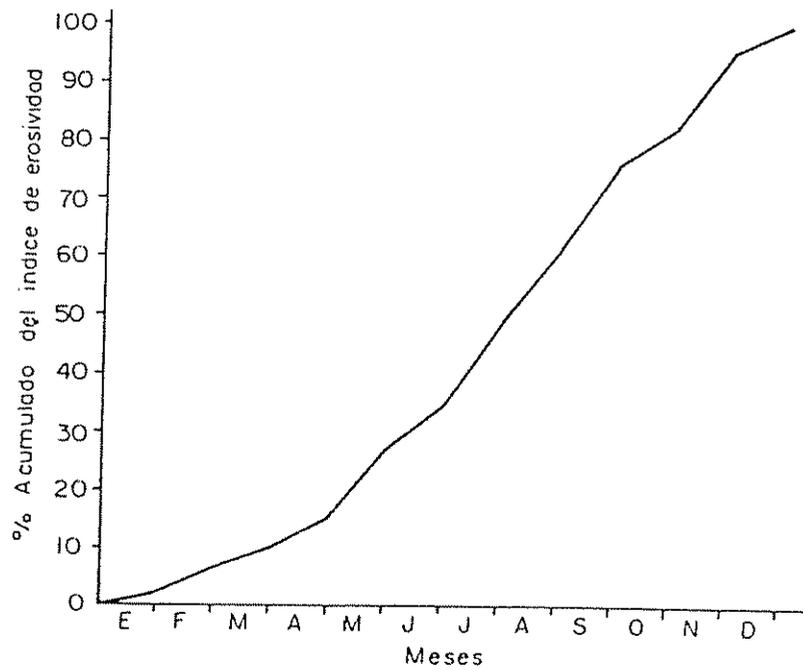
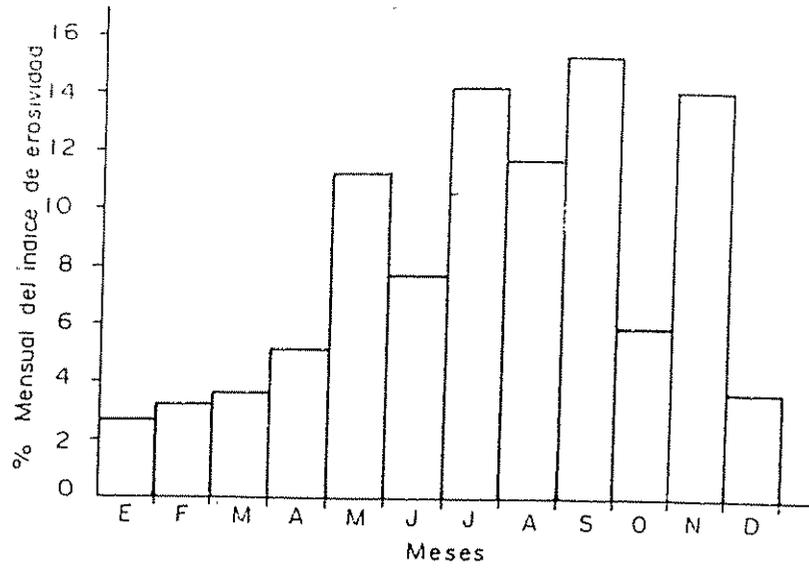


Figura 12A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Limoncito, año 1980-1985.

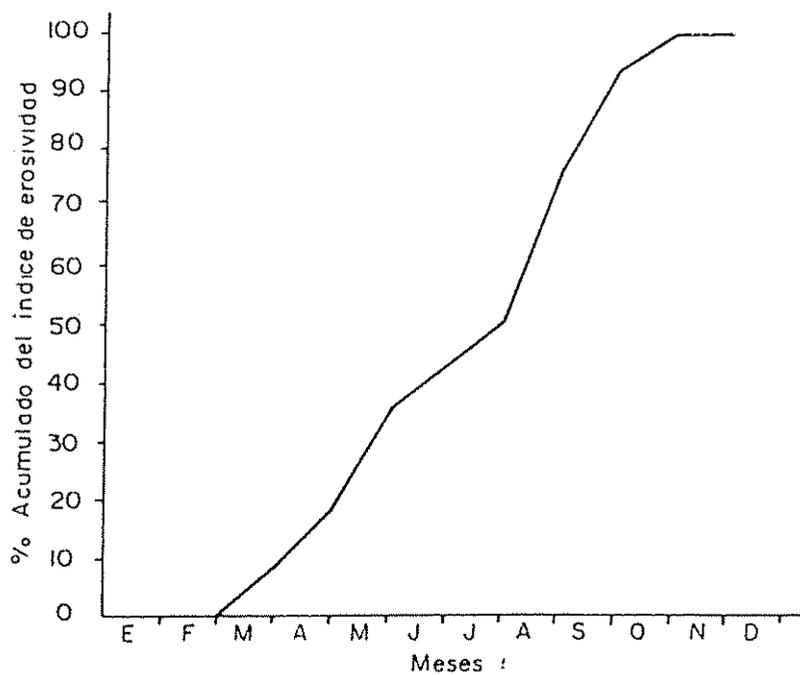
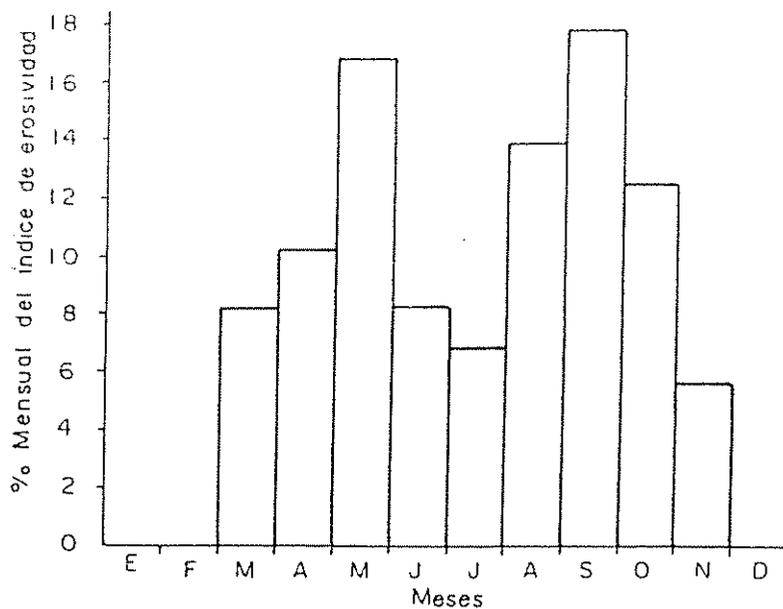


Figura 13A. Distribución promedio mensual (parcial y acumulada) del índice de erosividad en la estación Las Mellizas, año 1980-1985.

APENDICE 4A.

Características de las unidades de suelos principales en la cuenca del río Grande de Térraba.

Se presenta la clasificación según la base taxonómica de suelos, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. La cuenca en total comprende 9 unidades principales descritas como sigue:

1) Andic Humitropept (I-14): comprende aproximadamente 1.780,87 km² (34,4%) del área total de la cuenca. Es un suelo de color pardo rojizo y profundo con influencia de cenizas volcánicas, se asocia con suelos arcillosos de características similares, presentes en regiones de pie de monte. Los suelos asociados son: El Entic Dystrandept y el Andic Tropohumult.

- Características

- . pendiente: de 30 a más de 60%
- . profundidad del suelo: más de 50 cm
- . susceptibilidad a la erosión: media
- . drenaje: medio

2) Andic Humitropept (I-13): comprende aproximadamente 857,3 km² (16,55%) del área total de la cuenca. Es un suelo pardo rojizo, profundo, con influencia de cenizas volcánicas, presentes en colinas y montañas. No presenta suelos asociados lo que la diferencia del Andic Humitropept (I-14).

- Características:

- . pendiente: 15 a 45%
- . profundidad: más de 50 cm
- . susceptibilidad a la erosión: media
- . drenaje: medio

3) Ustoxic Palehumult(U-2): comprende aproximadamente 930,64 km² (17,90%) del área de la cuenca. Es un suelo rojizo profundo y arcilloso, con baja saturación de bases (ácido), presentes en regiones de pie de monte, asociado con suelos de mal drenaje en las depresiones. Se asocia con el suelo Aeric Tropoquet.

- Características:

- . pendiente: 15 a 45%
- . profundidad: más de 50 cm
- . susceptibilidad a la erosión: alta
- . drenaje: medio

4) Plinthic Palehumult(U-3): comprende aproximadamente 787,86 km² (15,20%) del área total de la cuenca. Es un suelo rojizo, profundo, arcilloso y ácido, con acumulación de óxidos de hierro y aluminio en el subsuelo; se asocia con suelos menos desarrollados y más oscuros, presentes en regiones de pie de monte. Se asocia con el suelo Typpic Humitropept.

- Características:

- . pendiente: de 15 a 60%
- . profundidad: mayor a 50 cm
- . susceptibilidad a la erosión: media
- . drenaje: medio

5) Lithic Dystropept(I-30): comprende aproximadamente 429,07 km² (8,30%) del área total de la cuenca. Es un suelo poco profundo y poco desarrollado, con baja saturación de bases, asociados con suelos similares un poco más desarrollados, en zonas de montaña. Se asocia con el suelo Typic Dystropept.

- Características:

- . pendiente: de 45 a 60%
- . profundidad: menos de 50 cm
- . susceptibilidad a la erosión: media
- . drenaje: medio

6) Typic Sulfaquent (E-6): comprende aproximadamente 139,75 km² (2,69%) del área total de la cuenca. Es un suelo mal drenado de textura gruesa, con influencia de mareas, generalmente con vegetación de mangle. Presentes a lo largo de las costas y en zonas bajas inundables. El suelo asociado es Tropic Fluvaquent.

- Características:

- . pendiente: 0-15%
- . profundidad: más de 50 cm
- . susceptibilidad a la erosión: baja
- . drenaje: nulo

7) Typic Tropohumult(U-4): comprende aproximadamente 109,54 km² (2,11%) del área total de la cuenca. Es un suelo rojizo, profundo, arcilloso. El suelo asociado es el Typic Humitropept.

- Características:

- . pendiente: 30-60%
- . profundidad: más de 50 cm
- . susceptibilidad a la erosión: media
- . drenaje: medio

8) Fluvaquentic Hapludoll(M-3): comprende aproximadamente 86,87 km² (1,68%) del área total de la cuenca. Es un suelo de textura media, oscuro desarrollado de depósitos aluviales, con problemas de drenaje. Los suelos asociados son: Typic Trophaequept y el Fluvaquentic Haplaquoll.

- Características:

- . pendiente: 0 - 5%
- . profundidad: más de 50 cm
- . susceptibilidad a la erosión: media
- . drenaje: medio

9) Typic Dystropept (I-26): comprende aproximadamente 64,21 km² (1,24%) del área total de la cuenca. Es un suelo rojo, profundo, bajo en bases, asociados con suelos poco desarrollados y delgado, presentes en relieves colinosos y de montaña (latosol y litosol). Los suelos asociados son: Lithic Dystropept y Typic Troporthent.

- Características:

- . pendiente: de 30 a 45%
- . profundidad: más de 50 cm
- . susceptibilidad a la erosión: alta
- . drenaje: medio

Cuadro 3A. La lucha anti-erosiva integrada.

| Factor de erosión | Medio de control | Medida | Ejemplo |
|---|--|---|---|
| Erosividad de la lluvia | -Frenar el impacto antes de llegar al suelo. | -Plantación de árboles en cortinas e intercalados. | -Agroforestería en general, cultivos permanentes. |
| | | -Agricultura en varios estratos. | -Cultivos intercalados con café, plátano,... |
| Amortiguar el impacto al llegar al suelo. | -Árboles intercalados con los cultivos. | -Agroforestería. | |
| | | -Cobertura del suelo con los mismos cultivos. | -Cultivos intercalados. -Cultivo de cobertura. |
| | | -Cobertura del suelo entre dos periodos de cultivo. | -Barbechos de gramíneas o leguminosas. -Abono verde. |
| | | -Otros | -Mulch |
| Erodabilidad del suelo | -Crear una estructura estable del suelo. | -Enriquecimiento orgánico y mineral del suelo. | -Fertilización orgánica por: - Compost. - Estiércol. - Mulch - Abono verde. - Agroforestería. - Fertilización mineral (NPK, Encalamiento...). |

... Continuación Cuadro 3A.

| Factor de erosión | Medio de control | Medida | Ejemplo |
|-------------------|---|--|--|
| | -Mejorar la infiltración del agua en el suelo | -Cobertura del suelo | -Mulch -Intercalamiento y cultivos de cobertura -Agroforestería |
| | | -Enraizamiento profundo; evitar la formación de capas duras. | -Agroforestería -Fertilización orgánica. -Intercalamiento de gramíneas/tubérculos. -Arado profundo. |
| | -Aumentar la capacidad de retención de agua de suelo. | -Aumentar la porosidad y estabilizar la estructura. | -Fertilización orgánica. -Abono verde. -Encalamiento. |
| | | -Trabajar la tierra en profundidad. | -Arado profundo o camellones -Integración de árboles (agroforestería). |
| | | -Aumentar el contenido de materia orgánica. | -Fertilización orgánica. -Abono verde -Mulch -Agroforestería. |

...Continuación Cuadro 3A.

| Factor de erosión | Medio de control | Medida | Ejemplo |
|-----------------------------|---|--|---|
| Inclinación de la pendiente | -Disminuir las pendientes | -Construcción de terrazas. con fijación de taludes | -Terrazas con taludes fijados por hierbas o árboles. -Terrazas individuales para árboles. |
| | | -Desviación del agua de escurrimiento de las parcelas situadas aguas arriba. | -Zanjas de desviación. |
| Longitud de la pendiente | -Crear barreras para frenar el escurrimiento del agua y retener los sedimentos arrastrados. | -Subdivisión de la parcela en fajas por curvas de nivel con dispositivos anti-escurrimiento. | -Arado por curvas de nivel. -Camellones en curvas de nivel. -Fajas vivas anti-erosivas con hierbas, arbustos y/o árboles. -Fajas muertas. -Zanjas de absorción y de desviación. -Fajas de absorción con gramíneas o mulch o árboles. -Alternancia de parcelas con cultivos permanentes y cultivos de ciclo corto. |