

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Sistema de Estudios de Posgrado

EVALUACION DE LA PERDIDA DE SUELO MEDIANTE LA ECUACION
UNIVERSAL (EUPS): APLICACION PARA DEFINIR ACCIONES DE MANEJO
EN LA CUENCA DEL RIO PEJIBAYE, VERTIENTE ATLANTICA,
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

ILEANA MORA CORDERO

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
Departamento de Recursos Naturales Renovables
Turrialba, Costa Rica

1987

DEDICATORIA

A mi familia y amigos

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar su especial gratitud a los Profesores Donald L. Kass, Jorge Faustino y Eric Richters, por su valiosa colaboración para el desarrollo y conclusión de este trabajo.

Al personal del Proyecto Regional de Manejo de Cuencas, por la amistad y apoyo brindados durante su estadía en el CATIE. También al personal del Departamento de Estudios Básicos del Instituto Costarricense de Electricidad por el interés y cooperación demostrados durante el desarrollo de esta investigación.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y a la Universidad de Costa Rica porque le permitieron ampliar su formación profesional.


BIOGRAFIA

La autora nació en San José de Costa Rica en 1962. Realizó sus estudios secundarios en el Liceo Franco-Costarricense de esta ciudad. En 1979 ingresó al Instituto Tecnológico de Costa Rica, donde obtuvo el título de Ingeniero Agrícola en 1983.

Durante el período 1983-1984 trabajó en ese mismo Instituto, como asistente de investigación en un Proyecto de Mecanización Agrícola en la zona de riego Arenal-Tempisque, al Oeste del país. En 1985 ingresó al Programa de Estudios de Posgrado UCR/CATIE dentro del Departamento de Recursos Naturales Renovables con énfasis en Manejo de Cuencas Hidrográficas.

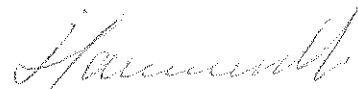
Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito para optar al grado de

Magister Scientiae



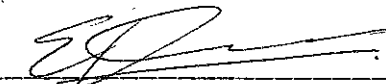
Donald L. Kass, Ph.D.

Profesor Consejero




Jorge Faustino, M.Sc.

Miembro del Comité

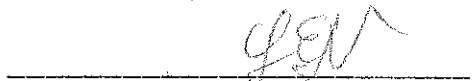


Eric Richters, M.Sc.

Miembro del Comité


José E. Di Stéfano, Ph.D

Director del Programa de Estudios de Posgrado
en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, UCR-CATIE


Luis Estrada, Dr.

Decano del Sistema de Estudios de Posgrado
de la Universidad de Costa Rica


Ileana Mora Cordero

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	x
SUMMARY	xii
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	
2.1 Problemas del uso de la tierra en América Central	3
2.1.1 Situación actual	3
2.1.2 Uso de la tierra y erosión en Costa Rica	4
2.2 El proceso de erosión	5
2.3 Límites de erosión tolerable	7
2.4 Desarrollo de modelos de predicción de erosión	9
2.5 Ecuación universal de pérdida de suelos	
2.5.1 Generalidades	11
2.5.2 Evaluación de los factores	14
2.5.3 Evaluación de algunos de los parámetros en la zona en estudio	19
2.5.4 Aplicación de la EUPS a nivel de cuenca hidrográfica	21

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales	25
3.1.1 Determinación de los índices de erosividad de la lluvia en la cuenca	25
3.1.2 Determinación del factor de erodabilidad del suelo	25
3.1.3 Determinación del factor de cobertura y manejo	26
3.1.4 Determinación del factor longitud-grado de pendiente	27
3.1.5 Evaluación de la erosión por unidades homogéneas	27
3.2 Metodología	27
3.2.1 Descripción de la zona en estudio	27
3.2.2 Elaboración del mapa de erosividad de la lluvia	33
3.2.3 Elaboración del mapa de erodabilidad del suelo	37
3.2.4 Estimación del factor topográfico longitud-grado de la pendiente (LS)	40
3.2.5 Mapa de cobertura vegetal y evaluación del factor cobertura-manejo de cultivos	43
3.2.6 Evaluación del factor prácticas de protección	43
3.2.7 Evaluación de la pérdida de suelos mediante la aplicación de la EUPS para cada unidad homogénea	43

	Página
4. RESULTADOS	
4.1 Erosividad de las lluvias	46
4.2 Erodabilidad de suelos	57
4.3 Longitud y grado de pendiente	59
4.4 Cobertura y manejo de cultivos	61
4.5 Evaluación de la pérdida promedio de suelo en las distintas unidades dentro de la cuenca	62
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
7. BIBLIOGRAFIA	70
8. APENDICE	77
Anexo 1 Programa de computador para el cálculo de la erosividad de las precipitaciones	79

MORA CORDERO, I. 1987. Evaluación de la pérdida de suelo mediante la ecuación universal (EUPS): aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del Río Pejibaye, Vertiente Atlántica, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., Programa UCR/CATIE. 104 p.

RESUMEN

En este trabajo se presenta una evaluación de la susceptibilidad a la erosión laminar y en surcos en la cuenca hidrográfica del río Pejibaye, ubicada en la vertiente atlántica de Costa Rica. Dicha cuenca posee gran potencial hidroeléctrico, y su área aproximada es de 250 km². Los principales usos de la tierra son el bosque primario, el café, la caña de azúcar, los pastos y los charrales.

Para hacer dicha evaluación se parte del supuesto de que la ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1978) puede ser utilizada para evaluar la pérdida de suelo en esta cuenca hidrográfica e identificar zonas con distintos requerimientos de manejo. Así, se elaboraron mapas temáticos de la distribución espacial de los factores de la ecuación, los que luego se superponen para definir áreas homogéneas donde se aplica el modelo.

Debido a los altos valores de erosividad de las lluvias y de las pendientes, la zona es propensa en alto grado a la erosión hídrica. No obstante, al aplicar el modelo se obtiene que la erosión en la mayor parte de la cuenca es leve. Esto se debe a los bajos valores de erodabilidad del suelo (consecuencia del alto contenido de materia orgánica y arcilla), pero en primer lugar a la cobertura vegetal boscosa que cubre gran parte de la cuenca media y alta. Por lo tanto, es necesario para la conservación del recurso suelo (y agua) en esta región que no se favorezcan cambios

en el uso de la tierra en las zonas cubiertas con vegetación natural. En las zonas bajo otro tipo de uso (café, caña de azúcar) es necesaria la utilización de prácticas de conservación de suelos sencillas que ayuden a amortiguar la alta susceptibilidad natural a la pérdida de suelos.

Palabras claves: Modelos de erosión, conservación de suelos, planificación del uso de la tierra

MORA CORDERO, I. 1987. Evaluation of soil loss through the universal soil loss equation (USLE): applicability to define management actions on the Pejibaye River Basin, Costa Rica.

SUMMARY

This work presents an evaluation of the susceptibility to rill and interrill erosion on the Pejibaye River basin, Costa Rica. The basin has a high hydroelectric potential, and an approximate area of 250 km². The main land uses are forest, coffee, sugar cane and range.

To perform the evaluation it was assumed that the universal soil loss equation (Wischmeier and Smith, 1978) can be used to evaluate soil loss in this watershed and to identify zones with different management needs. Application of the equation made it possible to make thematic maps of the spatial distribution of the factors in the equation, identify homogeneous zones and then apply the model.

Because of the high values of rain erosivity and slope, the entire basin has a high susceptibility to soil erosion. Nevertheless, when applying the model, erosion for most of the watershed appears to be slight, due to the low values of soil erodibility (consequence of the high organic matter and clay contents), and to the forest cover that predominates in the region. Because of that, preservation of the forest cover is therefore necessary for the preservation of the soil and water in this basin. On the zones with other land uses (coffee, sugar cane), the implementation of simple soil conservation practices, that could help to reduce the high natural susceptibility to soil loss is necessary.

Keywords: erosion modeling, soil conservation, land use planning

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Crecimiento de la población humana y la deforestación en Costa Rica	4
Cuadro 2 Factor R de erosividad de las lluvias para las estaciones meteorológicas en la cuenca del Río Pejibaye (MJ.mm/ha.h)	47
Cuadro 3 Distribución mensual promedio del factor erosividad de la lluvia (% del total anual)	52
Cuadro 4 Erosividad promedio anual en los puntos de estudio para el período 1981-1985	54
Cuadro 5 Resumen de los resultados de los análisis de suelos	57
Cuadro 6 Modificación de los análisis texturales ..	58
Cuadro 7 Valores utilizados para el cálculo de la erodabilidad de los suelos en los sitios muestreados	58
Cuadro 8 Erodabilidad del suelo en los sitios de muestreo	59
Cuadro 9 Valores de la longitud y el grado de pendiente características por subcuenca, y factor topográfico LS para cada una de las subcuencas	61
Cuadro 10 Valores del factor C de cobertura y manejo para los diferentes cultivos	62

En el Apéndice:

Cuadro 1A	Formulario para la entrada de datos de precipitación al computador	78
Cuadro 2A	Valores de la EUPS utilizados para la evaluación de la pérdida de suelos en la cuenca del Río Pejibaye	99
Cuadro 3A	Pérdida de suelo A_i (ton/ha.año) según uso de la tierra para cada combinación presente de los factores RKLSP en la cuenca del río Pejibaye	103

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Avance de la deforestación en Costa Rica ..	6
Figura 2	Curvas de nivel y ríos principales de la Cuenca del Reventazón, Costa Rica	29
Figura 3	Red de drenaje de la Cuenca del Río Pejibaye, Costa Rica	30
Figura 4	Isoyetas de precipitación de la Cuenca del Río Pejibaye (en mm).....	32
Figura 5	Ubicación de las estaciones meteorológicas estudiadas	34
Figura 6	Ubicación de los sitios de muestreo de suelos	38
Figura 7	Subcuencas para las que se definió un valor característico del factor topográfico LS .	41
Figura 8	Mapa de cobertura vegetal en la cuenca del Río Pejibaye	44
Figura 9	Erosividad promedio mensual en las esta- ciones estudiadas	53
Figura 10	Erosividad promedio anual en las estaciones estudiadas	54
Figura 11	Líneas de isoerosividad de lluvia	55
Figura 12	Mapa de zonas de erosividad de lluvia para la cuenca	56

Figura 13	Mapa de erodabilidad de suelos	60
Figura 14	Mapa de erosión en la Cuenca del Río Pejibaye	63
En el Apéndice:		
Figura 1A	Erosividad de las lluvias (1981-85), estación T-Seis	82
Figura 2A	Erosividad de las lluvias (1981-85) estación Tucurrique	83
Figura 3A	Erosividad de las lluvias (1981-85) estación Taus	84
Figura 4A	Erosividad de las lluvias (1981-85) estación Cordoncillal	85
Figura 5A	Erosividad de las lluvias (1981-85) estación El Gato	86
Figura 6A	Erosividad de las lluvias (1981-85) estación Cuencas	87
Figura 7A	Erosividad de las lluvias (1981-85) estación Destierro	88
Figura 8A	Erosividad de las lluvias (1981-85) estación El Humo	89
Figura 9A	Erosividad de las lluvias (1981-85) estación Tábano	90
Figura 10A	Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuenca A	91

Figura 11A	Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuenca B	92
Figura 12A	Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuenca C	93
Figura 13A	Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuenca D	94
Figura 14A	Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuenca E	95
Figura 15A	Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuenca F	96
Figura 16A	Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuenca G	97
Figura 17A	Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuenca H	98

1. INTRODUCCION

La erosión del suelo en América Central es un problema muy serio, pues las prácticas agrícolas inapropiadas y los esquemas mal aplicados en el uso de la tierra son un impedimento para el desarrollo de sistemas de producción continuos y exitosos.

En Costa Rica, al igual que en el resto de la región centroamericana, la producción agropecuaria ha sido la base del desarrollo económico nacional. Casi toda la tierra rural ubicada en regiones escarpadas (cerca del 60% del territorio nacional) sufre de erosión acelerada, y mucha de esta erosión ha ocurrido en las últimas décadas debido a cambios en el uso de las tierras. A pesar de esto, no se ha hecho ningún estudio formal para evaluar la velocidad, el carácter, los sitios o cualidades de las pérdidas de suelo a nivel nacional. Hay necesidad de iniciar investigaciones en este sentido, ya que dicha información sería de gran utilidad para la toma de decisiones acerca del efecto y consecuencias de distintas prácticas de uso de la tierra, y se podrían ordenar las prioridades para la conservación de suelos.

La ecuación universal de pérdida de suelos (EUPS, desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978) ha sido el modelo más frecuentemente utilizado alrededor del mundo para predecir las pérdidas de suelo por erosión laminar y en surcos. La EUPS se ha aplicado exitosamente a grandes

extensiones de terreno permitiendo calcular un índice de la susceptibilidad del suelo a la erosión como consecuencia de todos los factores que afectan la pérdida de suelo. Esta investigación partió del supuesto de que la ecuación puede ser utilizada para evaluar la pérdida de suelo a nivel de una cuenca hidrográfica e identificar dentro de ella zonas con distintos requerimientos de manejo.

Los objetivos del trabajo fueron:

1- Evaluar la pérdida de suelo por erosión laminar y en surcos en la Cuenca del Río Pejibaye, mediante el análisis de los factores que intervienen en el proceso.

2- Identificar zonas con distintos requerimientos de manejo.

Además a partir de ello fue posible identificar las ventajas y limitaciones de aplicar dicho modelo a las condiciones de Costa Rica.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Problemas del uso de la tierra en América Central

2.1.1 Situación actual

En las últimas décadas, la población en la región centroamericana ha crecido a una tasa más rápida que en ninguna otra región del mundo, y actualmente está creciendo a una tasa de 2,9% anual, mayor que la de los otros países latinoamericanos. A través de toda la región existen evidencias de que las presiones de la creciente población y las economías en expansión están provocando que, tanto los gobiernos como la población en general, sobreexploten los recursos naturales disponibles con el fin de satisfacer las necesidades inmediatas diarias, incrementar las oportunidades de empleo y los ingresos, y evitar decisiones políticas difíciles tales como la redistribución de las tierras productivas. Como consecuencia de lo anterior, las tasas de degradación de los bosques, suelos, pesquerías, y otros recursos cruciales exceden grandemente las tasas de renovación de estos recursos, y otros problemas asociados tales como la erosión del suelo, la sedimentación de embalses hidroeléctricos y zonas costeras, y la contaminación del agua han adquirido proporciones de crisis en muchos lugares de la región (International Institute for Environment and Development, 1985).

El cambio ecológico más importante ocurrido a lo largo de toda América Central como resultado de las presiones económicas y de la población es la rápida y continua conversión de los bosque naturales a otros usos de la tierra. Este problema se agrava si se toma en cuenta que según los expertos las tierras forestales con el mejor potencial agrícola ya han sido ocupadas. Muchos de los bosques restantes se encuentran sobre suelos que son de baja calidad y sujetos a rápido deterioro.

El problema de erosión asociado con este fenómeno es por lo tanto muy grave en la región. Se puede destacar el caso de El Salvador, donde para 1984 más del 50% del territorio estaba sujeto a una seria erosión de suelo. En Guatemala, Honduras y Costa Rica, el problema también es serio en todas las tierras altas (Dourojeanni, 1982).

2.1.2 Uso de la tierra y erosión en Costa Rica:

En el cuadro 1 se muestra una síntesis del crecimiento de la población humana en Costa Rica en los últimos cinco siglos, así como del grado de deforestación a lo largo de estos mismos años.

Hay que destacar la estrecha relación entre el acelerado proceso de deforestación y el crecimiento demográfico, ya que la población del país ha aumentado desde 1900 hasta 1984 en más de 2 millones de habitantes, y en este mismo lapso se ha deforestado más del 50% del país.

Cuadro 1 Crecimiento de la población humana y la deforestación en Costa Rica.

FECHAS	POBLACION	PORCENTAJE DE DEFORESTACION	TASA ANUAL DE DEFORESTACION (%)
1522	27200	1,00	
1569	17479	5,00	0,032
1802	52519	7,70	
1900	303762	13,30	0,65
1960	1182096	36,60	
1977	1890000	58,30	1,303
1984	2450000	67,86	
2000	3500000	89,00	

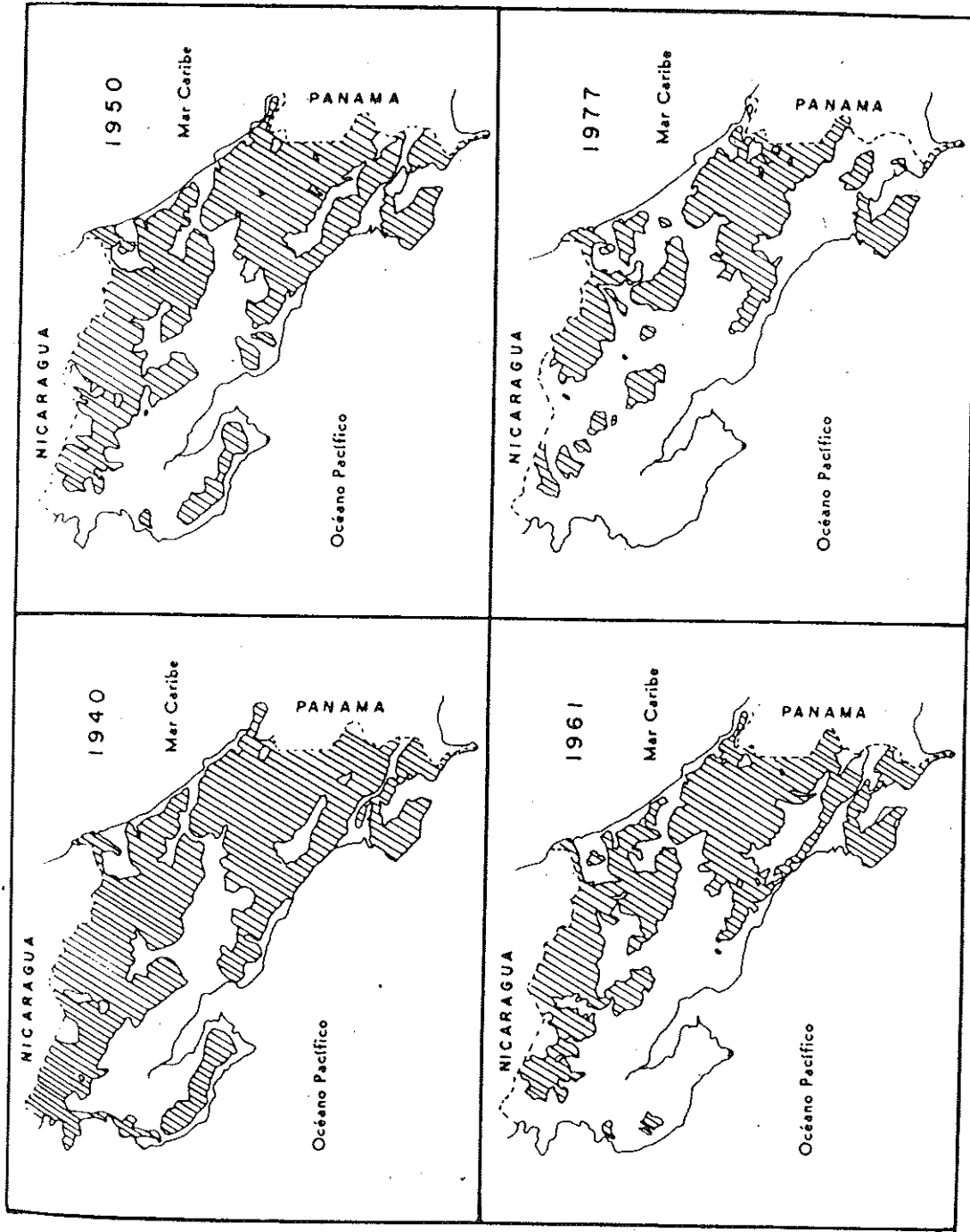
(Fuente: Fournier, 1981)

Se ha estimado que Costa Rica tiene la tasa de deforestación más alta en América Latina: de 60000 a 70000 hectáreas de bosque por año (1,2 % a 1,4 % del territorio nacional) (Hedström, 1985). Un estudio del Banco Central de Costa Rica estimó que para 1997 se habrían agotado los bosques naturales y comerciales, si se continúa con esta tasa de deforestación (Hedström, 1985) (figura 1).

No se ha hecho ningún estudio formal para evaluar la velocidad, el carácter, los sitios o calidades de las pérdidas de suelos a nivel nacional. Arscott, citado por Hartshorn (1982), calculó que un tercio de la superficie del país experimenta una erosión extrema y otro tercio experimenta formas más sutiles de erosión y anegación. En el perfil ambiental del país (Hartshorn, 1982), se intenta un cálculo preliminar de pérdidas por erosión. Sus resultados indican que un 58% de todos los suelos de Costa Rica no dan muestras importantes de erosión, un 24% presentan de ligera a moderada erosión, un 14% están severamente erosionados, y un 3% son prácticamente inservibles económicamente a causa de los estragos de la erosión. No presentan sin embargo ninguna aproximación numérica a estas pérdidas, por lo que se trata de apreciaciones puramente cualitativas. Indican también que para la interpretación de estos resultados, sin embargo, se debe tomar en cuenta que una gran parte de las tierras actualmente libres de erosión o está en las llanuras con pocas posibilidades de ser afectadas por la erosión, o está todavía en bosque primario. De la tierra rural actualmente utilizada (aproximadamente el 60% del país) casi toda la que está en regiones escarpadas y accidentadas está erosionada y mucha de esta erosión ha ocurrido en los últimos treinta años (Hartshorn, 1982).

2.2 El proceso de erosión

La aceleración del proceso erosivo en las tierras agrícolas es el resultado de dos factores: manejo inadecuado



▨ Cobertura boscosa

Figura 1 Avance de la deforestación en Costa Rica
(fuente: Hartshorn, 1982)

de suelos productivos y explotación de tierras marginales (Dregne, 1982). El uso de la tierra tiene aparentemente el mayor impacto en la erosión del suelo, por lo que el cambio en la cobertura por el uso de la tierra debe recibir un énfasis principal al evaluar los problemas de erosión y seleccionar prácticas de control de la misma.

La vegetación protege al suelo contra la erosión, principalmente de las siguientes maneras:

- 1- Protección directa del impacto de las gotas de lluvia.
- 2- Efecto de amarre por parte de las raíces.
- 3- Mejoramiento de la estructura y de la infiltración, por un aumento en el contenido de materia orgánica en el suelo.

Si la cobertura vegetal es removida, la tasa de pérdida de material del suelo, al menos al principio, se incrementa rápidamente (Bruce, 1985).

En las regiones tropicales, aunque es generalmente reconocido que la erosión es más seria que en ningún otro lugar, no se han llevado a cabo estudios analíticos o sistemáticos para documentar el problema, sus consecuencias o soluciones potenciales (El-Swaify y Dangler, 1982).

2.3 Límites de erosión "tolerable"

El suelo es un ente dinámico que evoluciona lentamente, y alguna erosión es permisible siempre y cuando no se erosione más suelo del que se está formando. Sin embargo, si el suelo es removido más rápido que su tasa de formación, su calidad y valor disminuye.

La tolerancia a la pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo que permite que se sostenga un alto nivel de productividad. Se utiliza como una guía para la planificación en la conservación de suelos (Mitchell y Bubbenzer, 1980). Al estudiar el si o no la erosión presente representa un problema serio, siempre surge la pregunta

sobre cuál cantidad de pérdida de suelo es normal y puede, por lo tanto, ser tolerada. Esta pregunta no ha sido aún contestada en los trópicos. Incluso actualmente se siguen aceptando valores de pérdida anual cercanos a los primeros propuestos por Bennet en 1939, de hasta 11 toneladas métricas/ha (El-Swaify y Dangler, 1982).

Según Lal (1985), las reservas de nutrimentos del suelo en los trópicos están generalmente concentradas en el delgado horizonte superficial. Los suelos son generalmente infértiles y el subsuelo expuesto es generalmente no deseable para el crecimiento de raíces. En estos suelos tropicales delgados e infértiles, la productividad puede declinar más rápidamente con menos pérdida de suelo que en suelos más fértiles en regiones templadas. Esto no quiere decir que todos los suelos en los trópicos tienen bajos niveles de tolerancia a la pérdida de suelo. Algunos suelos de origen reciente, por ejemplo, los Andosoles e Inceptisoles, son altamente productivos. Poseen características edafológicas favorables en el subsuelo. La erosión por lo tanto causa menores reducciones en los rendimientos en este tipo de suelos.

Al hablar de tolerancia a la erosión del suelo para regiones tropicales se debe tomar en cuenta, entre otras condiciones especiales, la variabilidad extrema entre los suelos, lo que puede necesitar la formulación de varios límites diferentes de tolerancia a la erosión.

En forma general, se puede decir que el grado de erosión que puede ser tolerado depende de la profundidad del suelo, el estado de nutrimentos y las propiedades físicas del subsuelo, así como de la naturaleza de los cultivos por crecer. Para suelos tropicales delgados, una pérdida de unos pocos centímetros de suelo superficial puede resultar en serias reducciones en los rendimientos (Lal, 1976).

2.4 Desarrollo de modelos de predicción de erosión

Obviamente, el método más confiable de estudiar la erosión de suelos es el análisis directo de la pérdida de suelos bajo distintas condiciones de cobertura a lo largo de varios años (Dunne, Aubry, y Wahome, 1981). Esto requiere, sin embargo, de una gran disponibilidad de tiempo, recursos económicos y personal capacitado, que no siempre están disponibles. Afortunadamente, los estudios de las relaciones causales han llevado progresivamente a modelos matemáticos más eficientes, que permiten predecir la erosión a partir de determinadas condiciones (Wischmeier y Smith, 1978).

Según un resumen presentado por Hudson (1971), las primeras investigaciones científicas acerca de la erosión fueron efectuadas por el alemán Wollny, entre 1877 y 1895. Se utilizaron pequeñas parcelas para medir una amplia gama de efectos, como el de la vegetación y el mantillo en la intercepción de la precipitación y en el deterioro de la estructura del suelo, y los efectos del tipo de suelo y pendiente en la escorrentía y la erosión. Aparte de este trabajo pionero, el liderazgo en la investigación de la erosión provino principalmente de los Estados Unidos de América. Los primeros experimentos cuantitativos norteamericanos se llevaron a cabo por el Servicio Forestal en 1915 en Utah, seguidos de cerca por los de Miller, en Missouri en 1917, que llevaron en 1923 a la publicación de los primeros resultados de experimentos en parcelas. Siguiéron otros experimentos similares, utilizando esencialmente el mismo método. Bennet estableció entre 1928 y 1933 una red de diez estaciones experimentales. Durante la década siguiente este programa se expandió hasta que hubo en operación cuarenta y cuatro estaciones, que incluían experimentos sobre control mecánico de la erosión y erosión desde pequeñas cuencas (Hudson, 1971).

Durante los años 30, se realizaron los primeros estudios analíticos del fenómeno de la erosión. Trabajaron

en ello Baver, Borst, Woodburn y Musgrave, y esto llevó al primer estudio detallado de la lluvia natural por Laws en 1940, y al primer análisis de la acción mecánica de las gotas en el suelo por Ellison en 1944 (Hudson, 1971).

La investigación analítica fue dirigida hacia objetivos más específicos por medio del establecimiento en 1954 de un estudio a nivel de todo el país (EE.UU.), que utilizó técnicas modernas de análisis de datos para correlacionar los resultados de todos los experimentos de campo (Hudson, 1971).

A finales de los años 60, los investigadores comenzaron a desarrollar ecuaciones y modelos de pérdida de suelo basados en conceptos y ecuaciones de la mecánica básica de la erosión. En los años 70, se desarrollaron modelos de erosión para estimar la erosión y producción de sedimentos a partir de tormentas individuales en cuencas complejas (Onstad y Foster, 1974). A la vez que estos modelos fueron un paso definitivo hacia un modelo práctico de erosión-producción de sedimentos para cuencas complejas, ilustraron la necesidad de más información acerca de los subprocesos básicos de la erosión como el desprendimiento, el transporte y la depositación (Foster, Meyer y Onstad, 1977).

Actualmente, la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) es el modelo más utilizado para predecir las pérdidas de suelo por erosión hídrica. Por muchos años la ecuación, desarrollada por Wischmeier y sus asociados a partir de 1957, ha sido utilizada en tierras agrícolas y desde 1971 en sitios de construcción, en tierras bajo pasto y bosque (Arnoldus, 1977).

Se han propuesto varias modificaciones de la EUPS para diversas aplicaciones. La mayoría de las modificaciones adicionales son extensiones que tratan de aplicarla a la predicción sobre la producción de sedimentos (Mitchell y Bubenzer, 1980).

La ecuación universal y otras técnicas similares para estimar la pérdida de suelo se desarrollaron principalmente

para proporcionar un instrumento de planificación para los técnicos en conservación de suelos, por lo que la facilidad de su aplicación fue la consideración más importante en su formulación. La aceptación general de la EUPS tanto por parte de los técnicos como por parte de los científicos ha demostrado el grado en que esta técnica ha tenido éxito como un útil instrumento de campo. Sin embargo, el método no satisface la necesidad de un modelo detallado que simule la erosión del suelo como un proceso dinámico ni describe el movimiento del suelo a lo largo de la pendiente (Mitchell y Bubenzer, 1980).

La EUPS es ampliamente utilizada para desarrollar planes de conservación de suelos cuando el mantenimiento de la productividad es el principal objetivo. Los valores promedio de pérdida de suelo anual estimados con la ecuación son bastante satisfactorios para esto. No obstante, en otras aplicaciones, como el diseño de planes de control de sedimentos para sitios de construcción, donde se necesitan estimaciones de la pérdida de suelo para tormentas individuales, los valores estimados mediante la EUPS pueden diferir grandemente de los observados (Wischmeier, 1976).

2.5 Ecuación universal de pérdida de suelos

2.5.1 Generalidades

La ecuación agrupa los numerosos parámetros físicos y de manejo que influyen en la tasa de erosión bajo seis principales factores cuyos valores específicos de sitio pueden ser expresados numéricamente (Wischmeier y Smith, 1978).

La ecuación de pérdida de suelo es :

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

en donde

- A = la pérdida de suelo calculada por unidad de área, expresada en las unidades seleccionadas para K y para el período seleccionado para R. En la práctica, estas son generalmente seleccionadas de manera tal que el valor de A se obtenga en toneladas por acre por año, pero se pueden seleccionar otras unidades.
- R = factor de la lluvia y escorrentía, es el número de unidades del índice de erosividad de la lluvia, más un factor por escorrentía después del deshielo o la aplicación de agua cuando semejante escorrentía es significativa.
- K = factor de erodabilidad del suelo, es la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosión para un suelo en específico tal como es medida en una parcela estándar, que es definida como de longitud 22,13 metros con pendiente uniforme de 9% y bajo barbecho continuo.
- L = factor de longitud de pendiente, es la relación entre la pérdida de suelo desde la longitud de la pendiente del campo y la de una pendiente con 22,13 metros de longitud bajo idénticas condiciones.
- S = factor de gradiente de pendiente, es la relación entre la pérdida de suelo desde la gradiente de la pendiente en el campo y la pérdida de suelo desde una pendiente con 9% de gradiente con todas las otras condiciones idénticas.
- C = factor de manejo y cobertura, es la relación entre la pérdida de suelo desde un área con cierta cobertura y manejo específicos y la pérdida desde un área exactamente igual pero bajo barbecho continuo.

P = factor del método de control de erosión, es la relación entre la pérdida de suelo con una práctica de control de la erosión como la siembra a contorno, en fajas o el terraceo, y la pérdida que ocurriría con un laboreo y siembra a favor de la pendiente.

Según Wischmeier (1976), la ecuación universal puede utilizarse adecuadamente para:

- predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas para uso de la tierra,
- servir como guía en la selección de sistemas de cultivo y manejo, y de prácticas de conservación para suelos y pendientes específicos,
- predecir el cambio en la pérdida de suelo que resultaría de un cambio en las cosechas sobre un campo específico,
- determinar como pueden aplicarse o alterarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intensivo,
- estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso de suelo distinto al agrícola y,
- obtener estimaciones de pérdida de suelo para que los conservacionistas de suelos determinen las necesidades de conservación.

Los factores de la EUPS se desarrollaron mediante una unidad de evaluación llamada parcela estándar. Una parcela estándar poseía una longitud de 22,13 metros sobre una pendiente uniforme de 9 % en sentido longitudinal. La parcela fue labrada hacia arriba y abajo de la pendiente y estuvo bajo barbecho continuo durante dos años. Los datos básicos a menudo se obtenían de parcelas de 40,5 m² (0,01 acres) de tamaño. Para un ancho de 1,83 metros (6 pies) se

requería una longitud de parcela de 22,13 metros (72,6 pies). La parcela estándar se tomó como base para definir la variación en L, S, C, y P (Mitchell y Bubenzer, 1980).

La pérdida de suelo estimada es el suelo movido fuera de un segmento particular de la pendiente, representado por los factores topográficos seleccionados (Robinson, 1979).

2.5.2 Evaluación de los factores

Para una descripción detallada de los factores, se remite a Wischmeier y Smith, 1978.

La selección de un índice R como una medida de la erosividad o capacidad de la lluvia para producir erosión, se basó en una evaluación empírica de varias medidas potenciales de esta característica (Wischmeier, 1972). El índice EI₃₀ explicó entre el 72% y el 97% de la variación de la erosión por aguaceros individuales en 55 parcelas estudiadas por Wischmeier (Wischmeier, 1959; Smith y Wischmeier, 1962).

Según Hudson (1971) y Lal (1977), uno se puede cuestionar la aplicabilidad de extrapolar este factor empírico desarrollado para zonas templadas a los trópicos. No obstante, el factor R contiene la información básica requerida de un factor de erosividad. Un examen de la construcción del EI₃₀ (el factor R en la EUPS) muestra que E, energía total de la tormenta, está muy altamente correlacionada con el volumen de precipitación de manera que EI₃₀ es casi directamente proporcional a $V_r I_{30}$ donde V_r = volumen de la precipitación, e I_{30} = máxima intensidad en treinta minutos para la tormenta. La relación de la erosión con la erosividad es más compleja que lo que se ha descrito, pero el factor EI₃₀ contiene directamente los dos factores, volumen de precipitación y una intensidad característica, que se esperaría que afecten más la erosión. En este aspecto, el EI₃₀ presenta mucho más universalidad que la que

sugeriría su descubrimiento empírico (Foster, Moldenhauer y Wischmeier, 1982; Ulsaker y Onstad, 1984).

Aunque es posible el uso de otros factores de erosividad que no sean directamente proporcionales al EI_{30} , se gana muy poco si son usados con valores de erodabilidad K de la USLE. Los valores de erodabilidad de suelo derivados de tales factores de erosividad pueden no ser directamente proporcionales a K . Si se asume una proporcionalidad directa, las mejores correlaciones obtenidas al utilizar otros índices de erosividad pueden perderse, y se pueden introducir errores en los valores de los otros factores. Por lo tanto, a menos de que se definan nuevos valores para la erodabilidad del suelo en caso de que se use un nuevo índice de erosividad, el factor R de la USLE debería ser retenido si K es retenido, ya que K está definido en términos de R (Foster, Moldenhauer y Wischmeier, 1982).

Es necesario conocer cinco parámetros del suelo para predecir su erodabilidad acertadamente: el porcentaje de limo más arena muy fina, el porcentaje de arena mayor de 0,10 milímetros, el contenido de materia orgánica, la estructura y la conductividad hidráulica bajo saturación (Wischmeier, Johnson y Cross, 1971). Estos parámetros se reúnen en una fórmula para el cálculo de la erodabilidad del suelo, o pueden ser utilizados para estimar K a partir de un momograma. Para suelos que contienen más o menos un 2% de materia orgánica, el valor de K decrece o se incrementa según una función de la textura. No ha sido determinado cómo, o cuánto, disminuye la erodabilidad cuando los niveles de materia orgánica se exceden de 4% (Wischmeier, Johnson y Cross, 1971).

En suelos forestales, con altos contenidos de materia orgánica, se recomienda multiplicar el valor de K por un factor de corrección de 0,7 (Wischmeier y Smith, 1978).

Según Foster, Moldenhauer y Wischmeier (1982), la erodabilidad del suelo puede ser el valor de la USLE más

difícil de transferir a zonas tropicales, debido a la gran diferencia y variabilidad en las condiciones del suelo.

Un problema común al aplicar la ecuación consiste en definir la longitud de la pendiente. La longitud efectiva de la pendiente es la distancia desde el punto de origen del flujo superficial hasta el punto donde la pendiente disminuye lo suficiente como para que empiece la depositación de material, o donde el agua de escorrentía entra a un canal bien definido (Wischmeier, 1976).

Existen varios métodos para estimar el valor de los factores L y S. Es mucho más importante estimar con exactitud el valor del gradiente de la pendiente que el de la longitud, ya que los errores al determinar el gradiente son incrementados al calcular LS para pendientes mayores de 3,16% ; mientras que los errores al determinar la longitud de la pendiente son disminuidos en un 50% o más al calcular LS (Williams y Berndt, 1977).

Cuando se desarrolló la EUPS, el gradiente de las pendientes fueron considerados esencialmente uniformes. En la práctica, las estimaciones de LS se siguen haciendo asumiendo pendientes uniformes, que se definen como una pendiente suave con un gradiente constante. Si las formas de la pendiente son irregulares y no uniformes, los estimados de pérdida de suelo van a ser erróneos.

La mayoría de las pendientes no son uniformes, sino que consisten de segmentos convexos, cóncavos, y uniformes. La investigación ha demostrado que, cuando se considera la forma de la pendiente, el factor LS calculado es mayor para pendientes cóncavas, seguido en orden por las pendientes uniformes, complejas y convexas (Castro y Zobeck, 1986).

Los cálculos de LS, asumiendo pendientes uniformes, resultarán en una sobreestimación de LS en pendientes cóncavas y en una subestimación de LS en pendientes convexas o complejas. El efecto de forma de la pendiente puede ser incluido en las estimaciones de LS basadas en pendientes uniformes si se disminuye el LS calculado para pendientes

cóncavas y se incrementa el LS para pendientes convexas o complejas con base en los factores de corrección que presentan los investigadores (Castro y Zobeck, 1986).

Foster y Wischmeier (1974) desarrollaron una técnica más compleja para evaluar el factor topográfico en el caso de pendientes irregulares (en este caso, aquellas en las que K o S, o ambos, varían con la ubicación de la pendiente). También proveen un medio de evaluación de los efectos o diferencias en la erodabilidad del suelo que pueden estar asociados con los cambios en la inclinación de la pendiente.

El cálculo del factor de cobertura y manejo C es bastante complejo debido a que la erosión varía no solamente con los cultivos, sino también para cada cultivo y con las diferentes fases del ciclo de desarrollo del mismo.

Wischmeier y Smith (1978) dividieron el ciclo del cultivo en seis períodos:

- Período F: desde la labranza primaria hasta la labranza secundaria,
- Período SB: desde la labranza secundaria para la preparación de la cama de la semilla hasta que el cultivo ha desarrollado 10 % de cobertura del terreno,
- Período 1 (establecimiento): desde el final del período SB hasta que el cultivo haya desarrollado 50% de cobertura del terreno,
- Período 2 (desarrollo): desde el final del período 1 hasta que la cobertura del terreno alcance 75%,
- Período 3 (cultivo maduro): desde el final del período 2 hasta la cosecha,
- Período 4 : desde la cosecha hasta la labranza primaria.

Dissmeyer y Foster (1981) adaptaron la metodología original desarrollada para tierras agrícolas, en la cual se evalúan los subcomponentes que afectan el factor C de cultivos (a nivel del dosel, de la superficie y efectos bajo la superficie), y desarrollaron un valor compuesto para C en el caso de tierras forestales. Los principales factores que

operan en el ambiente forestal son: (1) cantidad de suelo desnudo o, inversamente, cobertura del suelo, (2) dosel, (3) reconsolidación del suelo, (4) alto contenido de materia orgánica, (5) raíces finas, (6) efecto de amarre residual, (7) almacenamiento en el sitio, (8) formación de terrazas naturales, (9) laboreo a contorno. El valor para C se obtiene al multiplicar los valores de los subfactores apropiados para una situación dada. Dichos valores se obtienen de gráficos y tablas elaborados con esa finalidad. El efecto del alto contenido de materia orgánica se evalúa al asumir un factor de corrección de 0,7 (el mismo propuesto por Wischmeier y Smith, 1978). Los sitios caen dentro de dos categorías (bosque natural o plantación) y los subfactores a considerar están agrupados por categoría. El procedimiento fue validado usando parcelas y cuencas de investigación.

En la opinión de Foster, Moldenhauer y Wischmeier (1982), los valores estándar para el factor P de prácticas de conservación pueden ser transferidos sin modificaciones de la zona templada a zonas tropicales.

La EUPS se llamó universal porque estaba exenta de algunas de las restricciones geográficas y climáticas inherentes a los primeros modelos. Se ha criticado de no ser universal porque los valores de los parámetros se presentaron condicionados a las dos terceras partes orientales de los Estados Unidos. Sin embargo, a medida que se han acumulado los datos, los parámetros se están identificando para su uso en más regiones, incluyendo otros continentes (Mitchell y Bubenzer, 1980). Es necesario no obstante ser precavido al utilizar la ecuación fuera de los USA puesto que algunas de las relaciones no siempre se aplican en diferentes ambientes. Por ejemplo, el factor de lluvia (R) tiene una alta correlación con la pérdida de suelo en Java, Indonesia, pero una correlación pobre con la pérdida de suelo en Benin, Africa. Por lo tanto, se pueden necesitar adaptaciones a las condiciones locales (Arnoldus, 1977).

2.5.3 Evaluación de algunos de los parámetros en la zona en estudio

La mayoría de los estudios de erosión en Costa Rica se han llevado a cabo en la zona de Turrialba, pues han sido realizados por personal y estudiantes del IICA y del CATIE.

Ives (1951) dió información básica acerca de la escorrentía y la pérdida de suelo en Turrialba. Las parcelas bajo pasto y con sistemas de cultivo mixtos tuvieron menos erosión y pérdida de suelo que las parcelas desnudas.

Amézquita (Amézquita, 1974; Amézquita y Forsythe, 1975) aplicó la ecuación en Turrialba, con el fin de mostrar cómo, a partir de datos climatológicos comunes y de estudios de características físicas del suelo, es posible planear un uso racional del suelo. El índice R de erosividad anual varió considerablemente de un año a otro, desde un mínimo de 70,9 en 1960 hasta un máximo de 318,8 (unidades en el sistema inglés) en 1970 y con un valor promedio de 122 para un período de 15 años (entre julio de 1958 y junio de 1974). La erosividad de la lluvia es mínima en marzo, luego empieza a aumentar hasta alcanzar un máximo en diciembre, mes a partir del que empieza a disminuir. El factor K de erodabilidad del suelo lo calculó para suelos de la serie Instituto (La Montaña) y Colorado, en el CATIE. Se indica que K varía entre 0,103 y 0,155. El efecto de la cobertura del suelo se evaluó solamente para una parte del período vegetativo, en los siguientes cultivos: maíz, arroz, vegetación nativa, yuca, camote y frijol. Asumiendo una pérdida permisible de 10 ton/ha/año, se introdujo en la ecuación el factor prácticas de conservación con el fin de reducir las pérdidas y acercarlas a las tolerables. No se hicieron mediciones en el campo del total de pérdida de suelo para ninguna parte del período en estudio.

Con el fin de cuantificar la escorrentía superficial y la erosión en pastizales con árboles aislados en zonas de

pendientes fuertes (40-50%), Apolo (1980) realizó mediciones de escorrentía después de cada lluvia, durante el período comprendido entre julio de 1979 y enero de 1980, en una cuenca experimental situada en La Suiza de Turrialba. Se utilizaron nueve parcelas de escorrentía (4x10 m) y un diseño experimental de bloques al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Luego de medir la erosión en las parcelas, se encontró un valor promedio de pérdida de suelo de 1900 kg/ha/año.

Rocha (1977) trató de determinar, entre otras cosas, el efecto de las diferentes coberturas de los cultivos de frijol, maíz y malezas sobre las pérdidas de suelo y la escorrentía en la zona de Turrialba. Al aplicar la ecuación universal, encontró que esta sobreestimó los valores medidos en sus parcelas.

Bermúdez (1980) instaló en la zona de Turrialba parcelas de 4x10 m, dos meses antes de empezar las lecturas de volumen de escorrentía superficial y de pérdidas de suelo por aguacero durante el período julio-diciembre de 1979. Se encontraron valores muy bajos de escorrentía superficial, debido principalmente a la alta permeabilidad y buen drenaje de los suelos. En cuanto a pérdidas de suelo en los sistemas con árboles, la reducción de la erosión fue de 70-85% con respecto a la producida en un cafetal sin sombra. Las lluvias en el período de estudio, no presentaron el poder erosivo que se esperaba. Además, unas pocas lluvias fuertes (16%) fueron las causantes de la mayor parte del volumen de escorrentía superficial y de las pérdidas de suelo. En el caso analizado, la ecuación universal subestimó la magnitud de la erosión. Por eso el autor recomienda no utilizar la ecuación en tanto no se lleven a cabo un mayor número de investigaciones.

Al analizar estos resultados es conveniente recordar experimentos similares llevados a cabo por Lal (1976), quien recomienda para el establecimiento de parcelas cuyos resultados puedan compararse con los arrojados por la

aplicación de la EUPS, hacer primero un estudio con parcelas preliminares por al menos dos años, luego de los cuales han de diseñarse las parcelas permanentes que deberían mantenerse por un período de al menos otros dos años. En los estudios mencionados para la zona de Turrialba, puede ser que los resultados obtenidos al aplicar la EUPS no sean satisfactorios debido al corto período de tiempo utilizado para caracterizar algunas de las variables.

2.5.4 Aplicación de la EUPS a nivel de cuenca hidrográfica

La EUPS puede utilizarse en grandes áreas con el fin de evaluar la pérdida de suelo (Dyer, 1976). A este nivel, es valiosa pues permite calcular un índice de la susceptibilidad del suelo a la erosión como una consecuencia de todos los factores principales que afectan la pérdida de suelo. Semejante índice permite reconocer las áreas y tipos de pendiente más susceptibles a daño. Se pueden entonces tomar decisiones acerca del efecto de varias prácticas de uso de la tierra, sus consecuencias pueden ser anticipadas, y ordenar las prioridades para la conservación de suelos.

Dunne y sus colaboradores (1981) utilizaron la ecuación universal en Kenia para calcular un índice de la susceptibilidad de un sitio a la erosión acelerada luego de la extracción de madera para leña. Los procedimientos estándar se modificaron un poco para tomar en cuenta la alta estacionalidad de la precipitación y la vegetación en la zona, y la efectividad diferencial de la cobertura del suelo y el dosel (Dunne, Aubry y Wahome, 1981). Según experiencias previas, se señala que la USLE tiende a sobreestimar la pérdida de suelo en pendientes pronunciadas, ya sea porque el factor de pendiente es exagerado en la ecuación o porque la erosión en las zonas escarpadas es reducida generalmente por la pedregosidad de la superficie del suelo.

Existen también referencias a aplicaciones exitosas de la EUPS a nivel de cuenca hidrográfica en la India (Chinnamani, Sairan y Sakthivadivel, 1982). Ahí, no solo se aplicó la ecuación con el fin de predecir la pérdida de suelo en 13 cuencas hidrográficas, sino también para estimar la tasa de pérdida de suelo debida a cambios en el uso de la tierra.

Otras aplicación mencionada en la literatura, se hizo en Nueva Zelanda (Cuff, 1985). Aquí se aplicó la ecuación en una cuenca hidrográfica donde la tierra estaba dedicada básicamente al pastoreo.

También hay ejemplos de aplicación en el oeste de Africa (Roose, 1977), donde se concluyó que es un instrumento útil para predecir la erosión laminar y en surcos sobre todo en zonas alejadas de las montañas. Un caso de interés particular es la aplicación de la EUPS en Hawaii, por la similitud de algunas condiciones con las de Costa Rica. Brooks (1977) indica que se utilizaron los métodos tradicionales para desarrollar los valores de los factores, pero que se encontraron diferencias debido a los valores en los datos. El clima varía de árido a húmedo, la precipitación puede ir desde unos pocos centímetros por año hasta más de 1200 cm. Geológicamente hablando, se trata de suelos jóvenes, con propiedades poco usuales. Algunos son derivados de cenizas volcánicas con contenidos de materia orgánica que varían desde casi cero hasta más del 20%. La topografía va desde plana hasta muy inclinada, y las longitudes de la pendiente varían grandemente bajo condiciones naturales. La cobertura vegetal nativa puede ser dispersa o densa. Al calcular el valor del factor R en la ecuación se halló que los valores más altos ocurrieron en las zonas donde la topografía era de moderada a muy inclinada. Bajo estas condiciones, el agua no se acumula en la superficie para absorber los impactos de las gotas de lluvia. La erodabilidad de los suelos en Hawaii varía grandemente. Se hicieron varias observaciones, se midieron

las tasas de permeabilidad e infiltración, y se determinaron varias de las propiedades del suelo. En el trabajo de laboratorio se tuvieron varias dificultades: por ejemplo, la determinación del contenido de arcilla fue complicada por el hecho de que algunas arcillas no se podían dispersar con los procedimientos normales del análisis mecánico. Debido a que las arcillas se mantenían granuladas, la permeabilidad era similar a la de suelos más ligeros. Como se mencionó, algunos suelos tienen un alto contenido de materia orgánica. En tal caso, los valores mayores de 4% no se extrapolaron en la curva pues se estimó que tendrían poca o ninguna significancia. Los valores para el factor LS son los mismos que se describen en el SCS Technical Release n° 51 (revisado). Los valores para el factor de cobertura requirieron una consideración mucho más cuidadosa. Se usaron como guía básica los valores en el Manual de Agricultura 282. Del estudio se concluye que la USLE puede ser utilizada con confianza en Hawaii siempre que sea aplicada por personal competente.

Mucha de la aparente simplicidad para predecir la erosión a nivel de cuenca es ilusoria: los métodos como la ecuación universal tienden a ser más útiles para indicar la intensidad relativa de la erosión en diferentes pendientes que para predecir con seguridad tasas de erosión. No obstante, son útiles y valiosas herramientas de planificación, aunque sólo los modelos de continuidad, basados en aspectos físicos del fenómeno, son de mayor interés teórico. Es importante destacar que en muchos casos, conocer el valor exacto de pérdida de suelo en ton/ha/año es menos importante que ser capaz de clasificar las tasas de erosión como baja, moderada, alta o intensa, y ser capaz de identificar el papel de un factor como el cultivo o la erosividad de la lluvia (Dunne, 1985; Dunne, Aubry y Wahome, 1981).

Puesto que dentro de una cuenca hidrográfica generalmente se presentan regímenes diferentes de lluvia, heterogeneidad en los suelos, variaciones en la pendiente, diferencias en cobertura vegetal y otros; al aplicar la ecuación es necesario dividir la cuenca en regiones de acuerdo a su homogeneidad y luego estimar la pérdida de suelo en cada región. Esto implica que cada región deberá calibrarse independientemente de las otras mediante el estudio de unidades básicas con características lo más homogéneas posible (Silva, s.f.).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Determinación de los índices de erosividad de la lluvia en la cuenca

Para el cálculo de R se utilizaron los siguientes materiales:

- Bandas de los pluviógrafos ubicados en cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas
- Plantilla para la lectura de bandas
- Formularios para anotar la información de lectura de las bandas.

3.1.2 Determinación del factor de erodabilidad del suelo

Para el cálculo del factor K se usó:

a. Material para trabajo de campo

- Cilindros de metal inoxidable para sacar muestras de suelo sin alterar
- Cuchillo
- Barreno
- Bolsas plásticas
- Etiquetas para identificar las muestras

b. Material para el trabajo en el laboratorio

Para el análisis de la distribución de tamaño de las partículas se usó:

- Suelo secado al aire y pasado por tamiz de 2 mm
- Peróxido de hidrógeno (30 %)
- Beakers de 500 ml
- Solución dispersora (Hexametafosfato de sodio 10% ($\text{NaPO}_3)_6$)
- Batidora eléctrica
- Tamices para separación de arenas
- Cilindro de sedimentación

- Reloj o cronómetro
- Varilla para agitar
- Hidrómetro
- Termómetro
- Pizeta
- Agua

Para la determinación del contenido de materia orgánica se necesitó el siguiente material:

- Matraces erlenmeyer de 250 ml
- Matraces aforados de 250 ml
- Pipetas de 20 y 25 ml
- Bureta de 50 ml
- Balanza de torsión
- Buretas
- Reactivos: Dicromato de Potasio 1 N
Solución de Sal de Mohr
Acido Sulfúrico concentrado
Acido fosfórico concentrado
Indicador de difenilamina

Para las pruebas de conductividad hidráulica en el laboratorio el equipo fue el siguiente:

- Equipo de carga hidráulica constante
- Regla
- Frasco graduado de 100 ml
- Tela de nylon
- Cinta adhesiva

3.1.3 Determinación del factor de cobertura y manejo

En este caso se usaron:

- Fotografías aéreas infrarojo falso color a escala 1:80000
- Instrumento óptico para fotointerpretación y transferir información de fotografías aéreas a mapa topográfico (Bausch y Lomb, M.R.)
- Mapas topográficos escala 1:50000. Las hojas utiliza-

das fueron:

Istarú (3445 IV)
 Tapantí (3445 III)
 Vueltas (3444 IV)
 Tucurrique (3445 I)
 Pejibaye (3445 II)
 Cuerecí (3444 I)

3.1.4 Determinación del factor topográfico longitud-grado de pendiente

El material utilizado fue los mapas topográficos de la cuenca en escala 1:50000, con curvas de nivel cada 20 m.

3.1.5 Evaluación de la erosión por unidades homogéneas

Se usaron los mapas temáticos previamente elaborados, a saber:

- mapa de erosividad de lluvia (factor R)
- mapa de erodabilidad del suelo (factor K)
- mapa de cobertura (factor C)
- mapa de longitud e inclinación de la pendiente (factor LS)

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Descripción del área de estudio

a. Introducción

El 23 de enero de 1964, por el Decreto Ejecutivo n°1 se creó la Reserva Forestal de Río Macho, siendo la primera área bajo esta categoría de manejo en el país. Los linderos fueron modificados varias veces hasta que con el Decreto Ejecutivo 3886-A del 17 de junio de 1974 quedó con una superficie total de 91992 ha (CATIE, 1985), por lo que es la mayor reserva forestal del país.

b. Aspectos biofísicos

El recurso hídrico es el aspecto más sobresaliente de la Reserva. En ella se encuentran las nacientes de tres cuencas divididas en cinco subcuencas de gran importancia a nivel nacional para proyectos hidroeléctricos y de consumo de agua potable. Una de estas subcuencas es la del Río Pejibaye, con un área de 250 km², y un caudal anual promedio de 44m³/s. El río Pejibaye es a su vez afluente del río Reventazón, de la vertiente atlántica del país. El río Reventazón constituye el principal colector que drena las aguas del Valle Central Oriental de Costa Rica (figura 2).

La cuenca del río Pejibaye está localizada en el Distrito Pejibaye del cantón de Jiménez en la provincia de Cartago, en las estribaciones de la Cordillera de Talamanca.

El río principal de la cuenca es el Pejibaye, con una longitud del cauce de aproximadamente 32,1 kilómetros. Sus principales afluentes son los ríos Escópeta, Gato, Marta, Vueltas, Cacao, Humo, Taus, Perlas y Pejibayito (figura 3).

Se trata de una cuenca de forma semialargada (en el sentido de la red de cauces).

Las elevaciones mínima y máxima son 580 y 2660 m.s.n.m., respectivamente. La elevación media de la cuenca es de 1287 m.s.n.m.

La diferencia de elevación entre el punto más alto y el más bajo de la cuenca es de 2080 metros, en una distancia de 22 kilómetros. Por lo tanto, la pendiente de la cuenca es de 9,45%. En la cuenca se hallan zonas con pendientes de hasta más de 60%.

El río Pejibaye se encuentra orientado por la tectónica, siguiendo su curso por una falla mayor cuya dirección es SO-NE. Dicha falla se prolonga, constituyendo un sistema de fallas de corrimiento. Existen numerosos alineamientos de origen tectónico menores, cuyas orientaciones son E-O y preferentemente NO-SE, que son testimonios visibles de una tectónica sumamente vigorosa y activa en dicha región (Bergoeing, 1981).

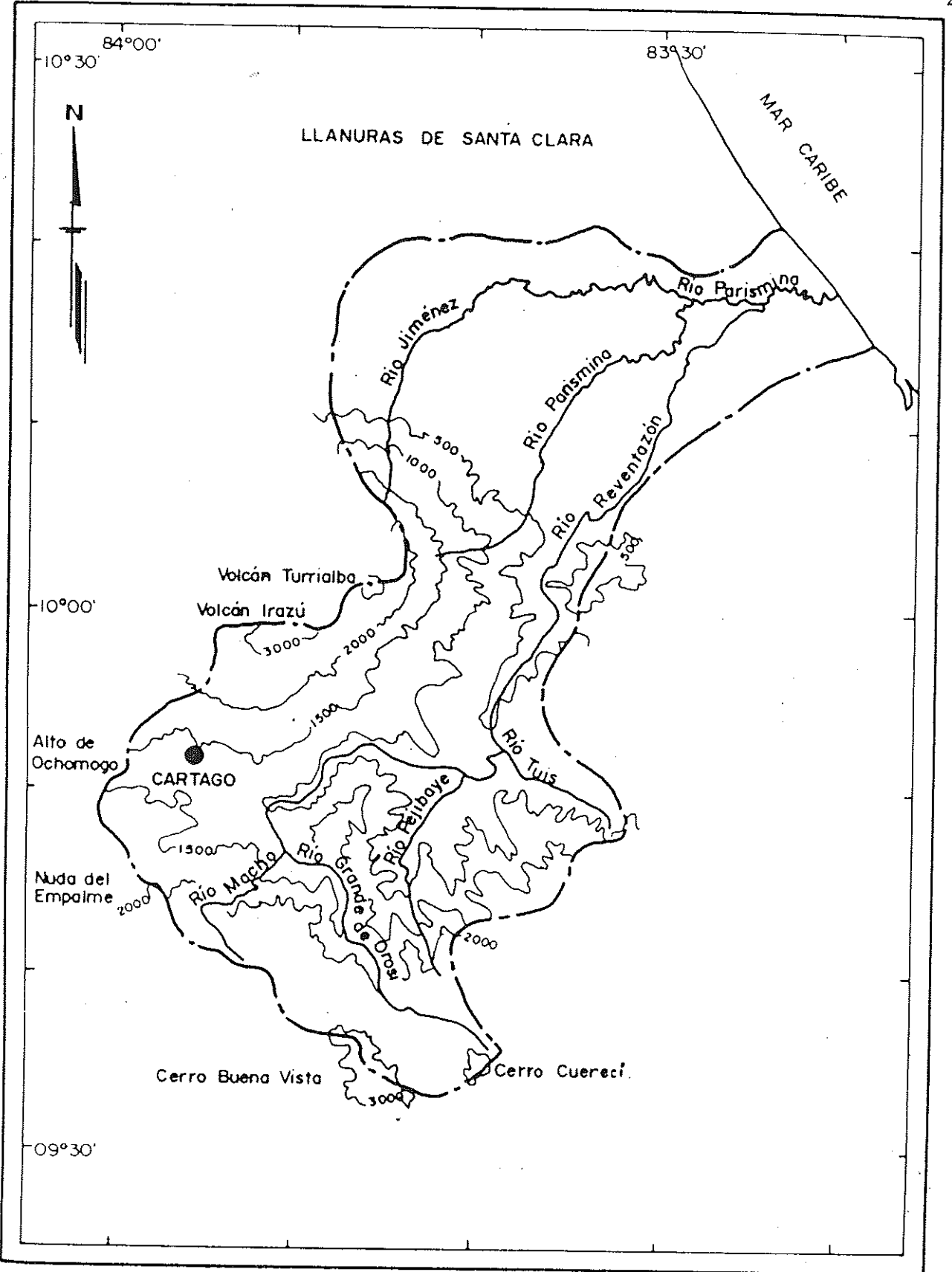


Figura 2 Curvas de nivel y ríos principales de la Cuenca del Reventazón, Costa Rica

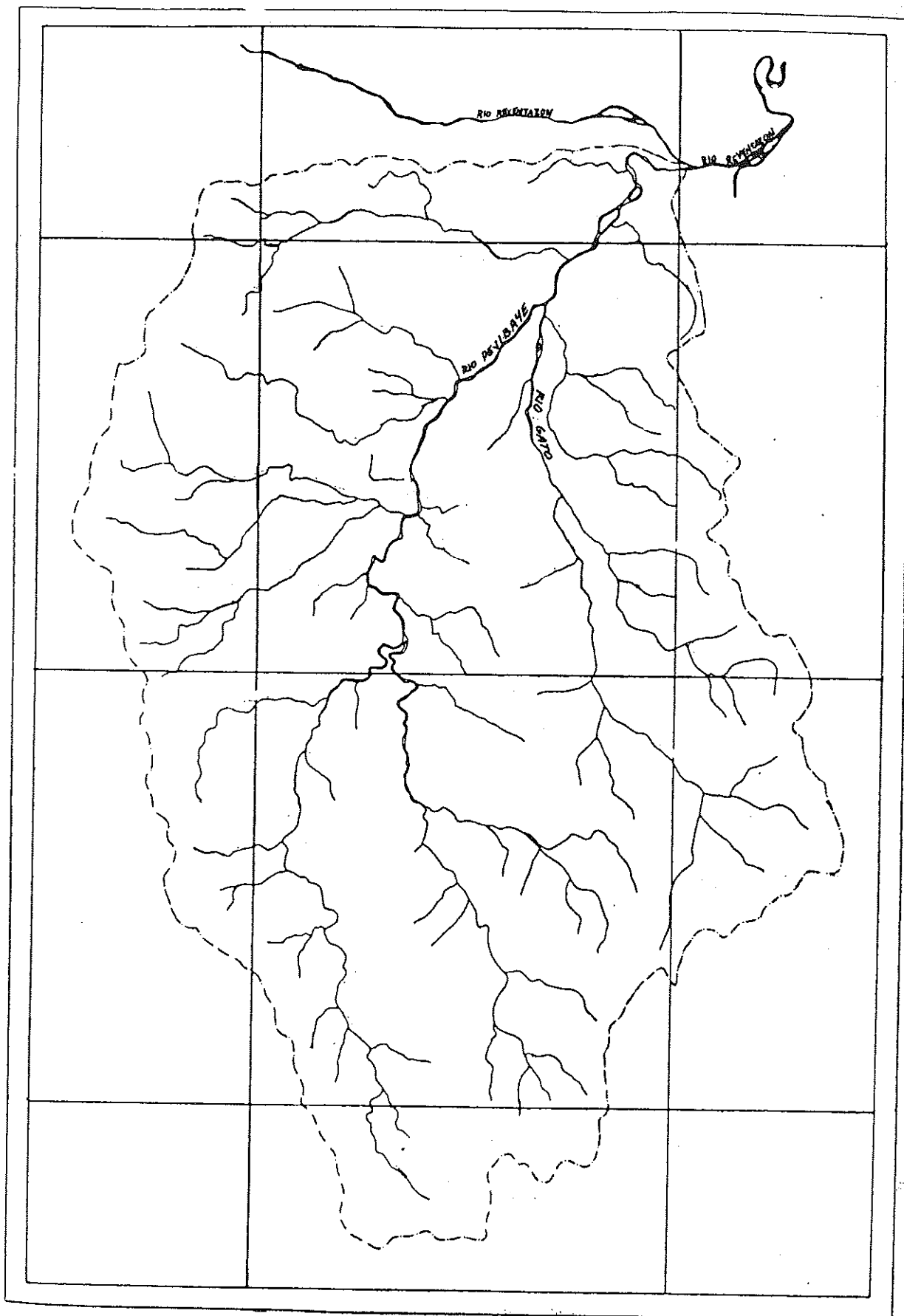


Figura 3 Red de drenaje de la Cuenca del Río Pejibaye,
Costa Rica

La componente litológica predominante (coladas volcánicas terciarias -formaciones Doán y Aguacate- y las coladas volcánicas cuaternarias -volcanes Irazú y Turrialba) unida a una activa tectónica, han sido los factores determinantes que han favorecido el actual modelado fluvial tanto del Reventazón como del Pejibaye.

La precipitación promedio anual oscila entre los 2800 y los 8000 mm (figura 4). En la parte centrooeste de la cuenca del Pejibaye la precipitación puede ser de hasta 9000mm/año, lo que la convierte en una de las zonas más lluviosas de Costa Rica (CATIE, 1985).

Maldonado (1986) informa que, debido a las características edáficas, intensidad de las lluvias y dinámica hidrológica, el área es muy propensa a la erosión y a la lixiviación. No indica sin embargo cuál de estos factores es el de mayor efecto sobre la erosión.

La vegetación natural se encuentra localizada en tres zonas de vida, según el sistema de clasificación de Holdridge:

- Bosque Muy Húmedo Premontano: es entre mediano y alto, semicaducifolio, de dos o tres estratos, con unas pocas especies caducifolias en la estación seca.
- Bosque Pluvial Premontano: bosque siempreverde de altura intermedia, de dos o tres estratos.
- Bosque Pluvial Montano Bajo: bosque siempreverde de altura que varía entre baja e intermedia con dos estratos de árboles.

c. Aspectos socioeconómicos:

La Reserva Forestal de Río Macho está ocupada en parte de su periferia por unas 1800 personas que principalmente se localizan en los poblados de El Empalme, Río Macho, Puricil, Tapantí, Villa Mills, Ojo de Agua, Paso Macho, El Humo, Pejibaye y Vereh. Estos habitantes y otros de zonas aledañas ejercen fuerte presión para la utilización de los recursos del área.

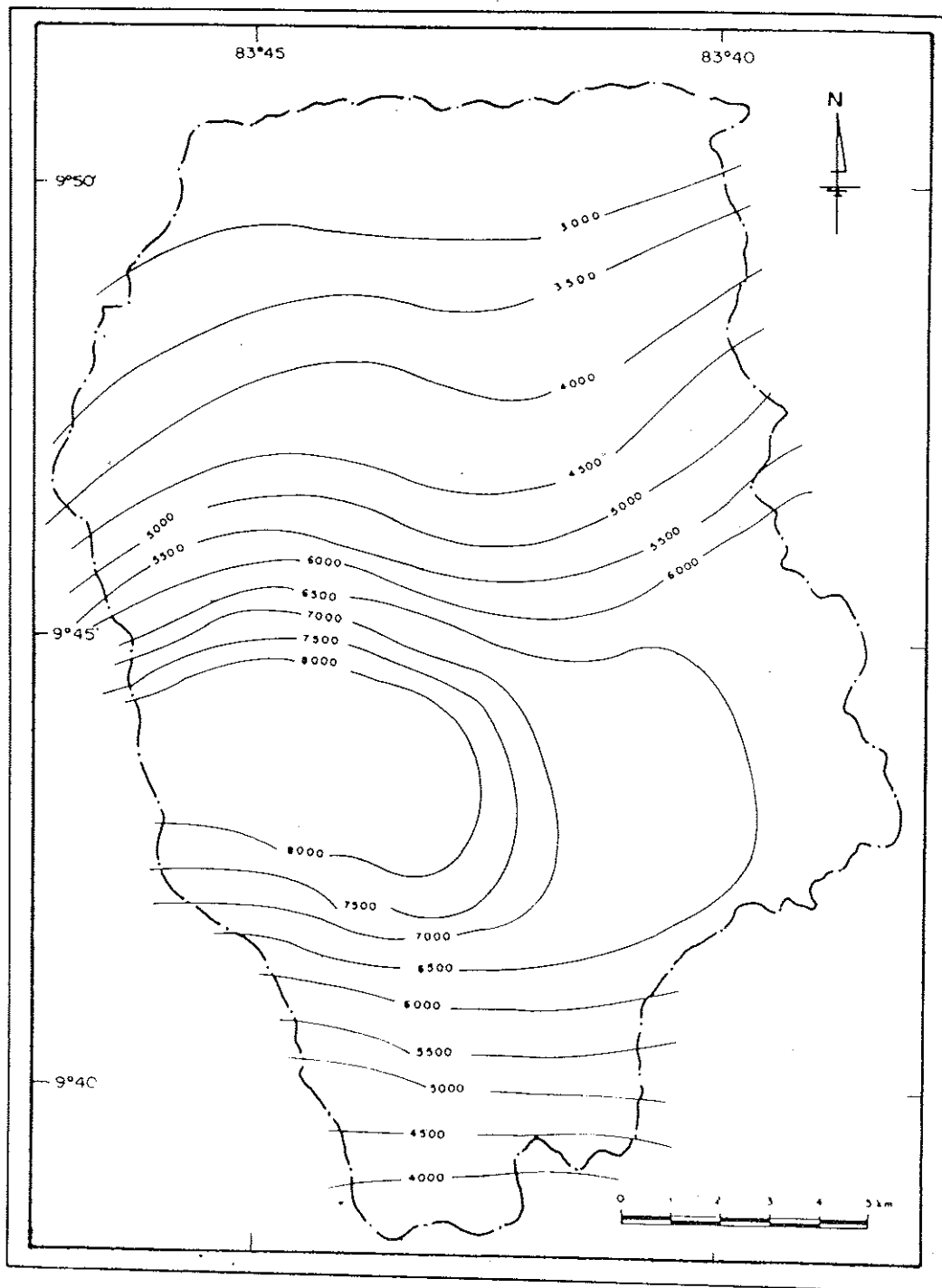


Figura 4 Isoyetas de precipitación de la Cuenca del Río Pejibaye (en mm)

La cuenca del Río Pejibaye se ha visto sometida a una colonización continua. La primera de ellas se remonta a la época de colonización del Valle de Turrialba y el Río Reventazón, y en esa primera colonización (1928) se crearon infraestructuras tales como el ferrocarril, beneficio de café, una cañería para el abastecimiento de agua, un aserradero, una planta eléctrica y otros servicios para la comunidad.

Según Maldonado (1986), la cuenca ha tenido diferentes fases de ocupación, que van desde la ocupación de empresas extranjeras en 1918, la parcelación del área por el otrora Instituto de Tierras y Colonización (ITCO) en 1964, la expansión de la parcelación hacia el poblado de Taque-Taque, en 1974, hasta la parcelación de esta última población en 1983.

Toda la parte alta y media de la cuenca están cubiertas de bosque primario (80% del área total). En el resto del área se presentan los usos principales de caña de azúcar (5,5%), café (4,5%), pastos (5,1%) y charral (3,5%). Ninguno de estos cultivos presenta niveles de rendimiento elevados debido a que no se tienen las condiciones óptimas climáticas o edáficas para su desarrollo (Maldonado, 1986).

3.2.2 Elaboración del mapa de erosividad de la lluvia

a. Cálculo de la erosividad (índice anual)

Se realiza por medio de cálculos sobre los datos de las estaciones meteorológicas instaladas por el Instituto Costarricense de Electricidad (figura 5). Se inicia con la selección de las estaciones ubicadas dentro y cerca de la cuenca con registros de pluviógrafo por un período igual o superior a los cinco años. Dichas estaciones son:

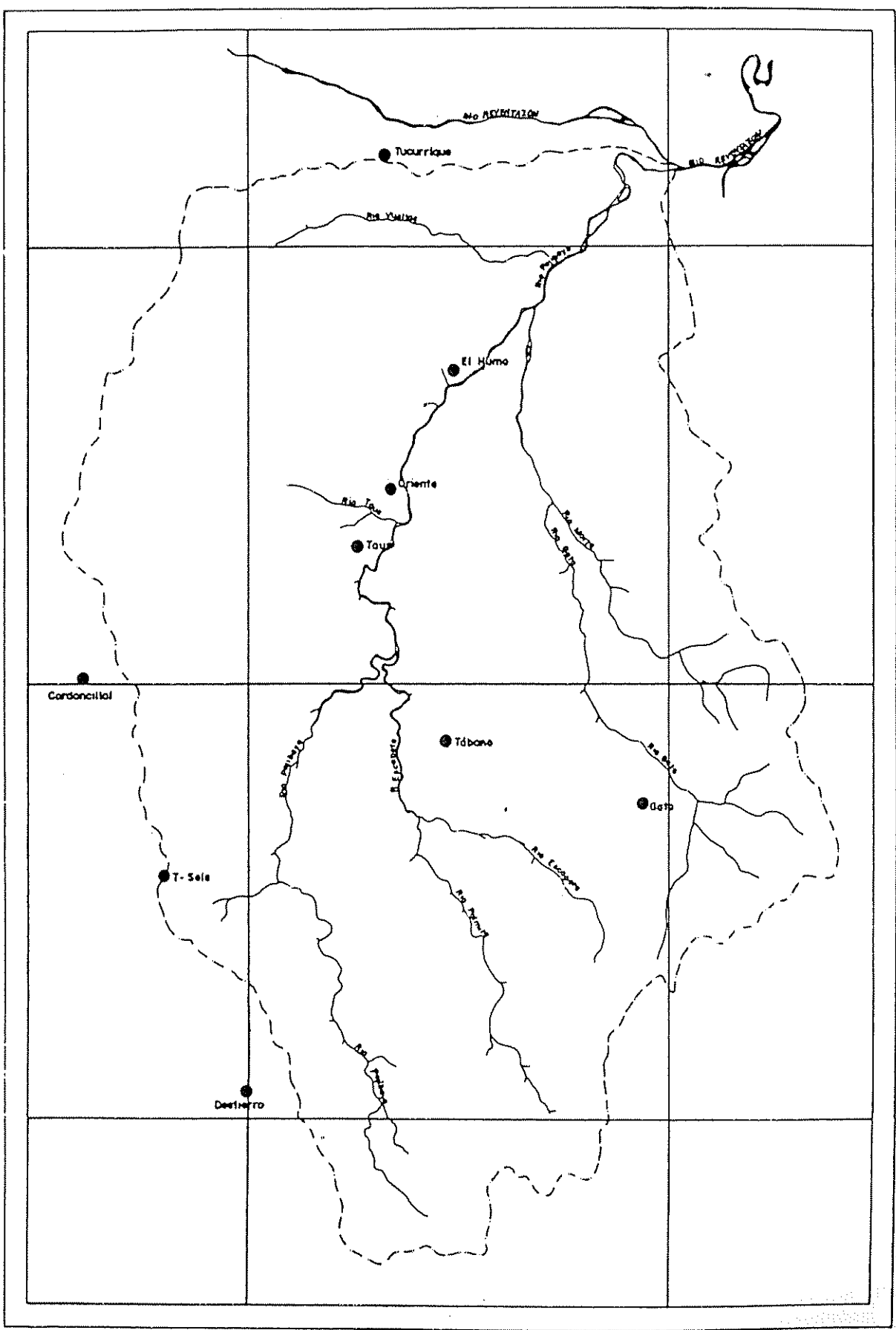


Figura 5 Ubicación de las estaciones meteorológicas estudiadas

Tucurrique (9051,2'N 83044,8'W; 770 mslm)
 El Humo (9048,2'N 83042,8'W; 680 mslm)
 Taus (9046,5'N 83043,8'W; 900 mslm)
 Cordoncillal (9045'N 83047'W; 3000 mslm)
 Tábano(9044,2'N 83042,7'W; 1200 mslm)
 El Gato (9043,6'N 83040,3'W; 1570 mslm)
 T-Seis (9042,8' 83046,1'W; 2067 mslm)
 Destierro (9041,7'N 83045,4'W; 2028 mslm)
 Cuencas (9044'N 83036'W; 1835 mslm)

Se hace un análisis preliminar de las bandas con el fin de determinar el intervalo de lectura. Dada la escala de las bandas (que se cambian aproximadamente cada quince días), se estableció un intervalo de quince minutos, que es el mínimo que se puede leer con precisión.

La lectura de las bandas se hizo por etapas. Para cada estación se leyeron los valores de lámina de agua caída (en milímetros) cada quince minutos para cada una de las tormentas que ocurrieron en el año. Se definen como eventos de precipitación individuales aquellos que se presentaron con una separación mínima de seis horas, durante las cuales no cayó nada de agua. Las tormentas se identificaron por estación, año, mes y día de inicio del evento. Se empezaron a leer las tormentas del año 1985, 1984, y así regresivamente hasta el año 1981 (período de cinco años). Esta información se registra en un formato diseñado especialmente para ello, con el fin de facilitar la entrada de los datos a la computadora.

Para calcular el valor anual del factor R, es necesario iniciar por el cálculo del índice EI₃₀ para cada tormenta, el cual se desarrolla de la siguiente manera:

En primer lugar se calcula el valor de la intensidad de lluvia i caída cada quince minutos, dividiendo cada lámina de agua entre dicho intervalo de tiempo. Luego se hace una transformación a mm/h, lo que da el valor i_m . La energía cinética unitaria correspondiente se calcula mediante la fórmula:

$$eu = 0,119 + 0,0873 \log_{10}(im),$$

con eu en unidades de MegaJoules/hectárea.milímetro (MJ/ha.mm)

La energía cinética se calcula para todos los valores de i_m , sin considerar, como proponen Wischmeier y Smith (1978), que existe un límite superior de 76 mm/h que hace cambiar la ecuación a un valor constante de 0,283. Lo anterior se hizo ya que en condiciones tropicales las gotas de lluvia tienen mayores tamaños, y por lo tanto mayores intensidades, que en las condiciones donde se desarrolló el modelo (Hudson, 1971).

Finalmente, la sumatoria de todos los valores eu para una tormenta da el valor de la energía cinética total de la tormenta.

Para calcular el valor I_{30} correspondiente a una tormenta dada, se realiza una suma dos a dos de los valores de i , con el fin de definir en cuál intervalo de treinta minutos ha caído la mayor cantidad de agua. Este valor debe multiplicarse por dos para obtener la intensidad correspondiente a un período de una hora (es a este valor que se conoce como I_{30}). El índice EI_{30} o factor R de la tormenta se obtiene multiplicando la energía cinética total de la tormenta por el valor de I_{30} obtenido.

Para obtener el valor de la erosividad anual de la lluvia se realiza una sumatoria de los índices EI_{30} de todas las tormentas que se presentaron en el año. Luego se hace un promedio de los valores obtenidos para la erosividad durante los cinco años de lectura. El valor de R tiene unidades de MJ.mm/ha.h.año (Foster, McCool, Renard y Moldenhauer, 1981).

b. Elaboración del mapa de líneas de isoerosividad:

Con el valor obtenido para el índice R en cada estación se hizo inicialmente una interpolación lineal entre los puntos. Luego, se realiza un ajuste de acuerdo a la configuración del relieve y se traza la interpolación definitiva para dibujar las líneas de isoerosividad.

c. Elaboración del mapa de regiones de erosividad:

Con el mapa de líneas de isoerosividad, se definieron regiones para cada incremento de 5000 unidades y se tomó como valor representativo de la región el punto medio entre el límite inferior y el límite superior de cada región.

3.2.3 Elaboración del mapa de erodabilidad del suelo

a. Determinación de la erodabilidad del suelo en los sitios de muestreo

Dados los problemas de accesibilidad a la mayor parte de la cuenca, se decidió hacer los muestreos en los sitios adyacentes a las estaciones meteorológicas del ICE (figura 6), que es además donde se tiene la información más detallada sobre las características erosivas de la lluvia. La determinación de K es a nivel de reconocimiento y se debe destacar como una limitante la no existencia de información previa de utilidad para nuestros objetivos.

Los muestreos se realizaron con el fin de determinar las variables : textura, contenido de materia orgánica, permeabilidad y tipo de estructura. Los muestreos fueron de la zona superficial, que es la que más influye en estudios de erosión hídrica, y en cada sitio se tomaron tres repeticiones.

El análisis del contenido de materia orgánica se hace siguiendo el método de Walkley-Black modificado por Saiz del Río y Bornemisza (1962).

Para el análisis de la distribución del tamaño de las partículas se procedió a eliminar la materia orgánica en los suelos con contenido de materia orgánica entre seis y veinte por ciento aproximadamente. Para suelos con menos de seis por ciento no se destruyó la materia orgánica, y para suelos con contenido mayor del veinte por ciento no se realizó análisis textural. Para la eliminación de la materia orgánica se pesan 100 g de suelo seco de cada muestra y se

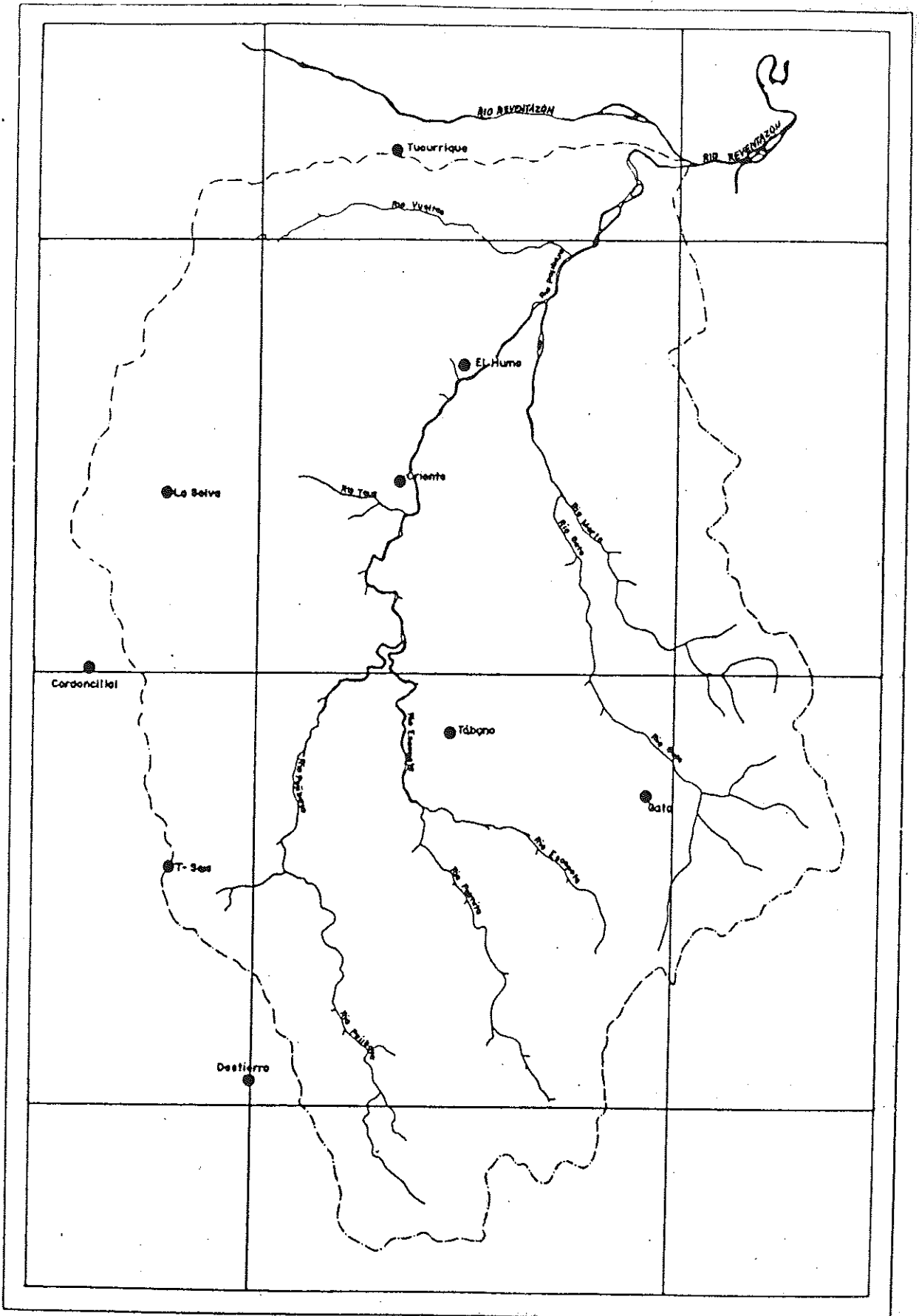


Figura 6 Ubicación de los sitios de muestreo de suelos

colocan en un beaker de 500 ml o más de capacidad. Se le agrega luego peróxido de hidrógeno de 30 volúmenes. Si hay una reacción fuerte, se deja reposar hasta que cese la efervescencia y se repite la dosis de H_2O_2 tantas veces como sea necesario hasta que no haya ebullición. Se pone el vaso en una plantilla eléctrica (70°C-80°C), se agregan otros 10 ml H_2O_2 , y se deja que siga reaccionando. Luego se filtra el suelo y se lava con agua destilada. Se seca por 24 horas en una estufa a 105°C.

Luego se realiza el análisis de sedimentación y la prueba de conductividad hidráulica bajo saturación aplicando las metodologías propuestas por Forsythe, 1975.

La evaluación del tipo de estructura se hace en el campo, por observación directa de las características del suelo.

Para el cálculo de la erodabilidad se usó la fórmula propuesta por Wischmeier y Smith (1978)

$$100K=2,1M^{1,14}(10^{-4})(12-a)+3,25(b-2)+2,5(c-3)$$

donde:

K : erodabilidad del suelo (ton.acre.h/cientos de acres.pie-tonpie.pulgada), se multiplica por 0,1317 para expresarlo en ton.ha.h/ha.MJ.mm .

M : parámetro de tamaño de las partículas, el cual se calcula con la relación :

$$M = \% \text{ limo } (100 - \% \text{ arcilla}).$$

Al porcentaje de limo (0,063-0,002 mm) se le adiciona la fracción de arena muy fina (0,105-0,063 mm).

a : porcentaje de materia orgánica

b : código de estructura del suelo. Se ha de seleccionar entre las siguientes posibilidades:

1 : muy fina granular,

2 : fina granular,

3 : media o gruesa granular,

4 : en bloques, laminar o masiva.

c : clase de conductividad hidráulica. Se agrupa en las siguientes clases:

- 1 : muy lenta ($< 0,13$ cm/h),
- 2 : lenta ($0,13-0,51$ cm/h),
- 3 : lenta a moderada ($0,51-2,0$ cm/h),
- 4 : moderada ($2,0-6,3$ cm/h),
- 5 : moderada a rápida ($6,3-12,7$ cm/h),
- 6 : rápida ($> 12,7$ cm/h).

Con los valores obtenidos para las tres repeticiones tomadas en cada sitio, se calcula un promedio aritmético y se obtiene un valor característico para cada variable en cada punto de estudio. Luego se aplica la ecuación.

Se asume como valor máximo de materia orgánica el de 4%, que es para el que está definida la ecuación. En los casos en que el suelo se encuentre permanentemente cubierto de bosque, se aplica además un factor de corrección de 0,7 (Wischmeier y Smith, 1978).

b. Elaboración del mapa de erodabilidad del suelo:

Se construye un mapa de zonas de influencia de cada punto muestreado, con un método gráfico similar al de los Polígonos de Thiessen, en el cual la zona de influencia de cada punto se define mediante trazos de la perpendicular al punto medio de los segmentos de recta que unen los distintos puntos estudiados (Hewlett, 1982).

3.2.4 Estimación del factor topográfico longitud-grado de pendiente (LS)

Se realiza una división de la cuenca en subcuencas con patrones de pendiente aproximadamente uniformes (figura 7).

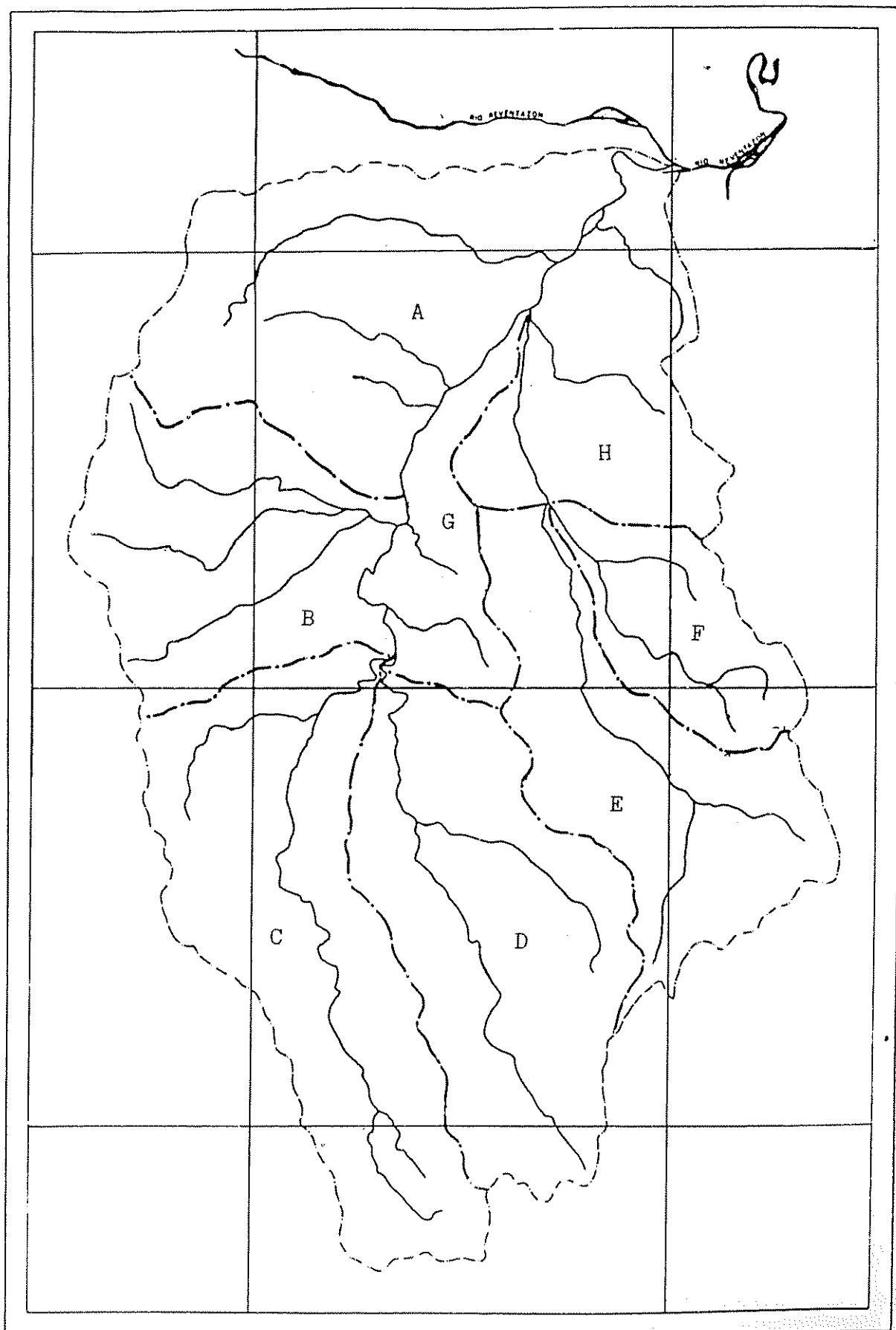


Figura 7 Subcuencas para las que se definió un valor característico del factor topográfico LS (ver pág. 42)

Las subcuencas definidas son las de los siguientes cauces:

Subcuenca	Cauces que incluye
A	Ríos Vueltas, Cacao y Humo
B	Ríos Taus y Perlas
C	Parte alta Río Pejibaye
D	Ríos Palmita y Escopeta
E	Partes alta y media del Río Gato
F	Río Marta
G	Margen derecha del Río Pejibaye, desde la confluencia con el Río Escopeta hasta la confluencia con el Río Gato
H	Margen derecha de la parte Baja del Río Gato, Ríos Tepemechín y Juray.

En cada subcuenca se seleccionan tres transectos de longitud e inclinación considerable, a la vez que representativa de las condiciones en la subcuenca. El perfil de cada pendiente se dibuja en papel milimétrico, y el mismo se divide en sectores de pendiente uniforme, que van a representar diferentes condiciones de flujo y transporte del sedimento. Se determina la inclinación de pendiente que se presenta con mayor frecuencia, y se escoge ésta como pendiente representativa de la subcuenca respectiva. Se establece luego cual es la longitud de pendiente más frecuente asociada con la pendiente característica. Con estos valores de longitud y grado de pendiente, se calcula el factor topográfico en la ecuación universal mediante la relación:

$$LS = (\alpha/22,13)^m \cdot (65,41\text{sen}^2\phi + 4,56\text{sen}\phi + 0,065)$$

en donde α = longitud de la pendiente (en metros)

m = factor que para pendientes mayores de 5%
es igual a 0,5

ϕ = ángulo de la pendiente (en porcentaje)

(Wischmeier y Smith, 1978)

3.2.5 Mapa de cobertura y evaluación del factor cobertura- manejo de cultivos:

Tomando como base el mapa de uso actual de la tierra (figura 8), se agrupan los distintos usos según el criterio de que distintas asociaciones de cultivos pueden, en promedio, ofrecer una cobertura igualmente efectiva del suelo. De acuerdo con la información del mapa de uso actual, y gracias a estudios previos para cultivos y bosques tropicales, se le da valor a C en cada zona.

3.2.6 Evaluación del factor prácticas de protección

Se asume que su valor es de 1, ya que en la cuenca no se realiza ninguna de las prácticas de conservación de suelos mencionadas por Wischmeier y Smith (1978).

3.2.7 Evaluación de la pérdida de suelos mediante la aplicación de la EUPS para cada unidad homogénea

La pérdida de suelos, en este trabajo, se define como aquella proveniente de erosión laminar y en surcos. La erosión laminar resulta primariamente del impacto de las gotas de lluvia y ocurre de una manera relativamente uniforme a lo largo de todo el campo. La erosión en surcos resulta principalmente de la escorrentía y ocurre solamente

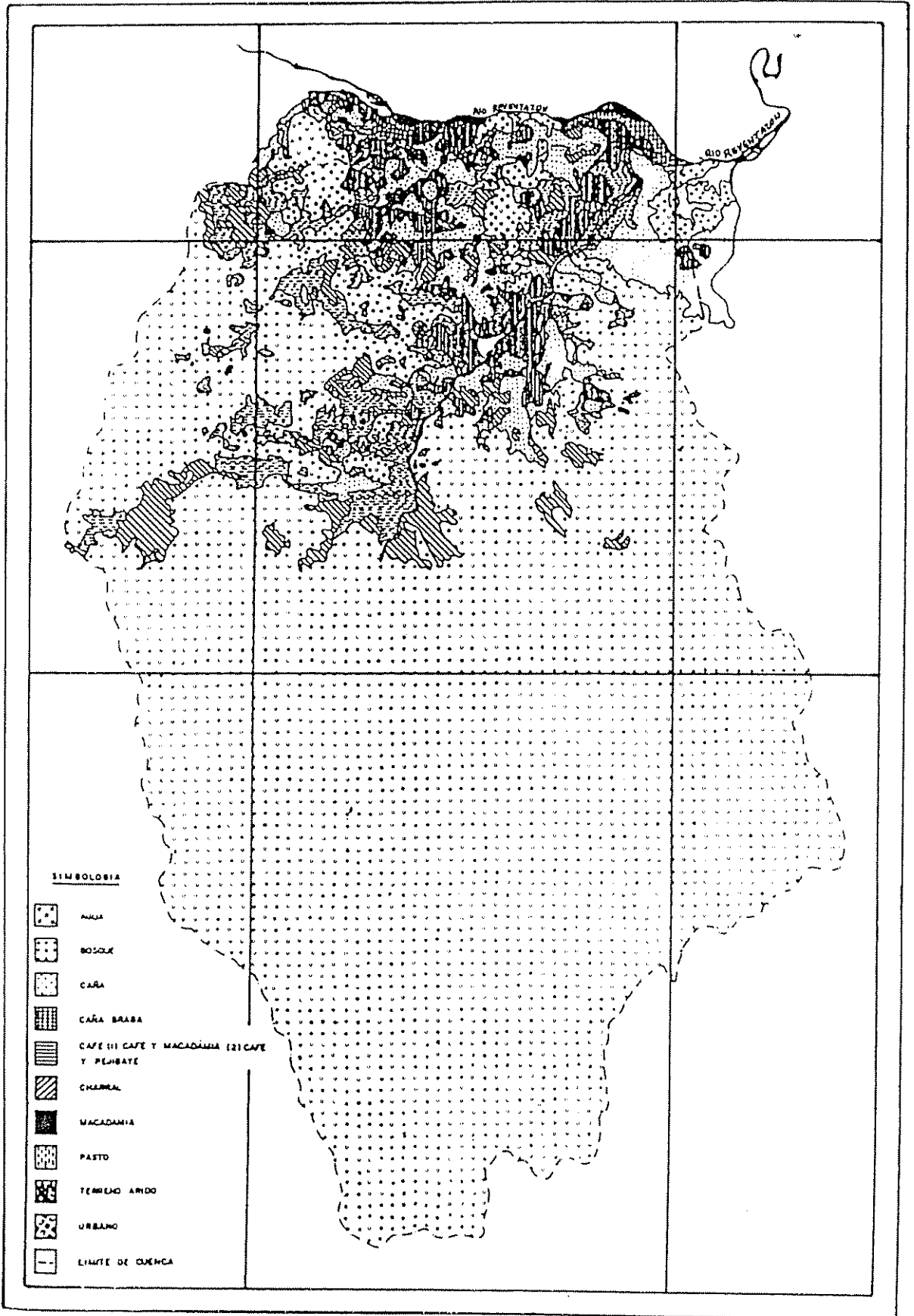


Figura 8 Mapa de cobertura vegetal en la cuenca del Río Pejibaye

en aquellas partes de la superficie del terreno donde fluye escorrentía concentrada a velocidades erosivas (Meyer y Harmon, 1984).

Para aplicar la EUPS, se toma como base el mapa de cobertura, es decir, del factor C, que es el que presenta mayor número de unidades. Luego se le superponen los mapas de erosividad, erodabilidad, y factor topográfico, y por multiplicación de los factores, se obtiene el índice de erosión para cada sitio. Los valores de pérdida de suelo se agrupan según las siguientes clases (FAO, 1980):

- ligera: menos de 10 ton/ha.año
- moderada: entre 10 y 50 ton/ha.año
- severa: entre 50 y 200 ton/ha.año
- muy severa: más de 200 ton/ha.año,

y se representan gráficamente en un mapa de zonas de erosión.

4. RESULTADOS

4.1 Erosividad de las lluvias

En el cuadro 2 se presenta un resumen de la información obtenida sobre la erosividad de las tormentas mes a mes para un período de análisis de 5 años. Estos datos se obtienen luego de aplicar el programa de computador que se presenta en el Anexo 2 a los datos de lectura de las bandas de precipitación.

Los valores promedio mensuales se observan en la figura 9, para analizar la distribución anual del poder erosivo de las precipitaciones. La figura 10 presenta el valor promedio anual del factor R para cada estación meteorológica.

Tucurrique es la estación que presenta menores valores de erosividad y también mayor variabilidad año a año. En las otras estaciones las variaciones entre años son menos marcadas. Los datos de la estación Cuencas son los menos confiables pues se perdió mucha información debido a fallas en el aparato.

En resumen, se puede decir que el comportamiento promedio mensual de la erosividad se caracteriza por un período de menor erosividad entre los meses de diciembre y abril, y dos picos anuales bien definidos en los meses de junio y setiembre u octubre, con una disminución considerable del factor R entre ambos picos.

En la todos los casos se puede observar que cerca del 90% de la erosividad anual se encuentra concentrado entre los meses de mayo y noviembre (cuadro 3). Además, un 30% se presenta entre mayo y junio y un 35% entre setiembre y octubre.

La información obtenida permite construir las figuras 11 y 12 que representan la distribución espacial del factor erosividad de la precipitación, R.

Cuadro 2 Factor R de erosividad de las lluvias para las estaciones meteorológicas en la cuenca del Rio Pejibaye (MJ.mm/ha.h)

ESTACION Y MES	1981	1982	1983	1984	1985	Promedio
T-SEIS	28351,56	30588,03	37255,55	37715,10	34408,07	33663,67
E	0,00	2956,12	418,50	746,72	375,34	899,34
F	203,08	1077,19	206,78	3297,60	1271,73	1211,28
M	929,99	379,91	343,49	34,68	57,59	349,13
A	2153,97	619,32	226,70	1227,78	164,43	878,44
M	4536,54	1491,57	2443,43	3209,52	2840,74	2904,36
J	4511,03	6239,57	7242,10	9746,42	7729,32	7093,69
J	2160,53	2916,71	4004,51	5431,60	5642,26	4031,12
A	3473,32	2557,89	6119,33	3779,56	4798,15	4145,65
S	5348,60	5633,14	4875,55	3829,87	2613,32	4460,10
O	3020,38	3425,79	6027,49	4637,71	5883,12	4598,90
N	1663,86	3290,82	4915,79	1124,65	2926,06	2784,24
D	350,26	0,00	431,88	649,03	106,01	307,44
TUCURRIQUE	7293,19	4717,58	4303,50	11771,87	5113,34	6639,91
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	466,64	0,00	118,04	82,63	0,00	133,46
M	107,74	61,91	144,01	0,00	0,00	62,73
A	0,00	402,87	0,00	0,00	0,00	80,57
M	1547,31	717,60	700,58	1449,68	266,21	936,28
J	620,55	1468,56	501,38	889,14	1757,05	1047,34
J	169,01	592,22	96,72	1428,21	1245,88	706,41
A	1654,15	191,91	616,11	1606,97	54,92	824,81
S	479,20	603,41	311,70	2200,64	518,81	822,75
O	714,39	609,84	1614,40	1803,83	1175,21	1183,53
N	1534,20	69,26	162,71	130,01	95,26	398,31
D	0,00	0,00	37,85	2180,76	0,00	443,72

Cuadro 2 Continuación

ESTACION Y MES	1981	1982	1983	1984	1985	Promedio
TAUS	21085,40	16915,70	24834,40	21586,90	23718,10	21628,06
E	0,00	0,00	46,20	357,56	1,00	80,95
F	81,18	105,16	271,82	309,20	141,96	181,86
M	199,50	163,84	737,13	248,64	60,67	281,96
A	452,88	174,23	1207,32	558,67	138,19	506,26
M	4762,40	2668,16	1452,96	2491,44	3691,35	3013,26
J	5082,18	3875,65	5098,71	3340,07	7910,46	5061,41
J	2618,94	1501,10	3946,97	4156,84	2835,76	3011,92
A	4148,19	457,85	1683,87	3772,77	1630,89	2338,70
S	3178,57	4577,48	6143,18	2677,63	4072,24	4129,82
O	561,51	2468,69	3064,93	2788,45	2314,27	2239,57
N	0,00	837,81	919,40	267,63	830,29	571,03
D	0,00	85,77	261,91	618,02	91,05	211,31
CORDONCILLAL	22982,28	25433,10	39406,10	27712,70	32358,60	29578,54
E	377,94	77,59	344,10	571,10	6,02	275,35
F	451,12	111,00	132,60	961,20	670,73	465,33
M	365,94	226,98	922,30	59,43	174,19	349,77
A	634,55	98,87	1847,80	394,19	144,17	623,92
M	3850,18	1138,75	1754,40	1900,22	3403,41	2409,39
J	1421,63	7754,85	10560,80	4248,43	7016,65	6200,47
J	848,81	6645,14	3324,20	5837,58	7749,02	4880,95
A	4082,97	2229,56	3844,10	3281,66	3919,08	3471,47
S	5194,47	3703,90	7977,90	5824,28	4465,01	5433,11
O	2060,90	2350,22	4517,60	2369,25	3578,71	2975,34
N	2753,76	845,96	2621,40	1381,21	1037,48	1727,96
D	940,01	250,27	1558,80	884,19	194,13	765,48

Cuadro 2 Continuación

ESTACION Y MES	1981	1982	1983	1984	1985	Promedio
EL GATO	45088,40	33366,83	32873,22	38759,80	44618,70	38941,35
E	130,80	749,35	456,69	625,10	317,69	455,93
F	130,40	462,02	710,54	666,80	312,83	456,52
M	149,40	869,92	662,29	210,50	212,71	420,96
A	1029,20	628,79	367,65	115,80	665,02	561,29
M	7859,80	2426,75	1052,49	5142,10	6000,51	4496,33
J	12118,80	7590,50	4141,22	6550,40	7064,16	7493,02
J	1204,30	995,23	2074,19	3459,40	6523,53	2851,33
A	6115,90	469,24	2570,77	4014,30	6174,73	3868,99
S	9688,20	8000,66	6532,51	7110,60	5310,18	7328,43
O	4895,80	6743,69	6468,36	7415,20	9219,84	6948,58
N	1733,30	3826,63	6871,81	3032,90	2436,26	3580,18
D	32,30	604,05	964,70	416,70	381,24	479,80
CUENCAS	21671,30	17053,39	24769,70	26324,40	19834,34	21936,63
E	114,77	168,67	0,00	526,60	3,33	168,67
F	28,83	604,48	1028,32	1184,60	176,16	604,48
M	138,66	38,13	307,57	85,16	7,33	115,37
A	609,07	581,64	954,66	129,50	71,34	469,24
M	2296,03	1971,14	2162,19	2734,30	3144,15	2461,56
J	1889,04	1857,51	2659,81	2946,40	1404,47	2151,45
J	1086,20	1977,53	1022,07	4849,60	952,25	1977,53
A	6019,12	3647,82	3988,84	1604,30	2979,01	3647,82
S	3282,49	2494,42	2617,89	2306,40	1770,90	2494,42
O	3046,76	1703,68	6812,67	4025,50	7840,19	4685,76
N	2900,22	1888,21	2606,42	5881,00	1225,25	2900,22
D	260,11	120,16	609,18	51,00	260,11	260,11

Cuadro 2 Continuación

ESTACION Y MES	1981	1982	1983	1984	1985	Promedio
DESTIERRO	19956,40	22739,68	27344,20	24497,60	27167,20	24343,98
E	358,05	329,65	242,69	650,84	209,01	358,05
F	184,26	95,79	67,84	1993,19	322,06	532,63
M	597,77	558,42	486,27	112,75	254,19	401,88
A	27,29	858,59	972,23	223,50	260,72	468,57
M	811,76	1835,30	4776,29	5908,41	1599,86	2986,32
J	380,94	2034,54	7407,84	3114,89	4117,15	3411,07
J	3051,73	2985,85	1868,44	2282,13	5070,51	3051,73
A	191,60	2318,91	3850,03	2336,94	3214,00	2382,29
S	4600,92	7913,55	2620,78	2690,73	2876,10	4140,42
O	6217,02	2920,18	3761,95	3941,42	5638,92	4445,89
N	3134,87	888,90	366,20	902,13	2799,72	1618,36
D	400,19	0,00	923,12	340,65	804,90	493,77
EL HUMO	14850,20	11150,30	11720,30	11118,30	11437,90	12157,98
E	6,28	18,18	12,46	121,82	1,54	32,06
F	149,52	55,49	232,32	128,41	210,42	155,23
M	12,79	116,90	618,58	4,23	71,88	164,88
A	237,45	0,00	34,36	0,00	62,25	66,81
M	1848,98	710,81	856,62	1536,98	991,41	1188,96
J	1608,84	2187,36	2529,66	1364,09	5507,12	2639,41
J	3124,70	1302,03	520,33	2434,88	1774,79	1831,35
A	1141,65	158,18	1300,72	2130,98	560,20	1058,35
S	2322,47	5049,62	3234,81	1916,64	1140,65	2732,84
O	2138,90	678,39	1202,94	832,85	991,59	1168,93
N	1198,93	868,18	867,10	51,48	126,05	621,95
D	61,68	5,18	310,38	595,97	0,00	297,21

ESTACION Y MES	1981	1982	1983	1984	1985	Promedio
TABANO	19161,49	17408,90	36634,80	33469,40	45133,60	30761,67
E	102,99	35,57	102,78	715,48	74,40	206,24
F	89,17	235,13	104,09	2800,14	623,20	770,35
M	284,02	49,27	460,00	120,34	185,70	219,87
A	269,18	1081,16	457,90	62,57	36,10	381,38
M	5749,35	2685,64	2870,06	1232,70	4055,20	3318,59
J	1011,36	3508,81	6564,90	6662,20	8675,30	5284,51
J	2676,36	505,91	842,56	2324,57	7032,40	2676,36
A	1293,39	1215,41	2289,31	3612,68	4878,70	2657,89
S	3693,12	4440,82	4097,88	5932,09	5882,40	4809,26
O	1899,17	1984,78	8568,04	7525,86	11127,10	6620,99
N	1956,34	1045,09	8763,46	2162,86	2093,60	3204,27
D	137,04	621,28	1513,87	317,92	469,70	611,96

Cuadro 3 Distribución mensual promedio del factor erosividad de la lluvia (% del total anual).

MES	T-Seis	Tucurrique	Taus	Cordoncillal	El Gato	Cuencas	Destierro	El Humo	Tabano
Ene	2,7	0,0	0,4	0,9	1,2	0,8	1,5	0,3	0,7
Feb	3,6	2,0	0,8	1,6	1,2	2,8	2,2	1,3	2,5
Mar	1,0	0,9	1,3	1,2	1,1	0,5	1,8	1,4	0,7
Abr	2,6	1,2	2,4	2,1	1,4	2,1	1,9	0,6	1,2
May	8,6	14,1	14,0	8,1	11,5	11,2	12,4	9,9	10,8
Jun	21,1	15,8	23,4	21,0	19,4	9,8	14,0	22,1	17,2
Jul	12,0	10,6	13,9	16,5	7,3	9,0	12,5	15,3	8,7
Ago	12,3	12,4	10,8	11,7	9,9	16,6	9,8	8,9	8,6
Set	13,2	12,4	19,1	18,4	18,8	11,4	17,0	22,8	15,6
Oct	13,7	17,8	10,3	10,1	17,8	21,4	18,3	9,8	21,6
Nov	8,3	6,0	2,6	5,8	9,2	13,2	6,6	5,2	10,4
Dic	0,9	6,7	1,0	2,6	1,2	1,2	2,0	2,4	2,0

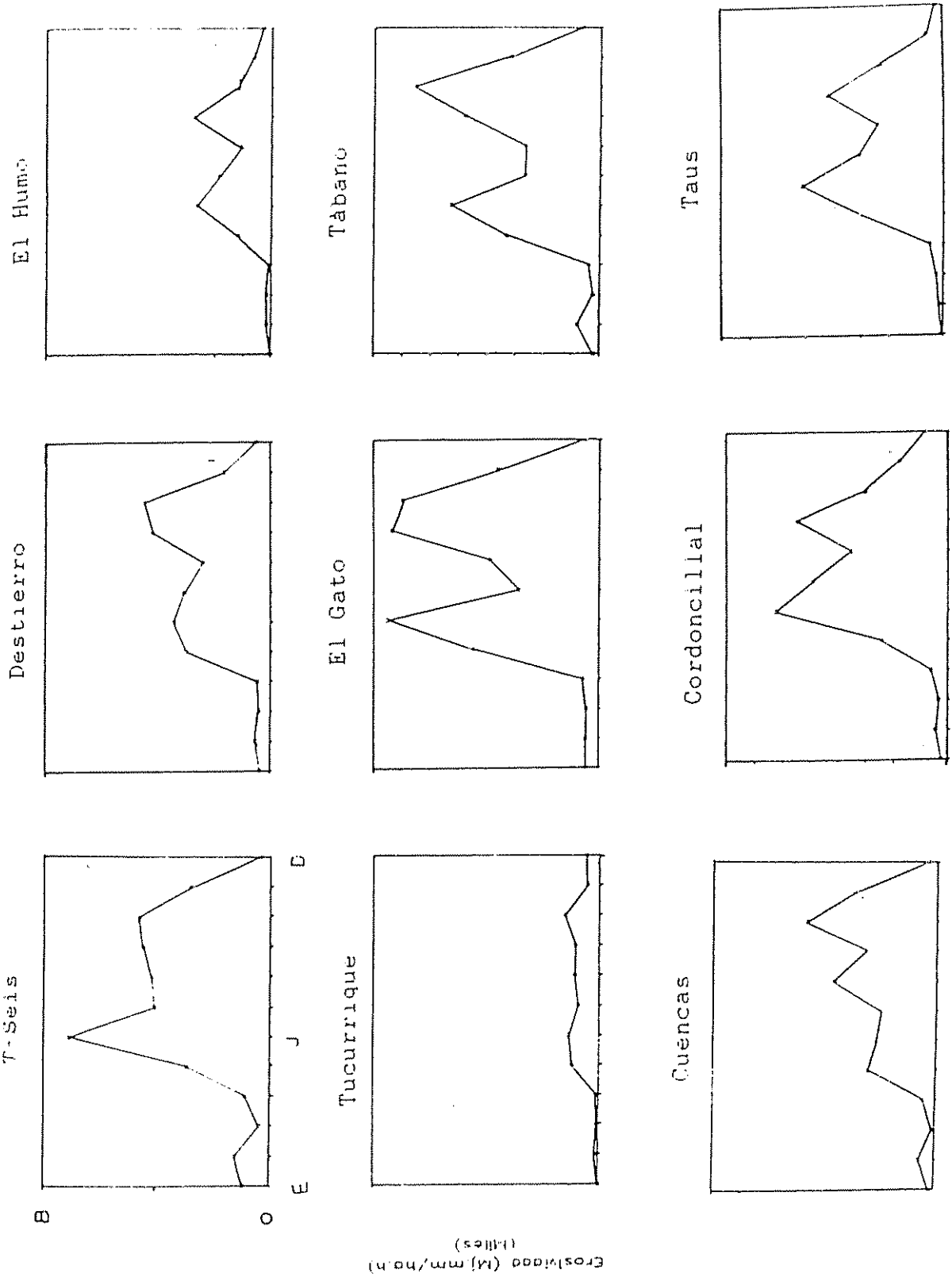


Figura 9 Erosion promedio mensual en las estaciones estudiadas

Cuadro 4 Erosividad promedio anual en los puntos de estudio para el periodo 1981-1985

ESTACION	R (MJ.mm/ha.h.año)
El Gato	39791,29
T-Seis	33663,67
Tábano	30761,67
Cordoncillal	29578,54
Destierro	24343,98
Cuencas	21929,13
Taus	21628,16
El Humo	12157,98
Tucurrique	6639,91

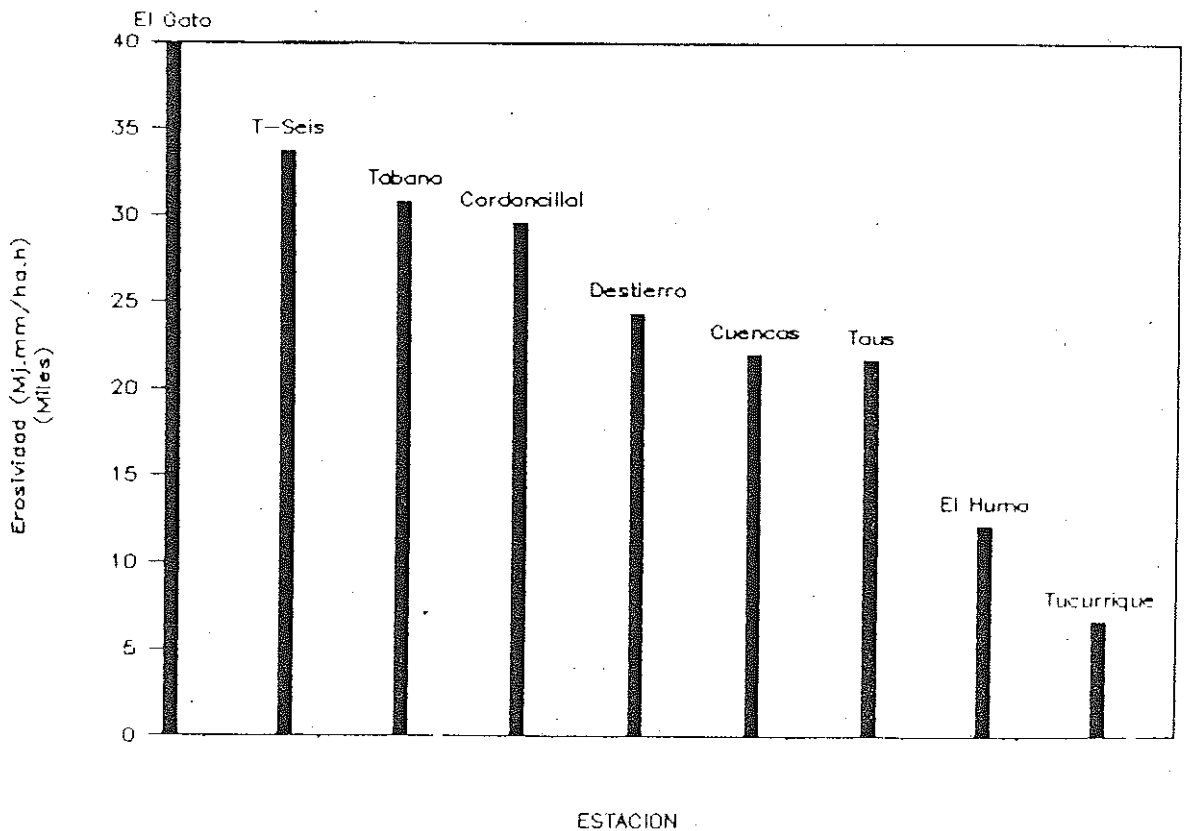


Figura 10 Erosividad promedio anual en las estaciones estudiadas

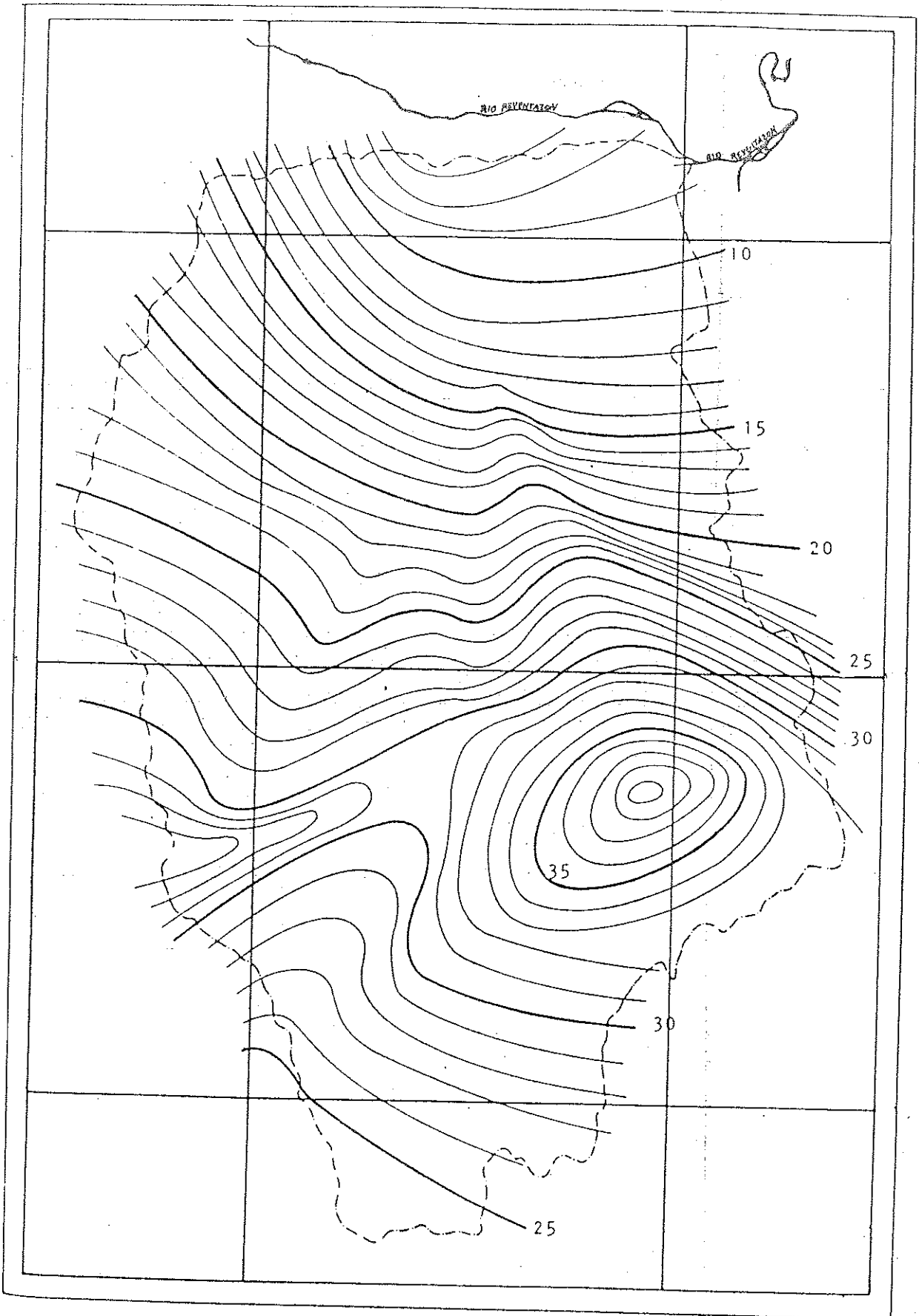


Figura 11 Líneas de isoerosividad de lluvia
(en miles de MJ.mm/ha.h.año)

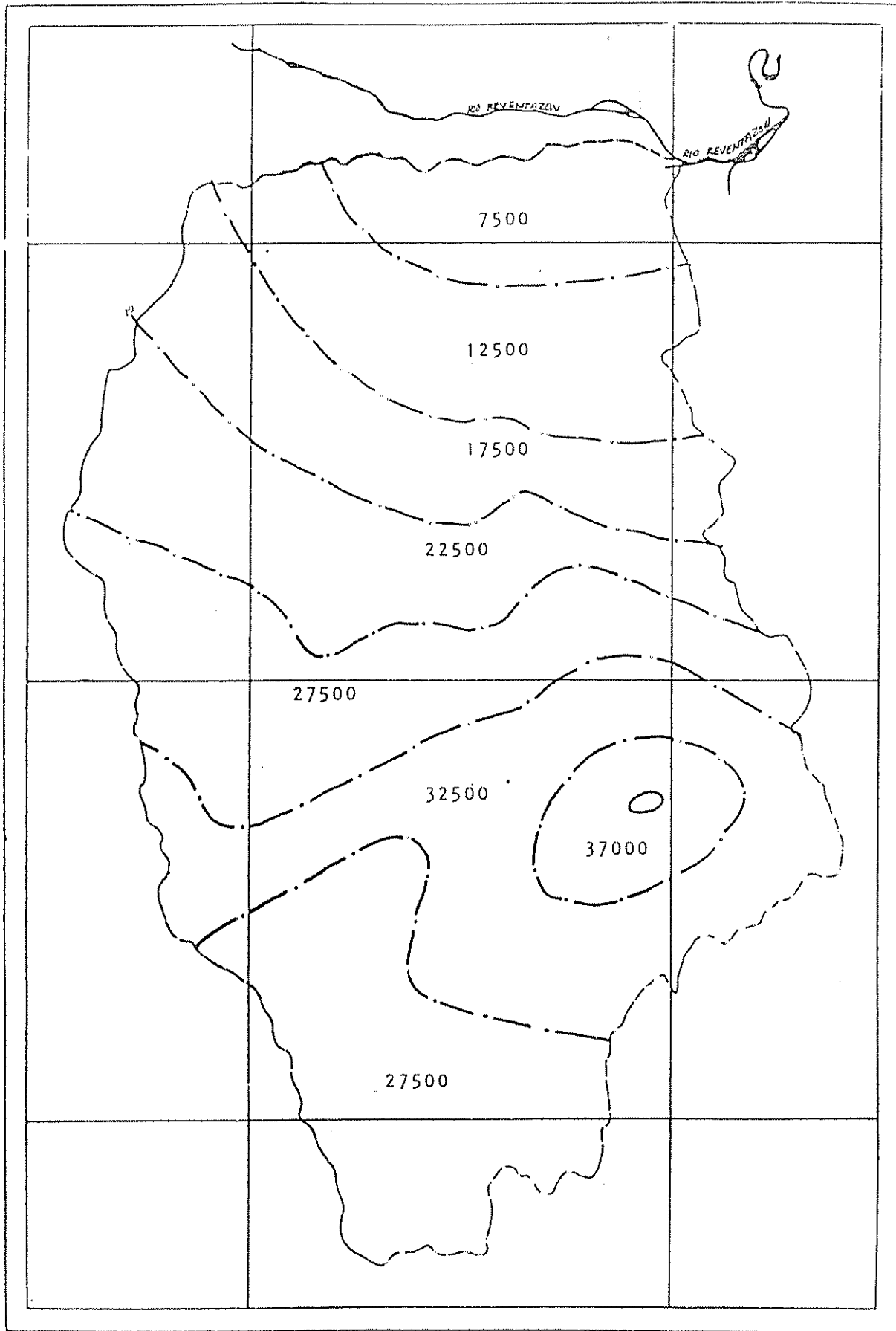


Figura 12 Mapa de zonas de erosividad de lluvia para la cuenca (Mj.mm/ha.h.año)

4.2 Erodabilidad de los suelos

Los resultados de los análisis de laboratorio se presentan a continuación en el cuadro 5. Los valores reportados son el promedio de las tres repeticiones tomados en el campo, excepto en el caso de Destierro 2.

Cuadro 5 Resumen de los resultados de los análisis de suelos

Sitio de muestreo	Materia orgánica (%)	Conductividad hidráulica (cm/h)	Textura * (hidrómetro)			Clasificación textural
			%arcilla	%limo	%arena	
Tucurrique (cafetal)	5,76	7,27 (moderada a rápida)	57,3	26,7	16	arcilloso
El Huao (almácigo de café)	12,93	5,23 (moderada)	40,8	33,3	25,9	arcilloso
Oriente (pasto)	8,71	3,06 (moderada)	20,1	26	53,9	franco-arcillo-arenoso
Tábano (bosque primario)	11,32	3,62 (moderada)	44,8	34,4	20,8	arcilloso
Bato (bosque primario)	6,07	1,83 (lenta a moderada)	56	33,3	10,7	arcilloso
Cordocillal (pasto)	10,25	2,03 (lenta a moderada)	60,9	26,3	12,8	arcilloso
La Selva (pasto)	12,72	10,81 (moderada a rápida)	19,5	31,5	49	franco
Destierro 2 (bosque primario)	18,40	22,56 (rápida)	18,3	54,8	26,9	franco-limoso
T-Seis (bosque primario)	56,57	-----	-----	-----	-----	-----

* Clases según el sistema de clasificación del USDA.

Cuadro 6 Modificación de los análisis texturales

Sitio de muestreo	%arena muy fina (0,105-0,063 mm)	%arena gruesa, media y fina (2-0,105 mm)	%arena total (2-0,063 mm)	%arcilla (< 0,002 mm)	%limo (0,063-0,002 mm)
Tucurrique	5,38	10,82	16,2	57,3	26,5
Humo	4,94	18,6	23,44	40,8	35,76
Oriente	8,6	55,6	64,2	20,1	15,7
Tábano	6,92	9,0	15,92	44,8	39,28
Gato	2,46	10,32	12,78	56,0	31,22
Cordoncillal	3,66	5,8	9,46	60,9	29,64
La Selva	9,42	39,62	49,04	19,5	31,46
Destierro	16,36	10,75	26,88	18,3	54,82

Cuadro 7 Valores utilizados para el cálculo de la erodabilidad de los suelos en los sitios muestreados

Sitio de muestreo	limo + arena muy fina (%)	arcilla (%)	materia orgánica (%)	código de estructura ‡	código de conductividad hidráulica ‡
Tucurrique	31,88	57,3	5,76	4	2
El Humo	40,6	40,8	12,93	4	3
Oriente	24,3	20,1	8,71	4	3
Tábano	46,2	44,8	11,32	4	3
Gato	33,68	56,0	6,07	4	4
Cordoncillal	33,3	60,9	10,25	4	4
La Selva	40,88	19,5	12,72	4	2
Destierro 2	71,18	18,3	50,47	4	1

‡ Según criterios indicados en la metodología

Cuadro 8 Erodabilidad del suelo en los sitios de muestreo

Sitio	Factor K (ton.ha.h/ha.MJ.mm)
Tucurrique	0,0135
El Humo	0,0244
Oriente	0,0209
Tábano	0,0178
Gato	0,0146
Cordoncillal	0,0197
La Selva	0,0279
Destierro 2	0,0317
T-Seis	0,0317

En la figura 13 se presenta el mapa de erodabilidad de suelos obtenido.

4.3 Longitud y grado de pendiente

Luego del análisis de la frecuencia de grados de pendiente y longitudes asociadas, se calculó el factor LS para cada subcuenca. Los transectos estudiados se presentan en las figuras 10A a 17A del apéndice.

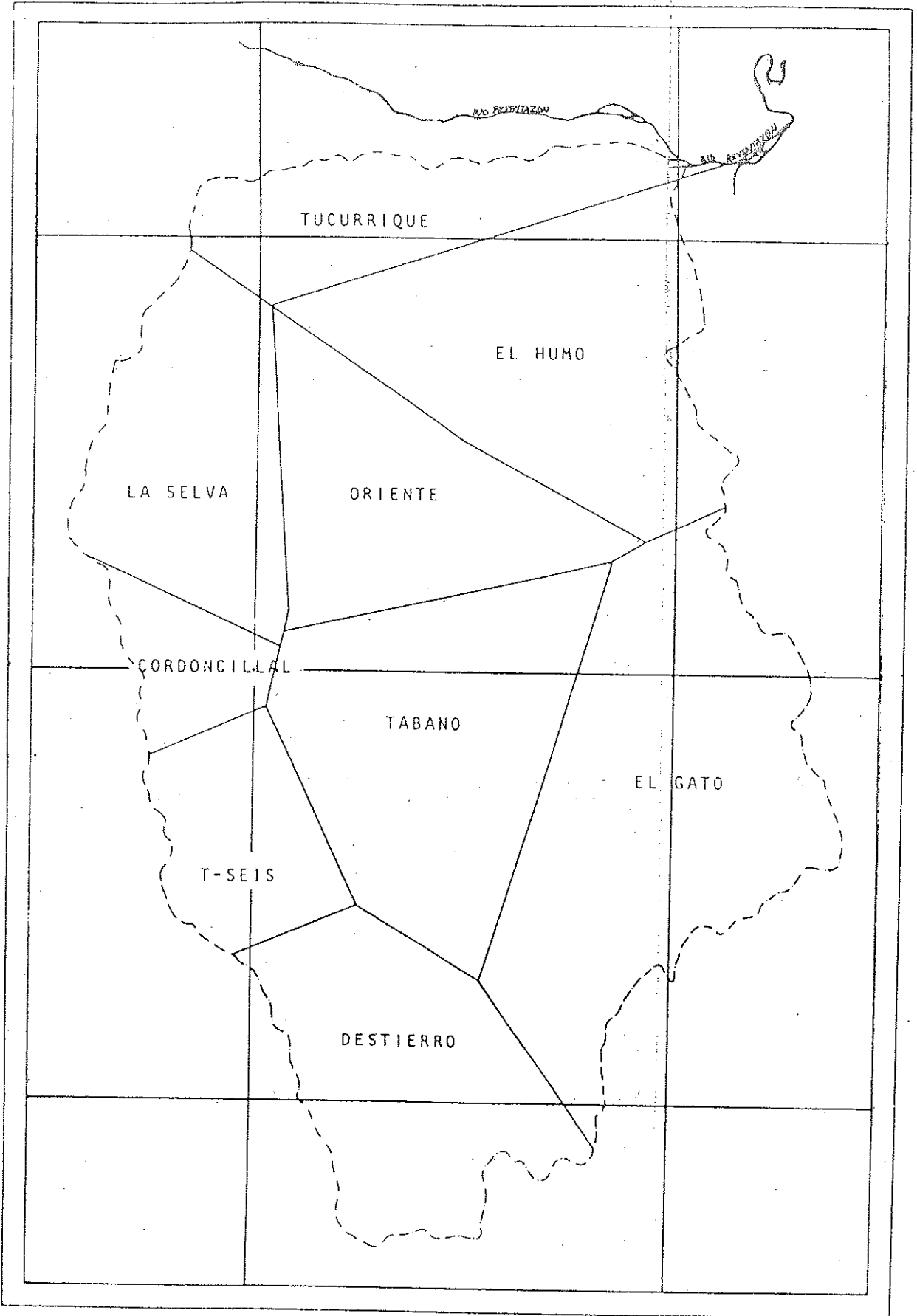


Figura 13 Mapa de erodabilidad de suelos

Cuadro 9 Valores de la longitud y el grado de la pendiente características por subcuenca, y factor topográfico LS para cada una de ellas

Subcuenca	Longitud(m)	Grado(°)	Factor LS
A	50,0	21,8	16,2
B	100,0	21,8	22,9
C	37,5	27,9	21,5
D	37,5	27,9	21,5
E	50,0	21,8	16,2
F	50,0	38,7	42,7
G	37,5	27,9	21,5
H	87,5	12,9	8,7

Las partes baja y media de la subcuenca del Río Gato son las que presentan los menores valores de LS. Entre las otras subcuencas la variación del factor topográfico no es mucha.

4.4 Cobertura y manejo de cultivos

Los cultivos presentes en la cuenca se agruparon según se indica en el cuadro 10:

Cuadro 10 Valores del factor C de cobertura y manejo para los diferentes cultivos

Cultivos	Factor de Cobertura y Manejo, C
Bosque primario	0,0001 (Wischmeier y Smith, 1978)
Caña, caña brava	0,05 (Cooley y Williams, 1985)
Café, café con macadamia y	
Café con pejibaye	0,3 (Mitchell y Bubenzer, 1980)
Charral, pasto	0,018 (Howeler, 1984)
Macadamia	? *

* No se encontró indicado en la literatura ningún valor para C, por lo que el área dedicada a macadamia (que es muy pequeña) no se incluyó en la evaluación de la erosión.

Con los valores anteriores se simplificó el mapa de cobertura vegetal para obtener la distribución espacial del factor C.

4.5 Evaluación de la pérdida promedio de suelo en las distintas unidades dentro de la cuenca

A partir de la superposición de los distintos mapas temáticos, se determinaron áreas homogéneas con valores representativos para el cálculo de la erosión para un total de 107 unidades de distinto tamaño. Los valores de erosión variaron de 0,099 hasta 1572,73 t/ha.año, y se incluyen en el Cuadro 2A. Se incluye además un cuadro con los valores y clasificación de la pérdida de suelos suponiendo usos uniformes de la tierra para toda la cuenca (cuadro 3A). Esto se hace para destacar la importancia del factor cobertura en los resultados obtenidos.

La figura 14 muestra el mapa de pérdida de suelo en la

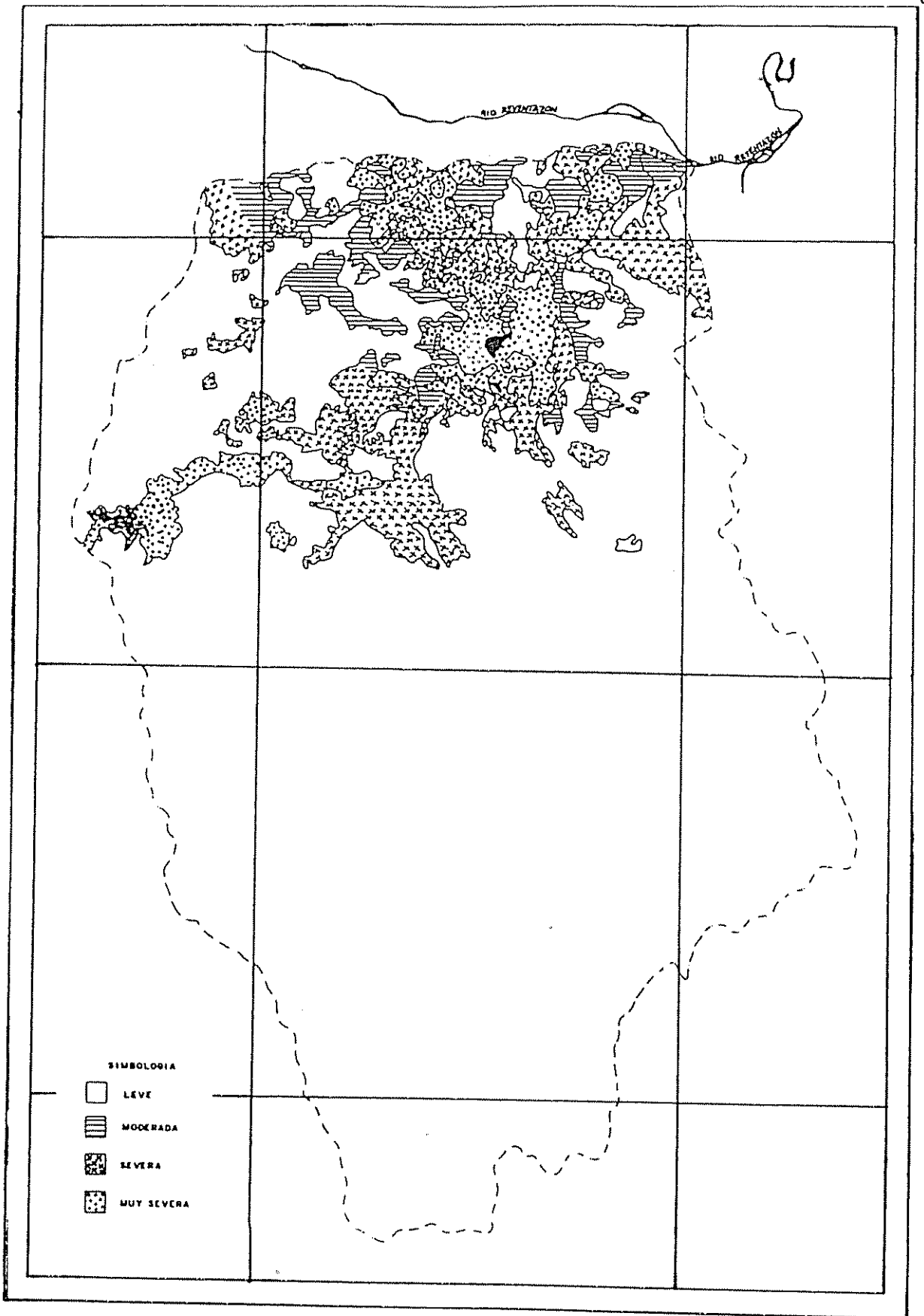


Figura 14 Mapa de erosión en la Cuenca del Rio Peñibaye

5. DISCUSION DE RESULTADOS

Se nota que el factor R mínimo determinado (6640 MJ.mm/ha.h.año) se da en la parte más baja de la cuenca, en la estación Tucurrique (figura 11). Luego se incrementa hasta un valor máximo de 39791 MJ.mm/ha.h.año en la estación El Gato (al Sureste, en la parte media-alta de la cuenca). Finalmente, R vuelve a disminuir hacia la parte más alta de la cuenca. Hay una gran variación espacial del factor de agresividad de la lluvia (entre las estaciones Tucurrique y Gato, separadas entre sí por solamente 15 km de distancia, hay una diferencia de 32000 Mj.mm/ha.h.año). Esta característica tiene en este sentido un comportamiento similar al de las precipitaciones totales (isoyetas).

La serie estudiada de cinco años permite una caracterización válida del factor erosividad para fines de este estudio. Sin embargo, sería muy conveniente en estudios posteriores extenderla a más años.

Los valores calculados para la estación Cuencas son los menos confiables ya que en este lugar se perdieron una gran cantidad de datos por malas condiciones del pluviógrafo. Esto explica tal vez el hecho de que R oscile tanto en el período. Además, por tratarse de una estación que está fuera y bastante alejada de la cuenca, sus datos se utilizaron solamente como una guía general para hacer el trazado de las líneas de isoerosividad.

Para realizar el trazado del mapa con las curvas de isoerosividad no puede procederse a una simple interpolación lineal entre las estaciones meteorológicas. Fue necesario considerar la configuración del terreno (relieve) para introducir modificaciones en dicha interpolación.

La distribución porcentual mes a mes del factor R es de especial importancia en la selección de los cultivos para una zona, si se desea que sean efectivos realmente en la protección del suelo.

La mayoría de los suelos presentan una textura altamente arcillosa. La erodabilidad de un suelo decrece conforme disminuye el porcentaje relativo de las partículas de tamaño medio (limo y arenas muy finas), independientemente de si el porcentaje que aumenta es el de la arcilla o el de las arenas medias y gruesas (Wischmeier, Johnson y Cross, 1971). Dada la textura de los suelos estudiados, cabe esperar que el valor de K no sea muy alto (de acuerdo con los valores promedio indicados en la literatura).

El contenido de materia orgánica también juega un papel muy importante en la evaluación del factor K. Puesto que la cobertura vegetal de la cuenca es en su mayoría bosque primario, o que el mismo fue removido hace relativamente poco tiempo, los contenidos de materia orgánica son muy altos. Esto representa uno de los principales problemas en el trabajo debido a dos razones principales:

- dificulta la labor de muestreo y el trabajo de laboratorio, y

- dificulta la aplicación de la fórmula para estimar la erodabilidad, ya que la variación del factor K para suelos con contenidos mayores al 4% de M.O. no ha sido claramente establecida. Debido a lo anterior, cualquier fórmula que se utilice no permite más que una aproximación al valor de esta variable.

El horizonte superior no presenta una estructura bien desarrollada debido a las altas precipitaciones que caen sobre toda la cuenca, y al hecho de que se trata de suelos jóvenes.

La conductividad hidráulica del suelo tiene una estrecha relación con las propiedades descritas anteriormente. Es moderada en la mayoría de los casos debido al efecto del alto contenido de arcilla. Son una excepción los casos de Destierro y T-Seis, en los que el contenido de materia orgánica es extremadamente alto y modifica esta característica transformando la conductividad en rápida.

Puede afirmarse que los valores obtenidos para el factor K son en promedio bajos, con excepción del caso de Destierro, en que la erodabilidad es moderada (según los límites presentados por Foster, McCool, Renard y Moldenhauer, 1981).

El mapa obtenido del factor K no es más que una primera aproximación a la distribución espacial de esta característica, y hay un error asociado al hecho de que la distribución de los puntos de muestreo no se hizo con el fin de elaborar un mapa sino que fue mas bien limitada por el acceso a los sitios de toma de muestras.

Las pendientes de la cuenca son bastante uniformes, aunque con valores de inclinación y longitud de la pendiente muy altos en la mayoría de los casos.

Una de las principales fuentes de error al aplicar la EUPS a nivel de cuenca hidrográfica lo constituye el de la definición de la longitud de la pendiente ya que no hay un valor de longitud de pendiente específico que defina cuál va a ser la longitud por la que efectivamente va a haber arrastre del material erodado. Para que su determinación sea lo más correcta posible habría que recurrir a la evaluación en el campo, que para este estudio no fue posible realizar.

La literatura presenta gráficos confiables para la solución de la ecuación de LS con límites de hasta 20% de pendiente y longitudes de hasta 122 metros (Wischmeier y Smith, 1978). También se pueden encontrar interpolaciones - menos confiables por supuesto, debido a la escasez de estudios para longitudes de pendiente mayores de 250 metros - hasta valores de $S=60\%$ y $L=600$ m (Mitchell y Bubenzer, 1980).

Para este caso específico, al utilizarse la metodología seleccionada probablemente se estén subestimando los valores del factor, además de que no se tomó en cuenta el efecto de la forma de la pendiente.

La evaluación del factor C es a menudo difícil debido a los múltiples sistemas de cultivo y manejo que se pueden encontrar en el campo. Los cultivos se pueden producir de manera continua o rotarse con otros cultivos. Las rotaciones a su vez son de duración y secuencias diversas. Cada parte de la secuencia de cultivo y manejo se tendría que evaluar en combinación con la distribución de la erosividad por precipitación para la región. El establecimiento de un valor de C para distintas asociaciones de cultivo puede representar, en este caso específico, una limitación inevitable debido a la escasez de estudios específicos previos de este factor en la región. Esto podría estar causando que el factor C aparezca como el determinante en la evaluación de la pérdida de suelo.

Los valores estimados para la pérdida de suelo o factor A, hay que enfatizarlo, no son predicciones exactas de la pérdida de suelo que efectivamente va a presentarse a lo largo de la cuenca, sino más bien estimadores relativos de la susceptibilidad a la erosión en las distintas regiones. En este caso existe una gran coincidencia entre el mapa del factor C de cobertura y manejo y el mapa de pérdida de suelo A en la cuenca. Lo anterior coincide perfectamente con las observaciones hechas en el campo acerca de la gravedad del proceso de pérdida de suelo por erosión laminar y en surcos; la cual es mayor en aquellas zonas donde el uso del suelo es mas intensivo. El factor C aparece como determinante principal del valor de pérdida de suelo que se va a obtener al aplicar este modelo (lo que se ve claramente en el cuadro 3A). Es interesante notar que con un valor de $C=0,018$ hay gran diferencia en A; entonces, con el uso de charral, otros factores serán los que diferencien la pérdida de suelo. Aparte de C, la erosividad de la lluvia parece presentarse como el segundo factor en importancia que determina el riesgo de erosión en la cuenca.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los objetivos y el trabajo efectuado, se llega a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- En la Cuenca del Río Pejibaye, la erodabilidad del suelo, tal y como está definida en la ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1978), presenta en la mayoría del área valores entre bajos y moderados (0,0135 a 0,0279 ton.ha.h/ha.MJ.mm). El factor C de cobertura y manejo de cultivos es también muy bajo para la mayor parte de la cuenca, pues la vegetación presente es un bosque primario ($C=0,0001$). Los valores de erosividad de lluvia son muy altos (de hasta 39000 MJ.mm/ha.h.año) y las pendientes son pronunciadas en la mayor parte del área. La no utilización de prácticas de conservación de suelos como las consideradas en el modelo propuesto por Wischmeier (siembra a contorno, en fajas a contorno y terraceo) contribuye a aumentar el valor del índice de erosión calculado para cada zona.

- La pérdida de suelos por erosión laminar y en surcos en el 84% de la cuenca es ligera (menos de 10 ton/ha.año), debido a la densa cobertura boscosa que la protege. En el resto del área, donde se presentan otros tipos de uso de la tierra, la erosión del suelo se transforma en un problema serio debido principalmente a las altas erosividades de las precipitaciones. La cobertura vegetal tiene entonces el papel más importante como regulador de la intensidad del proceso erosivo.

- Aparece como necesario para la preservación de los recursos agua y suelo en la cuenca, que no se favorezca ningún cambio en el uso de la tierra en las zonas aún cubiertas por vegetación natural (donde la erosión es leve).

En las zonas donde la erosión es mayor (parte baja de la cuenca, 16% del área total), se recomienda investigar la posibilidad de introducir prácticas de conservación de suelos sencillas (siembra a contorno, por ejemplo), que en este caso podrían contribuir a disminuir los valores de pérdida de suelos.

La mayor ventaja al utilizar la ecuación universal en la cuenca del río Pejibaye fue que permitió caracterizar una variable de gran importancia en el proceso de erosión hídrica : la agresividad de las lluvias. Entre las principales limitaciones identificadas está la falta de investigación en los siguientes aspectos:

- Cuáles son las características del suelo que, en condiciones tropicales, definen su susceptibilidad a la erosión laminar y en surcos, y como se relacionan entre ellas.

- Cómo debe realizarse la evaluación del factor topográfico LS a nivel de cuenca hidrográfica.

- Caracterización más detallada del factor C de cobertura y manejo para los cultivos típicos de nuestro país.

Lo anterior impidió que el nivel de detalle del estudio de cada factor en la EUPS fuera uniforme, por lo que la confiabilidad general se reduce. Para poder llegar a una zonificación más detallada serían necesarias investigaciones más profundas sobre el comportamiento de cada uno de estos factores en la cuenca del río Pejibaye. Una manera conveniente de realizar lo anterior es el establecimiento de parcelas de erosión para cada zona de erosividad de lluvia y uso de la tierra. Sin embargo, para que los resultados sean comparables con los arrojados por la ecuación se necesitaría un período de registro tal que se obtenga una caracterización completa del efecto de las precipitaciones.

7. BIBLIOGRAFIA

- AMEZQUITA, C.E.; FORSYTHE, W.M. 1975. Aplicación de la Ecuación Universal de pérdida de suelo en Turrialba, Costa Rica. s.n.t. 30 p.
- Trabajo presentado en: Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo (5,1975, Medellín, Colombia)
- AMEZQUITA, E. 1974. Estudios Hidrológicos y Edafológicos para conservación de aguas y suelos en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 212 p.
- APOLO, W. 1980. Evaluación de la escorrentía superficial y la erosión en un pastizal con árboles aislados en la Suiza, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 69 p.
- ARNOLDUS, H.M.J. 1977. Predicting soil losses due to sheet and rill erosion. In FAO. Guidelines for Watershed management. Roma. p.99-124.
- BERGOEING, J.P. 1981. Geomorfología del área de confluencia de los Ríos Reventazón y Pejibaye, Costa Rica. Revista Geográfica (México) 93:119-125.
- BERMUDEZ, M.M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema café (Coffea arabica), poró (Erythrina poepiggiana (Walkers) O.F. Cook) y laurel (Cordia alliodora (R. & P.) Cham) en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 74 p.
- BRUCE, R. 1985. Assessment of some soil erosion prediction models for application to the Philippines. In Soil erosion and management (December, 1984, Los Baños, Philippines). Proceedings. Ed. by E.T. Craswell; J.V. Remenyi y L.G. Nallana. p.42-49.

- CASTRO, C.D.; ZOBECK, T.M. 1986. Evaluation of the topographic factor in the Universal Soil Loss Equation on irregular slopes. *Journal of Soil and Water Conservation (EE.UU.)* 41(3):113-116.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1986. Plan de Manejo Reserva Forestal de Río Macho. s.n.t. IX Curso Especial de Manejo de Areas Silvestres. 64 p.
- CHINNAMANI, S.; SAIRAM, V.; SAKTHIVADIVEL, R. 1982. Applicability of the Universal Soil Loss Equation in mountain watersheds in semiarid and humid regions. In *Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield (1982, Exeter, England)*. Proceedings. Ed. by D.E. Walling. IAHS Publ. n°137 p.229-237.
- COOLEY, K.R.; WILLIAMS, J.R. 1985. Applicability of the universal soil loss equation (USLE) and modified USLE to Hawaii. In *Soil erosion and conservation; international conference, Honolulu, Hawaii, 1983*. Ed. by S.A. El-Swaify; W.C. Moldenhauer; A. Lo. Iowa, Soil Conservation Society of America. p.509-522.
- CUFF, J.R.I. 1985. Quantifying erosion-causing parameters in a New Zealand watershed. In *Soil erosion and conservation; international conference, Honolulu, Hawaii, 1983*. Ed. by S.A. El-Swaify; W.C. Moldenhauer; A. Lo. Iowa, Soil Conservation Society of America. p.99-112.
- DISSMEYER, G.E.; FOSTER, G.R. 1981. Estimating the cover-management factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for forest conditions. *Journal of Soil and Water Conservation (EE.UU.)* 36(4):235-240.
- DOUROJEANNI, M.J. 1982. Recursos naturales y desarrollo en América Latina y el Caribe. Lima, Perú, Universidad de Lima. 437 p.
- DREGNE, H.E. 1982. Historical perspective of accelerated erosion and effect on world civilization. In

- Determinants of soil loss tolerance (August, 1979, Fort Collins, Colorado). Proceedings. p.1-14. ASA sp 45.
- DUNNE, T.; AUBRY, B.; WAHOME, K. 1981. Effect of wood fuel harvest on soil erosion in Kenya. Report to the Ministry of Energy. Kenia, Government of Kenya. 86 p.
- _____ ; DIETRICH, W. 1982. Sediment sources in tropical drainage basins. In Soil erosion and conservation in the Tropics (1979, Fort Collins, Colorado). Proceedings. p.41-55. ASA sp 43.
- _____. 1985. The prediction of erosion in forests. s.n.t. 15 p.
- Trabajo presentado en: Seminar on the effects of forest land use on erosion and slope stability (1984, Honolulu, Hawaii).
- DYER, E.B. 1976. Use of the Universal Soil Loss Equation: a river basin experience. In National Conference on Soil erosion (1976, Indiana, EE.UU.) p.292-297.
- EL-SWAIFY, S.A. 1977. Susceptibility of certain tropical soils to erosion by water. In International Conference on Soil Conservation and Management in the Humid Tropics (1975, Ibadan, Nigeria). Proceedings. Ed. by D.J. Greenland, R. Lal. Chichester, J. Wiley. p.71-77.
- _____ ; DANGLER, E.W. 1982. Rainfall erosion in the tropics: a state of the art. In Soil erosion and conservation in the Tropics (1979, Fort Collins, Colorado). Proceedings. p.1-26. ASA sp 43.
- FAO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 86 p.
- FORSYTHE, W. 1975. Física de Suelos - Manual de Laboratorio. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 212 p.
- FOSTER, G.R.; WISCHMEIER, W.H. 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (EE.UU.) 17:305-309.

- _____ ; MEYER, L.D.; ONSTAD, C.A. 1977. An erosion equation derived from basic erosion principles. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (EE.UU.) 20:678-682.
- _____ ; MEYER, L.D.; ONSTAD, C.A.. 1977. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 20:683-687.
- _____ ; Mc.COOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI units. Journal of Soil and Water Conservation (EE.UU.) 36(6):355-359.
- _____ ; MOLDENHAUER, W.C.; W.H. WISCHMEIER. 1982. Transferability of U.S. Technology for Prediction and Control of Erosion in the Tropics. In Soil erosion and conservation in the Tropics (1979, Fort Collins, Colorado). Proceedings. p.135-149. ASA sp 43.
- FOURNIER, L.A. 1981. Conflictos en el uso de la tierra en América Latina. In Simposio Internacional sobre las Ciencias Forestales y su Contribución al Desarrollo de la América Tropical (1979, San José, Costa Rica). (Trabajos). Ed. por Manuel Chavarría. San José, C.R., CONICIT/INTERCIENCIA/SCITEC. p.221-230.
- HARTSHORN, G. 1982. Costa Rica, Perfil Ambiental. San José, Trejos. 152 p.
- HEDSTROM, I. 1985. Somos parte de un gran equilibrio: la crisis ecológica en Centro América. San José, Costa Rica, Departamento Ecuménico de Investigaciones. 136 p.
- HEWLETT, J.D. 1982. Principles of forest hydrology. University of Georgia Press, Athens, Georgia. 184 p.
- HOWELER, R. 1984. Prácticas de conservación de suelos para cultivos anuales. In Manejo y conservación de suelos de ladera (Cali, Colombia, 1984). Ed. por Reinhart H. Howeler. p. 77-93.
- HUDSON, N. 1971. Soil Conservation. Ithaca, New York, Cornell University Press. 320 p.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT.

1985. Natural Resources and Economic Development in Central America: a regional environmental profile-executive summary. Washington, D.C. 27 p. (sin publicar).

IVES. 1951. Soil and Water Runoff Studies in a Tropical Region. Turrialba (Costa Rica) 1(5): 240-244.

LAL, R. 1976. Soil erosion problems on an Alfisol in Western Nigeria and their control. Ibadan, Nigeria, IITA. 188 p. (IITA Monograph nº 1)

———. 1977. Review of soil erosion research in Latin America. In International Conference on Soil Conservation and Management in the Humid Tropics (1975, Ibadan, Nigeria). Proceedings. Ed. by D.J. Greenland; R. Lal. Chichester, J. Wiley. p.231-240.

———. 1985. Soil Erosion and its relation to productivity in tropical soils. In Soil erosion and conservation; international conference, Honolulu, Hawaii, 1983. Ed. by S.A. El-Swaify; W.C. Moldenhauer; A. Lo. Iowa, Soil Conservation Society of America. p.237-247.

LO, A.; EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W.; SHINSHIRO, L. 1985. Effectiveness of EI30 as an erosivity index in Hawaii. In Soil erosion and conservation; international conference, Honolulu, Hawaii, 1983. Ed. by S.A. El-Swaify; W.C. Moldenhauer; A. Lo. Iowa, Soil Conservation Society of America. p.384-392.

MALDONADO, T. 1986. La colonización del área de Taque-Taque, el uso de la tierra y los sistemas agroforestales. Reserva Forestal Río Macho, Costa Rica. Análisis y Perspectivas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 193 p.

MEYER, L.D.; HARMON, W.C. 1984. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. Soil Science Society of America Journal (EE.UU.) 48: 1152-1157.

MITCHELL, J.K.; BUBENZER, G.D. 1980. Estimación de la pérdida de suelo. In Erosión de suelos. Editado por

- M.J. Kirkby y R.P.C. Morgan. Trad. por J. Hurtado. México, Limusa. p.35-88.
- MORGAN, R.P.C. 1980. Soil erosion. New York, Longman, 114 p. (Topics on applied geography)
- ONSTAD, C.A.; FOSTER, G.R. 1974. Erosion modeling on a watershed. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (EE.UU.) 18:288-292.
- ROCHA, J.A. 1977. Erosión de suelos de pendientes cultivadas con maíz y frijol con diferentes grados de cobertura viva dentro de una plantación forestal. Tesis Mag.Sc., Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 182 p.
- ROBINSON, A.R. 1979. Sediment yield as a function of upstream erosion. In Universal Soil Loss Equation: past, present and future (1977, Los Angeles, California). Proceedings. Soil Science Society of America sp 8. p.7-17.
- ROGOWSKI, A.S.; KHAMBILVARDI, R.M.; DEANGELIS, R.J. 1985. Estimating erosion on plot, field and watershed scales. In Soil erosion and conservation; international conference, Honolulu, Hawaii, 1983. Ed. by S.A. El-Swaify; W.C. Moldenhauer; A. Lo. Iowa, Soil Conservation Society of America. p.149-166.
- ROMKENS, M.J.M. 1985. The soil erodibility factor: a perspective. In Soil erosion and conservation; international conference, Honolulu, Hawaii, 1983. Ed. by S.A. El-Swaify; W.C. Moldenhauer; A. Lo. Iowa, Soil Conservation Society of America. p.445-461.
- ROOSE, E.J. 1977. Application of the USLE of Wischmeier and Smith in West Africa. In International Conference on Soil Conservation and Management in the Humid Tropics (1975, Ibadan, Nigeria). Proceedings. Ed. by D.J. Greenland; R. Lal. Chichester, J. Wiley. p.177-187.
- SAIZ DEL RIO, J.F.; BORNEMISZA, E. 1962. Análisis químicos de suelos. 2ª ed. IICA-CTEI. Turrialba, C.R. 107 p.
- SILVA, G. s.f. Relación entre la erosión pluvial y el transporte de sedimentos en ríos. s.n.t. 10 p.

Trabajo presentado en el III Congreso Colombiano de Cuencas Hidrográficas.

- SINGH, G.; BABU, R.; CHANDRA, S. 1985. Research on the Universal Soil Loss Equation in India. In Soil erosion and conservation; international conference, Honolulu, Hawaii, 1983. Ed. by S.A. El-Swaify; W.C. Moldenhauer; A. Lo. Iowa, Soil Conservation Society of America. p.496-508.
- SMITH, D.D; WISCHMEIER, W.H. 1962. Rainfall erosion. Advances in Agronomy (EE.UU.) 14:109-148.
- ULSAKER, L.G.; ONSTAD, C.A. 1984. Relating rainfall erosivity factors to soil loss in Kenya. Soil Science Society of America Journal (EE.UU.) 48:891-896.
- WILLIAMS, J.R.; BERNDT, H.D. 1977. Determining the Universal Soil Loss Equation's length-slope factor for watersheds. In National Conference on Soil erosion (1976, Indiana, EE.UU.) p.217-225.
- WISCHMEIER, W.H. 1959. A rainfall erosion index for an universal soil-loss equation. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 23(3): 246-249.
- _____ ; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation (EE.UU) 26(5):189-193.
- _____ . 1976. Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation (EE.UU.) 31(1):5-9.
- _____ ; SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. USDA. Agronomy Handbook 282.

APENDICE

ANEXO 1

PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EL CALCULO DE LA EROSIIVIDAD DE
LAS PRECIPITACIONES

(Desarrollado por Gustavo López P.,
programador Centro de Cómputo del CATIE)

Se presenta un listado de aplicación del programa a los datos de las estaciones T-Seis, año 1984; y Cordoncillal, año 1981.

```

DATA A;RETAIN X1-X400;
DROP H1-H20 I K ;
CMS FILEDEF A DISK PREC6 DATA A (LRECL 128 RECFM F BLOCK
128;
INFILE A;
  ARRAY X{*} X1-X400;
  ARRAY H{*} H1-H20;
INPUT EST $ 1-16 ANO MES DIA (H1-H20)(20*5.1);
  DO K=1 TO 20 UNTIL (H{K}=.);
    I+1;
    X{I}=H{K};
  END;
  IF H20=. THEN DO;
    OUTPUT;
    DO I=1 TO 400 UNTIL (X{I+1}=.);
      X{I}=.;
    END;
    I=0;
  END;
DATA A;SET A;
  ARRAY X{*} X1-X400;
  ARRAY INTE{*} INTE1-INTE400;

```

```

ARRAY EM{*} EM1-EM400;
ARRAY EC{*} EC1-EC400;
ARRAY S30M{*} S30M1-S30M400;
DO I=1 TO 400 WHILE(X{I} NE .);
    IF X{I}=0 THEN X{I}=0.0001;
END;

* CALCULO DE MM DE LLUVIA POR HORA;
DO I=1 TO 400 WHILE (X{I} NE .);
    IF X{I}=0 THEN X{I}=0.0001;
END;
DO I=1 TO 400 WHILE (X{I} NE .);
    INTE{I}=X{I}*4;
END;

* CALCULO DE E.M.;
DO I=1 TO 400 WHILE (INTE{I} NE .);
    EM{I}=0.119+0.0873*LOG10(INTE{I});
END;

* CALCULO DE E.C.;
DO I=1 TO 400 WHILE (EM{I} NE .);
    EC{I}=EM{I}*X{I};
END;

* CALCULO DE ECTOTAL;
ECTOT=SUM(OF EC1-EC400);

* SUMA DE INTERVALOS CADA 30 MINUTOS;
DO I=1 TO 400 WHILE (X{I} NE .);
    S30M{I}=X{I}+X{I+1};
END;
COMPARA=0;

* SELECCIONANDO S30M MAXIMO;
DO I=1 TO 400 WHILE (S30M{I} NE .);
    IF S30M{I} > COMPARA THEN DO;
        ACTUAL=S30M{I};
        COMPARA=ACTUAL;
    END;
END;

```



```
B=ACTUAL*2;
* CALCULO DE R.;
R=ECTOT*B;
DATA PRECI6.ILEANA;SET A;KEEP EST ANO MES DIA ECTOT B R;
PROC PRINT;VAR EST ANO MES DIA ECTOT B R;
TITLE ' DATOS DE ILEANA MORA,T-SEIS 84 .CORDONCILLAL 81';
DATA A;SET PRECI6.ILEANA;
PROC SORT;BY EST ANO MES;
PROC MEANS SUM NOPRINT;BY EST ANO MES;VAR ECTOT R;
OUTPUT OUT=A SUM=SECTOT R;
TITLE2 'SUMATORIAS PARA ECTOT Y R';
PROC PRINT;
PROC MEANS SUM NOPRINT;BY EST ANO;VAR R;
OUTPUT OUT=A SUM=R;
PROC PRINT;
TITLE2 'SUMATORIAS PARA R POR A#O ';
```

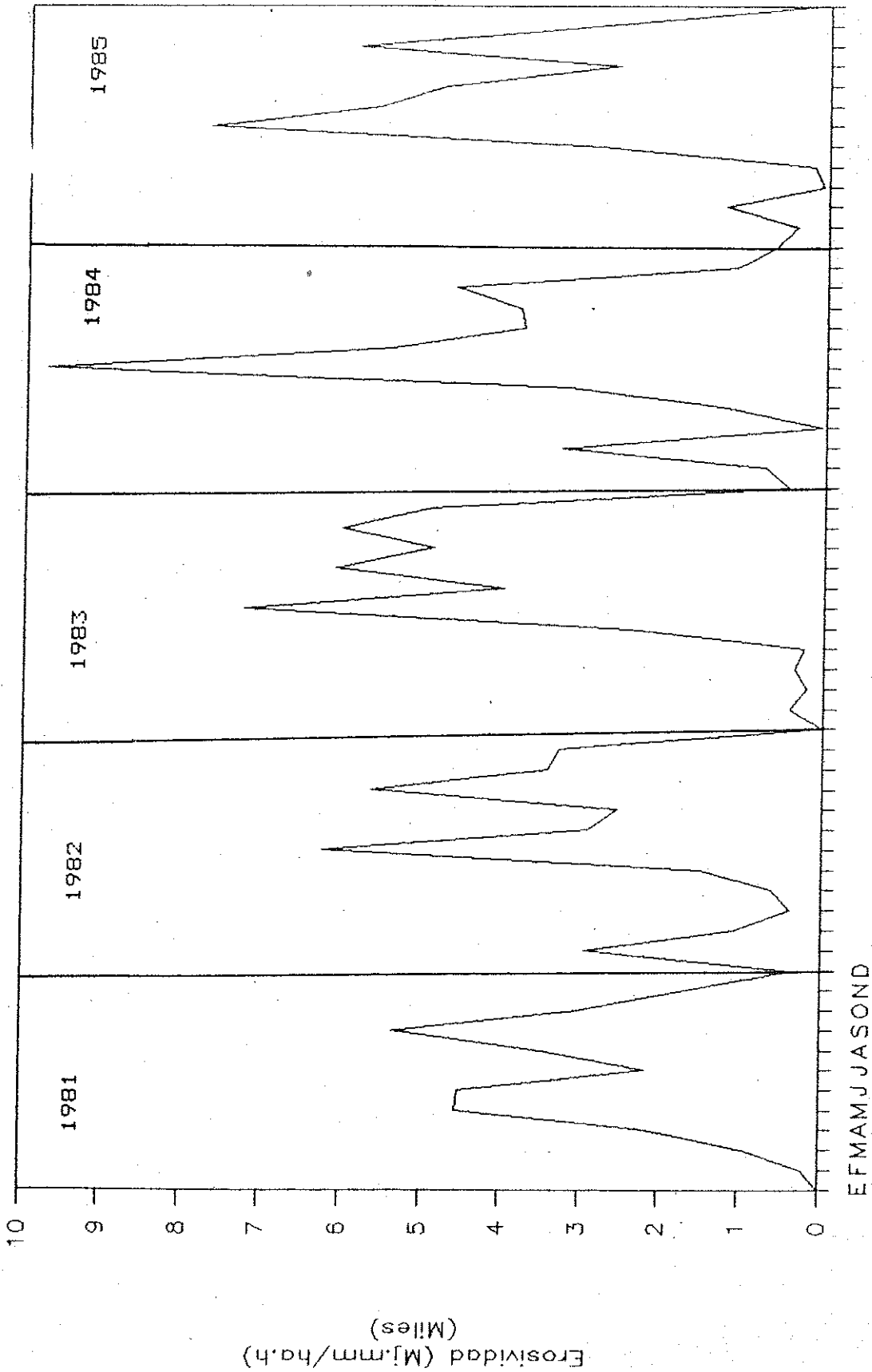


Figura 1A Erosividad de las lluvias (1981-85),
estación T-Seis

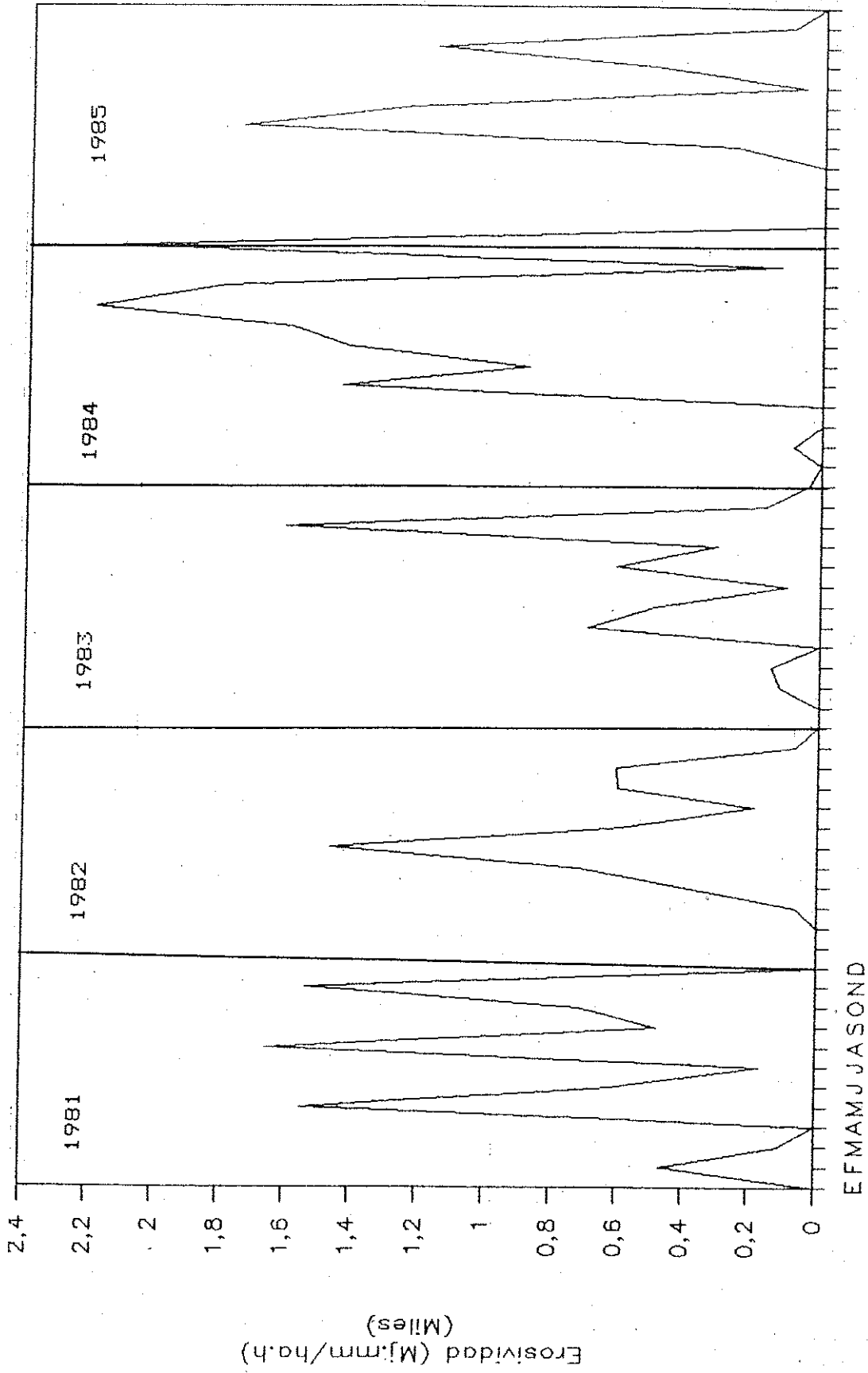


Figura 2A Erosividad de las lluvias (1981-85)
estación Tucurrique

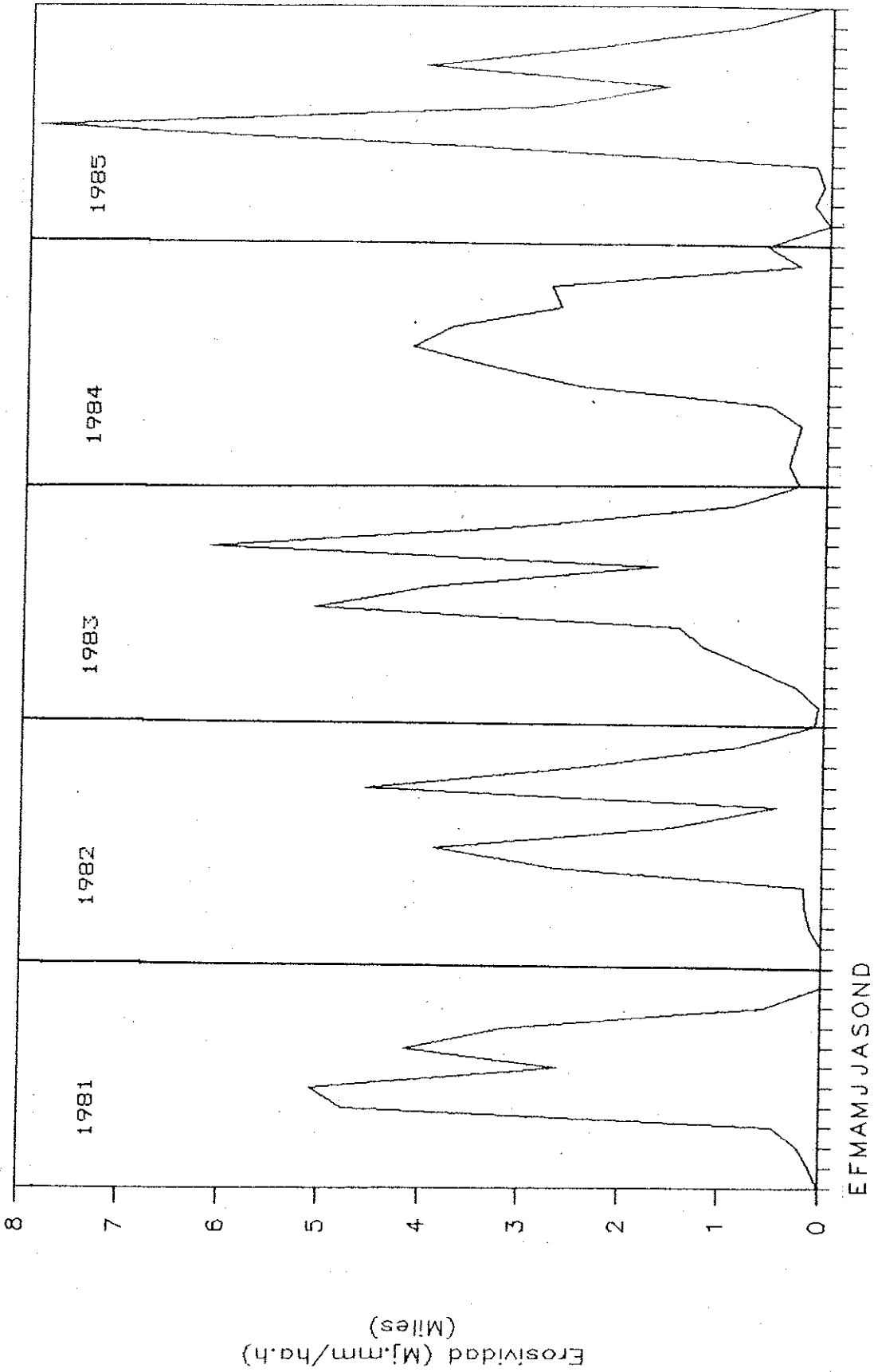


Figura 3A Erosividad de las lluvias (1981-85)
estación Taus

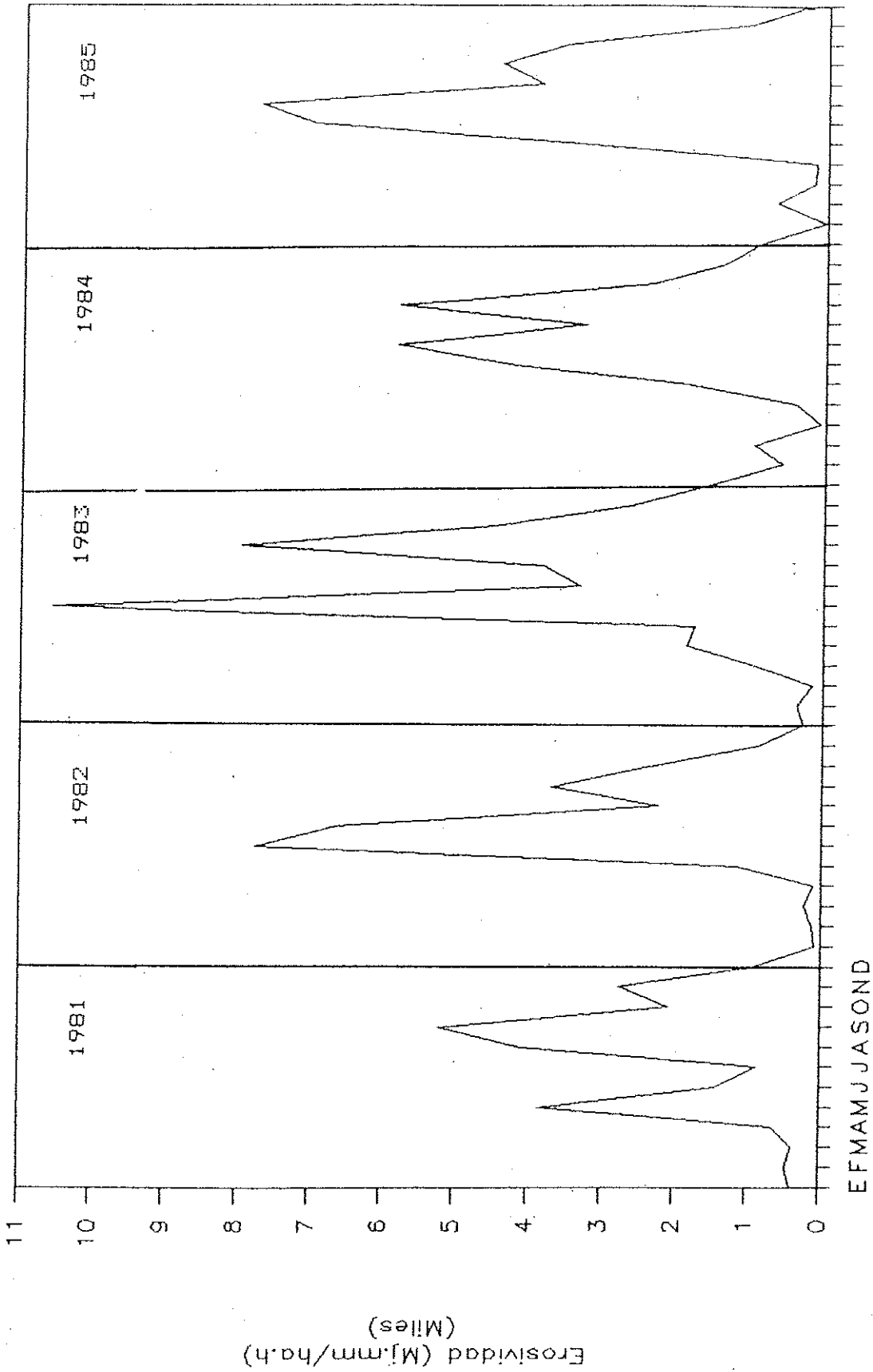


Figura 4A Erosividad de las lluvias (1981-85)
estación Cordoncillal

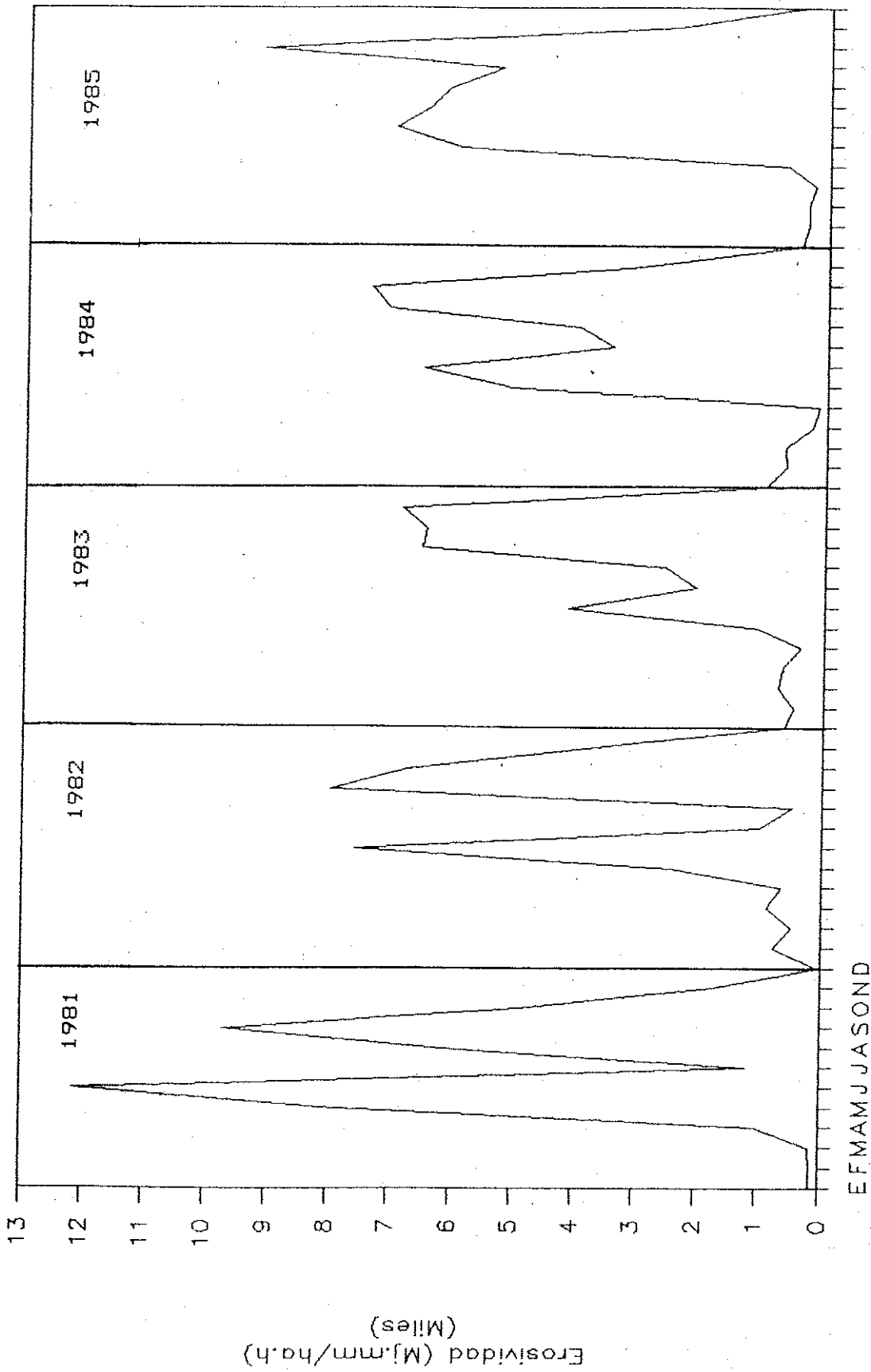


Figura 5A Erosividad de las lluvias (1981-85)
estación El Gato

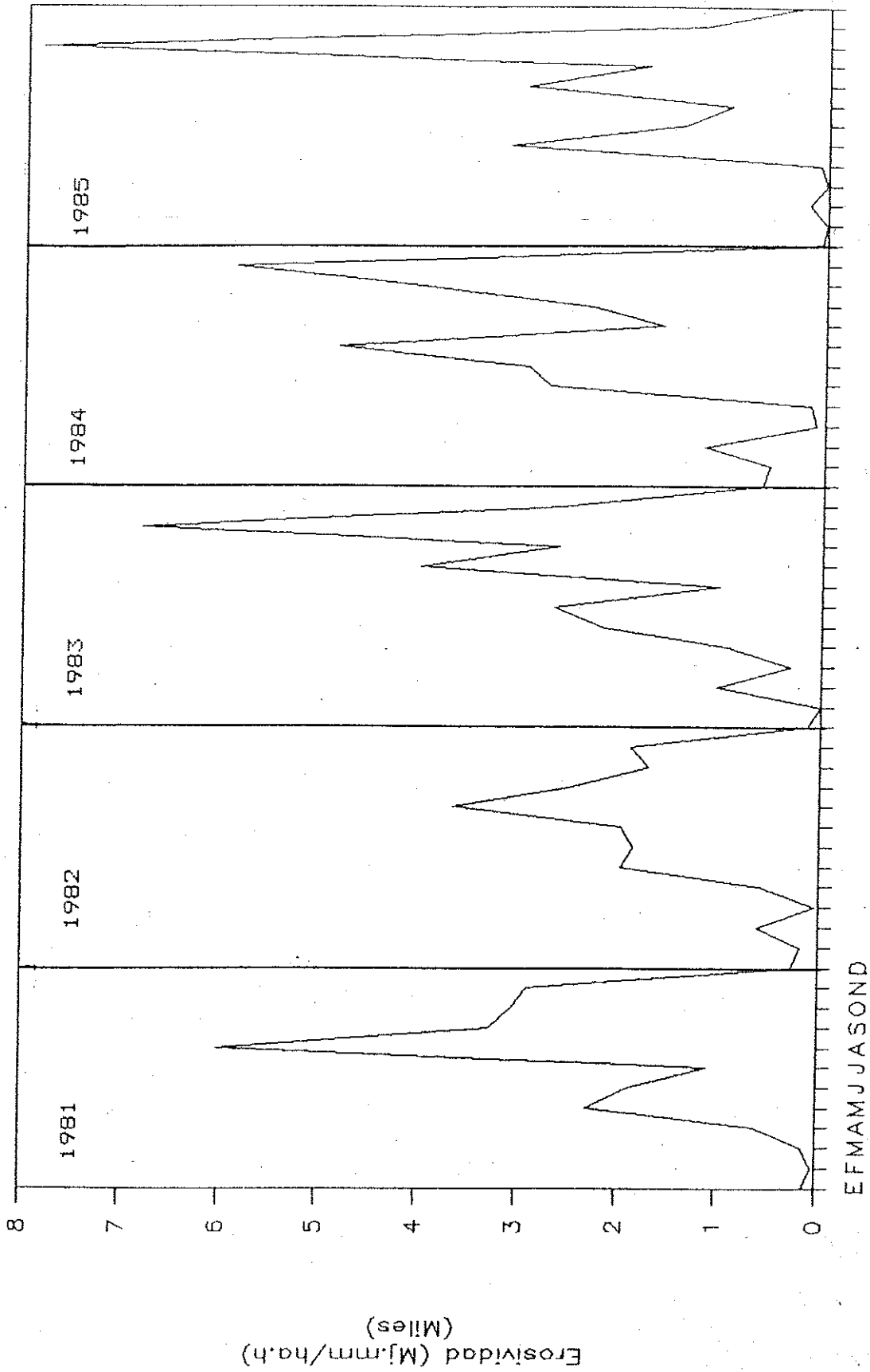


Figura 6A Erosividad de las lluvias (1981-85)
estación Cuencas

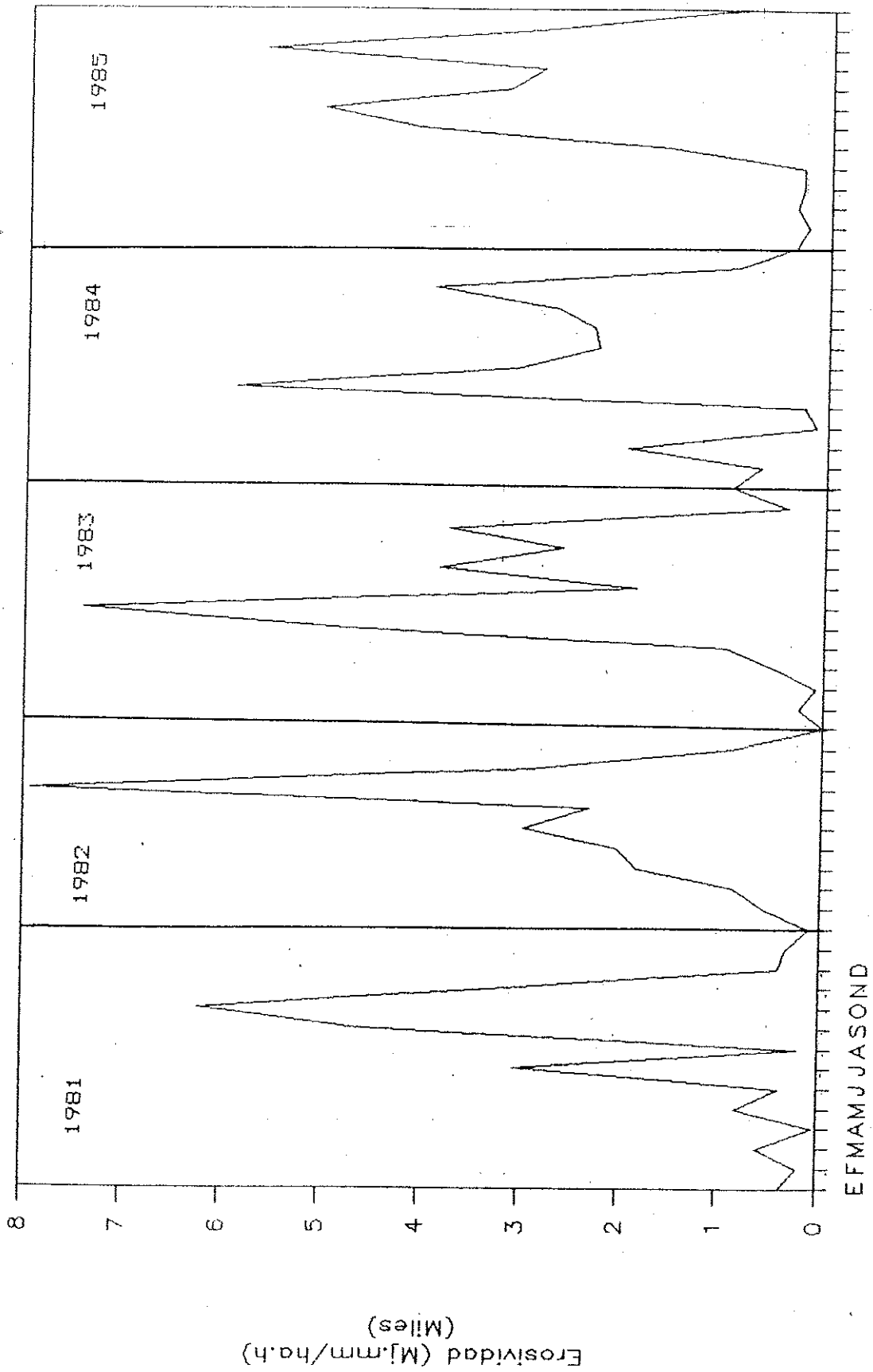


Figura 7A Erosividad de las lluvias (1981-85)
estación Destierro

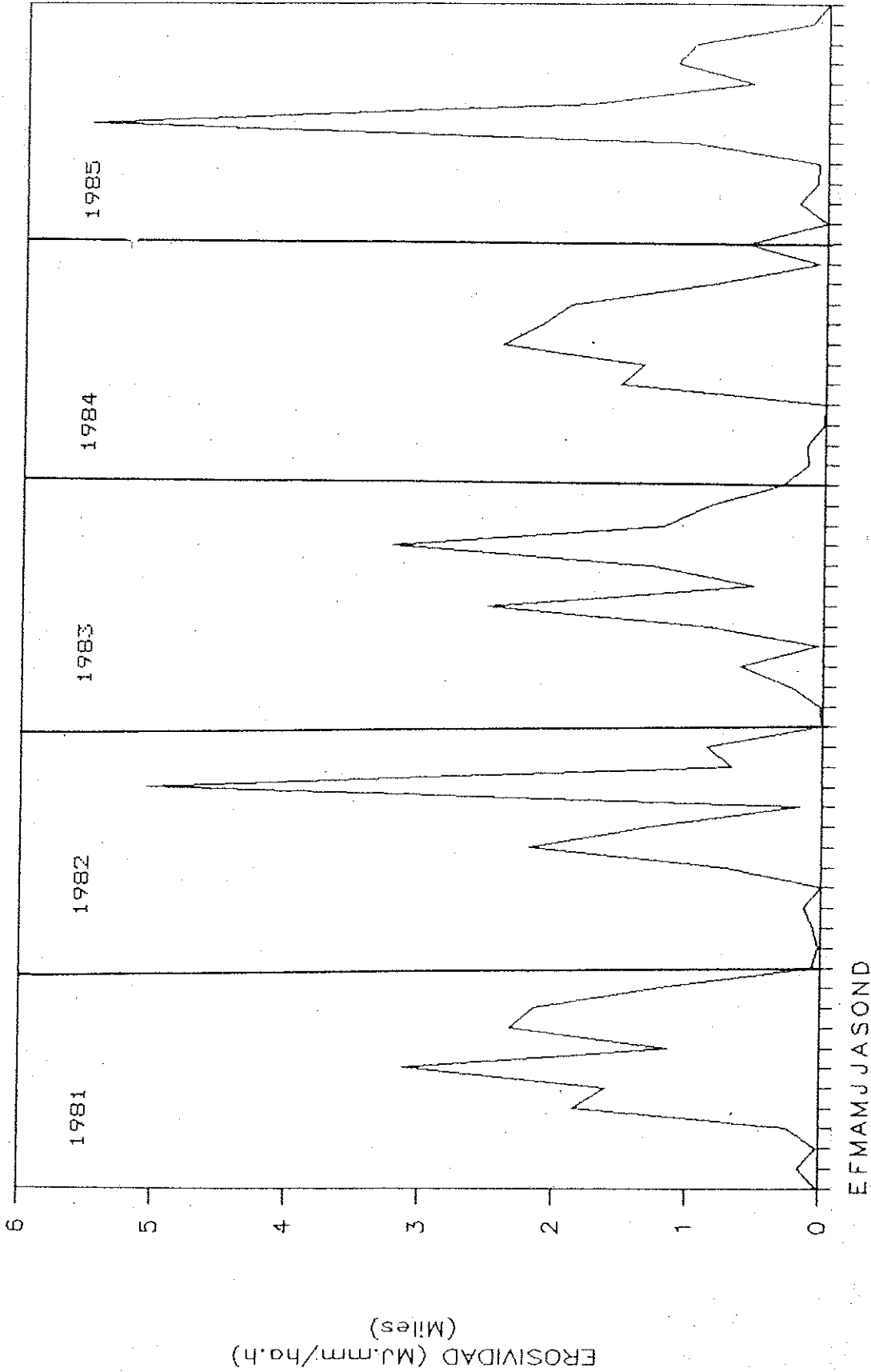


Figura 8A Erosividad de las lluvias (1981-85)
estación El Humo

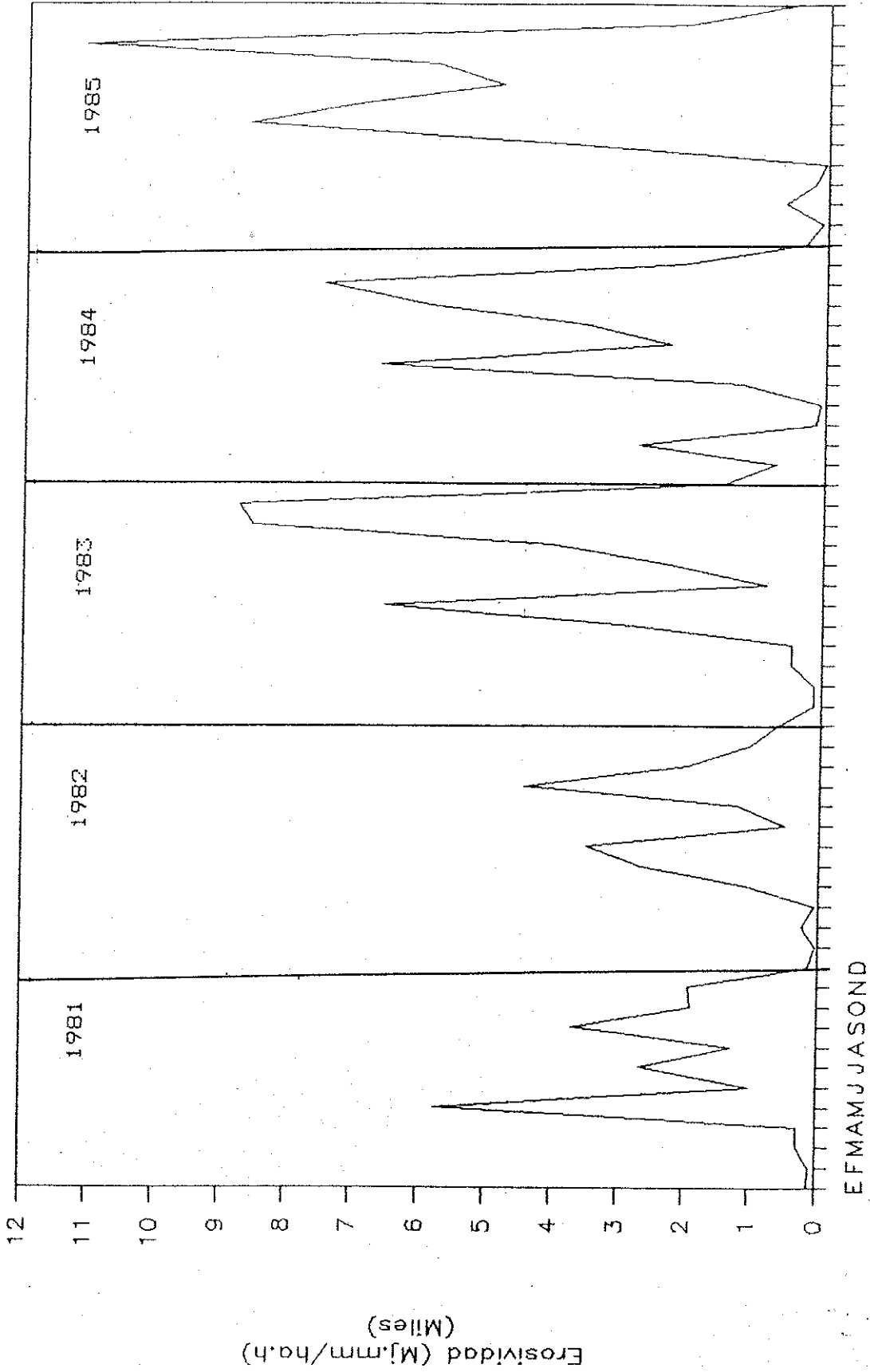


Figura 9A Erosividad de las lluvias (1981-85)
estación Tábano

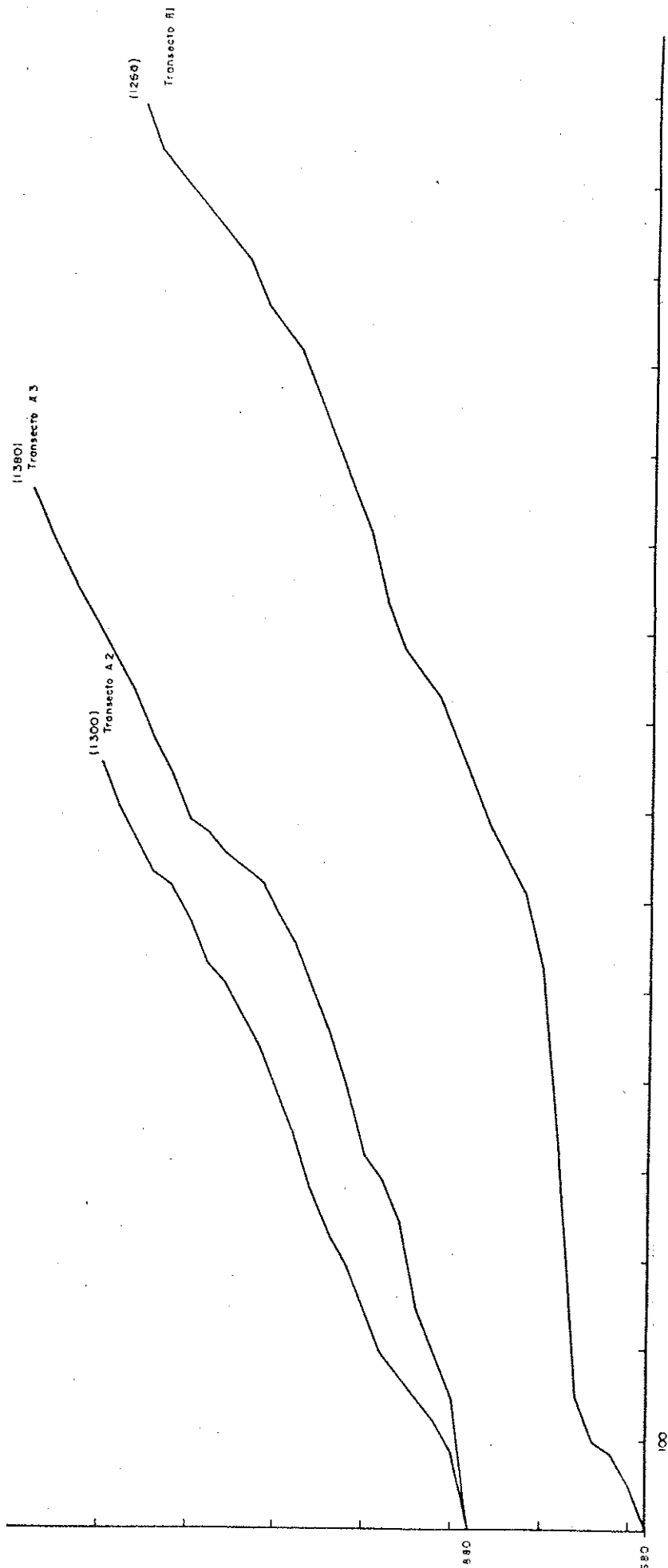


Figura 10A Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuenca A

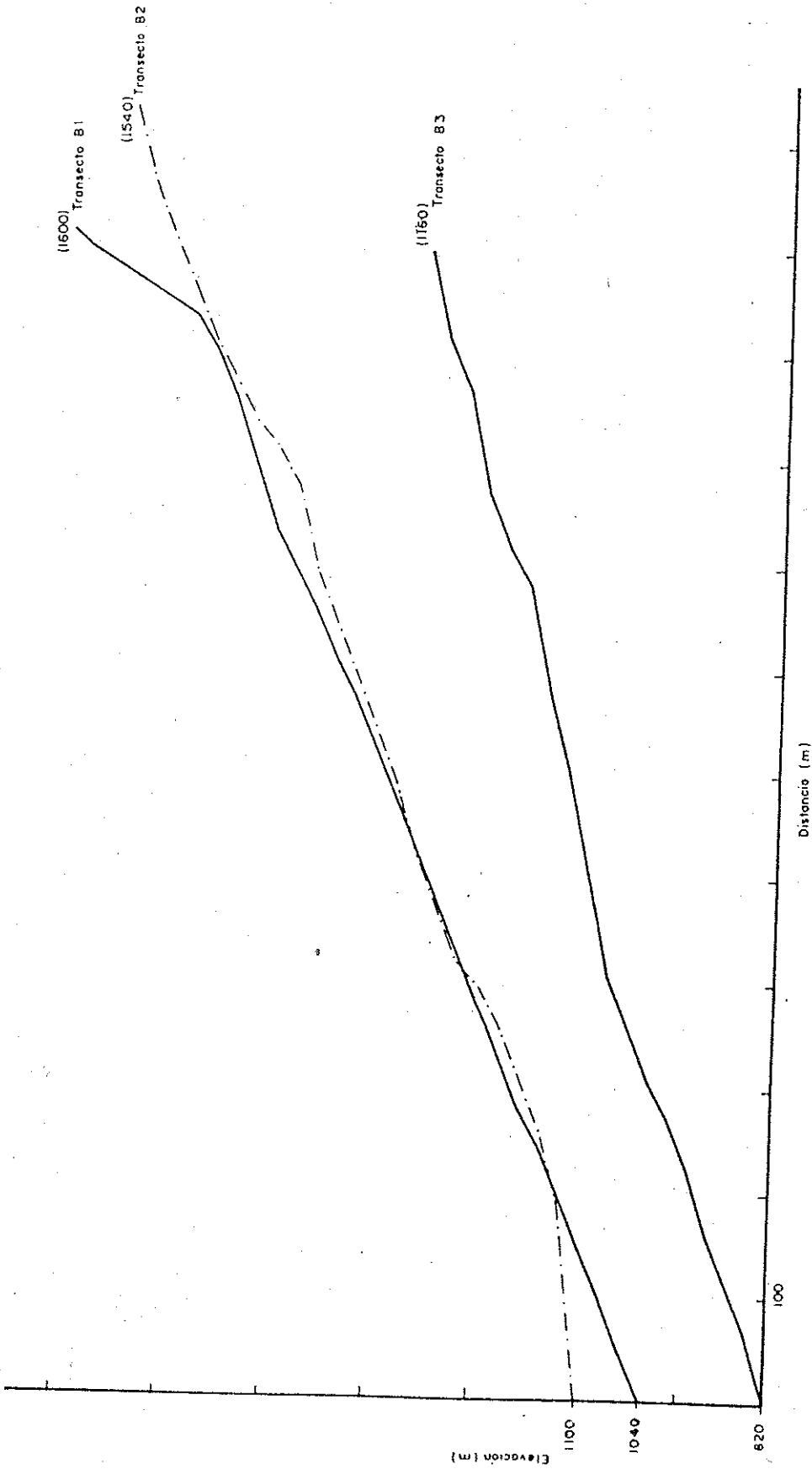


Figura 11A Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuena B

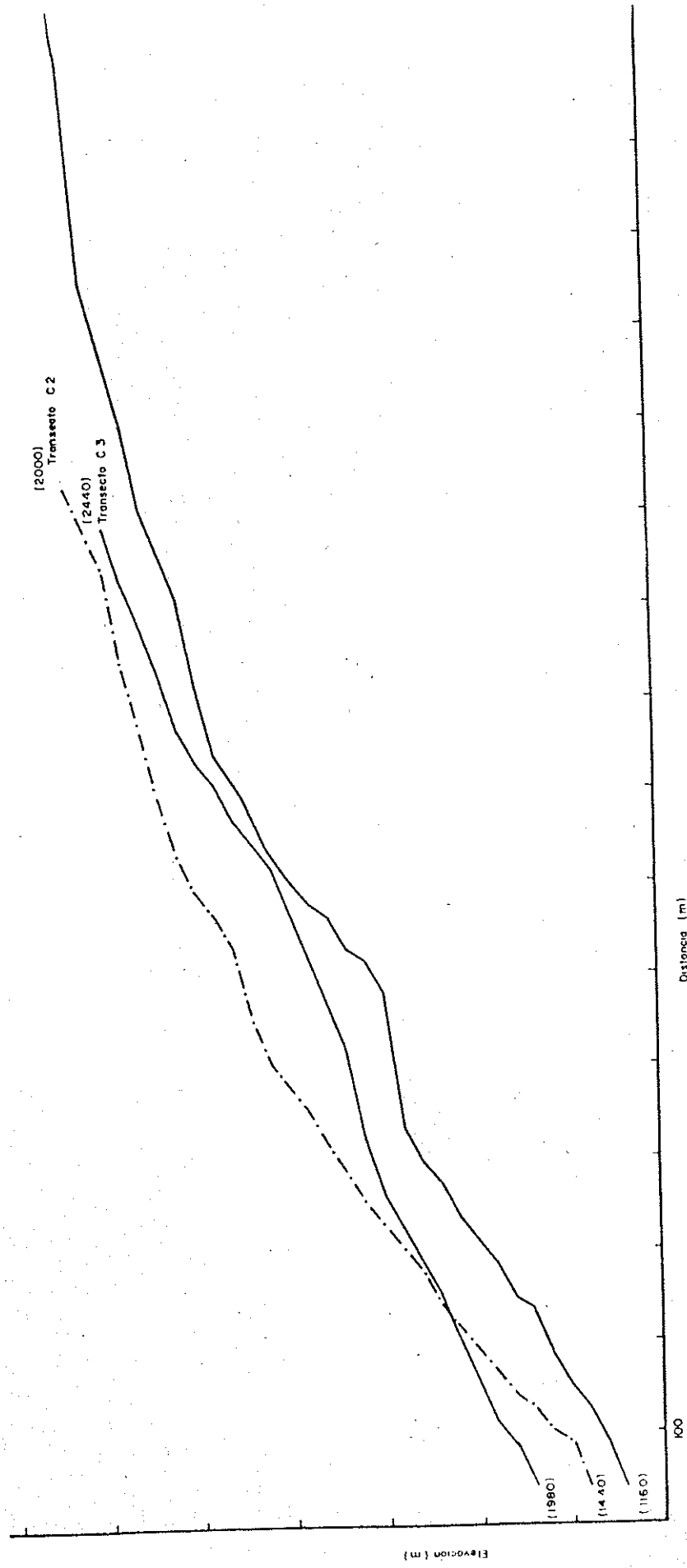


Figura 12A Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuena C

Elevation (m)

Distancia (m)

100

(1980)

(1440)

(1150)

(2000)
Transecto C2

(1980)
Transecto C3

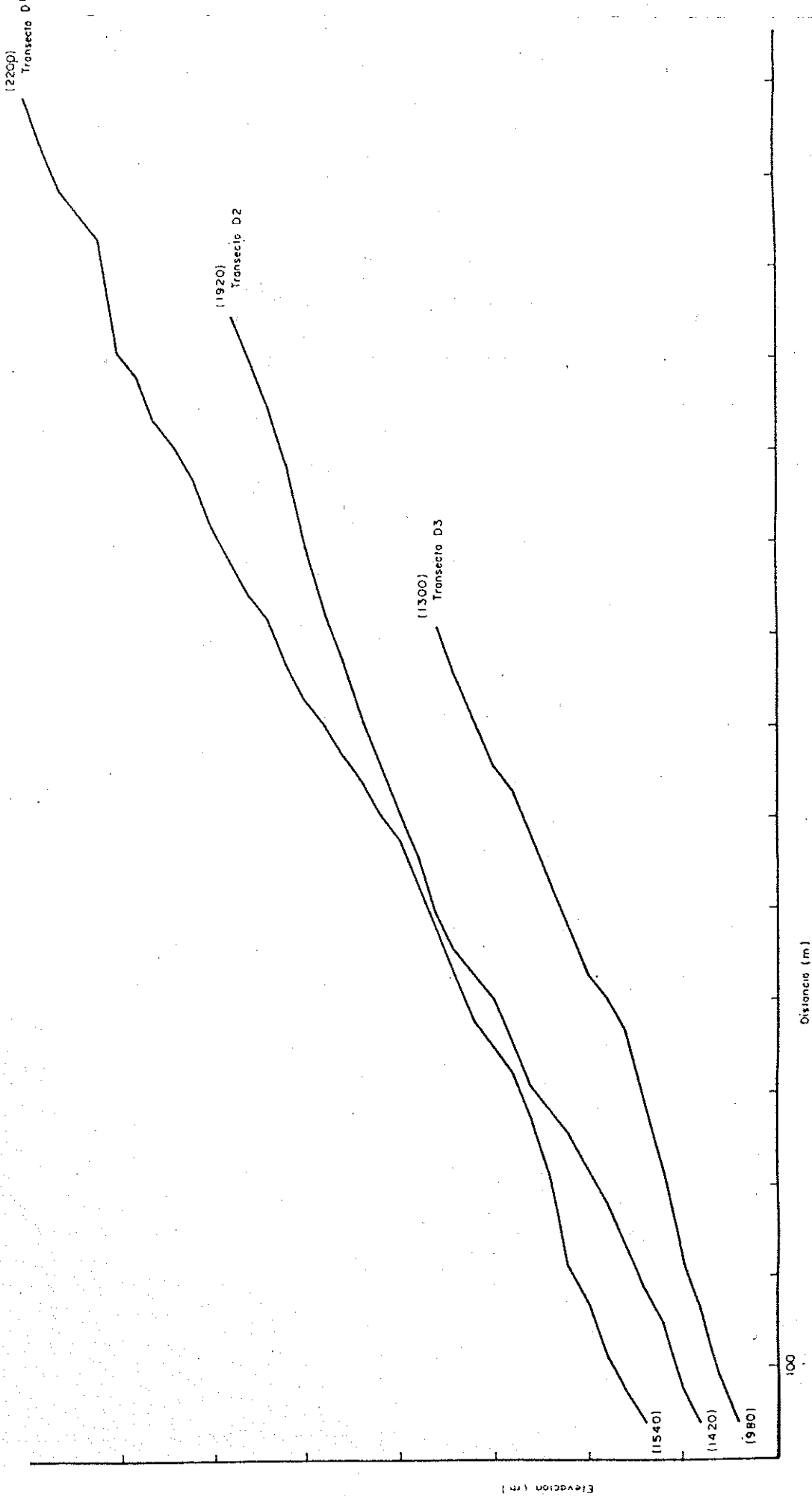


Figura 13A Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuencia D

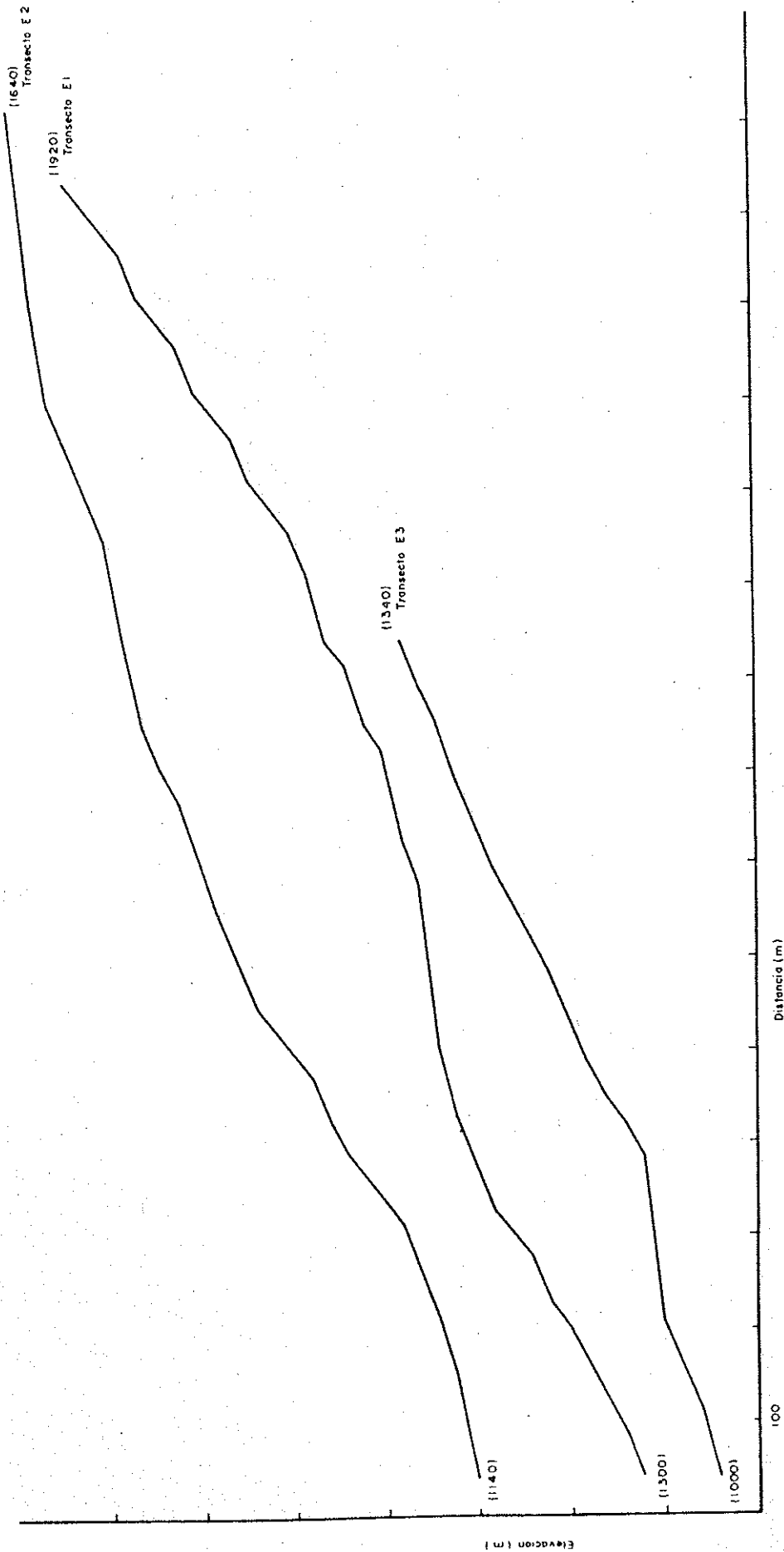


Figura 14A Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuena E

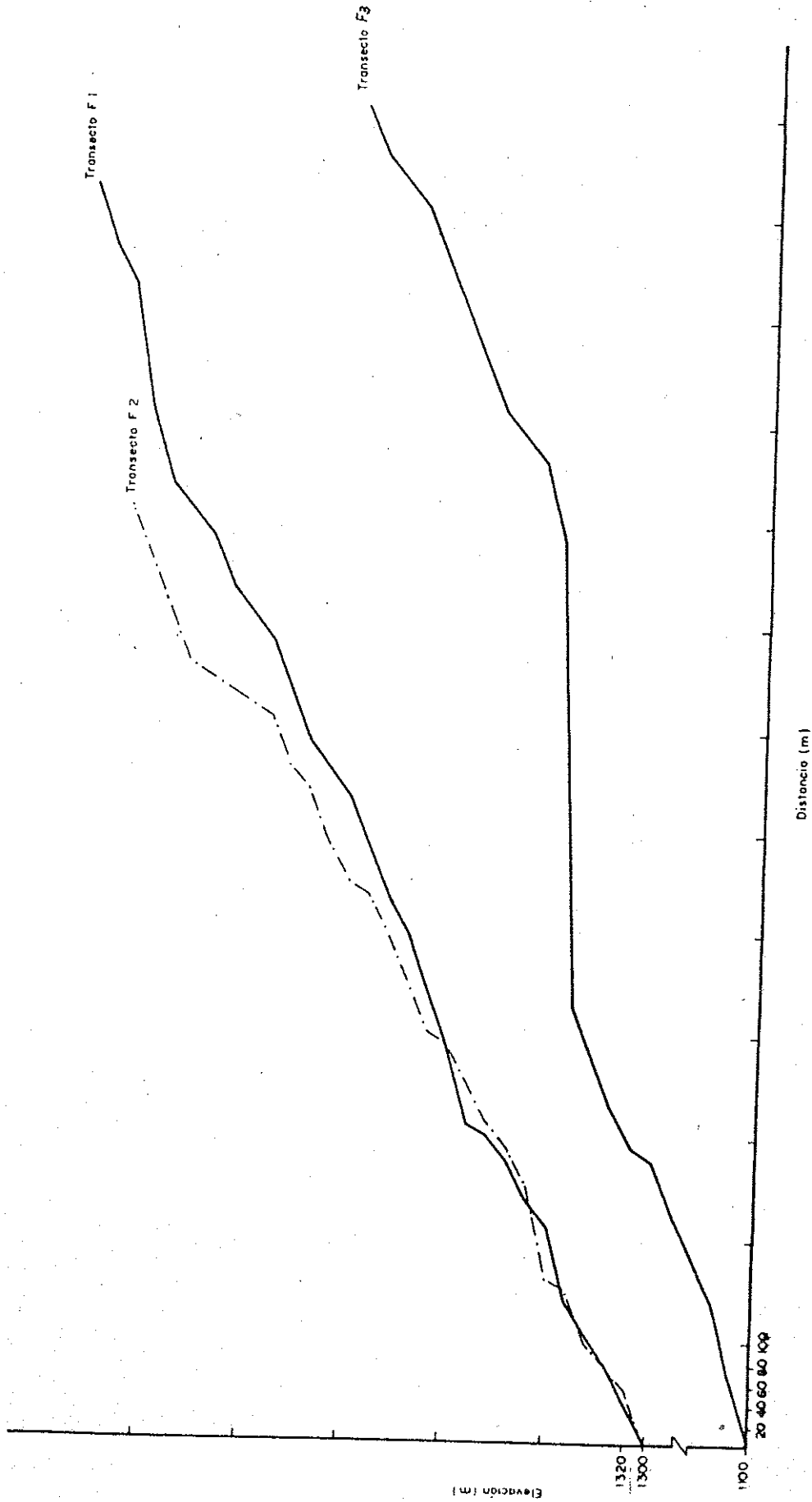


Figura 15A Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuencia F

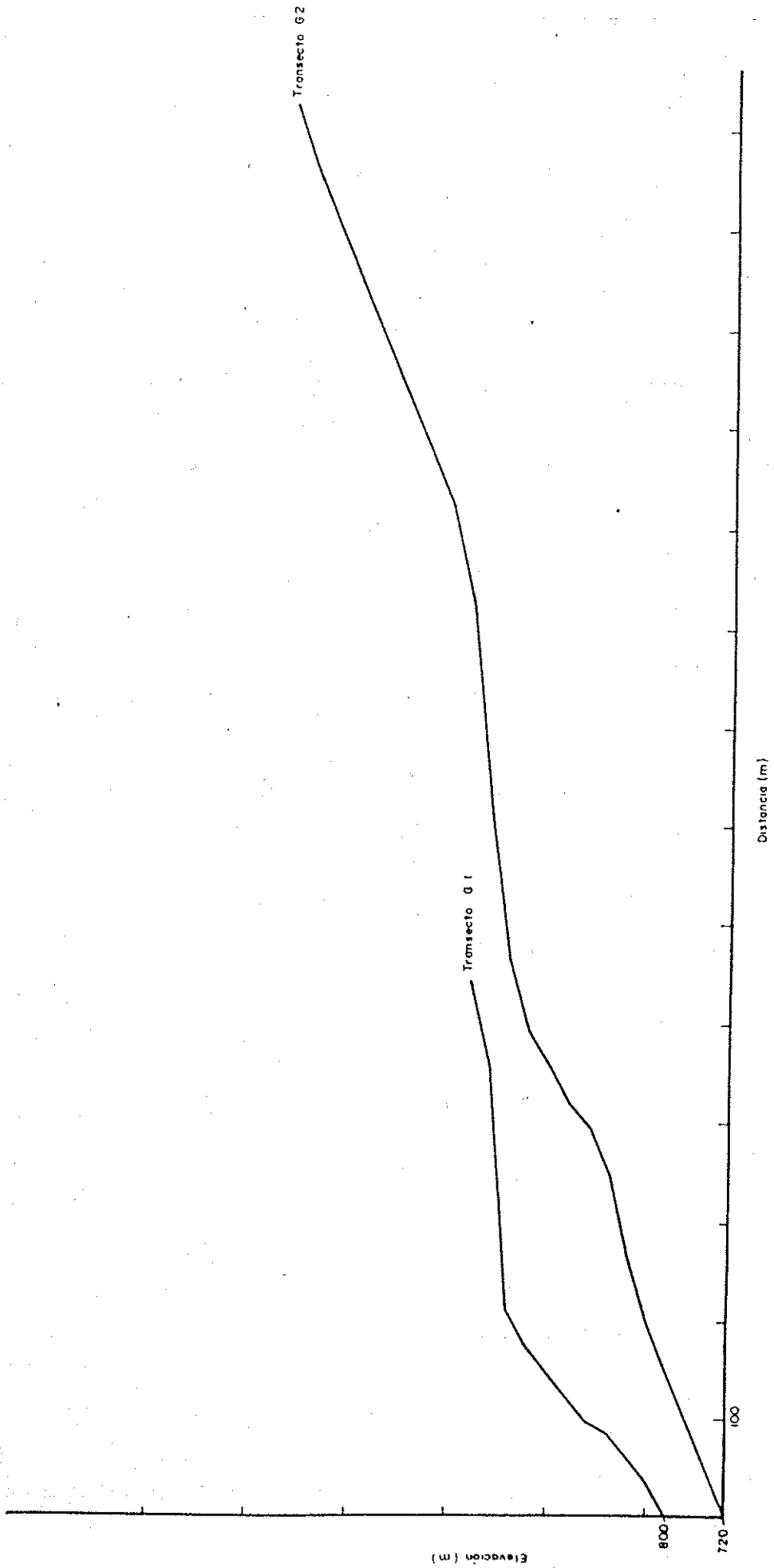


Figura 16A Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuencia G

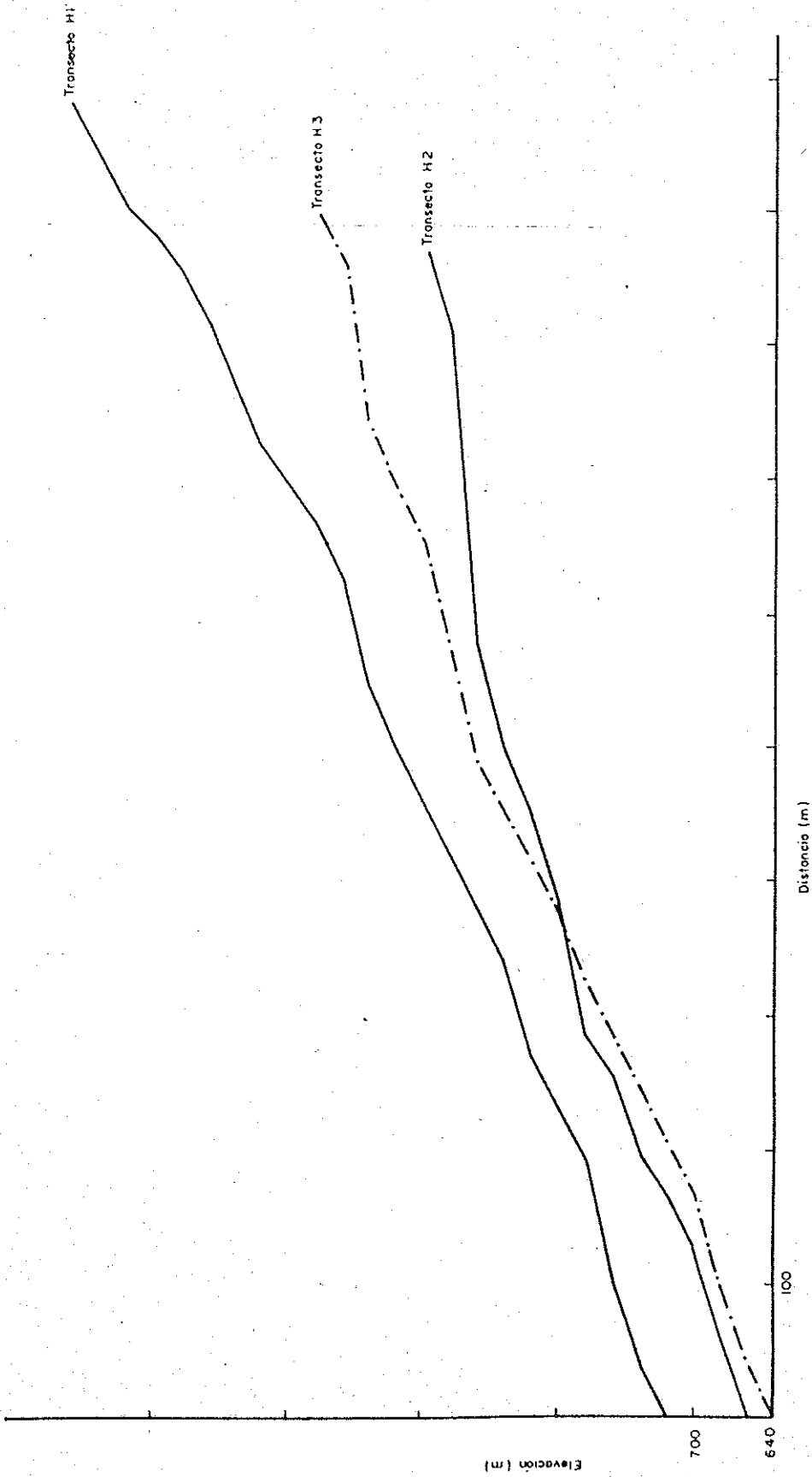


Figura 17A Transectos estudiados para el cálculo del factor topográfico LS, subcuena H

Cuadro 2A Valores de la EUPS utilizados para la evaluación de la pérdida de suelos en la cuenca del Río Pejibaye

Erosividad de la lluvia, R	Factor topográfico, LS	Erodabilidad del suelo, K	Factor de cobertura, C	Pérdida de suelo A, ton/ha.año
8500	16,2	0,0135	0,0001	0,18
			0,05	92,95
			0,20	371,79
		0,0244	0,018	33,46
			0,0001	0,33
			0,05	167,99
	8,69	0,0135	0,20	671,98
			0,018	60,48
			0,0001	0,099
		0,0244	0,05	49,86
			0,018	17,95
			0,0001	0,18
12500	16,2	0,0135	0,05	90,11
			0,20	360,46
			0,018	32,44
		0,0244	0,0001	0,27
			0,05	136,68
			0,20	546,75
	21,5	0,0135	0,018	49,21
			0,0001	0,49
			0,05	247,05
		0,0244	0,20	988,20
			0,018	88,94
			0,0001	0,65
			0,05	327,87
			0,20	1311,50
			0,018	118,04

Cuadro 2A Continuación

Erosividad de la lluvia, R	Factor topográfico, LS	Erodabilidad del suelo, K	Factor de cobertura, C	Pérdida de suelo A, ton/ha.año
12500	8,69	0,0244	0,0001	0,26
			0,05	135,52
			0,20	530,09
17500	16,2	0,0135	0,018	47,71
			0,0001	0,38
			0,018	68,89
			0,0244	0,69
			0,0209	0,59
			0,05	296,26
			0,20	1185,03
			0,018	106,65
			0,0279	0,79
			0,018	142,37
22,9	0,0209	0,0001	0,05	0,84
			0,05	418,78
			0,018	150,76
			0,0279	1,12
			0,018	201,26
			0,018	201,26
21,5	0,0244	0,0001	0,018	0,92
			0,018	165,25
			0,0209	0,79
			0,20	1572,73
			0,018	141,54
8,69	0,0244	0,0001	0,05	0,37
			0,05	185,53
			0,20	742,13
			0,018	66,79
			0,0209	0,32

Cuadro 2A Continuación

Erosividad de la lluvia, R	Factor topográfico, LS	Erodabilidad del suelo, K	Factor de cobertura, C	Pérdida de suelo A, ton/ha.año
	16,2	0,0209	0,0001	0,59
	42,75	0,0146	0,0001	1,09
		0,0244	0,0001	1,80
22500	16,2	0,0279	0,0001	1,02
			0,018	183,05
	22,9	0,0279	0,0001	1,44
			0,018	258,76
		0,0209	0,0001	1,08
			0,05	538,44
			0,018	193,84
		0,0178	0,0001	0,92
	21,5	0,0178	0,0001	0,86
	21,5	0,0209	0,0001	1,01
			0,018	181,90
		0,0178	0,0001	0,86
	16,2	0,0209	0,0001	0,76
			0,018	137,12
		0,0178	0,0001	0,65
	8,69	0,0209	0,0001	0,41
	42,75	0,0244	0,0001	2,35
		0,0209	0,0001	2,01
			0,018	361,18
		0,0178	0,0001	1,71
		0,0146	0,0001	1,40
27500	22,9	0,0279	0,0001	1,76
			0,018	316,26

Cuadro 2A Continuación

Erosividad de la lluvia, R	Factor topográfico, LS	Erodabilidad del suelo, K	Factor de cobertura, C	Pérdida de suelo A, ton/ha.año
		0,0197	0,0001	1,24
		0,0209	0,0001	1,32
		0,0178	0,0001	1,12
27500	21,5	0,0197	0,0001	1,16
		0,0178	0,0001	1,05
		0,0317	0,0001	1,87
	21,5	0,0178	0,0001	1,05
	21,5	0,0178	0,0001	1,05
	16,2	0,0178	0,0001	0,79
		0,0146	0,0001	0,65
	42,75	0,0146	0,0001	1,71
	21,5	0,0317	0,0001	1,87
		0,0178	0,0001	1,05
		0,0317	0,0001	1,87
	21,5	0,0178	0,0001	1,05
		0,0317	0,0001	1,87
32500	21,5	0,0317	0,0001	2,21
		0,0178	0,0001	1,24
	21,5	0,0178	0,0001	1,24
		0,0146	0,0001	1,02
		0,0317	0,0001	2,21
	42,75	0,0146	0,0001	2,03
	16,2	0,0178	0,0001	0,94
		0,0146	0,0001	0,77
37000	21,5	0,0146	0,0001	1,02
	16,2	0,0146	0,0001	0,87

Cuadro 3A Pérdida de suelo Ai (ton/ha.año) según uso de la tierra para cada combinación presente de los factores RKLSP en la cuenca del río Pejibaye

Unidad	RKLSP	(C=0,0001)	(C=0,05)	(C=0,2)	(C=0,018)
		A1	A2	A3	A4
1	1858,95	0,18 ligera	92,95 severa	371,79 muy severa	33,46 moderada
2	3359,88	0,34 ligera	167,99 severa	671,98 muy severa	60,48 severa
3	997,18	0,099 ligera	49,86 moderada	199,44 severa	17,95 moderada
4	1802,31	0,18 ligera	90,11 severa	360,46 muy severa	32,44 moderada
5	2733,75	0,27 ligera	136,69 severa	546,75 muy severa	49,21 moderada
6	4941,00	0,49 ligera	247,05 muy severa	988,2 muy severa	88,94 severa
7	6557,50	0,65 ligera	327,87 muy severa	1311,50 muy severa	118,04 severa
8	2650,45	0,26 ligera	132,52 severa	530,09 muy severa	47,71 moderada
9	3827,25	0,38 ligera	191,36 severa	765,45 muy severa	68,69 severa
10	6917,40	0,69 ligera	345,87 muy severa	1383,48 muy severa	124,51 severa
11	5925,15	0,59 ligera	296,26 muy severa	1185,03 muy severa	106,65 severa
12	7909,65	0,79 ligera	395,48 muy severa	1581,93 muy severa	142,37 severa
13	8375,67	0,84 ligera	418,78 muy severa	1675,13 muy severa	150,76 severa
14	11180,92	1,12 ligera	559,05 muy severa	2236,18 muy severa	201,26 muy severa
15	9180,50	0,92 ligera	459,02 muy severa	1836,10 muy severa	165,25 severa
16	7863,62	0,79 ligera	393,18 muy severa	1572,73 muy severa	141,54 severa
17	3710,63	0,37 ligera	185,53 severa	742,13 muy severa	66,79 severa
18	3178,37	0,32 ligera	158,92 severa	635,67 muy severa	57,21 severa
19	10922,62	1,09 ligera	546,13 muy severa	2184,52 muy severa	196,61 severa
20	18254,25	1,80 ligera	912,71 muy severa	3650,85 muy severa	328,58 muy severa
21	10169,55	1,02 ligera	508,48 muy severa	2033,91 muy severa	183,05 severa
22	14375,47	1,44 ligera	718,77 muy severa	2875,09 muy severa	258,76 muy severa
23	10768,72	1,08 ligera	538,44 muy severa	2153,74 muy severa	193,84 severa
24	9171,45	0,92 ligera	458,57 muy severa	1834,29 muy severa	165,09 severa
25	8610,75	0,86 ligera	430,54 muy severa	1722,15 muy severa	154,99 severa
26	10110,37	1,01 ligera	505,52 muy severa	2022,07 muy severa	181,99 severa
27	7618,05	0,76 ligera	380,90 muy severa	1523,61 muy severa	137,12 severa
28	6488,10	0,65 ligera	324,40 muy severa	1297,62 muy severa	116,78 severa
29	4086,47	0,41 ligera	204,32 muy severa	817,29 muy severa	73,56 severa

Cuadro 3A Continuación

Unidad	RKLSP	(C=0,0001)	(C=0,05)	(C=0,2)	(C=0,018)
		A1	A2	A3	A4
30	23469,75	2,35 ligera	1173,49 muy severa	4693,95 muy severa	422,46 muy severa
31	20103,19	2,01 ligera	1005,16 muy severa	4020,64 muy severa	361,86 muy severa
32	17121,37	1,71 ligera	856,07 muy severa	3424,27 muy severa	308,18 muy severa
33	14043,37	1,40 ligera	702,17 muy severa	2808,67 muy severa	252,78 muy severa
34	17570,02	1,76 ligera	878,50 muy severa	3514,00 muy severa	316,26 muy severa
35	12406,07	1,24 ligera	620,30 muy severa	2481,21 muy severa	223,31 muy severa
36	13161,77	1,32 ligera	658,09 muy severa	2632,35 muy severa	236,91 muy severa
37	11209,55	1,12 ligera	560,48 muy severa	2241,91 muy severa	201,77 muy severa
38	11647,62	1,16 ligera	582,38 muy severa	2329,52 muy severa	209,66 muy severa
39	10524,25	1,05 ligera	526,21 muy severa	2104,85 muy severa	189,44 severa
40	18742,62	1,87 ligera	937,13 muy severa	3748,52 muy severa	337,37 muy severa
41	7929,90	0,79 ligera	396,49 muy severa	1585,98 muy severa	142,74 severa
42	6504,30	0,65 ligera	325,21 muy severa	1300,86 muy severa	117,08 severa
43	17164,12	1,71 ligera	858,21 muy severa	3432,82 muy severa	308,95 muy severa
44	22150,37	2,21 ligera	1107,52 muy severa	4430,07 muy severa	398,71 muy severa
45	12437,75	1,24 ligera	621,89 muy severa	2487,55 muy severa	223,88 muy severa
46	10201,75	1,02 ligera	510,09 muy severa	2040,35 muy severa	183,63 severa
47	20284,87	2,03 ligera	1014,24 muy severa	4056,97 muy severa	365,13 muy severa
48	9371,70	0,94 ligera	469,59 muy severa	1874,34 muy severa	168,69 severa
49	7686,90	0,77 ligera	384,34 muy severa	1537,38 muy severa	138,36 severa
50	11614,30	1,02 ligera	580,71 muy severa	2322,86 muy severa	209,06 muy severa
51	8751,24	0,87 ligera	437,56 muy severa	1750,25 muy severa	157,52 severa