

VARIACIONES DEL IMPACTO PLUVIAL COMO BASE PARA INFERIR CAMBIOS CLIMÁTICOS EN EL NORTE DE LA CUENCA DE MÉXICO

Por *Magdalena Meza Sánchez**
y *Jorge F. Cervantes Borja**

RESUMEN

En este estudio se hace un análisis de la intensidad de la energía pluvial que se presenta en la parte norte de la cuenca de México, con miras a establecer un diagnóstico de los cambios paleoclimáticos que se han presentado en ella. Por ello complementa el estudio que, con el mismo fin, se realizó en el sur de la misma cuenca. En éste se correlaciona la intensidad de la energía pluvial con un análisis morfométrico y de disección del relieve, con lo cual se deducen cambios de energía de la erosión pluvial en el área y, con ello, se inducen los posibles cambios paleoclimáticos.

SUMMARY

This study analyzes pluvial energy intensity that is usually presented northern of Mexico's Basin. The purpose is to establish the diagnostic of paleoclimatic changes observed in it. This study complements the work that, with the same purpose, was done southern of the same basin. A correlation between the intensity of pluvial energy, morphometric analysis and relief dissection are shown in order to deduce energy changes in pluvial erosion of this area and, through it, to induce paleoclimatic changes.

VALORACIÓN APROXIMATIVA DE LA ENERGÍA PLUVIAL

La cuantificación y jerarquización de la erosión pluvial vista a partir de la valoración energética del impacto pluvial por las gotas de lluvia, o por las de agua sólida al golpear el suelo, ha sido tema de diversas formas ana-

líticas que, en términos generales, son, por un lado, el cálculo de la energía que liberan las precipitaciones, considerando el volumen, velocidad y viscosidad de las gotas y, por otro, la determinación de la velocidad con que son removidas las capas del suelo por el impacto.

No obstante, hasta ahora no hay un método general y, por ello, se ha llegado a resultados y puntos de vista particulares que, en muchas ocasiones, ha vuelto muy complejo el problema. Por ello, en la mayor parte de los casos

* Investigadores del Instituto de Geografía de la UNAM.

los autores llegan a la determinación de usar métodos empíricos que sólo pueden ser establecidos en condiciones particulares.

Así, en 1940 y 1941, Otis Laws⁸ estudió el impacto de la lluvia en la erosión, e incluyó medidas de la velocidad de caída de las gotas de acuerdo con su distribución natural y sus diámetros.

Conocido lo anterior se decidió realizar una forma de análisis que permitiera detectar con un grado de confiabilidad mayor de 60%, el potencial energético que se libera durante el fenómeno pluvial, por ser éste el que inicialmente determina la pérdida potencial y real del suelo y el subsuelo. Este es, entonces, el "factor clave" indicado para sustentar un criterio que permita la comparación y diferencia de la eficacia morfoclimática establecida para los diferentes ambientes mesoclimáticos que presenta la cuenca de México (ver mapa 1). Con ese planteamiento se buscó la forma más adecuada para cuantificar el valor de dicho potencial, mismo considerado a partir de la determinación de la intensidad de la lluvia considerada en la forma de la meteorología tradicional,* y dicho valor se transformó empíricamente en valores de energía pluvial, los cuales, vistos como energía de trabajo que genera una actividad morfogenética, permitieron establecer una comparación con las formas reales del terreno y, con ello, definir si existía alguna correlación directa entre el carácter climático actual con la morfogénesis o, si no, obtener inferencias lógicas basadas o apoyadas en otros estudios que se han hecho para la misma zona,^{7,8} si el carácter morfogenético actual ha sido originado en condiciones climáticas diferentes, por lo menos en lo que toca a la erosión pluvial.

Con los valores obtenidos de intensidad de lluvia se estableció la determinación del potencial de la energía pluvial que actúa sobre el terreno; para ello fue necesario conocer la energía que se libera por las gotas de agua al caer sobre el suelo y, con ello, discriminar cuantitativamente las zonas de alta y de baja energía pluvial, objeto del trabajo.

* Es decir, intensidad de la lluvia
cantidad de lluvia

$$I = \frac{\text{cantidad de lluvia}}{\text{tiempo}}$$

Para determinar lo anterior se utilizó la fórmula de Otis Laws,⁹ que da los diámetros medios de las gotas de una precipitación, de acuerdo con la intensidad de la misma.

$$D = 2.23 (25.4 \times i)^{0.182}$$

Donde:

D = diámetro medio en mm
i = intensidad en mm/hora

El cálculo de la cantidad de energía liberada, ya no por una gota, sino por una precipitación de un milímetro de intensidad, se obtuvo al considerar que 1 mm de lluvia equivale a un litro de agua/m². Si las gotas fueran uniformes de 5 mm de diámetro, un litro de agua estaría formado por 8 000 gotas y si una gota libera en promedio 100 000 ergios, 8 000 gotas van a liberar 800 millones de ergios.

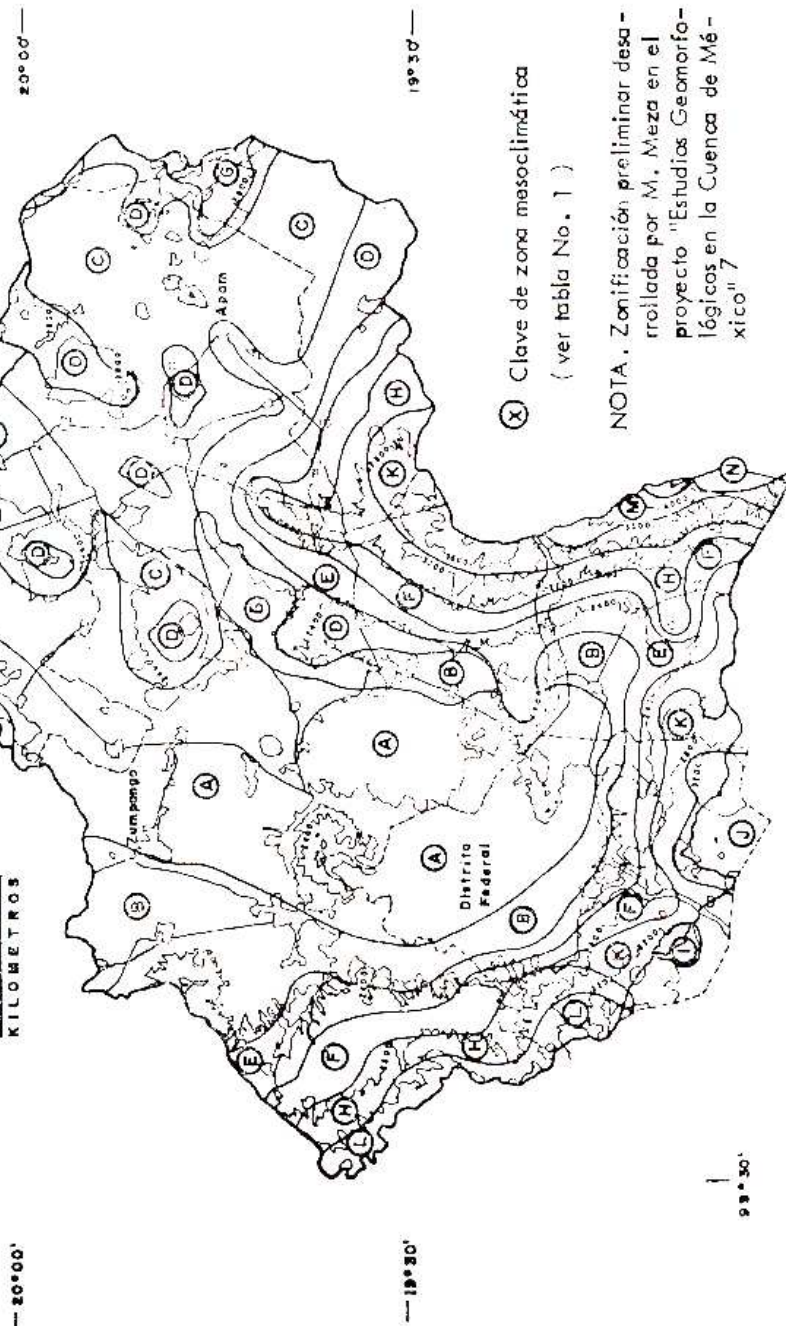
Por lo anterior, se decidió usar como unidad de energía pluvial la que se libera por una lluvia de 1 mm. Con dicha unidad se establece la cantidad de energía liberada por diferentes valores de intensidades de lluvia. Además, se hizo un análisis por periodos de intensidad de lluvias de 1 mm, o mayores, en periodos de 0 a 15 minutos y de 16 a 30 minutos. Los resultados obtenidos muestran que la intensidad media de las lluvias es menor de 3 mm en periodos de 15 minutos o menos, y de 7 a 8 mm en periodos de 16 a 30 minutos. Una vez obtenidos los datos anteriores se pasó a la selección de nueve estaciones representativas del área, mismas que son las únicas que se consideran en este estudio. Dichas estaciones están representadas en las gráficas de la 1 a la 18 y corresponden, respectivamente, a las estaciones de "San Luis Ayucan" y "Huehuetoca" situadas al oeste y noroeste de la zona en estudio; "Pachuca" y "Singuilucan" al norte y noreste; "San Cristóbal" y "Cuamatzingo" al sureste; "Laguna de Apan" al centro-este y "Tepexpan" y "Tezontepec" al centro de la misma.

Los datos que corresponden a las estaciones del noroeste, norte, sureste y centro, muestran que las lluvias que se presentan más frecuentemente en los primeros 15 minutos tienen una intensidad de 1 a 4 mm (con 60% de proba-

ZONIFICACION MESOCLIMATICA

MAPA No. 1

CUENCA DE MEXICO



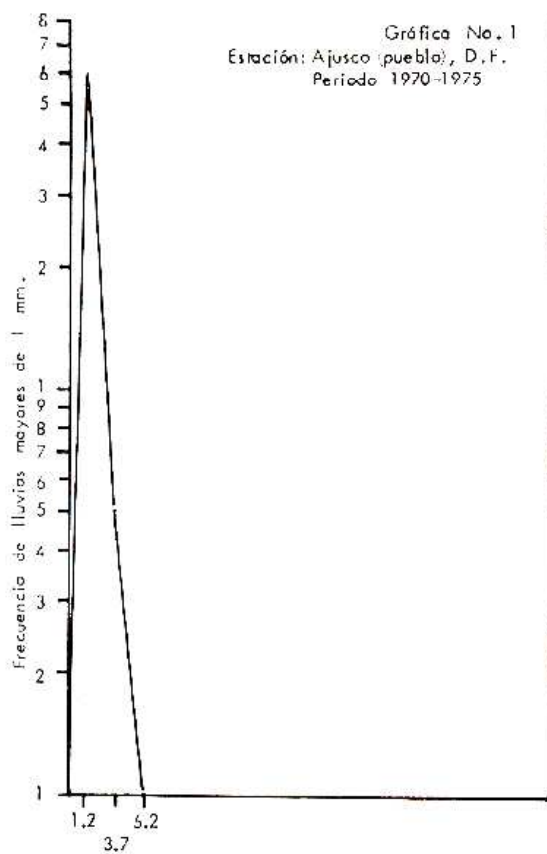
(X) Clave de zona mesoclimática
(ver tabla No. 1)

NOTA. Zonificación preliminar desarrollada por M. Meza en el proyecto "Estudios Geomorfológicos en la Cuenca de México" 7

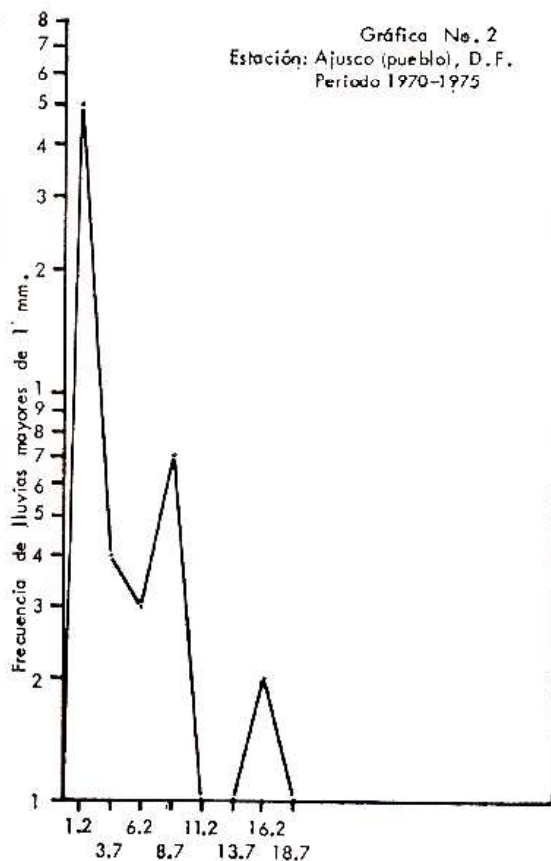
TABLA No. 1
MESOClima

Símbolo	Tipo meso-climático	Piso altitudi- nal msnm. -	T media anual °C	P anual en mm.	No. me- ses de P
A	Templado seco	< 2400	>15	< 600	5
B	Templado semiseco	< 2400	>15	600 - 800	6
C	Fresco seco	2400 - 2750	13 - 15	< 600	5
D	Fresco semiseco	2400 - 2750	13 - 15	600 - 800	6
E	Fresco subhúmedo	2400 - 2750	13 - 15	800 - 1000	6
F	Fresco subhúmedo	2400 - 2750	13 - 15	800 - 1000	7
G	Semifrío semiseco	2750 - 3000	11 - 13	600 - 800	6
H	Semifrío húmedo	2750 - 3000	11 - 13	1000 - 1200	7
I	Frío semiseco	3000 - 3500	9 - 11	> 1200	7
J	Frío subhúmedo	3000 - 3500	9 - 11	800 - 1000	6
K	Frío húmedo	3000 - 3500	9 - 11	1000 - 1200	7
L	Frío muy húmedo	3000 - 3500	9 - 11	> 1200	7
M	Muy frío húmedo	3500 - 4500	5 - 9	1000 - 1200	7
N	Polar húmedo	> 4500	< 5	1000 - 1200	7

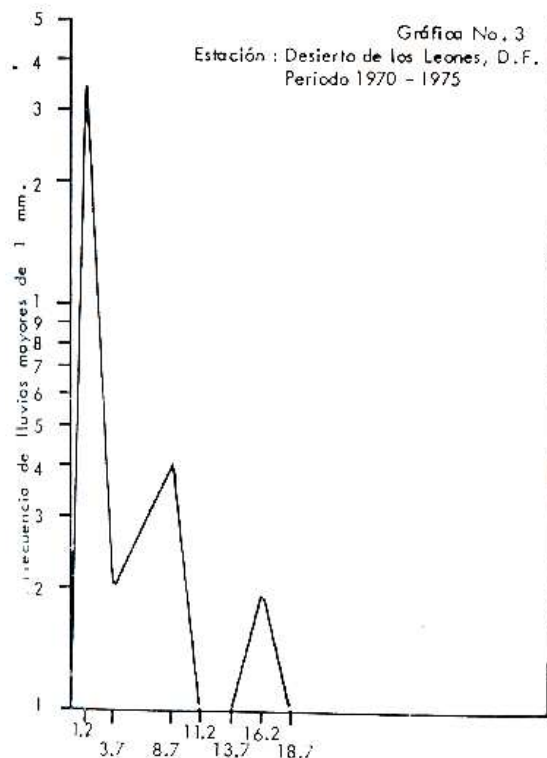
T = temperatura; P = precipitación.



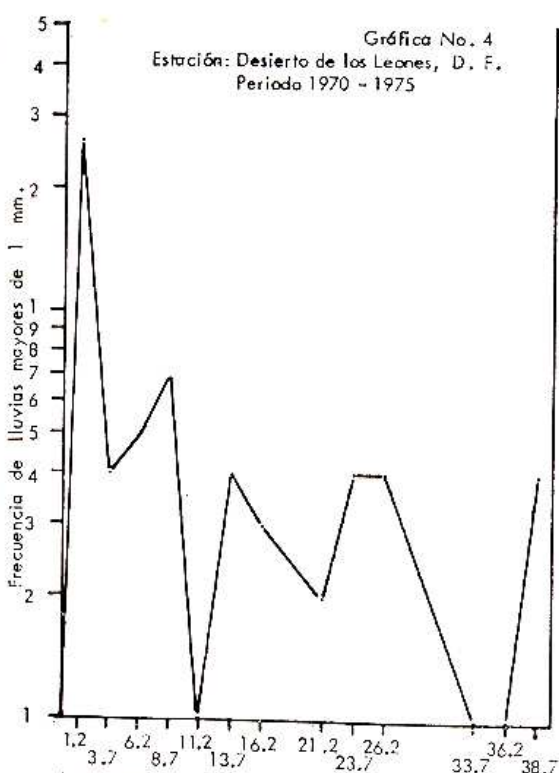
Intensidad de lluvia en mm/min. para lluvias de 5 a 15 minutos de duración.



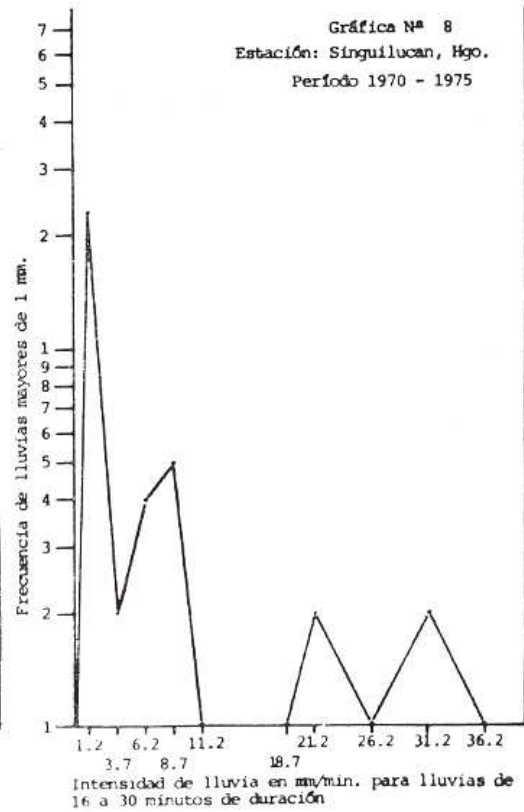
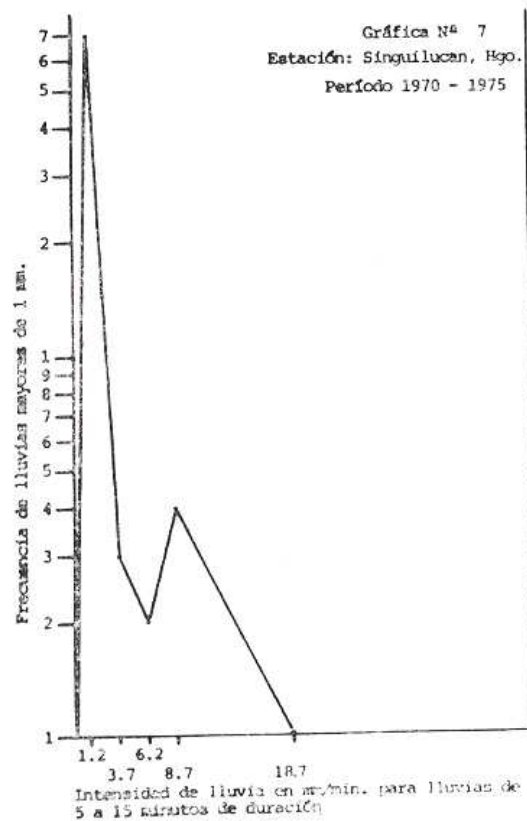
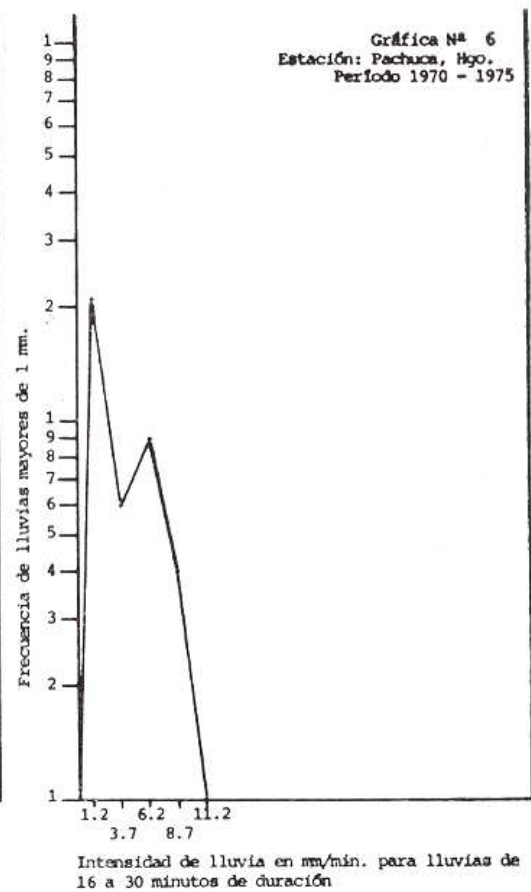
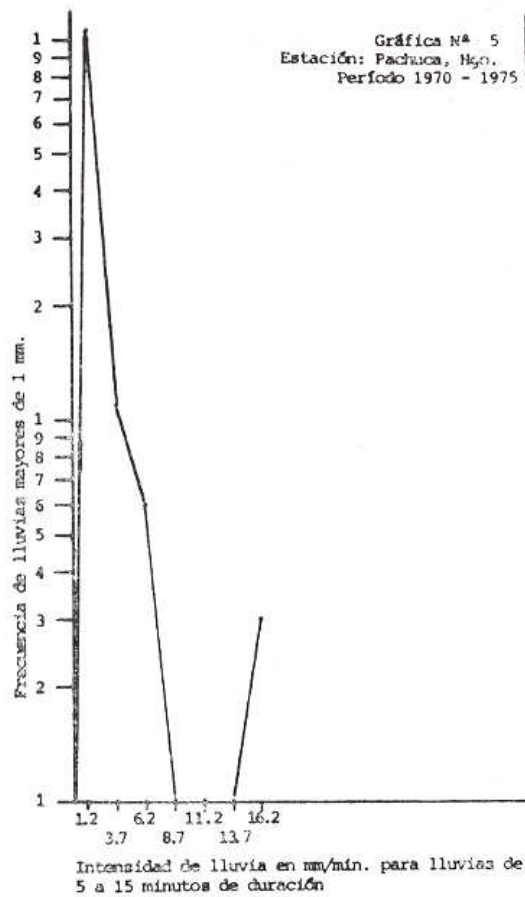
Intensidad de lluvia en mm/min. para lluvias de 20 a 30 minutos de duración.

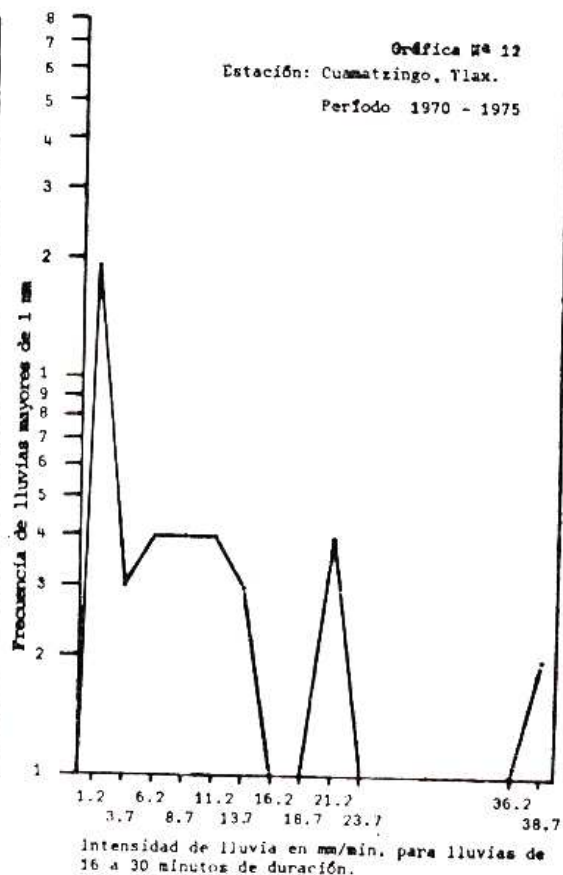
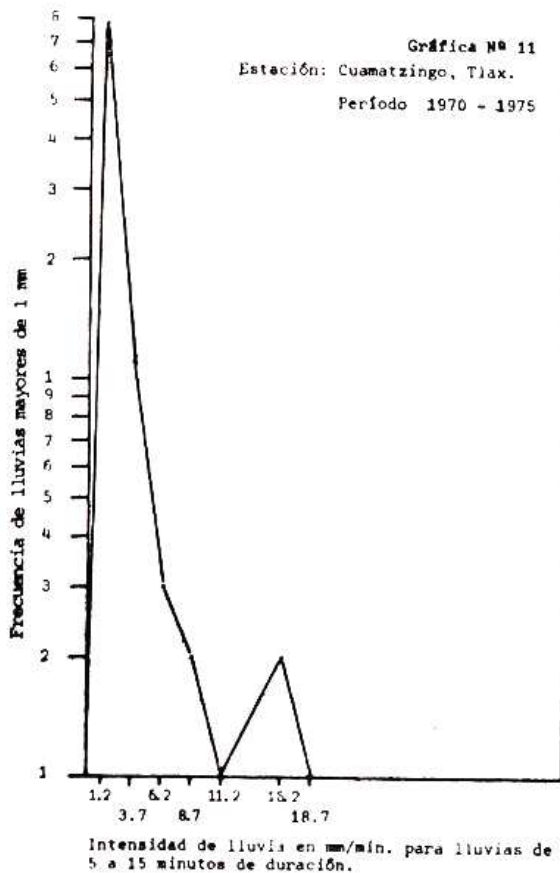
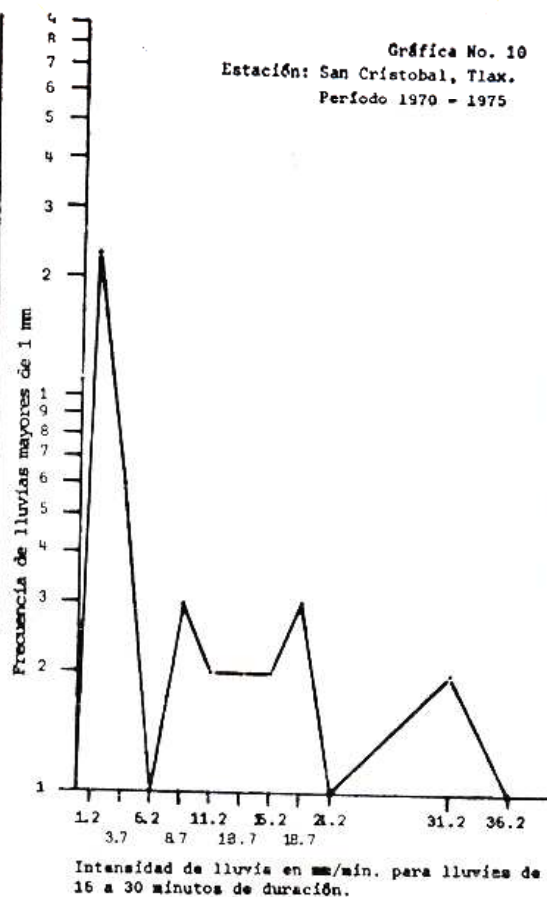
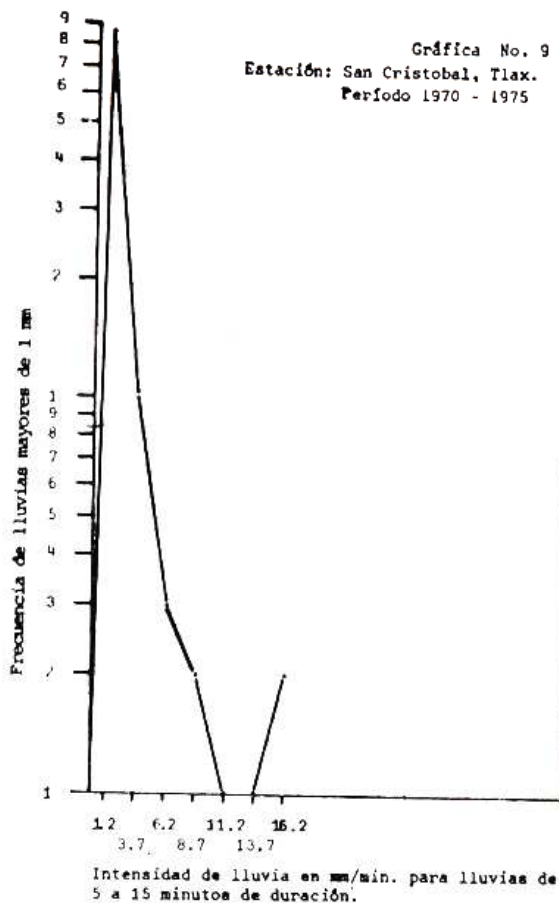


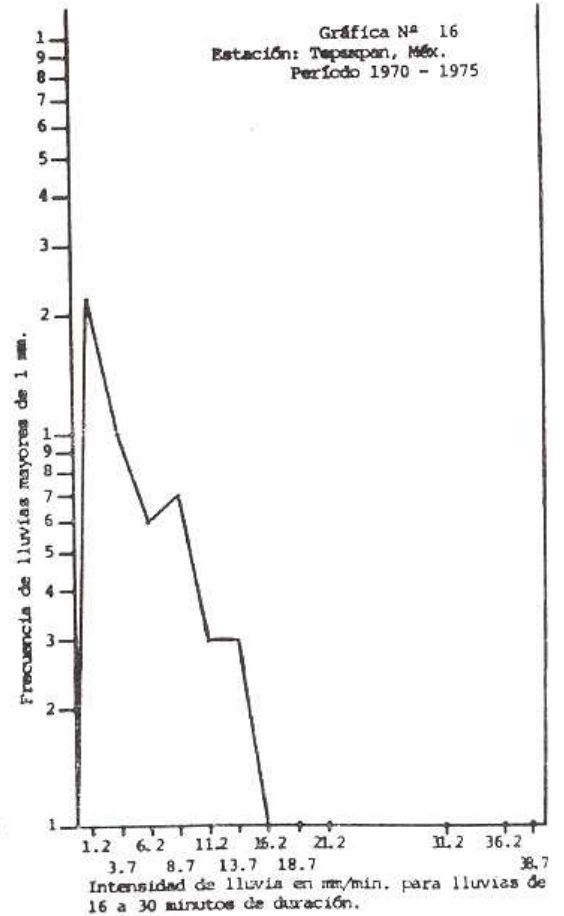
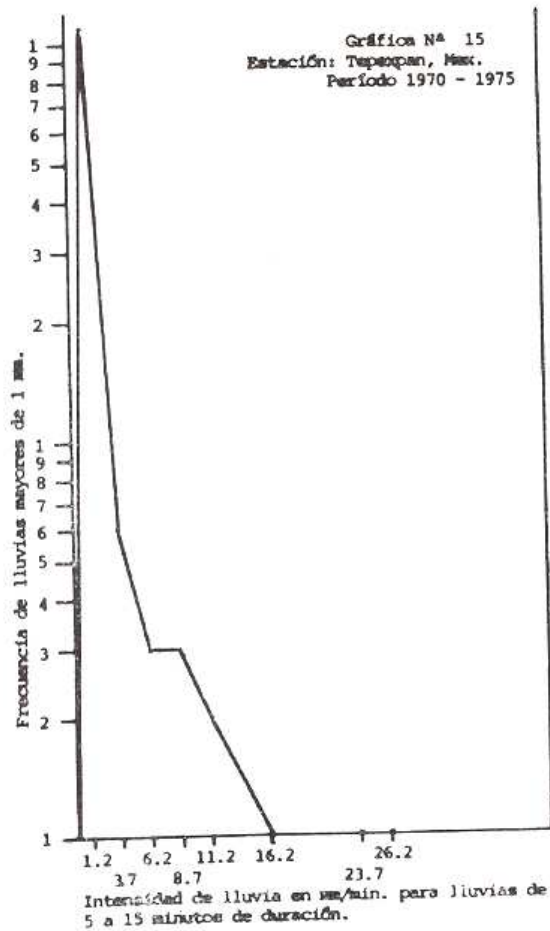
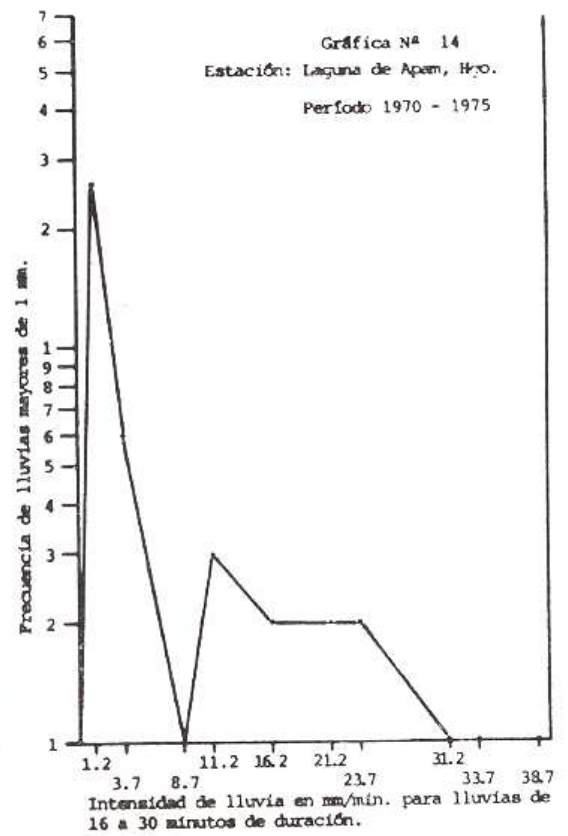
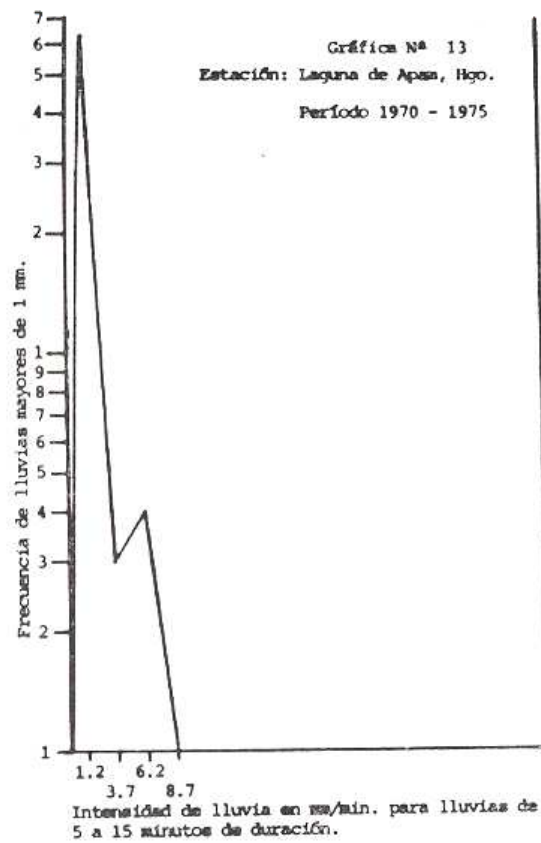
Intensidad de lluvia en mm/min. para lluvias de 5 a 15 minutos de duración.



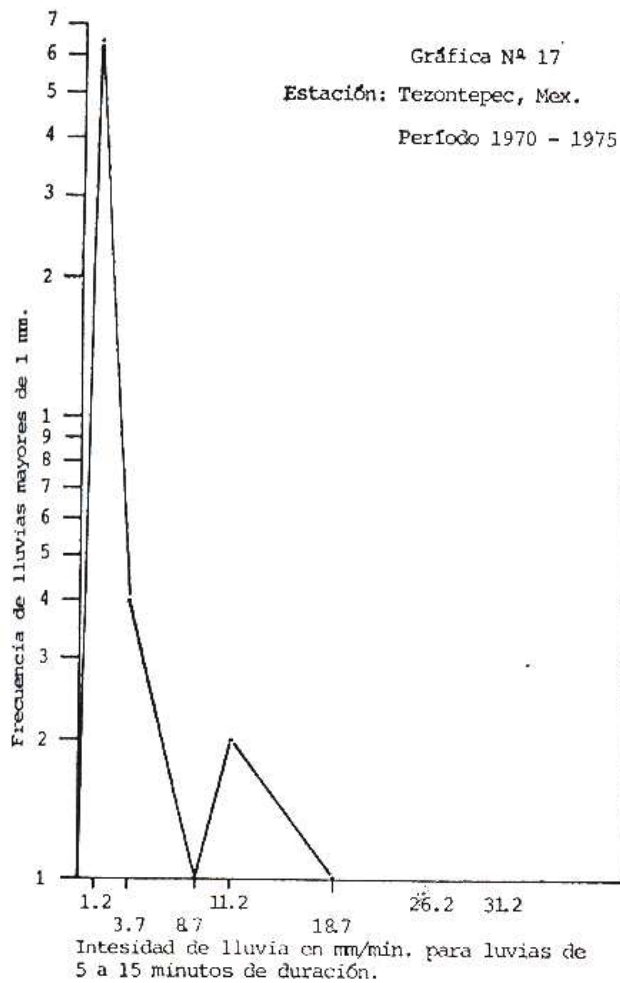
Intensidad de lluvia en mm/min. para lluvias de 20 a 30 minutos de duración.



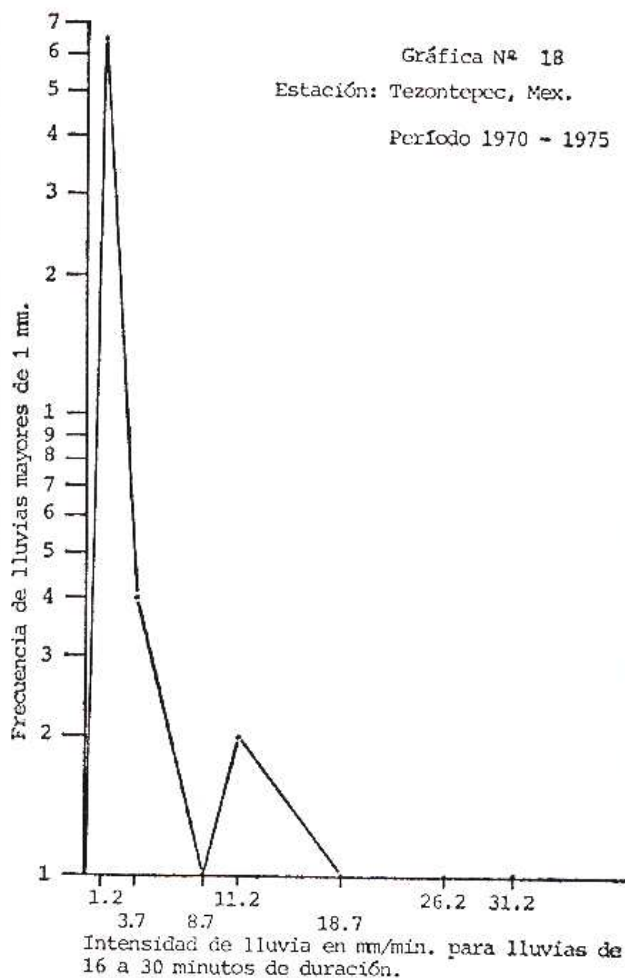




Gráfica N° 17
Estación: Tezontepec, Mex.
Período 1970 - 1975



Gráfica N° 18
Estación: Tezontepec, Mex.
Período 1970 - 1975



bilidad), por lo que se consideran de alta energía pluvial, ya que liberan, teóricamente, entre 800 y 3 200 millones de ergios; mientras que los datos procesados para las estaciones del oeste, noreste y centro-este muestran que la intensidad más frecuente de las lluvias, en el mismo periodo y la misma probabilidad, es de 2 mm o menos, por lo que se consideran de baja energía pluvial ya que liberan, teóricamente, menos de 1 600 millones de ergios.

La relación del valor de energía pluvial liberada tiende a ser más homogénea en periodos de 16 a 30 minutos, ya que en este tiempo las estaciones del noroeste, norte, sureste y centro muestran valores máximos de 6 y 7 mm de intensidad (con probabilidad menor de 20%), similares a los de las estaciones del oeste, noreste y centro-este, cuya intensidad máxima varía de 6 a 8 mm, aunque la probabilidad es superior a 20%.

Con esto se definen claramente dos situaciones en el tiempo de liberación de potencialidad energética. En la primera, de 0 a 15 minutos, existe mayor liberación energética en las estaciones del noroeste, norte, sureste y centro, en tanto que menor liberación ocurre en las estaciones restantes. Lo anterior muestra también una relación inversa entre la intensidad de la lluvia y la altura de lluvia anual, lo que se interpreta básicamente como que a menor cantidad de lluvia anual mayor liberación de energía pluvial para periodos menores de 15 minutos.

Esto induce a establecer que las lluvias que caen en las partes del noroeste, norte, sureste y centro tienen un carácter de torrencialidad e intensidad morfogénica mayor que la de las otras áreas.

La segunda situación de potencialidad energética ocurre para periodos mayores de 15 minutos. En ella se tiende a un equilibrio de la intensidad y, por tanto, a una liberación de energía pluvial similar en todas las estaciones.

Aquí la altura anual de lluvia y la intensidad de la lluvia se muestran correlativas, así, a mayor cantidad anual se encuentra también mayor intensidad, sólo que estos valores son menos frecuentes en el tiempo, si consideramos que su probabilidad es menor a la del periodo de 15 minutos.

Por lo anterior, las lluvias registradas por las estaciones del oeste, noreste y centro-este tienen menor importancia morfogénica ya que, aunque tienden a alcanzar más altura, su repartición en el tiempo es mayor, lo que hace que disminuya su grado de torrencialidad y, como consecuencia, su eficacia como agente morfogénico.

Para lograr el objetivo de este trabajo, consistente en identificar cambios paleoclimáticos a partir de la relación morfogénica que la lluvia guarda con el paisaje, se hizo necesario relacionar los valores de la intensidad de la precipitación, vistos como valores de intensidad morfogénica actual, con la realidad mostrada por los hechos geomorfológicos del paisaje. Es decir, se trata de ver si el clima es un factor que ha actuado directa y permanentemente en la generación del modelado de la cuenca.

Todo lo anterior se realizó al relacionar los resultados de intensidad (agente) con los mostrados en las cartas de amplitud del relieve (forma) realizadas por J. Lugo,* para la zona norte de la cuenca de México; y en las que la relación directa sería: a mayor energía pluvial liberada mayor amplitud del relieve generada. Las relaciones obtenidas que se usaron para este trabajo son las siguientes:

<i>Relación</i>	<i>Intensidad de precipitación en ergios</i>	<i>Amplitud del relieve en m.</i>
Directa	menor de 1 600 mill.	mayor de 40 y menor de 300
Directa	mayor de 1 600 mill.	mayor de 40 y menor de 400
Directa	3 200 mill. menor de	mayor de 20 y menor de 400
Inversa	2 400 mill.	menor de 40

De dicha comprobación se concluyó lo siguiente (véase mapa No. 2):

En la parte del oeste se mantiene una relación directa de baja intensidad entre el potencial energético liberado en 30 minutos o más,

* J. Lugo, 1980. *La disección del relieve en la cuenca de México*. Inédita.

RELACION DE LA INTENSIDAD DE LA
PRECIPITACION CON LA AMPLITUD
DEL RELIEVE.

MAPA No. 2

CUENCA DE MEXICO

0 5 10 15 20
KILOMETROS

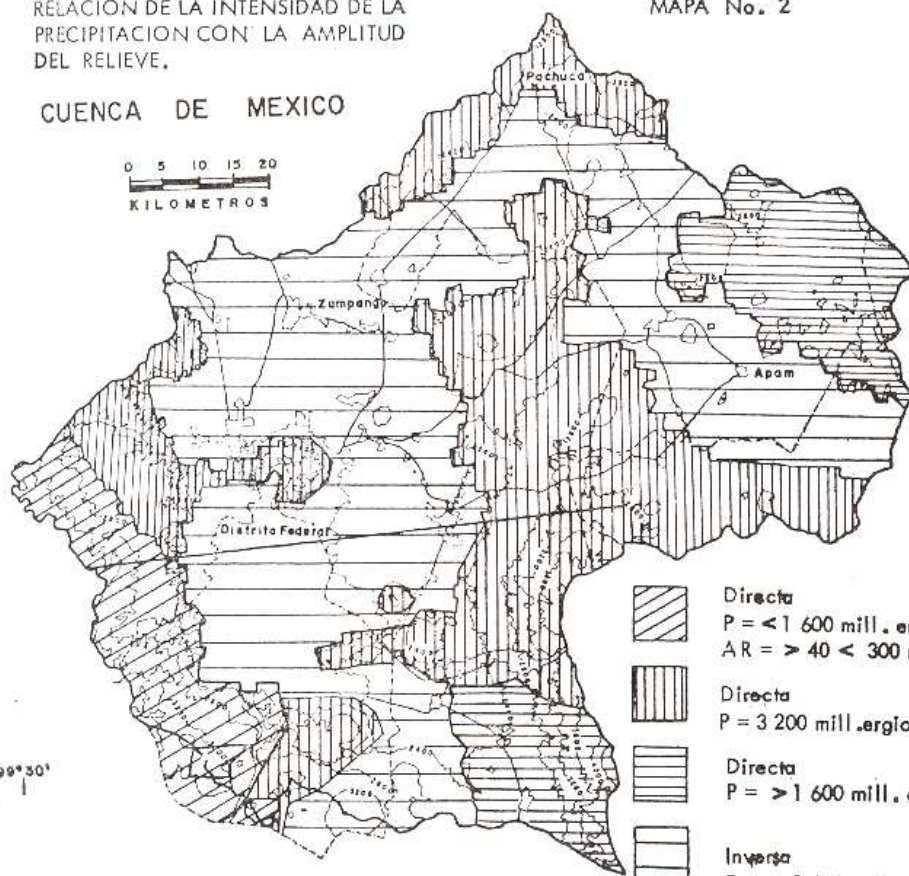
20°00'

20°00'

19°30'

19°30'

99°30'



-  Directa
P = < 1 600 mill. ergios
AR = > 40 < 300 metros.
-  Directa
P = 3 200 mill. ergios, AR = > 20 < 400 metros
-  Directa
P = > 1 600 mill. ergios, AR = > 40 < 400 metros.
-  Inversa
P = < 2 400 mill. ergios, AR = < 40 metros
P = Intensidad de precipitación
AR = Amplitud del relieve.

y los valores de la profundidad de la disección vertical y horizontal del relieve. En la parte del noreste hay una tendencia de cambio (igual que en el sureste de la parte sur de la cuenca de México), la relación ahí, aunque directa, no es muy clara, ya que las condiciones de potencialidad energética aparentemente muestran una ligera deficiencia con respecto al valor de amplitudes del relieve registrados y, por otra parte, analizando la situación aparente de las áreas vecinas, éstas también muestran la misma deficiencia. En la parte del centro-este la relación que se presenta es inversa, o sea que aquí el potencial energético que se libera no concuerda con los bajos valores de la profundidad de la disección vertical del relieve.

En la parte del noroeste, norte, sureste y centro, se encuentra una relación directa del potencial energético que se presenta, con respecto a la amplitud del relieve; esto quiere decir que la energía que se libera por las lluvias que caen en estas áreas concuerda claramente con la elevadísima amplitud del relieve (disección vertical) que existe en las mismas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten observar las tendencias de cambio de las condiciones climáticas de la cuenca, misma que se confirman con las detectadas en la parte sur de la cuenca.

Para situar mejor estos cambios se presenta el mapa total de la cuenca, que muestra la relación entre el balance de la energía pluvial y la capacidad de amortiguamiento del medio considerada aquí como un factor de resistencia al cambio (ver mapa No. 3).

La situación de cambio mesoclimático es notoria en el umbral del mesoclima subhúmedo al seco, así como del templado al cálido; las áreas con tendencia a mayor impacto pluvial tienden a ser más secas y cálidas; esta situación, encontrada en el sureste de la cuenca, continúa hacia el centro y este de la misma y pasa a localizarse en las partes del norte, noreste, centro y oeste de la cuenca, a excepción del extremo oeste en donde aún se mantiene el equilibrio aparente de las condiciones mesoclimáticas templado-húmedas, que se continúan desde el suroeste.

En la parte central, ocupada por los pisos más bajos de la cuenca, hay una condición de mayor impacto pluvial motivado por una transición mesoclimática hacia mayor aridez y altas temperaturas.

Todo lo anterior nos indica que los cambios climáticos actuales no tienen una relación directa con la morfología actual, en cuanto a la disección profunda del relieve; pero sí en cuanto a la hechura de las vertientes, por la remoción violenta de las capas superficiales, como agente dispersante e iniciador de la erosión horizontal del terreno, lo que produce cambios notables en el modelado, y cuya importancia se viene acentuando de la parte norte, noreste y este de la cuenca, hacia la parte sur y oeste de la misma.

En conclusión, se puede decir que la metodología utilizada permitió, con facilidad, la detección espacial de las áreas de cambio climático en la cuenca de México. De dicha detección se concluye que existe todavía un área de equilibrio en la parte del suroeste y oeste, que mantiene sus condiciones climáticas heredadas de un régimen más frío y húmedo. En ella, paradójicamente, se presentan las lluvias más intensas; a excepción de esta área, todo lo demás presenta anomalías en cuanto a la energía pluvial liberada, con respecto a la capacidad de amortiguamiento, por lo que se deduce que, en el oeste, las condiciones mesoclimáticas no han variado mucho después de la última glaciación, mientras que en el resto de la cuenca estas condiciones sí han variado, acentuándose la tendencia hacia condiciones de aridez que provocan una intensidad de lluvias mayor.

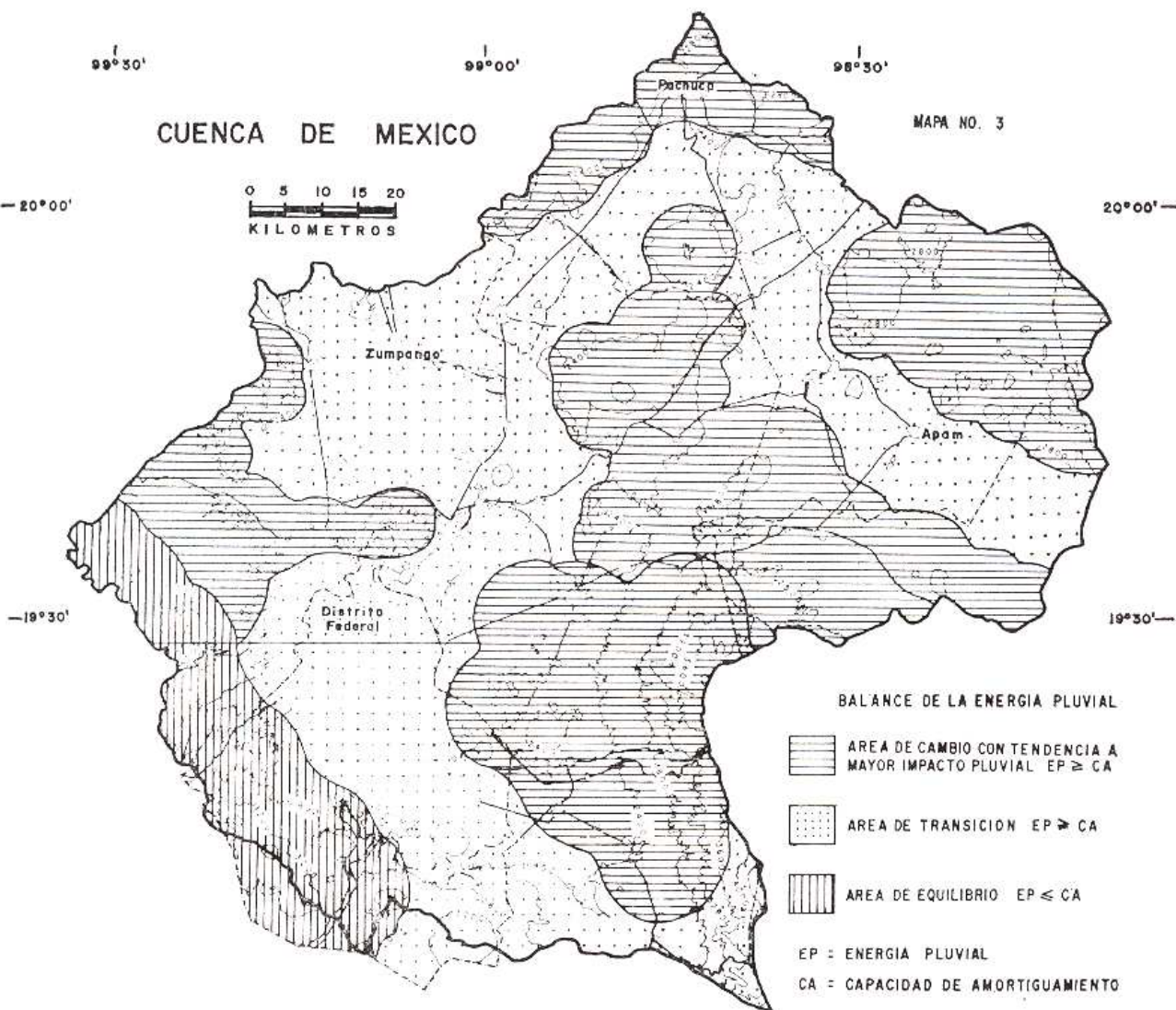
Por ello, el régimen pluvial tiende a ser cada vez más errática y de tipo torrencial (tormentas y chubascos fuertes de corta duración). Con todo esto se puede inducir que los climas en la cuenca de México eran más húmedos y templados, con precipitaciones más frecuentes y mayor cantidad de lluvias; esto ha ido variando y los climas tienden a ser más áridos, las temperaturas se han elevado y las precipitaciones, aunque cada vez más torrenciales, son menos frecuentes y ha disminuido la cantidad de lluvia.

Sin embargo, a pesar de todo, aún no se han podido detectar los umbrales temporoespaciales de estos cambios, por no disponer aún de datos suficientes.

CUENCA DE MEXICO

MAPA NO. 3

0 5 10 15 20
KILOMETROS



BIBLIOGRAFIA

- Chorley, R. J. 1962. "Geomorphology and general systems theory". *U.S. Geol. Survey Prof. Paper (500-B)*, p. 10.
- D.D.F. 1976. *El medio natural, Cuenca de México*. Dirección General de Planificación, Cervantes Asociados, S. A., mayo, México, D. F.
- Howard, D. A. 1965. "Equilibrio y dinámica dos sistemas geomorfológicos". *Noticia Geomorfológica*. Campinas 13 (26) 3-20, dez. 973.
- Lauer, W. y Stiehl, E. 1973. "La clasificación del clima en la región Puebla-Tlaxcala". *Comunicaciones*, 7, Fundación Alemana para la Investigación Científica, Puebla, México.
- López, C. del Ll. F. y Blanco, C. M. 1968. *Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica, y del transporte y depósito de materiales*: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, España.
- Lugo, H. J. 1980. "La disección del relieve en la porción centro oriental del Sistema Volcánico Transversal", *Boletín* 11 del Instituto de Geografía de la UNAM.
- Meza, S. M. *El mesoclima de la cuenca de México*, en proceso.
- Smith, D. D. and Wischmeier, H. W. 1969. "Factors affecting sheet and Rill erosion". *Slope morphology* No. 28 Trans. Amer. Soc. Agri. Eng. 12, 231-233-239
- S. R. II. 1972-1976. *Boletín hidrológico* Nos. 23, 24, 25, 26, 27 y 28, de datos diarios del valle de México correspondientes a los años de 1970 a 1975. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, México.