

MORFOMETRÍA DE LA REPÚBLICA MEXICANA

POR

JOSÉ LUGO HUBP

Introducción

En el Atlas Nacional de México coordinado por A. García Silberman (1990), se publicaron cuatro hojas referentes al relieve del país, dos de ellas sobre morfometría (J. Lugo *et al.*, 1990a y 1990b), con seis mapas principales, nacionales, en escala 1:8.000.000, los mismos que se tratan en este artículo; cada uno se elaboró por el método consistente en obtener determinados parámetros en mapas topográficos. Los datos posteriormente se sintetizaron para la configuración final.

Este trabajo pretende complementar la información que proporcionan los mapas publicados, en el Atlas, dando a conocer la metodología aplicada, así como los resultados principales obtenidos.

Metodología

Los métodos morfométricos que se utilizaron son universales, sencillos en principio, basados en alturas absolutas y relativas, en la longitud de cauces y en la pendiente del terreno, o sea, es información relacionada con

José Lugo Hubp. Departamento de Geografía Física Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.

Estudios Geográficos
Tomo LIII, n.º 206, enero-abril 1992

la superficie contemplada en plano, en perfil vertical y en su inclinación, a través de valores numéricos que se obtienen en cualquier tipo de mapa topográfico. Sin embargo, los problemas principales a resolver no son las mediciones directas.

La manera más rápida de realizar los mapas morfométricos de la República Mexicana es utilizando el mapa estándar en escala 1:4.000.000 con intervalos de curvas de nivel de 500 metros, o la serie de 8 hojas 1:1.000.000 con curvas cada 200 metros, o incluso, unas 220 hojas en escala 1:250.000 con curvas cada 100 metros.

Un análisis preliminar reveló que cualquiera de los métodos proporcionaba una información muy general, aunque válida por cuanto a que las zonas con valores máximos y mínimos serán siempre las mismas, con mayor o menor precisión, pero las diferencias numéricas extremas son mayores conforme lo es la escala, lo que permite una mejor expresión cartográfica.

Se consideró que lo más favorable era obtener la información básica en la escala grande 1:50.000 (con curvas de nivel cada 10 ó 20 metros) como recomiendan algunos especialistas (A. I. Spiridionov, 1975), para lo cual se podría utilizar la serie de mapas —unos 2.200— que cubren el territorio nacional, editados entre 1970 y 1990 por la actual Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). Esto permite representar con fidelidad propiedades cuantitativas del relieve, de alto contraste, a pesar de la escala pequeña. Se tiene la experiencia de haber elaborado en México mapas morfométricos 1:50.000 (J. Lugo, 1981; J. L. Palacio, 1984; G. Bocco, 1985) para amplias superficies.

El mapa base en escala 1:8.000.000 se dividió en una cuadrícula (fig. 1), donde cada unidad, de aproximadamente 12 milímetros cuadrados corresponde a un mapa topográfico en escala 1:50.000. Los valores obtenidos de las mediciones se vaciaron directamente a la base mencionada y fueron de los tipos siguientes:

1. La altura mínima absoluta (nivel base).
2. La altura máxima absoluta (nivel de cimas).
3. La diferencia de las dos anteriores (amplitud del relieve).
4. La profundidad de la disección (valor máximo de corte vertical por erosión).

5. La densidad de la disección (longitud de cauces fluviales por unidad de superficie).

6. La pendiente del terreno.

Una vez que se tuvieron los mapas base con los valores en la cuadrícula (figura 1) se analizaron éstos de acuerdo con su distribución espacial y secuencia de menor a mayor, de lo que resultaron los intervalos que aparecen en la leyenda de cada una de las hojas o en las figuras 2 a 7. El trabajo de cartografía culmina iluminando superficies de igual jerarquía, de acuerdo con la secuencia universal de colores, fríos para los valores menores y cálidos para los mayores. En este artículo se muestran ejemplos de los mapas elaborados —un fragmento de cada uno— sustituyendo el color por símbolos en negro.

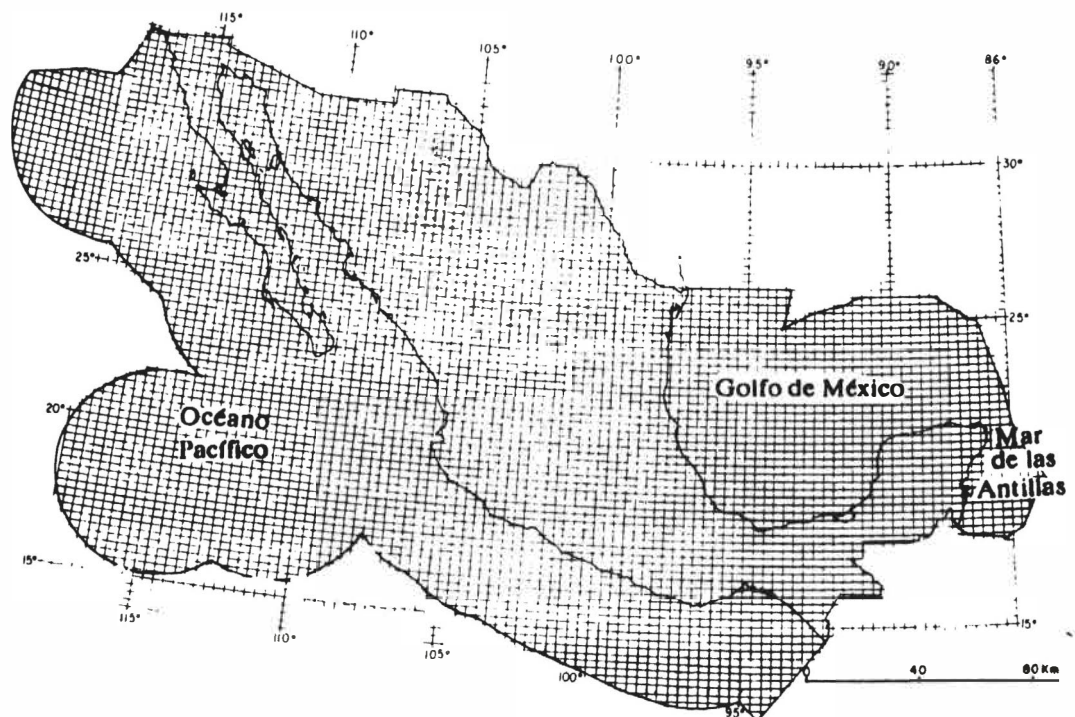


FIGURA 1.—La República Mexicana. La cuadrícula representa las unidades en que se dividió para realizar el análisis morfométrico. Se indica el límite de la zona económica exclusiva del océano

Mapas basados en altitudes absolutas

De la labor de obtener las altitudes extremas snm. resultaron los mapas de niveles base de erosión y niveles cimas; de la diferencia de ambas, el mapa de amplitud o energía del relieve. Los dos primeros se realizaron como un complemento al mapa «Hipsometría y batimetría» (R. Vidal, *et. al.*, 1990) el cual define 11 categorías de altitudes para tierra firme (0-200, 200-500 m. y cada 500 m. hasta 5.500 m.). A diferencia de este mapa, los elaborados presentan una mayor cantidad de valores numéricos, sobre todo para los primeros 100 metros (figuras 1 y 3). Los mapas en cuestión generalizan los valores altitudinales extremos, con lo que se aprecia la disposición dominante de los niveles de la erosión, los de base y de cimas. Amplias zonas se aprecian como las regiones más elevadas del relieve, donde la erosión es más joven, con sus niveles base a más de 1.700 msnm. (13% de los valores obtenidos) dispuestas en una extensa franja de la margen oriental de la Sierra Madre Occidental, que se extiende a través de la Mesa Central y el Cinturón Volcánico Mexicano. Corresponde a las regiones en las que la actividad neotectónica en combinación con las condiciones climáticas actuales han provocado un rezago de la erosión fluvial.

El mapa de niveles de cimas, con valores de más de 3.000 msnm. (7% de los valores) resalta las zonas más elevadas del país, situadas en el Cinturón Volcánico, en proceso de desarrollo por movimientos tectónicos y actividad volcánica cuaternaria que se manifiesta incluso en tiempos históricos.

Son en sí un tipo de mapas temáticos que presentan una información cuya utilidad aumenta al relacionarse con otros, sobre el relieve, el clima, la hidrología, el suelo, etc.

Mapa de amplitud (o energía) del relieve

Es una continuación de los dos anteriores y se elaboró a partir de la diferencia de altitudes máxima y mínima, pero considerando toda la zona económica exclusiva del océano, mayor que la tierra firme. Para este análisis se utilizaron 8 hojas batimétricas a la millonésima (INEGI, 1982), con curvas cada 100 metros. Las cartas se subdividieron en una cuadrícula (figura 1), ampliación de la hecha para la tierra firme. El mapa final

MORFOMETRÍA DE LA REPÚBLICA MEXICANA

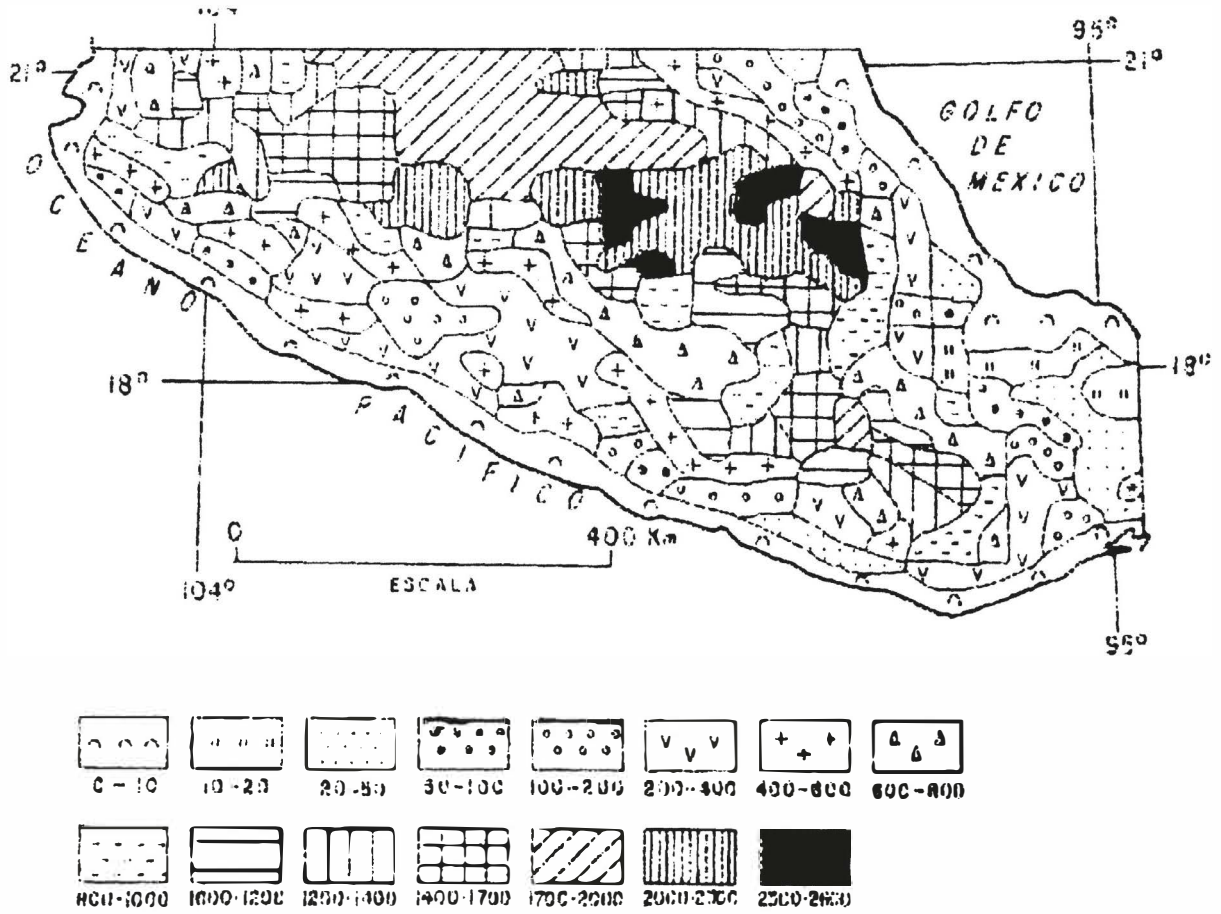


FIGURA 2.—Fragmento del mapa «Niveles base de erosión». Valores en metros

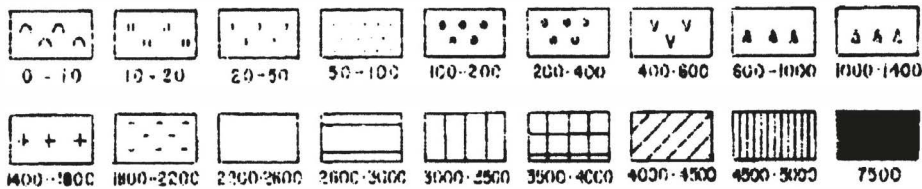
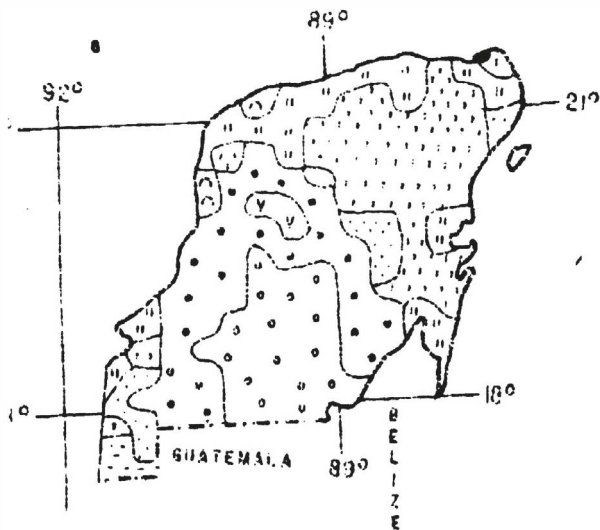
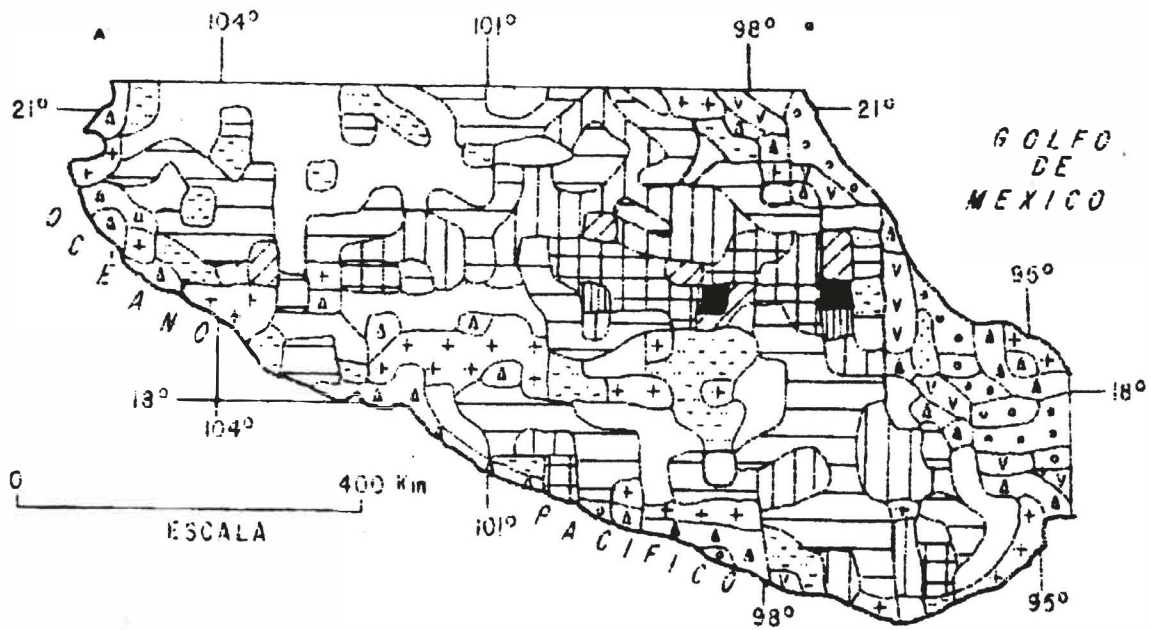


FIGURA 3.—Fragmentos (A y B) del mapa «Niveles de cimas». Valores en metros

expresa con claridad todas las grandes estructuras corticales con desarrollo en el Neógeno-Cuaternario, de tierra firme y fondo oceánico y para reconocer mejor esto, se aplicó la misma secuencia de colores para ambos.

Valores especialmente altos de energía del relieve, de 3.000 a 4.700 m. se presentan en la margen submarina del occidente de la península de Baja California (Borderland), en la trinchera Mesoamericana y en los escarpes de Campeche y Yucatán (figura 4), todos estos a manera de grandes lineamientos. En el continente son de menor magnitud que en el océano y corresponden principalmente a los grandes sistemas montañosos.

Los valores más bajos para el océano (< 100 m.) ocupan la mayor superficie del mismo y son escasos en tierra firme. Algunos datos que dan idea de las diferencias de los relieves en cuestión son los siguientes:

Menores de 100 m. corresponden 8% a la tierra firme y 20% al océano. Los más altos, de 4-5 Km., resultaron 0.1% para tierra firme y 0.3% para las cuencas del Golfo de México y del Caribe, y 0.4% para el Pacífico. Los valores promedio de energía son de 550 m. en el Golfo de México y Caribe, 700 m. en el Pacífico y 1.000 m. en la tierra firme.

Mapa de profundidad de disección del relieve

Éste representa valores reales, obtenidos en las hojas topográficas 1:50.000. El método consiste en definir en cada uno de los mapas el valor máximo de profundidad vertical debida a la erosión, para lo cual se localiza el valle fluvial más profundo y se mide en plano en sentido transversal al cauce. Los resultados fueron valores desde cero hasta 1.600 m., clasificados en 12 categorías; en los sistemas montañosos mayores superan los 700 m. (6% del total), en las montañas menores —márgenes de las principales— predominan de 200 a 700 m. (48%), en lomeríos y piedemontes son de 50 a 200 m. (29%), en planicies y piedemontes hasta de 50 m. (15%), y nula en algunas planicies de acumulación marina, fluvial, eólica y lacustre.

Los valores más altos en grandes superficies, se reconocen en la Sierra madre occidental (figura 5), una meseta riolítica neogénica, disecada por la erosión fluvial. Esto es resultado de una fuerte energía o gradiente, entre la meseta a 2.000-3.000 msnm. y el nivel base de erosión (el Pacífico) a 100-200 Km. de distancia, de una homogeneidad litológica, de un relieve

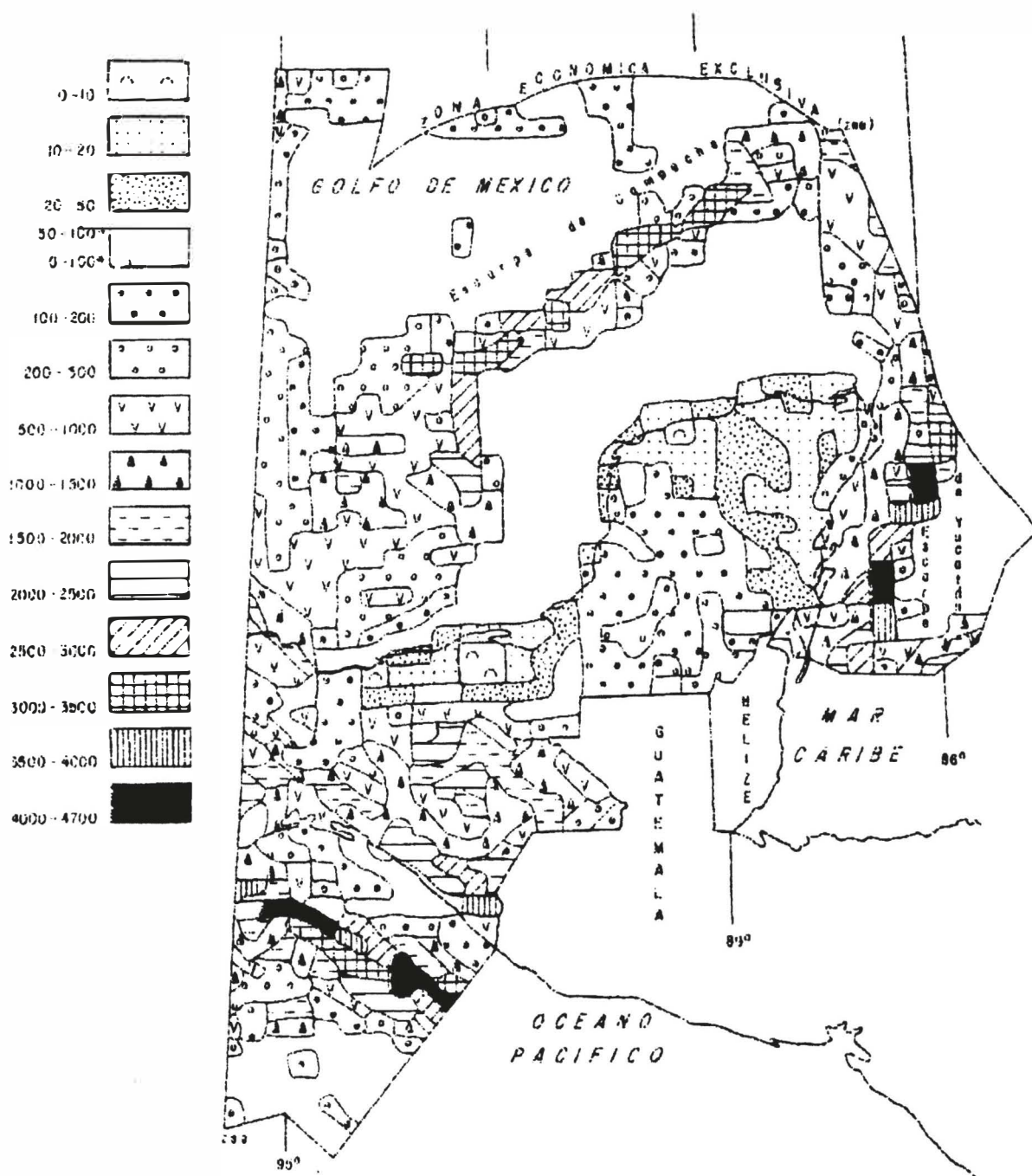


FIGURA 4.—Fragmento del mapa «Amplitud del relieve». Valores en metros

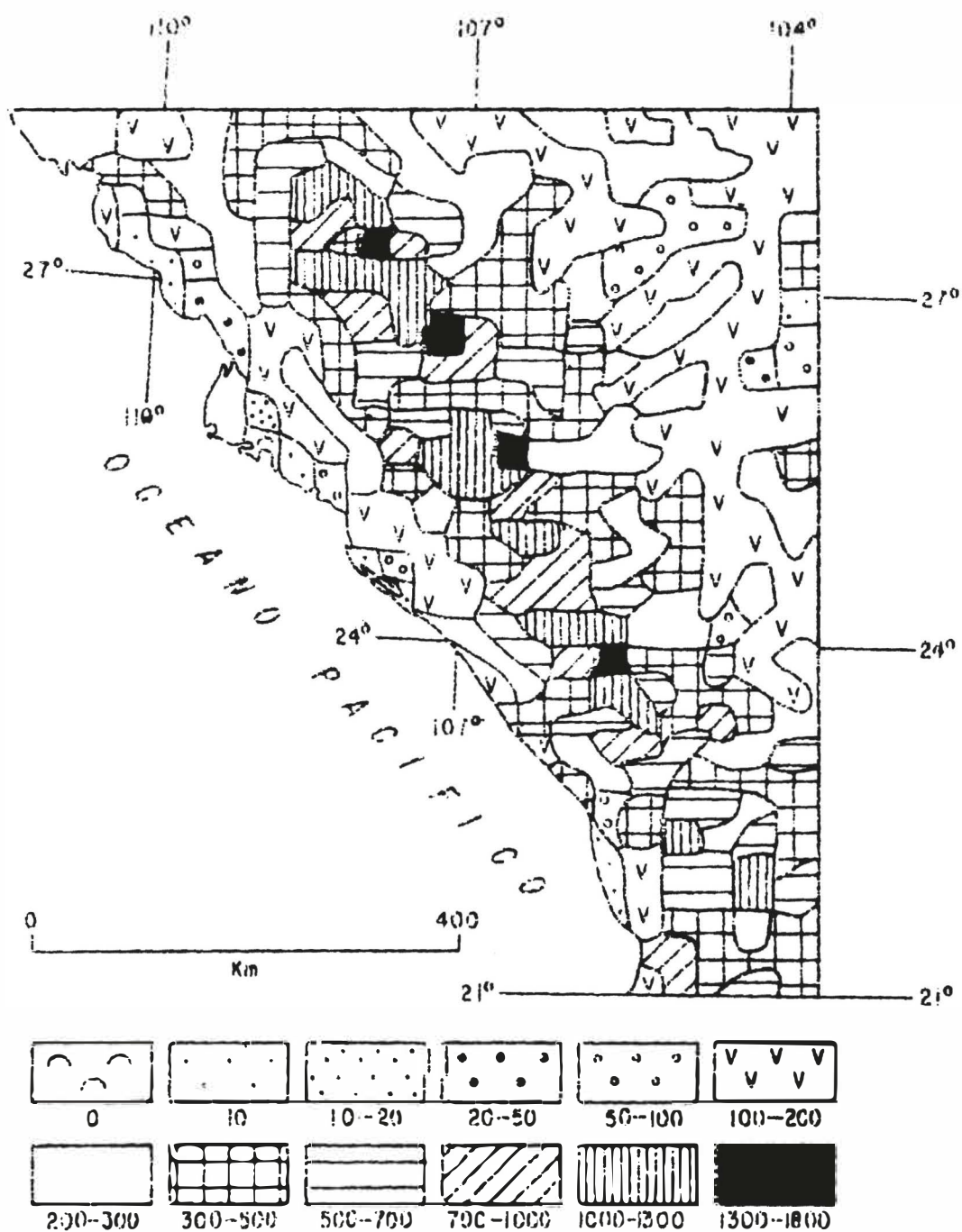


FIGURA 5.—Fragmento del mapa «Profundidad de la disección». Valores en metros

original geológicamente joven, neogénico, y un clima subhúmedo que favorece el escurrimiento en forma permanente.

El relieve volcánico cuaternario del Cinturón Volcánico del paralelo 19, no ha favorecido este tipo de disección, entre otras razones, por las continuas erupciones volcánicas, incluso en tiempos históricos. En el resto de los sistemas montañosos mayores la profundidad de disección alta no se presenta en forma continua, sino en algunas porciones, que generalmente corresponden a relieves más elevados, de rocas menos resistentes y un alto grado de fractura.

Mapa de densidad de disección del relieve

Este mapa representa la longitud de corrientes fluviales (en kilómetros) por superficie (kilómetros cuadrados). O sea, es equivalente a la densidad de cauces fluviales; desde el punto de vista geomorfológico, expresa la intensidad de la disección del relieve, considerada en el plano horizontal. Se elaboró a partir de una superficie de 25 kilómetros cuadrados en cada uno de los mapas base 1:50.000, en los que se obtuvo el valor requerido. La superficie a medir en el mapa se seleccionó procurando que fuera representativa del relieve dominante. En algunos casos de diferencias topográficas notables —planicies y montañas, por ejemplo— se hicieron dos mediciones. En la configuración final se definió una secuencia de 11 intervalos de valores.

En este tipo de mapas es de especial interés el valor máximo, su localización y su relación con respecto a los mínimos. Resultó una información interesante para el territorio mexicano, por ejemplo:

1. Los valores más altos, de 8 a 9.6 (0.4% del total de datos), se localizan en la sierra marginal al Pacífico, en el estado de Chiapas (fig. 6), debidos en apariencia a tres factores principales: a) el clima húmedo tropical, con precipitaciones de más de 1.500 mm. anuales; b) la litología de rocas graníticas muy meteorizadas, y c) la actividad neotectónica que ha favorecido el desarrollo de fracturas (se trata de montañas de formación neogénica, paralelas a la trinchera Mesoamericana).

2. Valores muy altos (7 a 9, el 6% del total) se localizan en muy diversas condiciones climáticas, incluso en zonas áridas y semiáridas del noroccidente de México; alta disección que se explica por dos factores

MORFOMETRÍA DE LA REPÚBLICA MEXICANA

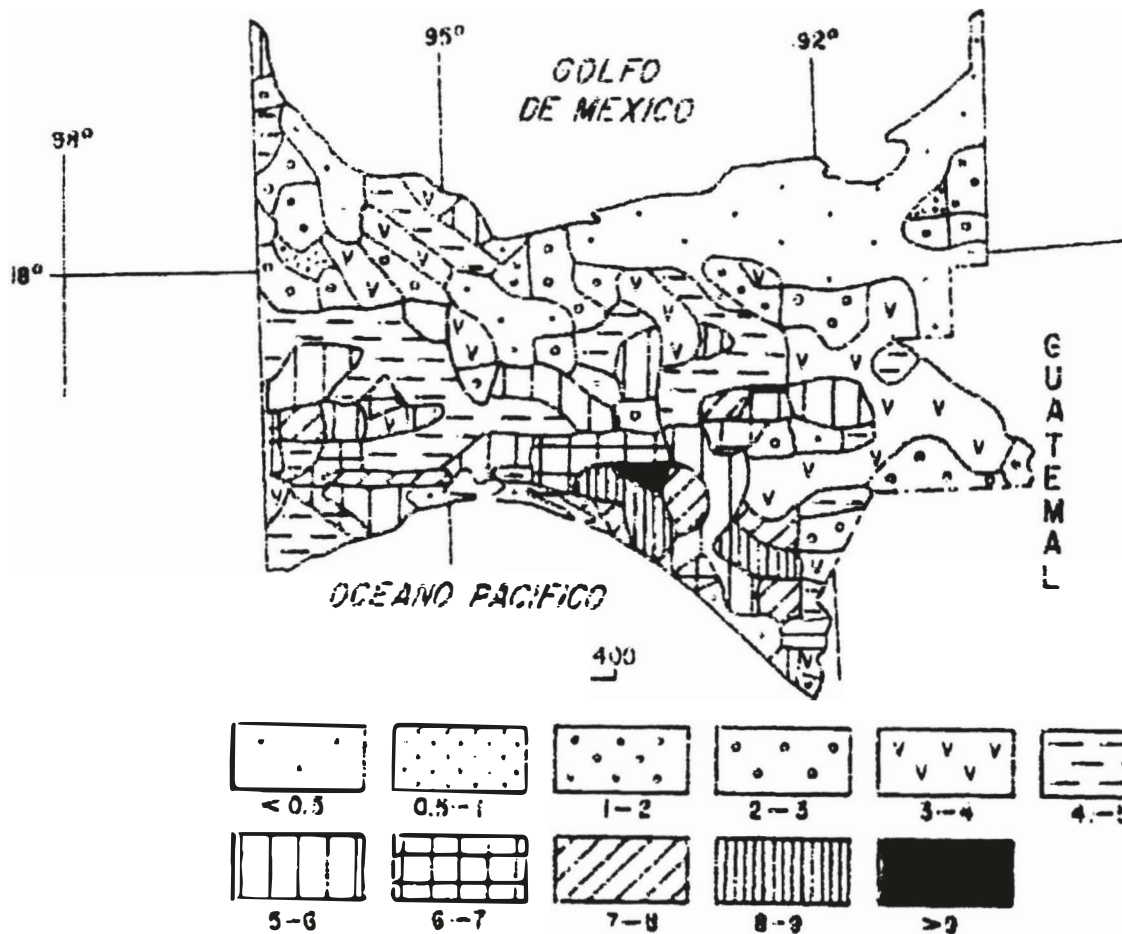


FIGURA 6.—Fragmento del mapa «Densidad de la disección». Valores en Km / Km^2

principales: la litología y el grado de fractura de las rocas, en relación también con el relieve montañoso y la actividad neotectónica.

3. Las variaciones de la densidad de la disección a lo largo de la República Mexicana reflejan: condiciones de relieve (las planicies costeras y altiplanicies con los valores menores de 0.5, el 16% del total), de juventud del relieve (La Faja Neovolcánica de formación cuaternaria con valores bajos, de menos de 3); la litología (las montañas de calizas expuestas en amplias superficies, presentan valores bajos para este tipo de relieves, menor de 5); por otro lado, los granitos, esquistos, areniscas y lutitas en condiciones montañosas, favorecen altos valores de disección, mayores de 5).

Cualquier mapa de densidad de disección presenta una determinada subjetividad. Los márgenes de error o imprecisión se reducen por los intervalos aplicados en la elaboración definitiva del mapa. Por otro lado, al «leerlo» no sólo se toman en cuenta los intervalos en sí, sino las diferencias de magnitudes, totales y parciales.

Mapa de pendientes

Éste muestra en una escala pequeña una información general sobre las pendientes dominantes en amplias superficies, de cientos de kilómetros cuadrados. El análisis de diversos métodos permitió recomendar también la utilización de la base cartográfica en escala uno a cincuenta mil, obteniendo de uno a tres valores en cada mapa. Esto tuvo la ventaja que los intervalos no fueron preestablecidos, el problema principal a resolver al elaborar un mapa de este tipo, sino que se obtuvieron una gran cantidad de datos de inclinación en grados. Por medio de una síntesis posterior, se establecieron una serie de valores.

A pesar de la escala del mapa, 1:8.000.000, consideramos que se obtuvo un grado conveniente de detalle, sobre todo, tomando en cuenta que se pretende mostrar los valores dominantes en grados en amplias superficies y los cambios que se producen de una a otra. Una superficie cartografiable debe tener en el terreno, dimensiones aproximadas de 500 kilómetros cuadrados como mínimo. Así, fue posible caracterizar las grandes planicies en cuatro categorías: 1) hasta 0.5°, 2) 0.5 a 1.5°, 3) 1.5 a 3°, 4) 3 a 6°; una categoría más (5) de 0 a 6° se estableció para los relieves nivelados, amplios, donde las variaciones de inclinación son comunes y no se puede detallar de acuerdo con la escala.

MORFOMETRÍA DE LA REPÚBLICA MEXICANA

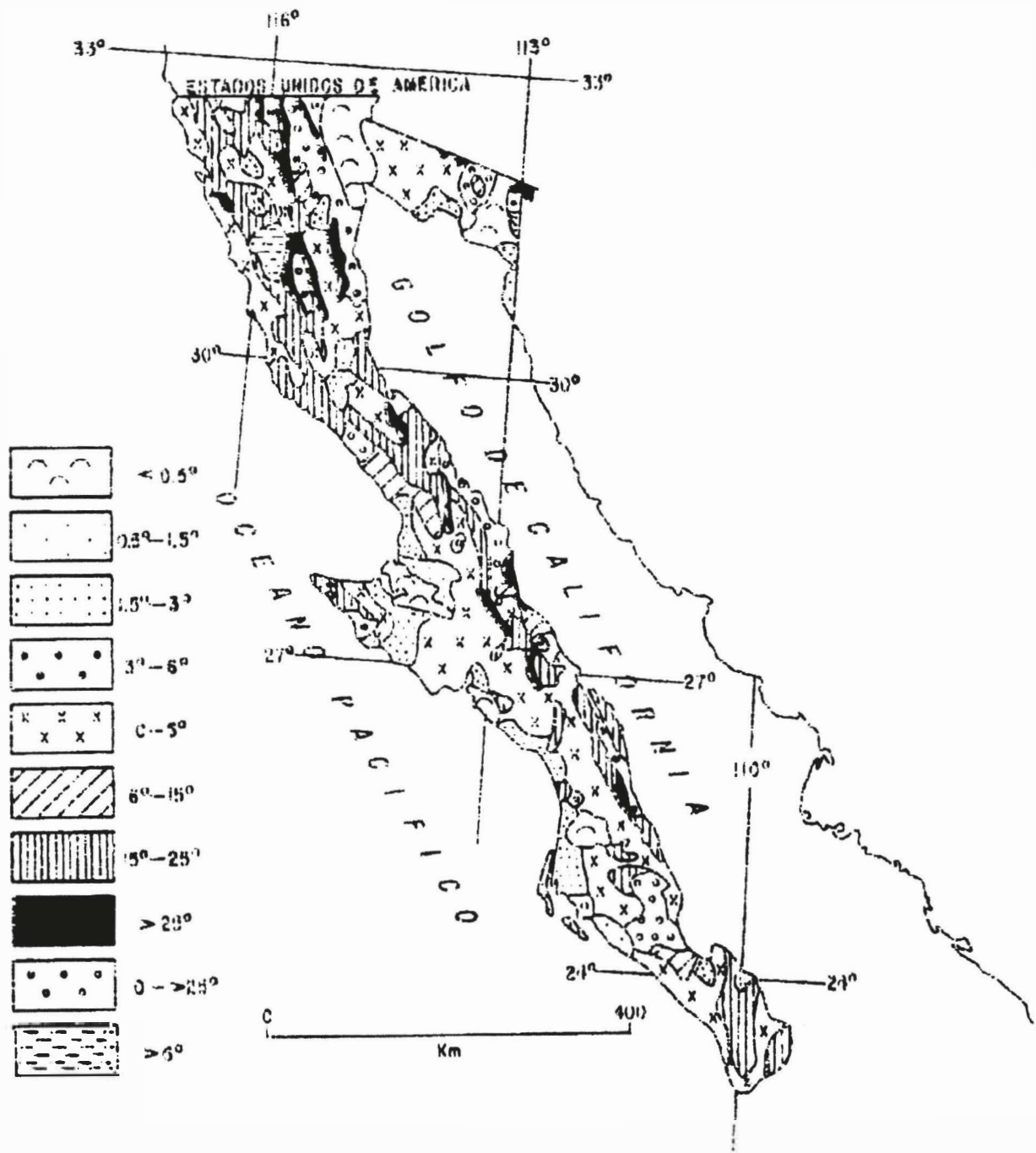


FIGURA 7.—Fragmento del mapa «Pendientes». Valores en grados

Las laderas se definieron en tres categorías principales: 6) 6 a 15°, 7) 15 a 25°, 8) más de 25°. Dos intervalos más complementan el mapa, de 0 a más de 25° (9) y mayor de 6° (10). Estos últimos fueron establecidos para relieves complejos de grandes variaciones, de planicies, laderas de débil y fuerte inclinación, mismas que no son cartografiables en la escala aplicada. Corresponden, en general, a márgenes de los sistemas montañosos (figura 7).

Resultados principales

Los seis mapas morfométricos tratados en páginas anteriores son, cada uno, el primero en su género publicado para el territorio mexicano y con distribución comercial, por esto los consideramos una contribución a la geomorfología de México. Los métodos aplicados en su elaboración son una adaptación de otros de uso universal, en donde se han combinado las escalas grande (1:50.000) y la muy pequeña (1:8.000.000) para la representación del relieve de acuerdo con parámetros diversos.

Una ventaja de este trabajo es que se creó un banco de datos sobre morfometría de la República Mexicana. Está orientado a ser aplicado en las escalas en millones, pero además es una plataforma de apoyo para futuros trabajos de este tipo, principalmente en escalas más grandes, donde la información puede utilizarse y enriquecerse.

Todos los mapas explicados se elaboraron por métodos sencillos, que consideramos más favorables para analizar el relieve, mientras que los métodos complejos, y en la medida que más lo son, reducen su aplicabilidad.

Los datos morfométricos obtenidos para la República Mexicana son hasta cierto punto subjetivos: el agrandar o reducir la superficie donde se obtuvieron cambia también los valores resultantes, pero se conserva la secuencia de mínimos a máximos. El método general aplicado y las categorías de valores establecidas nos permiten considerar que cada uno de los seis mapas morfométricos, a pesar de la escala muy pequeña, muestran un grado de detalle aceptable, considerando que este tipo de escalas tienen por objeto mostrar una imagen de un gran territorio, con los valores mínimos y máximos y toda una secuencia entre éstos, ordenada con lógica, de manera que sea posible apreciar una zonalidad.

Los métodos aplicados resultaron favorables para la región analizada, pero no deben tomarse como reglas inflexibles, sino como una guía que se

modifica de acuerdo con el relieve a estudiar, con la escala, la base cartográfica con que se cuenta, los objetivos del trabajo, el grado de estudio de la zona, etc.

Reconocimientos

En el proceso de recopilación y análisis de datos colaboraron: José Fernando Aceves Quesada, Carlos Córdova y María Teresa García Arizaga; en el dibujo, Armando Sánchez y Juan Carlos Olmos. El trabajo realizado es parte del programa Atlas Nacional de México, coordinado por Ana García Silberman.

BIBLIOGRAFÍA

- BOCCO, V. G.: «Cartografía geomorfológica de El Bajío y porciones adyacentes, 1:250.000», *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, n. 14, México, 1984, pp. 9-40.
- LUGO H., J.: «La disección del relieve en la porción centro oriental del Sistema Volcánico Transversal», *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, n. 11, 1981, pp. 7-19.
- PALACIO P., J. L.: «Geomorfología de la región de Cuernavaca-Tenancingo-Ixtapan de la Sal, en los estados de Morelos y México», *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, n. 13, México, 1983, pp. 105-129.
- SPIRIDIONOV, A. I.: *Gueomorfologicheskoe kartirovanie*, Ed. Niedra, Moscú, 1974, 219 pp. Cartografía
- LUGO H., J.; ACEVES Q., J. F.; GARCÍA A., M. T.: Morfometría 1 (cuatro mapas escala 1:8.000.000), IV.3.1, *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, 1990a.
- LUGO H., J.; ACEVES Q., J. F.; CÓRDOVA, C.: Mapas escala 1:8.000.000 «Amplitud del relieve» y «Pendientes» en: Morfometría 2, IV.3.2, *Atlas nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, 1990b.
- SECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO (SPP): *Carta topográfica de la República Mexicana* (2.200 hojas escala 1:50.000), México (1970-1990).
- SPP: *Carta batimétrica de la República Mexicana* (8 hojas en escala 1:1.000.000), México, 1982.
- VIDAL, Z., R.; FERNÁNDEZ E., A.; GALLEGOS G., A.; ZAVALA H., ..: Hipsometría y Batimetría, escala 1:4.000.000, I.1.1, *Atlas Nacional de México*, Instituto de geografía, UNAM, 1990.

RESUMEN.—*Morfometría de la República Mexicana.* En cada uno de los 2.200 mapas topográficos 1:50.000 que cubren el territorio mexicano se obtuvieron valores numéricos para la elaboración de 6 mapas morfométricos en escala 1:8.000.000 publicados en el Atlas Nacional de México. Estos se mencionan a continuación, y entre paréntesis se indica el valor máximo obtenido: 1) Niveles base de erosión (2.600 m.). 2) Niveles de cimas (5.700 m.). 3) Amplitud o energía del relieve (4.700 m.). 4) Densidad de disección o de cauces fluviales (9.6 Km/Km²). 5) Profundidad de la disección (1.600 m.). 6) Pendientes (< 25°). Cada uno de los seis mapas se elaboró con una amplia secuencia de valores, de manera que proporcionan una información cuantitativa original para la República Mexicana.

PALABRAS CLAVE.—Morfometría. República Mexicana.

ABSTRACT.—Six morphometric maps (scale 1:8.000.000) were made by calculating numerical values for each and every one of the 2.200 topographic charts which cover the whole of the national territory. These morphometric maps are as follows: 1) Base level of erosion (2.600 m.). 2) Summit levels (5.700 m.). 3) Relief amplitude (4.700 m.). 4) Dissection density (9.6 Km/sq. Km). 5) Dissection depth (1.600 m.) and 6) Slopes (> 25 degrees). The numbers given in parenthesis are the maximum value found for each map. The construction of these maps is based on an ample sequence of values. Thus, they are an original quantitative information non-available in Mexico before. This cartographic material has already been published part of the National Atlas of Mexico.

KEY WORDS.—Morphometry. Mexico.

RÉSUMÉ.—Pour chacun des 2.200 cartes topographiques, échelle 1:50.000 qui couvre le territoire mexicain, ce sont obtenu des valeurs numériques pour l'élaboration de six cartes morphométriques échelle 1:8.000.000 publiés dans l'Atlas National du Mexique. Le nom des cartes est indiqué en suite ou la valeur maxinal obtenu est marque entre parenthese: 1) Niveaux de base d'érosion (2.600 m.). 2) Niveaux de sommets (5.700 m.). 3) Amplitude du relief (4.700 m.). 4) Densité de dissection (9.6 Km/Km²). 5) Profondeur de dissection (1.600 m.). 6) Pents (> 25°). Chacun des six cartes a été élaboré avec une séquence des valeurs très élargie, ces données apportent une information quantitative originale pour la République Mexicaine.

MOTS CLÉ.—Morphométrie. Mexique.