

Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000

Guadalupe Tapia-Varela* y Jorge López-Blanco

Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior,
Ciudad Universitaria, Apartado Postal 20-850, 04510 México, D.F.

*e-mail: tapiavg@yahoo.com

RESUMEN

Se presenta la aplicación de un método para elaborar la cartografía morfogenética a escala 1:100,000 de la porción central de la Cuenca de México. El sistema para el levantamiento y el mapeo geomorfológico del ITC sirvió de referencia conceptual general, particularmente en lo referente a la clasificación de los tres principales tipos de mapas geomorfológicos: 1) analíticos; 2) sintéticos; y 3) pragmáticos. Se delimitaron las unidades morfogenéticas (UM) bajo el criterio principal de homogeneidad espacial relativa y su caracterización en cuatro aspectos fundamentales del relieve: 1) origen (general y específico); 2) tipo de relieve; 3) edades (de rocas, estructuras y formas); y 4) geometría del relieve por clases. La fotointerpretación de las fotografías aéreas a escala 1:75,000 fue el procedimiento esencial empleado para la delimitación de las unidades. Los trazos se transfirieron a un medio cartográfico a partir de los mapas estereoscópicos de relieve sombreado generados en el SIG. Los resultados obtenidos muestran que las planicies aluviales de origen exógeno acumulativo del cuaternario, compuestas por aluvión y depósitos gravitacionales de ladera y fluviales, cubren un 21%. Los piedemontes de origen exógeno del Cuaternario, compuestos de rocas volcánicas epiclásticas, depósitos laháricos, series clásticas andesíticas, flujos piroclásticos, aluvión y depósitos glaciofluviales, cubren un 19%. Las laderas de montaña de origen endógeno volcánico del Plioceno al Holoceno, compuestas de flujos lávicos de rocas básicas a intermedias y de flujos piroclásticos cubiertos por unidades clásticas, cubren un 17%. Las planicies lacustres de origen exógeno acumulativo del Cuaternario, compuestas de sedimentos lacustres, depósitos volcánicos de caída y flujos piroclásticos, cubren un 15%.

Palabras clave: Geomorfología, mapeo analítico, unidades morfogenéticas, mapas estereoscópicos, tectónica, volcanismo, Cuenca de México.

ABSTRACT

The application of a method to construct the morphogenetic-unit map at scale 1:100,000 of the central portion of the Basin of Mexico is presented. The ITC System of Geomorphologic Survey and Mapping served as a general conceptual framework, particularly considering the classification of the three main types of geomorphologic mapping: 1) analytic; 2) synthetic; and 3) pragmatic. The morphogenetic units (MU) were defined under the main approach of relative spatial homogeneity and their characterization considering the following four main subjects of relief: 1) origin (general and specific); 2) relief type; 3) age of rocks, structures and landforms; and 4) class of relief geometric properties. Photo-interpretation of aerial photographs at scale 1:75,000 was the essential procedure used to delineate the MUs. The lines were transferred to a cartographic mean, using stereoscopic maps (as framework) produced from the shaded relief maps within the GIS environment. Results show that the Alluvial Plains of exogenous accumulative origin from Quaternary, cover the 21% of the study area, they are composed by alluvium and hillslope mass movement and fluvial deposits. The Piedmonts of exogenous origin of Quaternary age, composed of volcanic epiclastic rocks, lahar

deposits, clastic-andesitic series, pyroclastic flows, alluvium, and glacio-fluvial deposits, cover the 19%. The Mountain Hillslopes of volcanic endogenous origin from Pliocene to Holocene, composed of lava flows of basic to intermediate rocks and pyroclastic flows covered by clastic units, cover the 17%. The Lacustrine Plains of exogenous accumulative origin from Quaternary, composed of lacustrine sediments, volcanic pyroclastic fall deposits and pyroclastic flows, cover the 15%.

Keywords: Geomorphology, analytical mapping, morphogenetic units, stereoscopic maps, tectonics, volcanism, Basin of Mexico.

INTRODUCCIÓN

La geomorfología es una ciencia esencialmente genética y evolutiva, aunque también dinámica, cuyo objetivo es el de comprender cómo se han originado y cómo han evolucionado, hasta el presente, los distintos elementos y propiedades del relieve (Gutiérrez-Valdés, 1989). Los mapas geomorfológicos son documentos científicos que sirven como fuente de información cartográfica básica para los estudios de recursos naturales y ambientales, es decir, poseen una dimensión de aplicabilidad para solucionar problemas específicos (Verstappen, 1983). El propósito de ese tipo de representación cartográfica del terreno es realizar una síntesis del relieve, de acuerdo con su origen, edad, evolución y sus procesos modeladores (endógenos y exógenos).

De acuerdo a lo anterior y considerando que existen diferentes tipos de mapas geomorfológicos, los mapas analíticos se enfocan, aunque no exclusivamente, al mapeo morfogenético. La información principal de partida de este tipo de mapas es tanto la geológica, como la topográfica (Lugo-Hubp, 1991). La base del mapeo morfogenético es la representación cartográfica de unidades del relieve en función de sus 1) orígenes, 2) tipo, 3) edad y 4) geometría del relieve por clases. Por lo anterior, la metodología adaptada y aplicada aquí para elaborar la cartografía mencionada, parte de un marco conceptual que considera el delimitar las unidades morfogenéticas (UM) bajo el criterio principal de homogeneidad relativa (Tapia-Varela y López-Blanco, 1998; Tapia-Varela, 1999).

Este tipo de mapas analíticos se considera que son el primer paso para la realización posterior de estudios más específicos, cuyas unidades permitan ser empleadas, en términos cartográficos, como fragmentos homogéneos del territorio, a la escala espacial del análisis. Por ejemplo, pueden ser útiles dentro de la fase de diagnóstico en planeación, asimismo para establecer programas de recuperación ambiental, tales como la atenuación y el control de los procesos de erosión acelerada, la determinación de la aptitud de uso del suelo, la planeación del crecimiento de las áreas urbanas, etc. Asimismo debe ser considerado como un documento científico que simboliza y expresa los elementos más importantes del relieve y su condición actual.

Por otra parte, la adaptación y desarrollo de una metodología para hacer un mapa básico geomorfológico, considerando el marco conceptual establecido en los ti-

pos de mapeo propuestos por Verstappen y Van Zuidam (1991), permite contribuir al establecimiento y formalización de un procedimiento concreto y de fácil aplicación que ayude a homogeneizar, en términos de los factores considerados y la simbolización de las unidades, a los diferentes mapas morfogenéticos que se construyen en los diversos ámbitos académicos.

Por lo anterior, la realización de este estudio se justifica, no sólo porque se llega a un conocimiento de las propiedades geomorfológicas del área en estudio y a su cartografía morfogenética representada a escala semidetallada, sino también porque la propuesta metodológica planteada puede constituir una base conceptual para diversas investigaciones futuras.

Por lo anterior se desprende que el objetivo general de este trabajo es elaborar el mapa y el análisis morfogenético de la porción central de la Cuenca de México, con representación cartográfica a escala 1:100,000, mediante la cual sea posible tener un conocimiento detallado del origen, tipo, temporalidad (edad) y clase geométrica o morfométrica del relieve.

ÁREA DE ESTUDIO

La importancia del área de estudio radica en que es una de las porciones fundamentales para el funcionamiento hidrológico y ambiental de la Cuenca de México. Hoy en día convergen una serie de problemas que han provocado inestabilidad ambiental en ella. De entre ellos se pueden mencionar la destrucción de las áreas verdes y los cuerpos lacustres, la desertificación provocada por la deforestación, los hundimientos en el subsuelo provocados por la sobreexplotación de los mantos acuíferos, etc. A estos problemas se une el acelerado crecimiento de la población, que se manifiesta en la demanda de los servicios.

La porción central de la Cuenca de México se localiza entre los paralelos 19°22' y 19°30' de latitud norte y entre los meridianos 98°47' y 98°51' de longitud oeste. Limita al norte con la población de Otumba, el Cerro Gordo y Teotihuacan; al Sur, con las poblaciones de Amecameca y la Sierra de Chichinautzin, al Oriente con la Sierra Nevada (hasta el Volcán Iztaccíhuatl) y al Poniente con el Ex Lago de Texcoco (Figura 1). Tiene una extensión de 5,297 km² y un intervalo altitudinal que va de los 2,240 hasta los 5,300 msnm (SEMARNAP, 1996).

Los tipos climáticos con mayor cobertura en el área son, primeramente el Templado Semiseco localizado en las partes bajas (planicie lacustre de Texcoco) con una temperatura media anual de 14°C a 18°C; el Templado Subhúmedo localizado en las planicies aluviales, en las porciones inferiores extremas de los piedemontes con una temperatura media anual de 12°C a 16°C; el Muy Frío localizado en la cumbre del volcán Iztaccíhuatl; donde la temperatura media anual es inferior a los -2°C, y en el mes más cálido inferior a 0°C (García 1988; SFP 1993; Guillén-Guerrero 1996).

Los tipos de suelo dominantes, de acuerdo con la clasificación de FAO-UNESCO (1975), son los Andosoles, los Cambisoles, los Feozem y los Litosoles (INEGI, 1983). La vegetación y el uso actual de suelo están influenciados por los diferentes pisos altitudinales. En las porciones bajas, en donde se localizan los suelos salinos y las áreas inundables, existen pastizales halófilos, vegetación arbórea como el pirul, eucalipto, casuarina, etc., así como agricultura de riego en donde se siembra maíz, trigo y cebada. En las áreas con altitudes medias, representadas por los piedemontes, la vegetación es herbácea

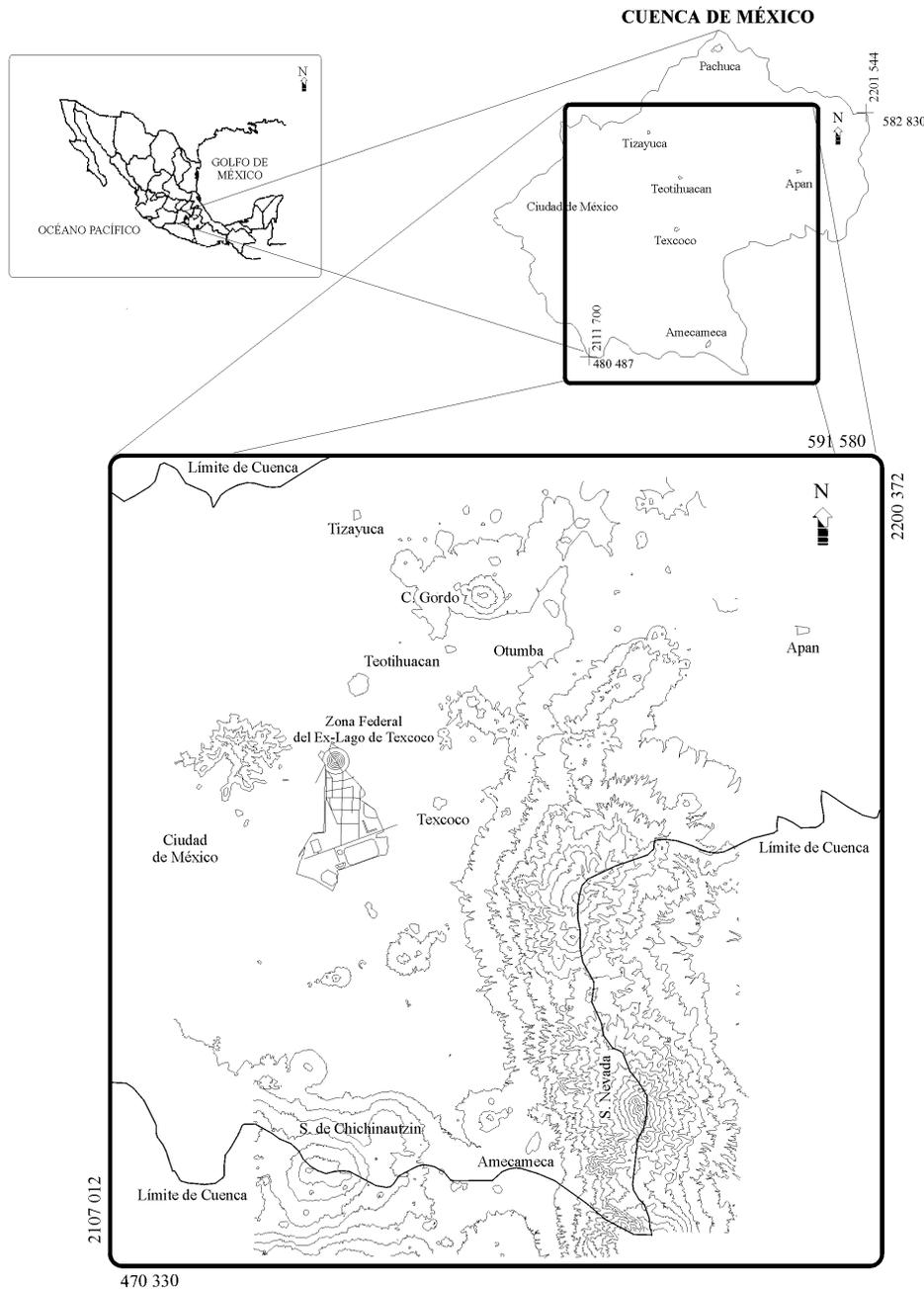


Figura 1. Localización de la Porción Central de la Cuenca de México.

del tipo de las gramíneas, leguminosas, cactáceas, liliáceas y compuestas, y arbórea como el pirul, eucalipto, casuarina, cedro y huizache. Se presenta también agricultura de temporal de maíz principalmente. En las laderas montañosas se encuentra el zacatonal, bosques de *Pinus* y *Abies*, bosque de encinos y oyamel, agricultura de temporal, etc. (SARH, 1990; Cruickshank-García, 1995; CNA, 1996).

Al área pertenecen parcialmente 47 municipios pertenecientes al Estado de México, cinco al de Puebla y dos al de Tlaxcala (INEGI, 1990). A la población urbana le corresponde un 97% de la población total y a la rural sólo un 3%. El proceso de crecimiento urbano ha generado un grave deterioro sobre tres de los componentes principales del equilibrio ambiental del área: el suelo, la vegetación y el agua. A lo anterior se suma particularmente la carencia de recarga de los mantos acuíferos. Específicamente en las porciones altas de los piedemontes, la carencia de vegetación natural en las áreas cuyos suelos son vulnerables a los procesos de escurrimiento laminar y concentrado ha generado erosión hídrica que se ha manifestado por la presencia de erosión acelerada de suelos agrícolas y formación de cárcavas.

GEOLOGÍA

La información antecedente litológica y tectónica del área de estudio ha sido fundamental para la delimitación de las unidades morfogénicas, considerando a los estudios específicos de algunas de las porciones que forman a la Cuenca de México. El área de estudio es muy compleja desde el punto de vista tectónico, por su localización dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT), el cual constituye uno de los rasgos más característicos de la geología de México (Aceves-Quesada, 1996).

La Cuenca de México se localiza en el borde meridional de la Mesa Central del Sur, sobre el cual se edificó un tramo del CVT, esencialmente durante el Plioceno-Holoceno (de Cserna *et al.*, 1988). La cuenca está alargada en dirección NNE-SSW con longitud de unos 100 km y anchura de unos 30 km, delimitada al norte por la Sierra de Pachuca, al oriente por la Sierra de Río Frío y por la Sierra Nevada, al sur por la Sierra de Chichinautzin y al poniente por el Volcán Ajusco y la Sierra de Las Cruces (de Cserna *et al.*, 1988).

Para Mooser (1963) y Demant y Robin (1975), la Cuenca de México debe su formación a procesos volcánicos y tectónicos que se han estado desarrollando a partir del Eoceno, tras de haber emergido del océano gran parte de lo que ahora es México. En ese período se inició un conjunto de procesos eminentemente volcánicos, que con el tiempo produjo espesores de 2 km de lava, toba y brecha.

Durante el Mioceno temprano, la actividad magmática y tectónica generó rocas volcánicas y un fracturamiento de orientación W-E. En este período predomina-

ron las erupciones de andesita y dacita, con un espesor promedio de 600 a 700 m. Estas rocas fueron erosionadas antes de que se presentaran las manifestaciones volcánicas del final del Mioceno (de Cserna *et al.*, 1988).

Existen afloramientos de toba, brecha y complejos volcánicos profundamente erosionados en algunas porciones de la base de la Sierra de Guadalupe y en cerros como Coatepec y Gordo, considerados por Mooser (1956, 1975) como pertenecientes al Mioceno y cuya composición varía de andesita basáltica a traquiandesita y dacita. Al final del Mioceno se inicia la formación de las sierras mayores: la Sierra de Río Frío y la Sierra Nevada.

Para el Plioceno-Cuaternario se marcan fracturamientos y fallas que provienen del poniente y describen un gran arco cóncavo hacia el sur, afectando a la Sierra Nevada y formando la fosa en el flanco poniente del Cerro Tláloc. Asimismo se presentan las fracturas, fallas y fosas que mantienen un rumbo NNE, como las fracturas Tláloc-Apan localizadas en la cima del Cerro Tláloc, la fosa Cuauhtepac en el corazón de la Sierra de Guadalupe y los fracturamientos en los núcleos de la Sierra Nevada.

Para el volcán Iztaccíhuatl, Nixon (1989) propone un esquema evolutivo con apoyo en observaciones de campo y fechamientos K-Ar. Él distingue dos secuencias eruptivas principales.

La Serie Volcánica Antigua (SVA), cuya edad varía de 2.84 a 0.3 Ma, se distingue por presentar lavas y depósitos piroclásticos compuestos por andesita de piroxeno y dacita. El edificio volcánico representativo de esta serie es el Llano Grande (Nixon, 1989). La Formación Iztaccíhuatl, establecida por Schlaepfer (1968), es una de las formaciones que aparentemente pertenece a la SVA (de Cserna *et al.*, 1988). Schlaepfer (1968) la usa para referirse a las rocas de los volcanes Llano Grande, Iztaccíhuatl y Nexpayantla. Está constituida por rocas efusivas que varían de andesita basáltica a dacítica; al inicio en forma de derrames lávicos y al final en forma de extrusiones dómicas.

La Serie Volcánica Joven (SVJ) se inicia a los 0.6 Ma, después de una intensa etapa erosiva (Nixon, 1989). En la parte norte fueron emitidas andesita y dacita a las que se les nombró lavas de la serie *Somital*. Se reconocieron varias fuentes de emisión: La Cabeza (5,146 msnm), la cima de El Pecho (5,286 msnm), dos centros eruptivos en Las Rodillas (5,100 msnm) y el pico de Los Pies (4,703 msnm), con una alineación N-NW a S-SE que probablemente reflejan un control lineal en el basamento. Hace 0.27 Ma se produjeron lavas y escorias de basalto a andesita en La Joya, flanco sur del Iztaccíhuatl, con una extensión de 8 km². Hace 0.08 Ma las laderas norte se cubrieron de dacita viscosa, conocida como la Dacita Téyotl, dando como resultado 5 km² de flujos gruesos. La actividad eruptiva continuó hasta hace 0.1 Ma, terminando en el Iztaccíhuatl antes de la glaciación Wisconsiniana del Pleistoceno Tardío (Nixon, 1989.).

Por otra parte en las serranías que se extienden en-

tre Tepetlaoxtoc y Teotihuacán, así como en la Sierra de Guadalupe, aflora dacita en forma de derrames y domos volcánicos. Las rocas epiclásticas se encuentran en los pies de los edificios volcánicos, con una expresión morfológica de lomeríos disecados por profundas cañadas (INEGI, 1983).

En la parte inferior de las sierras mayores se encuentran extensos abanicos volcánicos. Mientras que la Sierra de Guadalupe se caracteriza por presentar abanicos aluviales menores, formados por rocas que están relacionadas con la Formación Tarango. Esta formación está compuesta por flujos piroclásticos de composición intermedia a ácida, tobas, capas de pómez, escasos depósitos fluviales, paleosuelos y en algunos sitios depósitos laháricos (Mooser, 1975; Mooser *et al.*, 1996).

La característica principal de esta formación es el estado caótico en el cual aparecen depositadas las series clásticas (Mooser, 1957; de Cserna *et al.*, 1988). En el Cuaternario continúa el vulcanismo de la etapa anterior, sobresaliendo la andesita y basalto reconocidos en los cerros de Chimalhuacán, Gordo y El Pino y, por otro lado, las erupciones fenobasáltica y andesítica entre Tizayuca y Apan. Asimismo las sierras mayores con grandes volcanes, como los de la Sierra Nevada, alcanzaron su máximo desarrollo, formándose extensos abanicos volcánicos.

El vulcanismo pleistocénico y holocénico de tipo monogenético formó conos cineríticos, domos volcánicos y derrames de lava, asociados con materiales piroclásticos. El resultado de esta actividad volcánica tiene la apariencia megascópica de basalto de olivino, clasificado como andesita o andesita basáltica (Negendak, 1972; Fries, 1960).

La Sierra del Chichinautzin es el área en la que se tiene la mayor extensión de rocas volcánicas cuaternarias al sur de la Cuenca de México. Estas rocas han sido consideradas en varios estudios como grupo o Formación Chichinautzin, pero en 1975, Bloomfield, y en 1982, Martín, cambiaron su rango de grupo por el de formación, aplicando este nombre a todo el vulcanismo monogenético (Vázquez y Palomera, 1989). Las rocas incluidas cubren en forma discordante unidades estratigráficas, desde cretácicas marinas plegadas hasta cuaternarias lacustres (de Cserna *et al.*, 1988); forman un campo volcánico monogenético, con depósitos cineríticos y derrames de lava muy extensos, vesiculares y masivos. La composición petrográfica de estas lavas es principalmente andesítico-basáltica, basáltica y dacítica (Vázquez y Palomera, 1989; de la Vega, 1992).

Otra de las áreas de mayor extensión de rocas volcánicas cuaternarias se localiza al oriente y nororiental de Tizayuca-Atzompa-Texcoco, y se extiende hasta Ciudad Sahagún-Singuilucan, al norte y nororiental de Apan, Hidalgo (Ledezma-Guerrero, 1985). Las características petrográficas y morfológicas de esta área son muy semejantes a la Formación Chichinautzin y cubren diferentes depósitos clásticos y volcánicos del Terciario y Plioceno-Cuaternario (de Cserna *et al.*, 1988).

Los depósitos aluviales que circundan al Ex Lago de Texcoco poseen una granulometría gruesa cerca de las serranías, que disminuye a medida que se acerca a la zona limítrofe del vaso lacustre (INEGI, 1983; de Cserna *et al.*, 1988), y están constituidos por depósitos clásticos plioceno-cuaternarios de diversos tamaños. Su parte inferior consiste de material aluvial y lahárico re TRABAJADO (INEGI, 1983; de Cserna *et al.*, 1988).

Los sedimentos clásticos y productos piroclásticos relacionados con la actividad volcánica del Popocatepetl y de la Sierra Chichinautzin se depositaron en un ambiente lacustre desde Texcoco hasta el Cerro de Chapultepec. Presentan intercalaciones de arenas, limos y dos horizontes de tobas líticas consolidadas (Vázquez y Palomera, 1989). El origen de los depósitos lacustres está relacionado con la obstrucción definitiva del drenaje de la Cuenca de México, causado por la intensa actividad volcánica que edificó la Sierra de Chichinautzin (Vázquez y Palomera, 1989).

METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este trabajo se basa inicialmente, en términos conceptuales de mapeo, en el Sistema para el Levantamiento y el Mapeo Geomorfológico del ITC (*International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences*, Países Bajos), considerando los aportes teóricos de Verstappen y Van Zuidam (1991), sobre todo en lo referente a la construcción de los tres tipos de mapas geomorfológicos fundamentales: Analíticos, Sintéticos y Pragmáticos (Tapia-Varela y López-Blanco, 1998).

Para la construcción del mapa morfogenético se parte de la delimitación de las unidades, con base en el criterio principal de homogeneidad relativa y su caracterización en cuatro aspectos fundamentales: 1) origen general y específico del relieve; 2) tipos generales y específicos del relieve (planicies, lomeríos, piedemontes y laderas de montañas); 3) temporalidad (edades de las rocas, de las estructuras y de las formas); y 4) geometría del relieve por clases (parámetros morfométricos principales por unidad) (Meijerink, 1988; Tapia-Varela y López-Blanco, 1998).

El procedimiento para la delimitación de las unidades morfogenéticas (UM) está basado en tres fases fundamentales (Figura 2): 1) recopilación de la información; 2) interpretación, procesamiento y análisis con el SIG; y 3) obtención de los resultados.

Recopilación de la información

En esta fase se recopiló, seleccionó y depuró la información bibliográfica, la cual comprende los antecedentes sobre las características físico-geográficas, la geología, el uso de suelo y la geomorfología del área de estudio. También se consideró la cartografía temática y to-

pográfica a escala 1:250,000 (Tabla 1). Asimismo se integró el conjunto de las once cartas topográficas a escala 1:50,000 del INEGI, que conforman el área de estudio (Tabla 1), con la finalidad de digitalizar y procesar las curvas de nivel en el SIG ILWIS (*The Integrated Land and Water Information System*, Versiones 1.41 MSDOS y 2.1 para Windows, ITC 1993, 1997) y así obtener posteriormente, mediante el modelo digital del terreno, la cartografía de clases geométricas de relieve. Por último, en esta primera fase se obtuvieron las fotografías aéreas pancromáticas a escala 1:75,000, producidas por el INEGI en diciembre de 1993 y febrero de 1994, distribuidas en cinco líneas de vuelo dando un total de 52 fotografías.

Interpretación, delimitación, procesamiento y análisis

Delimitación preliminar de las unidades morfogenéticas generales (UM) a escala 1:250,000

Para la delimitación general de las UM se consideró la base topográfica, la geología y el espaciograma, con el fin de fragmentar el territorio en estudio, inicialmente mediante la identificación del tipo de relieve que caracteriza de mejor forma al conjunto de unidades por delimitar.

Para definir el tipo de relieve correspondiente (general y específico) a esa escala, fue necesario utilizar la base geológica elaborada por de Cserna *et al.* (1988), tomando en cuenta principalmente los límites de las unidades geológicas. El uso del *espaciograma* sirvió para corroborar que las unidades definidas mediante la información topográfica y geológica fueran correctas, esto a partir de observar las tonalidades de color dominantes dentro del compuesto en color de las imágenes de satélite, con las cuales se construyó dicho espaciograma.

Introducción y procesamiento de la información en el SIG

La información de las cartas temáticas, como las geológicas de INEGI (1983) y de Cserna *et al.* (1988) se digitalizaron en el SIG, al igual que la información antecedente. Se consideraron tres variables que caracterizan a la geometría del relieve: pendiente, altitud media, y altura relativa, las cuales proporcionan la información numérica más útil para cubrir el factor geomorfológico clase geométrica del relieve. De la cartografía topográfica a escala 1:50,000, se digitalizaron tanto las curvas de nivel con equidistancia a cada 100 m y 50 m (curvas maestras), como las de 10 y 20 m, respectivamente, según fuera el caso. Con esta información se elaboró el modelo

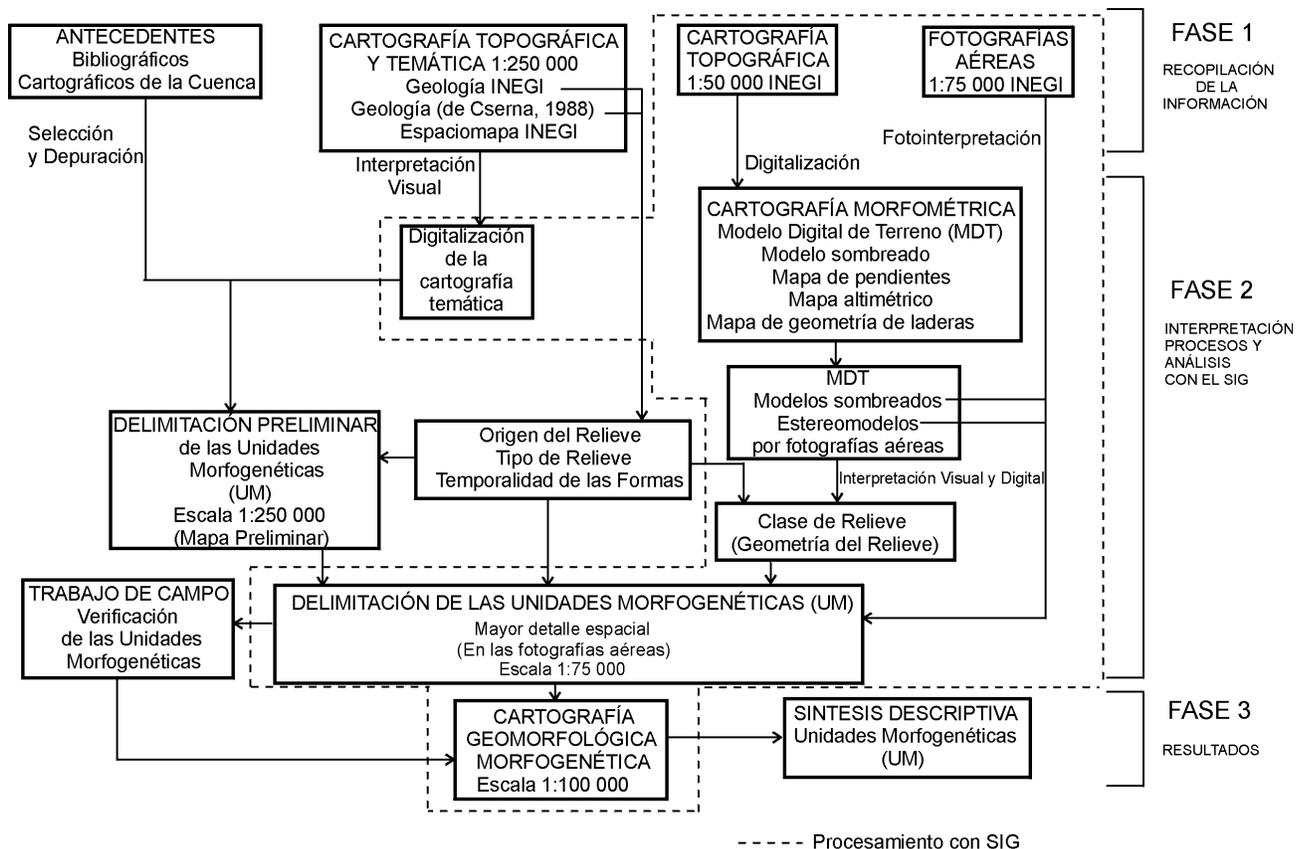


Figura 2. Diagrama metodológico para la realización de la cartografía de las unidades morfogenéticas de la porción central de la Cuenca de México.

Tabla 1. Mapas topográficos y temáticos empleados para la delimitación de las unidades morfogénicas de la porción central de la Cuenca de México.

NOMBRE DEL MAPA	TEMA	FUENTE	AÑO	ESCALA
Ciudad de México	Topografía, Geología y Espaciomapa	INEGI y SPP	1981, 1983, 1995	1:250,000
Ciudad de México y regiones circundantes	Geología	de Cserna <i>et al.</i>	1988	1:250,000
Mapa geológico del Volcán Iztaccíhuatl	Geología	Nixon	1989	1:50,000
Nuevo mapa geológico de las Cuencas de México, Toluca y Puebla	Geología	Mooser <i>et al.</i>	1996	1:100,000
Tizayuca, Texcoco, Chalco, Amecameca, Ciudad Sahagún, Apan, Mariano Arista, Huejotzingo, Cuautitlán, Ciudad de México y Milpa Alta.	Topografía	CETENAL, INEGI, SPP	1973 a 1995	1:50,000

digital de terreno (MDT) con una resolución espacial de 25 m de tamaño de celda.

Con el MDT se obtuvo el mapa de relieve sombreado, el cual muestra las diferencias de iluminación del terreno, generadas por una luz virtual incidente, con cierto ángulo azimutal de orientación y un ángulo vertical constante (Robinson *et al.*, 1995). Para generar el mapa de pendientes se tomó como base el MDT mencionado. Para la estimación de la pendiente en formato de celdas, se requiere conocer la distancia altitudinal entre dos píxeles, esto a partir de aplicar los filtros correspondientes al MDT. Dado que la distancia entre los centros de las celdas es conocido, la aplicación de las funciones trigonométricas en el SIG, permiten conocer la inclinación de la celda correspondiente a un cuadro de terreno (Palacio-Prieto y Luna-González, 1993). Los valores del mapa de pendientes se reclasificaron en intervalos, tomando como referencia base la división de siete clases que realizaron Van Zuidam y Van Zuidam (1979), intervalos que van de acuerdo con los procesos geomorfológicos potenciales y con las condiciones generales del terreno.

Para la construcción del mapa altimétrico, el MDT fue reclasificado en 10 intervalos altitudinales, considerando la altitud máxima (5,300 m) y la mínima (2,100 m), con la finalidad de cubrir todos los intervalos de valor entre esas dos altitudes.

Fotointerpretación de las unidades morfogénicas en fotografías aéreas a escala 1:75,000

La fotointerpretación geomorfológica se llevó a cabo con los pares estereoscópicos previamente escogidos, trazando en ellos los límites de cada UM, considerando algunos rasgos del relieve que sirvieran para definir y diferenciar cada tipo, tales como: las rupturas de pendiente, el uso de suelo, la cobertura vegetal, la altura relativa (tomada de la base topográfica digital), la presencia de cambios litológicos (tono, patrón, textura, tamaño, etc.), la densidad de drenaje, la posición y forma topográfica

de cada UM (dómica, cónica, etc.), los rasgos disyuntivos lineales del relieve (fallas y fracturas) y la bases geológicas a escalas 1:250,000 y 1:100,000.

Primeramente se realizó una delimitación de los cuatro grandes tipos de relieve: 1) Laderas montañosas, 2) Lomeríos, 3) Piedemontes y 4) Planicies. Posteriormente estas UM generales se subdividieron considerando sus orígenes (general y específico), litología y geometría del relieve.

Para diferenciar a las UM de laderas montañosas, se tomó como condición primaria que su altura relativa fuese mayor a los 200 m, además muy importante fue la presencia de los rasgos disyuntivos, la ruptura de la pendiente, la cobertura vegetal, etc. (Figura 3). Para diferenciar a las UM de lomeríos se consideró también, como condición primaria, que su altura relativa fuese menor a los 200 m, usando como referencia básica para ello los valores leídos en el MDT. También se tomó en cuenta que la forma de las UM pudiesen seguir un patrón dómico, de flujos lávicos o de conos volcánicos (en la gran mayoría), por lo que al observarlos en las fotografías ya se tenía un conocimiento previo de que podrían ser clasificados como ese tipo de relieve (Figura 3).

Para delimitar las UM de piedemontes, primeramente se reconocieron en las fotografías aéreas aquellas superficies en donde se presentasen las características que los conforman, como el depósito y acumulación de material, y las rupturas de pendiente. Otros factores útiles fueron la escasez de cobertura vegetal natural, que se manifiesta como un cambio del original a un uso del suelo agrícola y urbano, y con menor importancia la densidad y el patrón del drenaje.

La delimitación de las UM de planicies fue más sencilla, debido a su característica expresión tridimensional poco cambiante en el modelo estereoscópico. Los elementos más importantes que se consideraron fueron el uso del suelo (agrícola y urbano), el cambio de pendiente, y en algunos casos se recurrió a la base geológica a escala 1:250,000, con la finalidad de corroborar que di-

chas UM siguieran un patrón semejante al de esa base cartográfica, con relación a la presencia de los depósitos aluviales y lacustres. Para el caso específico de las planicies lacustres, se consideraron los criterios de delimitación para las planicies en general, además del uso del suelo y el moteado característico que se presenta debido a las concentraciones de sales en la superficie del suelo.

El criterio empleado para la subdivisión de las UM de laderas montañosas en Altas, Medias y Bajas, fue el de posición topográfica y no por altura relativa. Otra de las subdivisiones dentro de esas mismas UM, fueron las laderas montañosas en superficies tectonizadas (Figura 3). Se empleó este término para diferenciar lo peculiar de estas UM, ya que se localizan en una superficie que se encuentra tectónicamente activa, evidenciada por la presencia de gran cantidad de disyunciones, las cuales originan la manifestación de varios pisos altitudinales.

El criterio de altura relativa fue empleado para separar a los diferentes tipos de lomeríos. Los Lomeríos Altos con alturas entre 150 y menores a 200 m. Los Lo-

meríos Medios entre 100 y menores a 150 m, finalmente los Lomeríos Bajos entre 50 y menores a 100 m. Para diferenciar cada lomerío se consultaba la base topográfica digital (MDT), además de considerar su posición y prominencia dentro del modelo estereoscópico.

Un conjunto de UM peculiares, dentro del tipo de los Lomeríos, fue el de los lomeríos sobre superficies tectonizadas, los cuales se diferenciaron por estar sobre áreas que presentan mayor cantidad de disyunciones, comparadas con respecto al resto de las áreas, lo cual evidencia mayor actividad tectónica actual. Dichas disyunciones presentan preferentemente movimientos verticales, lo que ha ocasionado que los conos cineríticos, los domos y algunos flujos lávicos se presenten en muchos casos sobre dichas superficies tectonizadas (Figura 3).

Dentro de las subdivisiones de las UM de piedemontes, destacan los piedemontes de flujos laháricos, delimitados así debido a que su origen está dado por eventos individuales de esos flujos. Asimismo se empleó el delimitados así debido a que su origen está dado por

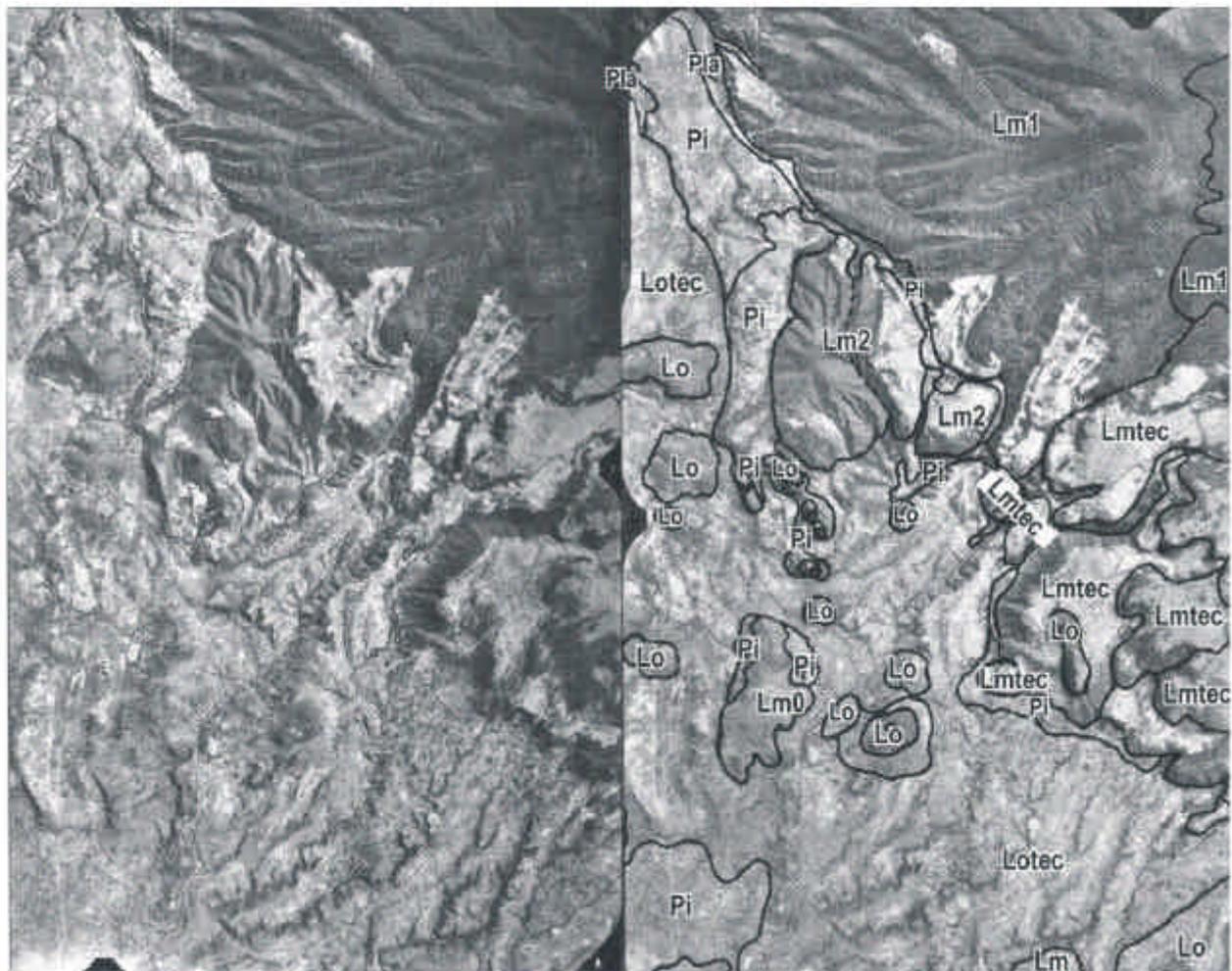


Figura 3. Par estereoscópico de fotografías aéreas, a escala 1:75,000, que muestra algunos de los trazos y claves de delimitación de las UM. Nota: úsese estereoscopio de bolsillo para su observación. Abreviaturas definidas al reverso de la Lámina 1.

eventos individuales de esos flujos. Asimismo se empleó el criterio de posición topográfica para diferenciar porciones en el interior de algunos piedemontes extensos (Alto y Bajo). Otra subdivisión son los piedemontes de lomeríos o *pie-de-lomeríos*, estas unidades se consideraron así por ser áreas acumulativas dentro de los lomeríos y por tener una superficie cartografiable notable a la escala del análisis.

Asimismo fue posible delimitar Piedemontes bajos ondulados y no ondulados. El primero de ellos por la presencia de coladas de lava que se sobrepusieron a un piedemonte antecedente, ocasionando una serie de ondulaciones características. Mientras que el segundo se diferenció así, por no presentar las ondulaciones como los anteriores, pero sí por encontrarse concatenados a los primeros.

También se delimitaron unidades mixtas o complejas (Ver Meijerink, 1988), como las UM de piedemonte intercalado con lomeríos, Piedemonte local asociado a las márgenes de las laderas montañosas sobre superficies tectonizadas, Piedemonte local intermontano, Piedemontes formados por abanicos aluviales volcánicos, etc.

Las planicies aluviales fueron diferenciadas considerando el uso del suelo (agrícola y urbano) y su cambio de pendiente con respecto a la de los piedemontes. También se delimitaron planicies aluviales onduladas, por presentarse como superficies con alternancia de elevaciones suaves y depresiones de poca inclinación, ocupadas por valles poco profundos (Lugo-Hubp, 1989). También se delimitaron algunas planicies aluviales locales intermontanas.

Una vez terminada la fotointerpretación geomorfológica y obtenidos los límites de las UM, agrupadas en 26 categorías de relieve, las cuales a su vez se dividieron en 64 subgrupos y todas ellas compuestas en total por más de 500 polígonos (UM), se transfirieron a un medio cartográfico en el SIG. Para realizar la transferencia fue necesario elaborar mapas estereoscópicos de relieve sombreado de la parte correspondiente a cada fotografía aérea interpretada (26 en total). Se realizaron los MDT de cada una de ellas, con base en el mismo procedimiento que se realizó para el MDT general, asimismo se elaboraron los mapas de relieve sombreado individuales.

Con los MDT y los mapas de relieve sombreado individuales, se crearon los mapas estereoscópicos, mediante una función específica dentro del SIG (*stpair*), la cual genera una conjunción de dos vistas concatenadas del mapa de relieve sombreado, cada una de ellas desplegada en la pantalla con un color primario (verde y rojo), de tal manera que al usar los anaglifos son separadas las dos vistas del mismo objeto por cada uno de los dos filtros, generando la visión estereoscópica. Con la ayuda de los mapas estereoscópicos mencionados, usando los anaglifos y digitalizando en pantalla, se fueron transfiriendo las UM de cada una de las fotografías aéreas interpreta-

das (Figura 4).¹

En algunos casos, durante la transferencia al SIG de las UM de planicies aluviales y lacustres, se presentaron dificultades debido a que este tipo de relieve presenta muy poca prominencia, por lo que al observarlas en los mapas estereoscópicos del relieve sombreado, era difícil distinguir algún rasgo que permitiera identificar el límite de cada una de las UM. Finalmente se optó por transferir directamente de las fotografías aéreas, digitalizando los límites y empleando para ello algunos puntos de control con coordenadas UTM en metros, tomando como base la cartografía topográfica a escala 1:50,000 del INEGI.

Una fase posterior fue la caracterización de cada UM con relación a la temporalidad de las rocas, estructuras y formas, asimismo de la dase geométrica del relieve. Finalmente, se cruzaron en el SIG el mapa final de las unidades morfogénicas con cada uno de los mapas de clases de relieve (pendiente, altura relativa y altitud). Este procedimiento permitió establecer los atributos dominantes dentro del área de cada subgrupo de UM.

Una vez obtenidas las tablas resultantes de los cruzamientos mencionados, los datos se organizaron y generalizaron en una hoja electrónica de cálculo. Con la finalidad de poder simplificar los resultados anteriormente citados y presentar un análisis más completo e ilustrativo de la geometría del relieve, se realizaron gráficas que muestran los parámetros morfométricos promedio más importantes para cada UM. Finalmente se realizó la descripción y el análisis interpretativo de cada grupo de UM. Dentro de la fase de verificación de la delimitación de las unidades morfogénicas, se realizaron salidas de campo con el objetivo de confirmar la fotointerpretación geomorfológica.

RESULTADOS

El resultado principal de este trabajo es el mapa de unidades morfogénicas de la porción central de la Cuenca de México, editado originalmente a escala 1:100,000 (Lámina 1). Las UM se han representado con sus claves y con una diversidad de colores, cada uno de los cuales agrupa a un conjunto de ellas (64 subgrupos en total). Los colores empleados para simbolizar a cada subgrupo de UM corresponden con las recomendaciones generales para la representación de ese tipo de mapas. Individualmente, esos colores tratan de separar gráficamente a un subgrupo de UM con respecto a otro que es conformado por unidades adyacentes. Con la finalidad de obtener más información de cada una de las UM que conforman el relieve de gran parte de la Cuenca de México se ha incluido, al reverso del Mapa de Unidades Morfogénicas, un cuadro explicativo para cada uno de los 64 subgrupos de unidades, delimitados de acuerdo a la metodología propuesta en este trabajo y

¹Nota: para poder observar esta figura, utilizar los anaglifos que se encuentran en cada ejemplar.

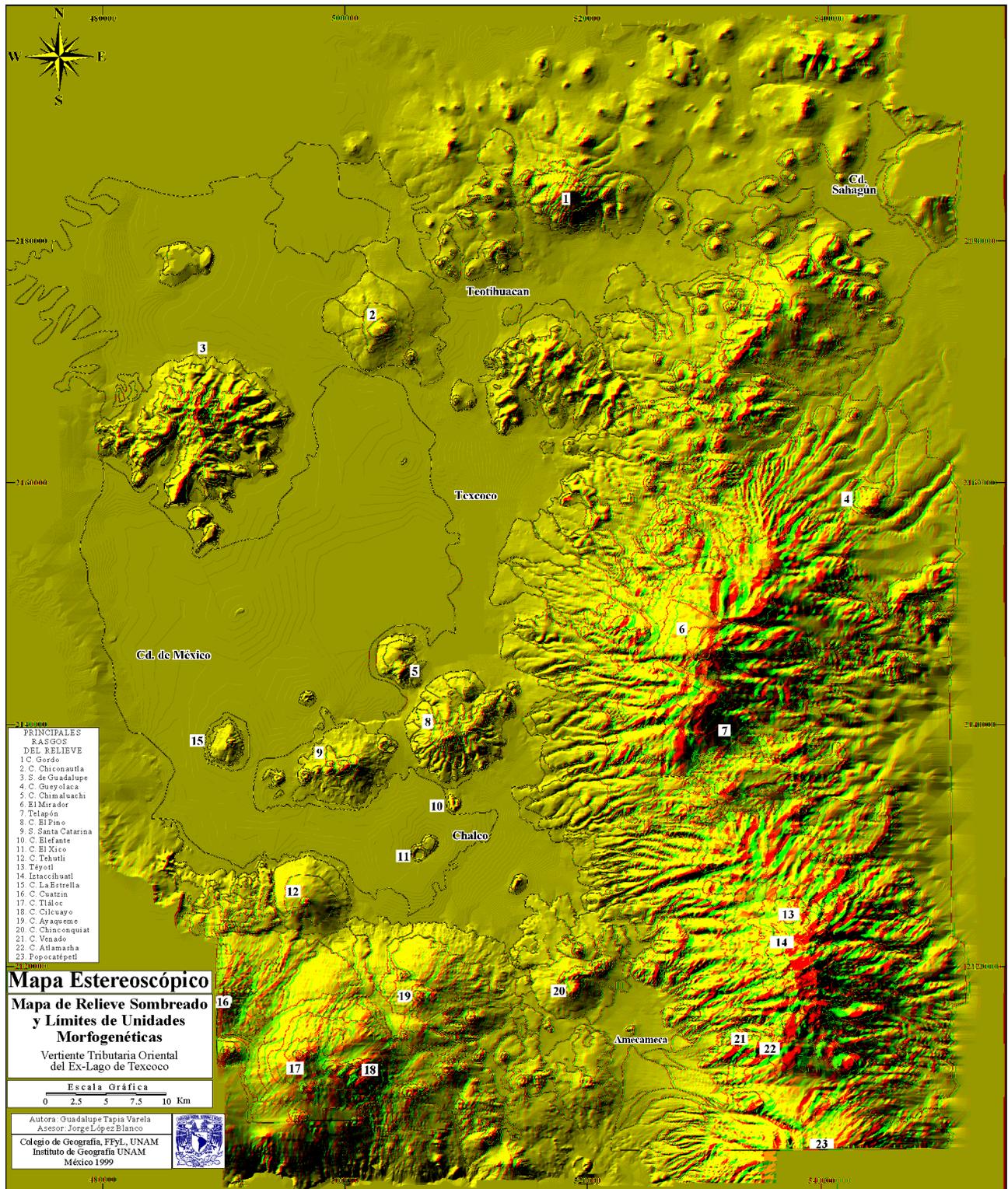


Figura 4. Mapa estereoscópico del área de estudio. Se han señalado los límites de las UM individuales y las prominencias del relieve más notables. Para su observación adecuada se deben usar *anaglifsos* (el filtro verde (o azul) en el ojo derecho y el filtro rojo en el ojo izquierdo).

tomando en cuenta, origen, tipo, edad, litología y clases geométricas del relieve (Lámina 1).

A partir del análisis de las características de los aspectos fundamentales tomados en cuenta para la delimitación de las unidades morfogénicas, asimismo mediante la integración de la información geológica para cada UM, fue posible realizar una síntesis descriptiva por grupos de unidades y por cobertura principal.

De las UM representadas en el mapa de unidades morfogénicas, el 21% del área de estudio corresponde a las planicies aluviales con origen exógeno acumulativo del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno). Ellas están distribuidas ampliamente y se componen de material acumulativo aluvial y por otros depósitos de ladera, originados por procesos gravitacionales y fluviales. Asimismo, algunas de ellas se caracterizan por estar formadas por depósitos de lahar retrabajados, y por secuencias piroclásticas de caída y de flujo, asimismo de tobas eólicas y brechas de pómez. Algunas de estas planicies presentan en su superficie costras de caliche, lo cual es evidencia de la presencia actual del nivel freático somero y de su relación con la antigua influencia lacustre en muchas de ellas. Una síntesis de los cuatro aspectos fundamentales considerados para la delimitación y caracterización de las diferentes planicies aluviales en el área de estudio se encuentra en el reverso de la Lámina 1.

Además de estar compuestas principalmente de materiales aluviales, las planicies aluviales presentan en parte otros tipos de depósitos, como los de ladera, originados por procesos gravitacionales y fluviales (Lugo-Hubp, 1984). También se presentan planicies con cobertura e intercalaciones de materiales coluviales, detritos rocosos acumulados al pie de las laderas empinadas, etc. Estas planicies se localizaron principalmente al pie de la Sierra Nevada.

Algunas de las planicies aluviales presentan un cierto dominio de coberturas de materiales de textura fina, proluviales acumulativos, sobre todo en los abanicos formados en la desembocadura de los ríos montañosos. Este tipo de planicies se localizan principalmente al frente de la Sierra Nevada, de la Sierra de Río Frío y al oriente de la localidad de Amecameca. En general presentan valores de pendientes de 0° a 4°, altitudes medias entre 2,260 a 2,300 msnm y alturas relativas medias cercanas a los 40 m.

Un 19% del área es de UM de piedemontes. Estos se distinguen principalmente por presentar un origen exógeno acumulativo (en algunos casos denudatorio y tectonizado) del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno), y estar compuestos de lavas, tobas, cenizas y depósitos epiclásticos y piroclásticos de flujo; algunos de ellos presentan forma de abanico con una composición de basalto y basalto-andesítica (de Cserna *et al.*, 1988; Mooser *et al.*, 1996). Estos piedemontes se localizan al norte, centro noroeste, centro sur y sur del área de estudio (Ver el cuadro explicativo al reverso de la Lámina 1).

También se caracterizan por presentar tectonismo activo que se manifiesta por la presencia de fallas con orientación oeste-este, con trayectoria curvilínea. Presentan pendientes que varían en promedio de 0° a 6°, con altitudes medias de 2,500 a 2,740 msnm y alturas relativas cercanas a los 360 m.

Las laderas de montaña ocupan un 17% del área total. Las más representativas se localizan al norte, noreste y este del área de estudio (Lámina 1). Presentan un origen endógeno volcánico (muy tectonizado) del Terciario superior-Cuaternario (Plioceno, Plioceno-Cuaternario y Plioceno-Pleistoceno). Se encuentran formadas principalmente de domos, conos volcánicos y derrames de lava. Presentan rocas básicas e intermedias del tipo fenobasálticas, de lavas andesíticas, dacíticas, riódacíticas y tobas con material piroclástico de flujo y de caída (de Cserna *et al.*, 1988; Mooser *et al.*, 1996). Presentan crestas agudas y superficies cumbrales redondeadas. Registran una pendiente dominante de 4° a 16°, una altitud media de 2,740 a 2,940 msnm y una altura relativa dominante de 460 m.

Al 15% del área le corresponde las UM de planicies lacustres, las cuales tienen un origen exógeno acumulativo del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno). Se componen de sedimentos lacustres que provienen de los depósitos piroclásticos de las explosiones recientes de los volcanes cuaternarios que se localizan tanto dentro de la Cuenca de México como de las cuencas vecinas, y del acarreo que produce el agua de los cauces de montaña.

Estas UM presentan una concentración de sedimentos clásticos y productos piroclásticos de caída, relacionados con la actividad volcánica del estratovolcán Popocatepetl y de la Sierra de Chichinautzin, los cuales se depositaron en un ambiente lacustre (Vázquez-Selem, 1989). Esta unidad presenta pendientes dominantes que varían entre 0° y 2°, una altura relativa media de 40 m y una altitud media de 2,260-2,300 msnm.

Finalmente y considerando la importancia de cubrimiento dentro del área de estudio, se encuentran las UM de lomeríos, los cuales cubren un 7% del área total. Son de origen endógeno volcánico y endógeno volcánico modelado (tectonizado y denudatorio) del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno). Estas UM se localizan al norte, noroeste, noreste, este, centro y sur del área de estudio. Todas ellas presentan las características litológicas dominantes de tobas, cenizas y depósitos piroclásticos de flujo y de caída, compuestos de rocas básicas e intermedias del tipo basálticas y basáltico-andesíticas (de Cserna *et al.*, 1988; Mooser *et al.*, 1996).

También se caracterizan por presentar estructuras disyuntivas que se han generado por los movimientos tectónicos actuales (fallas con una orientación principal este-oeste). Registran una clase geométrica con pendientes que van de los 0° a 10°, una altitud media de 2,420 a 2,580 msnm y una altura relativa promedio de 160 m (Ver cuadro explicativo al reverso de la Lámina 1).

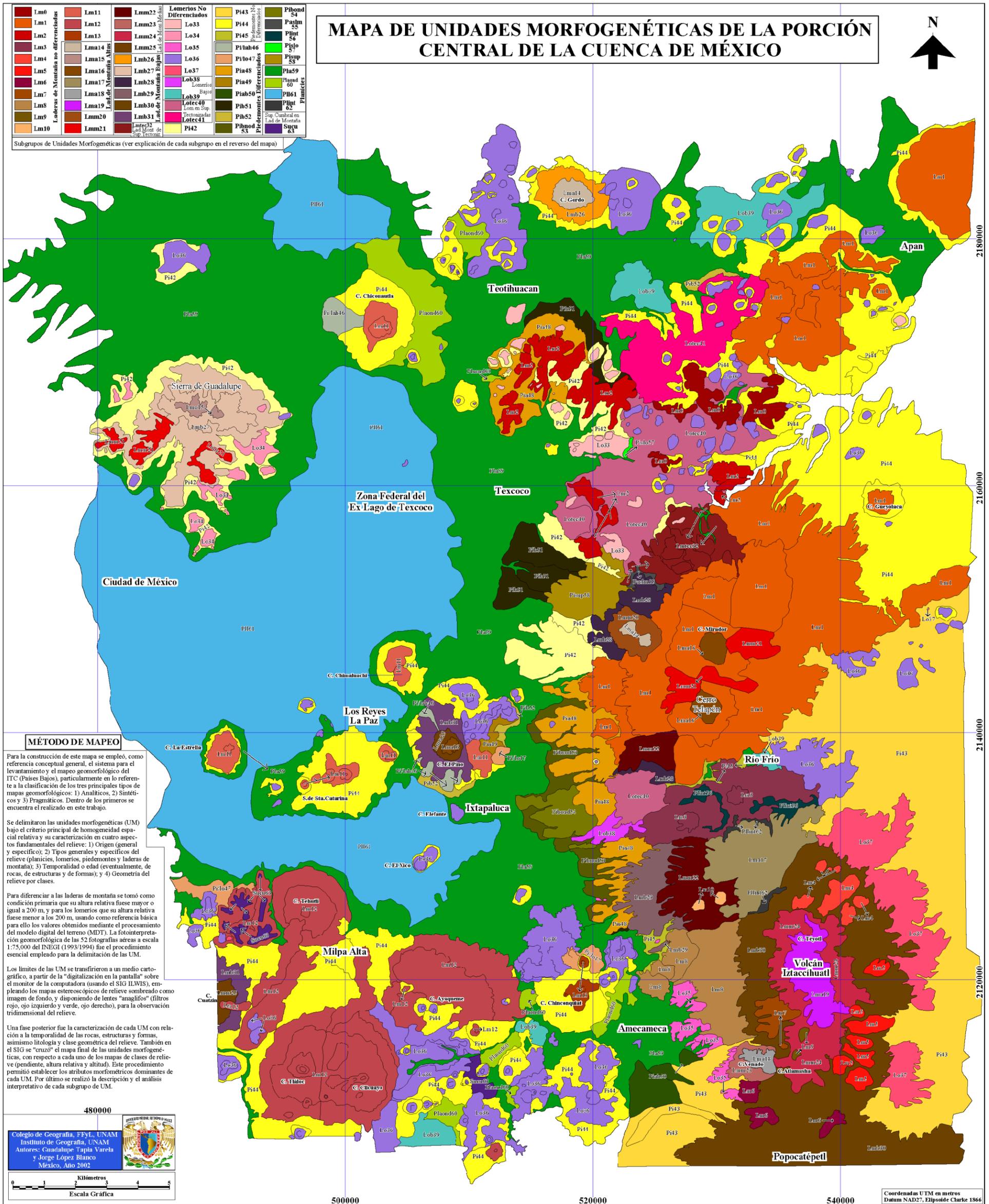


Lámina 1. Mapa de Unidades Morfogénicas de la porción central de la Cuenca de México. La escala original de impresión fue 1:100,000.

CUADRO EXPLICATIVO DE LAS UNIDADES MORFOGENÉTICAS DE LA PORCIÓN CENTRAL DE LA CUENCA DE MÉXICO

Origen del relieve	Tipo de relieve	Edad	Litología	Clases de relieve*
Endógeno Volcánico Modelado (Denudatorio y tectonizado)	Laderas Montañosas 0 (Lm0)	Plioceno	Flujos piroclásticos y basalto.	4-16°, 2740-2940 m, 360 m
Endógeno Volcánico muy tectonizado	Laderas Montañosas 1 (Lm1)	Plioceno - Pleistoceno	Rocas básicas e intermedias y flujos piroclásticos .	4-14°, 2700-3160 m, 460 m
	Laderas Montañosas 11 (Lm11)	Pleistoceno-Holoceno	Andesita, andesita-basáltica y flujos piroclásticos.	4-22°, 2340-3460 m, 320 m
	Laderas Montañosas 2 (Lm2)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas ácidas e intermedias y flujos piroclásticos.	4-16°, 2420-2580 m, 320 m
	Laderas Montañosas 3 (Lm3)		Derrames dacítico o andesítico y flujos piroclásticos.	4-12°, 3200-3360 m, 280 m
Endógeno Volcánico Tectoniz.	Laderas Montañosas 8 (Lm8)	Pleistoceno	Derrames lávicos de andesita y dacita y flujos piroclásticos.	4-24°, 3020-3240 m, 620 m
	Laderas Montañosas 10 (Lm10)		Derrames lávicos y material piroclástico.	8-22°, 3200-3320 m, 460 m
	Laderas Montañosas 12 (Lm12)	Pleistoceno y Holoceno	Coladas de lava de andesita-basáltica, basalto, andesita y dacita y fluj. piroclást.	4-14°, 2420-2540 m, 320 m
Endógeno Volcánico (Modelado glacial y muy tectonizado)	Laderas Montañosas 4 (Lm4)		Derrames riódacíticos, de andesita y dacita y flujos piroclásticos.	6-20°, 3600-3720 m, 440 m
	Laderas Montañosas 5 (Lm5)	Pleistoceno	Derrames lávicos de andesita y dacita y flujos piroclásticos	12-26°, 3560-3760 m, 360 m
	Laderas Montañosas 6 (Lm6)		Rocas volcánicas de andesita y dacita y flujos piroclásticos.	12-20°, 3020-3240 m, 300 m
Endógeno Volcánico (Modelado glacial y muy tectonizado)	Laderas Montañosas 7 (Lm7)	Pleistoceno	Derrames lávicos de andesita y dacita y flujos piroclásticos.	8-26°, 3800-3920 m, 480 m
	Laderas Montañosas 9 (Lm9)		Derrames de andesita-basáltica y andesita y flujos piroclásticos.	4-26°, 3920-4040 m, 280 m
Endóg.Volc.(Tectoniz. denudat.)	Laderas Montañosas 13 (Lm13)	Pleistoceno y Holoceno	Derrames de lava y ceniza basáltica o basáltica-andesítica, y flujos piroclásticos.	4-24°, 2660-2780 m, 360 m
Endógeno Volcánico Modelado (Denudatorio y tectonizado)	Laderas Montañosas Altas 14 (Lma14)	Terciario	Derrames de lava de andesita-basáltica a andesita, traquiandesita y dacita y flujos piroclásticos.	6-16°, 2860-3020 m, 260 m
Endógeno Volcánico Denudatorio	Lad. Montañ. Altas 15 (Lma15)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas andesítica, riódacítica y dacítica y flujos piroclásticos.	20-34°, 2780-2900 m, 320 m
	Lad. Montañ. Altas 16 (Lma16)		Rocas basáltica o basáltica-andesítica y flujos piroclásticos.	6-16°, 3880-4000 m, 320 m
Endógeno Volcán. Muy tectoniz.	Lad. Montañ. Altas 17 (Lma17)	Pleistoceno	Derrames lávicos de andesita, riódacita y dacita y flujos piroclásticos.	4-22°, 3480-3600 m, 240 m
Endógeno Volcánico (Modelado glacial, muy tectonizado)	Lad. Montañ. Altas 18 (Lma18)	Pleistoceno	Derrames lávicos de andesita y dacita y flujos piroclásticos.	28-40°, 3560-3720 m, 320 m
	Laderas Montañ. Altas 19 (Lma19)	Pleistoceno y Holoceno	Derrames lávicos de andesita y dacita y flujos piroclásticos.	18-28°, 4520->4600 m, 240m
Endóg.Volcán.Model y Denudat.	Lad. Montañ. Medias 20 (Lmm20)	Terciario	Andesita-basáltica a andesita, traquiandesita y dacita y flujos piroclásticos .	8-18°, 2980-3120 m, 300 m
Endóg.Volc.(muy tect. y denud.)	Lad. Montañ. Medias 21 (Lmm21)	Plioceno-Pleistoceno	Andesita, riódacita y dacita y flujos piroclásticos.	6-14°, 3600-3760 m, 280 m
Endóg. Volcánico muy tectoniz.	Lad. Montañ. Medias 22 (Lmm22)	Pleistoceno	Derrames lávicos de andesita y dacita y flujos piroclásticos.	6-14°, 2900-3040 m, 340 m
Endógeno Volcánico (Modelado glacial y muy tectonizado)	Laderas Montañosas Medias 23 (Lmm23)	Pleistoceno	Derrames lávicos de andesita y dacita y flujos piroclásticos.	20-44°, 3200-3320 m, 240 m
Endógeno Volcánico (Modelado glacial y muy tectonizado)	Laderas Montañosas Medias 24 (Lmm24)	Pleistoceno y Holoceno	Derrames lávicos de andesita y dacita, derrames de andesita basáltica y andesita. Con flujos piroclásticos.	8-16°, 3800-3960 m, 320 m,
Endóg.Volcán.Mod.muy tectoniz.	Lad. Montañ. Medias 25 (Lmm25)	Pleistoceno y Holoceno	Rocas básicas e intermedias y flujos piroclásticos .	4-14°, 2540-2660 m, 240 m
Endógeno Volcánico Modelado (Tectonizado y denudatorio)	Laderas Montañosas Bajas 26 (Lmb26)	Plioceno-Pleistoceno	Derrames de lava de andesita-basáltica a andesita, traquiandesita y dacita y flujos piroclásticos.	8-22°, 2620-2740 m, 280 m
Endógeno Volcánico Tectoniz.	Lad. Montañ. Bajas 27 (Lmb27)	Plioceno-Pleistoceno	Derrames de lava de andesita, riódacita y dacita y flujos piroclásticos.	8-16°, 2380-2500 m, 280 m
	Lad. Montañ. Bajas 28 (Lmb28)		Depósitos laháricos con capas de pómez, y flujos piroclásticos.	4-14°, 2820-2980 m, 300 m
Endógeno Volcánico Modelado Muy tectonizado	Laderas Montañosas Bajas 29 (Lmb29)	Pleistoceno	Derrames lávicos de andesita y dacita, brechas volcánicas epiclásticas, depósitos glaciofluviales y turba, grava, aluvión de origen volcanoclástico y capas de loess.	4-14°, 2500-2660 m, 360 m
Endógeno Volcánico (Modelado glacial y muy tectonizado)	Laderas Montañosas Bajas 30 (Lmb30)	Pleistoceno y Holoceno	Derrames de dacita, derrames lávicos de andesita y dacita, depósitos glaciofluviales y turba, arena, grava, aluvión de origen volcanoclástico y pómez.	4-14°, 3600-3760 m, 240 m
Endógeno Volcánico Modelado (Denudatorio y muy tectonizado)	Laderas Montañosas Bajas 31 (Lmb31)	Pleistoceno y Holoceno	Andesita-basáltica, basalto y dacita y flujos piroclásticos.	4-16°, 2380-2500 m, 280 m
Endógeno Volcánico Modelado (Denudatorio y muy tectonizado)	Laderas Montañosas de Superf. Tectonizada (Lmtec1 a 5-32)	Terciario Superior	Rocas volcánicas epiclásticas y flujos piroclásticos.	4-14°, 2700-3120 m y 3020-3400 m, va de 220 a 280 m
Endógeno Volcánico Modelado	Superficie Cumbrial 63 en Lad. Montañosas 12 (Supcum63)	Pleistoceno y Holoceno	Flujos lávicos, ceniza, depósitos epiclásticos, rocas básicas e intermedias y flujos piroclásticos.	0-8°, 2580-2700 m, 280 m
Endógeno Volcánico y Volc. Model. (Tectoniz. y Denudatorio)	Lomeríos 33 (Lo33)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas epiclásticas, ácidas e intermedia, y flujos piroclásticos.	0-14°, 2300-2460 m, 160 m
	Lomeríos 36 (Lo36)	Pleistoceno y Holoceno	Rocas básicas e intermedias, tobas, cenizas y depósitos epiclásticos y flujos piroclásticos.	0-10°, 2420-2580 m, 160 m
Endógeno Volcánico y Endógeno Volcánico Modelado (Denudatorio)	Lomeríos 34 (Lo34)	Plioceno-Pleistoceno	En algunos casos de vulcanitas ácidas y en otro de rocas epiclásticas y flujos piroclásticos.	4-16°, 2300-2420 m, 160 m
Endógeno Volcánico y Endógeno Volcánico Modelado (Tectoniz.)	Lomeríos 35 (Lo35)	Pleistoceno y Holoceno	Basalto a dacita, derrames de lava con brecha volcánica epiclástica, til glacial, brecha lahárica y depósitos fluviales interestratificados.	4-14°, 2620-2780 m, 160 m
	Lomeríos 37 (Lo37)		Depósitos glaciofluviales y turba, derrames lávicos andesita y dacita, arena, grava, aluvión de origen volcanoclástico y capas de loess	4-14°, 2900-3080 m, 140 m
Endógeno Volcánico y Volcánico Modelado (Tectonizado)	Lomeríos Bajos 38 (Lob38)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas volcánicas epiclásticas y tobas, flujos piroclásticos, ignimbrita y pómez.	4-10°, 2420-2540 m, 120 m
	Lomeríos Bajos 39 (Lob39)	Pleistoceno y Holoceno	Derrames de lavas, tobas, cenizas y depósitos epiclásticos, vulcanitas básicas e intermedias y flujos piroclásticos.	0-6°, 2460-2580 m, 120 m
Endógeno Volcánico Modelado (Denudatorio y muy tectonizado)	Lomeríos Tectonizados Sobre Superf. Tectoniz. 40 (Lotec40)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas volcánicas epiclásticas y tobas y flujos piroclásticos, ignimbrita y pómez.	0-10°, 2580-2740 m, 160 m
	Lomerío Tectonizado Sobre Superf. Tectonizad 41 (Lotec41)	Pleistoceno y Holoceno	Derrames de lavas, tobas, cenizas y depósitos epiclásticos, vulcanitas básicas e intermedias y flujos piroclásticos.	0-6°, 2500-2620 m, 160 m
Exógeno Acumulativo (Denudatorio)	Piedmontes 42 (Pi42)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas volcánicas epiclásticas, depósitos laháricos de composición intermedia a ácida, tobas, capas de pómez y series clásticas de material andesítico y flujos piroclásticos.	0-10°, 2300-2420 m, 280 m
Exógeno Acumulativo (Denudatorio y tectonizado)	Piedmontes 43 (Pi43)	Pleistoceno y Holoceno	Arena, grava Depósitos glaciofluviales y turba, grava, arena y aluvión de origen volcanoclásticos, pómez y capas de loess.	0-8°, 2500-2660 m, 360 m
	Piedmontes 44 (Pi44)		Compuestos de lavas, tobas, cenizas y depósitos epiclásticos y basalto y basalto-andesítica, y flujos piroclásticos, lahar, tobas, cenizas y pómez.	0-6°, 2500-2740 m, 360 m
Exógeno Acumulativo (Tectonizado)	Piedmontes 45 (Pi45)	Pleistoceno y Holoceno	Depósitos glaciofluviales y turba, grava, arena y aluvión de origen volcanoclástico y capas espesas de loess.	0-6°, 2460-2660 m, 200 m
Exógeno Acumulativo (Denudatorio y muy tectonizado)	Piedmontes de Lahar 46 (Pilah46)	Pleistoceno y Holoceno	Pequeños abanicos de lavas, cenizas, depósitos epiclásticos y laháricos, vulcanitas básicas e intermedias y flujos piroclásticos.	0-10°, 2260-2380 m, 240 m
Exógeno Acumulativo (Denudatorio y tectonizado)	Piedmontes de Lomeríos 47 (Pilo47)	Pleistoceno y Holoceno	Colada de lava, cenizas, depósitos epiclásticos y laháricos, vulcanitas básicas e intermedias y flujos piroclásticos.	0-10°, 2300-2380 m, 320 m
Exógeno Acumulativo (Denudatorio y tectonizado)	Piedmontes Altos 48 (Pia48)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas volcánicas epiclásticas, algunos de ellos contienen depósitos laháricos y pómez, y flujos piroclásticos.	0-10°, 2380-2500 m, 320 m
Exógeno Acumulativo (Denudatorio y muy tectonizado)	Piedmonte Alto 49 (Pia49)	Pleistoceno y Holoceno	Colada de lava, cenizas, depósitos epiclásticos, vulcanitas básicas e intermedias, con flujos piroclásticos.	4-14°, 2340-2460 m, 240 m
Exógeno Acumulativo	Piedmontes formados por abanicos 50 (Piab50)	Pleistoceno y Holoceno	Depósitos glaciofluviales, turba en forma de grava cubierta con tobas eólicas y aluviales y arenas, arenas limosas y arcillas volcánicas.	0-6°, 2500-2580 m, 280 m
Exógeno Acumulativo (Denudatorio)	Piedmontes Bajos 51 (Pib51)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas volcánicas epiclásticas andesítica y tobas, en forma de flujos laháricos y flujos piroclásticos.	0-8°, 2300-2380 m, 240 m
	Piedmontes Bajos 52 (Pib52)	Pleistoceno y Holoceno	Coladas, cenizas, depósitos epiclásticos, vulcanitas básicas e intermedias, con flujos piroclásticos.	0-6°, 2260-2380 m, 240 m
Exógeno Acumulativo (Denudatorio)	Piedmontes Bajos Ondulados 53 (Pibond53)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas volcánicas epiclásticas andesítica y tobas y flujos piroclásticos y pómez.	0-8°, 2300-2420 m, 240m
Exógeno Modelado Acumulativo (Tectonizado)	Piedmontes Bajos Ondulados 54 (Pibond54)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas volcánicas epiclásticas andesítica y tobas, con flujos piroclásticos y pómez.	0-10°, 2300-2420 m, 240 m
Exógeno Acumulativo (Muy tectonizado)	Piedmonte Asociado con Ladera Montañosas 55 (Pasm55)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas volcánicas epiclásticas con flujos piroclásticos.	0-14°, 2780-2940 m, 340 m
Exógeno Acumulativo (Muy tectonizado)	Piedmontes Locales Intermontanos 56 (Pilocint56)	Pleistoceno y Holoceno	Derrames de dacitas, cenizas, depósitos epiclásticos, vulcanitas básicas e intermedias y flujos piroclásticos.	0-8°, 3120-3240 m, 240 m
Exógeno Acumulativo (Tectonizado)	Piedmonte intercalado con Lomeríos 57 (Piso57)	Plioceno-Pleistoceno y Holoceno	Rocas volcánicas epiclásticas, derrames de lava, cenizas, depósitos epiclásticos, vulcanitas básicas e intermedias y flujos piroclásticos.	2-8°, 2460-2500 m, 120 m
Exógeno Modelado Acumulativo (Denudatorio)	Piedmonte Superior 58 (Pisup58)	Plioceno-Pleistoceno	Rocas volcánicas epiclásticas andesítica y tobas incluyendo depósitos laháricos y flujos piroclásticos y pómez.	0-10°, 2500-2620 m, 280 m
Exógeno Acumulativo (Aluvial)	Planicie Aluvial 59 (Pla59)	Pleistoceno y Holoceno	Depósitos clásticos, en su parte inferior de material aluvial y lahárico en forma de grava cubierta con tobas eólicas y aluviales y brechas de pómez que cambian a arenas.	0-4°, 2260-2300 m, 40 m
Exógeno Acumulativo (Aluvial)	Plan. Aluv. Ondul. 60 (Plaond60)	Pleistoceno y Holoceno	Arenas limosas y arcillas volcánicas.	0-6°, 2300-2380 m, 80 m
Exógeno Acumulativo (Lacustre)	Planicie Lacustre 61 (Pila61)	Pleistoceno y Holoceno	Concentración de sedimentos clásticos y productos piroclásticos, los cuales se depositaron en un ambiente lacustre.	0-2°, 2260-2300 m, 40m
Exógeno Acumulativo (Aluvial)	Planicies Locales Intermontanas 62 (Plocint62)	Pleistoceno y Holoceno	Depósitos glaciofluviales y clásticos, material aluvial y lahárico en forma de grava cubierta con tobas eólicas y aluviales y brechas de pómez que cambian a arenas, arcillas volcánicas y capas espesas de loess.	0-6°, 3240-3360 m, 80 m

*Las clases de relieve están señaladas de la siguiente forma: intervalos de pendiente media en grados, de altitud media en m y finalmente intervalo de altura relativa en m.

El porcentaje restante de las unidades morfogénicas se encuentra distribuido entre los subgrupos de UM remanentes. Uno de los resultados más importantes obtenidos mediante la elaboración de la cartografía de este trabajo fue el análisis morfométrico de todas las UM, mediante el cual se obtuvieron las gráficas (Figura 5) de pendiente, altitud y altura relativa promedio.

Para los valores de pendiente media (Figura 5A), los resultados muestran que las UM de laderas de montaña medias (número (#) 23, lmm23), las cuales se localizan al sureste del área de estudio, tienen los valores más elevados ya que varían entre 20° y 44°, siendo de esta forma las UM más abruptas y por lo tanto presentan intensos procesos denudatorios.

Le continúan en importancia las laderas de montaña altas #18 (lma18), con una pendiente dominante entre 28° y 40°, localizadas también en la parte sureste del área, y las laderas de montaña alta #15 (lma15), al noroeste del área de estudio, con una pendiente media de 20° a 34°; ambas UM presentan también procesos denudatorios de diferentes tipos, aunque con menor intensidad que las UM con la clave lmm23.

Por último, de las UM que destacan por sus altos valores de pendiente, en este caso de 18° a 28°, se encuentran las laderas de montaña altas #19 (lma19), las cuales se localizan al sureste del área de estudio. Por su localización geográfica, estas unidades presentan esos valores altos debido principalmente a la influencia que han tenido en sus vertientes los procesos glaciares denudatorios durante el Cuaternario.

En contraste con los datos presentados anteriormente, se encuentran también las UM en donde los valores de pendientes son los más bajos. Las UM más representativas en este sentido son la planicie lacustre #61 (pll61), con una pendiente de 0-2° y la planicie aluvial #59 (pla59), con valores dominantes que varían entre 0° y 4°. Estas UM se localizan en las partes más bajas del área de estudio. Esta propiedad geométrica (pendiente) presenta valores intermedios para el resto de las UM (ver Figura 5A).

Para el caso de la altitud media, los valores más altos que se registran en la gráfica (Figura 5B), al igual que en la de pendientes, son las UM diferenciadas como laderas montañosas en sus diferentes subgrupos. Destacan primeramente las laderas montañosas altas #19

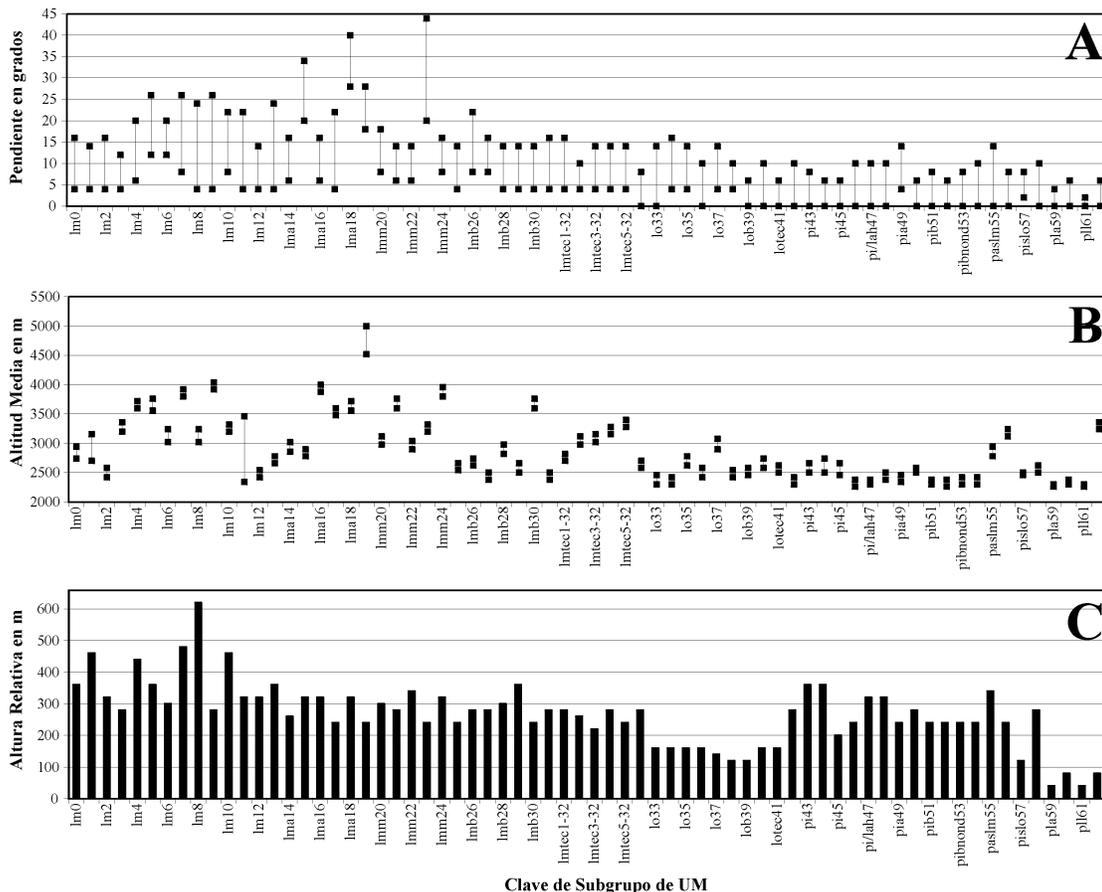


Figura 5. Intervalos de pendiente media (A), de altitud media (B) y de alturas relativas medias (C) para cada uno de los subgrupos de unidades morfogénicas delimitadas.

(Ima19) con valores de 4,520->4,600 msnm, localizadas al sureste del área de estudio (Lámina 1). Le continúan las laderas montañosas #9 (Im9) con un intervalo de 3,920-4,040 msnm también al sureste del área. Posteriormente se encuentran las UM de laderas montañosas altas #16 (Ima16) con una altitud media de 3,880-4,000 msnm, localizadas en la porción central de la Cuenca de México. Las UM de laderas montañosas medias #24 (Imm24) presentan también valores altos de esta variable entre 3,800 a 3,960 msnm. De manera similar a lo observado en los datos de pendiente, las UM de planicies lacustres #61 (Pll61) y planicie aluvial #59 (Pla59) registran el rango de altitud media más bajo, de 2,260-2,300 msnm.

La última variable que caracteriza a la clase geométrica del relieve y que fue considerada para este análisis, es la altura relativa (Figura 5C), en donde las UM con valores más elevados son, al igual que en las otras dos variables, las de laderas montañosas, entre las cuales destacan las laderas montañosas #8 (Im8) con 620 m, localizadas al sureste del área de estudio. Dentro de esa misma área se encuentran las UM de laderas montañosas #7, 10, 1 y 4 (Im7, Im10, Im1 y Im4) con alturas relativas que varían entre 480 m y 440 m.

Al noreste, este, sureste y sur del área de estudio, las UM de laderas montañosas #13 (Im13), laderas montañosas bajas #29 (Imb29), piedemontes # 43 y 44 (pi43 y pi44), registran una altura relativa de 360 m. Esta dimensión de valor sobresale de manera clara en la gráfica correspondiente (Figura 5C).

Los subgrupos representativos de las UM que presentan los valores más bajos de alturas relativas se pueden observar en la Figura 5C. Entre estos subgrupos se encuentran, como se podría esperar y de igual forma que con respecto a las otras dos variables geométricas, las UM de planicies lacustres #61 (Pll61) y de planicies aluviales #59 (Pla59) con 40 m.

CONCLUSIONES

Este trabajo demostró, de una forma clara, la adaptación y aplicación de una metodología fundamentada en términos teóricos para la delimitación de las unidades morfológicas de un amplio territorio (5,297 km² de la porción central de la Cuenca de México), teniendo como información básica de partida las fotografías aéreas a escala 1:75,000, la información topográfica digital proveniente de las cartas a escala 1:50,000 y la cartografía geológica antecedente a escalas 1:100,000 y a 1:250,000. Dicho territorio es de importancia fundamental para la región central de México, dentro de los órdenes tanto ambiental como social y económico.

Los aspectos teóricos establecidos para la clasificación de los tipos de levantamiento y mapeo geomorfológicos, propuestos por Verstappen y Van Zuidam, contribuyeron a la base conceptual de partida para el establecimiento del carácter analítico que deben

tener los mapas geomorfológico morfológicos.

La metodología empleada forma parte de una adaptación, con base en una amplia revisión teórica y conceptual, de las diferentes maneras en que se han realizado los mapeos morfológicos semidetallados. Este trabajo representa un acercamiento y un esfuerzo para buscar establecer los aspectos mínimos del relieve que deben ser considerados con miras a la elaboración de un levantamiento morfológico general y su posterior mapeo. El método propuesto ha permitido una aproximación inicial a la homogeneización, tanto de los criterios y factores a considerar durante la delimitación de las unidades morfológicas, como con respecto a las características mínimas que debe tener la información cuantitativa utilizada. Asimismo admite la posibilidad de integrar y analizar simultáneamente gran cantidad de información, empleando para ello la tecnología de los sistemas de información geográfica.

Las técnicas de fotointerpretación geomorfológica fueron una parte fundamental de la metodología empleada para el desarrollo de este trabajo. A partir de la interpretación de fotografías aéreas pancromáticas, a escala 1:75,000, se delimitaron las UM con trazos definidos, considerando los rasgos de las estructuras disyuntivas (fallas y fracturas), la observación de los cambios en la pendiente del terreno y otros elementos como las tonalidades y las texturas fotográficas.

La técnica de transferencia digital de información de las fotografías aéreas fotointerpretadas a un mapa base, por medio de mapas estereoscópicos de relieve sombreado, es un aporte importante del proceso de creación del mapa de las UM aplicado en este trabajo. Dicha técnica puede ser considerada como herramienta estándar para la elaboración de otros tipos de cartografía geomorfológica y geológica. Para este caso, esa técnica fue útil e innovadora y permitió agilizar la transferencia de los límites de las UM, desde las fotografías aéreas a un medio cartográfico digital. Uno de los problemas que se presentó en esa fase de transferencia, fueron algunas distorsiones de los trazos de los límites de las UM, con respecto a los rasgos dentro del mapa estereoscópico de relieve sombreado, a causa de lo prominente y abrupto del relieve, particularmente en algunas áreas (Cerro Mirador, Cerro Telapón y Volcán Ixtaccíhuatl).

En la actualidad es posible realizar una transferencia más adecuada y simple de los límites de las UM, mediante el uso de otras técnicas incorporadas a una nueva versión del SIG empleado. Con ella se ofrece la posibilidad de hacer la transferencia y corrección en "tiempo real" de los límites de las UM mediante un procedimiento fotogramétrico digital, utilizando las fotografías aéreas escaneadas y el modelo digital de terreno (MDT), digitalizando directamente en pantalla (ITC, 1998, p. 277-81).

A partir de los resultados obtenidos de la cartografía y de la síntesis descriptiva geomorfológica morfológica de las UM, se puede concluir que el área de estudio posee una alta heterogeneidad en términos de

tipo y clase de relieve, sin embargo, a la escala temporal considerada, es homogénea en términos de origen y edad del relieve.

Considerando la extensa amplitud del área evaluada, la delimitación de las UM se puede considerar como generalizada para algunas estructuras volcánicas que sabemos son muy complejas, las cuales requerirían de una aproximación más detallada en términos de escalas espaciales, como en relación a su fragmentación, tomando en cuenta las diversas etapas eruptivas y las sobreposiciones alternadas de los materiales eyectados; esto particularmente se aplica para el volcán Iztaccíhuatl, la Sierra de Guadalupe y la Sierra Nevada. La complejidad mencionada anteriormente se refiere sobre todo a la homogeneización que hemos hecho para el agrupamiento y la síntesis de las UM. Es decir, sabemos que lo que hemos llamado aquí relieve endógeno volcánico de laderas de montaña altas, medias o bajas de diversos tipos de flujos lávicos, al considerarlo en el contexto de una sola entidad volcánica, puede llegar a ser clasificado y fragmentado de manera distinta y más detallada, en un tipo de estudio con otra visión y enfocado en los aspectos cronoestratigráficos. Esto lo decimos con referencia particular a la temporalidad geológica, extensión y volumen del relieve (por ejemplo Iztaccíhuatl vs. Sierra de Guadalupe).

La importancia de este trabajo no sólo estriba en los aportes para una propuesta de desarrollo metodológico y para el conocimiento geomorfológico del área en estudio, sino también porque la idea plasmadas en él, constituyen una base de referencia de unidades cartográficas, para la realización futura de diversas investigaciones relacionadas, particularmente, con la evaluación de los peligros generados por procesos geomorfológicos que pudiesen ocasionar desastres naturales (inundaciones, procesos gravitacionales, etc.), asimismo para el planteamiento de propuestas de recuperación ambiental en las áreas degradadas de esa porción de la Cuenca de México.

Entre algunas de las investigaciones más particulares que se pueden realizar con base en este estudio geomorfológico, y que puedan ayudar a la recuperación ambiental del área de estudio, se encuentran los estudios de erosión, planificación del uso de suelo, estudios de crecimiento de ciudades, etc. Por lo tanto la cartografía morfogenética aquí obtenida, puede ser considerada como uno de los primeros pasos para realizar estudios más específicos, encaminados al diagnóstico y a la planeación ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo económico y logístico del Instituto de Geografía de la UNAM. El trabajo se realizó dentro del proyecto “Sistemas de Información Geográfica para la evaluación periódica y recuperación ambiental de las áreas

degradadas en la Cuenca Tributaria Oriental y Zona Federal del Ex-Lago de Texcoco”, financiado por la Comisión Nacional del Agua del Lago de Texcoco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceves-Quesada, F.J., 1996, Geología y geomorfología del Volcán Nevado de Toluca: México, Universidad Nacional autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis de Maestría. 116 p.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), 1973-1974, Carta topográfica, Tizayuca E14-B11, Escala 1:50,000: México, Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México, 1 mapa.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), 1975, Carta topográfica, Cuautitlán E14-A29, Escala 1:50,000: México, Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 1 mapa.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), 1977, Carta topográfica, Texcoco E14-B21, Escala 1:50,000: México: Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 1 mapa.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), 1980, Carta topográfica, Ciudad de México E14-A39, Escala 1:50,000: México, Secretaría de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 1 mapa.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), 1996, Estudio geofísico-geohidrológico en la zona del Lago Nabor Carrillo, Texcoco, Estado de México: México, Comisión Nacional del Agua, Comisión Federal del Electricidad, Subdirección Técnica, Gerencia de Estudios Geológicos, Departamento de Geofísica, 19 p.
- Cruickshank-García, G., 1995, Proyecto Lago de Texcoco. Rescate hidrológico: México, Comisión Nacional del Agua, 111 p.
- de Cserna, Z., de la Fuente-Duch, M., Palacios-Nieto, M., Triay, L., Mitre-Salazar, L.M., Mota-Palomino, R., 1988, Estructura geológica, gravimétrica, sísmica y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 104, 71 p., 4 mapas.
- de la Vega, E., 1992, Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la Cuenca de México: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 10(1), 26-36.
- Demant, A., Robin, C., 1975, Las fases del vulcanismo en México-una síntesis en relación con la evaluación geodinámica desde el Cretácico: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 7(1), 9-38.
- Food and Agricultural Organization (FAO), 1975, Soil Map of the World: Paris, Food and Agricultural Organization, 1 carta.
- Fries, C., Jr., 1960, Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 60, 236 p.
- García, E., 1988, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república Mexicana: México, García de Miranda, 217 p.
- Guillén-Guerrero, M.A., 1996, Geomorfología de la vertiente occidental del Volcán Iztaccíhuatl: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, Tesis profesional, 180 p.
- Gutiérrez-Valdés, M.A., 1989, Estudio geomorfológico y su relación con la conservación de los recursos naturales en el municipio de Xilotepec de Juárez, Estado de Puebla. Estudio morfométrico y morfodinámico: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, Tesis profesional, 84 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1981, Carta topográfica, Ciudad de México E14-2, Escala 1:250,000: México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1983, Carta edafológica, Ciudad de México E14-2, Escala

- 1: 250,000: México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1983, Carta geológica, Ciudad de México E14-2, Escala 1: 250,000: México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1985, Carta topográfica Milpa Alta, E14-A49, Escala 1: 50,000: México Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1985, Carta topográfica Chalco, E14-B31, Escala 1: 50,000: México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1990, Carta topográfica Amecameca E14-B41, Escala 1: 50,000: México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1995, Carta topográfica, Ciudad Sahagún E14-B12, Escala 1: 50,000: México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1995, Carta topográfica, Huejotzingo E14-B42, Escala 1: 50,000: México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1995, Espaciograma, Ciudad de México E14-2, Escala 1: 25,000: México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1 carta.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1990, XI censo general de población y vivienda. Síntesis de resultados. Estado de México: México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 228 p.
- International Institute for Aerospace Survey and Earth (ITC), 1993, The integrated land and water information system ILWIS Version 1.4, User's Manual, First edition: Enschede, The Netherlands, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 412 p.
- International Institute for Aerospace Survey and Earth (ITC), 1997, The integrated land and water information system ILWIS Version 2.1 for Windows, User's Manual, First edition: Enschede, The Netherlands, Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 412 p.
- International Institute for Aerospace Survey and Earth (ITC), 1998, The integrated land and water information system ILWIS Version 2.2 for Windows, User's Manual, First edition: Enschede, The Netherlands, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, p. 277-281.
- Ledezma-Guerrero, O., 1985 (1987), Hoja Calpulalpan 14Q-h(3), con resumen de la geología de la hoja Calpulalpan, estados de Hidalgo, México y Tlaxcala: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, UNAM. Carta Geológica de México, Serie de 1:100,000, 1 mapa con secciones y texto, 12 p.
- Lugo-Hubp, J.I., 1984, Geomorfología del sur de la Cuenca de México: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Serie varia, 1(8), 98 p.
- Lugo-Hubp, J.I., 1989, Diccionario geomorfológico, con equivalentes de los términos de uso más común en alemán, francés, inglés y ruso: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía; Coordinación de Ciencias, 337 p.
- Lugo-Hubp, J.I., 1991, Elementos de geomorfología aplicada. Métodos cartográficos: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 109 p.
- Meijerink, A.M.J., 1988, Data acquisition and data capture through terrain mapping units: ITC Journal, 1, 23-44.
- Mooser, F., 1956, Bosquejo geológico del extremo sur de la Cuenca de México, in XX Congreso Geológico Internacional, Guía de Excursión C9: México, Congreso Geológico Internacional, 154 p.
- Mooser, F., 1957, Los ciclos del vulcanismo que formaron la Cuenca de México, in XX Congreso Geológico Internacional, Vulcanología del Cenozoico: México, Congreso Geológico Internacional, 2, 337-348.
- Mooser, F., 1963, Historia tectónica de la Cuenca de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 15, 239-45.
- Mooser, F., 1975, Historia geológica de la Cuenca de México, in Memorias de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal: México, Departamento del Distrito Federal, 1, 9-30.
- Mooser, F., Montiel, A., Zúñiga A., 1996, Nuevo mapa geológico de las Cuencas de México, Toluca y Puebla: estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos: México, Comisión Federal de Electricidad. México, 27 p.
- Negendank, J.F.W., 1972, Volcanics of the Valley of Mexico; part I, Petrography of the volcanics: Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, 116, 308-320.
- Nixon G.T., 1989, The geology of Iztaccihuatl volcano and adjacent areas of the Sierra Nevada and Valley of Mexico: Boulder, Co., Geological Society of America, Special Paper, 219, 58 p., 1 mapa.
- Palacio-Prieto, J.L., Luna González, L., 1993, Sistemas de información geográfica. Introducción al manejo del ILWIS. Versión 1.3: México, Universidad Nacional Autónoma de México, 65 p.
- Robinson, H.A., Morrison, L.J., Muehrcke, C.Ph., Kimerling, J.A., Guptill, C.S., 1995, Elements of Cartography: 6th ed., New York, John Wiley, 674 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1990, Evaluación del programa de reforestación del proyecto Lago de Texcoco: México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión Nacional del Agua, Instituto de Estudios, Investigaciones y Servicios de Agricultura y Reforestación de Chapingo, 94 p.
- Schlaepfer, C.J., 1968, Hoja México 14Q-h(5), con resumen de la geología de la hoja México, Distrito Federal, Estado de México y Morelos: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, Serie de 1:100,000, 1 mapa con texto al reverso.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), 1996, Estudios de uso actual del suelo en la Cuenca Tributaria Oriental del exlago de Texcoco: México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas del Valle de México, Gerencia del Lago de Texcoco, Consultoría en Planeación y Desarrollo Agropecuario, 142 p.
- Secretaría de Finanzas y Planeación (SFP), 1993, Atlas general del Estado de México: Toluca, Estado de México, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Finanzas y Planeación, Instituto de Informática e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral, 2, 235 p.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), 1980, Carta topográfica, Mariano Arista E14-B32, Escala 1:50,000: México, Secretaría de Programación y Presupuesto, 1 mapa.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), 1981, Carta topográfica, Apan E14-B22, Escala 1:50,000: México, Secretaría de Programación y Presupuesto, 1 mapa.
- Tapia-Varela G., 1999, Geomorfología morfogenética de la Vertiente Tributaria Oriental del ex-Lago de Texcoco: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, Tesis profesional, 211 p.
- Tapia-Varela, G., López-Blanco, J., 1998, Cartografía geomorfológica morfogenética a escala 1:100,000 de la Vertiente Tributaria Oriental del ex-Lago de Texcoco, in Álvarez, S.A.; Ferrari, L., Nieto Samaniego, A.F., Ortega Rivera, M.A. (eds.), Primera reunión nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes: México, Sociedad Geológica Mexicana, Instituto Nacional de Geoquímica, Sociedad Mexicana de Geomorfología, Sociedad Mexicana de Mineralogía, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, p. 49 (resumen).
- Van Zuidam, R.A., 1985/1986, Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping: The Hague, The Netherlands, Smits Publishers, 442 p.

- Van Zuidam, R.A., van Zuidam, F.C., 1979, Terrain analysis and classification using aerial photographs: Enschede, The Netherlands, International Institut for Aerospace Survey and Earth, Textbook, 7.
- Vázquez-Sánchez, E., Jaimes-Palmera, R., 1989, Geología de la Cuenca de México: *Geofísica Internacional*, 28, 2, 133-190.
- Vázquez-Selem, L., 1989, Geomorfología glacial y priglacial del Volcán Teyotl: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, División de Estudios de Posgrado, 155 p.
- Verstappen, H.Th., 1983, Applied geomorphology; geomorphological surveys for environmental development: Amsterdam, Elsevier, 437 p.
- Verstappen, H.Th., van Zuidam, R.A., 1991, The ITC system of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards: ITC Publication, 10, 89 p.

Manuscrito recibido: Abril 6, 2001

Manuscrito corregido recibido: Septiembre 28, 2001

Manuscrito aceptado: Octubre 22, 2001