

# Análisis morfoestructural del relieve noroccidental del estado de Chiapas, México

*Morphostructural analysis of northwestern relief of Chiapas State, Mexico*

Hernández Santana José Ramón<sup>1</sup>, Méndez Linares Ana Patricia<sup>1</sup> y Bollo Manent Manuel<sup>2</sup>

*Recibido: agosto 2010 / Aceptado: abril 2011*

## Resumen

La aplicación de los métodos del análisis morfoestructural del relieve al territorio noroccidental del estado de Chiapas, México, permitieron identificar y clasificar sus principales tipos de morfoestructuras, así como sus etapas evolutivas. La geotextura de este territorio es de tipo marginal y periférica de un orógeno moderno, formado por la interacción entre el mecanismo regional de transcurrencia de izquierda (Caribe septentrional-Motagua-Chiapas) y el margen pasivo del golfo de México, representado por las planicies estructural y deltaica de Veracruz y de Tabasco, consolidado durante la etapa neotectónica. Los principios jerárquicos de esta clasificación de la estructura del relieve fueron el tipo de geotextura, el basamento estructuro-geológico, el carácter del modelado morfoescultural del relieve, las categorías y subcategorías geomorfológicas, la intensidad de los movimientos neotectónicos, y el tipo morfoestructural específico o estructura interna. Como resultado de este análisis se identificaron 22 tipos de morfoestructuras y su complejo de formas estructuro-geomorfológicas.

**Palabras clave:** Geomorfología; morfoestructura; noroccidente de Chiapas; México.

## Abstract

The application of methods of the morphostructural analysis of the northwest relief of Chiapas State, Mexico, allowed to identify and to classify the main types of morphostructures and their development stages. The geotexture of this territory is of a marginal and peripheral type of a modern orogen, formed by the interaction between the left-lateral strike-slip regional mechanism (northern Caribbean system-systems of transcurrent faults of Motagua and Chiapas) and the passive margin of the Gulf of Mexico, represented by the Structural and Deltaic Plains of Veracruz and Tabasco, consolidated during the neotectonic stage. The principles of typological morphostructural classification of the relief were formulated as: geotexture's type; structural-geologic basement; character of the morphoscultural modeling of relief; geomorphological categories and subcategories; intensity of the neotectonic movements; and specific morphostructural type or internal structure of relief. As a result, 22 types of morphostructures and their complex of structural-geomorphological forms were identified.

**Key words:** Geomorphology; morphostructure; northwestern Chiapas; Mexico.

1 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México, DF-México. Correo electrónico: santana@igg.unam.mx; patyml@igg.unam.mx

2 Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Morelia (Michoacán)-México. Correo electrónico: mbollo@ciga.unam.mx

## 1. Introducción

En México, el desarrollo actual de las investigaciones geomorfológicas, tanto teóricas como aplicadas a los estudios espaciales y ambientales, se ha destacado por el conocimiento morfométrico de las geoformas del relieve, su génesis, su edad y evolución y, en ocasiones, su dinámica, careciendo habitualmente de estudios sobre su estructura y su papel en la determinación de las etapas de consolidación geomorfológica del relieve moderno. En este sentido, en el contexto del programa de ordenamiento ecológico territorial del noroeste chiapaneco, uno de los objetivos básicos estuvo focalizado al análisis y clasificación tipológica de las características morfoestructurales de las principales unidades de su relieve, como expresión de la influencia estructuro-geológica, tectónica y litoestratigráfica en el modelado geomórfico.

Para el área de estudio, la identificación y clasificación del plano morfoestructural de su relieve posee notable importancia para la delimitación de las unidades geotectónicas más activas, sus categorías (montañas, lomeríos y llanuras) y subcategorías del relieve en función de la intensidad de los movimientos neotectónicos; para la diferenciación geomorfológica controlada por la influencia y el control de los complejos litológicos; así como para aportar información morfoestructural suficiente con vistas a la propuesta de zonaciones de riesgo sísmico y fundamentalmente volcánico, dada la existencia del área volcanogénica de El Chichón, cuyo episodio más reciente es-

tuvo conformado por varios eventos explosivos entre los días 28 de marzo y 4 de abril de 1982, en el que destacaron tres erupciones de gran violencia, al inicio y al final del episodio (De la Cruz-Reyna, 2007), arrojando más de 2.000 víctimas, según cifras oficiales.

Para esta región noroccidental del Estado de Chiapas, México, los resultados alcanzados en este trabajo sobre el patrón de morfoalineamientos, la expresión morfotectónica, la diferenciación lito-morfoestructural, el plano morfoestructural activo y la secuencia evolutiva de las morfoestructuras, constituyen una información original, que no cuenta con antecedentes en la literatura especializada.

## 2. Área de estudio: localización, constitución geológica y tectónica

El área de estudio, con una extensión superficial de 2.456.88 km<sup>2</sup>, se localiza en el extremo noroccidental del estado de Chiapas, México, estando limitada entre los 17° 17' 00" y 17° 59' 00" de Latitud Norte, y los 93° 00' 00" y los 93° 33' 00" de Longitud Oeste. Sus límites occidental y oriental, se corresponden con las cuencas hidrográficas de los ríos Grijalva y Pichucalco; mientras que el septentrional y el meridional, por las planicies lacustres de Reforma y por la edificación montañosa del volcán El Chichón respectivamente (Figuras 1 y 2).

En la constitución geológica se destacan las rocas ígneas volcánicas (traquiandesitas, dacitas y productos piroclásticos) y las sedimentarias, cuyas edades oscilan

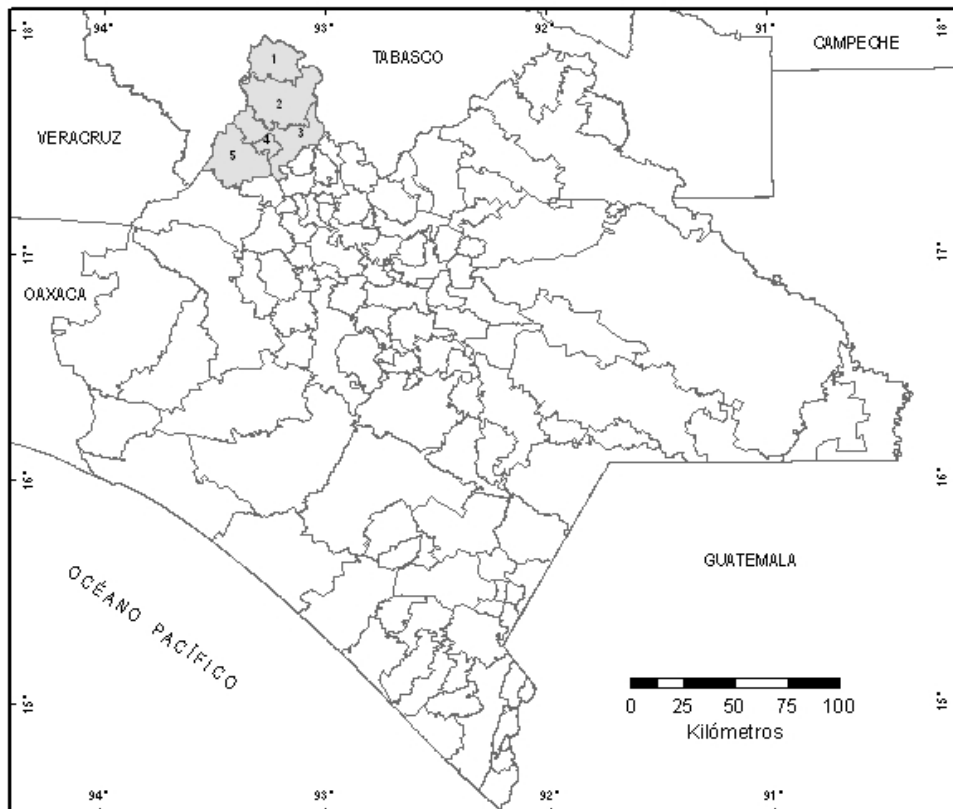


Figura 1. Área de estudio en el noroeste del estado de Chiapas, México. Municipios involucrados: 1. Reforma; 2. Juárez; 3. Pichucalco; 4. Sunuapa y 5. Ostucán

entre el Cretácico superior senoniense, el Terciario y el Cuaternario. El zócalo local está representado por rocas calcáreas cretácicas senonienses y sus afloramientos están restringidos al límite meridional, a unos kilómetros al este del volcán El Chichón; sobre las mismas descansan secuencias terciarias y cuaternarias de complejos carbonáticos, terrígenos y volcánicos. De particular extensión es la cobertura de areniscas terrígenas miocénicas, con un notable desarrollo de corizas de intemperismo, desde el poblado

de Sunuapa hacia el norte del territorio (Figura 3).

La constitución geológica se destaca por una gran acumulación de sedimentos marinos, la existencia de fuertes deformaciones plicativas y disyuntivas, y actividad volcánica en determinadas épocas, incluso hasta el presente. El Plioceno y el Holoceno se caracterizan por depósitos de planicies fluviales y lacustres, así como por depósitos piroclásticos y rocas volcánicas del volcán activo El Chichón, este último asociado con sistemas de fa-

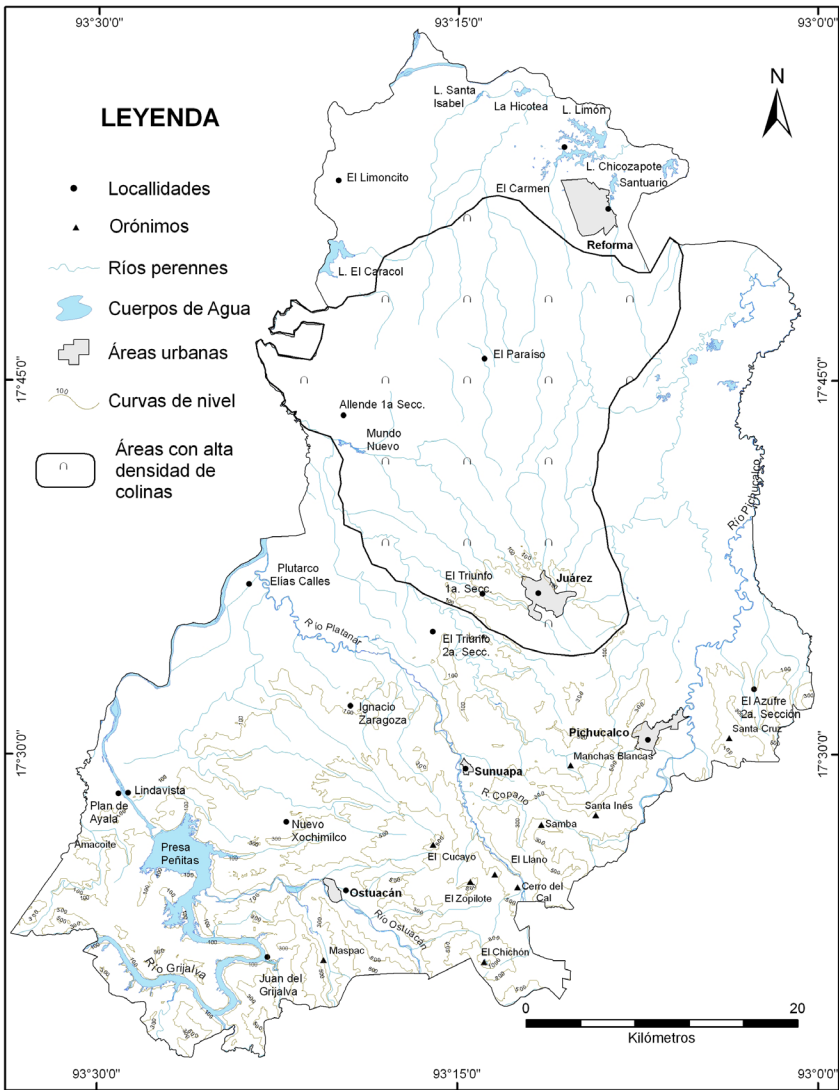


Figura 2. Topónimos del área de estudio con significado geólogo-geomorfológico

llas transcurrentes de izquierda (García-Palomo *et al.*, 2004).

Para esta región, los ascensos neotectónicos, incrementados a partir del Mioceno, determinaron la energía del relieve actual y propiciaron la intensidad de los procesos erosivos y denudativos sobre el

substrato geológico, con la consiguiente formación de montañas bajas ( $800 < H$ ,  $Altitud \leq 1.260$  m), premontañas ( $300 < H \leq 800$  m), lomeríos ( $200 < H \leq 300$  m) y llanuras y terrazas fluviales ( $H \leq 200$  m), y lacustres en las depresiones ( $H \leq 20$  m). Por lo general, las formaciones

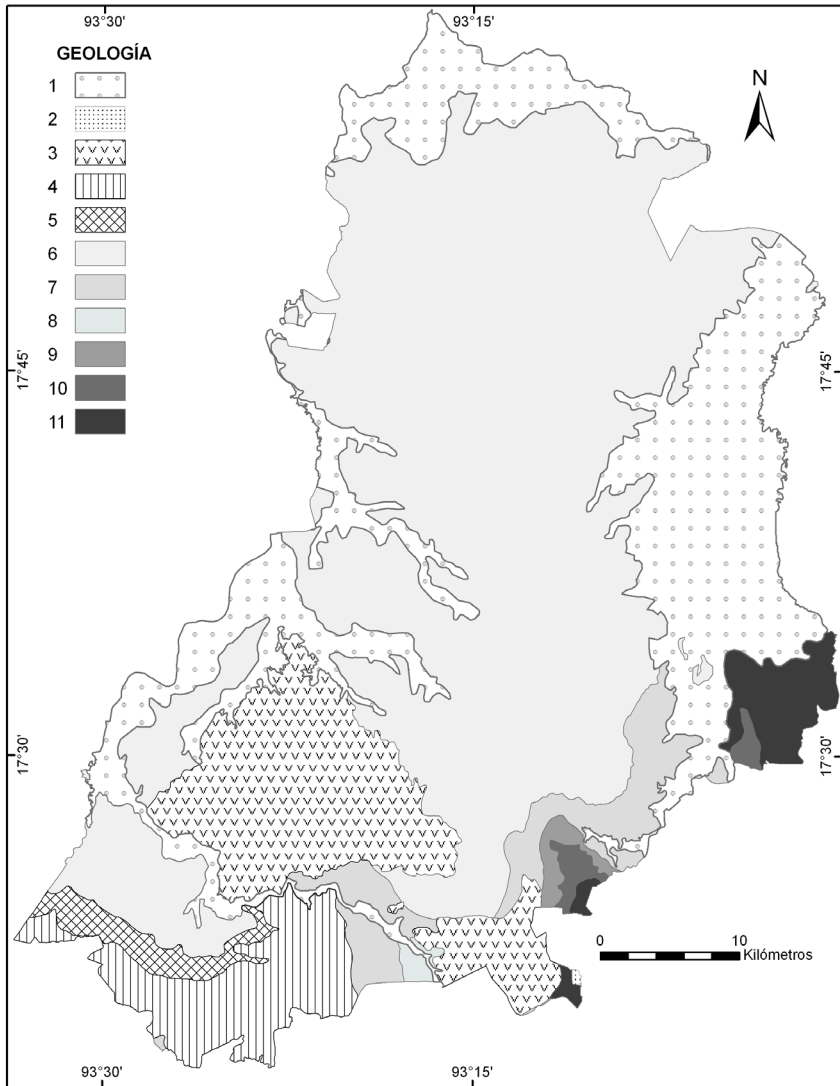


Figura 3. Constitución geológica del área de estudio (Ortiz Pérez *et al.*, 2007): 1. Holoceno: aluviones recientes; 2. Plioceno-Pleistoceno: depósitos fluvio-lacustres; 3. Plioceno-Cuaternario: traquiandesitas, dacitas y productos piroclásticos; 4. Mioceno inferior-medio: areniscas, margas y calizas arrecifales; 5. Mioceno inferior-medio: conglomerados deltaicos; 6. Mioceno: areniscas; 7. Oligoceno: areniscas, pelitas, calizas detríticas y arrecifales; 8. Eoceno: areniscas, argilitas y calizas detríticas; 9. Eoceno medio superior: margas y calizas; 10. Eoceno inferior: conglomerados poligenéticos; y 11. Paleoceno: margas, areniscas y calizas

geológicas terciarias afloran en los tercios altos y medios de los valles de los ríos Ostuacán, Platanar y otros (Figuras 2 y 3). Finalmente, en la porción norte existen depósitos fluvio-lacustres y lacustres de poco espesor, asociados a evidentes movimientos de subsidencia holocénica y reciente, con amplio desarrollo de cuerpos lagunares (Figura 2). Los topónimos con significado geológico y geomorfológico, referidos en el texto, aparecen en esta figura, destinada a la identificación de aspectos morfoestructurales notables, referidos en el trabajo. Por ello, la localización de las morfoestructuras locales mencionadas en el texto, se identifica mediante el empleo de las figuras 2 y 5.

De acuerdo con Ortega *et al.* (1992), la zona se encuentra localizada en las llamadas provincias geológicas de la cuenca deltaica de Tabasco (zona de Reforma) y del Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas, que se encuentra conformado por la provincia tectónica de Simojovel (Figura 4), caracterizada por presentar estructuras geológicas estrechas en sedimentos terciarios, con fallas inversas longitudinales al plegamiento y de desplazamiento horizontal, perpendiculares a ellas. Ambos sistemas, fueron formados a partir del Mioceno y presentan actividad actual, sobre todo el sistema de fallas transcurrentes de izquierda (De la Rosa *et al.*, 1989).

La dirección predominante de las estructuras de plegamientos es NW-SE, estando truncadas, algunas de ellas, por fallas de desplazamiento lateral. Algunas de estas estructuras son los anticlinales Chapultenango y de la Unión, y los sin-

clinales Maspac e Ixtacomitán (Figura 4). Todas estas estructuras plicativas poseen longitudes de decenas de kilómetros.

Un elemento estructural de tipo tectono-volcánico es la presencia del volcán activo El Chichón, al sur del territorio (Figuras 2 y 5). La superficie que ocupa esta zona volcánica, se encuentra en un área de debilidad cortical, en la cual se infiere que exista la intersección de dos sistemas de fallas: (1) el más antiguo presenta el rumbo general WNW-ESE, que en los lugares adyacentes al complejo volcánico, está cubierto por rocas dacíticas, traquiandesíticas y materiales piroclásticos, pero existen evidencias para suponer que su traza continúa hacia el poblado de Nuevo Xochimilco; y (2) el formado por fallas y fracturas del sistema NNE-SSW, que desplazan y cortan las unidades litológicas, así como a las fallas y fracturas del primer sistema (García-Palomo *et al.*, 2004). Según estos autores, en el emplazamiento de El Chichón, los materiales piroclásticos y los lahares han seguido los valles controlados por las principales estructuras plicativas.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Caracterización estructuro-tectónica y litoestratigráfica

Para la caracterización geológica del área de estudio, se utilizaron la carta geólogo-minera E15-8 (Villahermosa), a escala 1:250.000, de INEGI (1983); la Monografía Geológico-Minera del estado de Chiapas, del Consejo de Recursos Mine-

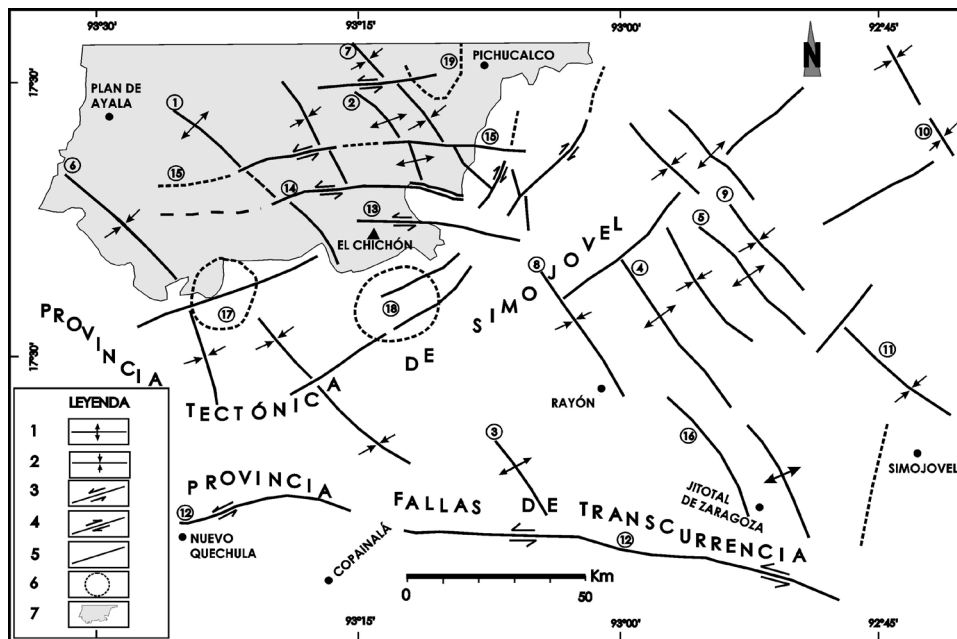


Figura 4. Estructuras principales de la Provincia Tectónica de Simojovel (compilado de De la Rosa *et al.*, 1989; Consejo de Recursos Minerales, 1999; García-Palomo *et al.*, 2008; propuestas de los autores en trazos discontinuos). 1. Anticlinales: (1) La Unión, (2) Chapultenango, (3) Buenavista, (4) Chamula, (5) San Pedro; 2. Sinclinales: (6) Maspac, (7) Ixtacomitán, (8) Tapiulapa, (9) San Pedro, (10) Tapijulapa, (11) Simojovel; 3. Fallas transcurrentes de izquierda: (12) Chacté-Ocosingo, (13) Sistema de fallas San Juan, (14) Arroyo de Cal, (15) Caimba; 4. Fallas transcurrentes de derecha; 5. Otras Fallas: (16) Pueblo Nuevo; 6. Rasgos de estructuras circulares: (17) El Palmar-Sardina, (18) Rivera-El Viejo-Carmen, (19) Sierra Manchas Blancas; 7. Sector centro-meridional del territorio estudiado

rales (1999); el mapa geológico del área, de Carfantan (1986); los estudios volcánico-tectónicos de García-Palomo *et al.* (2004); y la Geología del Estado de Chiapas (De la Rosa *et al.*, 1989); y diversos trabajos geológicos de la VI Convención Geológica Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana (Instituto de Geología, 1983), con lo que se confeccionó el mapa geológico del área (Ortiz *et al.*, 2007), (Figura 3).

### 3.2 Análisis morfoestructural del relieve

En la interpretación estructuro-geomorfológica del relieve, se aplicaron los enfoques y métodos propuestos por Guerasimov (1986), Hernández-Santana *et al.* (1995), Modenesi *et al.* (2002), Hernández-Santana *et al.* (2005, 2009) y Magaz *et al.* (2006). Las principales tareas y métodos del análisis estructuro-geomorfológico del relieve fueron los siguien-

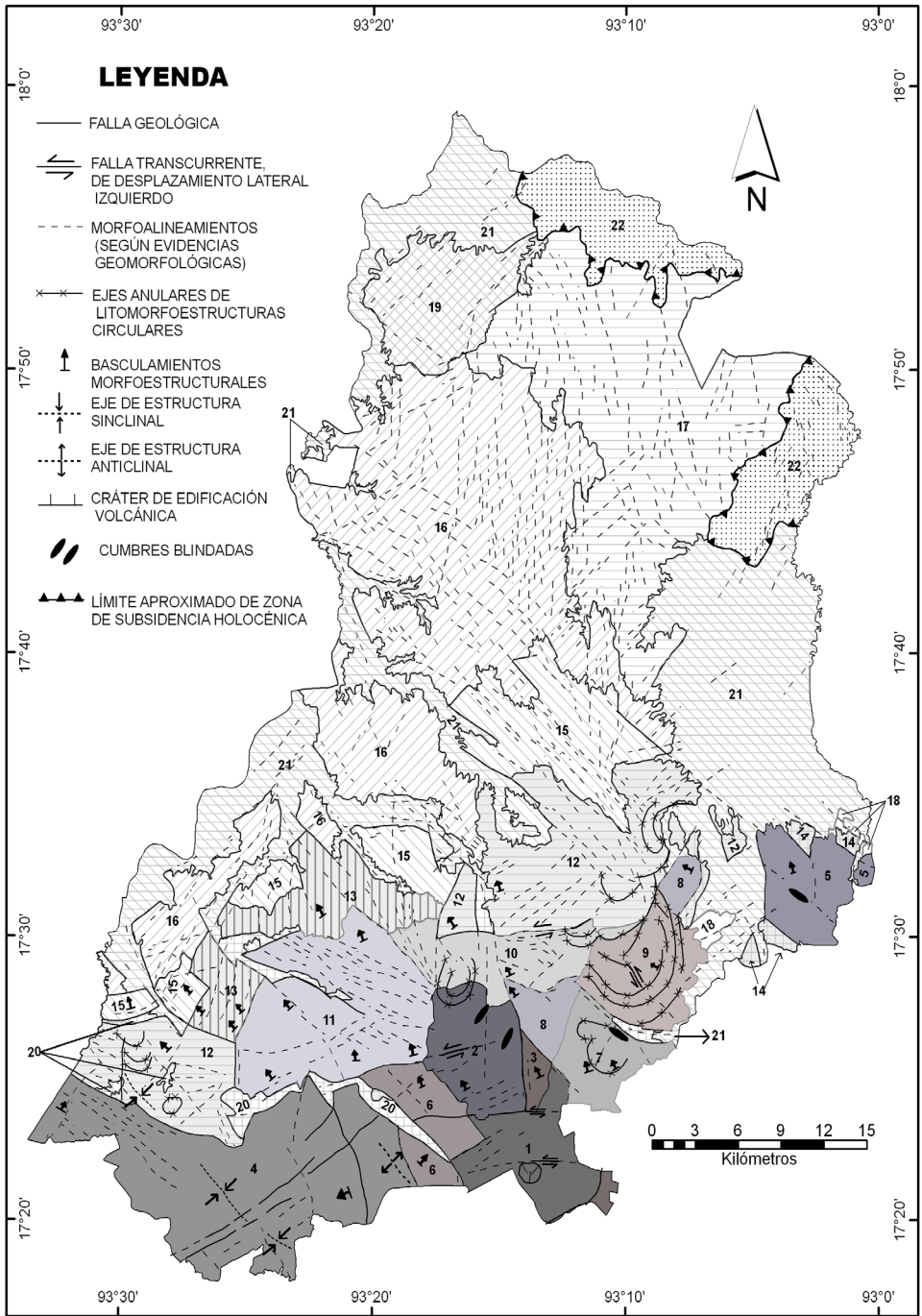




Figura 5. Clasificación geomorfológica tipológica de la expresión estructuro-geológica del relieve moderno: Morfoestructuras noroccidentales del estado de Chiapas, México. I. Basamentos geológicos: A. Complejo carbonatado terciario (calizas detríticas y arrecifales, margas y areniscas calcáreas paleoceno-miocénicas); B. Complejo terrígeno terciario (areniscas, conglomerados y pelitas eoceno-miocénicas); C. Complejo volcánico terciario (traquiandesitas, dacitas y productos piroclásticos); D. Complejos sedimentarios no consolidados cuaternarios (depósitos areno-arcillosos aluviales y lacustres). II. Grado de reelaboración morfoestructural o del modelado exógeno del relieve: carácter litomorfoestructural: a. Relieve estructuro-denudativo, formado sobre complejo carbonatado y calcáreo, con expresión de "blindaje litológico"; b. Relieve denudativo-tectónico, formado sobre los complejos terrígeno y volcánico; c. Relieve erosivo-acumulativo, de depósitos aluviales jóvenes sobre basamentos terciarios, formado por procesos erosivos y acumulativos en cuencas intramontanas, entre lomeríos y planicies diseccionadas. III. Categorías del relieve: Montañas bajas ( $800 < H$ , Altitud  $\leq 1260$  m), formadas en regiones de intensos ascensos neotectónicos ( $N_2 - Q$ ): 1.C.b. Volcánica, en edificación aislada, formada por materiales piroclásticos de composición traquiandesítica, originada por mecanismos transcurrentes de izquierda; 2. B.b. De bloque en monoclinas, sobre areniscas terrígenas miocénicas, con aislada cobertura piroclástica plio-cuaternaria y afloramientos dispersos de rocas calcáreas en forma de crestas monoclinales; 3. A.a. De bloque en monoclinas, basculada, elaboradas sobre secuencias calcáreas oligocénicas. Premontañas ( $300 < H \leq 800$  m), 4.A.a. De bloques en plegamientos y monoclinales, escalonados, en cadenas con superficies mesiformes areales y lineales, elaboradas sobre margas, calizas y areniscas calcáreas miocénicas; 5.A.a. De bloque en monoclinales, en cadena monolítica, escalonada, elaboradas sobre margas y areniscas calcáreas, con aislados fragmentos de calizas paleocénicas; 6.B.b. De bloque en monoclinales, escalonadas, elaboradas sobre areniscas, pelitas y argilitas eoceno-oligocénicas con aisladas crestas calcáreas; 7.A.a. De bloques en monoclinales, escalonados, deformados por desplazamientos transcurrentes, elaboradas sobre calizas y margas paleoceno-eocénicas, con litomorfoestructuras anulares de contacto con conglomerados y pelitas rojas eocénicas; 8.A.a. De bloque en monoclinas, basculadas, elaboradas sobre calizas detríticas y arrecifales oligocénicas; 9.A.a. De estructura anular, de carácter litomorfoestructural selectivo de contacto, cóncavas en planta por erosión remontante convergente, elaborada en el contacto entre las calizas detríticas y arrecifales oligocénicas con las areniscas terrígenas miocénicas suprayacentes; 10.B.a. De bloques en monoclinales, escalonadas, elaboradas sobre areniscas terrígenas miocénicas; 11.B.b. De bloques ligeramente basculados, con zócalo miocénico de areniscas terrígenas, cubierto por depósitos piroclásticos plioceno-cuaternarios de composición traquiandesítica. Lomeríos ( $200 < H \leq 300$  m), formados en regiones de moderados ascensos neotectónicos ( $N_2^1 - Q$ ): 12.B.b. De bloques en monoclinales, fracturados, elaborados sobre areniscas terrígenas miocénicas; 13.B.b. De bloques, ligeramente basculados, en zócalo miocénico de rocas terrígenas, cubiertas por materiales piroclásticos plioceno-cuaternario de composición traquiandesítica; 14.A.a. De bloques, escalonados, elaborados sobre areniscas, margas y calizas paleoceno-oligocénicas. Llanuras y terrazas ( $H \leq 200$  m), formadas en estructuras de graben, semigraben y valles de falla, en regiones de débiles ascensos neotectónicos y en regiones periféricas transgresivas de débiles descensos neotectónicos: 15. B.b. De zócalo monoclinas, escalonadas, muy altas y altas, formadas sobre areniscas terrígenas miocénicas; en localidades cubiertas por derrames andesítico-dacíticos y piroclásticos plioceno-cuaternarios ( $60 < H \leq 200$  m); 16.B.b. De zócalo monoclinas, escalonadas, medias, formadas sobre areniscas terrígenas miocénicas ( $40 < H \leq 60$  m); 17.B.b. De zócalo en estructuras monoclinales muy suaves, subhorizontales, formadas en areniscas terrígenas miocénicas ( $20 < H \leq 40$  m); 18.A.a. De zócalo, en estructuras monoclinales suaves, formadas sobre calizas detríticas y arrecifales, margas y areniscas paleoceno-oligocénicas ( $40 < H \leq 60$  m); 19.A.a. De zócalo, subhorizontales, formadas en areniscas cuarcíticas miocénicas ( $20 < H \leq 40$  m); 20.D.c. Valles de graben y semigraben, involucrados con los ascensos de las morfoestructuras montañosas, con planicies estructurales y acumulativas fluviales (sediplanos), en ocasiones de contacto litológico, elaborados en zócalo terciario indiferenciado y con acumulaciones de depósitos cuaternarios ( $100 < H \leq 200$  m); 21.D.c. Sediplanos, horizontales, en cuencas de graben y semigraben y valles de falla, involucrados con zonas de subsidencia cuaternaria, constituidos por depósitos fluviales cuaternarios ( $20 < H \leq 60$  m); 22.D.c. Sediplanos, horizontales, en cuencas de semigraben, localizados en zonas de subsidencia holocénica, formados por depósitos fluviales y lacustres cuaternarios ( $20 \text{ m} \leq H$ ). Complejo de formas estructuro-tectónicas y litólogo-estructurales: Sus símbolos aparecen en la leyenda gráfica de la figura.

tes: (a) interpretación de las fotografías aéreas, a escala 1:75.000, enfocada a la identificación de los rasgos estructuro-geológicos del relieve, y a la identificación y mapeo de sus geoformas; (b) elaboración del modelo digital de elevación y de sombreado, mediante el procesamiento automatizado en Arc Gis, v. 9.3 (*spatial analysis*), para el análisis de la orientación estructural del relieve, según Palacio *et al.* (1991); (c) métodos morfométricos (hipsometría, ángulo de inclinación de las laderas, profundidad y densidad de disección, a escala 1:100.000), aplicados a partir del modelo digital de elevación, dirigidos a diferenciar los parámetros geométricos y cuantitativos del relieve con fines de interpretación morfoestructural; (d) elaboración e interpretación de perfiles geólogo-geomorfológicos transversales; (e) análisis de los morfoelementos lineales del relieve, con el fin de complementar los sistemas de fallas, y discriminar aquellas que no se expresen en el mismo, según los métodos de Kostenko (1975); (f) análisis del espectro de niveles geomorfológicos y de sus deformaciones tectónicas (Díaz *et al.*, 1991) para la identificación de diferentes unidades morfoestructurales; (g) análisis de los patrones estructurales de cuencas hidrográficas; (h) comparación de los datos geomorfológicos con la constitución y estructura geológicas (Modenesi-Gauttieri, 2002); (i) trabajo de campo dirigido al análisis de las anomalías tectónicas regionales y locales, de las relaciones estratigráficas del relieve, de los aspectos estructurales de yacencia y de verificación de límites de tipos morfoestructurales;

y (j) cartografía morfoestructural del relieve, elaborada sobre las hojas topográficas, a escala 1:50.000 (INEGI, 2005) y con el empleo del mapa topográfico, a escala 1:100.000, elaborado especialmente para este estudio (Méndez-Linares, 2005).

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Diferenciación morfotectónica

Como primera tarea para el establecimiento del plano morfotectónico y morfoestructural del territorio, se seleccionaron todos aquellos elementos disyuntivos con expresión directa en el relieve actual, a partir de investigaciones geológicas precedentes, destacando a aquellos que han jugado algún papel en la formación del relieve moderno.

Dado el régimen volcano-tectónico activo en el sector meridional del área, se presentan configuraciones de carácter anular, todas de contacto entre secuencias calcáreas y terrígenas, en cuyas secuencias, se produce un régimen kárstico-erosivo diferenciado, como ocurre en la sierra Manchas Blancas, en la estructura de Rivera-El Viejo-Carmen y en los cerros de Cal y de Santa Inés, y otras (Figuras 2 y 4).

La estructura del relieve posee un escalonamiento neotectónico, que ha determinado las categorías básicas de su relieve (montañas bajas, premontañas, lomeríos y distintos escalones de llanuras), cuyos intervalos hipsométricos de desarrollo se presentan en la leyenda de

la figura 5. Los límites de estas categorías del relieve están controlados, a grandes rasgos, por los sistemas de fallas y fracturas de dirección SE-NW y SW-NE, según describe García-Palomo *et al.* (2004) y se presentan en la figura 4; aunque la zona de llanuras, al norte de Juárez y hasta Reforma, está controlada por un sistema de fallas de dirección N-S, más joven (tipos morfoestructurales 16 y 17, en Figura 5).

En general, se aprecian tres zonas morfotectónicas notables, en función de sus patrones estructuro-tectónicos y del diseño del relieve:

- (1) El núcleo montañoso central, conformado por la edificación volcánica de El Chichón y las montañas El Cucayo, El Zopilote, y otras (topónimos en Figura 2; tipos morfoestructurales 1, 2 y 3, en Figura 5), con una orientación NNW-SSE. Este núcleo de montañas bajas está cortado, además, por fallas transcurrentes de dirección W-E, como se puede apreciar en el mapa morfoestructural (tipos morfoestructurales 1, 2 y 3, en Figura 5). Un indicio de las deformaciones son los basculamientos de los bloques morfotectónicos, muy bien expresados en las crestas monoclinales, de los cerros El Cucayo y El Zopilote (Figuras 2; tipos morfoestructurales 1 y 2, en Figura 5).
- (2) En el escalón premontañoso periférico (tipos morfoestructurales 6, 7, 8, 9, 10 y 11, en Figura 5) al núcleo montañoso, gran parte de los bloques morfoestructurales poseen una dirección NW-SE, y también están controlados por las fallas de dirección SW-NE. Estas unidades premontañosas conjun-

- gan el mismo estilo tectónico, que los lomeríos (tipos morfoestructurales 12 y 13, en Figura 5), e incluso, que algunos de los bloques de llanuras estructurales altas y muy altas (tipo morfoestructural 15, en Figura 5). Este patrón general, también transformado por las transcurrencias, posee además, una estructuración escalonada y basculada producto de los ascensos verticales diferenciados (Figura 5). Hacia el suroeste del área estudiada, dicho diseño se rompe, presentándose una configuración controlada por la fracturación SW-NE, correspondiente al sistema de fallas Chapultenango, muy evidente en las llanuras altas y medias de las localidades de Plan de Ayala, Linda Vista y Plutarco Elías Calles (Figura 2; tipos morfoestructurales 15 y 16, en Figura 5). No obstante, la fuerte influencia en las deformaciones de yacencia, hacia las premontañas de la comunidad Amacoite Segunda, la estructura posee un carácter monoclinal muy suave (Figura 2; tipo morfoestructural 15, en Figura 5).
- (3) Hacia las llanuras centrales, altas, colinosas (tipo morfoestructural 15 de las inmediaciones de Juárez, en Figura 5), y medias, onduladas (tipo morfoestructural 16, en Figura 5), se distingue el control tectónico de un sistema más joven, de orientación N-S, que determina el patrón hidrográfico y de disección del relieve, desde Juárez hasta Reforma, hacia el norte (Figuras 2 y 5).

El análisis de la red hidrográfica revela el predominio de los grandes valles en la dirección NW-SE, donde se abren amplios valles de falla y de tipo graben, como ocurre en el caso del graben del río Ostuacán, en el curso alto y medio del río Copano, y en las cuencas bajas de los ríos Platamar, San Miguel y Mundo Nuevo (Figuras 2 y 5), estos últimos en condiciones de menor actividad neotectónica. Otras localidades, en el contacto entre las premontañas y los lomeríos, denotan escalones tectónicos notables, como ocurre al norte del poblado de Sunuapa, en el límite tectónico transcurrente entre los tipos morfoestructurales 10 y 12, en la porción central de la figura 5, mientras que otras transiciones son del tipo graben-horst, como se aprecia al suroeste del territorio, en el valle tectónico, bautizado por los autores, como Amacoite Segunda Sección (topónimo en Figura 2; tipo morfoestructural 15 de la localidad homónima, en Figura 5), cuyo límite septentrional de tipo horst, limita con las llanuras del poblado de Plan de Ayala (Figura 2).

## 4.2 Morfoestructuras del territorio

### 4.2.1 Desarrollo del plano morfoestructural

Durante el Cretácico temprano, el territorio sufrió una transgresión, que permitió la sedimentación de las formaciones carbonáticas, las cuales afloran restringidamente hacia el sur del territorio estudiado. Posteriormente, los principales eventos tectónicos se corresponden con los esfuerzos de la orogenia Laramide,

entre el Cretácico superior y el Eoceno inferior; seguidos de las deformaciones horizontales de los desplazamientos horizontales de izquierda y ascensos verticales durante la etapa neotectónica, entre el Mioceno y el Cuaternario; así como por las edificaciones y deformaciones de tipo volcano-tectónico de El Chichón, durante el Plioceno y el presente. Según Barrier *et al.* (1998), el sistema de fallas transcurrentes de izquierda de Caimán-Polochic-Motagua-Mapastepec comienza en el Mioceno tardío, comenzando la etapa neotectónica del desarrollo de la corteza terrestre para esta región. Como resultado de la Orogenia Laramide surgieron los anticlinales de Caimba, La Unión y Chapultenango, y los sinclinales Ixtacomitán, Buena Vista y Maspac (De la Rosa *et al.*, 1989).

Por otra parte, durante el Terciario, la llanura deltaica de Tabasco ha estado en subsidencia con respecto al área de estudio. Esta subsidencia se ha mantenido por gran parte del Cuaternario, y hacia el sector norte del área de estudio, se mantiene con más intensidad, posiblemente durante todo el Holoceno. Desde el punto de vista geomorfológico, la red fluvio-lacustre de estas llanuras, evidencian la continuidad del proceso, pues los cursos de los principales ríos y arroyos, se adosan al contacto entre las llanuras lacustres y las estructuro-tectónicas onduladas (tipos morfoestructurales 22 y 17 respectivamente, en Figura 5).

El Mioceno superior marcó evidencias de nuevos esfuerzos tectónicos horizontales y verticales, que fracturaron y

desplazaron las secuencias carbonáticas y terrígenas depositadas durante el Oligoceno al Eoceno medio. De acuerdo con la posición del Mioceno continental en las morfoestructuras montañosas, como se presenta en los cerros El Zopilote y El Cucayo (tipo morfoestructural 2, en Figura 5), a altitudes de hasta 900 y 1.000 m, se revela la reactivación de las unidades geomorfológicas pre-neotectónicas iniciales, en conformidad con nuevos límites y estilos tectónicos de tipo bloque, que conforman la expresión del relieve actual. Esta etapa comprendida entre el Mioceno y el Reciente, puede considerarse como la etapa geomorfológica del desarrollo del relieve moderno del territorio. El conjunto de la información obtenida permitió la sistematización en la clasificación morfoestructural, bajo un enfoque tipológico, como se aprecia en la Figura 5 y su leyenda.

#### 4.2.2 *Estilo tectónico y litomorfoestructura*

La transformación neotectónica del territorio y la relativa heterogeneidad litológica de sus formaciones geológicas constituyen el proceso y la condición fundamentales de las relaciones espaciales entre la morfoestructura activa (tectomorfoestructura) y la pasiva (litomorfoestructura). La expresión superficial de la tectónica de bloque formó el plano de las morfoestructuras activas actuales. A partir del surgimiento de estas morfoestructuras, la denudación selectiva generó, bajo el control litoestructural, el plano de las morfoestructuras pasivas.

Estas últimas unidades se reflejan en las estructuras semicirculares, fundamentalmente en la zona de montañas y premontañas del volcán El Chichón (tipo morfoestructural 1, en Figura 5), la sierra Manchas Blancas (tipo morfoestructural 9, en Figura 5), en la zona de Santa Inés-Samba-Cerro de Cal (tipo morfoestructural 7, en Figura 5), y otras al sur del territorio, como la estructura circular El Palmar - Sardina (Figura 4).

La tectomorfoestructura o morfoestructura activa también se vincula al desarrollo escultural o del modelado exógeno, estando integrado por antiguas superficies de planación, actualmente denudadas y erosionadas, ocupando las cúspides montañosas actuales del relieve e indicando el grado de diferenciación vertical de los desplazamientos tectónicos; y por los niveles erosivos altos, 'colgados' dentro de los valles fluviales, como ocurre con los ríos Contreras y Amacoite fundamentalmente, al suroeste del territorio (Figura 2); y las kársticas, muy restringidas, ocupando las cimas de los 'sombrosos calcáreos', en las montañas bajas (tipos morfoestructurales 2 y 3, en Figura 5) y en las premontañas calcáreas de la región (tipos morfoestructurales 4, 5, 6, 7 y 9, en Figura 5).

- *Complejo carbonático*

Comprende las secuencias de rocas predominantemente carbonáticas del Cretácico superior al Mioceno inferior. Dentro del complejo de formas del relieve litoestructural tienen particular relevancia, tanto por su dis-

tribución restringida como por su expresión geomorfológica, las ‘cumbres blindadas’ o ‘sombrosos’ estructurales, localizados en las montañas bajas de El Zopilote y El Cucayo (tipos morfoestructurales 2 y 3, en Figura 5), en el núcleo montañoso central. Éstas crean las pendientes bipétreas en las vertientes de los valles fluviales, así como, las rupturas bruscas de sus pendientes.

Los ‘sombrosos’ estructurales y las cumbres ‘blindadas’ de las superficies del tope de las morfoestructuras, están desmembradas por procesos kársticos, con formas de valles en forma de cañón y de estrechos desfiladeros, correspondientes a paleorredes de drenaje desarticuladas y arrastradas por los elevamientos neotectónicos de nueva dirección y fraccionamiento. En la zona de El Azufre Segunda Sección (tipo morfoestructural 5, en Figura 5), en el extremo más oriental del territorio, se observan pequeños valles de abras kársticas entre las premontañas, con una dirección paralela a las fallas principales. Esto determina el desarrollo de formas litoestructurales en las cimas con ‘sombrosos’ y cumbres ‘blindadas’ (Figura 5), que morfológica y evolutivamente conforman un relieve en forma de crestas basculadas con estructura.

- *Complejos terrígeno y volcánico*  
Comprende las secuencias terrígenas de areniscas, pelitas y conglomerados del Eoceno inferior al Mioceno infe-

rior, y los depósitos traquiandesítico-dacíticos y de piroclastos pliocénicos y cuaternarios del territorio. Las estructuras son extremadamente complejas, de tipo plegamiento, falladas y fracturadas, y en combinación de desplazamientos horizontales de izquierda principalmente y de ascensos y descensos verticales geotectónicos (tipos morfoestructurales 11 y 13, en Figura 5).

La expresión superficial de estas unidades estructuro-faciales define el relieve denudativo-tectónico, que al igual que el estructuro-denudativo en rocas carbonáticas, complica las morfoestructuras activas. Este relieve denudativo-tectónico se caracteriza por un incremento de la disección vertical o profundidad de encajamiento erosivo, con la formación o expansión de los procesos erosivos y denudativos, con formas sucesionales, desde simples surcos y cárcavas hasta grandes barrancos y de un cambio en la morfología, de la morfometría y de la configuración general de los valles fluviales de orden inferior.

### 4.3 Clasificación morfoestructural tipológica

Para esta clasificación, se partió de la teoría del análisis morfoestructural (Gerasimov, 1986): (1) *geotextura*: grandes unidades geomorfológicas planetarias en correspondencia con la diferenciación de placas litosféricas; (2) *morfoestructura*: expresión regional o local de la estructu-

ra geológica en el relieve; y (3) *morfoescultura*: formas del modelado exógeno de la superficie terrestre. La clasificación morfoestructural retomó los principios básicos de la tipología morfoestructural empleada para la elaboración del mapa morfoestructural del antiguo territorio de la ex-URSS (E. A., Finko, *comun. pers.*), a escala 1:2.500.000; del mapa morfoestructural, a escala 1:2.000.000 del territorio cubano (Díaz *et al.*, 1989); de los mapas regionales cubanos, a escalas 1:500.000 y 1:250.000 (Díaz *et al.*, 1986; Hernández-Santana *et al.*, 1995; Magaz *et al.*, 2006; y otros); y de los mapas mexicanos, a escala 1:100.000 y 1:500.000, de las cuencas hidrográficas de los ríos Papagayo y Omitlán, estado de Guerrero y del estado de Oaxaca respectivamente (Hernández-Santana *et al.*, 2005; 2009) y del mapa morfoestructural, a escala 1:8.000.000, del Nuevo Atlas Nacional de México (Hernández-Santana *et al.*, 2007).

Dentro de la tipología fueron incluidos varios niveles jerárquicos de clasificación, tales como: basamentos geológicos; grado de reelaboración morfoescultural o del modelado exógeno, como reflejo pasivo de la litología; categorías básicas del relieve y sus pisos altitudinales (montañas, lomeríos y llanuras, así como las subdivisiones de cada una de esas categorías), enlazados con la intensidad de los movimientos neotectónicos (Neógeno-Cuaternario); subcategorías del relieve y sus edades geológicas de consolidación morfoestructural; tipo específico de morfoestructura, indicando su estructura interna, su substrato geológico y sus ti-

pos de deformaciones tectónicas. Finalmente, aparecen clasificadas las formas estructuro-tectónicas, con manifestación activa en el relieve (Figura 5).

A escala planetaria y regional, el territorio de estudio ocupa la posición geotectónica de interacción entre la sierra norte de Chiapas, bajo la intensa influencia del mecanismo regional de transcurrencia de izquierda (Caribe septentrional-Motagua-Chiapas) y el margen pasivo del golfo de México, representado por las planicies estructural y deltaica de Veracruz y de Tabasco, y pertenece a una geotextura periférica de un orógeno moderno, consolidado durante la etapa neotectónica.

El basamento geológico se subdivide en: (A) complejo carbonático terciario (calizas detríticas y arrecifales, margas y areniscas calcáreas paleoceno-miocénicas); (B) complejo terrígeno terciario (areniscas, conglomerados y pelitas eoceno-miocénicas); (C) complejo volcánico terciario (derrames de composición traquiandesítica y productos piroclásticos plioceno-cuaternarios); y (D) complejos sedimentarios no consolidados cuaternarios (depósitos areno-arcillosos aluviales y lacustres).

Según el grado de reelaboración morfoescultural o del modelado exógeno del relieve (carácter litomorfoestructural), las morfoestructuras se dividen en: (a) relieve estructuro-denudativo, formado sobre complejo carbonatado y calcáreo, con expresión de "blindaje litológico"; (b) relieve denudativo-tectónico, formado sobre los complejos terrígeno y volcánico; y (c) relieve erosivo-acumulativo, de depósitos aluviales jóvenes sobre basa-

mentos terciarios, formado por procesos erosivos y acumulativos en cuencas intramontanas, entre lomeríos y llanuras disecionadas. Finalmente, se identificaron 22 tipos de morfoestructuras, así como 10 tipos de formas estructuro-geomorfológicas (Figura 5).

En el caso de los lomeríos meridionales, muy frecuentemente se refleja el carácter monoclin al de su estructura interna (tipos morfoestructurales 12 y 13, en Figura 5), lo que evidencia la reactivación tectónica desde el Mioceno superior y hasta el presente. Para las llanuras medias, de colinosas a onduladas, con altitudes entre 20 y 40 m, es característica una disección moderada sobre cortezas de intemperismo, desarrolladas en las areniscas terrígenas miocénicas (tipos morfoestructurales 16 y 17, en Figura 5), lo que aisladamente ocurre en algunos lomeríos, como en las inmediaciones septentrionales del poblado de Pichucalco (tipo morfoestructural 12, en Figura 5). Sin embargo, el extremo noroccidental del territorio presenta una morfología cuasiplana en la localidad de Limoncito, muy ligeramente diseccionada, debido a la existencia de areniscas cuarcíticas, también del Mioceno (Figura 2; tipo morfoestructural 19, en Figura 5).

Las llanuras planas, más bajas, constituyen verdaderos sediplanos, de carácter horizontal, en cuencas de semigraben, involucradas con zonas de subsidencia cuaternaria, constituidos por depósitos fluviales cuaternarios, que han formado y cortado los ríos Grijalva y Pichucalco, en los extremos occidental y oriental del territorio respectivamente (Figura 2; tipo

morfoestructural 21, en Figura 5). No obstante, las mayores subsidencias se localizan en la cuenca semigraben septentrional y limítrofe del territorio, compuesta también por sediplanos horizontales (tipo morfoestructural 22, en Figura 5). La edad de estos descensos es muy reciente, del Holoceno, y ha permitido la formación de las lagunas Santa Isabel, La Hicotea, La Ceiba, Limón, Santuario, Chicozapote y otras (Figura 2).

## 5. Conclusiones

En el extremo noroeste de la sierra norte de Chiapas, las estructuras de plegamiento laramídico (Cretácico superior-Eoceno inferior), conjuntamente con el fracturamiento neotectónico (Mioceno-Cuaternario), tanto de desplazamientos transcurrentes como verticales, y la actividad volcánico-tectónica reciente, han determinado la diferenciación morfoestructural y morfogenética del relieve. Un papel importante en la conformación endógena del relieve lo desempeñó la etapa de los movimientos neotectónicos mioceno-cuaternarios de la corteza terrestre; sus ascensos diferenciados en el territorio formaron y consolidaron los escalones morfoestructurales del relieve actual: montañas bajas, premontañas, lomeríos y los pisos de llanuras de distinta génesis.

En general, el plano morfoestructural fue formado durante la etapa neotectónica (N-Q), en un diseño de bloques positivos y negativos, que han heredado la estructura interna plegada y monoclin al de los diferentes complejos litológicos pre-



sentes. La neotectónica ha sido diferenciada, determinando diferentes ascensos, que determinan un complicado mosaico de diversos estilos de fracturamiento (NW-SE, NE-SW, N-S, y raramente, E-W), sobre los cuales se sobreponen los diseños semicirculares del emplazamiento de las estructuras endógenas de origen tectono-volcánico, y otras relacionadas posiblemente también con cuerpos intrusivos.

La heterogeneidad litológica del substrato geológico principalmente en rocas carbonáticas y terrígenas, diferencia claramente el relieve estructuro-denudativo, desarrollado en las primeras, del relieve denudativo-tectónico, expresado en las segundas. El relieve denudativo-tectónico se caracteriza por un incremento de la disección vertical, con la intensificación de los procesos erosivos y denudativos; mientras que el estructuro-denudativo es de carácter monolítico, manteniendo la estructura original bajo la acción de los procesos disolutivos del karst.

La morfogénesis del relieve de la región noroccidental de Chiapas revela la diferenciación de las tendencias tectónicas ascendentes de sus morfoestructuras, expresadas por los rasgos erosivo-denudativos, kársticos y gravitacionales notables, tanto en las montañas como en las llanuras, con respecto a la marcada expresión geomórfica acumulativa, tanto fluvial como lacustre, de las morfoestructuras deprimidas de la Cuenca Deltaica de Tabasco, bajo un desarrollo de subsidencia sostenida durante todo el Cenozoico.

## 6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Instituto de Historia Natural y Ecología del Gobierno de Chiapas el financiamiento del proyecto “Ordenamiento Ecológico Territorial de la Zona Petrolera de la Región V Norte de Chiapas”, del cual derivaron los resultados de este trabajo. A su vez, expresan sus agradecimientos a los árbitros anónimos por sus críticas y sugerencias durante la revisión del manuscrito.

## 7. Referencias citadas

- BARRIER, E.; VELASQUILLO, L.; CHAVEZ, M. y R. GAULON. 1998. *Neotectonic evolution of the Isthmus of Tehuantepec (southeastern México)*. **Tectonophysics**. 287: 77-96.
- CARFANTAN, J. C. 1986. *Du système cordilleraire Nord-Américain au domaine Caraïbe. Etude géologique du Mexique méridional*. Université de Savoie. France. These de Doctorat d'Etat es Science, 558 p.
- CONSEJO DE RECURSOS MINERALES. 1999. **Monografía Geológico-Minera del Estado de Chiapas**. México, D.F.-México. 180 p.
- DE LA CRUZ-REYNA, S. 2007. Qué causó el desastre del Chichón en 1982. *Memorias de la Conferencia Internacional Conmemorativa “Volcán Chichón. 25 años”*, 416, Tuxtla Gutiérrez, México (22-25 de marzo de 2007).
- DE LA ROSA, J. L.; ALDEMAR y M. DÁVILA. 1989. **Geología del Estado de Chiapas**. Departamento de Geología. Superintendencia de Estudios Zona Sureste. México, D. F.-México. 192 p.

- DÍAZ, J. L.; PORTELA, A. H.; HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R.; BLANCO, P. y A. R. MAGAZ. 1986. **Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la región centro-oriental de Cuba.** Editora Academia. La Habana-Cuba. 60 p.
- DÍAZ, J. L.; HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R.; PORTELA, A. H.; MAGAZ, A. R. y P. BLANCO. 1989. Morfoestructuras. En: Inst. Geogr. Nac. España (ed.). **Nuevo Atlas Nacional de Cuba.** IV.3.1. Madrid-España.
- DÍAZ, J. L.; MAGAZ, A. R.; HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R.; VENEREO, A. y F. PÉREZ. 1991. Reconstrucción tectónica local mediante el análisis de la morfoescultura marina en la franja costera Río Seco-Punta Maisí, provincia de Guantánamo, Cuba. En: Academia (ed.). **Morfotectónica de Cuba Oriental.** 19-23. La Habana-Cuba.
- GARCÍA-PALOMO, A.; MACÍAS, J. L. y J. M. ESPÍNDOLA. 2004. *Strike-slip faults and K-alkaline volcanism at El Chichón volcano, southeastern Mexico.* **Journal of Volcanology and Geothermal Research.** 136: 247-268.
- GUERASIMOV, I. P. 1986. **Geomorfología reciente y teoría del moviismo en la historia geológica de la Tierra.** Editora Nauka. Moscú-URSS. 207 p. (en ruso).
- HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R.; MAGAZ, A. R.; ORTIZ, M. A. y J. J. ZAMORANO. 1995. *Clasificación morfoestructural (tipológica) y morfotectónica (regional) del relieve oriental cubano: modelo insular de transición interplacas.* **Investigaciones Geográficas.** 3 especial: 13-35.
- HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R. y M. A. ORTIZ. 2005. *Análisis morfoestructural de las cuencas hidrográficas de los ríos Sabana y Papagayo (tercio medio-inferior), Estado de Guerrero, México.* **Investigaciones Geográficas.** 56: 7-25.
- HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R.; LUGO-HUBP, J. y M. A. ORTIZ. 2007. Morfoestructuras regionales. En: **Nuevo Atlas Nacional de México.** Instituto de Geografía, UNAM, Primera Edición, NA-III-1, 3 hojas.
- HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R.; ORTIZ, M. A. y J. M. FIGUEROA. 2009. *Análisis morfoestructural del estado de Oaxaca. México: un enfoque de clasificación tipológica del relieve.* **Investigaciones Geográficas.** 68:7-24.
- INEGI. 1983. *Carta geólogo-minera E15-8 (Villahermosa), a escala 1:250.000.* México, D. F. 1 hoja.
- INEGI. 2005. Mapas topográficos digitales a escala 1:50.000. México, D. F. 6 hojas.
- INSTITUTO DE GEOLOGÍA. 1983. El Volcán Chichonal. *Memorias de la VI Convención Geológica Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana.* 120. México, D. F.
- KOSTENKO, N.P. 1975. **Geomorfología estructural.** Editora Instituto de Geografía. UNAM. 113. México, D. F.-México.
- MAGAZ, A. R.; HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R.; DÍAZ, J. L. e I. HERNÁNDEZ. 2006. *Formación y consolidación de las morfoestructuras septentrionales de la región central del archipiélago cubano y su geodinámica reciente.* **Investigaciones Geográficas.** 61: 7-23.
- MÉNDEZ-LINARES, A. P. 2005. *Topografía de la zona petrolera de la región V Norte de Chiapas, a escala 1:100.000.* Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 1 hoja.
- MODENESI, M. C.; TAKASHI, S. y C. RICCOMINI. 2002. *Morphotectonics of a high plateau on the northwestern flank of the*

*Continental Rift of southeastern Brazil.*

**Geomorphology.** 43 (3-4): 257-271.

- ORTEGA, F.; MITRE, L. M.; ROLDÁN, J.; ARANDA, J. J.; MORÁN, D. J.; ALANÍZ, S. A. y A. F. NIETO. 1992. **Carta geológica de la Republica Mexicana a escala 1:2.000.000.** Editora UNAM y CRM. 5ta. Edición. México, D. F.-México. 74 p.
- ORTIZ, M. A.; HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R. y J. M. FIGUEROA. 2007. **Mapa geológico del noroeste del Estado de Chiapas, a escala 1:100.000.** Instituto de Historia Natural y Ecología. Tuxtla Gutiérrez. México. 1 hoja.
- PALACIO PRIETO, J. L.; LÓPEZ BLANCO, J. y M. A. ORTIZ PÉREZ. 1991. *Evaluación geomorfológica estructural a través de modelos sombreados y pares estereoscópicos generados a partir de modelos digitales de terreno.* **Investigaciones Geográficas.** 23: 89-101.