Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM
ISSN 0188-4611, Núm. 68, 2009, pp. 7-24

Análisis morfoestructural del estado de Oaxaca, México: un enfoque de clasificación tipológica del relieve

Recibido: 2 de agosto de 2007. Aceptado en versión final: 19 de junio de 2008.

José Ramón Hernández Santana*
Mario Arturo Ortiz Pérez*
Manuel Figueroa Mah Eng*

Resumen. De acuerdo con un enfoque geomorfológico tipológico y la aplicación de los métodos del análisis morfoestructural, fueron determinados los principales tipos morfoestructurales del relieve del estado de Oaxaca, el territorio mexicano más complejo, desde el punto de vista geotectónico. Los principios jerárquicos empleados en la clasificación tipológica morfoestructural del relieve fueron el tipo de geotextura; el basamento estructuro-geológico; las categorías geomorfológicas; la intensidad de los movimientos neotectónicos; el carácter del modelado morfoescultural bajo el control litológico; el estilo tridimensional de las interrelaciones morfotectónicas entre bloques, y el tipo morfoestructural específico. Como resultado de este análisis se identificaron 87 tipos de morfoestructuras.

Palabras clave: Morfoestructuras, clasificación geomorfológica, relieve oaxaqueño.

Morphostructural analysis of the Oaxaca State, Mexico: an approach of typological classification of the relief

Abstract. Using typological geomorphological approach and the methods of morphostructural analysis, were determined the main morphostructural types of the Oaxaca State relief, the most complex Mexican territory from the geotectonic point of view. The principles of typological morphostructural classification of the relief were formuled: type of geotexture; structural-geologic basament; geomorphological categories (mountains, hills and plains) and subcategories; intensity of the neotectonic movements; character of the morphoscultural modelling; tridimensional style of interblock morphotectonic interrelations, and specifical morphostructural type. As a result of this analysis were identified 87 types of morphostructures.

Key words: Morphostructures, geomorphological classification, oaxacan relief.

* Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: santana@igg.unam.mx, maop@igg.unam.mx, maheng@igg.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Una de las principales direcciones científicas de las geociencias contemporáneas lo constituye la geomorfología estructural, cuyos objetivos están dirigidos a la valoración de la influencia geólogo-tectónica en la conformación de la estructura del relieve moderno. El objetivo central de este trabajo es analizar y clasificar, de acuerdo con un enfoque tipológico, las características morfoestructurales de las principales unidades del relieve, que constituyen el complejo territorio del estado de Oaxaca, localizado en el sureste de México.

En el país no abundan los estudios estructuro-geomorfológicos del relieve para territorios estatales y el nacional, predominando innumerables publicaciones de carácter morfogenético, de geomorfología volcánica, sobre procesos geomórficos y sus riesgos, en general, y otras direcciones temáticas. Las primera versión de regionalización morfoestructural en México, fue aplicada en la Sierra Madre del Sur (Hernández *et al.*, 1996) con la delimitación de los principales macrobloques regionales, mientras el enfoque tipológico de la clasificación estructuro-geomorfológica se aplica, por primera vez en el estado de Oaxaca, a partir de los conceptos básicos de la teoría del análisis morfoestructural (Guerasimov, 1986) y de los resultados de sus aplicaciones y modificaciones, tanto en Europa oriental, como de sus adecuaciones en Cuba (Díaz *et al.*, 1989; Hernández *et al.*, 1995) y México (Hernández *et al.*, 1994, 1996, 2005, 2007; Ortíz *et al.*, 1997; Zamorano *et al.*, 2000; García *et al.*, 2008). Esta tipología sobre la estructura del relieve del estado mexicano más montañoso formó parte de la plataforma geográfica para la preparación de las etapas de Caracterización (I) y de Diagnóstico integrado (II) del Programa Estatal de Ordenamiento Territorial.

Paralelamente a la fundamentación de los niveles jerárquicos de la clasificación morfoestructural, se discuten los resultados de su aplicación al territorio oaxaqueño, con la inclusión de la expresión cartográfica de su tipología. A su vez, otro de los propósitos de la presentación de este modelo geomorfológico estatal, elaborado a escala 1:500 000, es la formulación y sistematización de un enfoque estructural de evaluación del relieve, desde un ángulo geomorfológico de abordaje científico y metodológico, lo que ha contribuido al levantamiento morfoestructural nacional, a escala 1:8 000 000 (Hernández *et al.*, 2007) y de regiones como la cuenca baja y media del Río Papagayo (Hernández *et al.*, 2005) y del noroeste chiapaneco (Hernández *et al.*, 2006), a escala 1:100 000.

Paralelamente al análisis morfoestructural de la escuela geomorfológica rusa, existen diversos enfoques para la clasificación morfoestructural del relieve, tanto tipológica como de regionalización. Dumont (1992) diferencia regionalmente las morfoestructuras de la Llanura Amazónica bajo el enfoque neotectónico de los cambios de las redes fluviales, los cursos abandonados, la extensión y diseño de pantanos, lagos y estructuras del basamento. En el caso de las sierras Chica y de Pajarillo-Copacabana, provincia de Córdova, Argentina, Beltramone (2004) adopta un enfoque clasificativo sobre la base del carácter sedimentológico, de los levantamientos del basamento cristalino y de la cobertura mesozoica, y de la extensión de las cuencas intramontanas. Recientemente, García *et al.* (2008) emplean diferentes niveles de clasificación en la Sierra de Las Cruces, México, tales como los estilos estructurales de los bloques (citados en Hernández *et al.*, 1994; y empleados en este trabajo sobre el estado de Oaxaca, como nivel jerárquico V; Tabla 1), la morfología del relieve, los patrones de drenaje, las estructuras geológicas, las orientaciones diferenciadas del fallamiento y agrietamiento predominantes y el análisis de los morfoalineamientos. En este trabajo se adaptaron criterios de carácter tipológico, como se explican más adelante en el apartado de principios de clasificación.

ÁREA EN ESTUDIO

El territorio del estado de Oaxaca está localizado entre los 15º 30' y los 18º 40' de latitud Norte, y los 94º 07' y los 98º 30' de longitud Oeste; situado en el sureste de México, y limitado al norte, por el estado de Puebla; al noreste, por el estado de Veracruz; al este, por el estado de Chiapas; al oeste, por el estado de Guerrero; y al sur, por el Océano Pacífico (Figura 1).

METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN

Métodos del análisis morfoestructural

En el análisis morfoestructural se aplicaron los métodos siguientes: *a)* interpretación hipsométrica y topográfica, a escala 1: 250 000 y 1:50 000 (en regiones de mayor complejidad estructural); *b)* desciframiento estructuro-geomorfológico de las imágenes satelitales multiespectrales (EPA & USGS, 1973, 1974, 1986, 1990) y de fotografías aéreas, a escala 1:75 000, en localidades clave, para la delimitación de los complejos geomorfológicos; *c)* análisis de los morfoelementos lineales del relieve, con el fin de complementar los sistemas de fallas; *d)* evaluación morfométrica del relieve, a escala 1:500 000; *e)* análisis del espectro de niveles geomorfológicos y sus deformaciones neotectó-

Tabla 1. Niveles jerárquicos de la clasificación de las morfoestructuras del territorio oaxaqueño

Jerarquía	Nomenclatura de la tipología morfoestructural
I	Tipo de geotextura (según Guerasimov, 1986). En el caso oaxaqueño: Morfoestructuras de paleocratón proterozoico (Oaxaquia) y de acreción de terrenos tectonoestratigráficos paleo-mesocenozoicos en las zonas de sutura subductiva de transición marginal entre placas continental y oceánica (Norteamericana y Cocos Sur) y de sutura transformante (Norteamericana-Caribe).
II	Basamento geológico: A. Complejos metamórficos e intrusivos precámbricos (Proterozoico tardío); B. Complejos metamórficos (Complejo Acatlán), intrusivos batolíticos (Chiapas) y sedimentarios plegados paleozoicos; C. Complejos metamórficos, intrusivos, sedimentarios y vulcano-sedimentarios mesozoicos (Complejo Mazateco); D. Complejos metamórficos e intrusivos mesozoicos (Complejo Xolapa); E. Complejos sedimentarios plegados y subhorizontales de las cuencas terciario-cuaternarias superpuestas y complejos intrusivos y extrusivos terciarios.
III	Carácter litológico del modelado exógeno: a. Relieve estructuro-denudativo, formado sobre complejos carbonatados y metacarbonatado; b. Relieve estructuro-denudativo, formado sobre complejos metamórficos, intrusivos y extrusivos, con desarrollo de superficies areales y lineales de planación, diseccionadas; c. Relieve denudativo-tectónico, formado sobre complejos intrusivos, metaterrígenos y terrígenos, muy diseccionados; d. Relieve denudativo-acumulativo, sobre basamentos antiguos y modernos, formado por procesos erosivos y acumulativos en cuencas intramontanas y costeras; y e. Relieve transgresivo-litoral, formado por procesos fluviales, marinos y palustres en cuencas costeras, referido al modelado de las morfoestructuras costeras y a su constitución acumulativa por los procesos reinantes.
IV	Categorías (montañas, lomeríos y planicies) y subcategorías (montañas altas, medias, bajas, premontañas; lomeríos altos, medianos y pequeños; planicies muy altas, altas, medianas, bajas y muy bajas) del relieve; asociadas a la intensidad de los movimientos neotectónicos (N - Q), (Tabla 2).
V	Sistemas geotectónicos de interrelaciones tridimensionales: A. Sistema lineal de bloques paralelos, formados en fases metamórficas de plegamientos profundos, y alineados por el rumbo; B. De bloques en plegamientos y monoclinales, ocasionalmente basculados; C. Monolítico de bloques en plegamientos, ocupando ejes orográficos; D. Ortogonal escalonado de bloques masivos en el margen continental de subducción; E. Lineal de bloques en plegamientos y monoclinales, escalonados y trenzados por fallas transcurrentes y deformados en arco por la transpresión entre placas; F. Basculado de bloques en plegamientos y monoclinales.
VI	Carácter morfoestructural interno: morfoestructuras masivas, formadas en rocas intrusivas y metamórficas; plegadas; de bloques en plegamientos y en monoclinales; de estructura brechosa y caótica, y otras; mientras que tomando en consideración su posición con respecto al plano horizontal y a las unidades circundantes, se dividen en basculadas, inclinadas, escalonadas, arqueadas, trenzadas y otras.

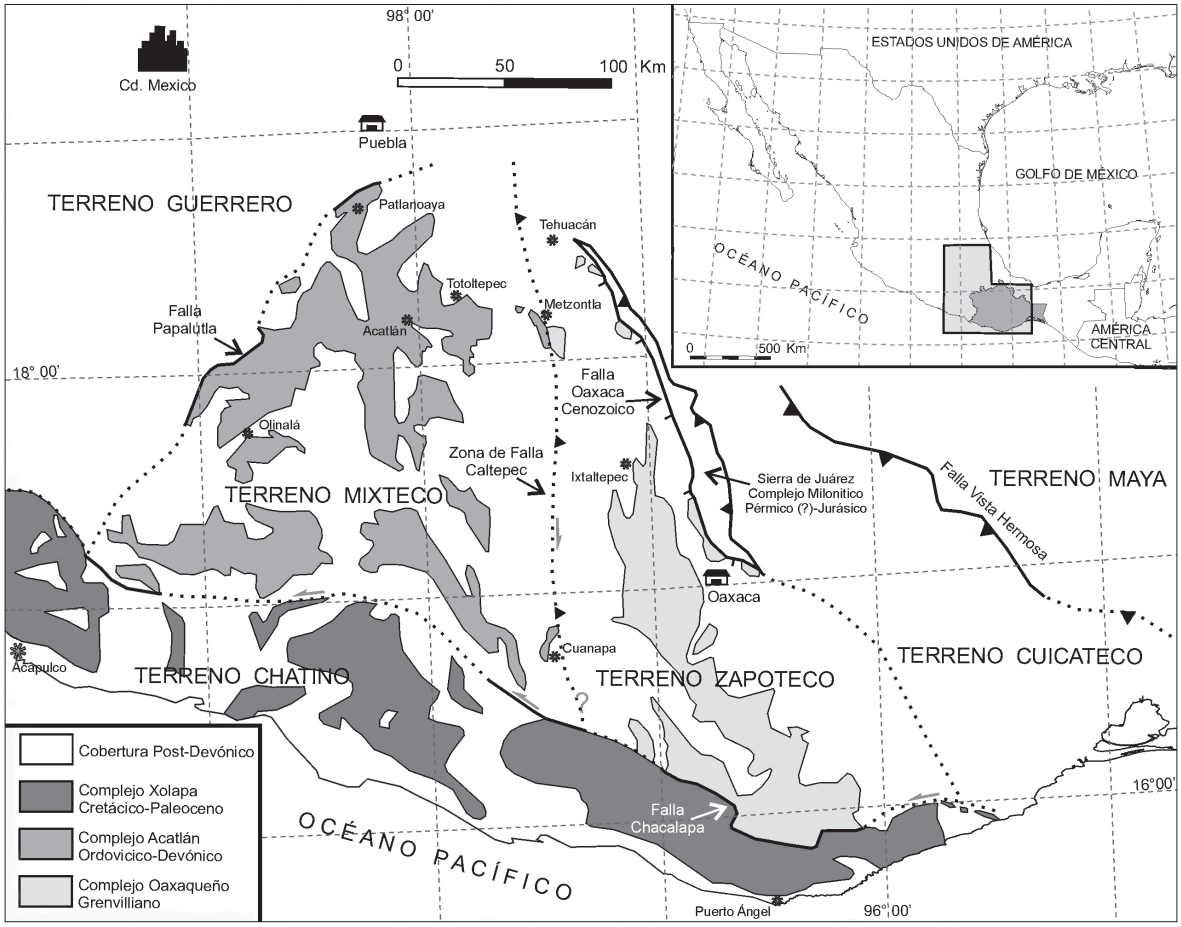

Figura 1. Localización del área en estudio y diferentes terrenos tectonoestratigráficos de México suroriental (modificado por Ortega *et al.*, 1999).

nicas, para establecer los pisos altitudinales del relieve, que sustentan sus categorías y subcategorías; *f)* interpretación de los patrones orográficos regionales (orientaciones, diseños, correlaciones vecinas); *g)* comparación de los datos geomorfológicos con la constitución y estructura geológicas (Consejo de Recursos Minerales, 1996; Ortega *et al.*, 1992; INEGI, 2004), y *h)* investigaciones de campo durante recorridos longitudinales y transversales al territorio estatal durante varias semanas del mes de julio del 2001.

Principios de clasificación tipológica

Los principios teóricos y niveles jerárquicos para la clasificación tipológica de las morfoestructuras del estado de Oaxaca, propuestos en este trabajo (Tabla 1), son: *a)* Geotextura, *b)* Basamento geológico, *c)* Grado de modelado exógeno del relieve por el control litológico, *d)* Categorías geomorfológicas del relieve (montañas, lomeríos y planicies), *e)* Estilos morfotectónicos tridimensionales de interrelaciones entre bloques y *f)* Tipo morfoestructural específico. Cada uno de estos niveles anteriores, recogidos en la Tabla 1, es explicado, de acuerdo con las condiciones geólogo-geomorfológicas del estado de Oaxaca, y responden a los principios del análisis morfoestructural de la escuela geomorfológica rusa (Guerasimov, 1986), y están enriquecidos con las experiencias de las escuelas geomorfológicas cubana (Díaz *et al.*, 1989; Hernández *et al.*, 1995) y mexicana (Hernández *et al.*, 1994, 1996, 2005, 2007; Ortíz *et al.*, 1997; Zamorano *et al.*, 2000). Su aplicación al territorio oaxaqueño se comenta a continuación:

Geotextura

Este concepto fue acuñado por I. P. Guerasimov (1986), como la expresión del origen y la consolidación morfoestructural del relieve, bajo la acción de los mecanismos geotectónicos planetarios y regionales. Dado el significado de la actividad neotectónica en la formación del relieve montañoso del Sureste mexicano, y en especial de Oaxaca, en este trabajo se considera a la Sierra Madre del Sur, como un neo-orogeno de zonas marginales de interacción entre placas continentales y oceánicas, formado y consolidado bajo un mecanismo de subducción. Malfait *et al.* (1972) opinan que el mismo comenzó en el Mioceno tardío, es decir, coincidiendo con los inicios de la etapa neotectónica (N-Q).

Por tal situación, y destacando las características cratónicas proterozoicas del Complejo Oaxaqueño del Terreno Zapoteco (Fries *et al.*, 1962; De Cserna, 1971; Centeno, 2005), se definen a las morfoestructuras como de *paleocratón proterozoico* (*Oaxaquia*) *y de acreción de terrenos tectono-estratigráficos paleo-meso-cenozoicos en las zonas de sutura subductiva* (*Norteamericana-Cocos Sur*) *y transformante* (*Norteamericana-Caribe*). Esta última situación geodinámica, caracterizada por mecanismos transcurrentes de izquierda, impera en los territorios meridionales de México y los septentrionales de la vecina Guatemala, donde la actividad a lo largo de la provincia de fallas transcurrentes de Chiapas termina en el Istmo de Tehuantepec, es datada desde el Mioceno tardío (Viniegra, 1981; Barrier *et al.*, 1998). A su vez, las dataciones de rocas volcánicas permitieron a Burkart *et al.* (1987), considerar la actividad principal de estas fallas también en el Mioceno tardío.

Otras evidencias sobre el inicio de la actividad neotectónica regional en el Mioceno tardío, es el hallazgo por Watkins *et al.* (1981) de sedimentos de esta edad en la base de la columna estratigráfica de la Trinchera Mesoamericana. Todos estos datos proponen, que la evolución tectónica de la junta triple de Tehuantepec, se inició en el Mioceno tardío (Delgado *et al.*, 1990). Por otra parte, Lugo (1990) destaca la juventud de las estructuras geológicas que edifican el relieve del país, principalmente de la Sierra Madre del Sur, con el desarrollo de intensos movimientos verticales en el Neógeno-Cuaternario. Por tal motivo, la expresión estructuro-geomorfológica refleja la coexistencia de los estilos tectónicos antiguos, transformados por un estilo nuevo activo (N-Q), conformado por comunidades de bloques, desplazados vertical y horizontalmente, de manera diferenciada.

Basamento geológico

Una de las singularidades de la geología del estado de Oaxaca es su considerable complejidad petrográfica y estratigráfica, reflejada en la acreción de terrenos tectono-estratigráficos heterogéneos, caracterizados por diferentes complejos lito-estratigráficos y edades de emplazamiento, a partir del Proterozoico (Figura 1). La composición geológica de dichos terrenos permitió fundamentar el nivel jerárquico del basamento geológico en cinco grupos básicos, según sus composiciones y edades:

A. Complejos metamórficos e intrusivos precámbricos (Proterozoico tardío)

Para comprender el carácter y el desarrollo de la morfoestructura moderna oaxaqueña es imprescindible el conocimiento sobre la evolución histórico-geológica de la región sureste de México. En la actualidad, los criterios sobre la evolución geotectónica del país, compartidos por la mayor parte de la comunidad geológica (Campa *et al.,* 1983; Campa, 1984; Sedlock *et al.*, 1993; Ortega *et al.*, 1994, 1999; Dalziel *et al.*, 1994; Keppie *et al.*, 1995, 2003; Centeno, 2005), coinciden en que los basamentos proterozoicos de la región sureste son alóctonos, acrecionados a Laurentia durante sus colisiones con Gondwana durante tiempos paleozoicos; concretamente entre los cratones norte y suramericanos (Sánchez *et al.*, 1999). Realmente, la falta de correspondencia en la evolución geológica entre los terrenos tectono-estratigráficos del sureste de México evidencia un antiguo proceso de fracturación continental en bloques (Ortega *et al.,* 1995, 1999). El basamento metamórfico más antiguo corresponde al terreno Zapoteco, representado por el Complejo Oaxaqueño, que está constituido fundamentalmente por una secuencia paragnéisica, que sobreyace concordantemente a un complejo ortognéisico de composición gabroide-anortosíti-

ca (Bloomireld *et al.*, 1975; Ortega, 1977, 1981; Ramírez, 1984).

B. Complejos metamórficos (Complejo Acatlán), intrusivos batolíticos (Chiapas) y sedimentarios plegados paleozoicos

La composición lito-estratigráfica del complejo Acatlán, comprende cuatro unidades metasedimentarias y una de origen magmático, cortadas por otras tres unidades de intrusiones graníticas (Ortega, 1978). Las metasedimentarias están compuestas, en general, por migmatitas, esquistos micáceos, pelíticos y calcáreos, cuarcitas de biotita, filitas, metapedernales, metagrauvacas, metaconglomerados y metacalizas. En cuanto a las unidades magmáticas, se encuentran: metaofiolíticas de serpentinita, metagabros, eclogitas, anfibolitas, esquistos verdes, rocas graníticas y granodioríticas metamorfoseadas, entre otras. Dentro del basamento paleozoico se incluyen, además, secuencias sedimentarias marinas (calizas, areniscas, conglomerados finos), que permitieron proponer una secuencia alterna, durante el Paleozoico, de ascensos tectónicos y erosión, seguidos de subsidencia y acumulación, hasta la formación de la cobertura sedimentaria del Cretácico temprano (Pantoja *et al.*, 1967).

C. Complejos metamórficos, intrusivos, sedimentarios y vulcano-sedimentarios mesozoicos (Complejo Mazateco)

Este complejo constituye un prisma de rocas de arco volcánico y oceánicas fuertemente deformadas durante el Jurásico superior-Cretácico inferior (Carfantan, 1981; Sedlock *et al.*, 1993; Nieto *et al.*, 1995), compuesto por milonitas, metasedimentarias (grauvacas, areniscas, lutitas), calizas, volcano-sedimentarias metamorfoseadas, metavolcánicas de composición andesítica, granitoides y serpentinitas.

D. Complejos metamórficos e intrusivos mesozoicos (Complejo Xolapa)

El complejo Xolapa, también de carácter metamórfico, se extiende como una franja a lo largo de las planicies y montañas costeras del Pacífico, representando al Terreno Chatino, en contacto tectónico con los bordes meridionales de los terrenos Zapoteco (Precámbrico), Mixteco (Paleozoico) y Guerrero (Mesozoico), situados al Norte. El terreno Chatino consiste fundamentalmente de ortogneises cuarzo-feldespáticos de composición granodiorítica y de rocas metasedimentarias (Sedlock *et al.*, 1993), con edades mesozoicas reportadas por Guerrero *et al.* (1978). El complejo Xolapa está emplazado sobre los terrenos Mixteco y Zapoteco, y está intrusionado por granitoides terciarios, pegmatitas graníticas y diques máficos de enjambre (Sedlock *et al.*, 1993).

E. Complejos sedimentarios plegados y subhorizontales de las cuencas terciario-cuaternarias superpuestas, y complejos intrusivos y extrusivos terciarios

Las morfoestructuras, de carácter deprimido, ocupan estrechos sectores de la zona costera del Pacífico, las depresiones de Tehuacán-Oaxaca y los Valles Centrales de Oaxaca; las elevaciones plegadas y planicies estructurales de Veracruz, por el Noreste; así como las depresiones de tipo graben, de falla y de contacto litológico, localizadas entre las montañas. El basamento de este relieve es variado en edad y en litología, y elaborado sobre fragmentos de todos los terrenos descritos anteriormente y sobre formaciones cenozoicas.

Grado de modelado exógeno del relieve por el control litológico

La notable transformación neotectónica de Oaxaca y la heterogeneidad lito-estructural de sus terrenos tectono-estratigráficos, constituyen el proceso y la condición fundamentales de las relaciones espaciales entre la morfoestructura activa (tectónica) y pasiva (litológica), expresadas en los niveles de clasificación. La expresión superficial de la tectónica de bloque formó el plano de las morfoestructuras activas, las cuales fueron modeladas, de forma selectiva y bajo el control litológico, por los procesos denudativos, determinando la configuración y la expresión morfoescultural de los bloques de orden inferior. Para el territorio oaxaqueño se distinguen cinco expresiones litológicas en el modelado exógeno (Tabla 1).

Categorías geomorfológicas del relieve

Los grandes escalones morfoestructurales del relieve están determinados por la diferenciación de la intensidad de los movimientos neotectónicos y reflejan el espectro de las categorías y subcategorías básicas del relieve. Estos pisos altitudinales están claramente expresados en la distribución de los restos de superficies de planación del territorio oaxaqueño, analizados en las etapas preliminares de este trabajo y revisados durante los recorridos de campo. Para la determinación de los pisos altitudinales del relieve actual, que por sus características espaciales y evolutivas está enmarcado en una dimensión regional, fueron analizados y comparados los espectros geomorfológicos mundial, continental del territorio de la ex URSS, así como, el nivel insular cubano (Tabla 2). Las definiciones de las categorías y subcategorías del relieve oaxaqueño están regidas no sólo por su piso altitudinal sino, además, por las relaciones morfológicas y morfométricas en el contexto territorial de cuencas y valles intramontanos, y de cuencas costeras, donde la relación morfología-nivel de base definen su categoría y/o subcategoría.

Estilos morfotectónicos tridimensionales de interrelaciones entre bloques

Para la definición del plano neotectónico de las morfoestructuras activas de este territorio, los términos "horst y graben" resultan insuficientes. La configuración geométrica y las alturas relativas del conjunto de bloques expresan, con claridad, unidades conformadas por estilos tectónicos diferentes, cuyos límites coinciden con fallas notables. Estas comunidades de bloques morfotectónicos fueron categorizados en las montañas de Cuba oriental (Hernández *et al.*, 1994), como sistemas morfotectónicos tridimensionales de interrelaciones interbloques y representan una nueva categoría morfoestructural para el estudio neotectónico de regiones montañosas. De igual manera, en el territorio oaxaqueño se identificaron comunidades de

Tabla 2. Rangos altitudinales de las diferentes categorías y subcategorías del relieve a nivel global (Bashenina, 1988), regional continental de Oaxaca (propuesta de los autores), e insular de Cuba (Instituto de Geografía, Academias de Ciencias de Cuba, 1989)*

Categorías y subcategorías del relieve	Niveles espaciales (según criterios seleccionados*)		
	Mundial	Regional continental: Oaxaca	Insular: Cuba
Montañas muy altas	H > 5 000 m (acotada en 8 850 m, Pico Everest)	-----	-----
Montañas altas	2 500 < H ≤ 5 000 m	2 500 < H ≤ 3 750 m (Pico Quiexobra, Sierra Miahuatlán)	-----
Montañas medias	1 300 < H ≤ 2 500 m	1 300 < H ≤ 2 500 m	1 200 < H ≤ 1 970 m (Pico Turquino, Sierra Maestra)
Montañas bajas	800 < H ≤ 1 300 m	800 < H ≤ 1 300 m	800 < H ≤ 1 200 m
Montañas pequeñas	-----	-----	500 < H ≤ 800 m
Premontañas	600 < H≤ 800 m	400 < H ≤ 800 m	300 < H ≤ 500 m
Elevaciones o Lomeríos	650 m ≤ H	200 < H ≤ 400 m	Grandes (200 < H ≤ 300 m) Medias (120 < H ≤ 200 m) Pequeñas (120 m < H)
Planicies	0 < H≤ 250 m	220 m ≤ H	Altas (120 < H ≤ 280 m) Medias (20 < H ≤ 120 m) Pequeñas (20 m ≤ H)

bloques, que integran sistemas diferenciados por su estilo morfotectónico específico.

Para designar los estilos morfotectónicos, se estudió el desarrollo de las morfoestructuras y de algunos elementos estructurales en las direcciones transversal y longitudinal de los cuerpos morfotectónicos, su configuración planimétrica, el comportamiento altitudinal de las superficies de planación y las alturas relativas entre los bloques. Como resultado de este análisis se revelaron los estilos morfotectónicos tridimensionales siguientes: sistema lineal de bloques paralelos alineados por el rumbo (extremo occidental del Cerro Yucuiña, en la divisoria meridional de la cuenca Mixteca); sistema de bloques escalonados, en plegamientos y monoclinales, en ocasiones basculados (cerros El Venado y Chucunu, en la Sierra de Coicoyan; cerros Yucuño y Tinduhitun, en la Sierra de Tlaxiaco; y el Cerro El Guayabal, en la Sierra Peñoles); sistema monolítico de bloques isométricos, en plegamientos (en la Sierra de Juárez); sistema ortogonal escalonado de bloques masivos, en margen continental (cerros Conejo, Madrono, Muchacho, Coache, al este de la Sierra de Miahuatlán); sistema de bloques lineales, en plegamientos y monoclinales, escalonados y trenzados, por transcurrencias, y deformados en arco por transpresión interplacas Cocos-Norteamericana (premontañas y montañas de la Sierra Atravesada, Istmo de Tehuantepec); sistema basculado de bloques, en plegamientos y monoclinales (Cerro de Maíz, Sierra Mixe; Figura 2).

Tipos morfoestructurales específicos

El carácter morfoestructural específico designa la

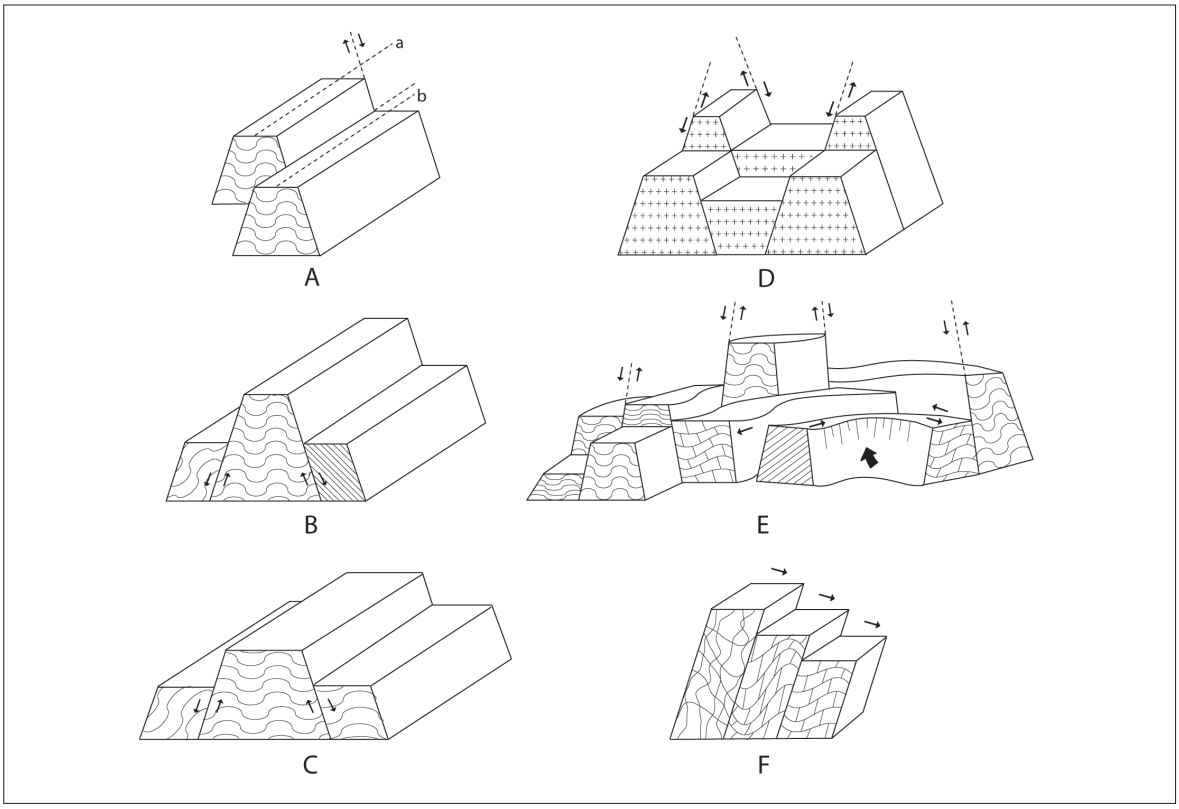

Figura 2. Algunos estilos geotectónicos de relaciones tridimensionales interbloques morfoestructurales del relieve del estado de Oaxaca. A. Sistema lineal de bloques paralelos, alineados por el rumbo; B. sistema de bloques escalonados, en plegamientos y monoclinales, en ocasiones basculados; C. sistema monolítico de bloques isométricos, en plegamientos; D. sistema octagonal escalonado de bloques masivos; E. sistema de bloques lineales, en plegamientos y monoclinales, escalonados y trenzados por esfuerzos transcurrentes y deformados en arco por transpresión interplacas; F. sistema basculado de bloques, en plegamientos y monoclinales.

estructura interna propia de la unidad tipológica más simple: el tipo de morfoestructura. En las Figuras 3a, b y c, se muestra el mapa tipológico de morfoestructuras, elaborado a escala 1:500 000, presentado en este trabajo a escala 1:1 400 000, pero manteniendo, en gran medida, su nivel de detalle. De acuerdo con su estructura interna, se destacan las morfoestructuras masivas, formadas en rocas intrusivas y metamórficas; plegadas; de bloques en plegamientos y en monoclinales; de estructura brechosa y caótica, y otras; mientras que tomando en consideración su posición con respecto al plano horizontal y a las unidades circundantes, se dividen en basculadas, inclinadas, escalonadas, arqueadas, trenzadas y otras. Las morfoestructuras arqueadas (en planta) responden a las deformaciones transpresivas del Istmo de Tehuantepec. Los detalles y la específica de cada unidad morfoestructural aparecen relacionados en la leyenda de la Figura 3. Finalmente, se abordaron las formas estructuro-geomorfológicas del relieve, entre las que se destacan: fallas normales, inversas, de sobrecorrimiento y de desplazamiento horizontal; morfoalineamientos; estructuras circulares; basculamientos y otras. Las formas morfoestructurales del relieve fueron excluidas de esta versión por limitaciones de escala cartográfica y, dado además, que el alcance del trabajo se relaciona más con la clasificación tipológica de los tipos de morfoestructuras.

Los seis niveles jerárquicos de clasificación morfoestructural, fundamentados y aplicados al territorio de estudio, permitieron la identificación e integración de las diferentes unidades tipológicas sobre una base de sistematización de la información geológico-geomorfológica y de los datos del reconocimiento de campo.

Figura 3a, b y c. Clasificación morfoestructural del relieve del estado de Oaxaca:

I - Basamentos geológicos: A. Complejos metamórficos e intrusivos precámbricos (Complejo Oaxaqueño); B. Complejos metamórficos (Complejo Acatlán), intrusivos batolíticos (Chiapas) y sedimentarios plegados paleozoicos; C. Complejos metamórficos, intrusivos, sedimentarios y vulcano-sedimentarios mesozoicos (Complejo Mazateco); D. Complejos metamórficos e intrusivos cretácicos (Complejo Xolapa); E. Complejos sedimentarios plegados y subhorizontales de las cuencas terciario-cuaternarias superpuestas, y complejos intrusivos y extrusivos terciarios.

II - Grado de reelaboración morfoescultural: a. Relieve estructuro-denudativo, sobre complejos carbonatados y metacarbonatados; b. Relieve estructuro-denudativo, sobre complejos metamórficos, intrusivos y extrusivos; c. Relieve denudativo-tectónico, sobre complejos intrusivos, metaterrígenos y terrígenos; d. Relieve denudativo-acumulativo, sobre basamentos antiguos y modernos, en cuencas intramontanas y costeras; e. Relieve transgresivo-litoral, formado por procesos fluviales, marinos y palustres acumulativos en cuencas costeras. III - Categorías básicas del relieve:

III.a - Montañas (formadas en regiones de intensos movimientos neotectónicos del N_1^{2-3}-Q): Montañas altas (H>2 500 m), consolidadas en el N_1^{2-3}-Q: 1.A.b. Masivas, en bloques; 2.B.b. Plegadas, escalonadas, en bloques paralelos; 3.C.c. De bloques en plegamientos; 4.C.a. De bloques, en plegamientos y monoclinales, en ocasiones basculados, en cadenas; 5.C.b. De estructura brechosa, caótica, intensamente fracturada; 6.E.c. Masivas, en bloques isométricos; 7.E.c. Masivas, en bloques irregulares; 8.E.d. De bloques en plegamientos y monoclinales, en cadenas. **Montañas medias (1 300 < H ≤ 2 500 m), consolidadas en el N_1^{2-3}-Q**: 9.A.b. Masivas, aisladas, en bloques lineales; 10.B.b. Masivas, escalonadas y trenzadas por esfuerzos transcurrentes, con deformación transpresiva; 11.B.b. Plegadas, en bloques paralelos, en cadenas; 12.B.b. De bloques en plegamientos; 13.C.b. En plegamientos y monoclinales, en bloques lineales; 14.C.c. De bloques en plegamientos, escalonadas y trenzadas por esfuerzos transcurrentes, con deformación transpresiva; y en estructuras anulares; 15.C.c. Plegadas, escalonadas, en bloques paralelos; 16.D.c. De bloques en plegamientos, en ocasiones masivas; 17.C.a. De bloques, en plegamientos y monoclinales, en ocasiones basculadas, en cadenas; 18.C.b. De estructura brechosa caótica, intensamente fracturadas; 19.E.c. Masivas, en bloques escalonados, periféricas; 20.E.d. De bloques en plegamientos y monoclinales, en cadenas; 21.E.c. De bloque, masivas, en bloques lineales y estructu-

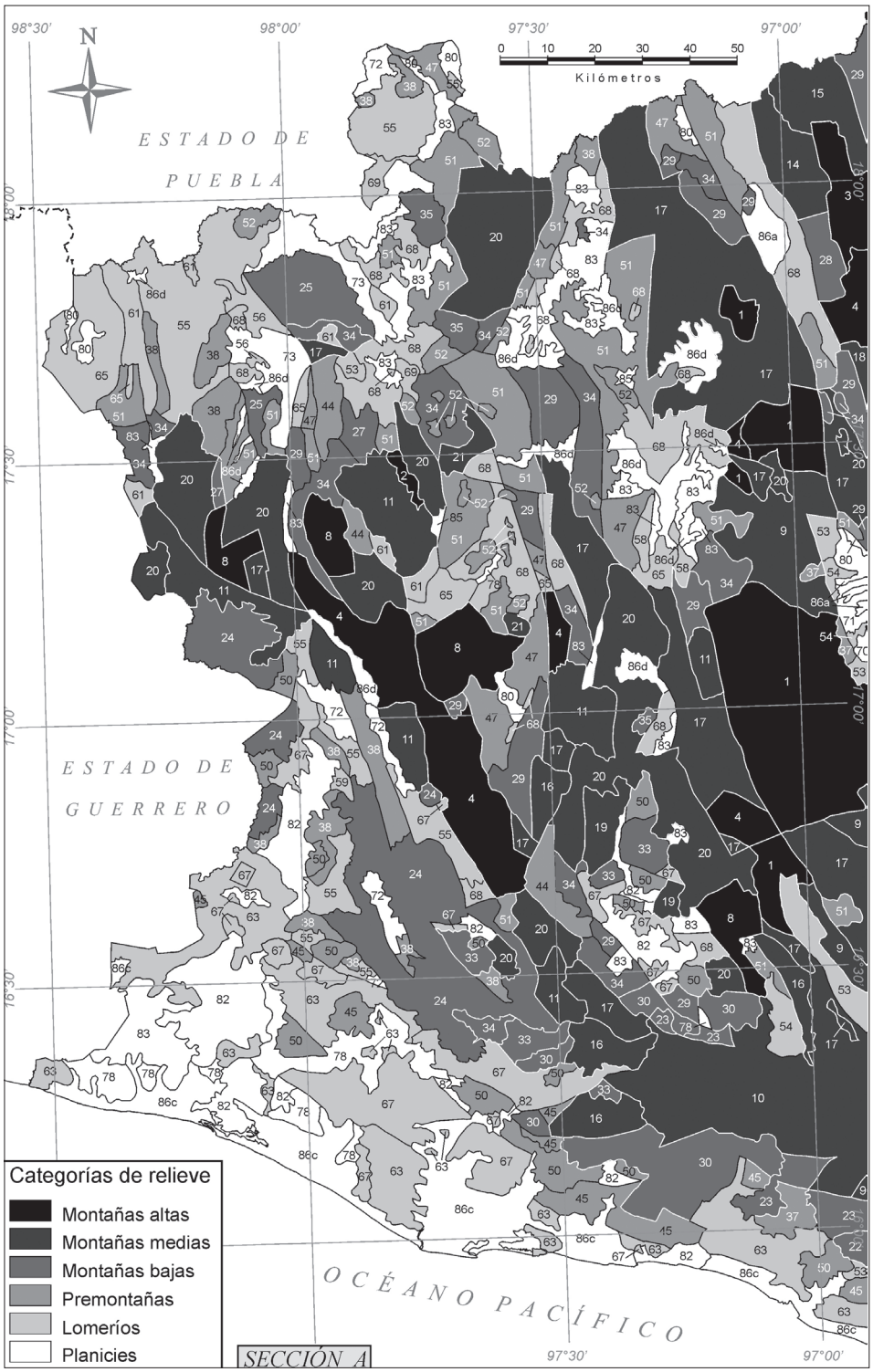

Figura 3a. Morfoestructuras del estado de Oaxaca, a escala 1:1 400 000 (Sección A).

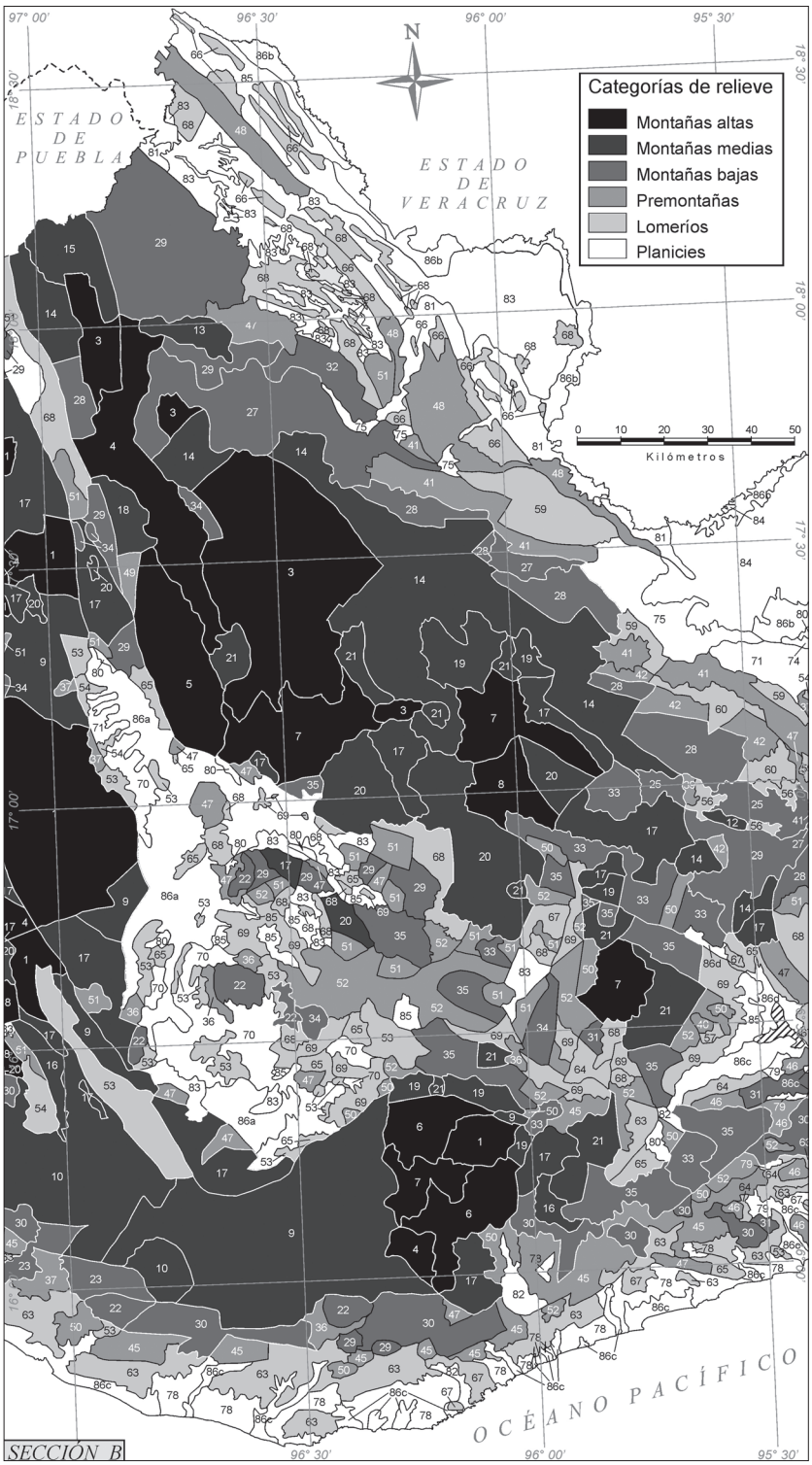

Figura 3b. Morfoestructuras del estado de Oaxaca, a escala 1:1 400 000 (Sección B).

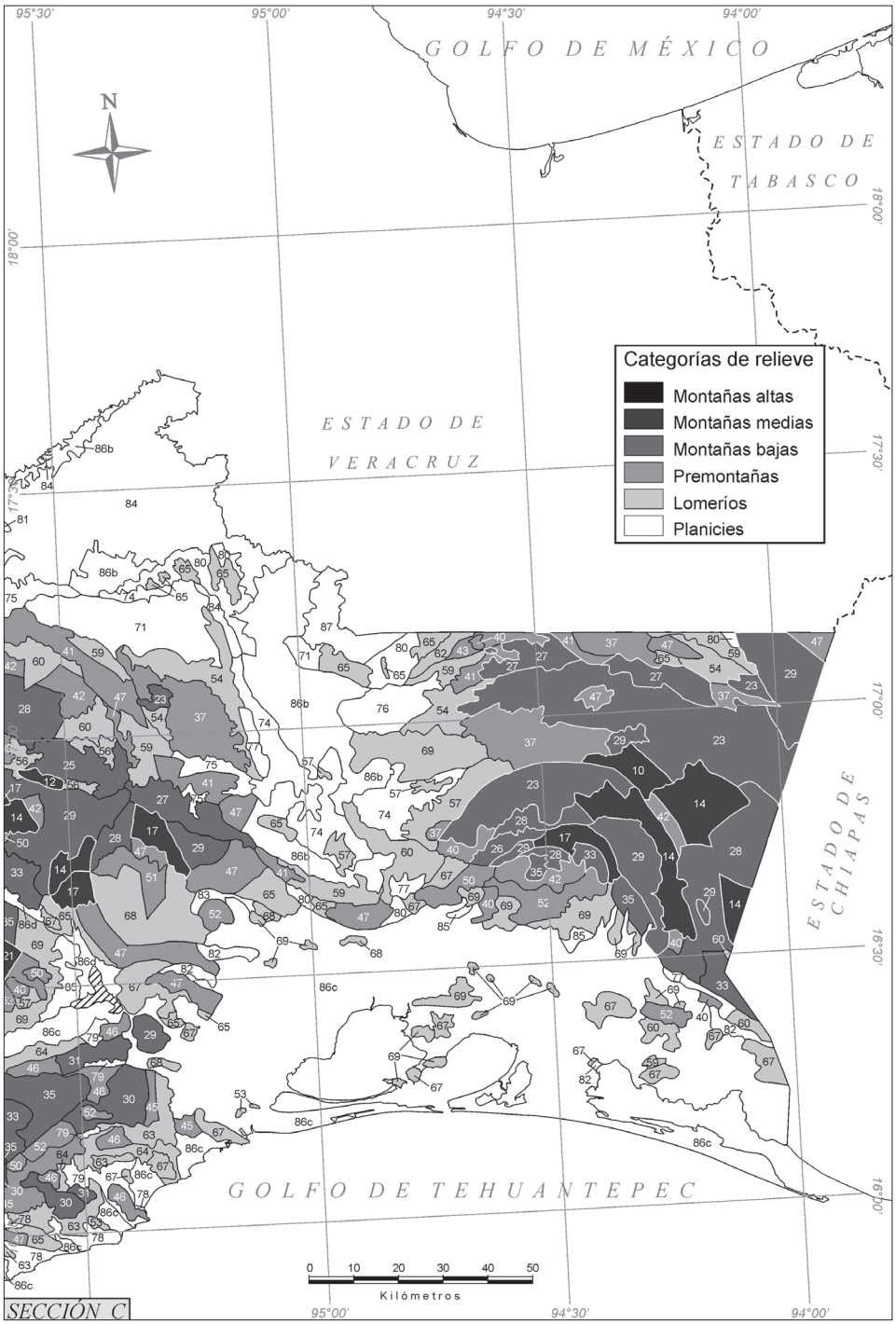

Figura 3c. Morfoestructuras del estado de Oaxaca, a escala 1:1 400 000 (Sección C).

ras circulares. **Montañas bajas (800 < H ≤ 1 300 m), consolidadas en el N_1^3-Q**: 22.A.b. Masivas, en bloques escalonados y en estructuras anulares en depresiones intramontanas de graben; 23.B.b. Masivas, escalonadas y trenzadas por transcurrencias, con deformación transpresiva; 24.B.b. Plegadas fuertemente, en anticlinales; 25.B.b. De bloques en plegamientos, en cadenas aisladas; 26.C.c. De bloque en monoclinales, escalonadas y trenzadas por transcurrencias, con deformación transpresiva; 27.C.c. En plegamientos, escalonadas y trenzadas por transcurrencias, con deformación transpresiva; 28.C.c. Plegadas y masivas, con deformación transpresiva, en bloques escalonados y en estructuras anulares; 29.C.a. De bloques, en plegamientos y monoclinales, en ocasiones basculadas, en cadenas; y en bloques escalonados y trenzados por transcurrencias; 30.D.c De bloques en plegamientos, isométricos, escalonados; 31.C.c. De bloques en plegamientos, en bloques escalonados e irregulares; 32.C.a. De bloques en plegamientos, en cadenas paralelas; 33.E.c. Masivas, en bloques escalonados, trenzados por transcurrencias y con deformación transpresiva; 34.E.d. De bloques en plegamientos y monoclinales, en estructuras concéntricas; 35.E.c. De bloques, masivas, concéntricas; y escalonadas y trenzadas por transcurrencias, con deformación transpresiva; **Premontañas (400 < H ≤ 800 m), consolidadas en el N_2-Q**: 36.A.b. Masivas, escalonadas, de bloque y en estructuras anulares en depresiones intramontanas de graben; 37.B.b. Masivas, de bloques escalonados y trenzados por transcurrencias, con deformación transpresiva; 38.B.b. En anticlinales, en bloques paralelos y escalonados; 39.B.b. Plegadas, en bloques irregulares; 40.C.c. De bloque en plegamientos y monoclinales, lineales, escalonadas y trenzadas por transcurrencias, con deformación transpresiva; 41.C.c. En plegamientos y monoclinales, en bloques escalonados y trenzados por transcurrencias, con deformación transpresiva; 42.C.c. Plegadas y masivas, escalonadas y trenzadas por transcurrencias, con deformación transpresiva; 43.C.b. De bloques en plegamientos, escalonadas y trenzadas por transcurrencias, con deformación transpresiva; 44.C.c. Plegadas, escalonadas, en bloques lineales; 45.D.c. De bloques en plegamientos, escalonadas y paralelas, isométricas; 46.C.c. De bloques en plegamientos, irregulares; 47.C.a. De bloques, en plegamientos y monoclinales, en ocasiones basculadas y aisladas, trenzadas por transcurrencias y deformadas en arco por transpresión interplacas; y en estructuras concéntricas; 48.C.a. De bloques en plegamientos, en cadenas paralelas de bloques lineales, condicionando depresiones de graben; 49.C.b. De estructura brechosa caótica, intensamente fracturada, en bloques lineales; 50.E.c. Masivas, escalonadas, trenzadas por transcurrencias y deformadas por transpresión; 51.E.d. De bloques en plegamientos y monoclinales, concéntricas; y en bloques paralelos; 52.E.c. De bloques, masivas, paralelas, aisladas, y escalonadas, trenzadas por transcurrencias y deformadas en arco por transpresión interplacas;

III.b - Lomeríos (formados en regiones de moderados movimientos neotectónicos del N_2^3-Q: 53.A.b. Masivos, anulares, en zonas de transpresión; 54.B.b. Masivos, en bloques escalonados y trenzados, deformados por transpresión; y en bloques lineales, en graben; 55.B.b. Plegados, en bloques irregulares; 56.B.b. Plegados, inclinados, en depresiones intramontanas; 57.C.c. En plegamientos y monoclinales, en bloques escalonados, fragmentados, trenzados por transcurrencias y deformados por transpresión; 58.C.c. De bloque en plegamientos, lineales, aislados en graben complejo; 59.C.c. En plegamientos y monoclinales, escalonados, trenzados por transcurrencias y deformados por transpresión; 60.C.c. Plegados y masivos, en bloques escalonados, trenzados por transcurrencias y deformados por transpresión; y en bloques escalonados irregulares; 61.C.c. De bloque en plegamientos, lineales, aislados; 62.C.b. De bloques en plegamientos, escalonados, trenzados por transcurrencias y deformados por transpresión; 63.C.c. Masivos, en ocasiones plegados, en bloques isométricos escalonados y paralelos; 64.C.c. De bloques en plegamientos, irregulares; 65.C.a. De bloques, en plegamientos y monoclinales, en ocasiones basculados, en bloques lineales, aislados; 66.C.a. De bloques en plegamientos, en cadenas lineales paralelas de horst y graben; 67.E.c. Masivos, en bloques escalonados, trenzados por transcurrencias y deformados por transpresión; y en bloques aislados, en cuencas transgresivas;

68.D.d. De bloques alineados, en plegamientos y monoclinales, en cadenas alternas con depresiones de graben; 69.E.c. De bloques, masivos, concéntricos; y en sistemas escalonados, trenzados por transcurrencias y deformados por transpresión; y en sistemas escalonados pseudopericlinales.

III.c Planicies (formadas en estructuras de graben, valles de falla y depresiones litólogo-estructurales intramontanas, involucradas en los ascensos montañosos neotectónicos intensos del N_1^3-Q; y en regiones costeras transgresivas, de débiles ascensos y descensos neotectónicos del N_2^3-Q): 70.A.b. En zócalo masivo, en estructuras anulares, en graben; 71.A.b. En zócalo masivo, basculadas y en graben; 72.B.b. En zócalo plegado, débilmente inclinadas, ocupando graben lineales; 73.B.b. En zócalo plegado, escalonadas, en bloques irregulares; 74.C.c. En zócalo plegado y monoclinal, escalonadas, trenzadas por transcurrencias y deformadas por transpresión; 75.C.c. En zócalo plegado y monoclinal, en graben, controladas por estructuras anulares; 76.C.c. En zócalo masivo, en bloques escalonados, trenzados por transcurrencias y deformados por transpresión; 77.C.c. Masivas, en ocasiones plegadas, en bloques escalonados, trenzados por transcurrencias y deformados por transpresión; 78.C.c. En zócalo masivo, en ocasiones plegado, escalonadas en bloques isométricos; 79.C.c. En zócalo plegado, ocupando depresiones de fallas; 80.C.a. De bloques, en plegamientos y monoclinales, en ocasiones basculados, escalonados, trenzados por transcurrencias y deformados por transpresión; y en valles de falla, entre bloques lineales paralelos; 81.C.a. De bloques en plegamientos, ocupando graben lineales; 82.C.c. En zócalo masivo, en graben, involucradas en transpresiones; 83.E.d. En zócalo, con predominio monoclinal, escalonadas; 84.E.d. De bloques en monoclinales y secuencias ligeramente plegadas, escalonadas; 85.E.c. De bloque, en zócalo masivo, concéntricas; 86.E.d. En substrato cuaternario: *a)* En macro-graben lineal y en depresiones concéntricas, en grandes cuencas intramontanas; *b)* En cuencas transgresivas, ligeramente inclinadas; *c)* En cuencas transgresivas, ligeramente basculadas, ocupando depresiones de graben, así como formando sistemas escalonados y arqueados de planicies; *d)* En depresiones de graben, de falla, de contacto y litólogo-estructurales complejas, en cadenas; 87.E.d. de bloque, en zócalo monoclinal y ligeramente plegado.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Validación del enfoque metodológico

Los criterios utilizados en la clasificación tipológica de las morfoestructuras del estado de Oaxaca agrupan, de manera jerárquica, todos aquellos factores que determinaron, tanto el desarrollo paleoestructural como su reconstrucción moderna, incluyendo el papel del modelado bajo la condicionante pasiva de la litología. En este sentido, los niveles superiores de la clasificación (el tipo de geotextura, el basamento geológico y el carácter litológico del modelado) reflejan la disimilitud geofísica y estructural de la corteza, así como la desigualdad de su desarrollo histórico-geológico en las etapas antiguas de su consolidación, constituyendo la "raíz" de la diferenciación morfoestructural del relieve actual. A su vez, los niveles inferiores (categorías y subcategorías geomorfológicas, intensidades neotectónicas y el carácter morfoestructural específico) son el resultado de la evolución en la etapa moderna y se diferencian por las particularidades del desarrollo histórico-geomorfológico, por las deformaciones tectónicas de los niveles del relieve y de las estructuras antiguas, y por las diferencias del modelado exógeno de sus superficies.

La aplicación de la metodología permitió revelar la gran diversidad regional de las condiciones estructuro-geomorfológicas del relieve, basadas en una historia geotectónica con disímiles episodios, como la fracturación del paleocontinente Gondwana, la acreción a Laurentia de los terrenos antiguos Zapoteco y Mixteco durante las colisiones cratónicas paleozoicas, el carácter global de las transgresiones mesozoicas con la extensión de coberturas carbonatadas y terrígenas, las deformaciones plicativas de la orogenia Laramide, la sepultura de muchas estructuras por la deposición volcánica, y finalmente, la activación de una tectónica de bloques verticales y hirozontales bajo mecanismos transcurrentes durante la etapa neotectónica

(Neógeno-Cuaternario), que se puede considerar como la etapa geomorfológica del desarrollo del relieve actual. Los acontecimientos geólogo-geomorfológicos a partir del Mioceno medio-tardío muestran las fases de consolidación y del desarrollo primario de la morfoestructura moderna del relieve.

Evolución morfoestructural en la etapa de desarrollo del relieve moderno

El relieve moderno de Oaxaca está condicionado por su posición en el margen convergente de subducción de la placa oceánica Cocos en interacción con la continental Norteamericana, y se formó bajo intensos movimientos neotectónicos, que incluso desplazaron a las secuencias sedimentarias continentales del Terciario hasta altitudes superiores a los 2 000 m y más, ocupando restos de las antiguas superficies de planación mio-pliocénicas (cerros Tecolote, Quiatoni, Toba, El Campanario, Lumbre, de la Luna, en la Sierra Madre de Oaxaca; y los cerros Yucunani y Piedra de la Olla, en las sierras de Coicoyan y Tlaxiaco, respectivamente, en la Mixteca). Por ello, se considera que las regiones geomorfológicas modernas de Oaxaca y sus circundantes se consolidaron a partir del Neógeno.

En esta etapa neotectónica se reconstruyen las estructuras anteriores del basamento, generándose nuevos sistemas de fallamiento, con transcurrencias y transpresiones, existiendo en diversos casos, relaciones concordantes, de herencia y reactivación de las unidades iniciales del basamento, en conformidad con sus límites y estilos tectónicos. Las estructuras antiguas, como las fallas Oaxaca, Caltepec, Vista Hermosa, Chacalapa y otras, también constituyen límites del plano morfoestructural moderno. Por ejemplo, la falla Oaxaca, con desplazamientos durante el Cenozoico tardío (Centeno, 1988; Alaniz, 1996), representa la zona de articulación entre las morfoestructuras montañosas modernas de la Sierra de Juárez y los lomeríos y planicies del graben Oaxaca-Tehuacán, conocido como la cañada oaxaqueña.

En el extremo suroccidental del terreno Mixteco, las morfoestructuras de bloque en plegamientos poseen una orientación norte y noroeste, debido a la reactivación de los elementos tectónicos antiguos, cuyas deformaciones se formaron durante la acreción del complejo Xolapa al continente. Por otra parte, en la región del Istmo de Tehuantepec se aprecian estructuras plegadas y falladas con desplazamiento lateral izquierdo, como resultado de la influencia de la provincia de transcurrencias de Chiapas.

El desarrollo del relieve moderno, ocurrido a partir del Terciario, modificó las estructuras de las orogenias subherciniana y laramídica, y permitió su expresión en la superficie, mediante una contrastante diferenciación en bloques longitudinales y transversales, bajo regímenes diferenciados de desplazamientos verticales y horizontales, activos hasta el presente. En general, para este territorio la edificación neotectónica es realmente una reconstrucción y un reordenamiento de la morfoestructura antigua proterozoica y paleo-mesozoica. El cuadro se caracteriza por morfoestructuras discordantes (positivas y negativas), no heredadas o cuanto más, parcialmente reactivadas respecto al plano morfoestructural antiguo, lo cual es un reflejo de los cambios significativos en el régimen de los movimientos tectónicos relacionados con las zonas de fallas más importantes. Todo lo anterior determina la coexistencia de elementos estructurales de diferentes etapas de la evolución geotectónica con estilos geodinámicos diferentes, y por supuesto, con expresiones contrastantes en el relieve.

CONCLUSIONES

En el territorio oaxaqueño, el grado de estudio geológico de los basamentos es suficiente para comprender las raíces antiguas de la morfoestructura en su plano más general, donde se incluyen las características de sus fases de preparación, consolidación y de reconstrucción de este plano antiguo. En este sentido, la diferenciación espacial de los terrenos tectono-estratigráficos permitió establecer, conjuntamente con el análisis estructuro-geomorfológico, del estilo morfotectónico tridimensional, del control litológico pasivo y de la estructura interna del relieve, una tipología sistémica y compleja de sus morfoestructuras. Por su estructura interna, se destacan las morfoestructuras masivas; plegadas; de bloques en plegamientos

y en monoclinales; de estructura brechosa y caótica, y otras; mientras que por su posición con respecto al plano horizontal y a las unidades circundantes, se dividen en basculadas, inclinadas, escalonadas, arqueadas, trenzadas y otras. Dada la heterogeneidad litológica de los basamentos y de la estructura específica del relieve, fueron determinados 87 tipos de morfoestructuras.

Atendiendo a los estilos geotectónicos de interrelaciones morfotectónicas interbloques sobresalen el sistema lineal de bloques paralelos, alineados por el rumbo; sistema de bloques escalonados, en plegamientos y monoclinales, en ocasiones basculados; sistema monolítico de bloques isométricos, en plegamientos; sistema ortogonal escalonado de bloques masivos; sistema de bloques lineales, en plegamientos y monoclinales, escalonados y trenzados por esfuerzos transcurrentes, y deformados en arco por transpresión entre placas; sistema basculado de bloques, en plegamientos y monoclinales, entre otros.

En los Valles Centrales de Oaxaca, la configuración circular y anular de diversos morfoelementos del relieve, como cadenas montañosas concéntricas, patrones fluviales de primero y segundo orden (radiales) y de tercero y más órdenes (anulares) y diferenciación espacial del ángulo de inclinación de las laderas (abruptas, generalmente hacia el interior) y suaves (hacia el exterior) reflejan la existencia de emplazamientos intrusivos, generadores de una estructura circular extensa en torno al núcleo montañoso aislado de Cerro Labrador, en el centro de dicha región oaxaqueña. Trabajos a detalle confirmarán, en el futuro, el carácter genético de esta morfoestructura regional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen sinceramente al Dr. Fernando Ortega-Gutiérrez, investigador del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como a los árbitros anónimos y a los especialistas de la Sección Editorial del Instituto de Geografía, las sugerencias y comentarios al manuscrito de este trabajo.

REFERENCIAS

Alaniz Álvarez, S. A. (1996), *Edad, cinemática e implicaciones tectónicas de los eventos de deformación de la zona de cizalla de Oaxaca, México*, Ph. D., UNAM, México.

Barrier, E., L. Velasquillo, M. Chavez and R. Gaulon (1998), "Neotectonic evolution of the Isthmus of Tehuantepec (Southeastern Mexico)", *Tectonophysics,* no. 287, pp. 77-96.

Bashenina, N. B. (1988), "Geomorfologuicheskaia Karta Mira, m-ba 1: 15 000 000", *Izdatelstba Gozudarstbennii Uprablienia Geodezii y Kartografii*, Moscú, 1 hoja (en ruso).

Bloomireld, K. y F. Ortega-Gutiérrez (1975), "Notas sobre la petrología del complejo oaxaqueño", *Boletín del Instituto de Geología,* núm. 95, pp. 30-48.

Burkart, B. and B. C. Deaton (1987), "Tectonic wedges and offset of Laramide structures along the Polochic fault of Guatemala and Chiapas, Mexico-reaffirmation of large Neogene displacement", *Tectonics*, no. 6, pp. 411-422.

Campa-Uranda, M. F. and P. J. Coney (1983), "Tectono-estratigraphic terranes and mineral resources distribution of Mexico", *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 20, pp. 1040-1051.

Campa-Uranda, M. F. (1984), "Interpretación tectónica continental de la región mixteca", *Bol. Soc. Geol. Mex.*, t. XLV, núm. 1-2, pp. 1-113.

Carfantan, J. Ch. (1981), "Evolución estructural del Sureste de México: paleogeografía e historia tectónica de las zonas internas mesozoicas", Boletín del *Instituto de Geología,* vol. 5, núm. 2, pp. 207-216.

Centeno García, E. (1988), *Evolución estructural de la falla de Oaxaca durante el Cenozoico*, tesis de Maestría, UNAM, México.

CRM (1996), "Monografía geológico-minera del estado de Oaxaca y mapa geológico de Oaxaca a escala 1: 500 000, Ed. OFFSET y DISEÑO, Consejo de Recursos Minerales, México.

Dalziel, I. W. D. L. H. Dalla-Salda and L. M. Gahagan (1994), "Paleozoic Laurentia-Gondwana interaction and the origin of the Appalachian-Andean mountain system", *Geological Society of America Bulletin*, v. 106, pp. 243-252.

De Cserna, Z. (1971), "Precambrian sedimentation, tectonics and magmatism in Mexico", *Geol. Rundschau*, pp. 1488-1513.

Delgado-Argote, L. A. y E. A. Carbadillo Sánchez (1990), "Análisis tectónico del sistema transpresivo neogénico entre Macuspana, Tabasco, y Puerto Ángel, Oaxaca", *Boletín del Inst. Geología,* vol. 9, núm. 1, pp. 21-32.

Díaz Díaz, J. L., A. H. Portela Peraza, J. R. Hernández Santana, A. R. Magaz García y P. Blanco Segundo (1989), "Morfoestructuras", en *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* (IV.3.1), Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid.

EPA & USGS (1973), *Imagen multiespectral Nalc Pathfinder WRS2 Path 024*, Row 047, Eros Data Center, USA.

EPA & USGS (1974), *Imagen multiespectral Nalc Pathfinder WRS2 Path 025*, Row 049, Eros Data Center, USA.

EPA & USGS (1986) *Imagen multiespectral Nalc Pathfinder WRS2 Path 024*, Row 048, Eros Data Center, USA.

EPA & USGS (1990), *Imagen multiespectral Nalc Pathfinder WRS2 Path 025*, Row 048, Eros Data Center, USA.

Fries, C. y E. Schmitter (1962), "Rocas precámbricas de edad Grenvilliana de la parte central de Oaxaca en el sur de México". *Boletín del Instituto de Geología,* núm. 64, pp. 45-53.

Guerasimov, I. P. (1986), "Problemii globalnoi geomorfologuii-covremennaia geomorfologuia i teoriia mobilisma b geologicheskai historii Zemlii-", *Izdatelstba Nauka*, Moscú (en ruso).

Guerrero, J. C., T. Silver y T. H. Anderson (1978), "Estudios geocronológicos en el complejo Xolapa", *IV Convención Geológica Nacional*, t. XXXIX, 1, pp. 22-33.

Hernández Santana, J. R., M. A. Ortiz Pérez, A. R. Magaz García, J. L. Díaz Díaz y J. J. Zamorano Orozco (1994), "Estilos geotectónicos bidimensionales y tridimensionales de interrelación interbloques: una nueva categoría neotectónica para la determinación de morfoestructuras montañosas", *Investigaciones Geográficas*, *Boletín*, núm. 28, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 9-32.

Hernández Santana, J. R., A. R. Magaz García, M. A. Ortiz Pérez y J. J. Zamorano Orozco (1995), "Clasificación morfoestructural (tipológica) y morfotectónica (regional) del relieve oriental cubano: modelo insular de transición interplacas", *Investigaciones Geográficas,Boletín*, núm. especial 3, Instituto de Geografía, UNAM, México pp.13-35.

Hernández Santana, J. R., M. A. Ortiz Pérez y J. J. Zamorano Orozco (1996), "Regionalización morfoestructural de la Sierra Madre del Sur, México", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 31, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 45-67.

INEGI (2004), *Síntesis de Información Geográfica del Estado de Oaxaca*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México [11 mapas a escala 1:250 000], México.

Institut Geografii, Academii Nauk CCCP (1984), "Geomorfologuicheskaia karta CCCP b maschtabe 1: 2 500 000", *Izdatelstba Gozudarstbennii uprablienia geodezii y kartografii*, Moscú, 16 hojas (en ruso).

Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba (1989), "Geomorfología", en *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, IV.3.2-3, Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid.

Keppie, J. D. and F. Ortega-Gutiérrez (1995), "Provenance of Mexican terranes: isotopic constraints", *International Geology Review*, v. 37, pp. 813-824.

Keppie, J. D., J. Dostal, K. L. Cameron, L. A. Solari, F. Ortega-Gutiérrez and R. López (2003), "Geochronology and geochemistry of Grenvillian igneous suites in the northern Oaxacan Complex, southern Mexico: tectonic implications", *Precambrian Research,* no. 120, pp. 365-389.

Lugo-Hubp, J. (1990), "El relieve de la República Mexicana", *Boletín del Instituto de Geología, v*ol. 9, 1, pp. 82-111.

Malfait, B. and M. Dinkelman (1972), "Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and the evolution of the Caribbean plate", *Bull. Amer. Geol. Soc*., no. 83(2), pp. 251-272.

Nieto-Samaniego, A. F., S. A. Alaniz Álvarez y F. Ortega-Gutiérrez (1995), "Estructura interna de la falla de Oaxaca (México) e influencia de las anisotropías litológicas durante su actividad cenozoica", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas,* v. 12, núm. 1, pp. 1-8.

Ortega-Gutiérrez, F. (1977), "Los mármoles intrusivos del complejo oaxaqueño", *Boletín del Instituto de Geología,* 1, pp. 28-32.

Ortega-Gutiérrez, F. (1978), "Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca baja, estados de Puebla y Oaxaca", *Boletín del Instituto de Geol*ogía, v. 2, 2, pp. 112-131.

Ortega-Gutiérrez, F. (1981), "Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance", *Geofísica Internacional*, v. 20, núm. 3, pp. 177-202.

Ortega-Gutiérrez, F., L. M. Mitre-Salazar, J. Roldán-Quintana, J. Aranda-Gómez, D. Morán-Zenteno, S. Alaniz-Álvarez y A. Nieto-Samaniego (1992), *Carta Geológica de la República Mexicana*, escala 1:2 000 000, 1 hoja, UNAM, México.

Ortega-Gutiérrrez, F., R. L. Sedlock and R. C. Speed (1994), "Phanerozoic tectonic evolution of Mexico. DNAG Continent - Ocean Transect, Volume Phanerozoic Evolution of North American Continent-Ocean Transitions", *Geol. Soc. Amer*., Chapter 5, pp. 265-306.

Ortega-Gutiérrez, F., J. Ruiz and E. Centeno García (1995), "Oaxaquia –a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic–, *Geology*, v. 23, pp. 1127-1130.

Ortega-Gutiérrez, F., M. Elías Herrera, M. Reyes Salas, C. Macías Romo and R. López (1999), "Late Ordovician-Early Silurian continental collisional orogeny in Southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections", *Geology*, v. 27, no. 8, pp. 719-722.

Pantoja-Alor, J. and R. A. Robison (1967), "Paleozoic sedimentary rocks in Oaxaca, Mexico", *Science*, v. 157, 3792, pp. 1033-1035.

Ramírez Espinosa, J. (1984), "La acreción de los terrenos Mixteco y Oaxaca durante el Cretácico inferior, Sierra Madre del Sur", *Bol. Soc. Geol. Mex.*, t. XLV, 1-2, pp. 7-19.

Sánchez Zavala, J. L., E. Centeno García and F. Ortega-Gutiérrez (1999), "Review of paleozoic stratigraphy of Mexico and its role in the Gondwana-Laurentia connections", *Geological Society of America*, Special Paper 336, pp. 211-226.

Sedlock, R. L., F. Ortega-Gutiérrez and R. C. Speed (1993), "Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico", *Geological Society of America*, Special Paper 278.

Viniegra, F. (1981), "El Gran Banco Calcáreo Yucateco", *Ingeniería*, UNAM, pp. 21-44.

Watkins, J. S., K. J. McMillen, S. B. Bachman, T. H. Shipley, J. C. Moore and C. Angevine (1981), Tectonic synthesis, Leg-66 transect and vicinity: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 66, pp. 837-849.