

Formación y consolidación de las morfoestructuras septentrionales de la región central del archipiélago cubano y su geodinámica reciente

Antonio Rafael Magaz García*
José Ramón Hernández Santana**
Jorge Luis Díaz Díaz***
Idania Hernández Guerrero****

Recibido: 12 de agosto de 2005
Aceptado en versión final: 18 de agosto de 2006

Resumen. La región septentrional del territorio central cubano constituye un prisma acrecionario del Cretácico Cenomaniense-Eoceno superior temprano, compuesto por la imbricación del margen continental de Bahamas, de fragmentos de corteza oceánica antigua y de restos del arco volcánico cretácico. La formación y consolidación morfoestructural del relieve actual responde a dos etapas principales del desarrollo geotectónico, una de compresión tangencial, laramídico, de grandes desplazamientos horizontales, y otra de reordenación neotectónica de la estructura y del paleorrelieve alpino, con predominio de movimientos verticales oscilatorios, a partir del Eoceno superior temprano. Esto generó en el relieve, morfoestructuras de horst escalonados en mantos de sobrecorrimientos verticalizados y cuñas tectónicas, de zócalo plegado en bloques, de bloques escalonados en monoclinales, y otros tipos.

Los movimientos tectónicos recientes de estas morfoestructuras, según las nivelaciones reiteradas, indican una estructura en bloques y muestran un carácter diferenciado, con gradientes generalmente suaves entre los mismos, aunque fuertes en ocasiones, a lo largo de las líneas geodésicas de precisión Remedios-Holguín y Minas-Camagüey, con valores extremos de sus velocidades relativas anuales de +3.5 mm/año (bloque de llanuras bajas Esmeralda-Jaronú) y de -10.0 mm/año (graben San Miguel de Baga).

Palabras clave: Morfoestructuras, movimientos tectónicos recientes, Cuba central.

* Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Vedado, Municipio Plaza, C. P. 10400, Ciudad de La Habana, Cuba.

** Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: santana@igg.unam.mx

*** Compañía Especializada en Soluciones Integrales Geográficas y Medio Ambientales, Miramar, Municipio Playa, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail : jorge@cesigma.com.cu

**** Empresa Geodesia GEOCUBA, Loma y 39, Nuevo Vedado, Municipio Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba.

Formation and consolidation of northern central morphostructures from the Cuban archipelago and its recent geodynamics

Abstract. The northern region of Cuba's central territory constitutes an accretionary prism that ranges from the Cenomanian Cretaceous to the Early Upper Eocene, constituted by the imbrication of the Bahamas continental edge, fragments of ancient oceanic crust and remains of the Cretaceous volcanic arc. The morphostructural formation and consolidation of present - day relief results from two main phases of geotectonic development: Laramic tangential compression, involving large horizontal displacements, and the neotectonic reordering of the alpine structure and paleorelief, largely through oscillatory vertical movements during the early Upper Eocene. In the relief, this gave rise to stepped horst in vertical overthrust mantles and tectonic wedges, a block-folded shelf, monoclinical stepped blocks, and others.

The recent tectonic movements of the morphostructures according to reiterated leveling, indicate a structure arranged in blocks and display a differentiated nature, characterized by steady gradients among morphostructures in general, although steep in occasions, along the Remedios-Holguín and Minas-Camagüey geodesic lines, with extreme values of + 3.5 mm/year (Esmeralda-Jaronú low plain block) and -10.0 mm/year (San Miguel de Baga graben).

Key words: Morphostructures, recent tectonic movements, Central Cuba.

INTRODUCCIÓN

En Cuba se destacan los estudios morfoestructurales realizados a nivel nacional, a escala 1: 1 000 000 (Díaz *et al.*, 1989), y a nivel regional, más detallado, a escala 1: 250 000 y 1: 100 000 (Magaz, 1985; Díaz, 1986; Hernández, 1987; Hernández *et al.*, 1994, 1995, 2005, 2006; Portela, 1992; y otros), los cuales, conjuntamente con las investigaciones geodésicas sobre el comportamiento de los movimientos tectónicos verticales recientes, revelaron las velocidades y tendencias de la geodinámica de la corteza terrestre cubana en la segunda mitad del siglo XX (Díaz *et al.*, 1990; Hernández *et al.*, 1989; Lilienberg *et al.*, 1988, 1993; Marques, 1997; y otros). En la inmensa mayoría de los casos, estos estudios están referidos a la región oriental de la Isla de Cuba, dadas sus condiciones geodinámicas, a lo largo de la zona de articulación e interacción entre las placas Norteamericana y Caribe, y su sismicidad.

El territorio seleccionado en este trabajo, se corresponde con la región septentrional del bloque neotectónico de la provincia Camagüey, que ocupa una posición centro-oriental en el archi-

piélago cubano; se escogió con el objetivo de clasificar su plano morfoestructural (bajo un enfoque tipológico), de establecer sus etapas evolutivas de consolidación y de revelar las tendencias y las velocidades de sus movimientos tectónicos verticales recientes, a partir de la data geodésica existente. El análisis y los resultados ofrecidos constituyen los primeros reportes sobre la tectónica reciente de esa región, así como de sus correlaciones morfoestructurales durante los periodos de 1954-1966 a 1972-1975, que representan los primeros dos ciclos disponibles de nivelaciones geodésicas reiteradas, de primer orden.

En este sentido, el trabajo revela las principales regularidades de la formación morfoestructural del relieve regional, así como las tendencias y magnitudes de su endodinámica secular reciente, ampliando el conocimiento morfoestructural-geodinámico del país y complementando las investigaciones geofísicas en la dirección de la zonación sísmica, al destacar, desde los puntos de vista geomorfológico y geodésico, las unidades estructurales-geomorfológicas más móviles y sus zonas de articulaciones morfotectónicas.

ÁREA EN ESTUDIO

El territorio estudiado de la región de Cuba central está localizado entre los 21°30' y los 22° 30' de latitud norte, y los 77°15' y los 79°35' de longitud oeste; situado al norte de las provincias de Camagüey, Ciego de Ávila y Villa Clara, y limitado al norte, por los archipiélagos de Sabana y de Camagüey, y el Océano

Atlántico; y al sur, por la región axial de la Isla de Cuba (Figura 1). Este territorio de llanuras planas y colinosas, y de lomeríos, se encuentra ocupando las zonas estructurales-faciales del denominado margen continental de Bahamas, siendo la segunda zona más sismoactiva del territorio emergido cubano, con sismos de $M < 6$ (Álvarez, 1989; Chuy et al., 1980).

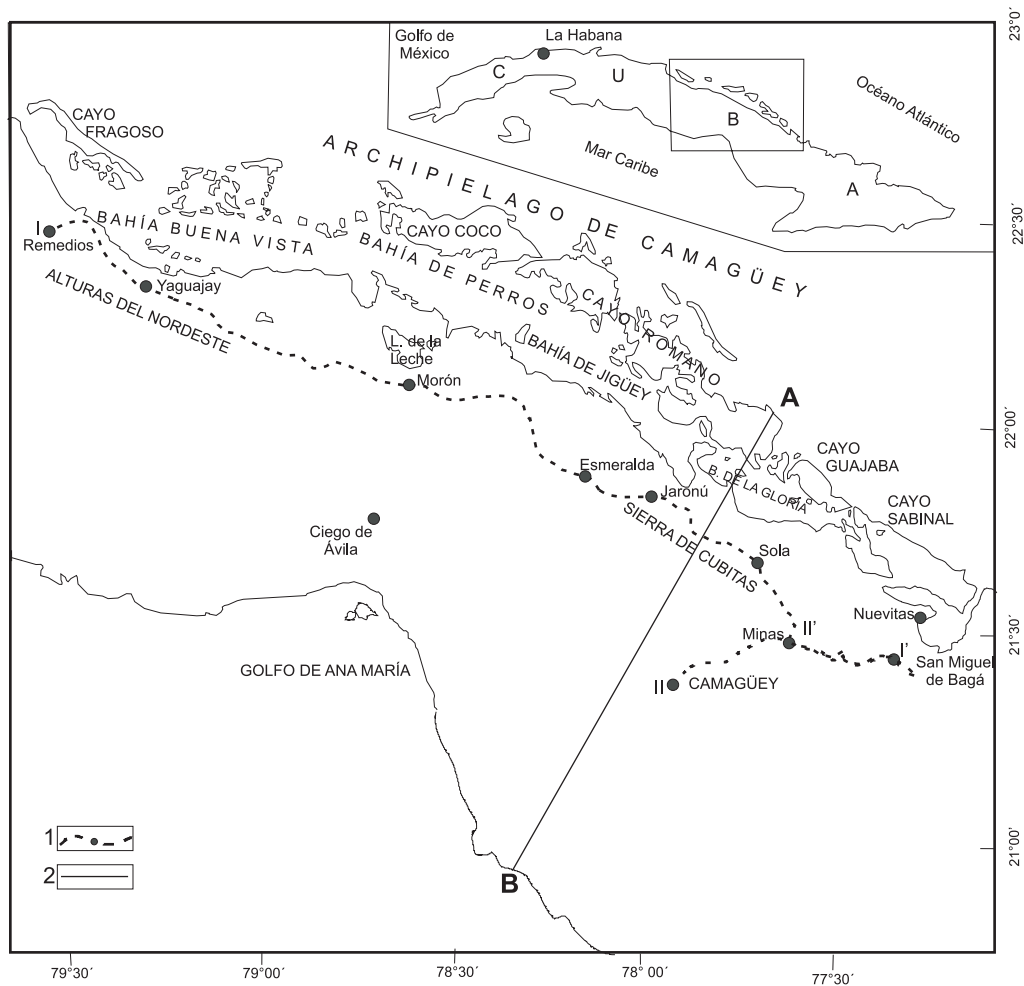


Figura 1. Área en estudio. 1. Trazado de los perfiles geológico-geomorfológicos y geodinámicos I - I' y II - II', de las líneas de nivelación Remedios-Holguín y Minas Camagüey, respectivamente; 2. Trazado del perfil geológico-morfoestructural esquemático A-B, transversal al macrobloque de Camagüey, con dirección NE-SW.

EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y CONSTITUCIÓN GEOLÓGICA

Para la comprensión de la distribución y del emplazamiento de las principales unidades estructurales del territorio, los autores se acogieron al modelo evolutivo propuesto por Iturralde (1981, 1989), donde se considera que los complejos estructurales-estratigráficos fundamentales se originaron en diferentes condiciones paleotectónicas, en presencia de un archipiélago de islas volcánicas y la existencia de un mar marginal, que bordeaba la plataforma de Bahamas, desde el Aptiano. Sin embargo, se consolidaron como un nuevo basamento (prisma acrecionario), como consecuencia de un conjunto de procesos que dieron lugar a la “continentalización” de una antigua depresión oceánica entre el Cretácico Cenomaniense y el Eoceno superior temprano, y bajo la influencia de un medio de compresión horizontal y de un mecanismo de obducción.

Para el archipiélago cubano, Pushcharovsky (1995) reporta grandes amplitudes en los desplazamientos de las estructuras de napas o nappes, a lo largo de varios sistemas de fallas transcurrentes de componente izquierda, entre las que se encuentra la falla La Trocha, en el territorio de Camagüey, donde Shein *et al.* (1975, 1978) reportan desplazamientos horizontales de 300-350 km.

En Camagüey destacan, de norte a sur, tres unidades geotectónicas fundamentales: *Margen continental de Bahamas* (1), que se subdivide en cinco zonas estructuro-faciales, nombradas Canal Viejo de Bahamas (1.1), Cayo Coco (1.2), Remedios (1.3), Camajuaní y Placetas; *Litosfera oceánica antigua*, relacionada con el complejo ofiolítico (2); y *Arco volcánico*, conocido como Zona Zaza (3), que se subdivide en complejo vulcanógeno-sedimentario e intrusivo (Figura 2). La composición litoestratigráfica de estas grandes geoestructuras y de sus unidades estructurales-faciales, según Formell (1989), es la siguiente:

(1) Margen Continental de Bahamas

- Zona Canal Viejo de Bahamas: secuencia potente de rocas carbonatadas y evaporitas del Jurásico-Cretácico superior.

- Zona Cayo Coco: evaporitas y dolomitas del Tithoniano-Aptiano, cubiertas por calizas, margas, nódulos de silicitas interestratificados del Aptiano-Maestrichtiano.

- Zona Remedios: depósitos de facies someras, de calizas micríticas y fragmentarias, dolomitas, calizas con lentes de pedernal y brechas calcáreas de edad Jurásico superior-Cretácico superior (Maestrichtiano).

- Zona Camajuaní: depósitos de facies profundas, calizas y dolomitas del Jurásico superior (Tithoniano); calizas pelágicas y conglomerados calcáreos del Hauteriviano al Cenomaniense; conglomerados carbonatados y turbiditas del Cretácico superior (Maestrichtiano) con depósitos molasolistostrómicos hasta el Eoceno.

- Zona Placetas: depósitos de aguas profundas, areniscas; calizas fragmentarias y brechas calcáreas en el Maestrichtiano; y olistostromos en el Paleógeno.

(2) Litosfera oceánica antigua

- El cinturón ofiolítico de Cuba posee de 3 a 30 km de ancho y se extiende por unos 1 000 km, aunque en segmentos dentro de los principales bloques de Cuba (Fonseca *et al.*, 1985). En el caso del bloque Camagüey, la corteza oceánica se compone de un basamento melanocrático del Jurásico, compuesto por rocas ultrabásicas (dunitas, harzburgitas y lherzolitas serpentinizadas), el complejo cumulativo de gabroides y el complejo de diques paralelos de diabasas, criterio compartido también por Mossakovskiy *et al.* (1986).

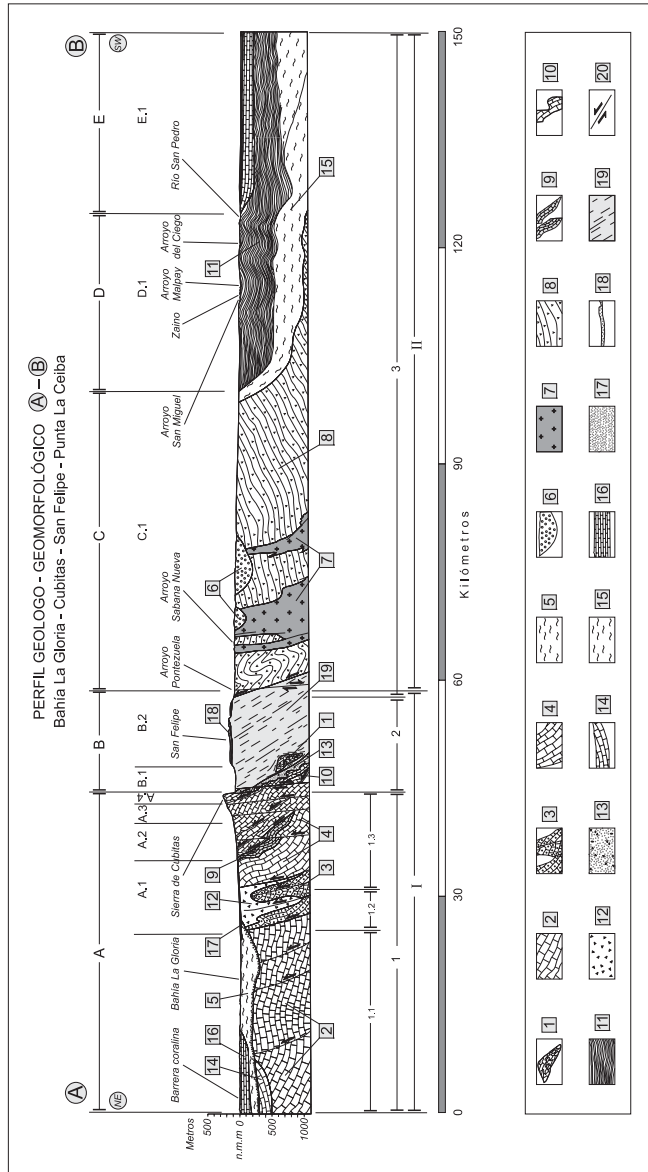


Figura 2. Perfil geológico-morfoestructural esquemático Bahía La Gloria-Sierra de Cubitas-Meseta de San Felipe-Punta La Ceiba, transversal al macrobloque de Camagüey. **Comunidades morfoestructurales:** I - Norte, II - Sur. **Geoestructuras:** 1 - Margen continental, 2 - Relictos de corteza oceánica, 3 - Arco volcánico cretácico (Zona Zaza). **Unidades estructuro-faciales:** 1.1. Zona Canal Viejo de Bahamas, 1.2. Zona Cayo Cocos, 1.3. Zona Remedios. **Sistemas morfoestructurales y tipos de morfoestructuras:** A. Sistema horstlineal de escalonamiento transversal a la dirección de los mantos tectónicos, A.1 Llanura baja estructural (sediaplano), A.2 Llanuras alta y media anaclinal, A.3 Lomeríos medios en cadenas anaclinales, A. 4 Lomeríos grandes; B. Macizos de bloque, en mantos alóctonos de rocas densas, B.1 Depresión litológico-estructural, B.2 Lomeríos medios de bloque, masivos; C. De bloques en plegamiento, en la bóveda de grandes elevamientos horsticos, C.1 Llanuras alta y media, en bloques del basamento plegado y cristalino; D. Litomorfoestructura, D.1 Llanura media en plegamiento; E. De bloques en la periferia de grandes zonas de horst, no heredadas, E.1 Llanuras media y baja estructurales (sediplanos). **Unidades litoestratigráficas** (números arábigos en cuadros de fondo gris): 1. Calizas plegadas, $J_3^t - K_2$; 2. Calizas plegadas, $J_3 - K_1 - 2$; 3. Calizas, areniscas y conglomerados, $K_1 - 2$; 4. Calizas plegadas, $K_1 - 2$; 5. Margas y argilitas, $K_2^{cp} - m$; 6. Conglomerados, olistostromos, $K_2^{cp} - m$; 7. Granitos, granodioritas, K_2^{cp} ; 8. Tobas, tufitas, K_2 ; 9. Calizas plegadas, \tilde{n}_2^{1-2} ; 10. Calizas y areniscas, \tilde{n}_2^{1-2} ; 11. Areniscas, margas, \tilde{n}_2^{2-3} ; 12. Brechas, grauvacas, aleurolitas, \tilde{n}_2^{1-2} ; 13. Areniscas, conglomerados, \tilde{n}_2^{2-3} ; 14. Margas, calizas, \tilde{n}_2^{1-2} ; 15. Arcillas, areniscas, margas, $\tilde{n}_2^3 - \tilde{n}_3$; 16. Calizas, margas, areniscas, $N_1 - Q$; 17. Turbas, Qp; 18. Cortezas de intemperismo, lateríticas, Q; 19. Serpentinitas, peridotitas. **Elementos tectónicos:** 20. fallas.

(3) Arco volcánico cretácico o zona Zaza

- Compuesto por el complejo vulcanógeno-sedimentario y el intrusivo (granodioritas, cuarzo-dioritas, dioritas, plagiogranitos y escasos granitos).

Se considera que las ofiolitas y la zona Zaza, así como las zonas Placetas y Camajuaní, integraron las secuencias de la antigua depresión oceánica, y debido a un proceso de obducción, yacen sobrecorridas hacia el Noreste, sobre las secuencias para-autóctonas del borde continental (Zonas Remedios y Cayo Coco).

Este proceso provocó la imbricación de todas las secuencias, dividiéndolas en escamas tectónicas de orden menor, y condujo finalmente a la superposición de las rocas más densas del arco volcánico y de la corteza oceánica sobre las más ligeras del margen continental, con grandes espesores de rocas carbonatadas y evaporíticas, quedando consolidado el plano geoestructural del territorio (Figura 3). Esta geoestructura se presenta, tal y como lo define Sokolov (2003), como un prisma acrecionario, integrado por una zona de estructuras de pliegues y sobrecorrimientos sobre el margen continental, exhibiendo una gran heterogeneidad litológica; que representan un aspecto característico de las zonas de transición continente-oceano (Konstantinovskaya, 2002).

En la clasificación de los tipos de corteza del territorio cubano, Pushcharovsky *et al.* (1987), distinguieron para esta zona del norte de Camagüey, y de norte a sur, los tipos siguientes: corteza de tipo continental, asociada con la Plataforma de Bahamas; zona de deformaciones tectónicas de la cobertura sedimentaria de la Plataforma de Bahamas; zona de tipo transitorio de corteza, de edad Cretácico tardío, con una capa granítico-metamórfica de poco espesor, en la zona axial de la provincia de Camagüey. En la etapa cenozoica del desarrollo, se depositaron rocas sedimentarias clásticas y carbonáticas-terrágenas.

De acuerdo con los datos geológicos, los cuerpos alóctonos se desplazaron de sur a norte (Belousov *et al.*, 1986) y concluyeron en el Eoceno superior temprano, ya que la napa (nappe) de las ofiolitas se superpone a las rocas del Eoceno medio, al sur de la Sierra de Cubitas, y a su vez, las napas de la unidad Remedios están cubiertas por sedimentos no alterados, del Eoceno superior. Esto se corresponde con los criterios de Iturralde (1975) y Mattson (1979), quienes consideraron el cese de los movimientos convergentes entre las placas americanas, en el Eoceno medio-superior.

Una vez concluido el avance de los mantos de sobrecorrimiento en el Eoceno superior temprano, se produce el cambio en el carácter de los movimientos tectónicos predominantemente horizontales, como consecuencia de las deformaciones laterales y de la distensión en la parte superior de la corteza, y se inician los movimientos verticales oscilatorios, expresados en forma de bloques (Figura 4). Para Iturralde *et al.* (1982), a partir del Eoceno medio-tardío, el para-autóctono tuvo una tendencia al levantamiento isostático, mantenido hasta finales del Plioceno (Makarov, *comun. pers.*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis morfoestructural

El objeto de estudio del análisis estructuro-geomorfológico son las morfoestructuras, las cuales son consideradas como la expresión de la estructura geológica en el relieve actual (Guerasimov, 1986; Korzhuev, 1990). Las manifestaciones de los movimientos tectónicos recientes se reflejan a través de los desplazamientos horizontales o verticales de estas unidades estructuro-geomorfológicas.

En el análisis morfoestructural se aplicaron los métodos siguientes: *a)* interpretación hipsométrica y topográfica, a escala 1: 25 000, de las hojas cartográficas del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía; *b)* interpretación estructural-geomorfológica del

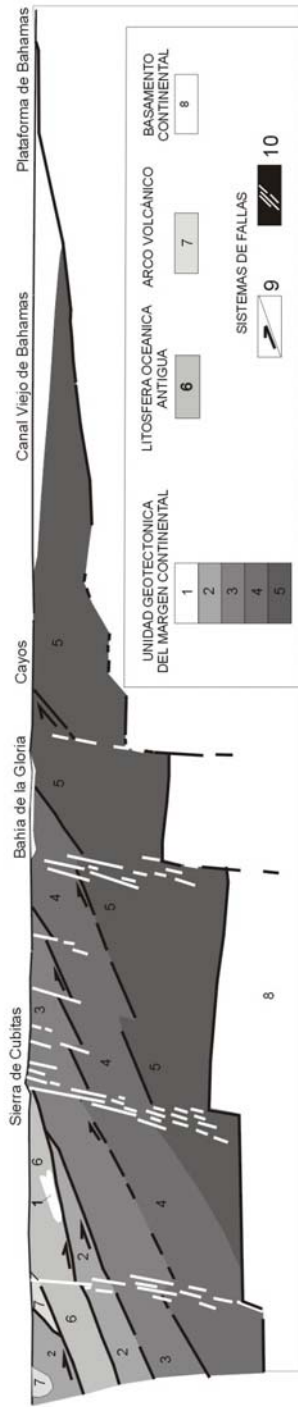


Figura 3. Perfil esquemático de la corteza superior y su relación con la comunidad morfoestructural del norte en el sector Camagüey. Geoestructuras:

- I. Unidad geotectónica del margen continental: 1. Zona Placetas; 2. Zona Camajuani; 3. Zona Remedios; 4. Zona Cayo Coco; 5. Zona Camajuaní; 6. Complejo ofiolítico.
 - II. Litofera oceánica antigua: 7. Complejo volcánico.
 - III. Arco volcánico: 7. Complejo volcánico.
 - IV. Basamento continental (8).
- Sistema de fallas:** 9. Líneas tectónicas alpinas; 10. Líneas neotectónicas.

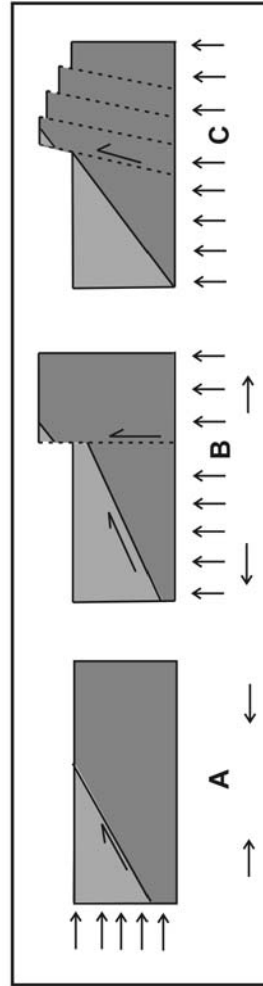


Figura 4. Principales etapas y mecanismos geotectónicos de formación y consolidación morfoestructural del relieve: A. Campo de compresión tangencial (desarrollo de fallas de sobrecorrimientos subhorizontales, con sobreyacencia de rocas más densas, durante el Mesozoico y el Paleógeno); B. Campo de distensión y de deformación lateral de la corteza terrestre (en el Paleógeno tardío comienza la reordenación de la estructura y del relieve alpino, con la formación de sistemas de fallas neotectónicas normales y verticales, e importantes zonas de desplazamiento horizontal); C. Durante el Plioceno y el Cuaternario se produce el elevamiento del para-autóctono y la verticalización de la base de los sobrecorrimientos, con la formación de morfoestructuras lineales de sistemas de horst basculados.

fotomontaje controlado, a escala 1: 77 000, y de las fotografías aéreas pancromáticas, a escalas 1: 62 500 (Interamerican Geodetic Service, 1956) y del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1980), para la delimitación morfoestructural y de las formas estructurales expresadas en el relieve; *c*) análisis de los morfoelementos lineales del relieve, con vistas a completar la información tectónica; *d*) evaluación morfométrica del relieve, a escala 1: 50 000; *e*) análisis del espectro de niveles geomorfológicos y de sus deformaciones neotectónicas; y *f*) comparación de los datos geomorfológicos con la estructura geológica, tomando como base el mapa geológico a escala 1: 100 000 y los perfiles geológicos de las provincias de Ciego de Ávila, Camagüey y Las Tunas (Instituto de Geología y Paleontología, 1981a), el mapa geológico, a escala 1: 250 000, y los perfiles litofaciales del Neógeno (Instituto de Geología y Paleontología, 1981b), y la información geológica, a escala grande, de algunos sectores del territorio (Brigada del Consejo de Ayuda Mutua Económica –CAME– de Camagüey, 1989).

Métodos geodésicos, ingeniero-geomorfológicos y geodinámicos

A nivel mundial, uno de los métodos más comúnmente utilizados para la evaluación de los movimientos tectónicos recientes es el análisis de las variaciones altimétricas mostradas en las nivelaciones geodésicas reiteradas de primer orden de precisión, durante diferentes ciclos de nivelación. La metodología, aplicada por los autores, se correspondió con los métodos analíticos empleados por Lilienberg *et al.* (1993a, 1993b) y Marques (1997) e incluyó: *a*) la inspección ingeniero-geomorfológica de los monumentos geodésicos, a lo largo de las líneas de nivelación de primer orden Remedios-Holguín (perfil I - I', fig. 1), al norte de la región central de la Isla de Cuba, y Minas-Camagüey (perfil II - II', fig. 1), de la costa norte al interior de la misma, con el objetivo de evaluar su gra-

do de estabilidad y seleccionarlos para los cálculos ulteriores de las velocidades relativas de los movimientos tectónicos verticales recientes; y *b*) las investigaciones morfoestructurales integrales, con la finalidad de evaluar, de forma general, su grado o no de correspondencia con la estructura geológica y el relieve.

Los tipos de monumentos geodésicos se dividieron en dos categorías constructivas: *a*) monumento, estructura de hormigón especial, construida para portar en su parte superior la chapa metálica de identificación, y *b*) chapa metálica, que consiste en un disco de bronce, empotrado en obras de ingeniería, como puentes, alcantarillas, banquetas, bases de monumentos civiles y otros, con su identificación grabada. La estabilidad de los signos respondió a tres categorías: estables (*a*), relativamente estables (*b*) e inestables (*c*).

Una vez realizada la evaluación de la estabilidad de los signos geodésicos, se consideraron todos aquellos signos con categoría de estables, así como los relativamente estables para extrapolaciones cuantitativas en sectores de gran distancia entre los mismos. Los signos inestables se desecharon para el análisis geodinámico. La inspección ingeniero-geomorfológica de campo reveló 32 signos geodésicos estables, 35 relativamente estables y uno inestable para la línea geodésica Remedios-Minas (perfil I - I'), así como, tres estables, 15 relativamente estables y uno inestable para la línea Minas-Camagüey (perfil II - II'). En total, se emplearon 35 signos estables, 50 relativamente estables y dos inestables, por lo que la data resultó confiable.

Para los cálculos se utilizaron los dos primeros ciclos de nivelación geodésica realizados por el Interamerican Geodetic Service (IGS) y por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC), comprendidos entre 1954-1966 y 1972-1975, respectivamente, con un intervalo de tiempo de 15-20 años, como promedio.

Las nivelaciones realizadas en el primer período (1954-1966) aplicaron una metodología suizo-americana (IGS, 1948), con las

mediciones en una sola dirección, y el cálculo de sus errores permisibles se obtuvo con la fórmula $\pm 4.0 \text{ mm}$ "K. Como equipamientos se emplearon los niveles suizos N-3 y las miras americanas "invar", con dos escalas (principal y secundaria). Para los cálculos de los errores permisibles, se tomaron las fórmulas que fueron aceptadas en la VII Conferencia Internacional de Geodesia, en Hamburgo, Alemania, en 1912. La aplicación de dichas fórmulas arrojó los valores siguientes: error probable accidental (0.78 mm/km), error medio accidental (1.17 mm/km), error probable sistemático (0.10 mm/km) y error medio sistemático (0.15 mm/km).

El segundo período (1972-1975) fue realizado por el ICGC y ejecutado por el método de coincidencia (ICGC, 1974, 1978), por dos pares de pines, que forman dos líneas separadas de nivelación (derecha e izquierda), con observaciones en el sentido directo e inverso. El error permisible de la sumatoria de las observaciones, en ambos sentidos, para que fuesen válidas, no superaron los ± 3 "Lkm, donde L es la longitud de la sección. A pesar de que ambos ciclos de nivelación se realizaron bajo una metodología diferente de observación y cálculo, poseen una evaluación similar de calidad, que permitió su comparación. Para ello, se evaluó la calidad de las líneas de nivelación de los dos ciclos, calculándose los errores medios cuadráticos de los desplazamientos totales de la corteza terrestre (en mm), de las velocidades anuales promedio de desplazamiento (en mm/año) y de los gradientes de velocidad relativa (mm/año/km), en las zonas de ruptura de las curvas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clasificación morfoestructural tipológica: niveles jerárquicos.

Para la elaboración del mapa morfoestructural tipológico del área en estudio, se tomaron en consideración los niveles jerárquicos de clasifi-

cación siguientes: piso estructural, unidad morfotectónica, categoría del relieve, amplitud de los movimientos neotectónicos, mecanismo de formación, grado de reelaboración de las morfoestructuras, piso altitudinal y carácter morfoestructural específico, fundamentados por Díaz *et al.*, (1986) para el territorio cubano y por Hernández *et al.* (1995, 2001, 2005, 2006), para otros territorios de Cuba y de México.

Los niveles superiores de la clasificación (piso estructural y unidad morfotectónica) coinciden con los elementos geoestructurales esenciales de la corteza terrestre, que han tomado parte en la formación del relieve y constituyen la raíz de la diferenciación morfoestructural. En este caso camagüeyano, corresponden el margen continental de Bahamas, los relictos de corteza oceánica y del arco volcánico cretácico, así como la cobertura neoaútoctona del Neógeno. De acuerdo con Makarov (1986), la unidad Camagüey-Holguín es un sistema neotectónico complejo del tipo anticlinorio, lo que permite asignarle la categoría de basamento plegado.

Los niveles intermedios de la clasificación (categoría del relieve, amplitud de los movimientos neotectónicos, mecanismo de formación, grado de reelaboración de las morfoestructuras y el piso altitudinal) son el resultado de la evolución geomorfológica en la etapa moderna de desarrollo.

Por último, el carácter morfoestructural específico es el contenido básico elemental de la clasificación estructural del relieve y designa a la estructura interna de las unidades de orden menor, por ejemplo, de horst escalonados en mantos de sobrecorrimiento verticalizados y cuñas tectónicas, de zócalo plegado en bloques, de zócalo masivo en bloques, de bloques escalonados en monoclinales, entre otros tipos (Figura 5).

Finalmente, el piso altitudinal permite tener una idea sobre el carácter escalonado de las morfoestructuras de la región. Para esta región, el escalonamiento destaca las cate-

rías geomorfológicas siguientes: lomeríos grandes ($200 < H \leq 300$ m), medios ($120 < H \leq 200$ m) y pequeños ($H < 120$ m); y llanuras altas ($120 < H \leq 220$ m), medias ($20 < H \leq 120$ m) y bajas ($H < 20$ m).

Morfoestructuras: evolución y diferenciación

La diferenciación regional del plano morfoestructural actual del territorio de la provincia Camagüey se corresponde, en gran medida,

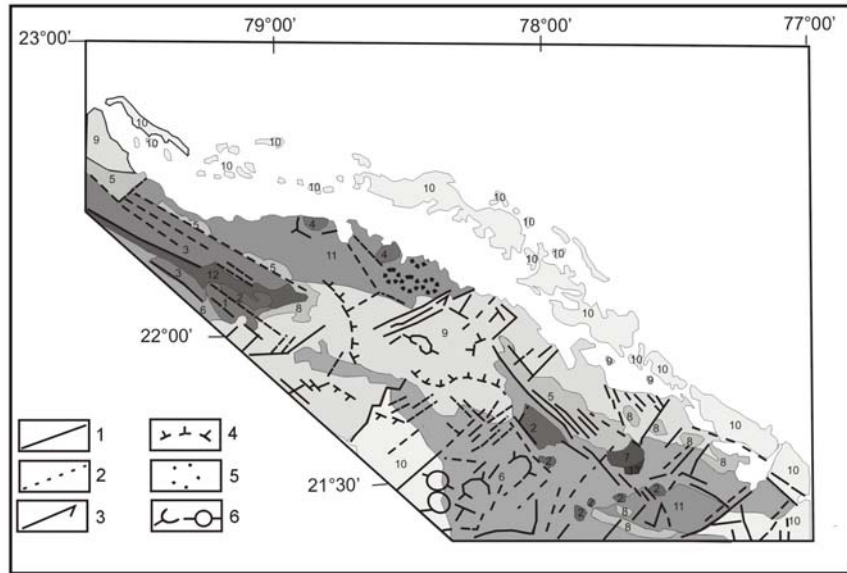


Figura 5. Mapa morfoestructural del área en estudio.

Tipos de morfoestructuras (numerados dentro del mapa):

I. Morfoestructuras formadas en el basamento plegado pre-Eoceno superior (en el orógeno cubano):

Lomeríos (con predominio de ascensos neotectónicos moderados): 1. Horst simple y bloques en plegamiento y monoclinas; 2. Horst simple y bloques en manto de sobrecorrimiento, masivas; 3. Horst escalonados en mantos de sobrecorrimiento verticalizados y cuñas tectónicas; 4. Bloques en cúpulas salinas; Llanuras (con predominio de ascensos neotectónicos débiles o descensos relativos): 5. Horst escalonados en mantos de sobrecorrimiento verticalizados y cuñas tectónicas; 6. De zócalo plegado con bloques (litomorfoestructurales); 7. De zócalo, plegadas (litomorfoestructurales).

II. Morfoestructuras formadas en la cobertura neoautóctona Eoceno superior-Cuaternario (en cuencas residuales marginales):

Lomeríos (con predominio de ascensos neotectónicos moderados): 8. Horst escalonados y sistema de bloques en monoclinas, pseudo-periclinas y sinclinas; Llanuras (con predominio de ascensos neotectónicos débiles o descensos relativos): 9. De bloques escalonados en monoclinas; 10. Sistema de bloques en estratos subhorizontales, monoclinas y centroclinas; 11. De graben en monoclinas; Depresiones: 12. Litológico-estructurales (litomorfoestructurales).

Formas morfotectónicas: 1. Fallas por datos geólogo-geofísicos; 2. Alineamientos morfoestructurales, por evidencias geomorfológicas; 3. Desplazamiento horizontal de fallas; 4. Elevamiento del basamento, manifestado a través de la cobertura sedimentaria; 5. Zona de hundimiento del Q_{III-IV} ; 6. Estructuras circulares, vinculadas con levantamientos del basamento.

Otros símbolos (numerados fuera del mapa): 1. Fallas; 2. Morfoalineamientos; 3. Fallas de desplazamiento horizontal; 4. Levantamiento del basamento, manifestado a través de la cobertura sedimentaria; 5. Zonas de hundimiento del Q_{III-IV} ; 6. Morfoestructuras locales positivas, vinculadas con levantamientos del basamento.

con la zonalidad de las deformaciones tectónicas y con los patrones de densidad de sus unidades geotectónicas. Por otra parte, sus características estructurales-geomorfológicas (Figura 5) y el diseño de sus alineamientos morfoestructurales denotan claramente, que la reconstrucción neotectónica, al norte del territorio, no es disconforme respecto al emplazamiento de la estructura antigua. Esta reordenación del relieve alpino comienza durante el Paleógeno medio-tardío.

No obstante haberse producido extensas áreas de levantamiento y hundimiento en el Paleógeno tardío, y haberse consolidado el plano morfoestructural regional y, en algunos casos local, el carácter facial y la composición natural de las rocas sedimentarias de la cobertura neógena son una prueba convincente de que estos levantamientos fueron nivelados durante el Neógeno. Los sedimentos del Mioceno inferior y medio no tienen carácter de flysch ni olistostrómico, como fuera de esperar, si durante esta época hubiera existido la energía actual del relieve de Cuba; sus materiales evidencian transporte en condiciones de relieve poco enérgico, de islas niveladas y estables tectónicamente, o con cortas y someras oscilaciones. Esto evidencia que las superficies geomorfológicas paleógenas fueron arrasadas por el corte erosivo del Oligoceno (Belousov *et al.*, 1986) y del Mioceno (Lilienberg, 1973), quedando islas de poca altura, entre las cuales estaba el bloque neotectónico de Camagüey.

La etapa del Paleógeno tardío debe ser considerada, desde el punto de vista del análisis morfoestructural, como una época donde ocurre la preparación del territorio para los levantamientos neotectónicos posteriores, y donde se crean, por primera vez, las líneas disyuntivas verticales de una nueva generación de deformaciones tectónicas, de una red de grietas y de fallas que se complica y aumenta en número con posterioridad, etapa donde se definen las primeras morfoestruc-

turas de bloque, que son heredadas, en muchos casos, por los nuevos movimientos.

Después del Mioceno medio el territorio entra en la plenitud de la tectónica de bloque. Se definen así la mayor parte de las tectomorfoestructuras (morfoestructuras con predominio tectónico activo en su formación) y litomorfoestructuras (morfoestructuras originadas por el control litológico pasivo) de diferentes órdenes, y se obtiene un campo morfoestructural total muy complejo (Figura 5). Esto se debe a que la reconstrucción neotectónica ha fraccionado considerablemente su relieve, pero no ha alcanzado a enmascarar totalmente el carácter de la estructura antigua, bien porque ésta continúa manifestándose pasivamente como el fondo del plano neotectónico, y/o porque el plano antiguo ha desempeñado un papel de "control" general.

Velocidades de los movimientos tectónicos verticales recientes y sus correlaciones morfoestructurales

Dado que no existen series largas de mediciones mareográficas ni ajustes con la red mareográfica regional, los valores de las velocidades de los movimientos tectónicos recientes son relativos al signo geodésico de Aguas Claras, en la vecina provincia Holguín, por lo cual no se presentan en este trabajo vectores absolutos de desplazamiento vertical, sino relativos, pero los resultados nos permitieron conocer cuáles son los sectores más móviles, sus tendencias y sus velocidades relativas anuales, tanto de ascensos como de descensos.

La línea geodésica de nivelación Remedios-Holguín (Figura 6), se desplaza con dirección NW-SE, paralelamente a las zonas estructurofaciales del basamento platafórmico del norte y del cinturón septentrional de rocas ultrabásicas. A lo largo del perfil, se extienden también amplias llanuras en graben y en blo-

ques escalonados con estructura monoclin, y en ocasiones en plegamientos, con amplias coberturas sedimentarias de depósitos calcáreos del Neógeno y terrígeno-carbonáticos del Cuaternario.

La manifestación de los movimientos tectónicos verticales recientes muestra un carácter diferenciado y escalonado, con gradientes suaves, en general, entre las diferentes morfoestructuras. En el perfil I-I' (Figura 6), los lomeríos y las llanuras de bloques en monoclinales y plegamientos de Remedios-Loma Pozo de Cabeza, experimentan ascensos entre +0.5 y +0.6 mm/año, con valores máximos entre +1.4 y +1.7 mm/año, entre los poblados de Caibarién y Mayajigua; el graben de la Laguna de la Leche-ciudad de Morón muestra valores entre -1 mm/año y 0 (neutrales), para transitar a ascensos entre +2.0 y +3.5 mm/año en el bloque morfoestructural de llanuras bajas de Esmeralda-Jaronú. Más hacia el este, se elevan los lomeríos occidentales de Minas, formados sobre un zócalo plegado y masivo, con valores ascendentes de hasta +2.0 mm/año; que contrastan con los descendentes, a través de un fuerte gradiente (-3 mm/año/km) del graben escalonado del valle bajo del Río Saramaguacán-graben San Miguel de Baga, con valores entre -7.0 a -10.0 mm/año, en su porción más oriental.

En sentido general, se aprecia una correspondencia directa entre el carácter positivo o negativo del desarrollo morfoestructural neotectónico y las tendencias de los movimientos tectónicos verticales recientes, aunque con la excepción del sector Sola-Minas, donde la tendencia neotectónica ha sido al ascenso con la formación de lomeríos en bloques sobre plegamientos cretácicos y estructuras masivas ultrabásicas, y en el período estudiado, se aprecia un régimen tectónico invertido, es decir, de subsidencia, entre -2.0 y -2.5 mm/año.

A lo largo de la línea de nivelación Minas-Holguín (Figura 7), transversal a este sector central de la Isla de Cuba, el régimen tectónico

reciente muestra un escalonamiento más notable entre los diferentes bloques morfoestructurales. La llanura ondulada de Minas-Altigracia, sobre zócalo plegado y masivo, muestra descensos entre -1.5 y -2.0 mm/año, en su primer tramo, cambiando a ascensos de +2.5 mm/año en su escalón superior de Altigracia, a través de un fuerte gradiente de +2.25 mm/año/km. Finalmente, las llanuras colinosas del peniplano Florida-Camagüey-Las Tunas, con altitud entre 100 y 120 m, ascienden con valores relativamente estables de +2.5 a +3.1 mm/año.

Como dato ecológico indirecto sobre la influencia de la tectónica reciente en el desarrollo y extensión de los ecosistemas costeros, la secuencia, alterna en ocasiones, de bloques morfoestructurales ascendentes y descendentes, a lo largo de la zona costera norte (perfil I-I'), se manifiesta, además, en el ancho de la faja de sus ecosistemas de manglares, con valores que oscilan entre 2-4, 4-5 y 10-12 km, para los bloques descendentes, y de 1-2 km, para los ascendentes, en condiciones de una plataforma insular ancha y con una pendiente muy suave y homogénea, lo que atestigua, a su vez, el sentido de los movimientos y el carácter de su influencia sobre la extensión de los humedales.

CONCLUSIONES

Bajo un campo de compresión tangencial laramídico, los avances de los mantos de sobrecorrimiento y la consolidación del prisma acrecionario septentrional de la región central cubana concluyen en el Eoceno superior temprano, y desde este momento hasta el presente, se produce, bajo un campo de deformación horizontal por los sistemas de transformación transversal y de distensión, el cambio en el carácter de los movimientos tectónicos, predominantemente horizontales, a verticales oscilatorios, con reflejo geométrico en bloques, determinando la reordenación de la estructura geológica de las capas corticales

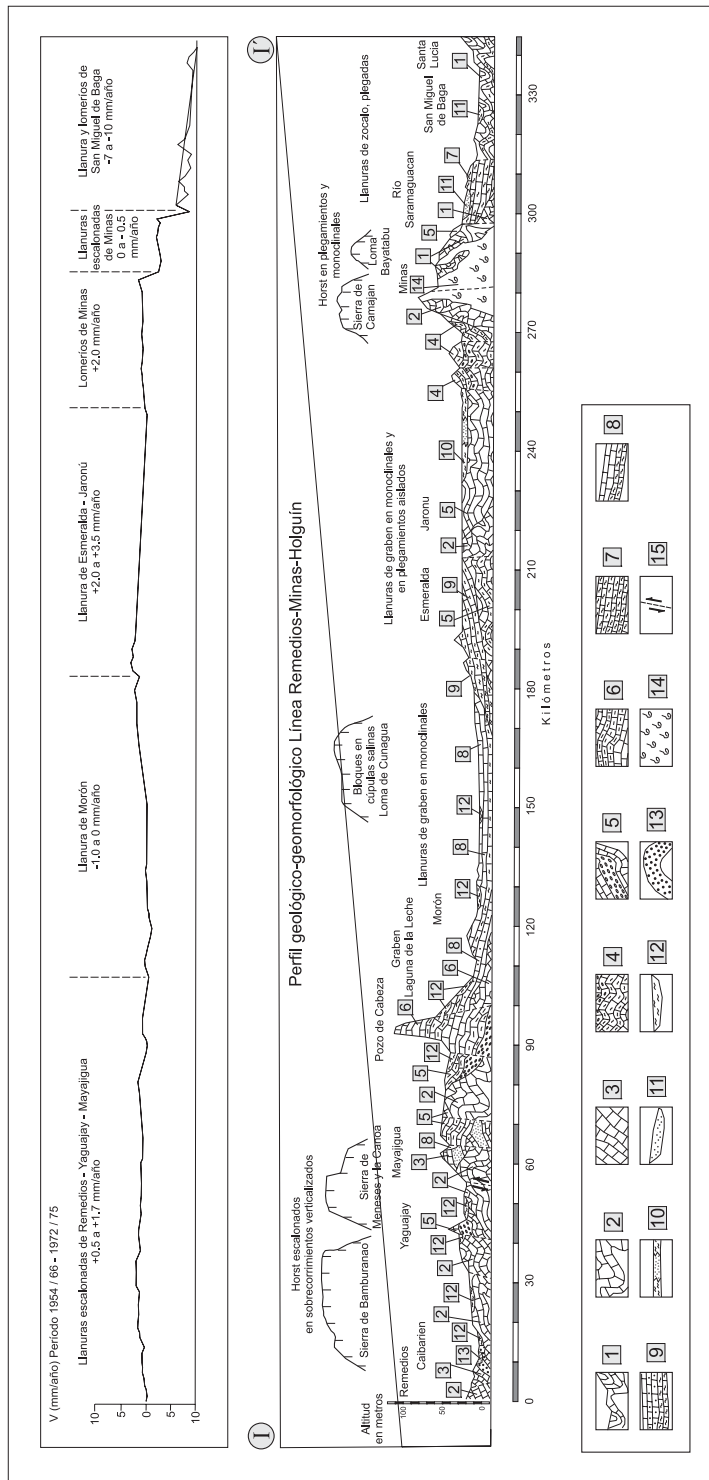


Figura 6. Perfil geológico-geomorfológico I - I' y sus correlaciones con las velocidades de los movimientos tectónicos recientes, en la línea de nivelación geodésica Remedios-Holguín. **Unidades litotectónicas:** 1. Calizas plegadas, K_2 ; 2. Dolomitas, calizas, K_{1-2} ; 3. Calizas, grauvacas, brechas, \tilde{n}_2^{1-2} ; 4. Margas, calizas, conglomerados, \tilde{n}_2^2 ; 5. margas, calizas, conglomeros, \tilde{n}_2^3 ; 6. Calcarenitas, margas, calizas, \tilde{n}_3 ; 7. Arcillas, margas, calizas, N_1^{2-8} . Arcillas, margas, calizas, N_1^2 ; 9. Areniscas, margas, calizas, N_{1-2} ; 10. Arcillas, arenas, limos, Q_{IV} ; 11. Arcillas, arenas, limos, calcarenitas, calizas, Q_{II-III} ; 12. Arcillas, arenas, gravas, calcarenitas, Q_{III} ; 13. Depósitos terrígenos, Q_{IV} ; 14. Serpentinitas, piroxenitas, peridotitas y dunitas serpentinizadas. **Elementos tectónicos:** 15. Fallas.

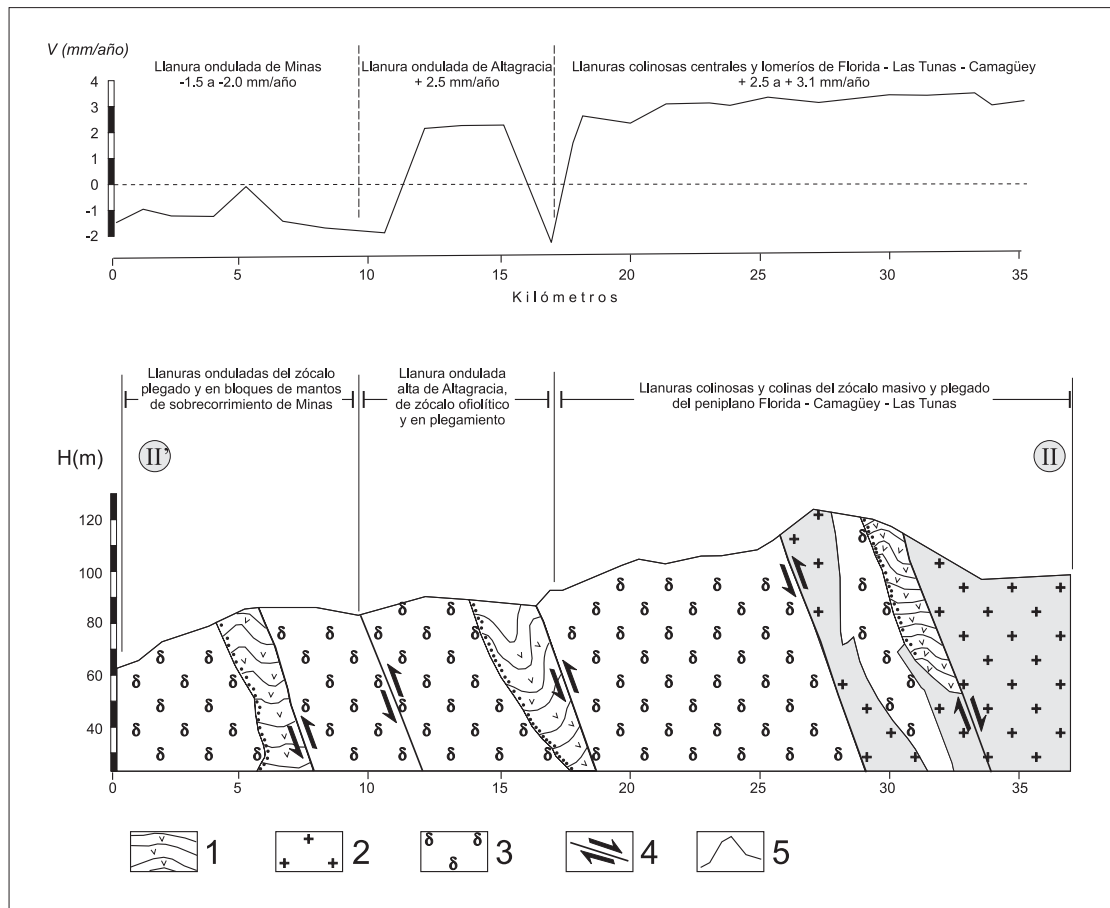


Figura 7. Perfil geólogo-geomorfológico I - I' y sus correlaciones con las velocidades de los movimientos tectónicos recientes, en la línea de nivelación geodésica Minas-Camagüey. **Unidades litoestratigráficas:** 1. Lavas, tobas medias y básicas, no diferenciadas, K_2 ; 2. Granitos-granodioritas, plagiogranitos-granodioritas-dioritas cuarcíferas, cuarzodioritas porfíricas, K_2 ; 3. Serpentinitas, piroxenitas, peridotitas y dunitas serpentinizadas. **Elementos tectónicos:** 4. Fallas. **Otros símbolos:** 5. Curva de las velocidades de los movimientos tectónicos recientes.

superiores y del paleorrelieve alpino. Ambos mecanismos geotectónicos determinaron dos pisos morfoestructurales en el relieve: *a*) sobre el basamento plegado pre-Eoceno superior, de estructura compleja, y *b*) sobre el basamento de la cobertura neoautóctona del Eoceno superior al Cuaternario, más simple.

En la etapa final del Plioceno al Cuaternario, se produce el levantamiento del para-autóctono y la verticalización de la base de los sobrecor-

rimientos, con la formación de morfoestructuras lineales de sistemas de horst escalonados en mantos de sobrecorrimiento verticalizados y cuñas tectónicas, de zócalos plegados y masivos en bloques, de bloques escalonados en monoclinales, y otros tipos morfoestructurales.

La diferenciación morfoestructural de los movimientos tectónicos verticales recientes del territorio, indica una estructura de la cor-

teza terrestre en bloques, con muchos casos de expresión de herencia directa, y otros menos, de carácter inverso, aunque estas tendencias se registran sólo para el marco temporal del estudio, dado que en Cuba está comprobado el carácter oscilatorio del régimen tectónico actual, pero los cambios espaciales en la geodinámica si revelan el patrón de distribución morfoestructural del territorio.

Las manifestaciones de los movimientos tectónicos verticales recientes muestran un carácter diferenciado, con gradientes generalmente suaves entre las morfoestructuras, aunque en ocasiones muy fuertes, con valores extremos de las velocidades relativas anuales de +3.5 mm/año (en el bloque de llanuras bajas de Esmeralda-Jaronú) y de -10.0 mm/año (en el graben San Miguel de Baga).

Las nivelaciones reiteradas de ambas líneas geodésicas, de primer orden, registraron bloques con diferentes diámetros, desde 20, 40, 60 y hasta 100 km de extensión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los árbitros anónimos la revisión del manuscrito, así como, a Ana Patricia Méndez Linares y a Manuel Figueroa Mah-Eng, por el procesamiento automatizado de la información y de la edición cartográfica de las figuras. Este trabajo fue apoyado por el proyecto GEF-PNUD CUB/98/G32 "Acciones prioritarias para garantizar la protección de la biodiversidad en el Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba" (1998-2004), del Fondo Mundial del Medio Ambiente y la Agencia del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, así como por las Agencias de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, y de Geodesia del Grupo Corporativo GEOCUBA respectivamente.

REFERENCIAS

Álvarez Gómez, L. (1989), "Epicentros de terremotos", en *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Ed. Inst. Geogr. Nac., España, Madrid, p. II.3.1.

Belousov, T. T. and L. Orbera (1986), "Quaternary vertical movements in Central Cuba", *Geotectonics*, vol. 20, no. 1, pp. 67-73.

Brigada CAME (1986), *Levantamiento geológico de la provincia de Camagüey, a escala 1: 50 000*, Camagüey, Cuba.

Chuy Rodríguez, T. y M. Rodríguez (1980), "La actividad sísmica de Cuba basada en datos históricos", *Investigaciones Sismológicas*, núm. 1, p. 40.

Díaz Díaz, J. L. (1986), *Morfostrukturi Zapadnoi Kubi i ij sobremennaia geodinamika*, *Doctorskaia dissertassia*, Institut Geografii, Moskva (en ruso).

Díaz Díaz, J. L., A. H. Portela Peraza, P. Blanco Segundo, A. R. Magaz García y J. R. Hernández Santana (1986), *Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano*, Ed. Academia, La Habana, Cuba.

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

Díaz Díaz, J. L., D. A. Lilienberg y M. E. Márquez Tablón (1990), "Movimientos tectónicos recientes de Cuba Occidental: nuevas investigaciones geodésicas y geomorfológicas", *Rev. Ciencias de la Tierra y del Espacio*, núm. 17, pp. 78-91.

Fonseca, E., V. N. Zelepugin and M. Eredia (1985), "Structure of the ophiolite associations of Cuba", *Geotectonics*, vol. 19, no. 4, pp. 321-329.

Formell-Cortina, F. (1989), "Constitución geológica", en *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Ed. Inst. Geogr. Nac., España, Madrid, p. III.1.1.

- Guerasimov, I. P. (1986), *Problemi globalnoi geomorfologii*, Izdatelstba Nauka, Moscú (en ruso).
- Hernández Santana, J. R. (1987), *Strukturnaia geomorfologia i cobremennaia geodinamika reliefa iugobostochnoi Kubi b zone bzaimodietsba glubokovodnogo zheloba Bartletta y Kubinskoi Micropliti*, Doktorskaia dissertassia, Institut Geografii, Moskva (en ruso).
- Hernández Santana, J. R., D. A. Lilienberg y M. E. Marques Tablón (1989), "Movimientos tectónicos recientes de la corteza terrestre", en *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Ed. Inst. Geogr. Nac., España, Madrid, p. IV.2.1.
- 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. 3, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 13-35.
- Hernández Santana, J. R. y M. A. Ortiz Pérez (2001), *Mapa morfoestructural del Estado de Oaxaca, a escala 1: 500 000*, Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Oaxaca, Gobierno del Estado de Oaxaca, 1 hoja.
- Hernández Santana, J. R. y M. A. Ortiz Pérez (2005), "Análisis morfoestructural de las cuencas hidrográficas de los ríos Sabana y Papagayo (tercio medio-inferior), estado de Guerrero, México", *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 56, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-25.
- Hernández Santana, J. R., A. P. Méndez Linares y J. M. Figueroa Mah-Eng (2006), "Geomorfología", en *Caracterización del subsistema natural*, Instituto de Geografía, UNAM, México, 7 mapas a escala 1:100 000, 27 figuras, 1 tabla, pp. 36-78.
- Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1974), *Nivelación. Instrucciones técnicas para I, II, III y IV órdenes*, La Habana, Cuba.
- Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1978), *Manual de cálculo de las nivelaciones*, La Habana, Cuba.
- Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1980), *Fotomontaje controlado de la provincia de Camagüey, a escala 1: 77 000*, Camagüey, Cuba.
- Instituto de Geología y Paleontología (1981a), *Mapa geológico del territorio de Ciego de Ávila-Camagüey-Victoria de Las Tunas, a escala 1: 100 000*, La Habana, Cuba.
- Instituto de Geología y Paleontología (1981b), *Mapa geológico de Cuba, a escala 1: 250 000*, La Habana, Cuba.
- Interamerican Geodetic Service (1948), *Manual of levelling computation and adjustment*, Special Publication, no. 240, Washington.
- Interamerican Geodetic Service (1956), *Levantamiento aerofotográfico de Cuba, a escala 1: 62 500*, La Habana, Cuba.
- Iturralde Vinent, M. (1975), "Problemas de la aplicación de dos hipótesis tectónicas modernas a Cuba y la región Caribe", *Rev. Tecnológica*, 13, 1, pp. 46-63.
- Iturralde Vinent, M. (1977), *Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platáformico en Cuba*, *Inf. Cient.-Tecn.*, 20:24.
- Iturralde Vinent, M. (1981), "Nuevo modelo interpretativo de la evolución geológica de Cuba", *Rev. Ciencias de la Tierra y del Espacio*, núm. 3, pp. 51-89.
- Iturralde Vinent, M. y F. Roque (1982), "La falla Cubitas: su edad y desplazamiento", *Rev. Ciencias de la Tierra y del Espacio*, núm. 4, pp. 57-70.
- Iturralde Vinent, M. (1989), "Role of ophiolites in the geological structure of Cuba", *Geotectonics*, v. 23, no. 4, pp. 332-342.

- Konstantinovskaya, E. A. (2002), "The mechanism of continental crust accretion: an example of Western Kamchatka", *Geotectonics* 36, 5, pp. 393-411.
- Korzhev, S. S. (1990), *Gori zhobnij zon SSSR i tektonika plit*, Izdatelstba Nauka, Moskva (en ruso).
- Lilienberg, D. A. (1973), "Algunos problemas de la formación del relieve del archipiélago cubano", *Ser. Espeleol. Carsol.*, núm. 21, pp. 1-5.
- Lilienberg, D. A., J. R. Hernández Santana, M. E. Marques Tablón and J. Rueda Pérez (1988), "General trends and regional differentiation of the recent geodynamics of morphostructures of an Island Interplate Zone: studies in a complex polygon at Santiago de Cuba and in an Eastern Cuba Model Area", *Journal of Geodynamics*, v. 9, no. 2-4, pp. 305-318.
- Lilienberg, D. A., J. R. Hernández Santana, M. E. Marques Tablón y L. Álvarez Gómez (1993a), *Movimientos tectónicos recientes de Cuba, El polígono geodinámico complejo de Santiago de Cuba*, Ed. Academia, La Habana, 2 tomos.
- Lilienberg, D. A., L. Setunskaya, D. Chatkai, J. Ellenberg, W. Kowalski, J. Kvitkovi, M. E. Marques Tablón, I. Totomanov, B. Vrabliansky and P. Vysko (1993b), "Recent tectonic movements and the stability of geodectic signs", *Journal of Geodynamics*, v. 18, 1-4, pp. 33-41.
- Magaz García, A. R. (1985), *Las morfoestructuras de la región centro-oriental de Cuba*, tesis de Diploma, Universidad de La Habana, Cuba.
- Makarov, V. I. (1986), "The Neotectonics of the Eastern Cuba. Part One. General Description. Northern and Central Districts", *Geotectonics*, v. 20, 6, pp. 515-523.
- Marques Tablón, M. E. (1997), *Caracterización de la geodinámica reciente de Cuba oriental, según los datos de la nivelación reiterada*, tesis de Doctorado, GEOCUBA, La Habana, Cuba.
- Mattson, P. (1979), "Middle cretaceous nappe structures in Puerto Rican ophiolites and their relation to the tectonic history of Greater Antilles", *Bull. Amer. Geol. Soc.*, 84, 1, pp. 21-38.
- Mossakovskiy, A. A., G. Ye. Nekrasov and S. D. Sokolov (1986), "Metamorphic Complexes and the Problem of the Basament in Alpine Structures of Central Cuba", *Geotectonics*, v. 20, 3, pp. 178-191.
- Portela Peraza, A. (1992), *Ostrobnaiia morfostruktura i tropicheskaia morfoskulptura Centralnoi Kubi*, Doktorskaia dissertassia, Institut Geografii, Moskva (en ruso).
- Pushcharovsky, Yu. M., A. L. Vtulochkin and A. A. Mussagovskii (1987), "Struktura i tipi zemnoi kori Kubi", in *Dokladi Akademii Nauk CCCP*, Izdatelctba Nauka, Moskva, 294, 1, pp. 178-182.
- Pushcharovsky, Yu. M. (1995), "On three paradigms in Geology", *Geotectonics*, vol. 29, 1, pp. 2-8.
- Shein, V. S., K. A. Kleshev and S. S. Ivanov (1975), *Esquema de regionalización tectónica de Cuba y de su plataforma marina, a escala 1: 1 000 000*, Dirección General de Geología y Geofísica, Tema IV, Tectónica de Cuba, La Habana, Cuba.
- Shein, V. S., S. S. Ivanov y K. A. Kleshev (1978), "Tectónica de Cuba y su shelf", *Rev. Geol. Soviética*, 2, pp. 104-199.
- Sokolov, S. D. (2003), "Accretionary tectonics: the State of the Art", *Geotectonics*, 37, 1, pp. 1-14.