

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“ Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD GEOLOGÍA MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**TESIS EN OPCION AL TITULO DE MASTER
EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

Título: Morfotectónica del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa con vista a la planificación turística.

Autora: Ing. Leomaris Domínguez González.

Tutora: Dr. Alina Rodríguez Infante.

*“Año de la Alternativa Bolivariana para las Américas”
Moa -2005*

DEDICATORIA

A mis padres y mi hermano

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta investigación no hubiese sido posible sin contar con el apoyo de un gran número de personas que por sus vínculos familiares, laborales o por la más bella razón que es la amistad, brindaron su ayuda. En especial a:

- *Aliuska Peña Reyna, por apoyo en los momentos difíciles y muestra del sentido de la verdadera amistad.*
- *Mi amigo Idael Blanco Quintero por su sacrificio, dedicación y consejos oportunos en todo momento.*
- *Israel Cruz Orosa por las horas dedicación en elaboración de los materiales gráficos.*
- *Mi hermano por su preocupación, comprensión y ayuda en todo momento.*
- *Omar Hidalgo Aguilar por su paciencia en los momentos de desatención.*
- *Mi tutora Alina Rodríguez Infante por sus críticas, correcciones y consejos de madre.*
- *Al Dr. Jesús Blanco Moreno por sus críticas y sugerencias en la conformación del trabajo final.*
- *Mis bichitos Yoni, Aldo, Yasser y Arnaldo por su atención y cariño a cada momento.*
- *Reyna Iris Arpajón por escucharme y aconsejarme en los momentos más difíciles.*
- *Alberto Caballero por sus opiniones y ayuda desinteresada.*
- *Julio Montero por ser siempre mi gran amigo y darme ánimo siempre.*
- *Amparo por ayudarme en la impresión de los materiales gráficos.*
- *Miembros del departamento de geología por su interés en mi superación profesional.*
- *Todos aquellos que de una forma u otra han contribuido el desempeño de esta investigación.*

Gracias.

RESUMEN

La presente investigación titulada Morfotectónica del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa con vista a la planificación turística se ha realizado con el objetivo de profundizar en el conocimiento tectónico de forma tal que permita establecer los sistemas de estructuras activas y bloques morfotectónicos, caracterizar los movimientos contemporáneos con vista a determinar las zonas favorables para la planificación turística.

Para lograr el objetivo propuesto se utilizaron conjuntamente los métodos morfométricos y de fotointerpretación geológica, se realizó el procesamiento del modelo digital del terreno y las comprobaciones de campo.

Como resultados de la investigación se cartografiaron tres sistemas de estructuras tectónicas que cortan el área, originados en periodos geotectónicos diferentes. Las estructuras del sistema originado durante la colisión y obducción del Arco Volcánico Cretácico sobre el Paleomargen de Bahamas que constituye el sistema de mayor importancia al ocurrir a través de él los mayores desplazamientos y constituir los límites principales de los bloques morfotectónicos. Se delimitaron los bloques morfotectónicos que se diferencian por sus rasgos morfológicos y tectónicos, los que se desplazan entre si en un sistema de horts y grabens escalonados, que conforman un gran bloque en ascenso. Sobre la base de los datos morfotectónicos, el grado de intensidad desarrollo de los procesos y fenómenos geológicos y los efectos que estos pueden ocasionar en futuras construcciones se definen las tres zonas susceptibles con vista a la planificación turística.

ABSTRACT

The present investigation titled Morphotectonic of the area located between the Yamanigüey town and the Baracoa city, with view to the tourist planning has been carried out with the objective of deepening the detailed tectonic knowledge, in a way that permits the establishment of the active structured systems and morphotectonic blocks, to characterize the contemporary movements with view to determine the favourable areas for the tourist planning.

To achieve the proposed objective were used jointly the morphometric methods and geologic photo interpretation, it has been carried out the processing of the digital terrain model and the field trips were used.

As results of the investigation three tectonic structured systems mapped of the area, that originated in different geotectonic periods were cartographed. The structures originated during of the collision and obduction of the Cretaceous Volcanic Arc on the Paleomargen of Bahamas that constitutes the system of more importance when happening through the biggest displacements and to constitute the main limits of the morphotectonic blocks. The morphotectonic blocks that differ for their morphological and tectonic features, those that move among if in a system at horts and grabens that conform a great block in ascent were defined. On the base the morphotectonic data, the grade of intensity development of the processes and geological phenomena and the goods these can cause in future constructions, the three susceptible areas with view to the tourist planning are defined.

INDICE	Pág.
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I: CARACTERIZACIÓN GEÓLOGO GEOMORFOLÓGICA DE LA ZONA COSTERA COMPRENDIDA DESDE YAMANIGUEY-BARACOA.	4
Introducción.	4
Base teórica de la investigación	4
Metodología de la investigación.	8
Trabajos precedentes.	10
Características Geológicas.	15
Geomorfología.	21
Conclusiones.	29
CAPITULO II. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN LA DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS.	30
Introducción.	30
Métodos morfométricos y de fotointerpretación geológica.	30
Procesamiento del modelo digital del relieve	33
Limitaciones de la investigación	51
Conclusiones.	51
CAPITULO III. MORFOTECTONICA Y GEODINAMICA DE LA ZONA COSTERA COMPRENDIDA DESDE YAMANIGUEY-BARACOA.	53
Introducción.	53
Rasgos geotectónicos evolutivos.	53
Principales sistemas de fallas.	56
Bloques y Sub bloques morfotectónicos.	70
Movimientos contemporáneos.	80
Procesos y fenómenos geológicos.	84
Conclusiones.	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	90
Conclusiones.	90
Recomendaciones.	91
REFERENCIAS BIBLIOGRAFIAS.	92
ANEXOS.	106
RELACIÓN DE MATERIALES GRÁFICOS.	113

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en la parte noreste y norte de las provincias Holguín y Guantánamo respectivamente, se encuentran en proyección o ejecución importantes obras, que aumenten la capacidad y variedad de las ofertas tanto para el turismo nacional como internacional. El crecimiento de la actividad turística y el incremento de la producción de níquel en la región minero metalúrgica del noreste de la provincia Holguín, implica la proyección y construcción de nuevas instalaciones, así como a un mejor ordenamiento territorial para el propio crecimiento poblacional e industrial.

La investigación se desarrolla en un área de 50 Km² comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa, abarcando toda la zona costera y hasta 9 km hacia el interior.

Geológicamente corresponde al límite norte del Bloque Oriental Cubano, caracterizado por una alta complejidad geólogo-tectónica que se pone de manifiesto a través de la actividad sísmica.

Por todo lo anterior, se hace necesario conocer el comportamiento de los procesos geológicos que condicionan deslizamientos, desprendimientos de rocas, afectar el equilibrio de las corrientes fluviales en su desembocadura y los procesos de abrasión y acumulación marina, para poder proyectar instalaciones turísticas, vías de acceso y comunicación, infraestructuras que posibiliten un confort en las instalaciones para posibilitar un adecuado ordenamiento de la zona costera sin afectar el entorno. Lo que conllevó a la necesidad de determinar las principales estructuras tectónicas activas del área para caracterizar la geodinámica a través del estudio de los movimientos de bloques morfotectónicos y con ello, poder determinar los sectores de máxima vulnerabilidad tanto para el ecosistema como para las construcciones existentes ante la ocurrencia de procesos tectónicos, es por ello que se realiza esta investigación en el área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad Baracoa.

Problema: Necesidad de conocer el comportamiento de las principales estructuras tectónicas activas con vista a la planificación turística del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa.

Objeto: Estructuras tectónicas del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa.

El objetivo general: Determinar las estructuras tectónicas del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa con vista a la planificación turística.

Objetivos específicos: Determinar las posibles fallas y sus desplazamientos.

Delimitar los bloques y sub bloques morfotectónicos y definir las zonas favorables con vista a la planificación turística.

Hipótesis: Si se logra determinar las fallas y sus desplazamientos, así como, el movimiento de los bloques y sub bloques entonces se puede conocer el comportamiento tectónico con vista a la planificación turística del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa.

Novedad: Se determinan las estructuras tectónicas disyuntivas y bloques morfotectónicos a partir de mapas morfométricos con el procesamiento digital del MDT con vista a establecer las zonas recomendables para la planificación turística.

Viabilidad: Esta investigación se hace viable debido a que la determinación de las estructuras tectónicas activas y bloques morfotectónicos se logra a partir de la sistematización de mapas topográficos y del procesamiento del modelo digital del terreno. La aplicación de estos garantiza la determinación de las principales estructuras tectónicas, reduciendo el trabajo de campo a las comprobaciones de los sentidos de desplazamientos e índices de la actividad neotectónica.

Resultados esperados:

Mapas morfométricos digital y Modelo Digital del Terreno del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa.

Mapa tectónico a la escala 1:25 000.

Mapa morfotectónico a escala 1:25 000.

Mapa orientativo para la planificación de obras turísticas.

En la elección de los métodos de trabajo se partió del hecho de que las estructuras geológicas a través de las cuales ocurren los principales movimientos

neotectónicos y en particular los movimientos sísmicos, se reflejan en el relieve, a través de diversos criterios e índices. Con la aplicación de los métodos de fotointerpretación geológica y geomorfológica, los métodos morfométricos, trabajos de campo y el procesamiento de la información geofísica existente sobre el territorio, se determinaron las principales estructuras tectónicas. Se asume como línea metodológica la determinación de los principales alineamientos a través de los métodos antes mencionados, procediéndose luego a su comprobación y caracterización. La determinación de los sectores o bloques morfotectónicos se realizó de acuerdo al grado de la pendiente, intensidad de erosión de fondo, nivel de base de los ríos y densidad relativa del drenaje; por el sentido y magnitud de los desplazamientos horizontales y verticales resultantes de los movimientos neotectónicos actuantes y que se encuentran separados entre sí por fallas activas.

CAPITULO I: CARACTERIZACIÓN GEÓLOGO GEOMORFOLÓGICA DE LA ZONA COSTERA COMPRENDIDA DESDE YAMANIGUEY-BARACOA.

Introducción.

Base teórica de la investigación.

Metodología de la investigación.

Trabajos precedentes.

Características Geológicas.

Geomorfología.

Conclusiones.

Introducción.

Hablar de calidad de vida en nuestras sociedades, significa prioritariamente que debe existir disponibilidad de fuentes de trabajo, puesto que los problemas del medio social son más graves aún que los del medio natural, por lo tanto, en todos los países, es imprescindible la actividad económica y crear nuevos empleos. Hoy en día, se pretende que la actividad económica se realice teniendo en cuenta la absoluta necesidad de proteger el medio ambiente, no solo para asegurar la calidad de vida de las generaciones presentes, sino también para generaciones futuras. Se trata entonces, de una nueva política de desarrollo sustentable, compatible con la conservación de nuestro medio natural, para el cual es preciso aplicar principios que comunican la demanda en materia de protección del medio. La búsqueda de métodos tendentes a solucionar todos estos problemas incumbe a muchas disciplinas científicas, donde el carácter abarcador y multifacético de la investigación (...) geoecológica del medio ambiente se conoce como fundamento teórico y metodológico en el ordenamiento funcional para la búsqueda de soluciones de problemas de variada índole.

Base teórica de la investigación.

Entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa, abarcando toda el área hasta 9 km hacia el interior en un área comprendida de 50 Km² aproximadamente, se desarrolla el presente trabajo. Se encuentra enclavada en el sistema

montañoso del norte de Cuba oriental, formado casi en su totalidad por la Sierra de Sagua – Baracoa, por las Cuchillas de Moa. Orográficamente el territorio está caracterizado por su complejidad, predominando el relieve de montaña, hacia la parte sur. El relieve de llanura, en la zona de costa, en el que aparecen llanuras abrasivas marinas, denudativas y ligeramente diseccionadas con alturas de 20–25 metros.

El clima de la zona es subtropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos, seco, y húmedo. La temperatura media anual oscila entre 22.26–30.5°C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los más fríos enero y febrero, el promedio de precipitaciones anuales entre 1231.3-5212.0 mm siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los meses más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual varía entre los 1880 y 7134 mm.

La abundancia de precipitaciones en casi todo el año, conjugado con las características del relieve y del clima favorecen la existencia de la red hidrográfica, la misma es de tipo dendrítica, aunque en algunos casos se observa la red subparalela.

La región cuenta con una red hidrográfica bien desarrollada representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam, Cupey, Yamanigüey, Jiguaní, Macaguanigua, Nibujón, Baéz, Toa y Naranjo como afluente del Toa, todos corren de Sur a Norte, desembocando en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles.

El río Cayo Guam, nace en la cota 820m y desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación es de 57,71 Km². El río Quesigua, nace en la cota 420 m desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación asciende a 26.7 Km². El río Yagrumaje situado al sudoeste del yacimiento “Punta Gorda”, tiene su nacimiento en la cota 620 m y su desembocadura en el Océano Atlántico. Forma barrancos casi verticales, su longitud es de 11 Km, su cuenca tiene un área aproximada de 12 Km². El río Yamanigüey nace a 400 m sobre el nivel del mar con una cuenca de aproximadamente 9 Km. El río Jiguaní nace a 700 m fuera de la zona de estudio y ocupa un área de alimentación de 21 km. Las aguas del río

Macaguanigua nace en la cota 300 m con un área de la cuenca aproximada de 7 km. El Nibujón nace a 640 m con 12 km de área de alimentación. El río Báez nace en la cota 400 m con un área de 10 km y naranjo como afluente del Toa el cual tiene su nacimiento fuera de la zona de estudio.

Estos ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan numerosos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas, son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como nacimiento las zonas montañosas del grupo Sagua-Baracoa. El nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones. Los niveles más bajos se observan en el período de seca (Julio-Septiembre) y los más elevados en el período de lluvia (Octubre-Enero).

Geológicamente, corresponde al límite norte del Bloque Oriental Cubano, caracterizado por una alta complejidad tectónica y neotectónica que se pone de manifiesto a través de la actividad sísmica.

Por todo lo anterior, se hace necesario conocer el comportamiento de los procesos geológicos que condicionan deslizamientos, desprendimientos de rocas, afectar el equilibrio de las corrientes fluviales en su desembocadura y los procesos de abrasión y acumulación marina, para poder proyectar instalaciones turísticas, vías de acceso y comunicación, infraestructuras que posibiliten ordenamiento sostenido de la zona costera.

Lo anterior conllevó a la necesidad de determinar las principales estructuras tectónicas activas para caracterizar la geodinámica de la zona costera a través del estudio de los movimientos de bloques morfotectónicos y con ello, poder determinar los sectores de máxima vulnerabilidad tanto para el ecosistema como para las construcciones existentes ante la ocurrencia de procesos tectónicos, es por ello que se realiza esta investigación.

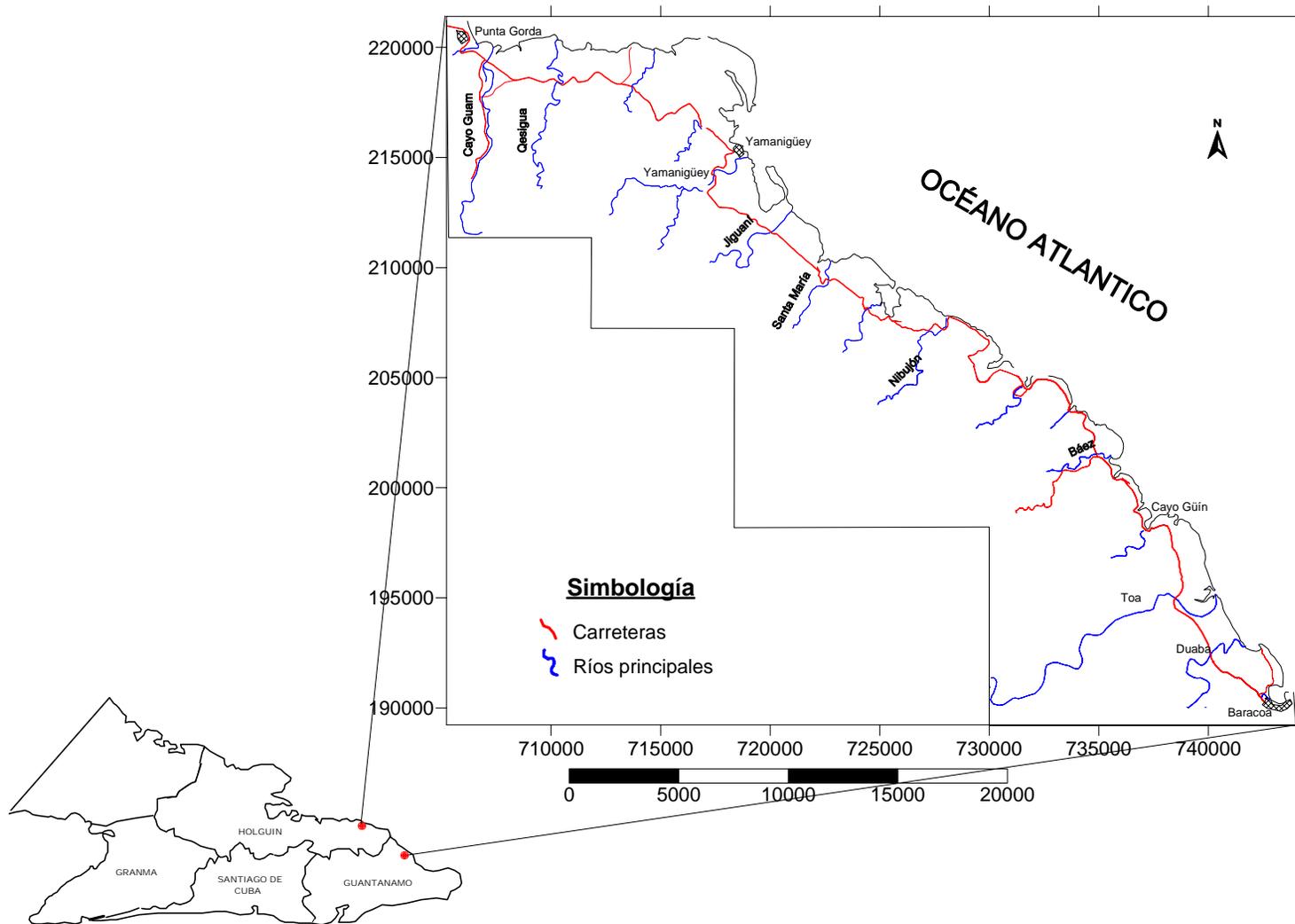


Figura 1. Mapa de Ubicación geográfica.

Metodología de la investigación.

La metodología seguida para la ejecución de los trabajos se dividió en cuatro etapas de trabajo:

Primera etapa: Preliminar

En esta etapa se seleccionó el área de los trabajos de forma tal que dentro de sus límites quedaran incluidas todas las estructuras condicionantes de la dinámica de del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa, abarcando toda la zona costera y hasta 9 km hacia el interior, aproximadamente 50 Km² (Fig.1).

Para la aplicación de los métodos morfométricos se utilizaron las cartas topográficas 5277-II-d, 5277-II-b, 5277-II-a, 5277-II-c, 5277-IV-b y 5277-IV-d a escala 1: 25 000, la hoja Moa del mapa geológico digital realizado por IGP en el año 2004 a escala 1: 100 000. Para la representación final de los resultados se tomó la misma escala de los trabajos morfométricos.

Se definió el conjunto de métodos a aplicar que comprenden la utilización simultanea de métodos morfométricos, obtención de mapas morfométricos a partir del procesamiento automatizado del modelo digital del terreno, de fotointerpretación geólogo geomorfológica y trabajo de campo con el uso de la información geofísica; se realizó la selección de materiales primarios y se procedió a la búsqueda y revisión bibliográfica.

Segunda etapa: Procesamiento digital del Modelo digital de terreno y métodos morfométricos y de fotointerpretación.

Simultáneamente a la aplicación de los métodos morfométricos tradicionales y de fotointerpretación geólogo geomorfológica, se realizó el procesamiento automatizado del modelo digital del terreno obtención de mapas morfométricos.

Procedimientos seguidos para la confección de los mapas morfométricos.

a) MDT

- a. Escaneo de cartas topográficas.
- b. Georeferenciación y rectificación de imágenes.
- c. Digitalización de isolíneas.

- d. Transformación de líneas en puntos
- e. Obtención del MDT con ID, grid 40 X 40 metros.
- b) Obtención y análisis de la red fluvial.
 - a. Exportar MDT a arcview.
 - b. Generar ríos con extensión de arcview HEC-GeoHMS (ver User manual)
 - c. Rectificación de ríos.
 - d. Mapa de red fluvial con órdenes de los ríos.
 - e. Mapa de isobasitas y mapas diferencia.
- c) Análisis del MDT.
 - a. Mapa de relieve sombreado.
 - b. Mapa de disección vertical.
 - c. Mapa de pendientes (con MDT suavizado con filtro media de ventana de 960m)
 - d. Mapa de aspecto.

La aplicación de estos garantiza la determinación de las principales estructuras tectónicas, reduciendo el trabajo de campo a las comprobaciones y mediciones de los elementos de yacencia, sentido de desplazamiento e índices de la actividad neotectónica.

Durante el desarrollo de la fotointerpretación del área, la cual tuvo como objetivo fundamental la determinación de las estructuras de fracturas a partir de la aplicación de los principios básicos de los trabajos fotogelológicos y de los criterios directos e indirectos para la identificación de las mismas e incluso en algunos casos hasta poder determinar su grado de actividad, así como el estudio de las formas del relieve.

Fotos aéreas.

Los trabajos de fotointerpretación geólogo geomorfológica se realizaron con las fotografías aéreas a escala aproximada 1: 36 000 del proyecto K-10 de 1972, usándose de forma simultánea las fotografías aéreas de escala aproximada 1: 60 000 de la Aero Service Corporation de 1956. En la interpretación fototectónica

también se utilizó la información aportada por las fotografías cósmicas. Finalmente se confeccionó el esquema fotogeológico.

Los trabajos morfométricos consistieron en la confección e interpretación de los mapas de:

- Red fluvial.
- Isobasitas de segundo y tercer orden.
- Disección vertical.
- Pendientes en grados.

En el capítulo 2 se profundiza en el procedimiento seguido para la confección de cada mapa morfométrico.

Finalmente se procedió a correlacionar la información obtenida por estos métodos, confeccionándose el esquema morfotectónico preliminar.

Tercera etapa: Comprobaciones de campo.

El trabajo de campo consistió en las comprobaciones en condiciones naturales de las estructuras determinadas durante la segunda etapa de trabajo. Con las estructuras determinadas y comprobadas se procedió al cartografiado de las mismas. Se tomaron los criterios directos e indirectos de existencia de fallas y sus respectivos desplazamientos.

Cuarta Etapa: Gabinete.

En esta etapa se procedió a la interpretación y procesamiento de la información obtenida por los métodos antes relacionados.

Como resultado del procesamiento de la información se procedió a la confección del mapa morfotectónico donde se señalan las principales estructuras y bloques tectónicos del territorio así como, la caracterización en sentido e intensidad de los movimientos geodinámicos actuales.

Trabajos precedentes.

Durante la ejecución de la investigación se consultaron diferentes trabajos que para la región oriental y en particular del territorio Moa-Baracoa se han desarrollado, orientados algunos a la evaluación geólogo-económica de las grandes reservas minerales asociadas al cinturón ofiolítico del noreste holguinero

y otros a la profundización del conocimiento geológico regional, constituyendo todos una valiosa información.

A pesar de existir numerosas investigaciones y reportes sobre la geología de la zona realizados antes del triunfo de la revolución no es hasta la década del sesenta que se desarrollan investigaciones profundas de carácter regional, haciéndose imprescindible mencionar los trabajos de los especialistas soviéticos A. Adamovich y V. Chejovich (1962), (1963) y (1965), que constituyeron un paso fundamental en el conocimiento geológico del territorio oriental, esencialmente para las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas. La concepción inicial de estos trabajos ha sufrido importantes cambios con el aporte de investigaciones más recientes.

Adamovich y Chejovich (1962), elaboraron un mapa geológico a escala 1: 250 000 sobre la base de interpretaciones fotogeológicas y marchas de reconocimiento geológico en el cual fueron limitadas las zonas de cortezas de intemperismo para el territorio Mayarí - Baracoa, establecieron la secuencia estratigráfica regional y respecto a la estructura geológica, consideraron la existencia de un anticlinal con un núcleo de rocas antiguas - zócalo metamórfico - y rocas más jóvenes en sus flancos, estando cortada toda la estructura por fallas normales que la dividen en bloques. De igual forma ellos realizaron reconstrucciones paleogeográficas que le permitieron caracterizar el relieve pre Maestrichtiano de la región al mismo tiempo que clasificaron el relieve actual, (Adamovich y Chejovich, 1965).

Las investigaciones posteriores demostraron que la estructura del territorio oriental cubano estaba muy lejos de tener el estilo sencillo que ellos concibieron, resultando esclarecidos algunos elementos referidos a la existencia de fuertes movimientos tectónicos tangenciales que provocaban la aparición de secuencias alóctonas y autóctonas intercaladas en el corte geológico, así como el emplazamiento de cuerpos serpentínicos en forma de mantos tectónicos alóctonos sobre las secuencias del Cretácico Superior lo cual complica extraordinariamente la interpretación tectono - estratigráfica.

De igual forma se estableció que el origen y posición geólogo-estructural de los conglomerados y brechas de composición serpentínica que Adamovich y

Chejovich asignan al periodo Maestrichtiano, tienen un carácter esencialmente sinorogénico relacionado con los movimientos tectónicos de emplazamiento de los cuerpos serpentínicos.

En los últimos años, debido a una constante acumulación de información, se ha originado un salto cualitativo en el grado de conocimiento geológico expresado en los elementos citados anteriormente.

En la década del setenta se inicia una nueva etapa en el conocimiento geológico regional y como señala F. Quintas en su tesis doctoral (1989), *....se fue abriendo paso la concepción movilista como base para la interpretación geológica.....*, especialmente con posterioridad a la publicación en 1974 de los trabajos de Knipper y Cabrera (1974), quienes sobre la base de las observaciones de campo y revisión de materiales existentes plantearon que los cuerpos de serpentinitas representan fragmentos de corteza oceánica que se deslizaron por planos de fallas profundas hasta la superficie donde se emplazaron sobre formaciones sedimentarias del Cretácico en forma de mantos tectónicos. Sus investigaciones no aportan información novedosa al esquema estratigráfico regional sin embargo, abren una nueva dirección al indicar la presencia de mantos tectónicos constituidos por rocas ultrabásicas.

En 1972 se inician investigaciones de carácter regional del territorio oriental cubano por especialistas del Departamento de Geología de la Universidad de Oriente, luego Instituto Superior Minero Metalúrgico y en 1976 establecieron que la tectónica de sobrepuye afecta también a las secuencias sedimentarias dislocadas fuertemente, detectando en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del Cretácico Superior, yaciendo sobre secuencias terrígenas del Maestrichtiano - Paleoceno Superior, planteando además el carácter alóctono de los conglomerados - brechas de la formación La Picota, demostrándose en investigaciones posteriores el carácter predominantemente autóctono de estas secuencias formadas en las cuencas superpuestas al arco volcánico del Cretácico. Con estos nuevos elementos se reinterpreta la geología del territorio y se esclarecen aspectos de vital importancia para la acertada valoración de las reservas minerales. Como

resultado de estos trabajos Cobiella junto a otros especialistas del departamento de Geología del ISMM proponen un esquema tectónico que resume una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba Oriental delimitando cinco zonas estructuro faciales. En 1978 J. Cobiella y J. Rodríguez, subdividen las anteriores estructuras propuestas en seis zonas.

En el periodo 1972-1976, se realiza el levantamiento geológico de la antigua provincia de oriente a escala 1: 250 000 por la brigada cubano - húngara de la Academia de Ciencias de Cuba (1976), siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba Oriental. En este trabajo la región oriental se divide en cinco unidades estructuro faciales y tres cuencas superpuestas.

El mapa e informe final de esta investigación constituyó un aporte científico a la geología de Cuba al ser la primera interpretación geológica regional de ese extenso territorio basada en datos de campos, obteniéndose resultados interesantes expresados en los mapas geológicos, tectónicos y de yacimientos minerales, columnas y perfiles regionales así como el desarrollo de variadas hipótesis sobre la evolución geológica de la región.

Paralela a estas investigaciones se desarrollan trabajos fotogeológicos sobre diferentes áreas del territorio por especialistas del Centro de Investigaciones Geológicas, entre los que se encuentran la caracterización de la corteza de intemperismo del sector occidental de las hojas cartográficas de Moa y Palenque desarrollados por V. Teleguin, quien realiza una clasificación de las fracturas que afectan al substrato serpentinitico y el levantamiento fotogeológico de Farallones a escala 1: 50 000 desarrollado por R. Pérez, donde se realizó un estudio detallado de las distintas formaciones geológicas del área de estudio y su caracterización geomorfológica, así como un conjunto de trabajos desarrollados por la Empresa Geológica de Oriente en la búsqueda y categorización de las reservas lateríticas.

En el periodo 1980-1985 el Departamento de Geomorfología de la propia institución en colaboración con la Facultad de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa desarrolló el tema de investigación Análisis Estructural del Macizo Mayarí - Baracoa donde se analiza por primera vez de forma integral para todo el nordeste de Holguín el grado de perspectividad de las cortezas de

intemperismo ferroniquelíferas en dependencia de las condiciones geológico-geomorfológicas para lo cual fueron aplicados métodos morfométricos y trabajos de fotointerpretación. La deficiencia fundamental de la investigación consistió en el escaso trabajo de campo realizado para las comprobaciones, utilizándose en sustitución de estos los informes de estudios geológicos realizados en la valoración o categorización de los yacimientos lateríticos.

Desde el punto de vista tectónico de carácter regional adquieren importancia relevante las investigaciones realizadas por M. Campos (1991) en su estudio tectónico de la porción oriental de las provincias Holguín y Guantánamo, donde propone siete unidades tectono-estratigráficas para el territorio, describiendo las características estructurales de cada una de ellas y estableciendo los periodos de evolución tectónica de la región.

En 1989 F. Quintas en su tesis doctoral, realizó el estudio estratigráfico del extremo oriental de Cuba donde propone las asociaciones estructuro-formacionales que constituyen ese extenso territorio así como las formaciones que las integran, realizando la reconstrucción paleogeográfica del Cretácico al Paleógeno, intervalo cronológico de mayor complejidad para la geología de la región oriental. Este trabajo por su actualidad y volumen de información geológica que presenta, es tomado como material geológico base en la caracterización litológica de estas investigaciones.

En 1990 se concluye el levantamiento geológico a escala 1: 50 000 en el polígono CAME Guantánamo por especialistas cubanos y húngaros, el cual constituye uno de los trabajos más integrales que sobre la geología de la región se realizan al abordar todas las vertientes del trabajo geológico con un gran volumen de información textual y gráfica.

Paralelamente a estas investigaciones de carácter geológico regional hay que hacer referencia por su importancia a una serie de trabajos desarrollados por la Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica en el estudio sismotectónico para el complejo hidroenergético Toa-Duaba (Orbera,1990) y de la Central Hidro Acumuladora Oriente Norte (Marquetti, 1990) durante los años noventa que junto a los trabajos de Hernández (1987a), (1990b) sobre la geodinámica reciente han

aportado valiosos datos sobre el área de investigación y constituyen una base metodológica y orientativa en el estudio de las estructuras sismogeneradoras y morfotectónicas.

En 1991 Hernández Santana J., Díaz Díaz J., González Ortiz R., Portela Peraza A. y Arteaga Barrios F. realizan un estudio morfotectónico de Cuba oriental donde exponen los criterios geomorfológicos para la clasificación morfotectónica de Cuba Oriental. Dividen el territorio en unidades territoriales y zonas limítrofes entre ellos que corresponden a zonas de alineamientos morfoestructurales de diferentes rangos diferenciados por el grado de actividad neotectónica.

En 1998 Rodríguez A. realiza el estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica, donde se profundiza en el estudio tectónico del territorio de Moa y establece los sistemas de estructuras activas, los bloques morfométricos y los movimientos contemporáneos y su incidencia en los sectores de máximo riesgo de origen tectónico.

En 1999 Domínguez L. realiza un estudio tectónico detallado de la planta en construcción de Las Camariocas donde se determinan las principales fallas activas que afectan a la planta, sus posibles desplazamientos. Se determinan los sub bloques y pequeños sub bloques morfométricos y su incidencia en el medio natural, construido y social.

Características geológicas.

El área de estudio se caracteriza desde el punto de vista geológico por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del “neoautóctono” (Figura 1.2) (Iturralde-Vinent, 1994, 1996b, 1998).

En la zona de estudio se pueden reconocer 5 unidades tecto-estratigráficas (UTE) principales: 1) rocas de afinidad ofiolítica, 2) materiales volcánicos asociados a un arco de islas Cretácico, 3) rocas volcánicas y volcano-sedimentarias pertenecientes al arco de islas terciario, 4) materiales asociados a cuencas transportadas del Eoceno medio al Oligoceno, y 5) materiales asociados a un estadio neoplatafórmico “Neoautóctono” desde el Oligoceno al Reciente (Iturralde, 1999 a, y 1998, Proenza et. al. 2000)

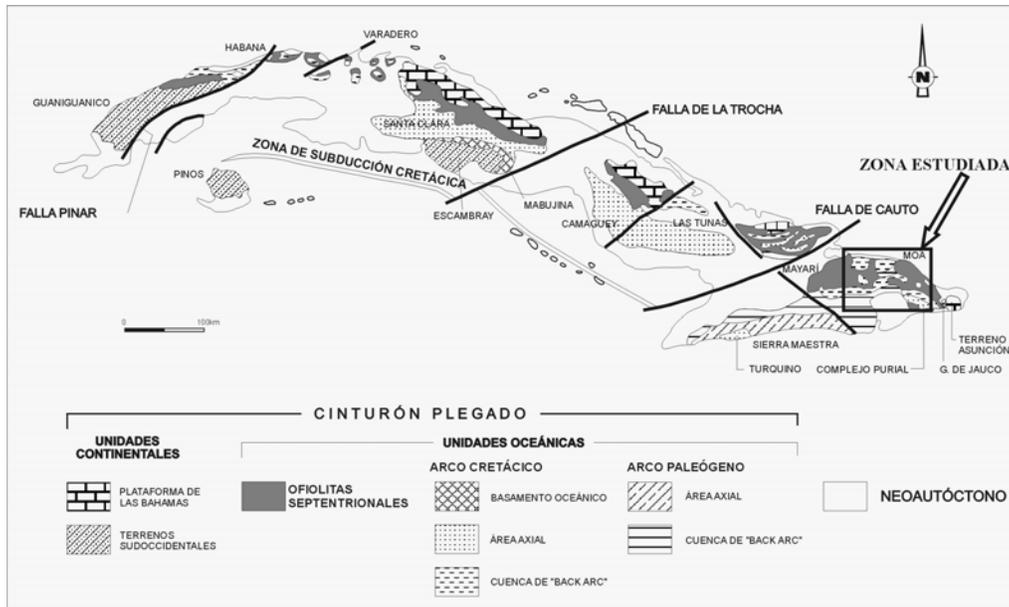


Figura 2. Mapa geológico esquemático de Cuba, mostrando los afloramientos del cinturón plegado y del neoaútóctono (adaptado de Iturralde – Vinent, 1996).

Como se observa en el mapa geológico de la región de estudio (Anexo 1), las rocas de afinidad ofiolítica son las de mayor distribución en el área, enmarcándose dentro de la llamada Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde-Vinent, 1994, 1996a y 1998). Estas ofiolitas han sido interpretadas como representativas de un sistema de cuenca de retroarco-mar marginal, ubicado paleogeográficamente entre la Plataforma de Las Bahamas y el Arco Volcánico de las Antillas Mayores (Iturralde-Vinent, 1994, 1996b, 1998; Cobiella, 2000).

La faja ofiolítica constituye un cuerpo alóctono tabular con una longitud de 170 Km, geomorfológicamente dividido en diferentes partes por el valle del río Sagua de Tánamo y las montañas del Purial. Posee un espesor que en ocasiones sobrepasa los 1000 m (Iturralde-Vinent, 1996a, 1998). Según Torres (1987), Fonseca y otros (1985a, 1992), Iturralde-Vinent (1996c, 1998) y Proenza (1997), y está constituida por diferentes términos litológicos representativos de una secuencia ofiolítica, aunque separados por contactos tectónicos (Proenza (1997).

La secuencia, de piso a techo, está compuesta por peridotitas con texturas de tectonitas, “cumulados ultramáficos”, cumulados máficos, diques de diabasas y secuencias efusivas-sedimentarias. Estas ofiolitas se disponen en forma de

escamas tectónicas, cabalgando las rocas volcano-sedimentarias del arco de isla Cretácico, las cuales están cubiertas transgresivamente, por secuencias flyschoides y olistostrómicas del Maestrichtiano al Paleoceno (formaciones Mícara y La Picota). En ocasiones las ofiolitas están cubiertas por materiales volcano-sedimentarios del arco de isla del Paleógeno y por secuencias terrígenas-carbonatas más jóvenes (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1998; Proenza, 1997; Cobiella, 1997, 2000).

Complejo Ofiolítico Moa-Baracoa

Este macizo de rocas de afinidad ofiolítica, se ubica en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupando una área aproximada de 1500 km² (Proenza et al., 1999a, 1999b), en esta Faja se han descrito tanto niveles mantélicos (Jurásico-Cretácico Temprano) como corticales (Hauteriviano-Campaniano) (Iturralde-Vinent, 1996a).

Según Proenza et al. (2003) y Marchesi et al. (2003), en el macizo Moa-Baracoa se pueden reconocer los niveles mantélicos, niveles de gabros bandeados inferiores y niveles volcánicos discordantes. Sin embargo, los niveles de gabros isotrópicos superiores y de diques de diabasas de una secuencia ofiolítica ideal no afloran. Las diabasas descritas en la región aparecen principalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo (Torres, 1987).

La secuencia mantélica tiene un espesor de “paleomanto” superior a 2.2 km y los niveles de gabros bandeados de aproximadamente 300 m (Proenza, J. et al. 2003).

El complejo ultramáfico, desde el punto de vista petrológico, se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado dunitas; también se han descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas (García y Fonseca, 1994; Proenza y otros, 1999a, 1999b).

Los cumulos de gabros forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de estos cuerpos oscila entre 1 y 3 km de ancho, por 10 a 15 km de longitud. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Los gabros muchas veces están cubiertos por mantos

de rocas ultramáficas (Fonseca y otros, 1985b), aunque Andó y otros (1989) plantean que en algunos sectores el contacto es transicional. Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronoritas, gabros, anortositas y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985a; Torres, 1987; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a, 1999b).

El complejo volcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico (Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a; 2000) y está representado por la Fm. Quiviján (Iturralde-Vinent, 1996, 1998), la cual incluye basaltos amigdaloides y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadilla), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de *cherts* y calizas (Quintas, 1989).

Bajo las ofiolitas de la región de estudio subyacen, a través de una falla subhorizontal, rocas volcano-sedimentarias del arco de islas Cretácico. Aunque en otras regiones los cuerpos ofiolíticos aparecen cubiertos por materiales volcano-sedimentarios pertenecientes al arco de islas del Paleógeno (Fm. Sabaneta) y por secuencias terrígenas-carbonatadas más jóvenes (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1996b). Los principales afloramientos de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa están representados por los macizos Mayarí-Cristal y Moa-Baracoa (Proenza, 1998; Proenza et al., 1999a; 1999b).

Arco Volcánico Cretácico

Las rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de edad cretácica están representadas por la Fm. Bucuey correlacionable con Santo Domingo (Guiarmaty y otros 1997). Esta se compone por tobas y tufitas con cuerpos de lavas y calizas intercalados (Iturralde-Vinent, 1976; Proenza y Carralero, 1994). Los materiales de esta formación se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas de la Faja Mayarí-Baracoa. Muchas veces los contactos coinciden con zonas que presentan una mezcla de bloques de volcanitas pertenecientes al arco y de ofiolitas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde-Vinent, 1976, 1996b, 1998; Proenza y Carralero, 1994; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990; Gyarmati y otros, 1997).

Las rocas representativas de esta formación afloran en la parte alta de la cuenca del río Macaguanigua y Santa María.

En Morel aparecen basaltos ofiolíticos, que actualmente esta en proceso de redefinición para denominarse Formación Morel, localidad tipo Morel en la carretera Moa-Baracoa cerca de Nibujón donde se manifiesta en basalto en almohadillas (Rodríguez 2005). En Duaba son muy parecidos a los basaltos de la Formación Téneme.

Secuencias Sedimentarias del Campaniano Tardío-Daniense

Los materiales asociados a las cuencas transportadas del Campaniense Tardío-Daniense se encuentran secuencias típicamente olistostrómicas y con características de *melange*, las cuales están compuestas por fragmentos y bloques procedentes de la secuencia ofiolítica y de las rocas volcánicas Cretácicas (Quintas,1989). En consecuencia, estas unidades litoestratigráficas constituyen un registro temporal del proceso emplazamiento tectónico (obducción) de las ofiolitas, el cual estuvo enmarcado en el tiempo de desarrollo de estas cuencas. En los levantamientos a escala 1:100 000 del área, según el mapa digital confeccionado por el IGP no se han mapeado estas secuencias, pero cabe la posibilidad de su existencia en pequeños sectores.

Arco Volcánico del Terciario

Entre el Paleoceno Inicial y el Eoceno Medio Inferior se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla y en la región de estudio está representada por la Fm Sabaneta (Iturralde-Vinent, 1976, 1995; Proenza y Carralero, 1994; Quintas et al., 1995), la cuál ha sido depositada en una cuenca de back arc (Iturralde-Vinent, 1996b). La unidad se compone de rocas epiclásticas (tobas, tufitas) (Iturralde-Vinent, 1976, 1996b; Proenza y Carralero, 1994; Quintas et al., 1996, García, M., et al., 1996). Las rocas pertenecientes al arco de islas volcánico del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del arco Cretácico y las ofiolitas.

La Formación Sabaneta está constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizados o montmorillonitizados, con

intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y rara vez basaltos. Esta formación aflora en un pequeño bloque en Yamanigüey.

Secuencias sedimentarias del Eoceno Medio-Oligoceno

Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por las formaciones Sierra de Capiro y Cilindro.

La Fm. Sierra de Capiro (Eoceno Superior) se compone de lutitas y margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas (Cobiella, 1978, Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990).

La Fm. Cilindro (Eoceno Medio-Superior) se conforma de conglomerados polimícticos con estratificación lenticular y a veces cruzada, débilmente cementada con lentes de areniscas que contienen lignito. La matriz es arenítica polimíctica, conteniendo carbonato (Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990; Crespo, 1996).

Secuencias sedimentarias del Neautoctono.

El "neoautoctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del "cinturón plegado", donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas. Esta secuencia aparece representada en la región por las formaciones Yateras, Baracoa y Maya.

Formación Yateras del Oligoceno Superior-Mioceno Medio Inferior, constituida por alternancia de calizas detríticas biodetríticas y biógenas duras a veces aporcelanadas. (Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990), aflora por toda la costa en la región de Yamanigüey.

Formación Baracoa del Mioceno Superior-Plioceno, constituida por Calizas biodetríticas arenáceas con alternancias de gravas y arcillas, calcarenitas, margas, areniscas y gravas. La misma aflora en un área próxima a la ciudad de Baracoa.

La Formación Maya de edad Plioceno-Pleistoceno está compuesta por calizas biorhémicas dolomitizadas, arcillas e intercalaciones de conglomerados polimícticos.

Todas estas formaciones son esencialmente carbonatadas con materiales clásticos subordinados, predominando en ella diferentes variedades de calizas (masivas, biogénicas, organodetríticas y arcillosas), margas, calcarenitas y areniscas. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por su yacencia monoclinal suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes.

Sobre todas las litologías antes descritas se encuentran los depósitos cuaternarios que constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis predominantemente continental de pocas variaciones diagenéticas y pequeños espesores. Estos depósitos están constituidos por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial.

Estas secuencias están representadas por la Formación Jaimanitas (Q_4) constituidos por calizas biodetríticas carsificadas, fosilíferas con conchas bien preservadas. Formación Río Macío (unidad innominadas) Al Q_4 constituidos por depósitos de valles aluviales de composición y granulometría heterogénea. Formación Jutía de edad (pQ_4) constituida por depósitos palustres.

Estos depósitos constituyen una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinuo en las partes interiores.

Geomorfología.

El relieve de Cuba oriental, al igual que el relieve cubano en general es el reflejo de la alta complejidad geológico estructural resultante de la acción de procesos compresivos durante la etapa Mesozoica y el Paleógeno, a los cuales se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos así como la separación en bloques del territorio. Algunos autores consideran que la etapa de formación del relieve cubano comienza en el Paleógeno, cuando se inician los movimientos verticales como tendencia fundamental, disminuyendo notablemente los movimientos horizontales.

En cuanto el origen y edad del relieve, los procesos morfogénicos iniciaron su acción directa en el modelado de la superficie en periodos tan jóvenes como el Mioceno - Plioceno, en el relieve actual del noreste oriental se ponen de manifiesto muchas morfoestructuras heredadas de los procesos geodinámicos que se iniciaron a fines del Mesozoico y se extendieron hasta el Paleógeno, responsables de la formación del sistema de escamas tectónicas que caracteriza al complejo ofiolítico y que a pesar de la vigorosa reestructuración neotectónica aún se reflejan en el mismo.

Genéticamente el relieve de la región y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques. Tomando como base los criterios de clasificación que Portela y otros (1990) usaron en la confección del mapa geomorfológico del Nuevo Atlas Nacional de Cuba, se asumieron dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas, con subtipos específicos (Fig. 3):

Zona de Llanuras. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos. Dentro de los subtipos tenemos: Llanuras erosivo-acumulativas marinas.

- Llanuras erosivas con series escalonadas marinas.
- Llanuras fluviales acumulativas bajas planas.
- Llanuras acumulativas planas parcialmente cenagosas.

La zona de relieve de montaña se clasifica en cuatro subtipos de los cuales aparecen en el área:

- Montañas bajas aplanadas diseccionadas.
- Premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Alturas monoclinales aterrazadas carsificadas.
- Alturas tectono-erosivas diseccionadas.

A continuación se hará referencia a las formas que se desarrollan en el área. Zona de Llanuras. Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando desde la línea de costa hasta los 100-110 m de altura hacia el suroeste. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos

morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos.

Las llanuras erosivo-acumulativas marinas parcialmente cenagosas ocupan el área comprendida del litoral, llegando a formar parte en algunos sectores de la zona litoral como ocurre en Punta del Mangle cerca de Cañete, Punta del Mangle en la desembocadura del río Jiguaní hasta el poblado de Jaraguá. La actividad erosiva en esta zona es prácticamente nula, estando limitada la misma a la remoción de los sedimentos en los periodos de intensas lluvias, como resultado del aumento de la descarga de los ríos. Los valores de pendientes predominantes de 0° a 3° y sólo en pequeños sectores aislados pueden llegar hasta 6° y 9°.

Llanuras erosivas con series escalonadas marinas sin determinación de niveles se desarrolla formando una faja a lo largo de la zona costera comprendida desde la bahía de taco hasta próximo a la desembocadura del río Toa.

Las llanuras fluviales acumulativas bajas se desarrollan en una franja a ambos lados del cause de los ríos Toa y Duaba en su desembocadura, hasta los 3 o 4 km hacia el sureste, en la zona correspondiente a la base del escalón inferior de las tierras emergidas y en las que se encuentran los cauces inferiores y desembocaduras de los ríos. En esta zona los procesos erosivos son escasos y sólo se ponen de manifiesto a través de pequeños arrastres de suelos y acarreamiento, generalmente asociados a taludes locales, constituyen una superficie óptima para la acumulación de los sedimentos arrastrados de los niveles superiores. Dentro del material que se acumula predominan los sedimentos fluviales.

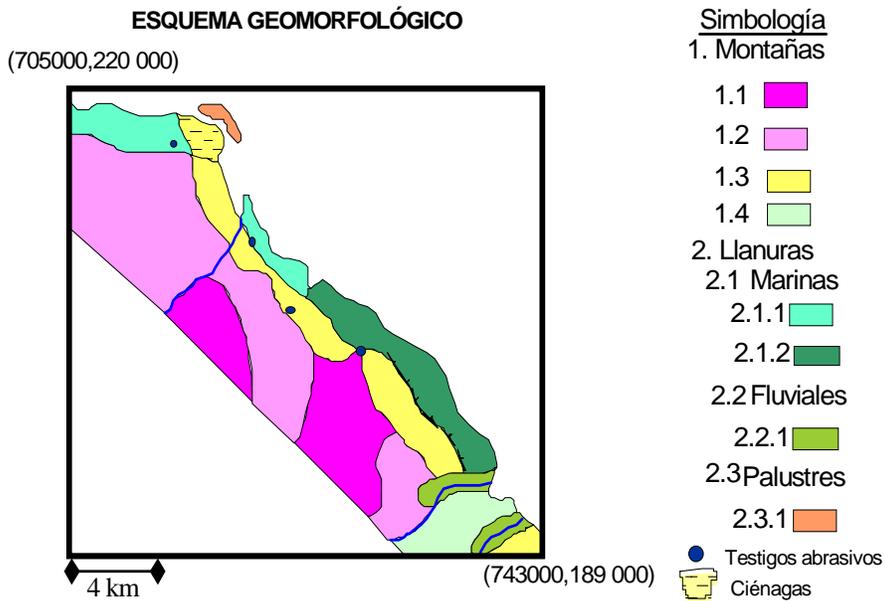


Fig. 3. Esquema de las zonas geomorfológicas en la zona costera Yamanigüey-Baracoa. 1.1 Montañas bajas aplanadas diseccionadas; 1.2 Premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas; 1.3 Alturas de tipo tectónico-estructurales monoclinales aterrazadas y carsificadas; 1.4 Tectónico erosivas de hort y bloque diseccionadas. 2.1.1 Erosivo acumulativas parcialmente cenagosas; 2.1.2 Erosivas de series escalonadas sin determinación de niveles; 2.2.1 Acumulativas bajas; 2.3.1 Acumulativas planas parcialmente cenagosas.

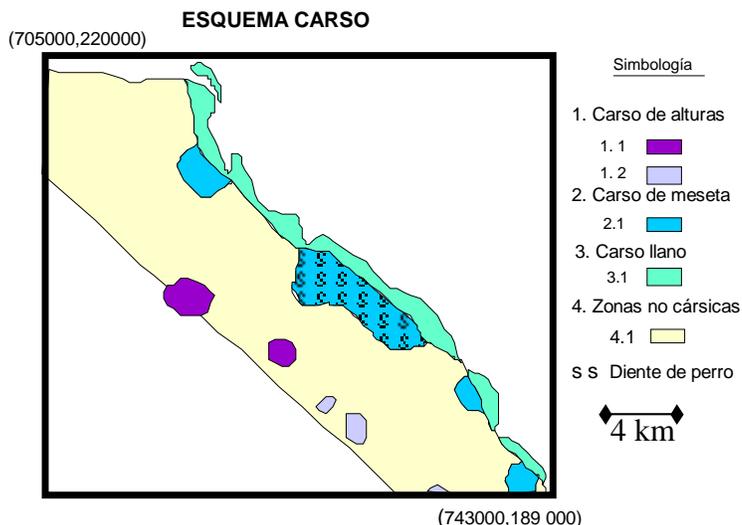


Fig. 4. Esquema del desarrollo del carso en la zona costera Yamanigüey-Baracoa. 1.1 Constituido por rocas del complejo ofiolítico; Constituido por estratos sedimentarios predominantemente carbonatados; 2.1 Desarrollado en terrazas marinas; 3.1 Litoral; 4.1 Zonas no cársicas.

Asociada genética y espacialmente con las llanuras fluviales y marinas y en la zona de intersección entre ambas, aparecen llanuras acumulativas palustres parálidas ocupando sectores con pendientes de cero a tres grados, donde predominan procesos acumulativos de sedimentos típicos de zonas pantanosas de color oscuro y olor fétido, anegadas en agua, siendo el mangle la vegetación predominante. Estas aparecen bien desarrollado un microrelieve de ciénagas en punta de Guarico en Yamanigüey.

En toda la zona costera aparecen escarpas abruptos separando las formas geomorfológicas de llanuras con las alturas monoclinales aterrazadas.

Zona de Montañas. Esta zona geomorfológica es la más extendida dentro del área de las investigaciones ocupando toda la parte sur.

De acuerdo a los valores morfométricos así como la configuración de las elevaciones son extremadamente variables en dependencia de las características litológicas, grado de agrietamiento de las rocas, la zona de relieve de montaña se asume la clasificación en subtipos. (Portela, 1990).

Zona de montañas bajas aplanadas diseccionadas: Para esta zona geomorfológica corresponden también los mayores valores del levantamiento que quedan evidenciados por rasgos morfológicos como barrancos, escarpes, formas cársicas y otras formas de relieve.

Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas. Ocupa el mayor porcentaje del área de estudio se localiza en la zona de Yamanigüey con elevaciones y cerros relativamente aislados de cimas redondeadas con pendientes variables que pueden alcanzar hasta los 15°. Las formas de relieve aquí desarrolladas son relictos de la erosión fluvial de las zonas montañosas periféricas. Los procesos erosivos son intensos y los suelos removidos constantemente, dando un carácter temporal a los depósitos que se forman en los valles y cañadas.

Aparecen desarrolladas en el área alturas de tipo tectónico-estructurales de horst y bloque monoclinales, aterrazadas y carsificadas. Ocupando un franja en toda la zona costera desde Yamanigüey hasta el río Toa, donde se aprecian algunos

testigos abrasivos cerca de la localidad de Santa María, en Yamanigüey, Vega de Taco y Cayo de Navas.

Alturas tectono-erosivas de horst y bloque diseccionadas entre los causes fluviales del río Toa y Duaba. En dichos ríos se aprecian desfiladeros en su causes, reflejando su origen.

Conjuntamente con estas zonas geomorfológicas determinadas aparecen formas menores del relieve o elementos del paisaje, formas cársicas, son criterios de evaluación tectónicas esta clasificación fue asumida por Núñez en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba (Fig. 4).

Aparece carso de alturas plegadas y falladas, de meseta y de litoral. El primero constituido por rocas del complejo ofiolítico. Núñez Jiménez (1984a), (1967), ha publicado varios trabajos sobre la regionalización del carso cubano ubicando esta zona en el grupo III, denominado Región Cársica del Oriente de Cuba, en el subgrupo montañas de Moa, carso de los antillanos serpentinizados. Otros autores no concuerdan con que las formas anteriormente descritas en peridotitas se les denomine con el término de cársicas, llamándolas como pseudocarso en peridotitas, al plantear que el proceso que las origina no es por disolución, si no por lavado de los ocre arcillosos debido a la acción de las aguas pluviales y de infiltración, es decir, que su origen está asociado a un proceso de lixiviación y sufusión a través de grietas y fisuras por donde se escurre el material acarreado. Estas formas aparecen en las cotas superiores a 600 m próximo al nacimiento del río Nibujón.

Aparece carso constituido por estratos sedimentarios predominantemente carbonatados con mogotes y poljas estas abiertas entre calizas y rocas volcánicas.

De meseta desarrollado en terrazas marinas desde Navas en las zona geomorfológica aterrazadas donde se aprecian importantes zonas de lapiez (diente de perro).

El carso litoral se desarrolla en las llanuras marinas en toda la zona costera de la zona de estudio.

En los estudios paisajísticos y en la proyección de la actividad constructiva este fenómeno debe tenerse en cuenta debido a la influencia del mismo en el comportamiento físico-mecánico de las rocas, en la dinámica de las aguas subterráneas y en los procesos erosivos.

Tectónica.

La tectónica del área puede catalogarse de compleja manifestándose la superposición de fenómenos tectónicos originados en condiciones geológicas contrastantes, muestra de ello lo es el intenso plegamiento y el sistema de mantos tectónicos que caracteriza la estructura geológica de las secuencias más antiguas surgidas en un ambiente de compresión máxima, diferenciándose de los eventos tectónicos más jóvenes surgidos en lo fundamental bajo un esfuerzo de tracción de la corteza terrestre, dividiéndose la zona en una serie de bloques por medio del sistema de fallas desarrollado, enmascarando así las estructuras más antiguas, (Campos,1983). Las dislocaciones de plegamiento que presenta la región son sumamente complejas.

El sistema de fallas más antiguo está asociado al emplazamiento de las ofiolitas, presentando una dirección W-NW fundamentalmente que coincide con la dirección de agrietamiento, aparecen además dos sistemas de fallas de dirección casi perpendicular entre sí y que se desplazan mutuamente. Todas estas fallas son desplazadas por una falla transcurrente de dirección NW-SE que atraviesa toda la región. Por medio de estas estructuras la región queda dividida en bloques.

Sismicidad.

Al estar ubicada dentro del contexto de Cuba oriental y partiendo de los estudios que se han realizado se ha considerado las zonas sismogeneradoras (Fig. 5)

Zona sismogeneradora Cauto – Nipe.

Asociada a la zona de fractura de igual nombre con dirección SW – NE desde las inmediaciones de Niquero hasta la bahía de Nipe. Constituye un límite interplacas que separa al bloque oriental cubano del resto del territorio. La potencialidad sísmica de esta zona alcanza los 7 grados en la escala MSK.

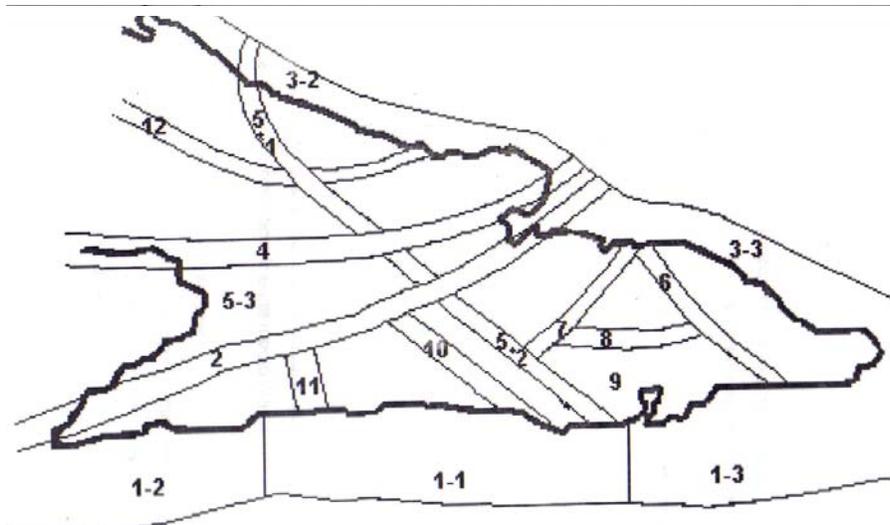


Fig. 5. Zonas sismogeneradoras de Cuba Oriental de Cuba. CENAIS, 1982

1-1 Oriente 1(8), 1-2: Oriente 2(7,6), 1-3 Oriente 3 (7,6), 2: Cauto-Nipe(7), 3 Sabana (6-7), 4: Cauto-norte (6,5), 5: Baconao (6-7), 6: Purial (6,5), 7: Santiago-Moa (5), 8: Palenque (5), 9: Guaso(5), 10. Santiago-Bayamo (5,5), 11: Bayamo (6) y 12: Cubitas (5,5).

Zona sismogeneradora Oriente (Bartlett–Caimán)

Esta zona se encuentra asociada a la falla transcurrente Bartlett–Caimán que se encuentra al sur de Cuba oriental, presentando una dirección predominante de E – W y constituye un limite entre las placas norteamericana y caribeña. En esta zona se genera la más alta sismicidad de todo el territorio cubano y con ella se encuentran asociados los terremotos de mayor intensidad en el archipiélago cubano. La intensidad máxima pronostico es de 8 grados en la escala MSK.

Zona sismogeneradora Sabana.

Se encuentra asociada a la falla Sabana o Norte Cubana, zona de sutura entre la microplaca cubana y la norteamericana, presentando un contraste significativo entre el bloque nororiental cubano y la depresión submarina del canal viejo de Bahamas. La sismicidad de esta zona es variable y su intensidad máxima está en los 7 grados en la escala MSK.

Conclusiones.

Geomorfológicamente el territorio fue caracterizado a través de las dos zonas geomorfológicas principales que en él se desarrollan: Zona de relieve de llanuras y zona de relieve de montañas, las cuales han sido descritas teniendo en cuenta los procesos morfogénicos y elementos morfológicos que la identifican, así como los elementos estructurales que la condicionan. De forma simultánea se han asumido los elementos del paisaje para la caracterización tectónica y en particular neotectónica del área.

El análisis geomorfológico fue de vital importancia en la caracterización de las estructuras tectónicas activas de la zona.

Al respecto se concluye que en el área de investigación de forma nítida y frecuente se pueden observar los elementos del relieve y las diferentes zonas geomorfológicas desplazadas o limitadas por estructuras tectónicas activas en períodos recientes.

CAPÍTULO 2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN LA DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS.

Introducción.

Métodos morfométricos y de fotointerpretación geológica.

Procesamiento del modelo digital del relieve.

Conclusiones.

Introducción.

Previo al trabajo de campo e incluso durante este se utilizan diversos medios de información que lo contemplan y facilitan su desarrollo, entre esos medios auxiliares están la fotos aéreas y mapas morfométricos. En la elección de los métodos de trabajo se partió del hecho de que las estructuras geológicas a través de las cuales ocurren los principales movimientos neotectónicos y en particular los movimientos sísmicos se ven reflejados en el relieve.

Métodos morfométricos y de fotointerpretación geológica.

Métodos morfométricos.

Los principales métodos morfométricos utilizados para la obtención de los mapas se describen a continuación, siendo imprescindible aclarar que algunos de estos se obtuvieron a partir del procesamiento digital del MDT con software que realizan estos mapas a partir de la digitalización de los mapas topográficos. Dentro de los mapas que se obtuvieron están el de red fluvial, isobasitas, pendientes para los trabajos se utilizó la escala 1: 25 000 y para la presentación de los resultados la escala 1:100 000. A continuación se explica el procedimiento para su confección.

Mapa de red de drenaje o fluvial: Este mapa se confeccionó para determinar el comportamiento de la red de drenaje tanto en tipo y densidad. El drenaje de cualquier región de la superficie terrestre está condicionado por varios factores, dentro de los cuales los más importantes son el clima, la litología, la topografía y las condiciones estructurales del terreno, los que permitirán utilizar la información

de estos mapas en la valoración geológico tectónica de la zona y en la proyección de las construcciones.

Para la confección del mapa de red fluvial se parte del sistema de ríos y tributarios representado en el mapa topográfico, tanto en sus cauces permanentes como temporales, después de lo cual se procede al trazado de todas las cárcavas y afluentes que quedan inferidas por las curvas de nivel hasta llegar a los extremos más elevados de la red fluvial tanto en su cabecera como en los márgenes de la cuenca. Después de trazada la red, el objetivo fundamental está en la determinación de las principales alineaciones que pueda presentar la red, las anomalías en el comportamiento del drenaje así como las variaciones en la densidad del mismo.

Es imprescindible reiterar que en el caso de la aplicación de los métodos morfométricos en los estudios regionales para regiones de clima tropical húmedo el mapa de red fluvial es considerado el de mayor aplicación teniendo en cuenta que los procesos fluviales para estas regiones son los principales en el modelado del terreno.

Mapas de isobasitas: Estos mapas marcarán los niveles de base de erosión de los ríos de un determinado orden, el cual va a estar dado por el tiempo de su formación, denominándose primer orden a los ríos más jóvenes o de última formación y sucesivamente serán más viejos a medida que el orden sea mayor, de esta forma los cauces de primer orden serán aquellos que no reciben agua de ningún otro tributario es decir, son los primeros canales en encausar las aguas, más conocidos por cárcavas y cañadas. La unión de dos cursos de primer orden dará lugar a la formación de un curso de segundo orden y así sucesivamente, ahora bien, cuando se unen dos cursos de órdenes diferentes se mantiene el orden del superior.

Después de confeccionado el mapa de órdenes, se superpone el mismo al mapa topográfico, buscándose los puntos de intersección de los ríos de un orden determinado con las curvas de nivel, poniéndose en esos puntos los valores de la cota topográfica. Después de marcados todos los puntos se unen con líneas rectas o curvas los puntos de igual valor. Estos mapas se construyen para los ríos

de segundo orden en adelante, pues los del primer orden darían como resultado final un mapa similar al topográfico actual.

Este mapa se obtuvo a través del procesamiento digital del MDT, que será explicado en la parte del procesamiento digital del MDT. La interpretación de estos mapas es de gran utilidad en los estudios tectónicos y neotectónicos en particular y en la evaluación de la intensidad de la erosión en el tiempo.

Mapa de pendientes: Consiste en la representación areal de la variación de los valores de pendiente de un sector de la superficie. Este mapa al igual que el mapa de isobasitas se obtuvo a partir del procesamiento digital del MDT, por lo que se describen los principios básicos de confección del mismo. Para la confección del mapa se partió del criterio de que áreas con separación similar de las curvas de nivel presentan iguales valores de inclinación, por lo cual la primer tarea consiste en separar los sectores del mapa con comportamiento similar de las mismas, determinando para cada sector los valores de pendiente que le corresponden en dependencia del espaciamiento entre curvas según la fórmula

$$\tan\alpha = \frac{\Delta h}{e}$$

Donde:

α : Angulo de pendiente.

Δh : Desnivel o separación vertical entre curvas.

e : Espaciamiento horizontal entre curvas.

Para facilitar el trabajo de confección del mapa se establece en la etapa inicial los intervalos o rangos de pendientes con los cuales se va a trabajar en dependencia de los objetivos que se persigan. Para el cálculo de estos valores hay que tener en cuenta la escala del mapa con que se está trabajando y el espaciamiento vertical entre las curvas para el mismo. Ya con las áreas seleccionadas y midiendo los valores medios de separación entre las curvas de nivel se procede a determinar el rango al cual pertenece cada sector.

En los estudios tectónicos siempre será de interés la alineación de los sectores de máximas pendientes y más en aquellos lugares donde se ponen en contacto con zonas llanas o de muy baja pendiente que pueden ser indicadoras de un escarpe

de falla o de línea de falla, así como los sectores que han sido sometidos a los mayores ascensos lo que puede quedar justificado por la mayor erosión ante la presencia de igual litología. En la interpretación del mapa se trabajó en determinar el sentido en que se desarrollan esas pendientes, es decir no sólo su valor sino también su dirección o cambios en dicha dirección con el objetivo de determinar el sentido de la erosión.

Existen otros métodos morfométricos como son los de disección vertical que son indicadores de la erosión de fondo. La aplicación de algunos de estos métodos y la metodología de su confección podrán ser consultadas en textos referidos en la bibliografía como son Principios de la Metodología de la Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico de Spiridinov.

Fotos aéreas.

Durante el desarrollo la fotointerpretación de la zona, la cual tuvo como objetivo fundamental la determinación de las estructuras de fracturas a partir de la aplicación de los principios básicos de los trabajos fotogelológicos y de los criterios directos e indirectos para la identificación de las mismas e incluso en algunos casos hasta poder determinar su grado de actividad, así como el estudio de las formas del relieve.

Los trabajos de fotointerpretación geólogo geomorfológica se realizaron con las fotografías áreas a escala aproximada 1: 36 000 del proyecto K-10 de 1972, usándose de forma simultánea las fotografías aéreas de escala aproximada 1: 60 000 de la Aero Service Corporation de 1956. En la interpretación fototectónica también se utilizó la información aportada por las fotografías cósmicas. Finalmente se confeccionó el esquema fotoalineamientos.

Procesamiento del modelo digital del relieve.

La confección de mapas morfométricos se realizó a partir del procesamiento del modelo digital del terreno y la aplicación simultánea de los métodos tradicionales con el objetivo de complementar la información disponible de ambos procedimientos.

Para la obtención de los mapas se sigue la secuencia que se muestra a continuación:

1. Digitalización de cartas topográficas y obtención del MDT.
2. Obtención automática de la red fluvial.
3. Clasificación de los ríos por órdenes.
4. Obtención de los mapas de isobasitas y mapa de residuales.
5. Obtención del mapa de pendientes.
6. Obtención del mapa de relieve sombreado.
7. Obtención del mapa de disección vertical.

Digitalización de cartas topográficas y obtención del MDT.

El MDT es la base para la obtener la mayoría de los mapas morfométricos en la detección de las estructuras presentes. Existen varios procedimientos para la obtención de los datos necesarios para crear un MDT, entre ellos se destaca:

- a) Empleo de GPS.
- b) Procesamiento de imágenes satelitales de tipo radar polarizadas (por ejemplo las SAR)
- c) Levantamientos de campos con estaciones totales o equipos más antiguos.
- d) Fotogrametría clásica.
- e) Digitalización directa de cartas topográficas.

Para el propósito que se persigue y la disponibilidad de recursos, lo más factible fue la digitalización de cartas topográficas, obtenidas generalmente por estereofotogrametría.

Se emplearon cartas topográficas a escala 1: 25 000, del año 1984 publicadas por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Para la digitalización se escanearon las planchetas, con una resolución de 300 ppm, se georeferenciaron en las coordenadas planas del sistema Cuba Sur y se realizó la corrección polinómica para rectificar las deformaciones existentes entre mapa y la declinación magnética.

Para la digitalización de tipo vectorial manual, con la posterior corrección de errores, se emplearon los software el Telemap[®] versión 2.2 de ECNOTEX. Los vectores obtenidos con el Telemap Vect fueron exportados a formato *.dxf (drawing interchange format) y ensamblados los tramos digitalizados, incluyendo la línea de costa y polígono que limita área digitalizada.

La vectorización y rectificación de las imágenes y las isolíneas vectorizadas con el AutoCad Map[®] 2000 de Autodesk, Inc.

Con el sistema de isolíneas y sus alturas correspondientes se pueden obtener los dos tipos básicos de MDT empleados usualmente en las ciencias de la tierra, los GRID (rejilla regular de puntos o nodos) (Ver Surfer[®]8 Help) y los TRIM o TIM (triángulos tridimensionales) según el manual de ArcView3.2 Help, “What is a TIN theme?”). Por su funcionalidad se seleccionaron los GRID.

Obtención del GRID

Para la obtención del GRID se transformaron las polilíneas de los DXF en puntos formados por los nodos de estas, estos puntos contienen información de sus coordenadas y la altura hipsométrica, los ficheros que contienen esta información se guardaron en fichero de datos con formato ASCII.

Con el software Surfer[®] 8.0 de la Golden Software se generó el GRID correspondiente al MDT, los nodos fueron fijados con una separación de 25 m en la dirección este y la norte. El método de interpolación fue el inverso al cuadrado de la distancia, empleado como interpolador exacto. La cantidad de puntos máxima tomadas fue de 12 y la mínima de tres, se definieron octantes para no abusar de extrapolaciones. Los nodos situados fuera del polígono que contenía el área digitalizada fueron blanqueados*. Las unidades de medida empleadas fueron los metros.

El inverso a la potencia de la distancia es un método rápido para la estimación. En nuestro caso la potencia se fijó a 2, las ecuaciones se muestra a continuación.

* Término de la Golden Software[®], significa asignar valor nulo, para más información refiérase al manual de usuario del Surfer 8.

$$\hat{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (1)$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta^2} \quad (2)$$

donde:

h_{ij} : es la separación efectiva entre el nodo del GRID “j” a estimar y el punto vecino “i”

\hat{Z}_j : es el valor interpolado para el nodo “j” en el GRID

Z_i : son los puntos vecinos al nodo que se estima

d_{ij} : es la distancia entre el nodo “j” y el punto “i”.

β : es la potencia de ponderación, 2 en nuestro caso.

δ : Es el parámetro de suavizado, en nuestro caso 0, en caso contrario este método de interpolación deja de ser exacto.

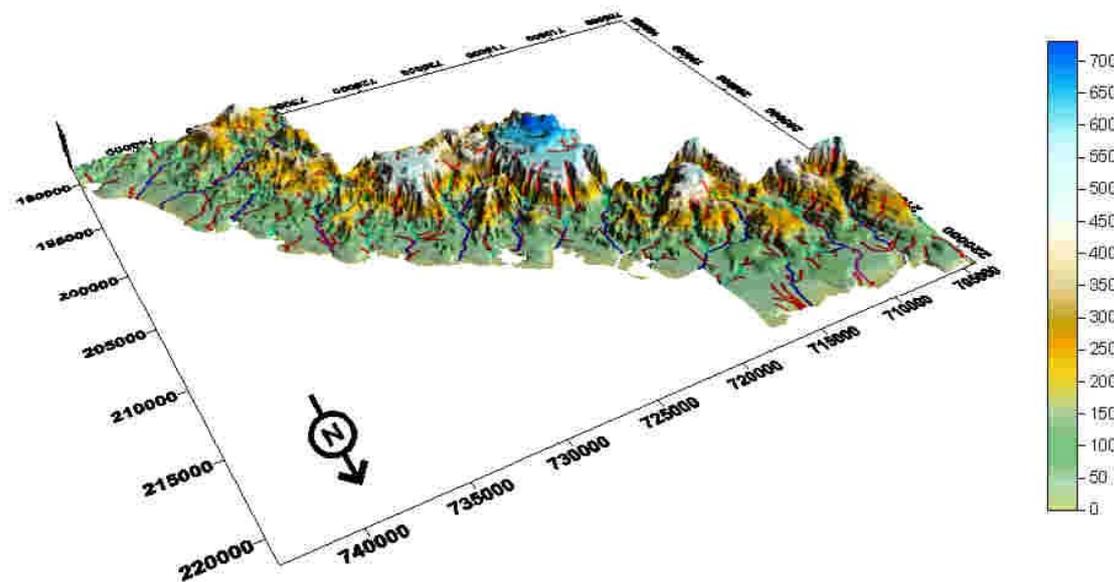


Figura 6. Esquema tridimensional del MDT resultante y ríos superpuestos.

Obtención automática de la red fluvial.

La red fluvial en el área estudiada es relativamente densa, por lo que se basó en un procedimiento automático de obtención de dichas líneas implementados en la extensión de ArcView 3.x “Geospatial Hydrologic Modeling Extensión” (HEC-GeoHMS) de US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. HEC-GeoHMS no es más que un set de script de ArcView desarrollados con el lenguaje de programación Avenue, entre los ejemplos de este lenguaje de programación aparece los códigos libres de un programa similar, pero más primitivo.

HEC-GeoHMS trabaja con MDT en formato de GRID para delimitar las subcuencas y otro número importante de datos hidrogeológicos que son asimilados por el software HEC-HMS como punto de partida para el modelado hidrogeológico.

No fue necesario completar el proceso de modelado hidrogeológico, solo se llega hasta la obtención de la red fluvial partiendo del procesamiento del MDT, siguiendo la secuencia lógica que se muestra a continuación:

1. Eliminar piscinas del MDT.
2. Generar un GRID con la dirección del flujo en cada nodo.
3. Calcular la acumulación del flujo en cada punto.
4. Definición de las corrientes en el GRID (mantiene puntos con máxima acumulación de agua y elimina corrientes de agua ilógicas)
5. Segmentación de las corrientes en corrientes independientes, también como parte de un GRID.
6. Delineación de los Watershed (Zona dominada cada segmento de corriente), es similar a las subcuencas o microcuencas.
7. Convierte los Watershed en polígonos (tema tipo shape de ArcView 3.x)
8. Procesamiento de los segmentos de corrientes, genera un tema tipo Shape de ArcView 3.X.

Las líneas fluviales fueron finalmente exportadas a DXF para su corrección en el AutocadMap, estas tenían errores fundamentalmente en la línea de costa, donde

el proceso de eliminación de piscinas la expandió varios metros río arriba en las zonas de baja pendientes.

Clasificación de los ríos por órdenes

Al no estar incluida en la zona de estudio toda el área de la cuenca del río Toa en el MDT se introducen errores en la clasificación de los ordenes de la red, cuando se hace este tipo de procedimiento se debe incluir toda el área de la cuenca. Paralelamente a este procedimiento, se confecciona un mapa de red de drenaje con los ordenes de los ríos correspondientes, al que se le realiza el mismo procedimiento seguido para la obtención del MDT, de georeferenciación y corrección polinómica. La clasificación de los ríos se realizó de forma “manual”, se empleó para ello el AutocadMap, donde se le asignó un layer independiente a cada orden.

En la figura 7 se muestra el mapa de red fluvial, se aprecia que la red de drenaje es fundamentalmente de tipo dendrítica y densa, variando el comportamiento de acuerdo al tipo litológico y estructuras presentes. Aparecen tramos rectos de los ríos y en ocasiones se encuentran alineados lo que indica la existencia de zonas de debilidad. Por las características tropicales de la zona, este mapa es muy fundamental en la determinación de las estructuras a partir de diferentes criterios.

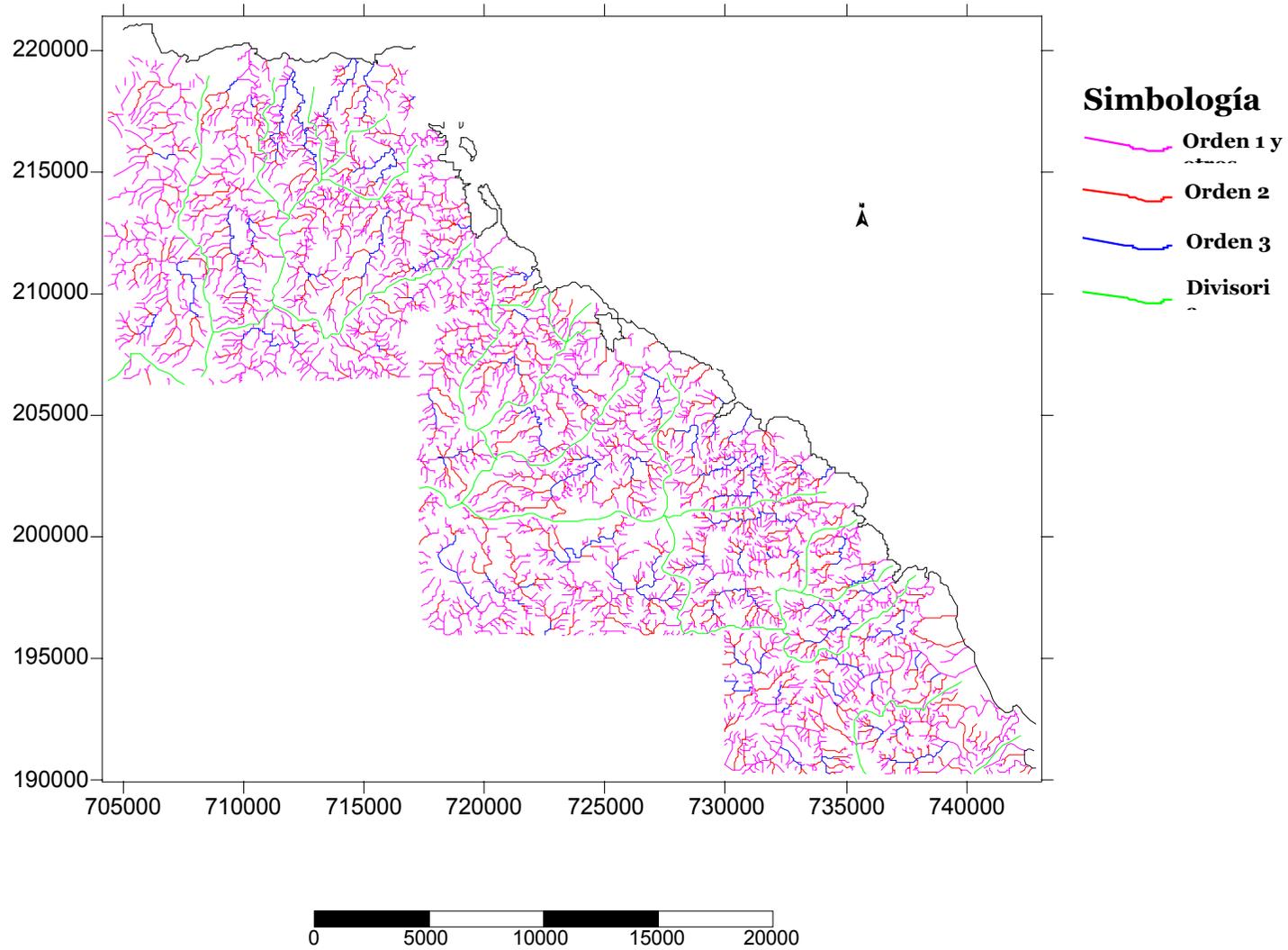


Figura 7. Mapa de red fluvial, clasificada por órdenes. Escala Original 1:25 000.

Obtención de los mapas de isobasitas y mapa de residuales

Para la obtención del mapa de isobasitas se convirtieron las líneas fluviales de cada orden a ficheros de tipo *.bln (golden software blanking format). A las que se les asignó la altura topográfica de forma automática con el comando slice del Surfer 8.0 con la data generada para cada orden se crearon GRID para el orden tres y dos, ambos con la misma configuración geométrica que el MDT.

En la figura 8 se muestran los mapas de isobasitas de tercer y segundo orden para la zona costera. En el mapa de Isobasitas de segundo orden, en la parte central se aprecian dos sectores de cierre con valores elevados, que indican estructuras positivas, contorneadas de isolíneas que con un gradiente elevado que indican movimientos tectónicos recientes donde se aprecia hacia la periferia líneas con gradiente bajo y en muchos de los casos las inflexiones negativas que describen las zonas de estructuras tectónicas.

Para indicar los sectores de máximos levantamientos se construye el mapa de diferencia de isobasitas. Se obtuvo restando nodo a nodo los valores del GRID de isobasitas de tercer orden menos el de segundo, procedimiento conocido en el campo de los sistemas de información geográficos como álgebra de mapas (Vallejo Raposo Olga, Martínez Vargas Adrian, 2000).

En la figura 9 se muestra el mapa de diferencia donde los menores valores corresponden a los sectores de máximo levantamiento. En la figura 10 se muestra el mapa de relieve sombreado de la diferencia de isobasitas de 2-3 donde se aprecia que los sectores de máximo levantamientos tienen los mayores valores.

Estos mapas permiten indicar las características cualitativas de las elevaciones más modernas de desarrollo tectónico.

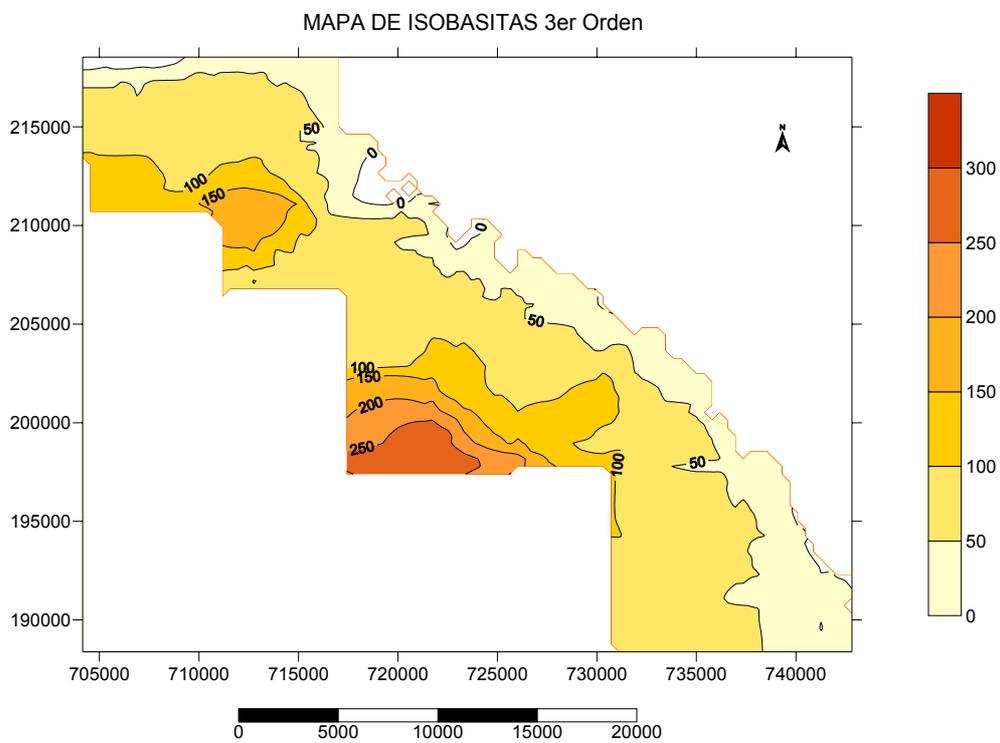
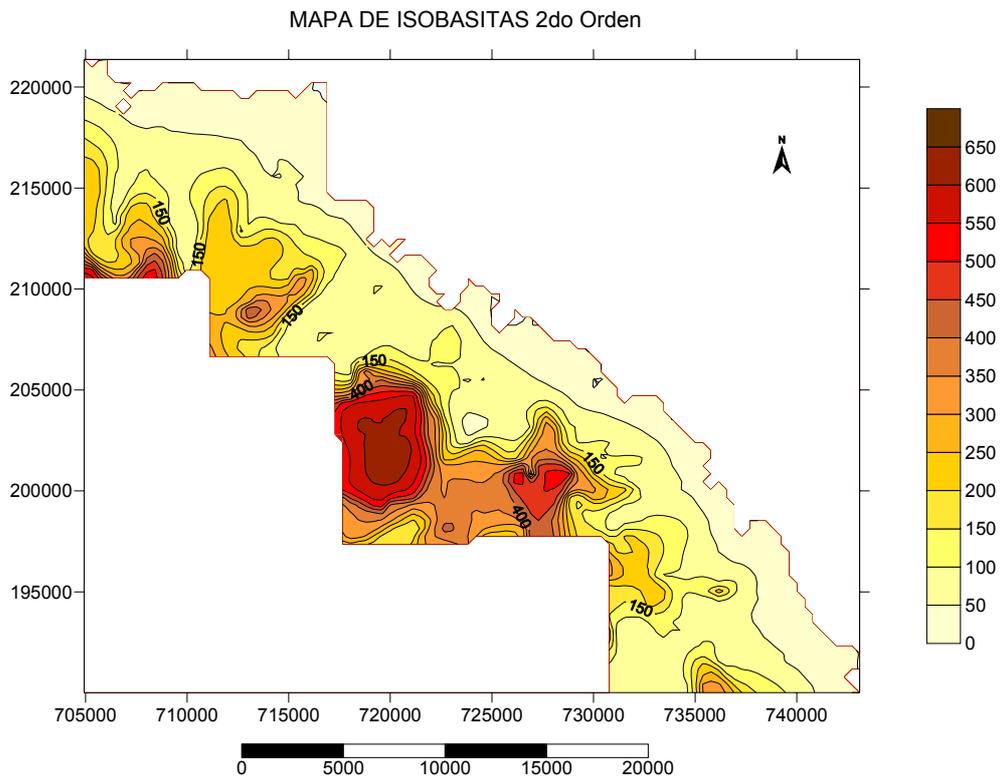


Figura 8. Mapas de isobasitas de orden 2 a) y de orden 3 b). Escala Original 1:25 000.

Mapa de diferencia de ordenes 3-2

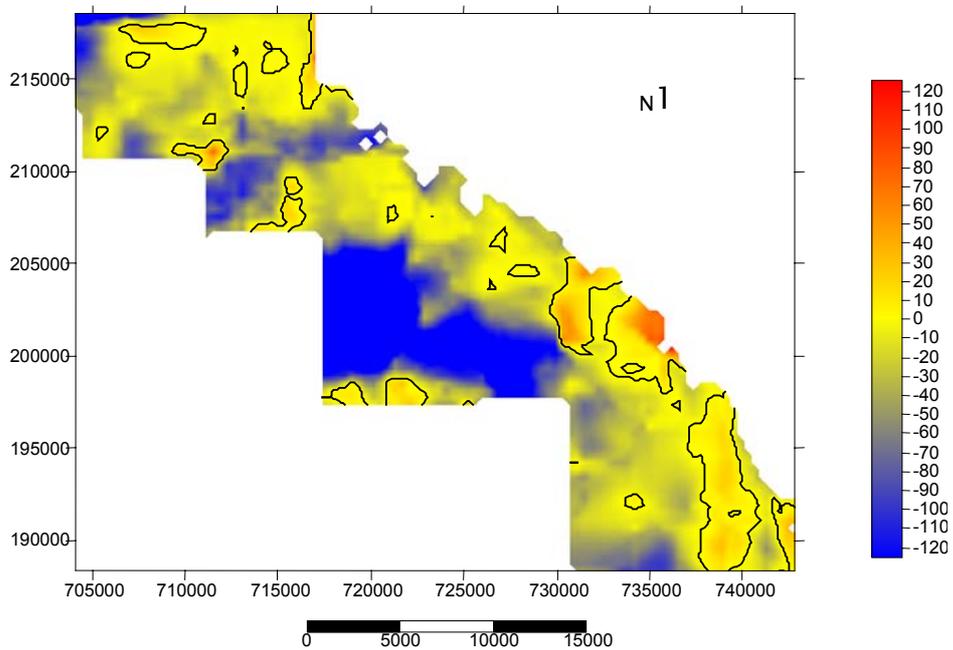


Figura 9. Mapa de diferencia de isobasas de ordenes 3-2. Escala Original 1:25 000.

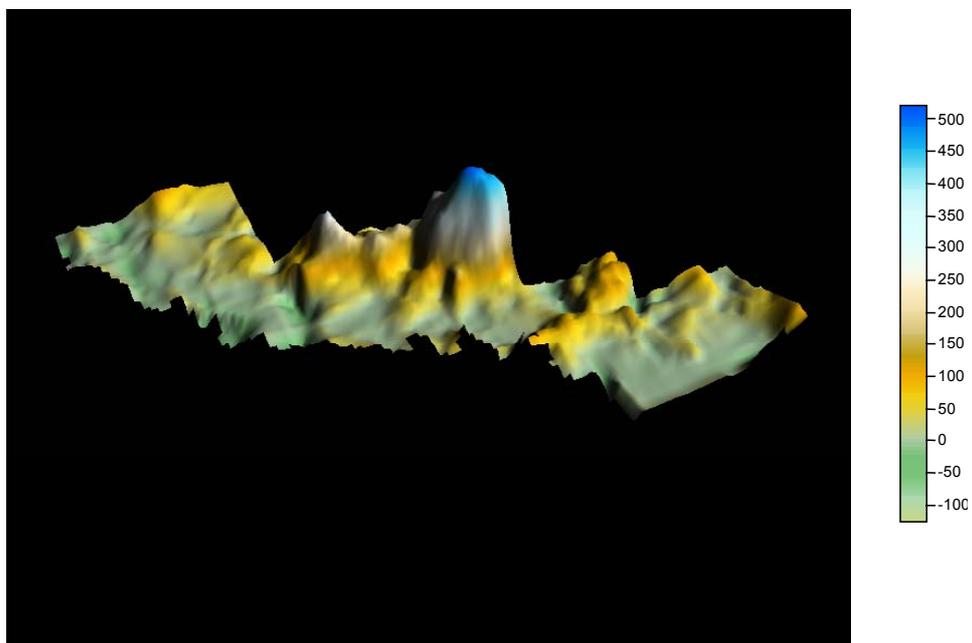


Figura 10. Mapa de relieve sombreado resultante de la diferencia de isobasas 2-3. Escala Original 1:25 000.

Obtención del mapa de pendientes.

El mapa de pendiente también se generó de forma automática, pero fue necesario realizar un procesamiento previo del MDT, este tiene fluctuaciones muy aleatorias y poco representativas de carácter local. Para obtener una imagen suavizada del mismo es necesario obtener la tendencia global, esta se conoce en la literatura especializada con los nombres de Drift o Trend (Geovariances, 2000) algunos de los mecanismos para obtenerlos son:

- a) Empleo de geoestadística: es posible krigear el drift a partir de la teoría de Kriging Universal e IRF-k Kriging (Deutsch V. Clayton, Journal G. André, 1998; Geovariances, 2000)
- b) Obtención interpolación polinómica local, ver ayuda del Surfer® 8 (Local Polynomial)
- c) Filtrado con ventanas móviles del GRID.

Se adoptó la última variante y se empleó ventanas de 1200 metros, el software empleado fue el Gris Filtering (no registrado, programado por Martínez Vargas Adrián ISMM, 2001), aunque el Surfer® 8 cuenta con un sistema de filtros similar. El operador empleado para el suavizado fue la media de los puntos contenidos en la ventana, este se asigna al punto central.

Las pendientes se calcularon de forma automática empleando como base el MDT filtrado, para el cálculo se empleó el comando Grid/Calculus/Terrain Slope. Este calcula la pendiente en cada nodo del grid, la pendiente calculada se mueve en el intervalo $[0;90]$ y se determina en la dirección de mayor pendiente. Este procedimiento es similar a la primera derivada direccional, solo que es más poderosa pues automáticamente define la dirección del gradiente en cada punto del mapa. Se asigna la letra S para la pendiente y P para el punto.

La pendiente, S, en el punto P es la magnitud del gradiente en ese punto. De la definición de gradiente:

$$S = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (3)$$

Empleando la notación de GRID, basada en las coordenadas la ecuación diferencial anterior se puede escribir como:

$$S \approx \sqrt{\left(\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right)^2} \quad (4)$$

La pendiente se puede representar como ángulos (en grados) ST transformándola como sigue:

$$S_T \approx \frac{360}{2\pi} \cdot \arctan \left[\sqrt{\left(\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right)^2} \right] \quad (5)$$

La notación en formato de GRID empleada se muestra en la figura:

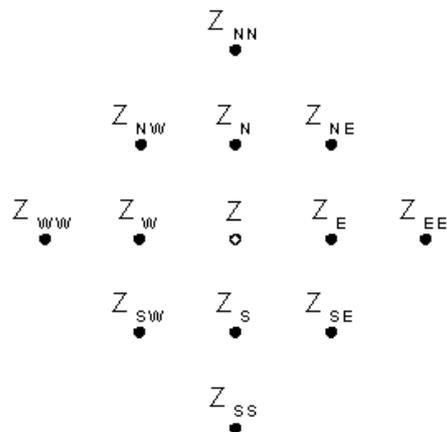


Figura 11. Notación en formato de GRID empleadas en las ecuaciones 4 y 5.

cálculo forma parte, dentro de la teoría de los GIS, de los operadores de contexto (ver a Vallejo Raposo Olga, Martínez Vargas Adrian, 2000)

El resultado se muestra en la figura 12.

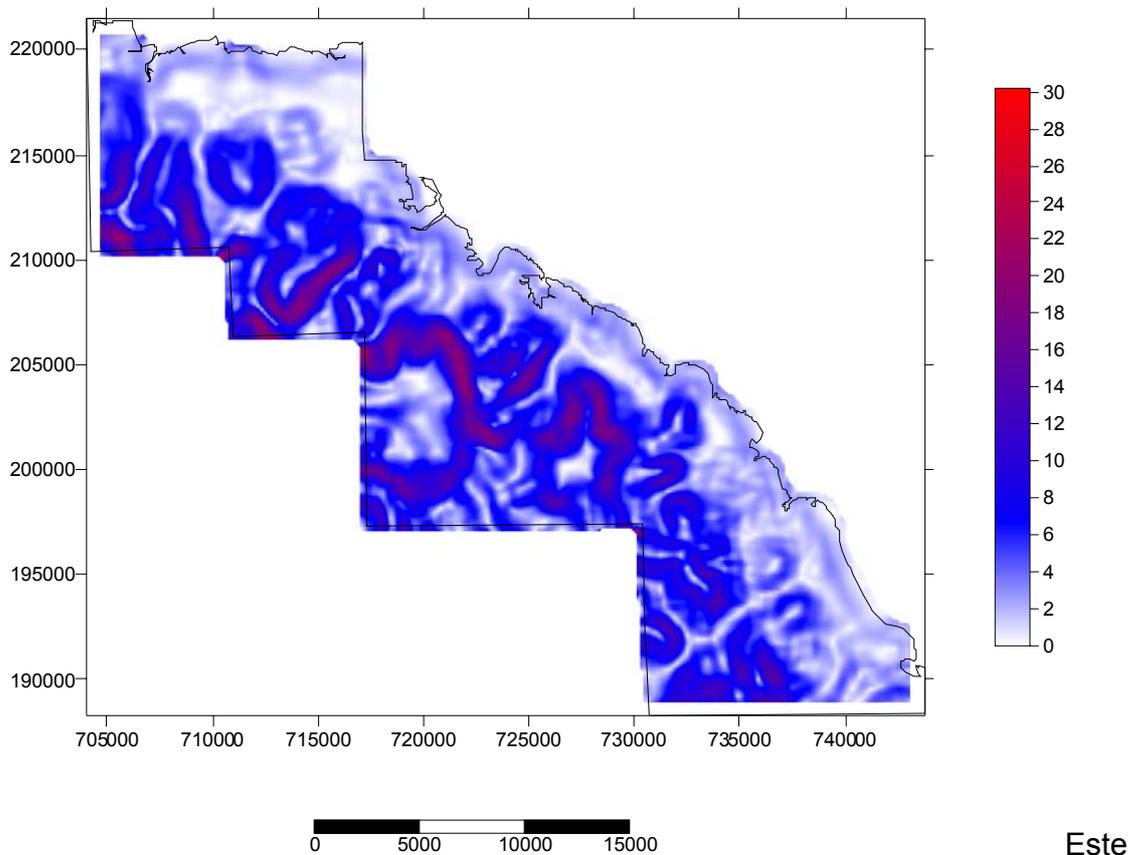


Figura 12. Mapa de pendientes calculado con MDT suavizado. Escala Original 1:25 000.

Mapa de relieve sombreado.

Este muestra una imagen similar a un relieve sombreado, esta es función azimut del sol y el ángulo de inclinación con respecto al punto iluminado (anexo 5). Existen varias formas de obtener el sombreado del relieve según el manual de ayuda del Surfer 8.

1. *Simple*
2. *Peucker's Approximation*
3. *Lambertian Reflection*
4. *Lommel-Seeliger Law*

Se seleccionó "Lambertian Reflection", la que asume una superficie ideal que refleja toda la luz que incide perpendicular a esta.

Este mapa es útil para detectar alineaciones del relieve u otros mapas intermedios, por ejemplo el de disección vertical.

Mapa de disección vertical.

El mapa de disección vertical se generó de forma similar al filtro empleado para suavizar el MDT, se emplearon ventanas móviles a las que se les asignó la función disección vertical:

$$DV_{j,k} = 1000 \frac{S_{j,k}}{A}$$
$$S_{j,k} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (Z_i - \bar{Z}_{j,k})^2}$$

Donde $S_{j,k}$ es la desviación estándar de las cotas topográficas de los nodos que se encuentran dentro de la ventana y A es el área de la ventana, que es constante para todo el proceso.

En este mapa se resalta las variaciones en la ventana, a medida que el área de esta última aumenta se resaltan las estructuras de mayor tamaño y las pequeñas se atenúan.

En el estudio se emplearon dos tamaños de ventana, en todos los casos cuadradas de 640 m y 1200 m de lado, para resaltar estructuras de pequeña, mediana y gran escala. El software empleado fue el Grid Filtering.

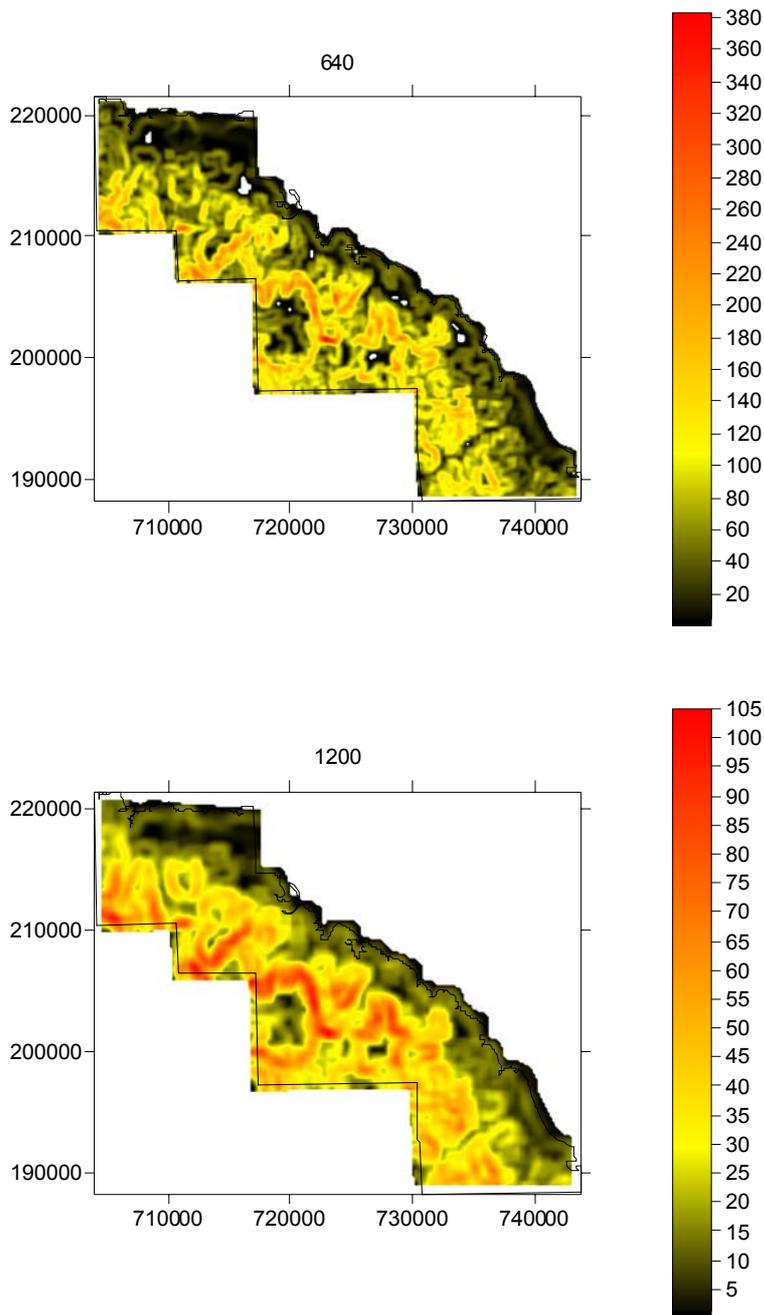


Figura 13. Mapas de disección vertical calculados con ventanas móviles de 640 m y 1200 m. Escala Original 1:25 000.

Seguidamente después de obtener el MDT y los mapas morfométricos de la zona costera, se procede al trazado automático de perfiles en varias direcciones del MDT con el objetivo de superponer la información de los mapas morfométricos en el perfil topográfico y determinar las estructuras presentes (Anexo 4).

Los perfiles se trazaron seis perfiles a través del software Surfer® 8 para ello, se determinaron los ficheros de tipo *.bln en la dirección deseada y se procede al corte del GRD de los mapas morfométricos. Esta base de datos se exporta en formato *.xls. La base de datos se ordena en Microsoft Excel y se grafica con el software de la Golden Software Grapher 2.1.

En la figura 14 se muestran los perfiles esquemáticos que expresan los valores de morfométricos y la topografía. Estos perfiles nos permiten establecer los límites geomorfológicos y la determinación de las principales estructuras.

Interpretación de mapas topográficos.

Para los geólogos es común el uso de la información topográfica como material imprescindible de orientación del trabajo de campo y para la representación de los fenómenos observados en este; sin embargo, no es común realizar la interpretación integral del mismo durante las investigaciones, al obviar que dichos mapas reflejan de forma fiel la topografía y esta estará en dependencia de las condiciones geológicas y tectónicas de la superficie. Todo cambio en la configuración, densidad y cotas de las curvas de nivel son indicadores de cambios en las rocas subyacentes, lo que ocurre de igual manera con los sistemas fluviales y otros elementos del paisaje que en el mismo están representados.

En el análisis del relieve costero se debe partir de que la morfología litoral va a estar en dependencia de las oscilaciones del nivel eustático y de los movimientos tectónicos tanto de las tierras emergidas como de las zonas marinas. Estos procesos tenderán en caso de que predomine el levantamiento de la zona continental o descenso del nivel del mar a la formación de costas rectas, poco sinuosas, con la posible formación de terrazas si estos movimientos tienen un carácter pulsante y de acantilados, los que se conservarán en el tiempo en dependencia de la competencia o resistencia de las rocas.

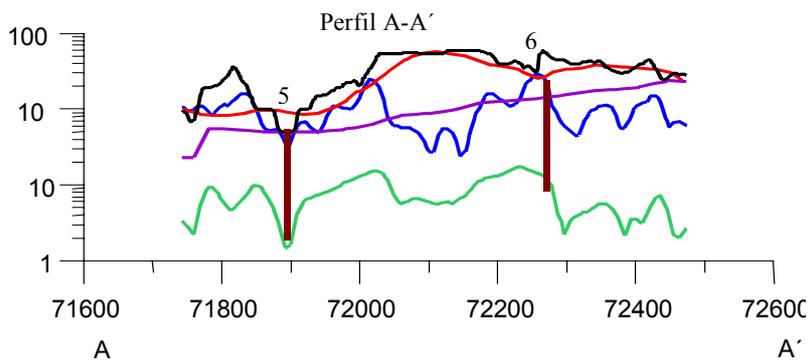
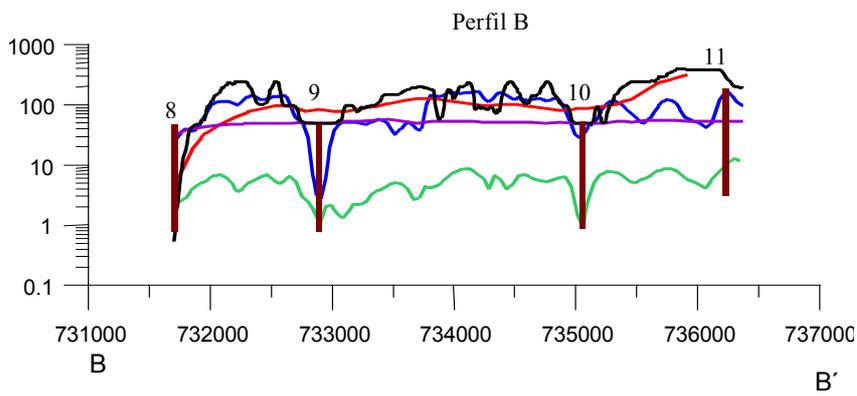
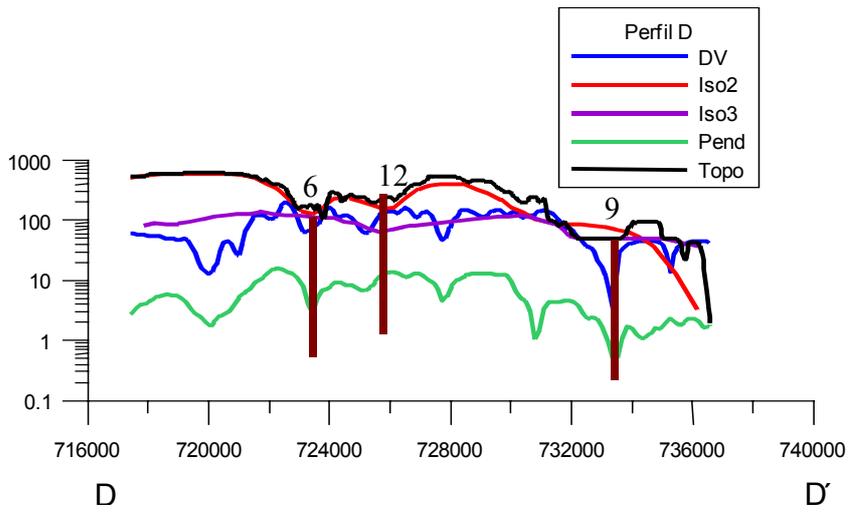


Figura 14a. Perfiles esquemáticos de los valores morfométricos y topográficos. Escala Original horizontal 1:25 000. Escala vertical bilogarátmica.

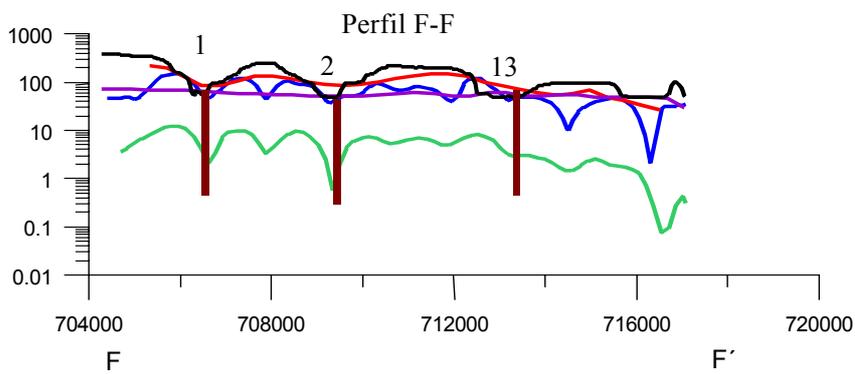
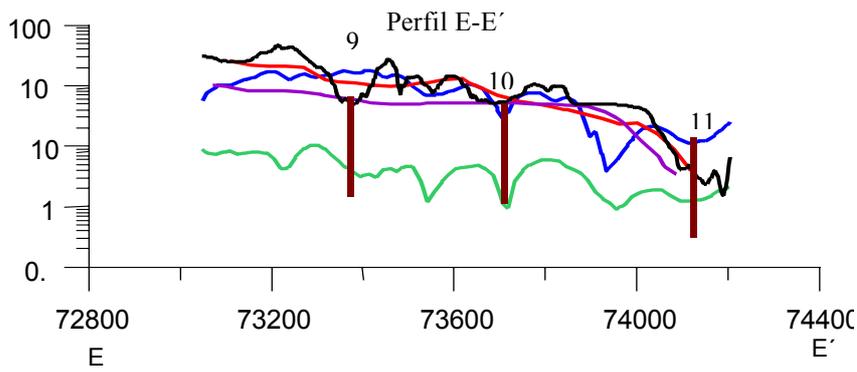
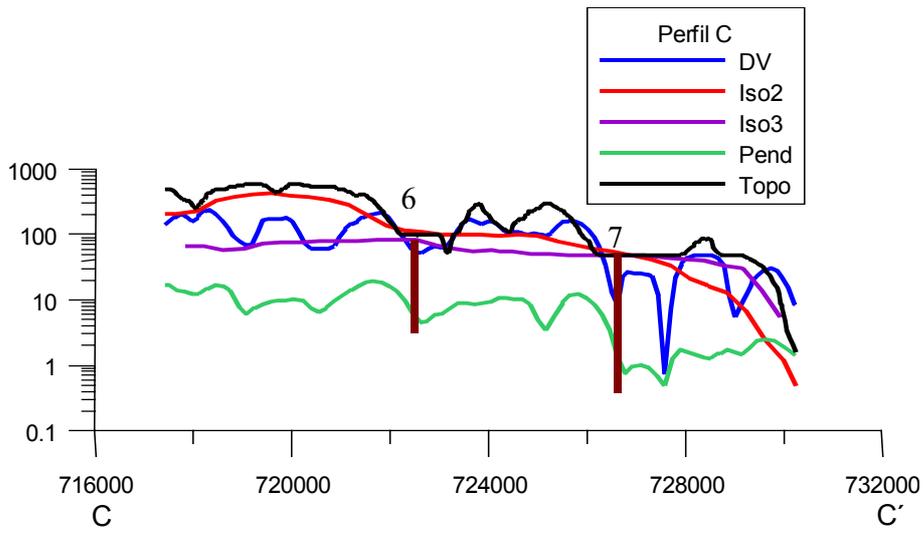


Figura 14b. Perfiles esquemáticos de los valores morfométricos y topográficos. Escala Original horizontal 1:25 000. Escala vertical bilogarítmica.

En el análisis de la función de los mapas topográficos se pretendió considerarse que este sustituiría la observación directa de campo, pero si que favoreció la interpretación integral del área investigada, permitiendo establecer las primeras interrogantes, orientar el trabajo de campo.

Se determinaron los alineamientos en cada mapa morfométrico y fue sintetizada en el mapa de alineamientos que refleja rasgos alineados del relieve (Anexo 6). Se aprecia que las direcciones fundamentales de los alineamientos son NE-SW y NW-SE.

Limitaciones de las investigaciones.

En el desarrollo de la tarea investigativa se enfrentaron limitaciones tales como:

- Encubrimiento de la información geológico tectónica originado por la actividad antropogénica.
- Ausencia de fotografías aéreas detalladas tomadas en fecha reciente que permitieran hacer comparaciones cualitativas y cuantitativas de las variaciones morfológicas y tectónicas antes y después de los movimientos sísmicos ocurridos.
- Desde el punto de vista geológico, la gran complejidad tectónica que caracteriza el cinturón ofiolítico cubano y en especial en el bloque oriental.

A pesar de las limitaciones señaladas se desarrollaron las etapas de trabajo previstas y el objetivo propuesto fue cumplido.

Conclusiones.

En general se puede concluir que los métodos y procedimientos empleados en la confección de los mapas facilita la orientación del trabajo de campo y posibilita buscar las zonas donde las estructuras de mayor rango afectan las rocas e incluso en este caso, entrar en consideraciones acerca de las direcciones principales de los desplazamientos tectónicos que en la etapa más reciente han ocurrido en la zona.

CAPÍTULO 3. MORFOTECTONICA Y GEODINAMICA DE LA ZONA COSTERA COMPRENDIDA DESDE YAMANIGUEY-BARACOA.

Introducción.

Rasgos Geotectónicos Evolutivos de la Región.

Principales sistemas de fallas.

Bloques y Sub bloques morfotectónicos.

Movimientos contemporáneos.

Procesos y fenómenos geológicos condicionados por la actividad tectónica.

Conclusiones.

Introducción.

La línea metodológica asumida para la consecución del objetivo señalado se sustenta en el principio geólogo - geomorfológico que plantea "*La estructura geológica es un factor dominante de control en la evolución de las formas de relieve y se refleja en ellas.*" (Thornbury, 1983), a partir de lo cual se procedió a la determinación de las estructuras tectónicas disyuntivas estudiando los alineamientos de las formas y medidas del relieve en los mapas topográficos y morfométricos y en las fotografías aéreas, después de lo cual se procedió a las comprobaciones a través del trabajo de campo que además de dar criterios directos que corroboraban o no la estructura.

Rasgos Geotectónicos Evolutivos de la Región.

Antes de proceder al análisis tectónico detallado del territorio se hace imprescindible tener una idea de los principales rasgos geotectónicos regionales que condicionaron el surgimiento de las estructuras y su evolución en el tiempo. Para esta caracterización se tuvieron en cuenta los trabajos realizados por diferentes especialistas como M. Campos (1991), Iturralde-Vinent (1990), Lewis y Drapper (1990), Morris (1990) y otros, que a partir del enfoque movilista del desarrollo geológico, explican la secuencia de procesos geotectónicos del Cretácico hasta el reciente en el contexto regional y muy en particular en los principales eventos que afectaron al bloque oriental cubano.

El desarrollo mesozoico de Cuba se produjo según el modelo geotectónico que caracteriza a los sistemas de arcos insulares y cuencas marginales que se desarrollan en las periferias de los márgenes continentales como consecuencia de la convergencia.

A este periodo se asocian las rocas más antiguas de Cuba Oriental representadas por las formaciones metamórficas, volcánicas y sedimentarias, que se muestran en ocasiones altamente deformadas, llegando en algunos casos a formar parte de melanges y que presentan en general una yacencia isoclinal (Campos, 1991).

A fines del Campaniano Superior-Maestrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico cretácico cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento con mantos tectónicos altamente dislocados de espesor y composición variable.

Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas. Algunos autores plantean que este proceso ocurrió en el Eoceno Medio (Morris, 1990), (Pindell, 1990), (Lewis, 1990), mientras que investigaciones más recientes, Iturralde, 1996 y Proenza, 1998 consideran que el mismo sólo alcanzó hasta el Paleoceno Inferior. Esquemáticamente esto queda reflejado en la figura 15

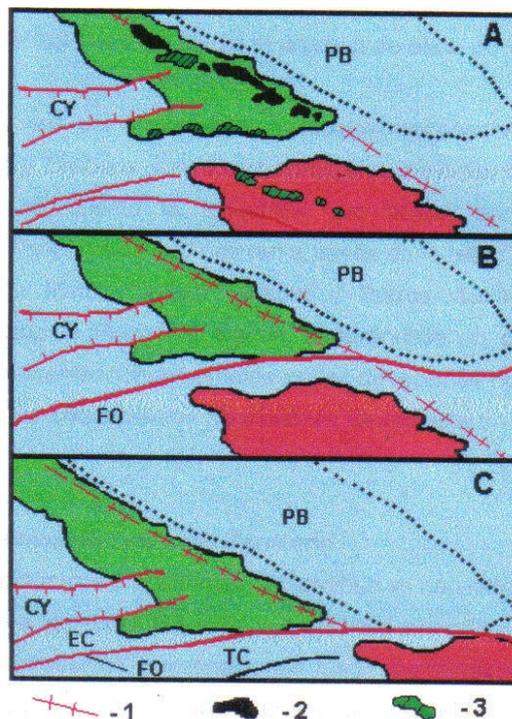


Figura 15. Evolución geológica en la zona límite de placas. A: Eoceno Medio (?) B: Mioceno Medio, C: Reciente, 1: Zona de sutura, 2: Corteza oceánica, 3: Arco paleogénico, PB: Plataforma de Bahamas, CY: Cuenca de Yucatán, FO: Falla Oriente, EC: Elevaciones de Caimán, TC: Trinchera de Caimán.

A partir del Eoceno Medio y hasta el Mioceno Medio las fuerzas de compresión tangencial se reducen quedando sólo expresadas a través de fallas de deslizamiento por el rumbo, plegamientos y empujes locales, tomando importancia para la región los movimientos verticales que caracterizan y condicionan la morfotectónica regional, iniciándose a partir del Mioceno Medio el proceso de ascenso del actual territorio de la isla de Cuba.

Si bien es cierto que los movimientos verticales responsables de la formación del sistema de Horts y Grabens van a caracterizar los movimientos tectónicos recientes, hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-

Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior (Draper y Barros, 1994), que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste (Arango, 1996) que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

Principales Sistemas de Fallas.

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido tres sistemas de fallas que cortan a las rocas del complejo ofiolítico, sin embargo, en las presentes investigaciones se asume la clasificación de cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica. La descripción de cada uno de estos sistemas y las principales estructuras que los conforman se realiza a continuación según un orden cronológico desde el sistema más antiguo, asociado genéticamente al proceso de emplazamiento del complejo ofiolítico hasta el más joven, originado bajo las condiciones geodinámicas contemporáneas.

El sistema mas antiguo para la región tiene su origen asociado al cese de la subducción e inicio del proceso compresivo de sur a norte del arco volcánico cretácico y que culminó con la presumible colisión entre el arco insular y la margen pasiva de la Plataforma de Bahamas. Bajo estas condiciones compresivas ocurre el emplazamiento del complejo ofiolítico a través de un proceso de acreción, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites internos de los complejos máficos y ultramáficos y de estos con las secuencias más antiguas. Respecto al momento en que ocurre este proceso existen divergencias (Proenza, 1997) considera que éste se desarrolla en el periodo Campaniense Superior-Paleoceno Inferior. Muchas de las estructuras de este sistema se encuentran enmascaradas por las dislocaciones más jóvenes.

El segundo sistema cronológico está constituido por las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques

morfotectónicos, haciéndose sumamente importante la caracterización del mismo desde el punto de vista geodinámico contemporáneo. Este sistema está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre los sesenta y ochenta grados.

Las estructuras de este sistema se considera han sido originadas como resultado de los procesos de colisión y obducción del arco volcánico cretácico sobre el margen pasivo de Bahamas, existiendo una transición de las condiciones compresivas iniciales, típicas de la colisión, en expansivas durante el reajuste o relajamiento dinámico de las paleounidades tectónicas que obducen sobre Bahamas, por lo que el comportamiento final de estas estructuras es de carácter normal.

Teniendo en cuenta el proceso que les dio origen, su edad es considerada en su fase final como Eoceno Medio con dudas (?), según lo ya analizado al inicio del capítulo referente a las divergencias existentes sobre la edad probable de culminación del proceso.

Las principales estructuras representativas de este sistema serán caracterizadas a continuación, gráficamente representadas en el anexo gráfico 2 y los criterios para su identificación resumidos en la tabla 1.

Después de haber descrito los criterios que permitieron la identificación e interpretación de las estructuras de este sistema, se hace evidente que muchos de ellos son utilizados para la interpretación de fallas tanto activas como pasivas, mientras que otros por su parte, son sólo formas de manifestación de estructuras que se han mantenido activas o se han reactivado en periodos recientes, siendo por lo tanto evidente que los movimientos geodinámicos actuales se manifiestan a través de ellas. Este fenómeno estudiado en detalle para estas fallas que son consideradas fundamentales por su extensión y el papel que juegan en la morfotectónica del territorio, se manifiesta en mayor o en menor grado en todas las estructuras del sistema, sin dejar de tener en cuenta que algunas, pueden haber quedado encubiertas por estructuras más jóvenes o por las potentes cortezas de intemperismo desarrolladas sobre el complejo ofiolítico.

En los mapas de anomalías la interpretación cualitativa de las anomalías del campo magnético de las zonas de estructuras disyuntivas se revelan a partir de anomalías alargadas y cambios bruscos en la dirección de las isolíneas en los mapas de contorno y relieve de ΔT_{rp} (Batista, 2002). Este comportamiento magnetométrico es claramente reflejado por los métodos morfométricos en estas estructuras.

Falla Cayo Guam: Con una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales. Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14b que muestra el perfil F-F'.

Los criterios que permitieron su identificación fueron:

- Alineación fluvial con ríos de cauces profundos y formación de barrancos, los que en ocasiones aparecen cortados y desplazados por otras estructuras.
- Desplazamientos de líneas de costas y zonas geomorfológicas en el rango de 1.5 a 2.5 km. Límite brusco y alineado de zonas pantanosas.
- Valores morfométricos bruscos y diferentes a ambos lados de la fractura, estando en el bloque occidental los máximos valores de isobasitas desplazados hacia el norte respecto al oriental.
- Variaciones bruscas del agrietamiento entre ambos bloques de falla, como puede observarse entre los puntos situados en la coordenada Y : 217 000.
- Variaciones hipsométricas entre ambos lados de fractura.
- Límites alineados de depósitos del Cuaternario.
- Anomalías del campo magnético (ΔT_{rp}).

Tabla 1. Criterios de identificación de fallas.

ESTRUCTURAS			CRITERIOS DE IDENTIFICACIÓN E ÍNDICES																				
SISTEMA	NOMBRE	ORIENTACIÓN	Desplazamiento del relieve	Desplazamiento de depósitos cuaternarios	Alineación de cursos fluviales	Rectificación de sistemas fluviales	Rectificación de costas.	Desplazamiento de líneas costeras	Contactos litológicos alineados	Alineación brusca del relieve	Variaciones hipsométricas bruscas	Formación de barrancos	Formación de escarpes de fallas	Desplazamiento elementos geológicos	Alineaciones de isobasitas	Alineaciones de valores de pendientes	Cambio de divisorias de las aguas	Valores alineados de disección vertical	Alineamientos fotogeológicos	Anomalías del campo magnético (ΔT)	Desplazamientos		
			Paleogénico	Cayo Guam	N15°W	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
Quesigua	N10°E N40°W	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	si	
Cupey	N30°E N60°E	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	si
Yamanigüey	N30°E N15°E	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	si	
Jiguaní	N35°E	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Taco	N20°E N30°E	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
Nibujón	N45°E N20°E			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
La Vaca-Navas	N50°E N10°E.				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	si
Báez	N50°E N25°E				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Maraví	N45°E			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			si
Toa	N50°E	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Naranjo	N40°W				<input checked="" type="checkbox"/>								<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Miocénico	El Medio	N40°E	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			si	

Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.

Los criterios para su identificación se relacionan a continuación y se observan con detalle en la figura 14b que muestra las inflexiones de los valores morfométricos del perfil F-F'.

- Alineación del río, con cauce profundo y laderas escarpadas en la margen occidental.
- Alineación y desplazamiento de la línea de costa y zonas geomorfológicas de hasta dos kilómetros.
- Valores hipsométricos y morfométricos diferentes a ambos lados del plano de falla.
- Desplazamientos de zonas pantanosas parálidas.
- Intenso cizallamiento en la zona de falla.
- Variación de dirección del agrietamiento entre los bloques resultantes de la falla, como se puede observar en dos puntos situados al sudeste de Quemado del Negro, uno ubicado en el bloque occidental con coordenadas Lambert X: 709 250 y Y: 218 200, que muestra un rumbo de agrietamiento N74°E y el punto de coordenadas X:710 750 y Y:217 400, con rumbo N29°W, separados entre sí 1,7 km y equidistantes al plano de falla.
- Desplazamiento del contacto entre los gabros y las serpentinitas.
- Los desplazamientos horizontales evidenciados por los parámetros geomorfológicos están en el rango de 0,75 - 1,0 km.
- Anomalías del campo magnético (ΔT_{rp}).

Falla Cupey: Se extiende con dirección noreste- suroeste en su tramo más recto posee un rumbo de N30°E y N60°E, desde las cotas 460 coincidiendo en un tramo con el cauce del río del mismo nombre hasta la Bahía de Cañete.

Las inflexiones de los valores morfométricos se muestran en la figura 14 b del perfil F-F´

Los criterios para su identificación se describen a continuación:

- Alineación fluvial con ríos de cauces profundos.
- Alineación y desplazamiento de la línea de costa y zonas geomorfológicas.
- Desplazamientos de zonas pantanosas parálidas.
- Valores morfométricos bruscos y diferentes a ambos lados de la fractura.
- Existe alineamiento marcado por una inflexión negativa de los valores de isobasitas de segundo orden.
- Alineamiento de los valores de pendientes.
- Desplazamiento de la dirección de la divisoria de las aguas.
- Alineación de los valores de disección vertical.
- Tramos rectos y paralelos de las curvas de nivel de 100 m y 200 m.
- Tramos rectos del río Potosí, se aprecian valles en forma de V.
- Anomalías del campo magnético (ΔT_{rp}).

Falla Yamanigüey: Se expresa desde el nacimiento del río Yamanigüey hasta desembocadura del mismo. La dirección del rumbo predominante es de N30°E y N15°E.

Los principales criterios que permitieron para su identificación se relacionan a continuación. Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14a que muestra el perfil A-A´.

- Alineamientos marcados por una inflexión negativa de los valores de isobasitas de segundo orden. Alineación de los valores de isobasitas de tercer orden.
- Alineación de los valores de disección vertical.
- Valores de pendiente de 9° alineados en tramos rectos.
- Desplazamientos de formas de relieve.
- Cambios bruscos de la dirección de curso del río Yamanigüey.
- Tramos rectos y angulosos en un tramo del río Yamanigüey, se aprecia en las coordenadas X: 713 000-716 000 y Y: 209 000- 213 000.

- Cambio de dirección de la divisorias de aguas.
- Contactos litológicos bruscos entre las rocas de la asociación ofiolítica y las rocas volcánicas.
- Coincide espacialmente con la dirección fotoalineamientos.

Falla Jiguaní: Se releja en el terreno con dirección de rumbo N35°E desde la parte alta del río del mismo nombre hasta Boca del Río Jiguaní en la desembocadura del mismo. Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14a que muestra el perfil A-A´

- Alineación de los valores de disección vertical mayores de 300 m/km².
- Aparecen alineados los valores de isobasitas (100-300 m) de segundo orden.
- Alineaciones de los rangos de pendientes mayores de 15°.
- Desplazamientos de formas de relieve.
- Intenso cizallamiento en la zona de fractura.
- Encajamiento de tramos del río Jiguaní.
- Cambios bruscos y tramos rectos de la red fluvial.
- Cambios de la dirección de la línea divisoria de aguas.
- Alineamientos fotogeológicos.
- Contactos litológicos bruscos entre las rocas de la asociación ofiolítica y las rocas volcánicas.
- Cambios bruscos de los valores morfométricos mostrados en el perfil A-A´
- Anomalías del campo magnético (ΔTrp).

Falla Taco: Se extiende desde el nacimiento del río del Taco en la Lechuga con dirección N20°E en algunos tramos tiene dirección N30°E hasta la Bahía de Taco. Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14b que muestra el perfil C-C´

- Alineación de los valores de disección vertical mayores de 300 m/km².
- Aparecen alineados los valores de isobasitas (100-300) de segundo orden y tercer orden.

- Alineaciones de los rangos de pendientes mayores de 15°.
- Rasgos topográficos zonas de escarpadas.
- Alineación fluvial con ríos de cauces profundos y formación de barrancos, los que en ocasiones aparecen cortados y desplazados por otras estructuras.
- Cambio brusco de formas geomorfológicas en la desembocadura del río Taco.
- Formación de barrancos y encajamiento de la red fluvial.
- Cambio de la dirección de las líneas divisorias de aguas.
- Anomalías del campo magnético (ΔT_{rp}).

Falla Nibujón: Aparece desde el nacimiento del río Nibujón en la cota 600 m hasta la desembocadura del río del mismo nombre. En sus tramos más rectos posee un rumbo de N45°E y N20°E

Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14b que muestra el perfil C-C'

- Alineación de los valores de disección vertical mayores de 300 m/km².
- Aparecen alineados los valores de isobasitas (100-300 m) de segundo orden.
- Rangos de pendientes mayores de 15° alineados.
- Formación de barrancos, los que en ocasiones aparecen cortados y desplazados por otras estructuras.
- Alineación fluvial con ríos de cauces profundos.
- Cambio brusco de formas geomorfológicas (llanuras acumulativas y llanuras erosivas con series escalonadas).
- Se observan alineamientos en las fotografías aéreas
- Formación de barrancos y encajamiento de la red fluvial.
- Contactos litológicos bruscos entre las rocas de la asociación ofiolítica y las rocas volcánicas, en algunos casos desplazadas.
- Dirección predominante de la línea divisoria de aguas paralelas a la línea de fracturas.

- Anomalías del campo magnético (ΔT_{rp}).

Falla La Vaca-Navas: Se extiende desde el nacimiento del arroyo La Vaca hasta la Bahía de Navas con una dirección en sus tramos más rectos de N50°E y N10°E. Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14a que muestra el perfil D-D´

- Alineación de los valores de disección vertical en los rangos mayores de 140 m/km².
- Rangos de pendientes mayores de 12° alineados.
- Aparecen alineados los valores de isobasitas de segundo orden mostrando una inflexión negativa.
- Cambios en la dirección del cauce del río del mismo nombre.
- Contactos litológicos bruscos entre las rocas de la asociación ofiolítica y las rocas volcánicas, en algunos casos desplazadas.
- Alineación fluvial con ríos de cauces profundos y formación de barrancos, los que en ocasiones aparecen cortados y desplazados por otras estructuras.
- Coincide espacialmente con la dirección fotoalineamientos.
- Alineación y desplazamiento de la línea de costa y zonas geomorfológicas.
- Anomalías del campo magnético (ΔT_{rp}).

Falla Báez: Posee una dirección en sus tramos más rectos N50°E y N25°E la cual se extiende desde cotas superiores a 500 m en el nacimiento del río Báez hasta el Alto de la Lechuza y la Bahía de Báez.

Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14a que muestra el perfil B-B´

- Aparecen alineados los valores de isobasitas de segundo orden mostrados en una inflexión negativa.
- Alineación de los valores de disección vertical en los rangos mayores de 140 m/km².

- Formación de barrancos, los que en ocasiones aparecen cortados y desplazados por otras estructuras.
- Desplazamiento de formas de relieve.
- Intenso cizallamiento en la zona de fractura.
- Tramos rectos y alienados del río Báez cerca del poblado de Naranjo.
- Cambios en la dirección del cause del río del mismo nombre.
- Rangos de pendientes mayores de 12° alineados.
- Coincide espacialmente con la dirección fotoalineamientos.
- Cambios bruscos de los valores morfométricos mostrados en el perfil B-B´.
- Anomalías del campo magnético (ΔT_{rp}).

Falla Maravi: Esta fractura se extiende desde el nacimiento del río Maraví hasta la Bahía de Maraví, la cual tiene una dirección N45°E.

Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14^a que muestra el perfil B-B´

- Aparecen alineados los valores de isobasitas de segundo orden.
- Alineación fluvial con ríos de cauces profundos y formación de barrancos, los que en ocasiones aparecen cortados y desplazados por otras estructuras.
- Cambio brusco de formas geomorfológicas en la desembocadura del río Maraví.
- Desplazamiento de la línea de costa aproximadamente 500 m.
- Tramos de costas alineados y existencia de bahía en forma de bolsa.
- Contactos litológicos bruscos.
- Existencia de alineamientos fotogeológicos.
- Cambio de la dirección de la línea divisoria de aguas.

Falla Toa: Esta línea de fractura solo se observa en tramo en la zona de estudio, la cual se orienta con dirección predominante N50°E.

Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14a y 14b respectivamente, que muestra el perfil E-E´ y B-B´

- Alineación fluvial con ríos de cauces profundos y formación de barrancos, los que en ocasiones aparecen cortados y desplazados por otras estructuras.
- Tramos rectos de cursos fluviales.
- Cambio brusco de formas geomorfológicas en la desembocadura del río del mismo nombre.
- Contactos alineados de valores de pendientes de bajo grado.
- Cambios bruscos de los valores morfométricos mostrados en el perfil E-E' y B-B'.
- Aparecen alineados los valores de isobasitas de segundo orden mostrados una inflexión negativa.
- Cambios de zonas geomorfológicas (zonas de montañas y llanuras marinas acumulativas).
- Existencia de alineamientos fotogeológicos.

En la parte de la desembocadura del río Toa, el borde de la plataforma insular existe un cañón submarino que muestra la continuidad de esta estructura en litoral.

Falla Naranja: Esta zona de fracturas tiene dirección N40°W al sur del área de estudio, se extiende desde las cotas de 300 m en el nacimiento del río del mismo nombre hasta la unión de esta con el río Toa.

Se reflejan las inflexiones de los valores morfométricos en la figura 14a que muestra el perfil A-A'.

- Aparecen alineados los valores de isobasitas de segundo orden mostrados en una inflexión negativa.
- Alineación de los valores de disección vertical, valores de 100 m/km².
- Alineaciones de los rangos de pendientes.
- Formación de barrancos, los que en ocasiones aparecen cortados y desplazados por otras estructuras.
- Cambio en la dirección de la línea divisoria de las aguas.
- Alineación fluvial con ríos de cauces profundos.

- Alineación fotogeológica.

El tercer sistema de estructuras está constituido por dos fallas de deslizamiento por el rumbo - *Strike-Slip* - determinadas durante las recientes investigaciones y que no habían sido reportadas con anterioridad. Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos, no presentan similitud con las fallas antes descritas. El origen de estas estructuras se consideró está asociado al momento en que se inician los movimientos hacia el este de la Placa del Caribe a través de la falla Oriente, desarrollándose un campo de esfuerzo de dirección norte-noreste, con la compresión del Bloque Oriental Cubano, en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que provocó la ruptura y el reacomodamiento de la corteza desde el Eoceno Medio-Superior.

Falla El Medio: Fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua con un rumbo aproximado de N40°E como se muestra en el perfil F-F' que refleja las inflexiones de los valores morfométricos.

Los criterios para su identificación fueron:

- Presencia de espejos y estrías de fricción muy dislocados, haciéndose imposible medir sus elementos de yacencia.
- Alineación de cursos fluviales, como por ejemplo el arroyo El Medio con afluentes del arroyo Semillero y del río Quesigua.
- Angularidad de la red de drenaje.
- Variaciones bruscas de los valores morfométricos entre ambos bloques de falla, por ejemplo los valores de isobasitas en el bloque septentrional son nulos y en el meridional alcanzan los 250 m y 100 m para el segundo y tercer orden respectivamente.
- Desviación de la orientación de elementos morfológicos como son las divisorias de aguas principales y líneas del drenaje, siendo un ejemplo el arroyo El Medio que corre con una dirección noreste lo cual sólo se justifica por el control estructural que la falla realiza sobre su cauce.

- Desplazamiento de formas del relieve como ocurre entre las zonas de montañas y premontañas bajas al sur de Palmarito.
- Variaciones bruscas de los valores morfométricos entre ambos bloques de falla, por ejemplo los valores de isobasitas en el bloque septentrional son nulos y en el meridional alcanzan los 250 m y 100 m para el segundo y tercer orden respectivamente.
- Desviación de la orientación de elementos morfológicos como son las divisorias de aguas principales y líneas del drenaje, siendo un ejemplo el arroyo El Medio que corre con una dirección noreste lo cual sólo se justifica por el control estructural que la falla realiza sobre su cauce.
- Desplazamiento de formas del relieve como ocurre entre las zonas de montañas y premontañas bajas al sur de Palmarito.

El cuarto sistema de fracturas que aparece desarrollado en el territorio corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área, pero tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento.

En las estructuras de este sistema no siempre se encuentran desplazamientos geológicos y geomorfológicos apreciables y su expresión está dada fundamentalmente por la formación de barrancos, alineaciones fluviales, líneas rectas y netas de tonalidades más oscuras y en algunos casos, se han determinado rasgos evolutivos en la comparación entre fotos de años diferentes.

Las características descritas anteriormente permiten suponer una génesis asociada a procesos de descompresión o expansión de bloques, al disminuir las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales, lo que a su vez determina que estas estructuras no aparezcan reflejadas en el mapa de anomalías magnéticas.

La edad de este sistema es considerada en su límite inferior posterior al Mioceno Medio, momento en que se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental como tendencia general y se extiende hasta el presente por prevalecer las condiciones geodinámicas que le dan origen.

Bloques Morfotectónicos.

En el levantamiento geológico de Guantánamo (Gyarmati y otros, 1990) se hace una subdivisión tectónica del extremo de Cuba oriental en dos regiones: la occidental, que comprende la cuenca de Sagua de Tánamo, Bloque de la Sierra del Maquey y la periferia de la Cuenca Guantánamo y la oriental, comprendida por los bloques Miraflores - El Toldo, Cuchillas de Moa-Baracoa y la franja costera Cañete-Baracoa separados entre sí por la estructura divisoria Zona de Fallas Miraflores-Riíto.

El análisis detallado de las estructuras que afectan la región y los parámetros geólogo- geomorfológicos que la caracterizan, permite asegurar que si bien esta tendencia general es cierta, la geodinámica actual en lo que ellos denominan como bloque El Toldo es mucho más compleja, existiendo junto a sectores que se levantan, otros con movimiento de descenso relativo apreciable, así como desplazamientos horizontales que en ocasiones llegan a provocar rotaciones de bloques sometidos a esfuerzos tangenciales.

En este trabajo, partiendo de la suma de criterios e índices obtenidos a través de la aplicación de los diferentes métodos de investigación y del conocimiento de las principales características de las fallas activas del territorio, información de métodos geofísicos, fue posible establecer el conjunto de bloques y sub-bloques morfotectónicos que conforman el territorio. Las características de cada bloque se resume en la tabla 2.

Los bloques Cayo Guam y Cupey se indican los desplazamientos por estudios anteriores (Rodríguez, 1998). Se hace referencia de estos bloques en la presente investigación con el objetivo de detectar estas estructuras detectadas por métodos tradicionales con el procesamiento digital del MDT. Lo que muestra que existe correspondencia de ambos métodos.

Bloque Cayo Guam. Es el bloque de más pequeña extensión en el área y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa, se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo (Rodríguez 1998).

Geológicamente la mayor extensión de la superficie lo ocupan las rocas del complejo ofiolítico, predominando hacia el sur las serpentinitas y hacia el norte los gabros. Geomorfológicamente se desarrollan las llanuras acumulativas bajas y planas de origen fluvial o palustre en la mayor área del bloque y una pequeña franja de acumulaciones costeras. Hacia la parte sur aparecen las premontañas y montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas con elevaciones máximas de 460 m.

Tabla 2. Características de los bloques morfométricos.

Bloques	Relieve	Cota actual (m)	Isobasitas (m)		Disección vertical (m/Km ²)	Tendencia de los movimientos relativos	
			2do	3er		Horiz	Vert
Cayo Guam	Montañas bajas	460	300	250	230	Si	Ascenso
Cupey	Premontañas y montañas bajas	542	450	350	460	Si	Ascenso
Jiguaní	Premontañas y montañas bajas	399	75	50	400		Ascenso
Taco	Alturas monoclinales	222	100	75	80	Si	
Nibujón	Premontañas y montañas bajas	498	75	50	160		
Navas	Montañas aplanadas bajas	618	475	200	40	Si	Ascenso
Báez	Alturas monoclinales	412	200	100	120		Ascenso
Toa	Premontañas y montañas bajas	426	200	75	140		Ascenso
Baracoa	Montañas erosivas y llanuras fluviales	380	325	200	160	si	Ascenso
Naranjo	Premontañas y montañas bajas	399	350	200	80		ascenso
Jaguaní	Montañas aplanadas	700	600	270	40		ascenso

Morfométricamente los valores máximos de la disección vertical son de 230 m/Km² y las isobasitas en 300 m y 250 m para el segundo y tercer orden respectivamente.

Las estructuras tectónicas principales que atraviesan este bloque son de dirección noreste y en muchos casos cortan a las fallas límites de bloques. Los movimientos horizontales en este bloque son muy evidentes y se ponen de manifiesto en los desplazamientos de la línea de costa y formas del relieve de hasta dos kilómetros con una dirección sur predominante.

Bloque Cupey. Se ubica en el extremo oriental desde la falla Quesigua hasta la falla Yamanigüey.

Geológicamente a este bloque le corresponde la mayor complejidad al aflorar en su superficie las rocas del complejo ofiolítico que ocupan la mayor extensión del bloque, las rocas de las formaciones Sabaneta, Capiro y los sedimentos cuaternarios de origen parálico y fluvial. Estas últimas litologías se disponen en forma de franjas paralelas al litoral.

Geomorfológicamente para el área predomina el relieve de montañas bajas y aplanadas hacia la parte occidental y bajas diseccionadas con divisorias alargadas hacia el sudeste. Las premontañas y submontañas serán aplanadas hacia el oeste y diseccionadas hacia el este. La variabilidad del relieve es el resultado de la acción de tres factores fundamentales: litológico, topográfico y tectónico, ya que no sólo existen variaciones en el tipo de roca sobre la cual se conforma el relieve sino que también, a partir de Punta Guarico ocurre una desviación costera de probable origen tectónico que condiciona la variación de la orientación fluvial, la que toma una dirección noreste, paralelo al sistema de grietas y fallas que controla el drenaje.

Morfométricamente este bloque se comporta también con una gran variabilidad. Los valores de isobasitas hacia el norte y este oscilan entre 100-150 m para el segundo orden y de 50-150 m para el tercero, mientras para el sector sur estos valores son de 450 m y 350 m respectivamente. La disección vertical alcanza valores de 460 m/Km² descendiendo hasta 290 m/Km² y 240 m/Km² al este y norte respectivamente.

Se hace evidente las diferencias existentes entre el norte y el sur del bloque Cupey a partir de la falla El Medio de dirección N40°E, que divide al bloque en dos sub-bloques, conjuntamente con algunos elementos de campo y morfológicos, como es la rotación en la orientación de las divisorias y la presencia y desplazamiento de escarpes, que el sub-bloque norte giró en sentido antihorario respecto al sub-bloque sur con un ángulo aproximado de 30°.

Este bloque aparece subdividido en cinco sub-bloques menores a través de las fallas El Medio y Cupey con valores morfométricos diferenciados.

Los bloques que se describen a continuación son los determinados en la presente investigación, la denominación de los bloques se asume a partir de nombres geográficos y ríos que se asocian espacialmente con los bloques. El sentido de los movimientos de los bloques y sub bloques solo es posible establecer los movimientos de acuerdo a la información aportada por morfometría.

Bloque Jiguaní: Este bloque se ubica entre los bloques Cupey por noroeste y los bloques Jaguaní y Taco por el sur y suroeste respectivamente, limitado por las fallas Yamanigüey y Jiguaní formando una faja con dirección Noreste-suroeste constituido fundamentalmente por rocas de la asociación ofiolítica. La cota máxima es de 399 m sobre el nivel medio del mar. Las zonas geomorfológicas que se desarrollan son zonas de premontañas, aplanadas ligeramente diseccionadas.

Los valores morfométricos se muestran con poca variabilidad, el comportamiento de los valores disección vertical oscila en el rango de 20 a 40 m/km², el mayor valor de las isobasitas es de 75 m en el segundo orden y en el tercer orden valores menores de 50 m. Por su parte las pendientes están en los 10°-15°. Los movimientos verticales no son apreciables. Los valores morfométricos indican que se encuentra en un nivel hipsométrico relativamente inferior respecto a los bloques Cupey y Jaragua. En este bloque se evidencian pequeñas intensidades de movimientos de ascenso y la erosión es mínima. En el perfil A-A' de la figura 14a se muestra la posición hipsométrica relativa respecto a los demás bloques y sus límites.

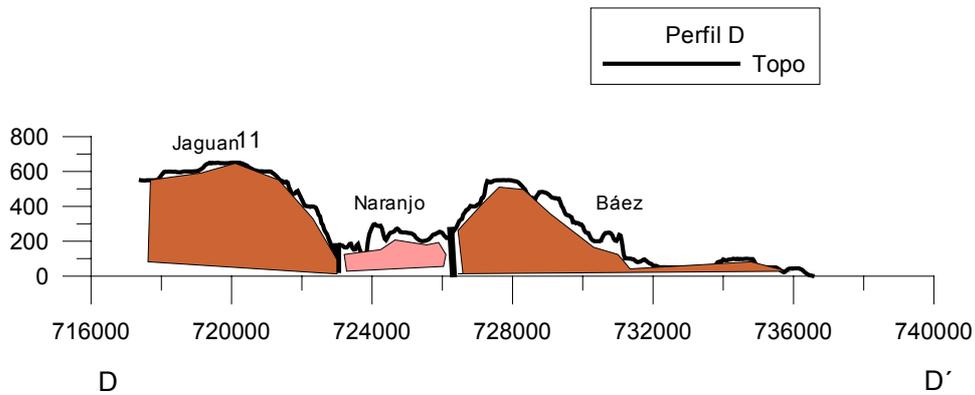
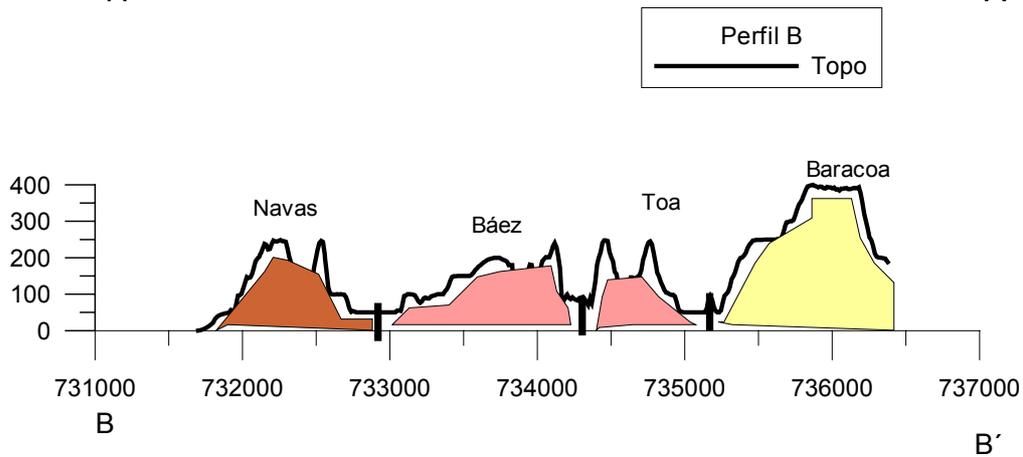
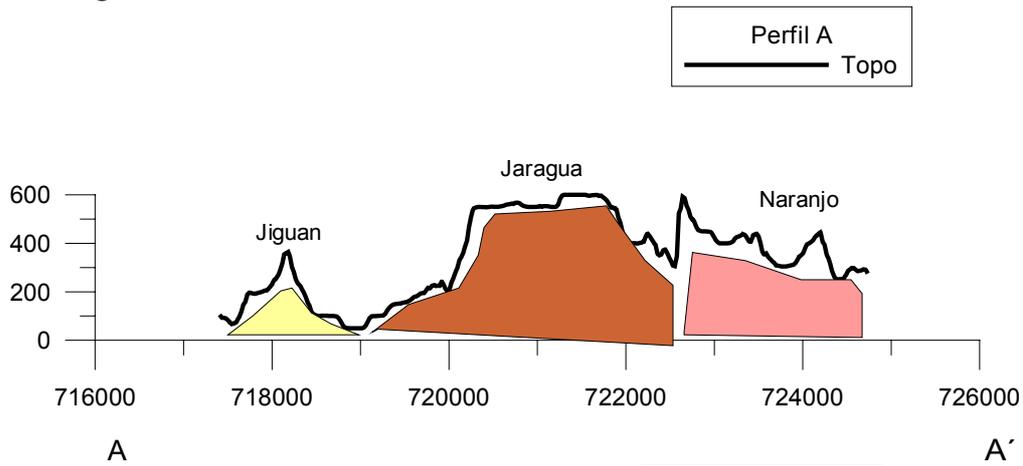
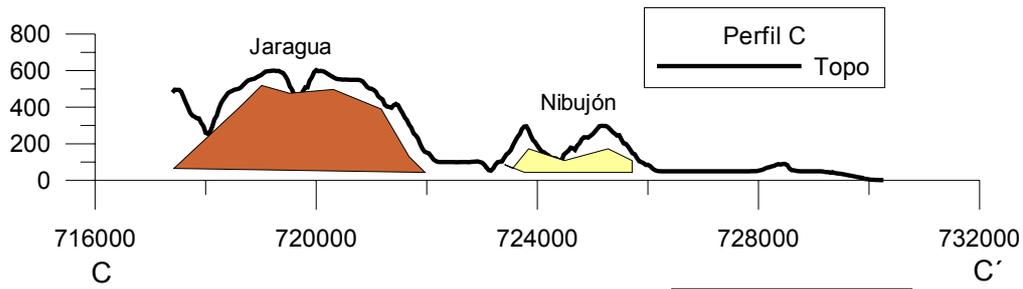


Figura 16. Modelización esquemática de los bloques morfométricos.

Bloque Taco: ubicado entre los bloques Jiguaní y Nibujón al noroeste y sureste respectivamente al sur por el bloques Jaraguá, limitado por las fallas Jiguaní y Taco. La cota máxima es de 222 m sobre el nivel del mar.

Geológicamente está constituido por rocas de la asociación ofiolítica y tobas de la formación Bucuey. Se aprecian alturas de tipo tectono-estructurales y monoclinales aterrazadas y llanuras marinas erosivo acumulativas. En el límite de estas zonas geomorfológicas se puede apreciar testigos abrasivos.

Los rangos de pendientes están entre los 5°-10° y las isobasitas menores de los 100 m en el segundo orden. La disección vertical está entre 40 y 80 m/Km².

Este bloque las intensidades de ascenso son prácticamente nulas de acuerdo al comportamiento de los valores morfométricos.

Bloque Nibujón: Este bloque se encuentra acunado entre los bloques Navas y Jaraguá. Limitado por el oeste por la falla Taco y por este por la falla Nibujón. Su mayor altura es de 498 m.

Geológicamente está constituido por rocas de rocas de la asociación ofiolíticas fundamentalmente, tobas de la formación Bucuey y en menor grado calizas de formaciones mas jóvenes.

Se aprecian las zonas geomorfológicas de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas y alturas de tipo tectónico-estructurales moniclinales aterrazadas, en estas zonas aparecen algunos testigos abrasivos.

Los valores de disección vertical 80–160 m/Km² fundamentalmente, las pendientes están entre 5°-10°. Los valores de isobasitas están entre 50 y 75 m en el segundo orden y en el tercero 50 m.

Las intensidades ascenso en este bloque es relativamente nula como se muestra en la figura 10. Dentro del bloque se evidencian movimientos horizontales dado por los desplazamientos zonas geomorfológicas y de la línea de costa en la desembocadura del río Nibujón.

Bloque Navas: Espacialmente es uno de los bloques de mayores dimensiones, posee forma trapezoidal, ubicado entre los bloques Nibujón y Naranjo por el oeste

y el bloque Báez por el sureste. Su mayor altura 618 m sobre el nivel del mar. Limitado por las fallas Naranjo y la falla Báez.

Geológicamente su composición es muy heterogénea, constituido fundamentalmente por rocas de la asociación ofiolítica y rocas del complejo gabros del cumulativo, aparecen algunas rocas volcánicas en Morel y algunas rocas carbonatadas en zonas próximas a la costa.

Aparecen las zonas geomorfológicas de montañas bajas aplanadas diseccionadas, en las cotas superiores, alturas de tipo tectónico estructurales monoclinales aterrazadas y carsificadas contactando en escarpes abruptos con las llanuras marinas erosivas con series escalonadas.

Los valores morfométricos, indican que existen movimientos de ascensos lentos como se muestra en el mapa de diferencias de isobasitas 2-3 como se muestra en la figura 10. Los mayores valores de isobasitas de segundo orden están entre 450 m y 475 m y los de tercer orden entre 150 m y 200 m. La disección vertical en la parte central se comporta con valores de promedios de 40 m no siendo así en sus límites que aumenta considerablemente de 120 a 160 m/Km², lo que indica que en la parte central la erosión vertical es escasa no siendo así en las zonas periféricas. De manera similar ocurre con los valores de pendientes, en la parte central es 0°-5° y en la zona limítrofe los valores aparecen alineados con pendientes superiores a los 10° y 15°. Esta zona aparecen aflorando rocas de la asociación ofiolíticas y desarrollo de cortezas. En correspondencia con las mayores cotas, las cimas son aplanadas.

En este bloque las curvas de diferencia de isobasitas muestran que el bloque está en ascenso mostrando relativamente mayor velocidad respecto a bloques contiguos. Esto se muestra perfectamente en el perfil D-D' por el comportamiento de los valores morfométricos descritos anteriormente. Aparecen niveles de terrazas marinas alejados a varios centenares de metros de la costa indicando movimientos recientes.

Los movimientos horizontales se evidencian por el desplazamiento de la línea de costa en la desembocadura del río Nibujón en el margen derecho y en la desembocadura del río Báez en el margen izquierdo. En el interior de bloque, se

aprecian desplazamientos de la línea de costa y formas de relieve, en la Bahía de Navas.

Bloque Báez: Se sitúa entre los bloques Navas y Toa, al noroeste y sureste respectivamente, limitado por las fallas Báez y Maraví. Posee forma rectangular teniendo su mayor cota a 412 m sobre el nivel medio del mar.

Las rocas que forman este bloque son fundamentalmente del complejo ofiolítico, gabros del complejo cumulativo y conglomerados polimícticos de la Formación Cilindro.

Está constituido por las zonas geomorfológicas de alturas de tipo tectónico-estructurales monoclinales aterrazadas y carsificadas separadas por escarpe abrupto con la zona de llanuras marinas con series escalonadas.

En el perfil B-B' de la figura 14 a se aprecia los cambios de gradientes par cada mapa morfométricos respecto a otros bloques.

Las pendientes están en el rango de 5° - 10° , los mayores valores de las isobasitas de segundo orden corresponden de 150 a 200 m y los de tercer orden de 100 m. La disección vertical alcanza 100 m/Km^2 a 120 m/Km^2 . Los movimientos horizontales en este bloque se manifiestan por el desplazamiento de la línea de costa en la Bahía de Maraví al noreste y en la desembocadura del río Báez, por lo que se asume que se mueve en dirección suroeste.

Bloque Toa: Este bloque se ubica en la parte sur de la zona de estudio entre los bloques Baracoa y Báez. Limitado por las fallas Toa y Maraví. Su mayor altura se localiza 426 m en la parte central del mismo.

Geológicamente está constituido fundamentalmente por rocas de del complejo cumulativo de gabros y rocas de la asociación ofiolítica.

Las zonas geomorfológicas, según la clasificación asumida, corresponde a zonas de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas, alturas de tipo tectono-estructurales monoclinales aterrazadas y carsificadas; zonas de llanuras marinas representadas por llanuras erosivas con series escalonadas sin determinación de niveles y llanuras fluviales acumulativas bajas.

Los valores de disección vertical ocupan de 100 m/Km² a 140 m/Km², las pendientes varían de los 6°-12° en todo el bloque. Las isobasitas 125 - 200 m de segundo orden y valores de 50 – 75 m en el tercer orden.

Dentro del Bloque Toa se aprecia un sub bloque el denominado Maraví, el cual se ubica noreste del bloque Toa. Su mayor cota es 255 m sobre el nivel del mar en las alturas tectónicas de tipo tectónicas monoclinales. Aparece además la zona geomorfológica de llanuras marinas erosivas de series escalonadas.

Geológicamente está constituido por rocas de la asociación ofiolíticas, conglomerados polimícticos de la Formación Cilindro y de formaciones más jóvenes cuaternarias.

Los isobasitas de tercer orden le corresponden valores menores de 50 m y por su parte las de segundo orden 100–200 m en su valor mas elevado. Los valores de pendientes están en el rango de 3°-6°. La disección vertical está dentro del rango de los 40-80 m/Km². En el perfil E-E' y B'B' que se muestran en la figuras 14 a y b se aprecia el comportamiento de los valores morfométricos para este bloque.

Se aprecian rasgos de movimientos horizontales tales como desplazamiento de la línea de costa en la Bahía de Maraví aproximadamente 800 m.

Bloque Baracoa: Se ubica en la parte sureste del la zona de estudio, denominado así por su proximidad a la ciudad de Baracoa. Limitando al noroeste con el bloque Toa a través de la falla Toa, al sur con los límites del área, su mayor cota le corresponde a la Loma del Yunque de Baracoa con 380 m sobre el nivel del mar constituido por calizas. Las litologías presentes en este bloque constituidos por materiales de la formación Bucuey y rocas de la asociación ofiolítica en menor grado.

En este bloque aparecen dentro de las zonas de montañas las de tipo tectono-erosivas diseccionadas y llanuras fluviales acumulativas.

Los valores morfométricos de pendiente están entre los 6°- 12°, las isobasitas de segundo entre 100-325 m, los valores de disección están en el rango de los 80-160 m/Km².

En este bloque la tendencia de los movimientos verticales se evidencian por movimientos de ascenso.

Bloque Naranjo: Se sitúa entre los bloques Jaguaní y el bloque Navas. En el perfil D-D' se aprecia claramente la posición de este bloque.

Está constituido en su totalidad por gabros del complejo cumulativo. Aparecen la zonas de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas, su cota superior 399 m en una superficie regularmente aplanada.

La disección vertical en este bloque está entre los 40-80 m/Km², las pendientes están en el rango de 0°-6° por lo que en este bloque la erosión en su parte central es mínima no siendo así en sus límites. Los valores de isobasitas de tercer orden corresponden a 200 m y en segundo orden tienen de 275-350 m lo que indica que el movimiento vertical de ascenso en este bloque es relativamente lento puesto que la diferencia es pequeña. La tendencia relativa de los movimientos verticales es menor respecto a los bloques Jaguaní y Báez.

Bloque Jaguaní: Se ubica entre los bloques Naranjo, Nibujón y Taco, hipsométricamente ocupa la posición más elevada de la zona de estudio con cotas superiores a 700 m. Se desarrollan las montañas bajas aplanadas diseccionadas. Afloran en las rocas de la asociación ofiolítica en algunos sectores se desarrollan de cortezas lateríticas. En la parte central de este bloque se observa una estructura muy joven con dirección E-W que afecta al bloque.

Las pendientes en los límites son mayores de 15° no ocurriendo así en el resto del bloque pues corresponden a valores de 0°- 3° y de 3°-6° en algunos sectores, los valores de isobasitas en sus límites están apretadas indicando movimiento tectónicos recientes. En el segundo orden posee valores desde 450 m hasta 600 m y los de tercer orden llagan hasta 270 m. La disección es de 40 m/Km²

Los rasgos topográficos muestran curvas de nivel muy apretadas indicando una zona de gran escarpe coincidiendo con el límite del bloque.

En el perfil D-D', C-C' y A-A' de la figura 14 a y 14b se muestra posición hipsométrica de este bloque respecto a los restantes bloques. En este bloque se

aprecian las mayores intensidades de ascenso relativo en toda el área de estudio dado por los valores morfométricos.

Movimientos contemporáneos.

En el estudio sismotectónico de la Central Hidroenergética Toa-Duaba realizado por la Empresa Integral de Proyecto de la Industria Básica (Orbera, 1990), se realiza un análisis de los movimientos neotectónicos para la región oriental del país, correspondiendo al área del presente trabajo con lo que los autores allí denominan Levantamiento Moa-Baracoa, al cual caracterizan por intensos movimientos verticales que no han sido uniformes ni espacial ni cronológicamente. En el análisis ellos consideran la existencia de una etapa de relativa tranquilidad tectónica con formación de superficies de nivelación que corresponde al intervalo Oligoceno Superior-Plioceno, posterior a los desplazamientos horizontales; y parten de la afirmación de que en este periodo la región constituía una zona sumergida bajo el nivel del mar, lo que indica la magnitud de los movimientos de ascenso, al encontrarse los sedimentos de origen marino desplazados centenas de metros de su posición original, quedando por efecto de esos levantamientos la zona dividida por fallas nuevas o rejuvenecidas que le dan al territorio un carácter de mosaico irregular.

Aún cuando no compartimos íntegramente las conclusiones antes referidas, partiendo del hecho de que la supuesta estabilidad tectónica no fue tan estable ni tan duradera, debido al ambiente geotectónico regional imperante desde el Eoceno Medio-Superior, cuando se inician los desplazamientos de la Placa del Caribe hacia el Este respecto a la Norteamericana, que han provocado fuerzas de empuje transversal, en estas investigaciones se ha hecho evidente y corroborado que la etapa neotectónica se caracteriza por el predominio de movimientos verticales de ascenso.

En el desarrollo de este capítulo, en la caracterización de las fallas a través de los principales criterios que permitieron su clasificación; y en la descripción de los bloques morfotectónicos de la zona, se hizo referencia a un conjunto de parámetros que a su vez son criterios para caracterizar la tectónica reciente y

corroboran lo afirmado anteriormente. Dentro de esos criterios los más importantes son:

- Alineación y desplazamiento de la línea de costa actual, lo que puede notarse con claridad en la zona litoral comprendida desde la desembocadura del río Jiguaní hasta la ciudad de Baracoa con tramos hasta 500 m de longitud,
- Desplazamiento e interrupción de la barrera arrecifal coralina, lo que se observa frente a la desembocadura del río Quesigua.
- Desplazamiento de zonas parálicas cuaternarias y límites rectilíneos de las mismas, lo cual ocurre en toda la zona pantanosa litoral.
- Formación de escarpes rectilíneos con pendientes mayores a 30° en contacto con zonas de pendiente suaves en los límites de los Bloques Jaguaní, Báez.
- Encajamiento de valles fluviales, por ejemplo los ríos Jiguaní, Macaguanigua, Nibujón, Naranjo y Báez
- Desplazamiento lateral de valles fluviales, fenómeno que alcanza su máxima expresión en la desembocadura del río Cayo Guam y en el río Toa.
- Acodamientos sucesivos de cursos fluviales con trazos rectilíneos, lo que ocurre en todos los ríos del territorio y con carácter marcado en los cauces de los ríos Quesigua, Jiguaní, Macaguanigua, Naranjo y Toa
- Desplazamiento de líneas divisorias o partes de aguas, como ocurre en los límites de la cuenca del río Taco.
- Desplazamiento de zonas geomorfológicas.
- Posición hipsométrica anómala de depósitos fluviales del Cuaternario. Un ejemplo de esto lo constituyen los depósitos conglomeráticos de génesis fluvial en la margen occidental del río Cayo Guam, los cuales aparecen 40 m por encima del nivel del valle actual.
- Valores hipsométricos y morfométricos marcadamente diferentes sobre igual litología a ambos lados de una línea de falla, por ejemplo entre los bloques Jaguaní y Taco
- Desplazamiento de formas de relieve. Este es uno de los criterios de mayor frecuencia de presentación en el territorio y se observa asociado a casi todas las fallas descritas, pero en particular queremos referirnos a los

desplazamientos originados por las fallas Cayo Guam y Báez que además de provocar desplazamientos horizontales ponen en contacto brusco zonas geomorfológicas diferentes.

- Ocurrencia de actividad sísmica, la cual se ha manifestado a través de dos eventos de magnitudes moderadas en los años 1992 y 1994, (Reporte de comunicación escrita, 1994).

Con toda la información que se tiene hasta el momento es posible realizar un modelaje esquemático de la zona costera comprendida desde Yamanigüey hasta Baracoa partiendo de la posición hipsométrica.

En la caracterización realizada de los bloques morfotectónicos se estableció el sentido fundamental de los desplazamientos horizontales y verticales de cada uno como se muestra en el anexo gráfico 3, quedando además establecido que en el área predominan condiciones tectónicas que generan levantamientos diferenciados, reflejándose los máximos levantamientos en el bloque Jaguaní, flanqueado por un conjunto de grabens y horts tectónicos menores, que al mismo tiempo se desplazan lateralmente.

De acuerdo a lo planteado se asume que los bloques Jaragua y Báez ocupan mayor intensidad de ascenso relativo, por su parte los bloques Jiguaní y Taco muestran las menores intensidades de movimientos verticales, en la figura 16 se muestran estos bloques y la posición hipsométrica. En estas zonas límites de estos bloques, se aprecian pronunciadas pendientes donde los valles fluviales están encajados. La diferencia de isobasitas de segundo y tercer orden muestran los mayores índices de levantamiento. Todo lo anterior permite establecer una primera aproximación que estos dos bloques se encuentran estructuralmente mas levantados respecto a los demás bloques. Es conveniente profundizar en el estudio detallado y aplicar otros métodos de investigación para determinar la relación estructural de los bloques.

Procesos y fenómenos geológicos.

La explotación sostenible de nuestros recursos naturales, constituye un imperativo para el desarrollo económico-social del país, por lo que es necesario hacer referencia a los principios y regulaciones sobre la que se realiza la misma, de forma tal, que se preserve este sensible ecosistema. La tendencia del crecimiento demográfico en la zona costera y la ocurrencia de diversos fenómenos naturales, exige que se establezcan adecuadamente las medidas dirigidas a la utilización económica planificada y ambientalmente racional. La adopción de acciones encaminadas a su restauración y mejoramiento de los recursos debe estar en correspondencia con su aprovechamiento racional y la proyección perspectiva encaminada a la protección de sus valores naturales y culturales.

Aunque el área de estudio no está conformada en su totalidad por zonas costeras es preciso hacer referencia a la legislación vigente para la regulación del uso, manejo y protección de las costas, para la adecuada gestión ambiental de las mismas. En el año 2000 se adopta el DECRETO-LEY No. 212 GESTION DE LA ZONA COSTERA, el cual tiene como objeto establecer las disposiciones para la delimitación, la protección y el uso sostenible de la zona costera y su zona de protección, conforme a los principios del manejo integrado de la zona costera. Se define como zona costera, la franja marítimo-terrestre de ancho variable, donde se produce la interacción de la tierra, el mar y la atmósfera, mediante procesos naturales. En la misma se desarrollan formas exclusivas de ecosistemas frágiles y se manifiestan relaciones económicas, sociales y culturales.

Según artículo 8 inciso a) del Capítulo II le corresponde al CITMA, participar en el proceso de discusión, evaluación y aprobación de los planes de Ordenamiento Territorial y en su modificación o revisión, en todo lo que afecte a la zona costera o de protección, con vistas a introducir las modificaciones que pudieran resultar procedentes.

La ordenación del territorio es la expresión espacial de las políticas de desarrollo económico, social, cultural y ambiental. Se trata de un concepto muy complejo con tres facetas complementarias: el *análisis territorial*, o interpretación de la estructura y funcionamiento del sistema territorial (medio físico, asentamientos humanos e infraestructuras), la *planificación territorial* o diseño del modelo territorial futuro y el curso

de acción para conseguirlo y de la *gestión territorial* o conducción del sistema territorial (Gómez, 1994).

Después de haber caracterizado las estructuras disyuntivas, los bloques morfotectónicos y los principales índices de los movimientos en área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa, los que tienen un carácter activo, es posible establecer las zonas donde los efectos de la actividad tectónica son mínimos. Esta información puede ser utilizada con el objetivo de orientar las zonas donde los procesos y fenómenos geológicos tienen mayor incidencia producto a la actividad tectónica, para la ubicación de las infraestructuras para uso turístico, así como para el propio ordenamiento costero que proporcione, el desarrollo económico y social de toda la región.

En la presente investigación se establecieron los sitios donde los procesos y fenómenos geológicos tenían mayor intensidad, con vista a orientar a los proyectistas los efectos que pueden ocasionar en las construcciones estos fenómenos (Anexo 7). Se confeccionó un esquema atendiendo al comportamiento de las estructuras y bloques morfotectónicos, sumado a la incidencia de los movimientos contemporáneos, se utilizó además la información geológica y geomorfológica disponible. Es válido aclarar que para la planificación y ordenamiento de una área o región es necesario tener un amplio volumen de datos que permita evaluar y determinar los usos, solo fue posible confeccionar un esquema orientativo con la información disponible.

En el área quedó establecida la existencia de procesos geodinámicos que se caracterizan por la tendencia general al levantamiento con movimientos diferenciados. Es evidente que la amenaza natural originada por estos procesos tectónicos es alta y existen sectores susceptibles a las inestabilidades gravitacionales como los desprendimientos y deslizamientos que pueden ocasionar desplazamientos de grandes masas de material bajo la acción de la fuerza de gravedad la cual puede activarse, además de la tectónica, por otras causas como la originadas por condiciones naturales, meteorológicas o por la propia actividad antropogénica. En el caso concreto que se investiga los principales tipos de inestabilidades gravitatorias están:

Desprendimientos. Estos pueden desencadenarse en las zonas donde la pendiente es mayor de 25 grados, ligado a la acción de los procesos tectónicos este fenómeno puede ocurrir en las zonas límites de bloques donde las rocas están fracturadas y la pérdida de la cohesión entre las partículas. Pueden encontrarse desprendimientos en los interiores de los bloques asociado a las zonas de pendientes escarpadas de origen natural o antropogénico. En los sectores asociados espacialmente a estos fenómenos no es recomendable realizar ningún tipo de construcción debido a que son susceptibles a afectaciones provocadas por estos fenómenos, o se decida realizar algún tipo de obra ingenieril para contrarrestar estos efectos.

Deslizamientos. Este fenómeno se asocia a los movimientos de masas de terreno resultado de la fracturación de por esfuerzos de cizalla según una o diversas superficies. Es uno de los más frecuentes a ocurrir en el área debido a la existencia de rocas agrietadas principalmente de la asociación ofiolítica sumado a la intensa actividad tectónica y a los movimientos diferenciados en los bloques que genera superficies inestables. Este fenómeno se puede evidenciar en las zonas límites de bloques y en las superficies escarpadas. Los movimientos neotectónicos evidenciados en toda el área provocan superficies escarpadas que en muchos de los casos están muy agrietadas o desprovistas de vegetación, las cuales en condiciones naturales se encuentran estables. Estas laderas estables bajo la acción de factores desencadenantes de carácter antrópico, la propia actividad en su proceso constructivo rompe con frecuencia el equilibrio natural en las superficies inclinadas creando taludes artificiales inestables o aumentando la carga soportante del suelo, lo que provoca variaciones en las condiciones de estabilidad e inducir un deslizamiento.

Este fenómeno debe tenerse muy presente cuando se decida proyectar algún objeto de obra próximos a estas zonas. Es recomendable realizar un estudio de microlocalización o de delimitación del área de influencia del deslizamiento con el objetivo de adoptar medidas para evitar las afectaciones en el objeto de obra.

Erosión. Este fenómeno asociado a la dinámica superficial que tiene como factores condicionantes la dinámica del medio, la que está determinada por la

posición hipsométrica del suelo y el nivel de base de erosión estableciéndose un gradiente erosivo que tiende a ser mínimo a medida que alcanza su estado de equilibrio. Cualquier agente que provoque la ruptura de ese equilibrio altera la relación erosión sedimentación, dentro de esos agentes se encuentran los movimientos tectónicos.

Este fenómeno se desarrolla en las zonas de fracturas, en límites de bloques y en los cárcavas originadas por los movimientos contemporáneos. El levantamiento de un bloque aumenta la dinámica de los agentes denudativos –el escurrimiento superficial y fluvial- intensificando el proceso de arrastre de sedimentos sueltos hacia las partes más deprimidas donde ocurre la acumulación. Si a esta ruptura del equilibrio originada por los procesos tectónicos se le suma la meteorización de las rocas se hace evidente la importancia de los procesos erosivos en el área.

El desarrollo de cárcavas por la erosión remontante puede provocar en las obras o instalaciones que se ejecuten, a afectaciones en sus cimientos incluso llegar a la ruptura parcial o total.

Sedimentación. La erosión por si misma tendrá como efecto directo aumentar el volumen de la carga física transportada hasta los ríos dando lugar a la colmatación de depósitos fluviales de cauce y de desembocadura, responsables del surgimiento de áreas anegadas, en muchos de los sectores pueden obstruir los desagües naturales o artificiales. En el área fueron señalados los sectores más susceptibles a ser afectados por la sedimentación por constituir las superficies deprimidas que en ocasiones pueden llegar a colmatarse y afectar el equilibrio del nivel de base erosión de los ríos.

Debe tenerse presente que en estos sectores, los materiales no están consolidados y constituyen un depósito temporal de sedimentos que en periodos de crecida son removidos y arrastrados hacia la zona litoral.

Inundación. La acumulación de sedimentos y colmatación en las causas de los ríos y vaguadas, ya sea a los procesos erosivos o a deslizamientos puede obstruir los canales de desagüe por donde fluye el agua, sumado las intensas lluvias en determinados periodos del año puede provocar inundaciones y afectar las construcciones u otras actividades relacionadas. Este fenómeno puede

manifestarse en las zonas bajas de estos lugares asociadas fundamentalmente a los sectores donde corresponde a un límite de bloque.

Carso. Este fenómeno está asociado a la disolución las rocas carbonatadas, se manifiesta fundamentalmente en las terrazas marinas carsificadas donde se aprecian testigos abrasivos. Este fenómeno puede ocasionar asentamiento en las construcciones que se edifiquen sobre estos.

Pantanos. Este fenómeno se asocia fundamentalmente a las zonas pantanosas en la zona costera en a proximidades del poblado de Yamanigüey, en la desembocadura del río Jiguaní y Santa María, en algunos sectores la Bahía de Taco. Las zonas anegadas en agua por sus características no es conveniente realizar sobre ellas ningún tipo de construcción. El uso puede como turismo ecológico para los humedales y zonas pantanosas.

De acuerdo a lo expresado anteriormente en el área los procesos y fenómenos geológicos condicionados por la actividad tectónica se desarrollan fundamentalmente en las zonas límites de bloques y en las fallas ubicadas en los sectores interiores de estos. Muchos de estos fenómenos tienen un carácter local aunque no dejan de tener influencia sobre las construcciones que se asienten sobre ellas. Se establecieron las zonas más susceptibles a desencadenarse estos fenómenos de acuerdo a la distribución espacial y relación con los espacios temporales siguiendo donde la actividad tectónica se manifieste con mayor intensidad.

Es válido aclarar que no todos los objetos de obras admiten las mismas características constructivas, como grado de complejidad estructural, tipología, dimensiones y materiales. Las entidades responsabilizadas no deben olvidar la parte del medio más susceptible que el hombre en todas sus actividades de modo que existan condiciones naturales para que se abastezcan y satisfagan sus necesidades en armonía con la naturaleza.

Las zonas menos susceptibles. En estas el desarrollo de los procesos y fenómenos ocurren con menor intensidad y se localizan en los sectores interiores de los bloques morfoTECTÓNICOS. Las pendientes son suaves y la actividad tectónica

es prácticamente nula, la vegetación está constituida fundamentalmente de arbustos, hiervas y vegetación costera. La erosión es mínima, estas zonas son menos susceptibles a la ocurrencia de movimientos gravitacionales.

Zonas de susceptibilidad media. Se asocian a los sectores donde existen estructuras no activas y los movimientos contemporáneos no se reflejan. Las pendientes son moderadas y admiten construcciones de acuerdo a su morfología actual. Puede ocurrir algún fenómeno de carácter local y de poca intensidad y que con medidas ingenieriles pueden reducirse los efectos.

Las zonas de mayor susceptibilidad. Corresponden a las zonas límites de bloques donde la actividad tectónica es mayor, por lo que las infraestructuras que se asienten sobre estas zonas son más vulnerables a los efectos de las deformaciones tectónicas. Las zonas de límites de bloques no son recomendables para ubicación de ningún tipo de objeto socioeconómico. La posición o ubicación de una obra respecto a las estructuras y bloques morfotectónicos, es evidente, que aquellas que se asienten directamente sobre estructuras activas son más vulnerables a los efectos de las deformaciones tectónicas al igual que aquellas que se sitúen en los sectores periféricos, ya sean interiores o exteriores de los bloques de máximo levantamiento. Cuando su localización corresponda con la zona límite interior del bloque más levantado los daños tendrán un origen asociado a la descompresión y pérdida de la sustentación influenciada por aumento de la intensidad de los procesos erosivos e incluso la ocurrencia de deslizamientos. Si por el contrario se ubica en la zona periférica exterior al bloque en ascenso, las deformaciones van a estar dadas por el empuje del material erosionado en los niveles superiores y acumulados en su base en el proceso de colmatación de sedimentos y de posible saturación y anegación de los suelos por las aguas.

El equilibrio entre la relación erosión-sedimentación en estas zonas puede ser afectado y provocar un aumento de los procesos erosivos. Estos fenómenos pueden manifestarse en la ruptura de las vías de comunicación, de instalaciones de abasto de agua, electricidad y servicio telefónico. Los valles de crecidas se ubican en estas zonas, sobre los cuales no es conveniente asentar cualquier infraestructura por las características de los materiales que la componen. En estas

zonas las pendientes son muy elevadas lo cual no son recomendables para la construcción de cualquier tipo de obras.

En el área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa se determinaron de acuerdo al comportamiento tectónico y los efectos que estos pueden ocasionar en las obras futuras así como al grado de intensidad que pueden desarrollarse los procesos y fenómenos geológicos provocados por la actividad tectónica, en tres zonas principales de susceptibilidad. Es preciso señalar que en los estudios de ordenamiento y manejo costero se consideren la influencia de estructuras tectónicas menores y el grado de actividad.

Conclusiones

Como conclusiones de este capítulo se puede resumir que la tectónica del territorio en la cual queda enmarcada el área de las investigaciones tiene un carácter activo, donde se determinaron 13 estructuras principales que constituyen los límites principales de bloques morfotectónicos, originadas durante el proceso de colisión y obducción del arco volcánico cretácico sobre el margen pasivo de Bahamas, que se manifiestan con diferente grado de nitidez y reflejo en el relieve.

Como resultado de los movimientos ocurridos a través de las estructuras falladas el territorio quedó dividido en 11 bloques morfotectónicos en forma de mosaico se desplazan en un sistema de horts y grabens escalonados con sectores locales de rotación y que en conjunto conforman un gran bloque en ascenso.

Se determinaron 3 zonas con diferente grado de susceptibilidad con vista a la planificación de obras turísticas, de acuerdo al grado de intensidad desarrollo de los procesos y fenómenos geológicos condicionados por la actividad tectónica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- **Conclusiones.**
- En general se puede concluir que empleo conjunto de los métodos morfométricos y procesamiento automatizado del modelo digital del relieve reduce y facilita la orientación del trabajo de campo determinando las estructuras de mayor rango y permite realizar las primeras consideraciones acerca de las direcciones principales de los desplazamientos tectónicos que más reciente han ocurrido en la zona.
- Se determinaron trece estructuras falladas que constituyen los principales límites de bloques morfotectónicos originadas durante la colisión y obducción del Arco Volcánico Cretácico sobre el Paleomargen de Bahamas.
- Como resultado de los movimientos ocurridos a través de las estructuras falladas el área quedó dividida en once bloques morfotectónicos que se desplazan en un sistema de horts y grabens escalonados, que en conjunto conforman un gran bloque en ascenso, destacándose los bloques Jaragua y Báez que ocupan las máximas intensidades de ascenso relativo.
- Según el comportamiento de las estructuras tectónicas, el grado de intensidad desarrollo de los procesos y fenómenos geológicos condicionados y los efectos que estos pueden ocasionar en futuras obras, se determinaron tres zonas con diferente grado de susceptibilidad con vista a la planificación turística.

Recomendaciones.

Después de culminadas las investigaciones en esta zona costera se hace necesario recomendar:

Que se profundice en el estudio tectónico detallado que incluya análisis del agrietamiento y microtectónica en las zonas de mayor interés turísticos.

Alertar a los gobiernos y dirección del CITMA de las provincias involucradas en el desarrollo turístico de la zona costera la existencia de la actividad tectónica activa y de los movimientos contemporáneos.

Establecer un sistema de control geodésico cíclico para determinar el comportamiento de la línea costera actual.

Se realice un estudio evaluación de la peligrosidad y riesgos asociados, con vista a encaminar la gestión y conservación de la zona costera.

RELACIÓN DE MATERIALES GRÁFICOS.

Relación de figuras.

- Figura 1. Mapa de ubicación geográfica.
- Figura 2. Mapa geológico esquemático.
- Figura 3. Esquema de zonas geomorfológicas.
- Figura 4. Desarrollo del carso.
- Figura 5. Zonas sismogeneradoras.
- Figura 6. Esquema tridimensional del MDT resultante y ríos superpuestos.
- Figura 7. Mapa de red fluvial.
- Figura 8a. Mapa de isobasitas de segundo orden.
- Figura 8b. Mapa de isobasitas de tercer orden.
- Figura 9. Diferencia de isobasitas de tercer orden – segundo orden.
- Figura 10. Mapa de relieve sombreado de diferencia de isobasitas (2 – 3).
- Figura 11. Notación en formato GRID empleados en las ecuaciones 4 y 5.
- Figura 12. Mapa de pendientes calculados con MDT suavizados.
- Figura 13. Mapa de disección vertical calculado con ventanas móviles de 640m y 1200m.
- Figura 14a. Perfiles esquemáticos de los valores morfométricos y la topografía.
- Figura 14b. Perfiles esquemáticos de los valores morfométricos y la topografía.
- Figura 15. Evolución geológica en la zona límite de placas.
- Figura 16. Modelización esquemática de los bloques morfométricos.

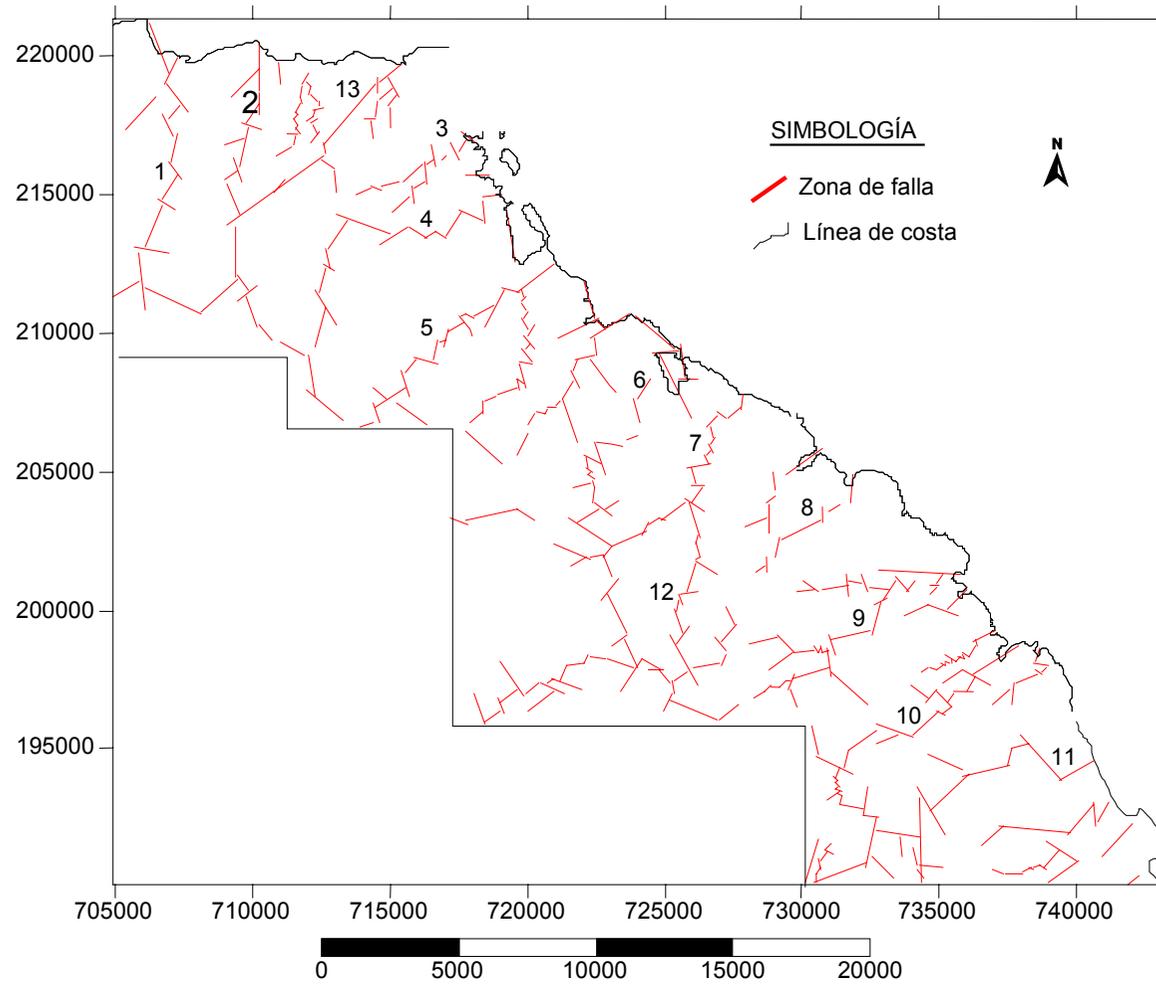
Relación de anexos.

- Anexo 1a. Mapa geológico.
- Anexo 1b. Leyenda del mapa geológico.
- Anexo 2. Sistemas de fallas.
- Anexo 3. Bloques morfotectónicos.
- Anexo 4. Mapa de ubicación de los perfiles morfométricos.
- Anexo 5. Mapa de relieve sombreado.
- Anexo 6. Mapa de alineamientos.
- Anexo 7. Esquema de susceptibilidad de ocurrencia de los fenómenos y procesos geológicos.

Tablas.

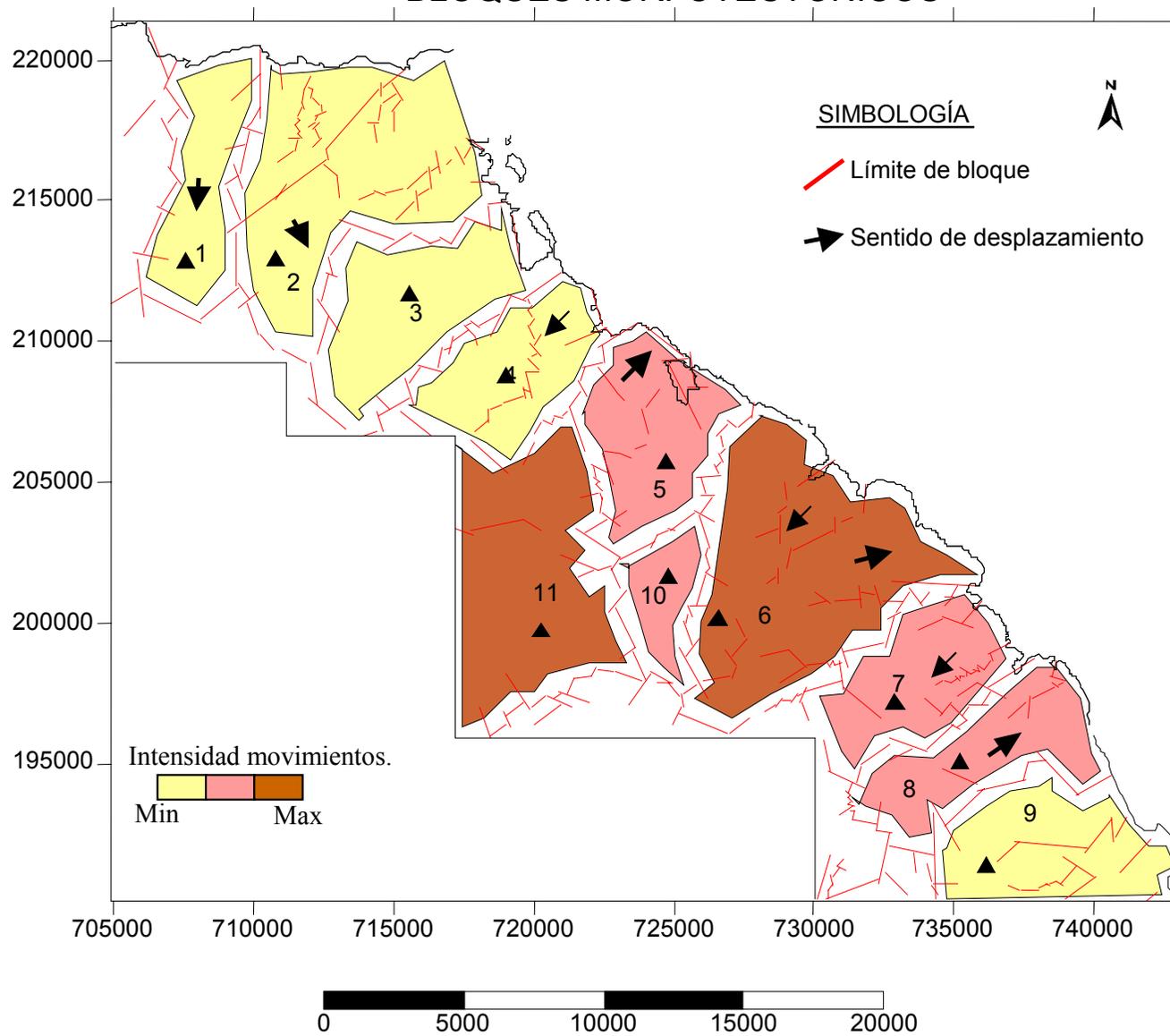
- Tabla 1. Criterios de identificación de las fallas.
- Tabla 2. Características de los bloques morfotectónicos.

MAPA TECTÓNICO

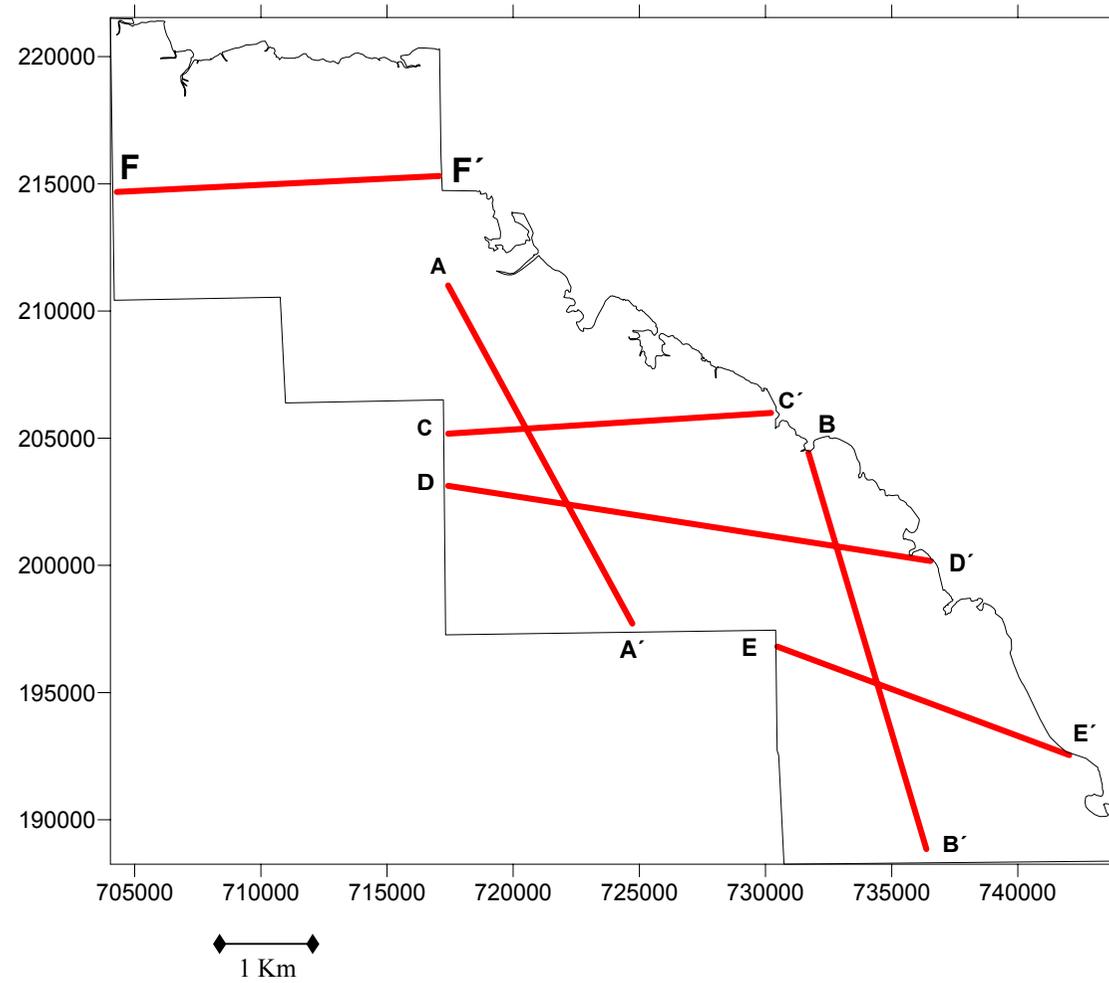


Anexo 2: Mapa tectónico. Escala Original horizontal 1:25 000. Escala original 1: 25 000

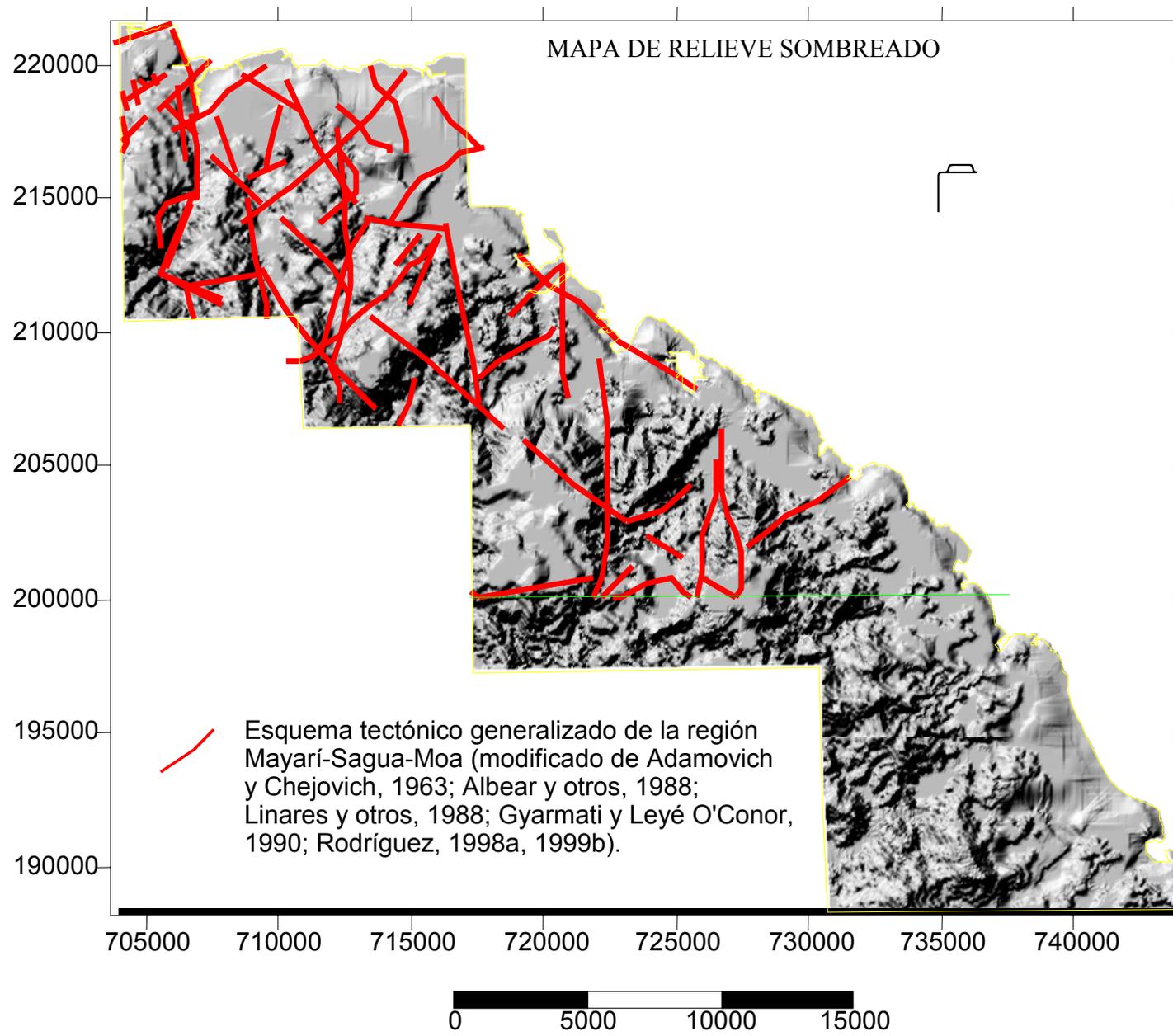
BLOQUES MORFOTECTÓNICOS



Anexo 3: Mapa de bloques morfotectónicos. Escala original 1: 25 000

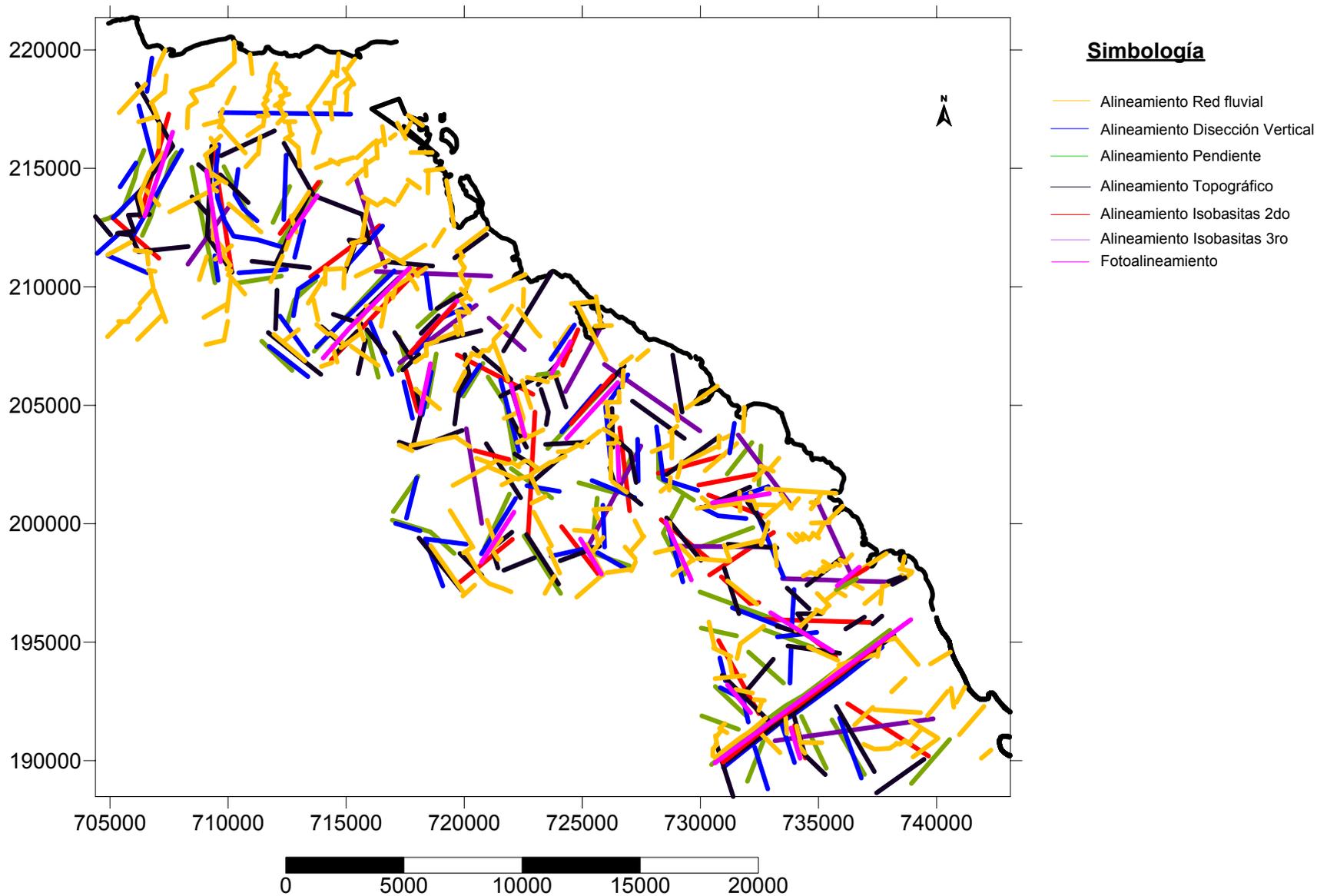


Anexo 4. Mapa esquemático de ubicación de los perfiles. Escala original 1:25 000



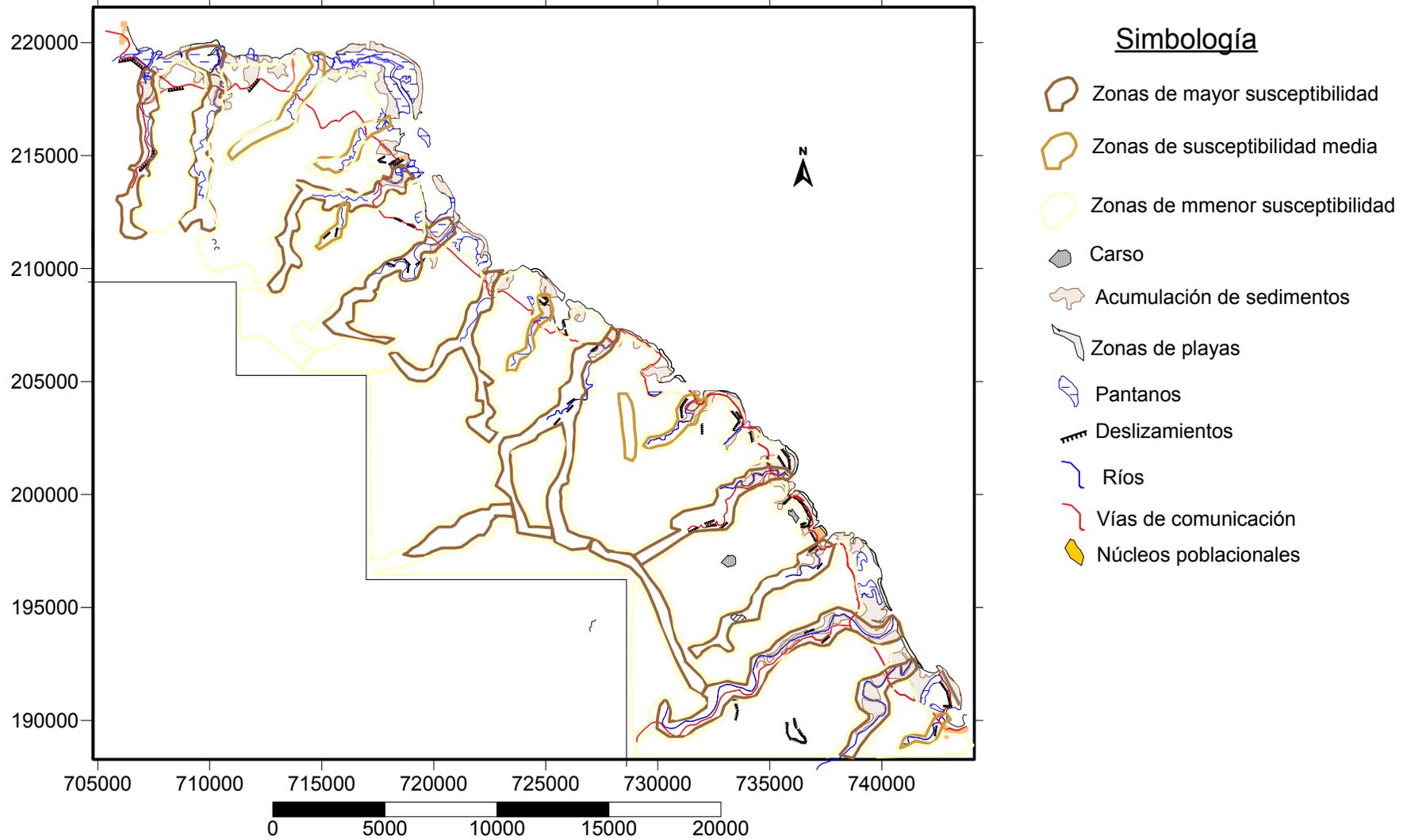
Anexo 5. Mapa de relieve sombreado. Escala Original 1:25 000

MAPA DE ALINEAMIENTOS MORFOMÉTRICOS



Anexo 6 Mapa de alineamientos. Escala Original 1:25 000

ESQUEMA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LOS PROCESOS Y FENÓMENOS GEOLÓGICOS.



Anexo 7. Esquema de susceptibilidad de ocurrencia de los fenómenos y procesos geológicos. Escala original 1: 25 000

LEYENDA

	pQ4 jut.	Formación Jutía: Depósitos palustres
	alQ4 rio.	Formación Río Macío (unidad innominada): Depósitos en valles aluviales de composición y granulometría heterogénea.
	Q4 js	Formación Jaimanitas: Calizas biotriticas, carsificadas, fosilíferas con conchas bien preservadas.
	N ₂ -Q m ₁	Formación Río Maya: Calizas biohémicas dolomitizada, arcillas e intercalaciones de conglomerados polimicticos.
	N ₁ -N b ₂	Formación Baracoa: Calizas biotriticas arenáceas con alternancias de gravas y arcillas, calcarenitas, margas, areniscas y gravas.
	N ₁ ² -N cc ₁ ²	Formación Cabo Cruz: Calizas biotriticas arcillosas, fosilíferas, margas secundarias y pseudoconglomerados.
	P ₃ -N ci ₁ ¹	Miembro Cilindro: Conglomerados polimicticos con lentes de areniscas, que contienen lignito.
	P ₃ -N yt ₁ ¹	Formación Yateras: Alternancia de calizas detriticas, biotriticas y biógenas, duras, a veces aporcelanadas
	P ₂ ³ -sdc	Formación Sierra de Capiro: Limolitas y margas con intercalaciones de conglomerados de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas.
	P ₂ ² -chr	Formación Charco Redondo: Calizas compactas organo-detriticas, fosilíferas, de color variable.
	K-K byc ₁ ²	Formación Bucuey: Tobas y lavobrechas, tufitas, argilitas, limolitas, lavas, conglomerados y calizas.

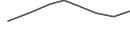
ROCAS MAGMATICAS

	gabros
	serpentinitas

ALTERACIONES

	Cortezas de Intemperismo
	Ultramafitas serpentinizadas

OTROS SIMBOLOS

	Contactos concordantes
	Contactos discordantes
	Fallas, límites tectónicos y contactos intrusivos (ver Nota)
	Límite de las extrusiones ultramáficas. White
	Elementos de yacencia
	Carreteras y caminos 123
	Líneas férreas 123
	Ríos y arroyos 123
	Ciudades y pueblos 123

Leyenda Mapa de sistemas de fallas.

1. Falla Cayo Guam.
2. Falla Queisgua.
3. Falla Cupey.
4. Falla Yamanigüey.
5. Falla Jiguaní.
6. Falla Taco.
7. Falla Nibujón.
8. Falla La Vaca Navas.
9. Falla Báez.
10. Falla Maraví.
11. Falla Toa.
12. Falla Naranjo.
13. Falla El Medio.

Leyenda Mapa de Bloques morfoestructurales.

1. Bloque Cayo Guam.
2. Bloque Cupey.
3. Bloque Jiguaní.
4. Bloque Taco.
5. Bloque Nibujón.
6. Bloque Navas.
7. Bloque Báez.
8. Bloque Toa.
9. Bloque Baracoa.
10. Bloque Naranjo.
11. Bloque Jaguaní.