

**REPUBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**TESIS EN OPCION AL GRADO CIENTIFICO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS GEOLOGICAS**

**TITULO: ESTUDIO MORFOTECTONICO DE MOA Y AREAS  
ADYACENTES PARA LA EVALUACION DE RIESGOS DE  
GENESIS TECTONICA**

**AUTOR: ING. ALINA RODRIGUEZ INFANTE.**

**MOA-1998**

## **SINTESIS**

La presente Investigación titulada Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica se ha realizado con el objetivo de profundizar en el conocimiento geológico tectónico del territorio de forma tal que permita establecer los sistemas de estructuras activas y bloques morfotectónicos, caracterizar los movimientos tectónicos contemporáneos y su incidencia en los sectores de máximo riesgo de origen tectónico.

Para lograr el objetivo propuesto fueron utilizados un conjunto de métodos geológico - geomorfológicos entre los cuales se encuentran los métodos morfométricos, de fotointerpretación geológica, trabajo de campo y estudio microtectónico. Paralelamente fue utilizada la información geodésica y geofísica de investigaciones precedentes.

Como resultado de los trabajos se determinaron las zonas geomorfológicas fundamentales, denotándose un predominio de las zonas con relieve de montaña sobre el de llanura, se cartografiaron los cuatro sistemas de estructuras tectónicas de fractura que cortan las rocas del área, caracterizándose cada uno en dependencia de su morfología y ambiente geotectónico de formación y se delimitaron nueve bloques morfotectónicos que se diferencian por sus rasgos morfológicos y tectónicos y que se desplazan entre si formando un sistema de horts y grabens, con una tendencia general al ascenso. A partir de los resultados antes relacionados se determinaron los diferentes tipos de riesgos a los cuales se encuentra expuesto el medio ambiente debido a la amenaza que constituyen los movimientos tectónicos en la región, estableciéndose cuatro zonas de magnitudes del riesgo total y se propusieron las medidas generales con vista a mitigar los efectos dañinos al medio.

INTRODUCCION

CAPITULO I. Caracterización Geólogo Geomorfológica del territorio.

Introducción.

Base Teórica de la Investigación.

Metodología de la Investigación.

Trabajos Precedentes.

Características Geológicas del Territorio.

Geomorfología del Territorio.

Conclusiones.

CAPITULO II. Morfotectónica y Geodinámica del territorio de Moa.

Introducción.

Rasgos geotectónicos evolutivos de la región.

Principales sistemas de fallas del territorio.

Bloques morfotectónicos.

Neotectónica.

Conclusiones.

CAPITULO III: Evaluación de riesgos de origen tectónico.

Introducción.

Metodología para el Análisis de Riesgo.

Amenaza Natural.

Riesgos Específicos.

Zonificación de Riesgos Tectónicos.

Conclusiones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

Recomendaciones

BIBLIOGRAFIA.

Publicaciones del autor.

Referencias Bibliográficas.

RELACION DE MATERIALES GRAFICOS.

# **INTRODUCCION**

## **INTRODUCCION .**

A raíz del cese de los convenios de colaboración de Cuba con los países del Consejo de Ayuda Mutua Económica y la desintegración de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, se hizo necesaria la mixtificación de la economía, de la cual es pilar importante la industria niquelífera que necesitó no sólo de la búsqueda de mercado para la venta de sus productos, sino también de inversiones que garantizarán su desarrollo tecnológico bajo las regulaciones y exigencias de la tecnología contemporánea.

El mayor por ciento de las instalaciones de la industria del níquel - actuales y futuras - se ubican en el territorio de Moa, el que se encuentra enclavado en una región de máxima complejidad geólogo-tectónica y en el cual han ocurrido recientes movimientos telúricos indicadores de una tectónica activa que puede causar daños a las obras industriales y sociales en funcionamiento o en construcción.

Lo anterior conllevó a la necesidad de determinar las principales estructuras tectónicas activas de la región para caracterizar la geodinámica del territorio 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 socioeconómicas ante la ocurrencia de procesos tectónicos.

A partir de este problema y a solicitud del gobierno municipal, el Centro Nacional de Investigaciones Sísmicas, GEOCUBA y el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en coordinación con la Unión de Empresas del Níquel se iniciaron los trabajos de investigación sismotectónica del territorio del que forma parte el presente trabajo, el cual se desarrolla en un área de aproximadamente 865 km<sup>2</sup> comprendida de este a oeste desde la zona de Santa María en la provincia Guantánamo hasta el río Cananova del municipio Sagua de Tánamo en la provincia Holguín, garantizándose que quedaran incluidas todas las estructuras que de forma directa o indirecta tienen influencia sobre la zona de Moa.

El objetivo de las investigaciones es profundizar en el conocimiento geólogo-tectónico del territorio de Moa que permita establecer los sistemas de estructuras activas y bloques morfotectónicos, caracterizar los movimientos tectónicos contemporáneos y su incidencia en los sectores de máximo riesgo de origen tectónico.

Es necesario dejar aclarado en esta introducción que no es objetivo de estas investigaciones el cálculo económico del impacto ambiental ante la ocurrencia de los procesos tectónicos y sólo se persigue la identificación de los factores o elementos del medio ambiente susceptibles de ser alterados o modificados por la acción de éstos, lo que constituye la etapa inicial en los estudios de impacto ambiental [22].

En la realización de las investigaciones se tomó como base la información geológica que sobre el territorio existe, la que se puede catalogar de variada y abundante, justificada por el gran interés que desde el punto de vista económico revisten los yacimientos de corteza de intemperismo ferroniquelífera, desarrollados sobre las rocas ultrabásicas serpentinizadas del complejo ofiolítico y los yacimientos de cromitas, también asociados a dicho complejo.

Desde el punto de vista tectónico las investigaciones precedentes han sido escasas, tal vez justificado por la alta complejidad tectónica de la región donde afloran las rocas de la antigua corteza oceánica emplazadas a través de un complejo proceso de acreción durante el periodo Cretácico-Paleógeno, al cual se han superpuesto eventos tectónicos más jóvenes. No obstante, es imprescindible aclarar que con anterioridad se han realizado investigaciones morfotectónicas y sismotectónicas a escala regional, así como en la C H A Oriente Norte y en el complejo hidroenergético Toa Duaba.

Sin embargo, para el territorio de Moa se hace cada día más necesario profundizar en el estudio tectónico, no sólo por la importancia que reviste para los trabajos de búsqueda, prospección y explotación de los recursos minerales existentes y el conocimiento estructural de las rocas sobre las cuales se desarrollan los mismos, sino también para garantizar una mejor proyección de las obras construidas por el hombre y protección del medio ambiente en general, constituyendo la presente investigación una novedad al realizar la clasificación morfotectónica a escala local y caracterizar los riesgos de la dinámica tectogénica en un sector de interés en el desarrollo industrial.

Para lograr el objetivo propuesto se partió de la hipótesis de que a pesar de existir un predominio o tendencia al levantamiento de la región, la presencia de formas contrastantes y alineadas del relieve, los desplazamientos laterales de elementos geológico - geomorfológicos e incluso en ocasiones rotacionales, y la propia ocurrencia de actividad sísmica en el territorio, indican la existencia de desplazamientos no homogéneos ni unidireccionales entre todos los sectores de la corteza terrestre, lo que debe reflejarse en su superficie. Por ello se procedió a la aplicación de los métodos

geológicos convencionales en conjunto con los métodos geomorfológicos y geodésicos para así realizar la interpretación y descripción de las estructuras presentes y con ello determinar las áreas de mayor peligro y riesgo ante los procesos geológicos de origen tectónico.

La consecución de las tareas propuestas a partir de la búsqueda, procesamiento, comprobación y sistematización de los resultados constituye sólo un punto de partida para el conjunto de tareas que deben emprenderse en la región con vista a hacer más eficiente e integral el uso de los recursos naturales, quedando implícito en ello tanto las reservas minerales como el medio geográfico.

Respecto a esta etapa de trabajo los resultados a obtener serán de aplicación y de hecho algunos ya han sido aplicados, en organismos y empresas del territorio o que operan en el mismo. Un ejemplo de esto ha sido la decisión de replantear la planta de amoníaco y la valoración de las variantes posibles para su ubicación definitiva, así como la monumentación y monitoreo geodésico de la presa Nuevo Mundo, profundizándose además en los trabajos en la zona de Quemado del Negro donde se construye la tercera industria niquelífera del municipio.

Al quedar concluidas las investigaciones los mapas tectónicos y de riesgo del territorio constituirán un material de indispensable consulta para la dirección de inversiones de la industria del níquel, la empresa constructora y el gobierno municipal en la planificación, proyección y construcción de obras sociales e industriales.

Similar papel jugará para los organismos e instituciones responsabilizados con el estudio, control y conservación del medio ambiente y factores de riesgos del ecosistema, al poder conocer los puntos de posibles alteraciones y con ello proyectar las tareas a desarrollar para evitar o minimizar los efectos de los procesos geodinámicos.

En cuanto a los trabajos de prospección geológica, la información obtenida referente a las zonas de afloramiento de las rocas del complejo máfico y ultramáfico conjuntamente con las condiciones geomorfológicas que caracterizan cada sector, constituye un criterio de orientación para la búsqueda y prospección más racional de las áreas de desarrollo de las cortezas de intemperismo de interés industrial, pudiendo incluso valorar la posible orientación de búsqueda de cortezas de tipo lineal en las zonas de fallas profundas así como en el estudio de posibles zonas de mineralización secundaria asociadas a los sistemas de fracturas.

Paralelo a ello los resultados del trabajo permitirán a los órganos de la Defensa Civil confeccionar los planes de medida ante desastres naturales y la proyección de obras de carácter militar.

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, que permiten su identificación con la aplicación de los métodos de fotointerpretación geológica y geomorfológica, los métodos morfométricos, trabajos de campo, estudios microtectónicos locales y el procesamiento de la información geodésica y geofísica existente sobre el territorio, asumiéndose como línea metodológica la determinación de los principales alineamientos a través de los métodos antes mencionados, búsqueda de los criterios que identificaran a éstos como estructuras tectónicas, procediéndose luego a su comprobación y caracterización, lo que permitió la determinación de los sectores o bloques morfotectónicos en que se encuentra dividido el territorio y que se diferencian entre sí por las medidas de las formas de relieve que lo caracterizan como son el 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. Finalmente se determinaron las zonas con diferentes grados de riesgo a partir de su posición respecto a las estructuras activas y elementos del medio ambiente expuestos a la amenaza tectónica.

Los resultados de las investigaciones se presentan en unas memorias escritas en tres capítulos y seis anexos gráficos.

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

- Encubrimiento de la información geológico tectónica originado por la actividad antropogénica. Este fenómeno se pone de manifiesto en ocasiones en sectores de gran complejidad lo cual ha ocurrido por recubrimiento de la superficie debido a los movimientos de tierra o por la propia obra construida como ocurre en el área de Las Camariocas y en el puerto de Moa o por alteraciones de la intensidad de cizallamiento de las rocas por el uso de explosivos en el proceso constructivo como sucede en la presa Nuevo Mundo y alrededores de las áreas de construcción de túneles y carreteras.

- La información geodésica ha sido utilizada en ocasiones con reserva debido a la existencia de puntos de control geodésicos en mal estado de conservación que han provocado incorrecciones en las nivelaciones reiteradas y la localización de algunos puntos geodésicos que aportan datos de poca utilidad geológica lo cual podemos ejemplificar con los puntos situados en la ladera oriental del Cerro de Miraflores ubicados a lo largo de la línea de falla y paralelo a lo largo de la carretera Sagua - Moa. Cobra importancia la ausencia de redes geodésicas en algunas áreas de interés como por ejemplo en toda la porción septentrional de las estructuras principales.
- Ausencia de materiales fotográficos a escalas detalladas, así como de fotografías aéreas 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. De igual forma, por limitaciones económicas no se ha podido hacer más intenso y adecuado de las imágenes cósmicas digitalizadas.
- Desde el punto de vista geológico, la gran complejidad tectónica que caracteriza el cinturón ofiolítico cubano y en especial su bloque oriental dado por la superposición de estructuras de diferentes génesis, estilos y períodos de formación lo que se agrava por la ausencia de perforaciones profundas, registros geofísicos detallados, en particular sísmicos y datos geodésicos históricos, estando limitado estos últimos al período 1990-1997.

A pesar de las limitaciones señaladas se desarrollaron las etapas de trabajo previstas y el objetivo propuesto fue cumplido, con la colaboración de investigadores del Centro Nacional de Investigaciones Sísmicas (CENAI), la Unión de Empresas del Níquel y el Departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

El autor con anterioridad a este trabajo ha desarrollado investigaciones relacionadas con la temática enmarcadas en el contexto regional y a diferentes escalas como son:

- Análisis Estructural del Macizo Mayarí - Baracoa, en los años 1980-1985 en proyecto conjunto con especialistas del Centro de Investigaciones Geológicas.
- Estudio Geólogo Geomorfológico de la Provincia Guantánamo, en el período 1985-1990 en coordinación con el CENAI.
- Estudio Fotogeológico y Morfométrico del área de Mayarí, en el período 1990-1991 en colaboración con la Empresa de Construcciones Militares de Holguín.

*A. Rodríguez Infante*

Como parte de estas investigaciones el autor ha dirigido un total de diecinueve trabajos de diplomas, ha publicado doce artículos científicos y los resultados han sido expuestos en diferentes eventos de ciencia y técnica, en los Talleres de Protección del Medio Ambiente *PROTAMBI '95* y *PROTAMBI '97* y en los Talleres Municipales de Sísmica.

# **CAPITULO I**

# **CAPITULO I: CARACTERIZACION GEOLOGO – GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO.**

**Introducción.**

**Base Teórica de la Investigación.**

**Metodología de la Investigación.**

**Trabajos Precedentes.**

**Características Geológicas del Territorio.**

**Geomorfología del Territorio.**

**Conclusiones.**

**Introducción.**

El esquema morfotectónico de un territorio establece la relación existente entre la tectónica nueva y el relieve actual con el objetivo de mostrar las morfoestructuras por su grado de actividad y pronosticar la posible incidencia de los procesos geotectónicos en el medio ambiente.

Dentro del objetivo del trabajo se encuentra la determinación de las principales estructuras activas del territorio y los bloques morfotectónicos que constituyen el mismo, haciéndose necesario estudiar las principales características geológicas que permitan conocer la sucesión de eventos geológicos y en particular tectónicos que han ocurrido en el desarrollo regional y con ello caracterizar la tendencia de la geodinámica actual, así como determinar las características geomorfológicas a través de las formas y medidas del relieve que muestren las condiciones geológicas y tectónicas bajo las cuales se originan y con estos criterios poder establecer los límites activos de los bloques morfotectónicos y los parámetros que lo identifican.

Es por ello que en este capítulo, después de establecer la base teórica que sustenta la investigación y la metodología seguida para su ejecución, se hace el análisis de las principales características geológicas y geomorfológicas del área que permiten la confección del esquema morfotectónico del territorio.

### **Base Teórica de la Investigación.**

La región de Moa constituye desde el punto de vista geológico y económico un área de marcado interés por la presencia de uno de los mayores yacimientos de níquel del mundo asociado a las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas desarrolladas sobre las rocas ultrabásicas serpentinizadas del macizo ofiolítico del nordeste de Cuba Oriental. Conjuntamente con los yacimientos niquelíferos se encuentran presentes otras manifestaciones minerales como las zeolitas, cromitas refractarias y otras materias primas no metálicas que hacen a la región altamente interesante y justifican el desarrollo minero metalúrgico de la misma.

Geológicamente el área se caracteriza por su gran complejidad encontrándose frecuentemente la superposición de eventos de edades y estilos diferentes que directa e indirectamente interfieren en la génesis, desarrollo y conservación de los yacimientos ferroniquelíferos, en el relieve y en la ocurrencia de fenómenos naturales de carácter geodinámico que afectan la actividad socioeconómica y alteran el medio ambiente. Dentro de estos últimos han tomado gran fuerza en la región los movimientos sísmicos como los ocurridos en marzo de 1992 de intensidad VI grados en la escala MSK y marzo de 1994 de intensidad IV en la escala MSK, los que se considera han sido originados por la reactivación de la llamada falla Sabana por algunos investigadores o zona de sutura según otros y que constituye el límite norte del Bloque Oriental Cubano con la Placa Norteamericana debido a las condiciones geotectónicas imperantes en Cuba oriental, condicionado por los movimientos asociados a la zona de fractura Cauto - Nipe y a la falla Oriente que limita la estructura cubana con la Placa del Caribe. Este comportamiento geotectónico a su vez mantiene activas las estructuras locales.

Es lógico considerar la importancia que para la región tiene la profundización de los conocimientos geólogo - tectónicos del territorio enfatizando en aquellas estructuras de carácter tectónico activo, la determinación de los sectores de máxima vulnerabilidad y riesgo ante eventos de génesis geodinámica, así como la caracterización tectónica de áreas constructivas para la prevención de daños ante desastres naturales.

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se hizo necesario determinar los principales sistemas tectónicos presentes en la región, caracterizando cada uno de ellos en dependencia de su edad, dirección, magnitud y papel que desempeñan en la configuración morfológica y tectónica actual del territorio. El estudio de estas

estructuras y sistemas a los cuales pertenecen, se realiza tomando como base la teoría movilista que explica las características y evolución de la litosfera terrestre, aplicando para ello un conjunto de métodos geológicos, geomorfológicos, geofísicos y geodésicos que garantizan un mejor cartografiado y mayor confiabilidad en las conclusiones sobre su influencia en los procesos geodinámicos.

Al quedar determinadas las estructuras tectónicas principales se estableció el sistema de bloques morfotectónicos en dependencia del estilo morfológico y caracterización tectónica lo que a su vez, permitió arribar a conclusiones sobre la dirección y magnitud de los desplazamientos bajo los efectos de los movimientos geodinámicos actuales. En la consecución de este objetivo fueron empleados métodos de microtectónica, datos de mediciones geodésicas cíclicas y frecuentes de las redes ya establecidas, así como la información geofísica.

En el caso específico de aquellas estructuras que por su edad, dimensiones y papel que desempeñan en los procesos geodinámicos actuales fueron consideradas de primer orden, u otras que son de gran influencia en la actividad socioeconómica de la región se realizaron estudios detallados.

Con los datos obtenidos en la solución de los problemas antes descritos se procedió a la confección del mapa de riesgo ante los fenómenos sismotectónicos que permite establecer las áreas de posible desarrollo socioeconómico así como la toma de medidas técnicas ingenieriles en las obras ya construidas en sectores de alta peligrosidad.

### **Metodología de la Investigación.**

La metodología seguida durante las investigaciones, que de forma resumida y por etapas de trabajo se presenta a continuación no difiere en esencia de la metodología de las investigaciones geológicas en general, pero que al aplicar de forma combinada los métodos morfométricos y fotointerpretativos con la información geofísica y geodésica existente hacen más económicos los trabajos geológicos.

Primera Etapa: Preliminar. El primer problema a solucionar lo constituyó el establecimiento del área de trabajo que debía garantizar que quedaran incluidas en ella todas las estructuras que de forma directa o indirecta condicionaran la dinámica de los sectores que conforman el territorio. Partiendo del objetivo propuesto en la investigación se asumió el área comprendida entre los ríos Cananova al oeste y Santa

María al este, extendiéndose de norte a sur desde la barrera arrecifal que bordea al litoral hasta la vertiente meridional del Alto de la Calinga que forma parte de la divisoria principal del sistema montañoso Moa-Baracoa, abarcando un área aproximada de 865 km<sup>2</sup> de las cuales 712 km<sup>2</sup> corresponden al territorio insular emergido y el resto a la zona acumulativa marina comprendida entre el litoral y la barrera coralina. Lo anterior se muestra en el anexo gráfico No. 1.

Según el sistema de coordenadas Lambert el área se encuentra enmarcada entre los puntos:

X: 680 000 - 721 000

Y: 207 000 - 232 000

En esta etapa de trabajo se estableció la escala, asumiéndose como escala básica para la aplicación de los métodos morfométricos y de comprobaciones de campo para los sectores de máxima complejidad la escala 1: 25 000, la escala 1: 50 000 para la presentación final y resumida de la información obtenida y la escala 1: 100 000 para la presentación de algunos anexos adicionales.

Se definió el conjunto de métodos a aplicar que comprenden la utilización simultánea de métodos morfométricos, de fotointerpretación geólogo geomorfológica, trabajos de campo y microtectónica con el uso además de informaciones adicionales geodésicas y geofísicas; se realizó la selección de los materiales primarios y se procedió a la búsqueda y revisión de la bibliografía.

Segunda Etapa: Fotointerpretación y Morfometría. Durante el desarrollo de esta etapa de trabajo se realizó la fotointerpretación del territorio 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 fotogeológicos y de los criterios directos e indirectos que permitieron la identificación de las mismas e incluso en algunos casos hasta poder determinar su grado de actividad y posibles riesgos, así como el estudio de las formas del relieve. Aquí debemos aclarar que aun cuando el estudio y clasificación de las formas del relieve no constituyó un objetivo específico de la investigación, se realizó teniendo en cuenta que a través de las geoformas quedan expresadas directa o indirectamente las estructuras geológicas sobre la cual éstas se desarrollan y en el estudio de los movimientos neotectónicos y caracterización de los movimientos neotectónicos, la génesis, evolución y sistematización del relieve constituyen criterios

directos de interpretación. Paralelamente a ello el estudio morfológico es un pilar básico en la valoración de los peligros y riesgos que pueden originarse a través de la actividad geólogo-tectónica. Paralelamente a ello se esclarecieron y en algunos casos se establecieron contactos entre las diferentes litologías aflorantes en el territorio, teniendo en cuenta que como objetivo del trabajo no se encuentra la confección del mapa geológico, asumiéndose desde un inicio la base geológica a escala 1: 100 000 de Quintas F. [93].

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 y las fotografías aéreas de coordenadas corregidas a escala 1: 100 000 en la confirmación y generalización de la información. En la interpretación fototectónica también fue utilizada la información aportada por las fotografías cósmicas digitalizadas del territorio del vuelo conjunto y los diagramas de alineamientos confeccionados a partir de estas.

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.

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

Tercera Etapa: Comprobaciones de Campo y Microtectónica. El trabajo de campo consistió en las comprobaciones de las estructuras determinadas durante la segunda etapa de trabajo en condiciones naturales, realizándose paralelamente las mediciones de los elementos de yacencia de grietas y fracturas a ambos lados de estas estructuras que pudieran servir de criterio para determinar el sentido del desplazamiento de los bloques a través de los movimientos geodinámicos. Se documentaron 120 puntos de afloramiento en las zonas de mayor complejidad geólogo tectónica y fueron medidas 7448 grietas que se procesaron estadísticamente con programas computarizados, confeccionándose un total de 57 Diagramas de Roseta y 12 Diagramas de Contorno, de los cuales 15 se muestran en las memorias.

Con las estructuras determinadas y comprobadas, se procedió al cartografiado de las mismas, con énfasis en aquellas que por su marcado interés socio - económico, alta complejidad o ausencia de reportes anteriores así lo requirieron.

Cuarta Etapa: Gabinete. En esta etapa se procedió a la interpretación y procesamiento de la información obtenida por los métodos antes relacionados, así como de la información geodésica proporcionada por las mediciones cíclicas que se realizaron según la línea geodinámica de Moa y en diferentes polígonos como la presa Nuevo Mundo y Las Camariocas y la información geofísica obtenida a través de los levantamientos aerogeofísicos de las provincias Guantánamo y Holguín [36, 66].

Como resultado del procesamiento de la información se procedió a la confección del mapa geomorfológico donde se sistematizan los dos tipos fundamentales de relieve que caracterizan la región, el 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 y el mapa de riesgos donde se muestran las áreas vulnerables ante los fenómenos tectónicos. La metodología seguida para la confección del mapa de riesgos está basada en la determinación de la vulnerabilidad de los elementos en riesgo ante la amenaza natural representada por los movimientos tectónicos en una zona geodinámicamente activa, la cual es explicada en el desarrollo del capítulo correspondiente.

Por último se confeccionó el informe final de la investigación y el plan de medidas a seguir para mitigar los daños al medio ambiente.

### **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 [1,2

y 3], 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 [1], 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, [3].

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 serpentiniticos 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 serpentinitica que Adamovich y Chejovich asignan al periodo Maestrichtiano, tienen un carácter esencialmente sinorogénico relacionado con los movimientos tectónicos de emplazamiento de los cuerpos serpentiniticos.

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.

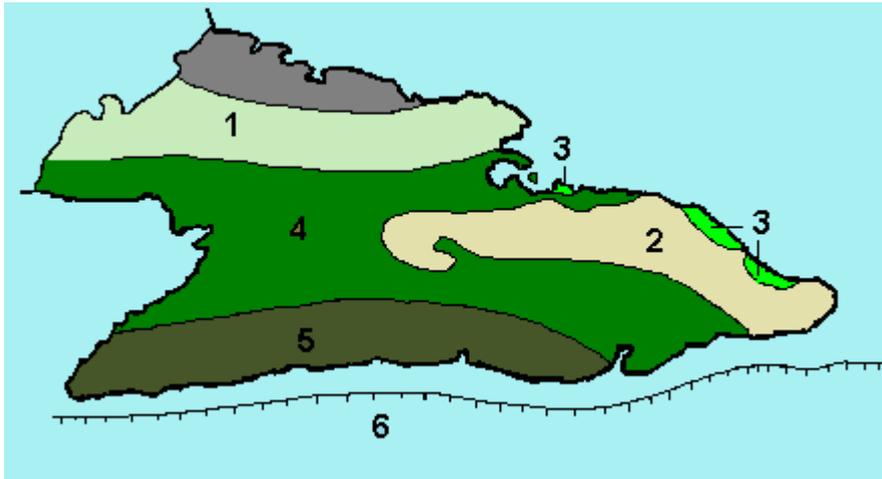
En la década del setenta se inicia una nueva etapa en el conocimiento geológico regional y como señala F. Quintas en su tesis doctoral [93], *....se fue abriendo paso la concepción movilista como base para la interpretación geológica.....*, especialmente con posterioridad a la publicación en 1974 de los trabajos de Knipper y Cabrera [63], 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.

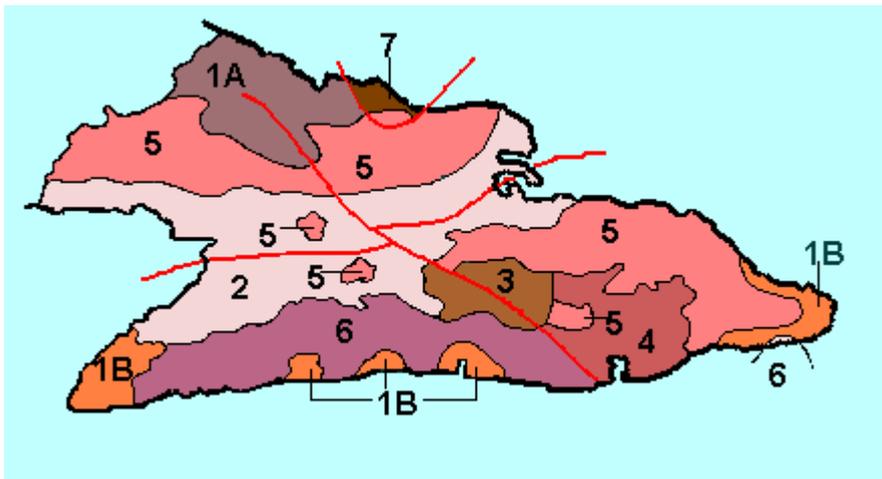
En 1972 se inician investigaciones de carácter regional del territorio oriental cubano por especialistas del Departamento de Geología de la Universidad de Oriente, luego Instituto Superior Minero Metalúrgico y en 1976 establecieron que la tectónica de sobrepunto afecta también a las secuencias sedimentarias 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 [31] subdividen las anteriores estructuras propuestas en seis zonas, como se muestra en la figura No.1.

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 [80], 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 como se muestra en la figura No.2.

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.



**Figura No.1:** Esquema tectónico según Cobiella y Rodríguez, (1980).  
1-Anticlinorium Camagüey - Holguín; 2- Anticlinal Oriental; 3- Cuenca Nipe - Baracoa; 4- Sinclinorium Central; 5- Anticlinorium Sierra Maestra y 6- Fosa de Bartlett.



**Figura No. 2.** Esquema tectónico según E. Nagy, 1976.1A- Margen Norte; 1B- Margen Sur; 2- Cuenca Guacanayabo - Guantánamo; 3- Sinclinorium Central; 4- Cuenca de Guantánamo; 5- Zonas precubanas; 6- Zona Caimán y 7- Zona Remedios.

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 geólogo-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 [18], 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 [93], 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 [84] y de la Central Hidro Acumuladora Oriente Norte [72] durante los años noventa que junto a los trabajos de Hernández J. [52, 53] 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.

### **Características Geológicas del Territorio.**

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el decursar del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objeto de la investigación.

En 1989, F. Quintas en su tesis doctoral, [93], realiza la clasificación geológica regional según ocho asociaciones estructuro-formacionales, de las cuales seis se encuentran representadas en el área de investigación. El se basó en la teoría que explica el origen y evolución de los arcos insulares, así como la formación de las plataformas, las etapas evolutivas y los conjuntos litológicos faciales típicos de cada estadio.

En 1996, Iturralde-Vinent [90], reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neoautóctono. El cinturón plegado según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfozados de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas.

En Cuba Oriental las unidades continentales están representadas por el Terreno Asunción [90], compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, la Fm.

Sierra Verde y la Fm. La Asunción, constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente, del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, las cuales no aparecen representadas en el área de estas investigaciones.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de *piggy back* del Campaniense Tardío-Daniense, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de *piggy back* del Eoceno Medio-Oligoceno. El neautoctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

La sistemática asumida por cada uno de los trabajos antes referidos de forma sintetizada se representa en la tabla I.

**Tabla I:** Litologías presentes en el área de estudio según Quintas F., 1989 e Iturralde-Vinent, 1996.

Litología.	Asociaciones Estructuro Formacionales F Quintas 1989	Elementos Estructurales Iturralde-Vinent, 1996		
Rocas Ultrabásicas serpentinizadas y Complejo básico	AEF de la antigua corteza oceánica	Ofiolitas septentrionales	Unidades Oceánicas	CINTURON PLEGADO
Fm. Quibiján	AEF del arco volcánico del Cretácico	Arco volcánico del Cretácico		
Fm. Santo Domingo				
Fm. La Picota	AEF cuencas superpuestas al arco volcánico del Cretácico	Cuencas <i>piggy-back</i> 1 <sup>ra</sup> generación		
Fm. Mícara				
Fm. Sabaneta	Arco volcánico del Paleógeno	Arco de islas volcánico del		
Fm. Capiro	Cuenca superpuestas de la etapa platformica	Cuencas <i>piggy-back</i> 2 <sup>da</sup> generación		
Fm. Majimiana Fm. Júcaro Depósitos Cuaternarios	Secuencias terrígeno – carbonatadas de la etapa de desarrollo platformico	<b>NEO AUTOCTÓNO</b>		

En estas investigaciones para la caracterización geológica del territorio se ha asumido como base la información aportada por estos trabajos, fundamentalmente en lo concerniente a la caracterización de los conjuntos litológicos, a los cuales se le han sumado los criterios de la fotointerpretación geológica, realizándose la corrección del cartografiado de algunos sectores según los datos aportados por las fotografías aéreas y los trabajos de campo como se muestra en el anexo gráfico No.3, y que se describen a continuación.

Iturralde-Vinent divide a las ofiolitas cubanas en: ofiolitas del cinturón septentrional, ofiolitas anfibolitizadas y ofiolitas de los terrenos sudoccidentales; dividiendo al cinturón septentrional en tres fajas principales: Cajálbana, Mariel-Holguín y Mayarí-Baracoa. La faja Mayarí-Baracoa a su vez la divide en tres macizos: Mayarí-Cristal, Sierra del Convento y Moa-Baracoa, al cual pertenecen las ofiolitas objeto de estudio.

El Macizo Moa-Baracoa se localiza en el extremo oriental de la Faja Mayarí-Baracoa. ocupando un área aproximada de 1 500 km<sup>2</sup> que presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, de gabros y volcansedimentario mientras que el complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo. Se estima un espesor de aproximadamente 1000 metros para el complejo ultramáfico y 500 metros para el de gabros [40], mientras que para el complejo volcansedimentario se ha estimado un espesor de 1200 metros, [93].

El complejo de rocas ultrabásicas aflora en toda la porción central y meridional del área y está constituido predominantemente por harzburgitas y subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Estas rocas se caracterizan por presentar un grado de serpentización variable, lo cual ha sido objeto de contradicción y explicado de modo diferente por varios investigadores, llegando incluso a considerarse el proceso como una manifestación de autometamorfismo de las intrusiones. Sin embargo, ha predominado el criterio de procesos dinamo-metamórficos durante la elevación y emplazamiento de las grandes masas peridotíticas a la superficie en presencia de agua, ya que la serpentización, como se ha señalado en diversas investigaciones se desarrolla más intensamente hacia los bordes de los macizos sobre todo, en los límites tectónicos de sobrecorrimiento de estos sobre las rocas autóctonas, en las zonas de fallas interiores de los macizos y en las zonas de contacto con las rocas básicas.

Las rocas de este complejo se caracterizan por presentar un color verde oscuro o gris verdoso y por un alto grado de agrietamiento. En las fotografías aéreas, ellas se identifican por su fototono gris oscuro homogéneo que en zonas de gran desarrollo de la corteza laterítica aparece moteado de gris claro.

Sobre estas rocas se forman relieves muy variados en dependencia del nivel hipsométrico que ocupan y por ende, del grado de desarrollo y conservación de la corteza de meteorización. Hacia la parte norte del macizo se observa un relieve de premontañas con cimas redondeadas, mientras que en la parte intermedia aparecen montañas de cimas aplanadas que hacia el sur se vuelven puntiagudas. Los parteaguas secundarios son rectos y alargados, con pendientes abruptas, siendo esto un criterio importante en su identificación. El drenaje es de configuración dendrítica, volviéndose angular debido al alto control tectónico sobre todo en los límites de los bloques, siendo típicos los valles en forma de V con pendientes fuertes, los que se hacen más amplios y menos profundos cuanto mayor es su orden. En la parte central, donde las cimas son aplanadas el drenaje es menos denso, observándose cauces estrechos y profundos con divisorias aplanadas, generalmente asociados a fracturas.

El complejo máfico está representado por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques y la mayoría de éstos se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. En el sector Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros, los llamados gabros bandeados y los gabros masivos en las partes más altas del corte. En el área de estudio el más común es el gabro normal de color oscuro algo verdoso con textura masiva o fluidal. Estas rocas presentan alteraciones superficiales en forma de finísimas irregularidades semejantes a un micro relieve cársico, originadas por la meteorización diferencial de los minerales que las componen entre los cuales están los piroxenos monoclinicos, plagioclasas básicas y en menor grado olivino y piroxenos rómbicos.

En la región de estudio los gabros afloran siempre asociados a las serpentinitas, apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua-Cayo Guam-Mercedita, Centeno-Miraflores y Farallones-Caimanes.

Fotogeológicamente los gabros se manifiestan con parámetros o criterios diferentes en dependencia de la intensidad de la meteorización. En zonas muy intemperizadas aparecen con un fototono claro, generalmente más claro que en las cortezas sobre serpentinitas, con un relieve aplanado donde se observan superficies rugosas.

En las zonas de relieve más abrupto se presentan con un fototono moteado gris oscuro y claro - casi blanco - con parteaguas en forma de cuchillas curvas y ramificadas en otras de menores dimensiones, semejando en las fotografías aéreas una estructura de roseta lo que puede estar relacionado con los procesos de erosión esferoidal típico para estas rocas. El drenaje en general es de configuración dendrítica, apareciendo a veces subángular debido al control tectónico.

El complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo.

El complejo vulcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico y está representado por la formación Quibiján, constituida por rocas vulcano-sedimentarias intruidas por gabro-pegmatitas, dioritas y diabasas. En la base se encuentran lavas y lavas-brechas, aglomerados y tobas gruesas de composición basáltica y basáltico-andesítica. En su conjunto son de color negro o verde oscuro. Las lavas son amigdaloidales, con amígdalas rellenas de cuarzo y clorita. La porción media superior de la formación se compone de lavas, lavas-brechas, tufo-lavas y en cantidades subordinadas tobas lapillíticas, las cuales se caracterizan por presentar una estratificación gruesa, a veces gradacional.

La edad aún se desconoce, ya que no se han encontrado fósiles que puedan revelarla. Algunos autores le asignan una edad Cretácico Inferior - Superior.

Area de afloramiento. Aflora en la región de Farallones, al sur de Yamanigüey y en un pequeño bloque de Cupey.

Fototono. Presenta tonos de gris claro a casi blanco de forma general, apareciendo moteado en la región de Farallones.

Relieve. Poco elevado y muy desmembrado, con parteaguas pequeños en forma de cuchillas, con pendientes de medias a abruptas.

Drenaje. Dendrítico, aunque en ocasiones se hace subángular por el control tectónico.

La formación Santo Domingo, única representante del arco volcánico cretácico en el área, está constituida por tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluyen además en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo.

Las tobas ocupan más del cincuenta por ciento de la formación, apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades cristalovitroclásticas y

vitroclástica. Las lavas aparecen en ocasiones con textura amigdaloidal, predominando las variedades porfidíticas, yaciendo en forma de mantos interestratificados casi concordantes con las tobas. A menudo, junto con las lavas se observan aglomerados de composición entre dacítica y andesítica, muy alterados. Se le asigna una edad Cretácico Aptiano - Turoniano.

Area de afloramiento. Aflora en la región de Farallones - Calentura y en una pequeña área en la localidad de Centeno.

Fototono. Gris moteado.

Relieve. De premontañas bajas con pendiente de medias a abruptas, con cimas puntiagudas, divisorias cortas, finas y muy ramificadas.

Drenaje. Dendrítico, con densidad variable que tiende a aumentar hacia los órdenes superiores.

Pertencientes a la cuencas de *piggy-back* de la primera generación del Cretácico Superior al Paleoceno Inferior, afloran en el área las formaciones La Picota y Mícara, de tipo molásico y flysch, acumuladas en algunos casos en zonas de intensa actividad tectónica, por lo que localmente pueden aparecer muy deformadas y formar parte de melanges.

La formación Mícara está compuesta de facies terrígenas y terrígenas carbonatadas de edad Maestrichtiano-Daniano. La secuencia inferior es de tipo molásica y la superior de tipo flysch. El límite inferior no se ha observado, pero se supone discordante sobre la formación Santo Domingo.

En la zona de Cananova, Quintas[93] reportó esta formación compuestas por areniscas de granos medios, con intercalaciones olistostrómicas compuestas de areniscas y gravelitas, con bloques de diversos tamaños de rocas ígneas básicas.

Area de afloramiento. Zona de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

Fototono. Gris claro, pero en algunos lugares aparece moteado como por ejemplo en la meseta de Caimanes.

Relieve. Sobre estas rocas se desarrolla un relieve de colinas bajas de cimas redondeadas y pendientes moderadas, con parteaguas cortos y finos, variando de forma gradual hasta convertirse en relieve casi llano hacia la parte norte.

Drenaje. Variado y poco denso en general, haciéndose más escaso hacia el norte. Su configuración es dendrítica.

La formación La Picota tiene una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado. Existen dudas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges acerca de su pertenencia a esta formación o si son brechas tectónicas.

De acuerdo a las características de esta formación se estima que la misma se acumuló a finales del Cretácico e incluso en el Paleoceno inicial, asociada al emplazamiento de las ofiolitas, que constituyeron su principal fuente de suministro.

Area de afloramiento. Aflora en la base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

Fototono. De gris medio a gris claro y en las zonas de contacto litológico aparece abigarrado.

Relieve. Relativamente alto, con elevaciones de cimas agudas y divisorias alargadas en forma de cuchillas, presentando pendientes altas.

Drenaje. Está representado por redes dendríticas.

La actividad volcánica del Paleógeno estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla, estando representada por las rocas del Grupo El Cobre y la formación Sabaneta de origen vulcano-sedimentario, aflorando sólo esta última en el área de estudio.

La formación Sabaneta está constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas, con intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y rara vez basaltos.

En Farallones el corte está compuesto por tobas vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, en menor grado argilitizadas, tufitas, calizas, radiolaritas, tobas vítreas y tobas cineríticas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación. La estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional.

En Los Indios de Cananova, en la base de la formación se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas, donde fueron encontrados fósiles que indican una edad Paleoceno-Daneano.

Area de afloramiento. En un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey.

Fototono. Presenta tonalidades claras de gris.

Relieve. Formando pequeñas elevaciones de cimas redondeadas y laderas suaves. Hacia el norte se presenta casi llano.

Drenaje. En la zona de Farallones donde el relieve es más elevado, el drenaje es de tipo dendrítico, espaciado; y donde existe control tectónico pasa a ser subangular. Hacia el norte la red fluvial se va haciendo escasa hasta casi nula.

Pertenece a las cuencas superpuestas o *piggy-back* de la segunda generación aflora en el área la formación Capiro compuesta por areniscas, aleurolitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos compuestos por cantos de serpentinitas, calizas y cristaloclastos de piroxeno y cuarzo. Hacia la base de la formación se localizan olistostromas de bloques de serpentinitas muy alteradas y diabasas. En muchos lugares se observa una clara gradación de conglomerados y areniscas. Los olistolitos de calizas organodetríticas contienen fragmentos de serpentinitas, cuarzo y hematita. Se le asigna una edad Eoceno Superior.

Area de afloramiento. Aflora en la región de Yamanigüey formando una franja a lo largo de toda la costa.

Fototono. Relativamente claro, desde el gris claro hasta el blanco.

Relieve. Muy bajo con colinas pequeñas onduladas de pendientes suaves.

Drenaje. Escaso.

El neoaútctono, constituido por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma continental, aparece representado en la región por las formaciones Júcaro y Majimiana que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por su yacencia monoclinas suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes.

La formación Júcaro está constituida por calizas margosas poco consolidadas y a veces por margas de edad Oligoceno-Mioceno.

Area de afloramiento. Aflora por toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

Fototono. Presenta tonalidades de gris claro a blanco.

Relieve. Bajo, formando pequeñas colinas redondeadas con pendientes suaves y aislados cayos en las costas.

La Formación Majimiana está constituida por calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de esta formación presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, conteniendo una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asignarle una edad Oligoceno Superior hasta el Mioceno.

Area de afloramiento. Aflora en la región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa.

Fototono. Tonalidades de gris medio a gris claro.

Relieve. Se presenta en forma de franja paralela al litoral, con un relieve poco accidentado representado por pequeñas colinas onduladas de poca pendiente.

Drenaje. Pobre, con valles que cortan la franja de afloramiento.

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 pequeño espesor.

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.

Area de afloramiento. Constituyen una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinua en las partes interiores.

Fototono. Se manifiestan con tonalidades de gris oscuro, en ocasiones se observan manchas de gris claro en las zonas de desembocadura.

Relieve. Estos depósitos se desarrollan en zonas de llanuras costeras débilmente onduladas, en zonas pantanosas parálicas y en las desembocaduras y cauces de los ríos sobre llanuras irregulares.

Drenaje. Pobre y en general sólo se observan los cauces de los ríos principales.

### **Geomorfología del Territorio.**

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.

Aunque no fue objetivo de este trabajo la determinación del origen y edad del relieve, por los resultados obtenidos con la aplicación del conjunto de métodos geólogo - geomorfológicos se hace evidente que aún cuando 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 Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados, [83].

A partir de esta clasificación regional y tomando como base los criterios de clasificación que Portela y otros [88], usaron en la confección del mapa geomorfológico del Nuevo Atlas Nacional de Cuba se procedió al estudio detallado de las formas del relieve y zonificación geomorfológica del área de trabajo mediante la aplicación de métodos de fotointerpretación geomorfológica, confección e interpretación de mapas morfométricos y observaciones de campo. Como resultado del estudio se clasificó el territorio en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas, con subtipos específicos que se describen a continuación y que se muestran en el anexo gráfico No.2.

Zona de Llanuras. Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur. 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 acumulativas marinas ocupan el área comprendida entre la barrera coralina y el litoral, llegando a formar parte en algunos sectores de la zona litoral como ocurre en el extremo noreste de Cayo Moa Grande, Punta de Río Moa, Quemado del Negro, Punta del Mangle y Punta Guarico de Yamanigüey.

La actividad erosiva en esta zona es prácticamente nula debido a la protección al oleaje que ofrece la barrera arrecifal, 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 sedimentos que en ella se acumulan proceden de dos fuentes fundamentales de suministro; los provenientes de la erosión de las cortezas lateríticas, transportados por los ríos que desembocan en la zona, siendo el Río Moa el de mayor aporte al poseer la cuenca de mayor extensión y atravesar extensos sectores descubiertos de vegetación por los trabajos de extracción minera, y los provenientes de la barrera arrecifal, que al constituir el rompiente del oleaje, es abrasionada en su porción norte frontal, siendo los detritos acumulados en su parte trasera.

Los valores de las formas del relieve no pudieron ser calculados para esta zona por falta de información batimétrica detallada, no obstante se puede asegurar la existencia de valores de pendientes predominantes de 0° a 3° y sólo en pequeños sectores aislados y en la estrecha franja que bordea la barrera pueden llegar hasta 6° y 9°.

Geomorfológicamente esta zona de llanuras acumulativas marinas constituye un elemento de vital importancia en el territorio, ya que por su carácter de cuenca cerrada conforma un receptáculo natural para todos los materiales arrastrados desde la zona socio-económica construida en el litoral y sus alrededores, incluidos los elementos contaminantes, lo que puede conllevar a la destrucción de la barrera coralina y con ella a la propia cuenca, lo que provocaría el surgimiento o intensificación de procesos destructivos en la zona insular periférica, afectando al medio ambiente en todas sus dimensiones.

Las llanuras fluviales fueron clasificadas en acumulativas y erosivo-acumulativas en dependencia del proceso predominante en su morfogénesis. Las primeras, las llanuras fluviales acumulativas se desarrollan en toda la franja norte del área, entre la línea litoral al norte, hasta los 100-110 m de altura hacia el sur, 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 Moa, Cayo Guam, Cananova, Yamanigüey y Quesigua.

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, en su mayoría de carácter antropogénico. Por otro lado, debido a su posición espacial e hipsométrica y sus pendientes que no sobrepasan como promedio los tres grados, 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.

Las zonas de llanuras fluviales erosivo-acumulativas se localizan en los valles de los ríos Cananova, Cabaña y Centeno, así como en la zona comprendida entre Quesigua y Cupey. En estas zonas la superficie topográfica pierde su regularidad al aparecer sectores de hasta 9° de pendiente, condicionando la existencia de procesos erosivos. La disección vertical oscila de 10 a 90 m/km<sup>2</sup>, mientras que las isobasas marcan hasta 100 m y 50 m para el segundo y tercer orden respectivamente. La cota mas alta para esta zona es de 126 m.

Los sedimentos que se acumulan en estas llanuras son de origen fluvial y su deposición es generalmente de carácter temporal, siendo removidos con frecuencia en los periodos de crecida.

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 y valores de isobasitas nulos, 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.

Toda esta zona de relieve de llanura de edad Cuaternario no ha estado exenta de la acción de los procesos tectónicos, pudiendo notarse con nitidez en el mapa la existencia de fallas que cortan y desplazan el relieve como la falla de rumbo nordeste que desplaza la llanura palustre del extremo oriental de área alrededor de 250 m, así como la llanura del norte y este de Punta Cabagán que está desplazada 750 m por una falla de dirección norte sur.

En ninguna de las numerosas fallas que cortan estas zonas llanas se aprecian saltos verticales pronunciados, lo que da una idea de la agresividad denudativa y del carácter rumbo deslizante predominante para los movimientos novísimos de la región, y sólo movimientos verticales como reajuste.

Zona de Montañas. Esta zona geomorfológica es la más extendida dentro del área de las investigaciones ocupando toda la parte sur y central, además del Cerro de Miraflores y las zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova.

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 sobre las cuales se desarrolla y del nivel hipsométrico que ocupan. Teniendo en cuenta esos parámetros la zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos:

Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas. Constituye la zona de transición gradual de las llanuras fluviales acumulativas y erosivo-acumulativas a las montañas bajas, como ocurre en la parte nordeste del área de la Mina Moa, apareciendo sólo como un sector aislado en Playa la Vaca al sur de Punta Cabagán, donde está bordeada por llanuras fluviales. Este zona se caracteriza por presentar elevaciones de poca altura que llegan en el área a valores máximos de 182 m y cimas aplanadas por los propios procesos denudativos, dentro de los cuales predominan la erosión por arrastre de las aguas superficiales y la meteorización que se hace intensa debido al dinamismo de las aguas subterráneas, aún cuando la conservación del eluvio sólo se hace posible en las cimas aplanadas como en Playa la Vaca, predominando para el resto de la zona suelos repositados de carácter temporal, mientras que en las hondonadas y microcuencas es típica la repetición de capas de perdigones, intercaladas con material arcilloso, lo que evidencia su carácter deluvial.

Para esta zona las pendientes llegan hasta los 12° mientras la disección vertical alcanza 100-150 m/km<sup>2</sup>. Este tipo de relieve en algunos sectores aparece cubierto por la actividad socioeconómica.

Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas. Se localiza en el área comprendida entre Cañamazo y Calentura, apareciendo en sectores aislados en las localidades de Cananova, El Cerro y Yamanigüey con elevaciones y cerros relativamente aislados de cimas redondeadas con pendientes variables que pueden alcanzar hasta los 15° y los valores de disección vertical llegan hasta los 130 m/km<sup>2</sup>. 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.

Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas. Esta forma de relieve es la que adquiere mayor importancia en el estudio de la región por el área que abarca y por estar a ella asociados los mayores yacimientos ferroniquelíferos.

Se desarrolla en toda la parte central y sudeste del área y corresponde al segundo nivel de la estructura escalonada que caracteriza la zona.

Los procesos de intemperismo son predominantes y están condicionados no sólo por la litología y el grado de agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrolla, sino también, por la posición hipsométrica que estas ocupan. Al mismo tiempo, al ser las pendientes de bajo ángulo - de cero a seis grados - existe una excelente conservación del producto meteorizado, siendo erosionado sólo en los barrancos y escarpes asociados al sistema fluvial que se encuentra controlado por dislocaciones tectónicas. Actualmente y desde el inicio de la actividad minera en la región, se ha intensificado el arrastre de suelos y la degradación en general debido a las áreas que han quedado descubiertas por la extracción del mineral. En esta zona de montañas aplanadas se encuentra la mayor cota de la zona correspondiente a la elevación El Toldo con 1174 m de altura, alrededor del cual se han desarrollado numerosas formas del relieve cársico. Para esta zona geomorfológica corresponden también los mayores valores del levantamiento que quedan evidenciados por rasgos morfológicos como barrancos, escarpes, formas cársicas, etc., y por los parámetros morfométricos como los valores de isobasitas que alcanzan 900 m para el segundo y oscilan entre 500-800 m para el tercer orden, llegando la disección vertical a variar en el rango de 200 a 550 m/km<sup>2</sup>.

Zona de montañas bajas diseccionadas. Esta zona se localiza en los extremos sudeste y sudoeste del área y en el Cerro de Miraflores. Las elevaciones que constituyen esta zona se caracterizan por presentar cimas alargadas de orientación predominantemente nordeste con vertientes de paredes abruptas altamente diseccionadas por los sistemas de fallas que cortan y desplazan tanto las divisorias principales como secundarias.

Los procesos morfológicos más abundantes son los erosivos fluviales y de forma subordinada los movimientos gravitacionales, los que son controlados por la vegetación que de forma general es abundante.

Los valores de la disección vertical oscilan entre 230 m/km<sup>2</sup> y 450 m/km<sup>2</sup>. Si se comparan estos valores con los de las montañas bajas aplanadas, parece haber una contradicción ya que en estas últimas los máximos del rango de variación del indicador de la erosión de fondo es superior. Sin embargo, esto se justifica por encontrarse las montañas aplanadas en niveles hipsométricos superiores en zonas que son afectadas

por los movimientos tectónicos de ascenso más intensos, haciendo que en sus sectores periféricos los desniveles de altura por superficie sean superiores.

Los niveles de base de erosión para los ríos de segundo orden alcanzan hasta 450 m en el área correspondiente a Sierra del Maquey y 300 m para Miraflores mientras que para el tercer orden son de 350 m y 90 m respectivamente. Por su parte las pendientes son altas, predominando los valores mayores de 9° con amplios sectores mayores de 15° e incluso, mayores de 30° en zonas asociadas con fracturas.

Geomorfológicamente a esta zona corresponden los mayores desplazamientos por fallas, siendo los casos más representativos la falla de orientación nordeste ubicada al nordeste de Cayo Perico que origina un rechazo horizontal de aproximadamente 90 m y la falla Cananova en el Cerro Miraflores con desplazamientos de alrededor de 1 km.

Conjuntamente con estas zonas geomorfológicas determinadas, aparecen en la región un conjunto de formas menores del relieve o elementos del paisaje que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional, son criterios de evaluación tectónicas y algunas representan un peligro para el medio ambiente. A continuación se hace un análisis de cada una de ellas partiendo de su origen e importancia en el contexto territorial.

**Formas Cársicas.** En las rocas del complejo ultramáfico, en el área comprendida entre las cuencas de los ríos Moa y Calentura por el noroeste y el cauce superior del río Jiguaní por el sudeste, correspondiendo a la parte más alta del peniplano antiguo y a las mayores elevaciones de las Cuchillas de Moa (700-1200 m), aparecen dolinas, sumideros, lapiez o karren así como otras formas cársicas típicas de la zona como las estructuras columnares y piramidales de extremos afilados y cuellos erosionados. Muchas de estas formas aparecen alineadas y orientadas en dirección nordeste y noroeste sirviendo como criterio de fotointerpretación de estructuras disyuntivas.

Núñez Jiménez [81, 82], 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 seudocarso en peridotitas, al plantear que el proceso que las origina no es por disolución, si no por lavado de los ocres 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.

El nombre de carso se le asignó a las formas exóticas del relieve presentes en la meseta de Karst en Yugoslavia donde se determinó una génesis por disolución de rocas solubles, generalizándose posteriormente el término para formas y génesis similares. Con el desarrollo de las investigaciones geomorfológicas se ha demostrado la existencia de estas formas sobre otras litologías donde no ocurre la disolución, por lo que se hace necesario reformular y hacer más extensivo la definición original de modo que incluya los procesos de sufusión dentro de las variables genéticas de las formas topográficas irregulares típicas del intemperismo químico.

Lo que es indiscutible en la región es la presencia de un sector de aproximadamente 120 km<sup>2</sup>, de los cuales 72 km<sup>2</sup> están dentro del área objeto de investigación, de formas de relieve no típicas de la litología presente y que se asocian cronológicamente con las formas cársicas de los niveles superiores de las terrazas de Maisí [82]. Con menor densidad, este fenómeno aparece con frecuencia en las laderas de los márgenes de algunos cursos fluviales como por ejemplo en el río Cayo Guam y en la zona norte litoral.

En los estudios paisajísticos, en la evaluación medioambiental 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.

Barrancos. Es muy frecuente dentro del territorio encontrar formación de barrancos en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tienen un fuerte control estructural. Estos barrancos alcanzan su mayor expresión en la parte centro meridional y llegan a desarrollar pendientes de hasta 45° con alturas máximas de 240 m, lo cual hace susceptible a estos sectores al deslizamiento y arrastre de suelos. Ante la actividad sísmica estos barrancos constituyen sectores de alta vulnerabilidad, no sólo por que su génesis está relacionada con las estructuras tectónicas activas del territorio sino también, por que favorecen la dinámica erosiva en su superficie que debido a las grandes pendientes se encuentran descubiertas de vegetación.

Existen otras dos formas del paisaje que aun cuando tienen un origen antrópico son tratadas en este epígrafe ya que deben constituir una preocupación constante para el hombre ante el peligro latente de las consecuencias que ellas puedan acarrear al medio ambiente.

Una de ellas son las áreas minadas y escombreras que con el crecimiento de la producción niquelífera se agigantan, constituyendo sectores descubiertos y desmembrados que aceleran el proceso de acarcavamiento, intensifican el arrastre de los suelos con la consabida ruptura del equilibrio fluvial y provocan la acumulación anómala de sedimentos en las zonas bajas.

La otra forma está constituida por las presas de colas que se multiplican en el paisaje moense y degradan progresivamente el medio físico.

En la actualidad en Moa aproximadamente 20 km<sup>2</sup> de la superficie están afectados por estos fenómenos, sin tener en cuenta las áreas descubiertas por la actividad constructiva social e industrial y vías de acceso y se prevé, que con la puesta en funcionamiento a corto plazo de la nueva industria niquelífera en construcción, esta cifra se agrande.

Estas formas, además de alterar morfológicamente la superficie constituyen sectores de pérdida de la cobertura vegetal lo cual no sólo altera el ciclo hidrológico sino también facilita la acción de un agente erosivo intenso como el viento, corriéndose el riesgo de un proceso de desertificación artificial.

### **Conclusiones.**

En el estudio geológico desarrollado en la presente investigación se pudieron determinar las áreas de afloramiento y zonas de contacto entre las diferentes litologías que conforman el substrato rocoso del territorio, siendo las rocas del complejo ofiolítico las que ocupan las mayores áreas, lo que en conjunto con el relieve de montañas bajas aplanadas que sobre estas rocas se ha desarrollado hace posible la formación y conservación de las potentes cortezas ferroniquelíferas.

Para cada litología presente se establecieron los criterios de fotointerpretación geológico-geomorfológica que permiten establecer los patrones fotointerpretativos para áreas colindantes o geológicamente similares. Estos criterios alcanzan su máxima importancia para los trabajos de búsqueda y prospección de los yacimientos ferroniquelíferos al quedar bien delimitadas las diferencias entre las rocas frescas y la

corteza laterítica desarrollada sobre las rocas ultrabásicas serpentinizadas, y entre esta última y la corteza sobre gabros.

En el desarrollo de estas investigaciones también se estableció como regularidad la disposición de los cuerpos de gabros en las zonas periféricas de las serpentinitas, apareciendo sólo de forma aislada pequeños cuerpos incluidos dentro del complejo ultramáfico en sectores de alta complejidad estructural. En ambas condiciones, el contacto entre los dos complejos y entre estos y las rocas más antiguas es de carácter tectónico.

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, lo que constituye el objetivo de la investigación y en específico, de la aplicación de los métodos geomorfológicos en la evaluación del riesgo de génesis tectónica, destacándose en este aspecto que el análisis geomorfológico fue de vital importancia en la caracterización de las estructuras tectónicas activas del territorio, al aportar criterios donde los otros métodos de investigación son de muy pobre información, en especial en las zonas llanas. 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.

Paralelamente a lo anterior fueron descritos elementos del paisaje, natural o antrópico, que son de vital importancia en la evaluación medio ambiental de la región y que deben tenerse en cuenta para la proyección de la actividad constructiva futura y en la conservación de las ya existentes.

## **CAPITULO II**

## **CAPITULO II. MORFOTECTONICA Y GEODINAMICA DEL TERRITORIO DE MOA.**

**Introducción.**

**Rasgos Geotectónicos Evolutivos de la Región.**

**Principales Sistemas de Fallas del Territorio.**

**Bloques Morfotectónicos.**

**Neotectónica.**

**Conclusiones.**

**Introducción.**

A pesar del gran número de trabajos desarrollados en el territorio con el objetivo de estudiar la génesis, distribución y reservas de los yacimientos ferroniquelíferos así como de los estudios regionales realizados sobre el complejo ofiolítico, ha sido insuficiente hasta la fecha el estudio tectónico detallado, el que se dificulta debido a la alta complejidad tectónica regional causada por la superposición de eventos tectónicos originados en condiciones geológicas contrastantes.

Con el objetivo de suplir esta deficiencia y dar respuesta a las necesidades de esclarecimiento del diseño tectónico del territorio para valorar las zonas de estructuras activas, el comportamiento y tendencia de la geodinámica actual así como las áreas de riesgos ante procesos sísmicos y tectónicos para garantizar la mejor proyección de las inversiones y medidas de protección, es que se realizó la presente investigación.

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.*” [101], 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, permitieron la medición de los elementos de yacencia de los sistemas de grietas que conforman la base del análisis microtectónico. Paralelamente a ello se interpretaron los mapas aerogeofísicos, en especial los mapas aeromagnéticos [66], así como la información geodésica

obtenida a través de las mediciones cíclicas realizadas por GEOCUBA en la línea geodinámica Moa [87].

### **Rasgos Geotectónicos Evolutivos de la Región.**

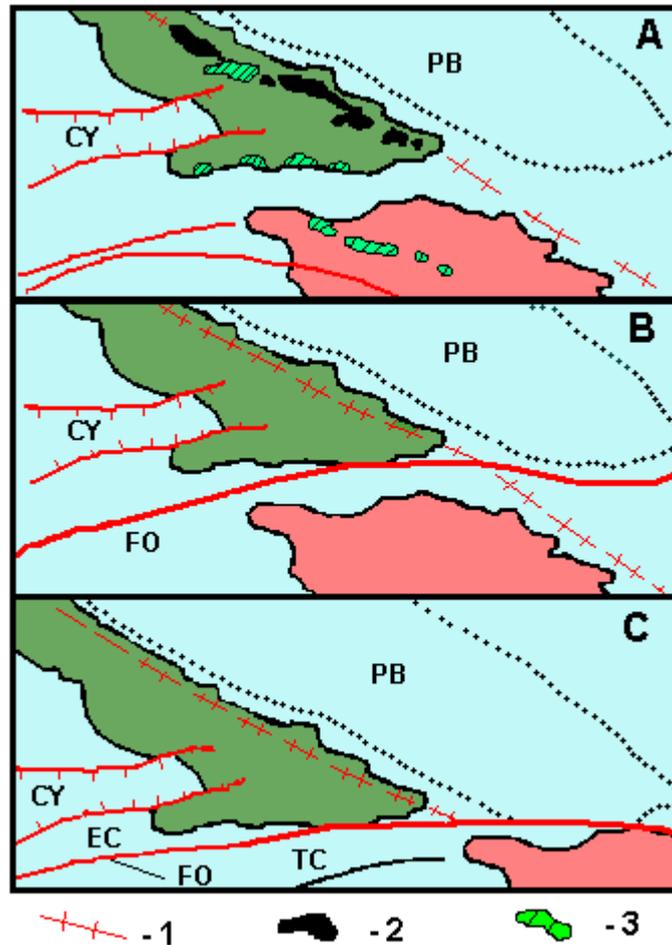
Antes de proceder al análisis tectónico detallado del territorio se hace imprescindible tener una idea de los principales rasgos geotectónicos regionales que condicionaron el surgimiento de las estructuras y su evolución en el tiempo. Para esta caracterización se tuvieron en cuenta los trabajos realizados por diferentes especialistas como M. Campos [18], Iturralde-Vinent [58], Lewis y Drapper [64], Morris [77] 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, [18].

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 [77, 86, 64], 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 No.3.

Este proceso de colisión no ocurre en el Bloque Oriental con iguales características que en el resto de Cuba debido al surgimiento a inicios del Paleógeno de la depresión tectónica Cauto - Nipe que demoró e hizo menos violenta la colisión.



**Figura No. 3:** 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 [7], que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

### **Principales Sistemas de Fallas del Territorio.**

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido tres sistemas de fallas que cortan a las rocas del complejo ofiolítico sin embargo, como resultado del desarrollo de las presentes investigaciones fueron cartografiados 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 J.[90], considera que éste se desarrolla en el periodo Campaniense Superior-Paleoceno Inferior.

Las fallas de este sistema aparecen frecuentemente cortadas y dislocadas por sistemas más jóvenes y no constituyen límites principales de los bloques tectónicos activos en que se divide el territorio actual.

Un ejemplo de estas estructuras es la falla ubicada al sur de Quesigua, al este del río de igual nombre, que pone en contacto las serpentinitas ubicadas al norte con los gabros que afloran al sur, así como las fallas que en El Lirial Abajo, Peña y Ramírez y Caimanes Abajo ponen en contacto a las serpentinitas con las rocas de las formaciones La Picota, Mícará y Quibiján respectivamente.

Muchas de las estructuras de este sistema se encuentran enmascaradas por las dislocaciones más jóvenes así como por las potentes cortezas de meteorización desarrolladas sobre el complejo ofiolítico. Estas fallas en su mayoría se encuentran pasivas lo que se demuestra por su pobre reflejo en el relieve, pudiendo notarse su presencia fundamentalmente por el contacto alineado y brusco entre litologías diferentes. Excepción de lo anterior lo constituye la falla ubicada al sur de Quesigua que aún se refleja a través de un escarpe pronunciado arqueado, con su parte cóncava hacia el norte que sigue la línea de falla, lo que consideramos está asociado a la actividad geodinámica actual del sector, que es considerado uno de los más activos dentro del territorio.

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 No.4 y los criterios para su identificación resumidos en la tabla II.

Falla Los Indios: Se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, atravesando hacia el norte la Bahía de Cananova y reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

Los criterios que permitieron identificar esta estructura son:

- Alineación de cursos fluviales y tramos rectos de ríos y líneas de costa.
- Contactos bruscos entre dos litologías diferentes, como por ejemplo entre los gabros y la Formación Sabaneta y entre esta y las serpentinitas.
- Desplazamiento de la línea de costa, barrera arrecifal y zonas pantanosas de hasta 0.7 km.
- Cambio brusco de valores morfométricos a ambos lados de la alineación.
- Desplazamiento de formas de relieve como ocurre en la zona de premontañas bajas ligeramente diseccionadas, que en el sector occidental de la falla tiene una extensión de hasta 2.5 km y de solo 1 km en el oriental, indicando un mayor levantamiento y por ende una mayor erosión.

En los mapas de anomalías magnetométricas locales de Liuby [67], esta estructura aparece reflejada a través de la alineación de un gradiente entre anomalías máximas positivas que llegan hasta 160 nT y negativas de hasta -40 nT. Este comportamiento magnetométrico es claramente reflejado por los métodos morfométricos. Según los

métodos y criterios geomorfológicos utilizados a través de esta estructura ocurren desplazamientos horizontales del sector de la corteza terrestre en dirección sur-sudeste para el bloque occidental y norte-noroeste para el oriental, como se puede ver en el anexo gráfico No.4. En el gráfico lineal del desplazamiento vertical de la línea geodinámica Moa, esta falla atraviesa la zona comprendida entre los puntos 69625 y 6147 que constituyen los dos puntos geodésicos iniciales, no aportando información válida al asumirse para el punto inicial el valor cero del desplazamiento vertical.

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.

En el gráfico lineal de los desplazamientos verticales que se muestra en la figura No.4 esta estructura se refleja por un salto de 8 mm en un periodo de 0.9 años (1993-1994) y de 10 mm en el intervalo de 4.59 años (1990-1994).

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.
- 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 como puede verse en la figura No.5.
- Límite brusco y alineado de zonas pantanosas.
- Intenso cizallamiento en la zona de fractura.
- 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 bloques de fractura.
- Límites alineados de depósitos del Cuaternario.
- Anomalías gravimétricas negativas máximas en el gráfico lineal de Bouguer.

La componente horizontal de los movimientos de falla en el periodo neotectónico es indicado por los criterios geomorfológicos en sentido norte-noroeste para el bloque occidental y sur-sudeste para el oriental, como se observa en el anexo gráfico No.4.

En el mapa del campo magnético esta estructura se marca por el cambio brusco del comportamiento entre ambos bloques, al este de la falla los valores de intensidad del campo alcanzan hasta 600 nT y al oeste son menores a -200 nT.

En la parte septentrional, cerca del litoral esta estructura es cortada por dos fallas paralelas entre si de orientación noreste que limitan un campo negativo menor a -400 nT, que a su vez constituyen los límites norte y sur de la zona Las Camariocas, lo que se muestra con nitidez en la fotografía No.1. La más meridional de estas estructuras coincide espacial y direccionalmente con un gradiente máximo, constituyendo los límites de una zona de valores negativos desplazada hacia el este, lo que da una idea de la alta complejidad tectónica del sector.

Falla Moa. Dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose mas recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W.

En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°E nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla la barrera como tal desaparece, quedando reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos.

En su conjunto forma la estructura más compleja, pero a su vez, de más fácil reconocimiento por su expresión nítida en la topografía. Los principales criterios que la identifican son:

- Alineación de sistemas fluviales con cauces profundos en forma de barranco y laderas muy escarpadas de pendientes mayores a treinta grados.
- Valores hipsométricos y morfométricos contrastantes entre cada uno de los bloques de falla. En la figura No.6 ( A, B, C y D ) se muestran las variaciones morfométricas en los alrededores de Calentura, entre las coordenadas Y: 219 000 y 214 000, destacándose las diferencias notables entre los valores de isobasitas de segundo y tercer orden, la tipología y densidad del drenaje y los valores de disección vertical entre ambos bloques de falla e incluso, las diferencias dentro del mismo bloque

occidental entre su parte norte y sur. En la fotografía No.2 se reflejan con claridad estos criterios.

- Desplazamiento de la línea costera a 1 km aproximadamente.
- Desplazamiento de formas del relieve.
- Orientación diferenciada del agrietamiento en los bloques formados por el sistema de fallas.
- Intenso cizallamiento según los planos de fracturas con sectores mineralizados por ejemplo en La Vigía.

Además de estos criterios descritos, debido a que la presa Nuevo Mundo está construida sobre la línea de falla, se realizaron mediciones geodésicas verticales y horizontales que indicaron desplazamientos en ambas direcciones. En cuanto a los movimientos verticales, se hizo evidente que los dos bloques de falla se levantan, con mayor intensidad para el bloque oriental; mientras que los desplazamientos horizontales presentan sentido contrario entre los bloques, creando un punto de tensiones en el nudo tectónico que forman las fallas Moa, Maquey y Caimanes, coincidiendo con la zona donde se encuentra la cortina de la presa

En el mapa del campo magnético esta estructura se refleja por varios criterios diferentes, existiendo variaciones en la forma de manifestarse, predominando los cambios en la alineación de los límites del campo positivo y negativo, haciéndose mas complejo hacia el norte, siendo el tramo La Veguita el que mejor enmarcado se encuentra.

En el tramo Yarey - Calentura la línea de fractura se enmarca con el cambio en la orientación y magnitud de las isolíneas positivas y negativas en el mapa de anomalías magnetométricas.

Según el análisis geomorfológico y topográfico el movimiento horizontal de los bloques de falla es muy complejo para esta estructura, indicando hacia la parte septentrional un desplazamiento noreste para ambos bloques de falla, mientras que en la parte meridional el bloque occidental se desplaza hacia el sudeste, lo cual será analizado durante la caracterización de los bloques morfotectónicos.

Falla Miraflores: Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E. Su límite meridional al parecer lo constituye la falla Moa al sur del área de trabajo.

Los criterios que permiten identificar la estructura son:

- Contacto brusco de litologías a ambos lados de la fractura como por ejemplo entre las serpentinitas y las rocas de la formación Quibiján y los gabros y entre las formaciones Quibiján y Mícará.
- Formación de escarpe de falla con pendientes por encima de los treinta grados y facetas triangulares, lo que puede ser observado en la fotografía No.3.
- Contacto brusco y alineado de formas del relieve.
- Desplazamiento de la línea de costa y zonas pantanosas de más de 0,5 km.
- Cambio brusco en la magnitud del desplazamiento vertical de los puntos geodésicos a ambos lados de la fractura, como se observa en la figura No.4.
- Cambio de valores morfométricos entre los bloques de falla.

Esta falla hacia su porción septentrional aparece desplazada hacia el oeste por fallas de dirección noroeste, y en su parte central es cortada por la falla de deslizamiento por el rumbo Cananova que será descrita posteriormente.

En el gráfico lineal de las anomalías gravimétricas se observa un gradiente elevado donde los valores máximos corresponden al Cerro de Miraflores y los mínimos al área de Centeno, 100 mGal y 84 mGal respectivamente.

Falla Cabaña. Se extiende desde el extremo centro occidental del área, al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande.

En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova tomando una orientación N56°E la que mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

Si bien es cierto que en algunos sectores el trazo de la falla topográficamente se pierde, debido fundamentalmente por la actividad antropogénica como ocurre en el tramo Los Pinos - Moa; esta falla es de fácil identificación a través de los siguientes criterios.

- Alineación fluvial.

- Alineación y desplazamiento de hasta tres kilómetros de la línea de costa en Punta Yaguasey, como se muestra en la fotografía No.4.
- Formación de escarpe de falla hacia su porción meridional.
- Cambio brusco de valores morfométricos a ambos lados de la falla.
- Cizallamiento intenso a lo largo del plano de fractura con presencia de abundante mineralización.
- Cambio en la magnitud del desplazamiento vertical entre puntos geodésicos situados a ambos lados del plano de fractura, como se puede observar en la figura No.4.
- Límite recto de zona pantanosa.

En el mapa del campo magnético esta estructura presenta un pobre reflejo, observándose solamente desplazamientos entre áreas de valores positivos y negativos de la intensidad del campo.

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 mas 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 el anexo gráfico No.4 y en la figura No.5.

- 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 parálicas.
- 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 si 1,7 km y equidistantes al plano de falla.

- Desplazamiento del contacto entre los gabros y las serpentinitas.

En el análisis geodésico no se observan desplazamientos verticales pronunciados entre los puntos situados a ambos lados de la falla y sólo se marcan con desniveles de 2 mm en el ciclo de mediciones 1990-1993. Sin embargo, los desplazamientos horizontales evidenciados por los parámetros geomorfológicos están en el rango de 0,75 - 1,0 km.

En el análisis de las variaciones del campo magnético esta falla presenta un pobre reflejo en su parte norte, sin embargo hacia el sur se observan orientaciones en los contactos entre las zonas positivas y negativas y como criterio más importante, el desplazamiento de una línea de gradiente de dirección noreste que en el bloque este de la falla se desplaza hacia el norte tal y como está considerado que ocurre en la estructura según los otros criterios interpretados.

Falla Maquey: Limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, asumiendo un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

Su cartografiado fue posible por la suma de criterios de morfometría y fotointerpretación como alineaciones fluviales, desplazamientos de divisorias y otras formas del relieve.

En el mapa del campo magnético local se definen sus rasgos por la discontinuidad de las líneas de anomalías positivas a ambos lados de la misma, con desplazamientos en la alineación de los cierres positivos. En el estudio fotogeológico se pudo determinar el desplazamiento de la falla Miraflores hacia el este con una magnitud de 1.5 km. en el punto donde se intercepta con esta estructura.

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 siete 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.

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, las cuales se denominaron Cananova y El Medio. 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 Cananova: Fue cartografiada a escala 1: 25 000 desde la Bahía de Yaguaneque hasta el poblado de Jucaral, presentando un rumbo predominante N53°W como se puede ver en el anexo gráfico No.4. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta.

Los criterios que permitieron su identificación son:

- Desplazamiento de formas del relieve, como ocurre con las montañas bajas diseccionadas y las llanuras fluviales abrasivas que son desplazadas hacia el oeste en la zona norte de Miraflores a Centeno lo que se observa en la figura No.7.
- Desplazamiento de la barrera arrecifal en la Bahía de Yaguaneque.
- Presencia de espejos de fricción.
- Desplazamiento de zonas pantanosas y línea de costa, como puede observarse en la fotografía No.5.
- Desplazamiento de estructuras geológicas como grietas, diques y contactos litológicos.

- Cambio de orientación de algunos elementos morfológicos y morfométricos como son las divisorias de aguas principales, cierres de isobasitas y superficies escarpadas.
- Contacto brusco y alineado entre los gabros y las serpentinitas.
- Variaciones de la orientación del agrietamiento, lo que se muestra en los diagramas de roseta, figura No.8 desde la A hasta la F

Según el análisis de los métodos aplicados se pudo determinar que a través de la falla Cananova ocurre un desplazamiento horizontal máximo de 1500 m hacia el noroeste del bloque norte respecto al sur y un movimiento rotacional izquierdo - antihorario - calculado en un valor medio de cuarenta grados de ese bloque norte.

Hacia el sudeste los criterios de falla en superficie se pierden bruscamente al penetrar esta la meseta serpentínica de potentes espesores de corteza que constituye el yacimiento Moa, sin embargo, tal y como se observa en la figura No.7 se proporciona un criterio antropogénico relacionado con la minería, ya que por la zona por donde cruza la falla no existe explotación minera, lo que puede estar dado por la posible existencia de mineralización secundaria asociada a la estructura o alteración en los espesores y contenidos del mineral.

El mapa de campo magnético local para la zona se hace sumamente irregular lo que puede estar originado por la alta complejidad geológica tectónica del sector debido a la cantidad de estructuras de variada orientación y las litologías presentes, donde se mezclan de forma caótica rocas básicas y ultrabásicas del complejo ofiolítico con rocas vulcanógenas y sedimentarias. Sin embargo, hacia la parte sudeste la falla queda bien enmarcada, al predominar en el bloque septentrional de la misma los valores negativos del campo y para el meridional los positivos, siendo el contacto entre ambas zonas de intensidades diferentes, alineado en igual dirección que la estructura.

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 anexo gráfico No.4 y en la figura No.5 . Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

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.

En el estudio microtectónico pudo determinarse que en el bloque sur se desarrollan cuatro sistemas de diaclasas, dos de orientación noreste y dos noroeste con un buzamiento promedio de  $82^\circ$ , mientras que en el bloque norte los cuatro sistemas fundamentales son noroeste con buzamiento promedio de  $67^\circ$  lo cual constituye un criterio para considerar la posible existencia de un movimiento rotacional antihorario del bloque Cupey norte respecto al sur.

En el esquema fotogeológico mostrado en el anexo gráfico No.3 puede observarse como esta estructura desplaza lateralmente los cuerpos de gabro y en ocasiones limita la extensión de los mismos, fenómeno que también se manifiesta en los depósitos parálidos.

En el mapa de anomalías magnéticas la estructura aparece orientada en una zona de predominio de valores positivos del campo, con pequeñas áreas de valores negativos paralelas al plano de fractura. Hacia el extremo sudoeste de la falla, donde no existen criterios de superficie para continuar su trazado, se observa la alineación de un gradiente que podría indicar una prolongación de la estructura. En general podemos decir que la información magnetométrica para esta estructura es poco representativa.

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, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos tributarios como el arroyo La Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado al oeste del Cerro Miraflores y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes.

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.

Existen en la zona otras estructuras de interés tectónico como es el ejemplo de las fallas Cupey y Arroyón que fueron estudiadas durante las investigaciones, documentadas y cartografiadas, pero que al no constituir límites de bloques no han sido descritas.

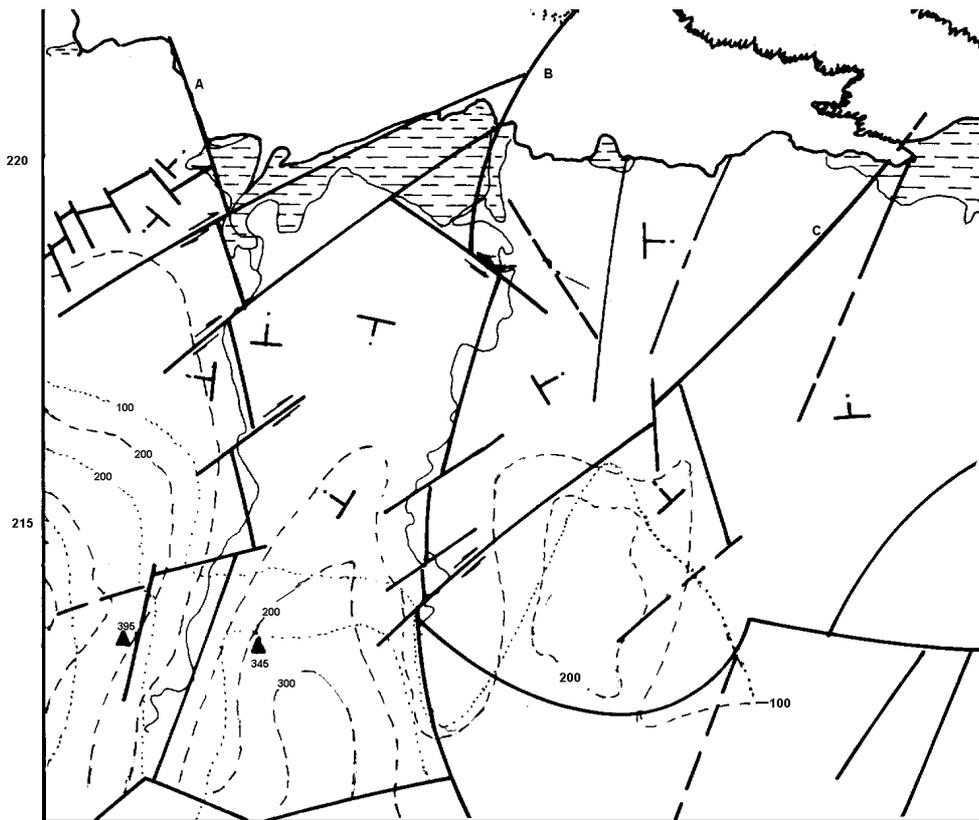


Figura No. 5. Zona de falla Cayo Guam (A) – Quesigua (B) – El Medio (C).

### **Bloques Morfotectónicos.**

En el levantamiento geológico de Guantánamo [48] 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 bloque Miraflores - El Toldo es el más grande del territorio y a él pertenece la mayor parte del área de estas investigaciones, siendo caracterizado en dicho trabajo como una estructura tectónica de elevaciones fuertes con terrazas marinas al sur de Moa y con una peniplanización en los alrededores del pico El Toldo, al cual le corresponde una anomalía gravimétrica de máximo local dentro de la tendencia general.

De igual forma, en los estudios realizados por Orbera [85] queda bien definido el carácter de los movimientos de ascenso para la zona que llegan a alcanzar 400 m en el periodo Plioceno - Pleistoceno y hasta 1000 m durante la etapa neotectónica en general.

El análisis detallado de las estructuras que afectan la región y los parámetros geológico-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 fue posible establecer el conjunto de bloques y sub-bloques morfotectónicos que conforman el territorio y el sentido de los desplazamientos entre ellos, que se describen a continuación, aparecen cartografiados en el anexo gráfico No.5 y las características generales de cada bloque resumidas en la tabla III.

Bloque Cananova. Constituye el extremo noroccidental del área de los trabajos, quedando sólo su parte oriental dentro de la misma.

Geomorfológicamente este bloque se caracteriza por presentar llanuras fluviales acumulativas, erosivo-acumulativas, y palustres, y al este del poblado de Cananova y al sur, en la zona de Cañamazo, Serrano y El 51 el relieve que se desarrolla es de submontañas ligeramente diseccionadas, con cotas máximas en el orden de los 150 m. Para este bloque los cierres máximos de isobasitas alcanzan valores de 50 m y 40 m para el segundo y tercer orden respectivamente mientras que los valores de disección vertical oscilan entre 10-70 m/km<sup>2</sup> en las zonas de premontañas.

Geológicamente este bloque está conformado en superficie por rocas pertenecientes a la cuenca marginal del paleoarco volcánico del Cretácico, formación Mícara; del neoarco volcánico de Paleógeno, formación Sabaneta; así como por la formación Júcaro perteneciente a la secuencia terrígena carbonatada de la etapa platafórmica.

En la parte baja del río Cananova y alrededor de su desembocadura afloran los sedimentos fluviales y parálicos del Cuaternario.

El drenaje para la zona es de densidad media a baja existiendo un marcado control estructural en la configuración fluvial, apareciendo en algunos sectores la red rectangular típica para zonas afectadas por dos dirección fundamentales de agrietamiento, en este caso una dirección aproximada de N40°E y otra de N45°W. Hacia la parte central y meridional del bloque aparece un sistema sublatitudinal que parece estar condicionado por las tensiones que originaron el surgimiento de la falla Cabaña que separa este bloque del ubicado al sur.

El control tectónico del relieve y el drenaje se hace más intenso hacia el norte pudiendo notarse con nitidez los desplazamientos de zonas pantanosas, línea de costa e incluso de la barrera arrecifal que bordea toda el área. La magnitud del rechazo horizontal que se observa en estos elementos del relieve oscila entre 0.5-1.5 km.

El límite oriental del bloque que lo contacta con el bloque Miraflores lo conforma la falla Los Indios de orientación predominante N28°W y que aparece cortada en varios puntos por estructuras de dirección noreste.

En la misma desembocadura del río Cananova la falla Los Indios se cruza con la falla Cananova así como con otros sistemas de dirección noroeste y nordeste conformando un nudo estructural que complica notablemente la morfología costera y de difícil interpretación sobre todo por la falta de información batimétrica detallada.

Para este bloque no se tienen datos geodésicos partiendo del hecho que el único punto ubicado en su área corresponde al punto inicial del gráfico lineal del desplazamiento en el que se asumió el valor cero para la velocidad de los movimientos verticales.

Bloque Miraflores. Se encuentra ubicado en la parte noroccidental del área teniendo como núcleo el Cerro de Miraflores y las laderas occidentales, norte y nororientales del mismo.

Está conformado litológicamente en superficie por las rocas del basamento del arco insular cretácico y de la antigua corteza oceánica - secuencia ofiolítica - con pequeños sectores en su porción suroccidental de afloramiento de las rocas de las formaciones Mícara y Sabaneta y al norte por la formación Júcaro y los sedimentos parálicos y fluviales del Cuaternario.

Geomorfológicamente el bloque se caracteriza por presentar montañas bajas diseccionadas en su mayor territorio, hacia el oeste y el norte presenta llanura fluviales acumulativas así como llanuras palustres en la parte correspondiente al litoral.

Este sistema de montañas desarrollado sobre las rocas del complejo ofiolítico se va a caracterizar por líneas divisorias alargadas con orientación principal norte-noreste condicionada por los procesos tectónicos que provocaron el emplazamiento de las ofiolitas y diseccionadas a través de numerosas fallas que la cortan, siendo la más significativa la falla Cananova que marca el límite entre dos sectores del bloque: norte y sur, diferenciados entre si por el comportamiento morfométrico, microtectónico y la orientación de algunos elementos geólogo-geomorfológicos que se analizan a continuación.

Morfométricamente se van a observar dos cierres para las isobasas y las isolineas de disección vertical, correspondiendo al sector septentrional valores de 150 m y 90 m para el segundo y tercer orden, mientras que en el meridional alcanzan hasta los 300 m y 100 m respectivamente, mientras que los valores de la disección vertical son de 230 m/km<sup>2</sup> para el norte y 390 m/km<sup>2</sup> para el sur, tal como se aprecia con claridad en la figura No.7. Las pendientes para este bloque son muy variables en dependencia de la litología y las estructuras tectónicas que lo afectan, encontrándose los mayores valores hacia el sureste, asociados a la zona de falla Miraflores que lo limita con el bloque Cabaña.

En el análisis microtectónico realizado alrededor de la falla Cananova se pudieron determinar variaciones bruscas del rumbo del agrietamiento en puntos cercanos situados a ambos lados de la línea de falla como ocurre entre los puntos A y B respecto a los puntos D y E de la figura No.8, llegando a tener localmente desviaciones de 70° entre los sistemas principales, sin embargo, cuando se realizó el diagrama resumen para las grietas situadas en ambos bloques se pudo observar que el sistema mas frecuente tiene una diferencia de solo 10° en el rumbo para el sub-bloque septentrional respecto al meridional, mientras que las grietas que ocupan la segunda posición en frecuencia de presentación se desvían 45°. Se observa también rotación en otros elementos del paisaje como son las divisorias de aguas principales que en el sur tienen una orientación noreste y en el norte es norte-noroeste con 40° aproximadamente de desviación, ocurriendo además en ese sentido el desplazamiento del área de afloramiento de los cuerpos de gabro, lo que se puede observar en el anexo gráfico No 3.

Todo lo anterior hace suponer que existieron movimientos rotacionales entre ambos sub-bloques que provocaron el cambio de posición y dislocación de las estructuras y que estos movimientos aún continúan.

El análisis de los datos geodésicos para este bloque se hace sumamente complicado debido a las diferentes estructuras que atraviesan la zona y la cercanía del punto geodésico inicial para el cual se asumió un valor convencional de cero en el movimiento vertical. No obstante a ello se hace significativo que en el gráfico lineal de desplazamientos verticales para el periodo 1990-1993 se observe una tendencia al levantamiento por encima de la media regional, lo cual esta en correspondencia con los criterios geológicos y geomorfológicos, sin embargo en los gráficos correspondientes al ciclo 1993-1994 esta tendencia cambia y se observan valores de descenso que alcanzan hasta -24 mm. De igual forma, en el análisis del gráfico de las anomalías de Bouguer realizado en las mediciones gravimétricas del año 1990 muestra para el bloque una anomalía que alcanza hasta 102.00 mGal.

La suma de estos criterios indica que este bloque se caracteriza por sufrir movimientos pulsantes, con tendencia general de desplazamiento norte-noreste con un mayor levantamiento de su parte oriental, lo que justifica las pendientes más abruptas y las mayores elevaciones hacia este sector; y más suaves hacia el sector occidental por degradación y compensación, y que a su vez, se encuentra dividido en dos sub-bloques que mantienen esa tendencia general de los movimientos horizontales y verticales pero que además, se mueven entre si con un movimiento rotacional izquierdo - antihorario - del sub-bloque norte respecto al sur.

Bloque Cabaña. Situado al este del bloque Miraflores, con orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande, y en su porción meridional, en la zona Cayo Grande-Caimanes Abajo, mantiene una dirección noroeste.

Geológicamente el basamento sobre la cual se sustenta la morfología de este bloque esta conformado por las tobas de la formación Santo Domingo, las rocas del complejo ofiolítico y sedimentos parálicos y fluviales en la zona aledaña al litoral.

El relieve es de llanuras erosivas y erosivo-acumulativas las que hacia el sur transicionan a submontañas ligeramente diseccionadas con divisorias de configuración arborescente. El drenaje es de densidad moderada a alta con predominio de redes dendríticas exceptuando los cauces primarios del río Cabaña cerca de la zona de intersección con el río Moa, donde aparecen redes enrejadas.

Los valores morfométricos que para este bloque se comportan con gran variabilidad evidencian una intensidad mínima de levantamiento relativo respecto a los bloques

laterales con una disección vertical máxima de  $100 \text{ m/km}^2$  en la parte centro - septentrional, disminuyendo hasta  $90 \text{ m/km}^2$  hacia el norte y  $40 \text{ m/km}^2$  hacia el sur.

Para el bloque los valores máximos del nivel de base de erosión para el segundo y tercer orden se alcanzan hacia el sur con 200m y 150m respectivamente, formándose cierres de isobasas de carácter muy local al suroeste y noreste de Caimanes Arriba y hacia el norte, en la zona de Playa la Vaca.

Al igual que el bloque Miraflores, este bloque se encuentra cortado por la falla Cananova presentando valores morfométricos diferenciados entre el sub-bloque norte y sur, desplazándose el sub-bloque norte según el plano de fractura en dirección noroccidental.

El sub-bloque más meridional - Cayo Grande - que en estas investigaciones es considerado perteneciente al bloque Cabaña, no está aún claramente definido, pues los valores morfométricos que presenta difiere notablemente del de los bloques situados al este, pero son intermedios entre los valores del bloque en el cual está incluido y el bloque El Lirial ubicado al oeste del mismo, sin embargo, la decisión de incluirlo en el bloque Cabaña y dentro de este como el sector mas levantado se debe a la presencia de la frontera activa que constituye la falla Miraflores que lo limita occidentalmente y a su constitución geológica dada por las rocas del complejo ofiolítico, no negando la posibilidad de que el sub-bloque Cayo Grande con los sub-bloques Cabaña Norte y Sur y el bloque El Lirial constituyan una sola unidad morfotectónica.

El sentido fundamental de los desplazamientos horizontales de este bloque es suroccidental como se muestra en el anexo gráfico No.5, y en cuanto a los movimientos verticales existen diversos criterios contradictorios ya que si bien es cierto que en la superficie actual abundan los rasgos del relieve y valores morfométricos que lo señalan como un bloque de mínimo ascenso o de descenso relativo en la actualidad, la constitución geológica de su superficie, dada mayoritariamente por las rocas cretácicas de la formación Santo Domingo y el complejo ofiolítico hacen suponer que esta tendencia no ha sido permanente desde el Mioceno Medio cuando se inicia el levantamiento general del territorio oriental y muy por el contrario, se comporta como una ventana tectónica, donde las formaciones terciarias y cuaternarias han tenido muy poco desarrollo o fueron erosionadas, lo que sólo se justifica por una tendencia predominante al levantamiento.

Este carácter oscilante y de gran movilidad para el bloque se manifiesta en la actualidad a través de los gráficos lineales de los desplazamientos verticales donde se

observa que en el ciclo de mediciones 90-93 el bloque Cabaña en su parte occidental se levanta mientras su porción oriental se hunde, invirtiéndose el sentido para el ciclo 93-94, sin embargo a la topografía mas elevada corresponde en este último ciclo movimientos negativos.

Bloque Maquey. Ocupa la porción suroccidental del territorio teniendo como núcleo del mismo las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey, limitado al norte por el bloque El Lirial a través de la falla Maquey y al este con el sub-bloque Calentura a través de la falla Miraflores.

Litológicamente está conformado en superficie por las serpentinitas sobre las cuales se desarrolla un relieve de montañas bajas diseccionadas de cimas alargadas dispuestas paralelamente entre si y a los cursos fluviales que la atraviesan como La Angostura, San Jiriguelo y Río Castro.

Morfométricamente se caracteriza por valores de isobasitas de 400 y 350 m para el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden y una disección vertical de 450 m/km<sup>2</sup> con cotas máximas de 791m.

Para este bloque las dos direcciones principales de agrietamiento son N40°W y N90° E, estando cortado además por fracturas submeridionales.

En el mapa de anomalías magnéticas locales los límites de este bloque quedan bien enmarcados por un alto gradiente entre valores máximos de 100-200 nT al sur y negativos de -80 nT al norte.

La caracterización de este bloque dentro del territorio se encuentra limitada por la ausencia de datos geodésicos y comprobaciones de campo; no obstante a ello y teniendo en cuenta la geodinámica regional, se considera que su desplazamiento es en sentido norte, debido a las tensiones originadas por el choque de la Placa del Caribe con el límite sur del Bloque Oriental Cubano.

Bloque El Lirial. Espacialmente ocupa una posición intermedia entre el bloque Cananova con el cual limita al norte a través de la falla Cabaña y el bloque Maquey al sur. Tectónicamente, en cuanto a la magnitud del desplazamiento vertical ocupa también una posición intermedia entre ambos bloques, quedando como un escalón de transición entre un bloque de intenso levantamiento al sur y el sector de mínimos levantamientos relativos al norte.

En el área que ocupa el bloque las rocas que afloran son las pertenecientes al complejo ofiolítico y las formaciones Mícara, La Picota y Sabaneta, sobre las cuales se desarrolla un relieve de submontañas y premontañas ligeramente aplanadas.

Morfométricamente se caracteriza por valores de isobasas de 200m y 150 m para el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden respectivamente, y una disección vertical que oscila entre los 60 y los 130 m/km<sup>2</sup>, con cotas máximas de 350 m.

La caracterización de este bloque, al igual que el bloque Maquey, se encuentra limitada por la ausencia de datos geodésicos, estudios microtectónicos y observaciones de campo, estando basada su descripción e interpretación a los criterios morfométricos y fotogeológicos; por lo que persisten algunas dudas en cuanto a su extensión y subdivisión al existir dos zonas que se diferencian en los parámetros estudiados dando la posibilidad de tratarlos como dos bloques independientes tal como se hace en el presente trabajo.

Bloque Moa. Se encuentra ubicado en la parte centrooccidental del área de trabajo, al este de bloque Cabaña con el cual contacta a través de la falla de igual nombre y al este con el bloque El Toldo según la falla Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de una franja cóncava hacia el este.

En este bloque afloran las rocas del complejo ofiolítico en el mayor porcentaje de su superficie. Hacia el sur, en la zona de Calentura afloran las rocas cretáceas de la formación Santo Domingo, mientras que hacia el norte existe una extensa área de desarrollo de sedimentos fluviales y palustres del Cuaternario.

Geomorfológicamente para el bloque es predominante el relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas lo que junto a las condiciones litológica permite, que en el sector exista un intenso desarrollo y conservación de las cortezas de meteorización lateríticas, que a su vez condicionan las densidad del drenaje que sólo aumenta en las laderas abruptas, coincidiendo con las alineaciones tectónicas. Los cursos de agua permanentes van a presentar cauces en forma de barrancos profundos y estrechos. Hacia el norte el relieve transiciona a premontañas bajas y aplanadas y de ahí a llanuras fluviales y palustres las cuales se encuentran cubiertas por las construcciones socioeconómicas de Moa.

Morfométricamente el bloque va a presentar características intermedias y contrastantes con las elevaciones máximas del este y la llanura fluvial del río Cabaña lo que

conjuntamente con los valores hipsométricos hace considerar al mismo un peldaño intermedio de transición en la estructura escalonada regional.

Los valores de las isobasitas se encuentran entre los 350 m y 300 m para el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden y sólo disminuyen de forma brusca en la llanura cercana al litoral. La intensidad de la erosión de fondo está marcada por valores de la disección vertical que para la parte norte y central está en los 220 m/ km<sup>2</sup>, mientras que el sub-bloque sur que se encuentra separado de este por el efecto de cuña del sub-bloque Cayo Grande presenta valores del orden de los 370 m/km<sup>2</sup>. Esto se explica por las variaciones litológicas, ya que en este sector afloran predominantemente las tobas de la formación Santo Domingo mas resistente a la meteorización lo que ha provocado que el relieve aparezca mas diseccionado y que las elevaciones presenten cimas redondeadas con orientación noroeste al igual que el bloque.

Geodésicamente este bloque tiene un comportamiento contrario, contrastante con el bloque Miraflores ya que en el gráfico lineal correspondiente al ciclo 1990-1993 los movimientos son negativos respecto al nivel medio regional, mientras que en el ciclo 1993-1994 le corresponde movimientos de ascenso notable que alcanzan hasta ocho milímetros sobre el nivel cero y veinte y cuatro milímetros sobre la media.

En el mapa de campo de intensidad de radiaciones gamma [36], el límite oriental de este bloque queda bien definido por la alineación de un gradiente entre valores máximos al sur y mínimos hacia el norte.

Microtectónicamente las mediciones realizadas al norte de Nuevo Mundo y de Calentura dan para este bloque una dirección predominante de los planos de fractura de N20°E.

Inicialmente el límite noreste del bloque fue considerado como la prolongación de la falla Moa en la estructura La Vigía que atraviesa la Bahía Yaguasey, pero estudios mas detallados nos permitieron determinar su límite exacto que se desplaza hacia el este al norte de La Veguita extendiéndose hasta Punta Yagrumaje.

La falla Cananova corta también este bloque por lo que al analizar los anexos gráficos 4 y 5 quedan establecidos con diferentes posiciones los sub-bloques Calentura, Caimanes, Aeropuerto y La Vigía, este último constituido por la cuña resultante de la bifurcación de la falla Moa en sus tramos La Vigía y La Veguita.

En los inicios de estas investigaciones, lo que hoy se denomina como sub-bloque Calentura fue considerado un bloque independiente, debido a las pequeñas variaciones morfométricas, justificadas por las características litológicas. Geodinámicamente su

comportamiento es similar al resto del bloque Moa, exceptuando el sentido de los desplazamientos horizontales que en los sub-bloques norte y central es noreste y para Calentura es sureste, lo que se debe al efecto de cuña del sub-bloque Cayo Grande que lo presiona desde el oeste, y al carácter descendente de este respecto al bloque El Toldo

Bloque El Toldo: Ocupa la posición central del área de estudio y es el de máxima extensión, correspondiéndole también los máximos valores del levantamiento relativo de la región.

Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas.

El drenaje es de densidad media a baja, lo que está condicionado por las potentes cortezas de intemperismo que cubren al área y favorecen la permeabilidad del suelo y al intenso control estructural del drenaje que condiciona la formación de barrancos.

En este bloque aparecen desarrolladas formas del relieve cársico en peridotitas ubicadas alrededor de las elevaciones máximas, siendo el punto de mayor cota El Toldo con 1174 m sobre el nivel del mar.

Los parámetros morfométricos para este bloque son los más relevantes al tomar valores que indican la máxima intensidad de levantamiento con isobasitas que cierran en 900 m y 800 m para el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden respectivamente y valores de la disección vertical de 550 m/km<sup>2</sup>. Los rangos de pendiente son contrastantes, teniendo en la cima de 6° a 9° promedio, con sectores interiores de 0°-3°; mientras que en los límites del bloque, fundamentalmente en el occidental enmarcado por la falla Moa, llegan los valores a ser mayores de 30°, alcanzándose las máximas pendientes en los barrancos de los afluentes principales.

Hacia la parte norte, en su prolongación dentro de la zona marina puede notarse la pérdida de la barrera arrecifal desde la intersección de la falla La Veguita hasta la falla Quesigua, donde sólo queda como testigo de su existencia un banco de arena de morfología similar, lo que se considera constituye un índice de los movimientos diferenciales entre los bloques.

Los análisis microtectónicos realizados para el bloque indican la existencia de una dirección máxima de agrietamiento de rumbo N85°W como se muestra en la figura No.

9 ( J y K ), apareciendo otras dos direcciones importantes, una sublongitudinal y una de dirección noreste. En este bloque y sólo de forma similar ocurre en los bloques Maquey y Cupey, aparece el sistema de fracturas norte-sur en el cual no se manifiestan desplazamientos horizontales y verticales intensos, lo que consideramos se debe a un proceso de descompresión, al ser el bloque de máxima intensidad de levantamiento reciente.

El límite nororiental de este bloque está dado por la falla Cayo Guam, mientras que al sur limita con el bloque Cupey a través de la falla Quesigua.

En el mapa de anomalías magnéticas se puede notar que en el extremo suroccidental del bloque, entre las fallas Moa y Arroyón se desarrolla una zona de valores negativos anómalos a pesar de que la información geológica indica que en todo el sector afloran las rocas ultrabásicas del complejo ofiolítico. A partir de estos elementos Batista J. [12] consideró que en ese sector las rocas ultrabásicas constituían una delgada capa en la superficie, mientras que en profundidad y muy cercano a esta se encuentran los gabros. Si realmente esto ocurre, hay que entrar a considerar la existencia de un sub-bloque o incluso de un nuevo bloque para ese sector a partir del hecho de que ese fenómeno sólo sería justificable a partir del ascenso de esa zona respecto a la del resto del bloque El Toldo. En este trabajo no se concluye al respecto por falta de información de campo y mediciones geodésicas, que se hacen mas necesaria debido al pobre reflejo topográfico y morfométrico.

En el análisis del gráfico lineal de los desplazamientos verticales -figura No.4- se observa que en el periodo 1990-1993 los puntos ubicados por este bloque marcan un ascenso relativo respecto al bloque Moa, mientras que en el periodo 1993-1994 y 1990-1994 marca un descenso siendo su comportamiento similar al del bloque Miraflores.

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.

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.

Morfométricamente los valores máximos de la disección vertical son de 230 m/km<sup>2</sup> 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, sin embargo, en los estudios microtectónicos realizados en las márgenes oriental del río Cayo Guam y occidental del río Quesigua se determinaron dos direcciones noreste una N5°E y otra N78°E, apareciendo sólo una dirección noroeste predominante al noreste de Monte Lejo lo que puede estar condicionado por un nudo estructural que se forma al cruzarse dos sistemas noreste y uno norte-sur.

En el análisis de los gráficos de desplazamientos verticales de la línea geodinámica Moa mostrado en la figura No.4, este bloque queda bien delimitado en los ciclos diciembre 1993-noviembre 1994 y abril 1990-diciembre1993, así como en el gráfico lineal de las anomalías de Bouguer.

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 coordenada 721 000 tomada como límite convencional del área de estudio.

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 Majimiana 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/km<sup>2</sup> descendiendo hasta 290 m/km<sup>2</sup> y 240 m/km<sup>2</sup> al este y norte respectivamente.

En el estudio microtectónico se hicieron evidentes 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 con agrietamiento orientado en las direcciones N50°W y N30°W para el sub-bloque Cupey Norte y N50°E y N90°E para el sub-bloque Cupey Sur, que evidencian 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, Cupey y Jiguaní con valores morfométricos diferenciados. Los sub-bloques Cupey Norte y Sur quedan bien caracterizados en este trabajo, no ocurriendo lo mismo para los situados al sudeste debido a la ausencia de información geodésica y trabajos de campo.

### **Neotectónica.**

En el estudio sismotectónico de la Central Hidroenergética Toa-Duaba realizado por la Empresa Integral de Proyecto de la Industria Básica [84], 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 centenares 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 del territorio, 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 Bahía de Cayo Moa hasta la desembocadura del río Quesigua, formándose en el plano una estructura escalonada con tramos de hasta tres kilómetros de longitud, mostrado en el anexo gráfico No.4.
- Desplazamiento e interrupción de la barrera arrecifal coralina, lo que se observa al norte de la Bahía de Yaguaneque, Punta de Piedra, frente a Punta Cabagán, Bahía de Cayo Moa y 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 y en ocasiones formación de facetas triangulares o trapezoidales lo que se puede observar en la zona de Conrado, ladera oriental del Cerro Miraflores, periferia de la Sierra del Maquey y al noroeste del Alto de La Calinga.

- Encajamiento de valles fluviales, por ejemplo los ríos Calentura y Moa alrededor de la zona de Nuevo Mundo y del río Jiguaní al sureste.
- Desplazamiento lateral de valles fluviales, fenómeno que alcanza su máxima expresión en la desembocadura del río Cayo Guam y en el río Cabaña.
- 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 Cananova, Cabaña, Quesigua y Jiguaní.
- Desplazamiento de líneas divisorias o partes de aguas principales, como ocurre en El Cerro de Miraflores.
- 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 ambas márgenes del río Moa.
- 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 para el segundo y el tercer sistema de estructura, pero en particular queremos referirnos a los desplazamientos originados por las fallas Cayo Guam y Miraflores que además de provocar desplazamientos horizontales ponen en contacto brusco zonas geomorfológicas diferentes. Esto se nota con claridad en el anexo gráfico No.2.
- Ocurrencia de actividad sísmica, la cual se ha manifestado a través de dos eventos de magnitudes moderadas en los años 1992 y 1994, [108] y numerosos de magnitudes pequeñas registrados instrumentalmente.

Después de haber realizado la caracterización de las estructuras tectónicas y los principales índices de los movimientos neotectónicos que le dan un carácter activo contemporáneo a la tectónica regional, se puede hacer referencia a las condiciones geotectónicas imperantes.

En los estudios neotectónicos y geomorfológicos regionales que se han consultado de forma unánime se reconoce la existencia de movimientos de levantamientos que caracterizan la geodinámica actual del territorio, coincidiendo todos en señalar a la zona de El Toldo como el sector de máximo ascenso relativo sin embargo, no se hace referencia a otras formas de movimientos actuales.

Si bien es cierto que en estas investigaciones es aceptada como válida la existencia de movimientos predominantes de ascenso en la región, se han encontrado evidencias de hundimiento relativo y de desplazamientos horizontales a través de las fallas activas o reactivadas que dividen los bloques morfotectónicos, y que han sido tratados individualmente en este trabajo para cada estructura.

Estos movimientos neotectónicos en la región ocurren como consecuencia del empuje del Bloque Oriental Cubano contra la Plataforma de Bahamas, en la zona de sutura, debido al campo de esfuerzos compresivos [7] generado a través de los movimientos transformantes entre la Placa Norteamericana y la Placa del Caribe, que se desplazan entre sí con una velocidad absoluta de 20 mm / año [ Lundgre y Russo, 1996 ], o 15 mm / año [ Mann y otros ].

Estos esfuerzos al mismo tiempo que generan para la región la formación de nuevas estructuras tectónicas, provocan la reactivación de estructuras surgidas bajo condiciones geodinámicas diferentes, tal y como ocurre con las fallas del sistema noreste y norte-noroeste, que genéticamente están asociadas al proceso de obducción del arco volcánico cretácico sobre el paleomargen de Bahamas y que bajo las condiciones transpresivas actuales, constituyen planos a través de los cuales ocurren desplazamientos horizontales.

Este mecanismo de reajuste de la corteza por choques y desplazamientos al mismo tiempo que produce movimientos rotacionales, levantamientos y hundimientos relativos de unos bloques respecto a otros, origina también dentro de una misma morfoestructura movimientos diferenciales, tal como se evidencia en el bloque Cabaña, donde alrededor de un eje subhorizontal de orientación noreste ocurre el basculamiento.

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 No.5, quedando además establecido que en la región predominan condiciones tectónicas que generan levantamientos diferenciados, reflejándose los máximos levantamientos en el bloque El Toldo, que constituye el

núcleo hórstico central del territorio, flanqueado por un conjunto de grabens y horts tectónicos menores, que al mismo tiempo se desplazan lateralmente y que llegan incluso en ocasiones a rotar.

### **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 observan estructuras correspondientes a cuatro estadios geotectónicos, que se manifiestan con diferente grado de nitidez y reflejo en el relieve, correspondiendo a las fallas formadas durante el proceso de obducción del arco volcánico con el paleomargen de Bahamas en el periodo Paleoceno - Eoceno Medio ( ?? ) el papel más importante en el estilo tectónico, al constituir los límites de los bloques morfoTECTÓNICOS actuales y ser a través de ellas que ocurren los principales movimientos neotectónicos.

Las fallas de deslizamiento por el rumbo - *strike-slip* - originadas durante el Eoceno Medio-Superior, constituyen planos a través de los cuales ocurren importantes

desplazamientos laterales y las principales rotaciones de los bloques y sub-bloques del territorio, las que se caracterizan por el sentido antihorario de los sectores situados al norte respecto a los ubicados al sur de los planos de fractura.

El cuarto sistema está conformado por las fracturas surgidas bajo las condiciones expansivas o descompresivas de las zonas periféricas de los bloques de máximo levantamiento.

Las estructuras más antiguas del territorio que corresponden con los sistemas de grietas y fallas que afectan y contactan a las secuencias ofiolíticas entre si y con las formaciones precedentes, son las de menor reflejo en el relieve actual y se considera mantienen un carácter pasivo en la geodinámica contemporánea.

Como resultado de los movimientos ocurridos a través de las estructuras falladas el territorio quedó dividido en nueve bloques y un total de trece sub-bloques morfotectónicos, que 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.

## **CAPITULO III**

## **CAPITULO III: EVALUACION DE RIESGOS DE ORIGEN TECTONICO.**

**Introducción.**

**Metodología para el Análisis de Riesgo.**

**Amenaza Natural.**

**Riesgos Específicos.**

**Zonificación de Riesgos Tectónicos.**

**Conclusiones.**

**Introducción.**

Uno de los problemas mas serio que enfrenta el hombre en la actualidad y en particular en los países subdesarrollados es el deterioro del medio ambiente dado por ....*la anárquica utilización espacial del territorio, ... el uso de las tierras y las instalaciones industriales en donde no se han considerado las potencialidades naturales de los paisajes que los sustentan. La búsqueda de métodos tendientes a solucionar todos estos problemas incumbe a muchas disciplinas científicas, donde el carácter abarcador y multifacético de la investigación .... geocológica del medio ambiente se reconoce actualmente como fundamento teórico y metodológico en el ordenamiento funcional para la búsqueda de soluciones de problemas de variada índole.*[22].

Es por ello que en la planificación integral del desarrollo socio económico e incluso para la optimización espacial territorial se hace imprescindible el estudio geológico profundo que permita conocer no sólo la posición, cantidad y calidad de las reservas minerales, sino también la dinámica de los procesos que ocurren y que constituyen una amenaza en la región.

En muchos casos se observa una tendencia a considerar la información geológica estática, sustentando las investigaciones medio ambientales e incluso, la proyección de las construcciones sobre la base de la información aportada por un mapa geológico con frecuencia de carácter regional, lo que conlleva necesariamente a la incorrecta valoración de la magnitud de los riesgos a los cuales se enfrenta el hombre y que lo ponen en peligro a él y a la obra construida.

Este problema se encuentra con frecuencia en el municipio de Moa, a pesar del gran número de profesionales del campo de la geología y la minería que en él laboran y habitan, por lo cual, en el inicio de estas investigaciones se propuso como objetivo determinar los sectores de máximo riesgo ambiental a partir de la incidencia que tiene en ello la geodinámica contemporánea y de esta forma, contribuir al conocimiento geológico del territorio, donde el crecimiento económico dado por la apertura comercial y el desarrollo de la industria, junto a las consecuentes variaciones poblacionales y de infraestructura social, exigen la explotación racional de sus recursos naturales así como *la integración de consideraciones ambientales en las políticas de planificación del desarrollo como condición indispensable para fomentar el desarrollo sostenible*. [22].

### **Metodología para el Análisis de Riesgo.**

Partiendo del conocimiento de la existencia de actividad tectónica en el territorio a través del estudio geológico que del mismo se ha realizado y por la manifestación de fenómenos asociados con dicha actividad, se hace necesario y a la vez posible valorar el grado de vulnerabilidad real del medio y realizar propuestas de optimización espacial para prevenir las consecuencias de su actuación o mitigar sus efectos negativos.

En el primer capítulo de estas memorias se expone la metodología general de las investigaciones realizadas y se señala, como una de las tareas de la cuarta etapa la confección del mapa de riesgos tectónicos a partir del conocimiento de las estructuras y el estilo geotectónico del territorio.

En los inicios de las investigaciones no se contó con una metodología establecida debido a que no es frecuente la evaluación del riesgo tectónico tratado de forma independiente dentro del estudio medio ambiental y en ocasiones se analiza de forma específica para determinadas estructuras o fenómenos locales como por ejemplo, un deslizamiento de tierra o afectaciones en obras construidas. Sin embargo en el territorio de Moa, debido a la gran incidencia de las deformaciones tectónicas del subsuelo y el crecimiento acelerado de las inversiones relacionadas con el desarrollo de la actividad minera y por ende industrial y social, es imperante la necesidad de valorar los riesgos de origen tectónico, por lo que en este capítulo se pretende, además de evaluar el riesgo medioambiental, dejar establecida una metodología que pueda ser aplicada en otras áreas de interés, la que se explican a continuación a través de las tres etapas de trabajo que la integran.

Etapa preliminar: Consiste en la recopilación, estudio e interpretación de la información que sobre las características geólogo-tectónicas y ambientales existan del territorio, con el objetivo de poder determinar en sus inicios la existencia de amenaza real de génesis tectónica así como los principales problemas que se tienen que enfrentar y las áreas por diferentes grados de complejidad, para de esta forma poder realizar la planificación y organización de los trabajos, seleccionar los métodos a usar y los recursos materiales y humanos requeridos para la tarea.

Etapa experimental: Consiste en la aplicación de los diferentes métodos de investigación seleccionados según el grado de estudio y complejidad geólogo-geomorfológica y ambiental del territorio, que permitan la identificación y selección de los posibles impactos ambientales generados por la actividad tectónica, destacándose los factores o elementos del medio ambiente susceptibles de ser alterados o modificados, estableciéndose así la relación causa-efecto.

La magnitud del trabajo a desarrollar en esta etapa estará en dependencia fundamentalmente del estudio precedente realizado. Si este no corresponde a las exigencias de la investigación que se planifica en cuanto a la escala, grado de detalle y actualidad, debe garantizarse el estudio geólogo-tectónico y geomorfológico que podrá realizarse a través de los diferentes métodos del cartografiado geológico. Consideramos necesario sugerir, que teniendo en cuenta la necesidad de hacer mas económicas las investigaciones científicas, la aplicación de los métodos morfométricos y de fotointerpretación geólogo-geomorfológica, garantizan la determinación de las principales estructuras tectónicas e incluso en ocasiones, con una mejor exactitud del cartografiado, reduciéndose el trabajo de campo a las comprobaciones y mediciones de los elementos de yacencia, sentido de desplazamiento e índices de la actividad neotectónica, lo que se realiza en conjunto con la determinación de si constituye o no una amenaza al medio ambiente natural o construido y de ahí a la evaluación de los posibles riesgos.

Si por el contrario, el territorio ha sido estudiado a la escala y grado de detalle equivalente al de la investigación medio ambiental, esta etapa se simplifica, limitándose a profundizar en la interpretación geólogo-tectónica y comprobaciones en caso de que fuera necesario. No se debe obviar como ocurre con frecuencia en otros trabajos geológicos, la importancia de la geomorfología a través del estudio tanto de las macro como de las microformas del relieve, pues es a partir de estas que se ponen de manifiesto los agentes de riesgo.

Después de conocidas las principales estructuras que constituyen una amenaza se procede a la evaluación de cada una de ellas en dependencia de sus características propias como posición espacial, sentido y magnitud de los desplazamientos que ocurren a través de sus planos de fractura, características del relieve en su entorno y los elementos en riesgo, ya sean naturales o contruidos para determinar el riesgo específico que puede ocurrir.

En la evaluación del riesgo de un territorio hay que tener en cuenta además de la amenaza natural latente en el mismo, su vulnerabilidad, para poder determinar el riesgo específico y con este y los elementos en riesgo, poder determinar el riesgo total según la fórmula propuesta por Varnes D. J., en 1984 [24].

$$R_t = R_s \cdot E_r$$

$$R_s = H \cdot V$$

$$R_t = H \cdot V \cdot E_r$$

Donde:

$R_t$ : Riesgo total.

$R_s$ : Riesgo específico.

$H$ : Amenaza natural.

$V$ : Vulnerabilidad.

$E_r$ : Elemento en riesgo.

Etapas de Gabinete: Consiste en la confección del mapa de riesgo del territorio estudiado a partir de toda la información obtenida de los métodos aplicados en las etapas anteriores y el informe técnico de la investigación. Debe garantizarse que el resultado que se presente no constituya un simple inventario de causas y efectos de los procesos tectónicos en el medio ambiente, sino que vaya acompañado de un conjunto de medidas o al menos, de las recomendaciones que faciliten la aplicación práctica de los resultados de la investigación que permitan evitar o mitigar los daños.

En la evaluación de los riesgos, así como en la representación cartográfica de los mismos se debe tener en cuenta no solo los daños presumibles a ocurrir por efecto directo de los movimientos tectónicos, sino también aquellos que siendo de otra naturaleza pueden manifestarse a través de los mismos. Un ejemplo de esto lo constituye el volumen de los daños originados por incendios durante la ocurrencia de un terremoto, lo que no es consecuencia directa del proceso en si.

En estas investigaciones, al existir un estudio geológico regional actualizado a escala 1: 100 000, el trabajo geológico se redujo a la interpretación de las fotografías aéreas y cartografiado a la escala 1: 50 000, mientras que el estudio geomorfológico tuvo como base los métodos morfométricos y de fotointerpretación con las comprobaciones de campo en las áreas que así lo requerían. En la determinación del grado de actividad de las estructuras se utilizaron los criterios geológicos y geomorfológicos convencionales y la información geodésica cíclica. Por último, para la evaluación de los elementos en riesgo se utilizó la base topográfica actualizada a escala 1: 25 000 donde aparecen reflejadas las instalaciones socioeconómicas del territorio.

### **Amenaza Natural.**

Para analizar las diferentes zonas susceptibles a riesgos ante la ocurrencia de procesos tectónicos debe conocerse en primer lugar la amenaza natural originada por estos procesos. Como amenaza natural ( *Hazard* ) se entiende la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dañino potencial dentro de un lapso específico de tiempo y en un área determinada [57].

En el caso concreto que se investiga la amenaza va a estar condicionada por el grado de actividad tectónica del territorio, para el cual quedaron establecidos los principales sistemas de fracturas y dentro de estas fueron caracterizadas por su posición y sentido del desplazamiento que ocurre a través de sus planos, aquellas fallas consideradas activas y que desempeñan un papel fundamental en los procesos geodinámicos contemporáneos.

Estos procesos geodinámicos, como se concluyó en el anterior capítulo se van a caracterizar por la tendencia general al levantamiento, lo cual se viene manifestando desde el Mioceno Medio hasta la actualidad dado por las condiciones geotectónicas regionales que provocan el empuje en dirección norte-noreste del Bloque Oriental Cubano. Esta tendencia general no se pone de manifiesto por igual en todos los sectores emergidos de la corteza terrestre pues se ha hecho evidente que los movimientos verticales no mantienen igual magnitud ni velocidad en todos los puntos, encontrándose unos bloques más levantados - El Toldo - y otros con movimientos relativos de descenso como los bloques Cabaña y Cananova. También se hizo evidente que para un mismo bloque morfotectónico el sentido de los desplazamientos no es constante, pudiendo variar en el tiempo y estar además acompañado por movimientos horizontales e incluso rotacionales.

A todo lo anterior se le añade como elemento de vital importancia y que a su vez, constituyó el motivo por el cual se iniciaron las presentes investigaciones, la ocurrencia de movimientos telúricos en el marco regional.

La actividad sísmica en la región se justifica a partir de la posición geólogo-estructural que la misma ocupa al estar bordeada por tres zonas sismogeneradoras coincidentes con fallas profundas que constituyen límites intra o interplacas como se muestra en la figura No.10. Estas tres zonas son:

Zona sismogeneradora Oriente ( Bartlett ): Está asociada a la falla transcurrente Bartlett-Caimán de dirección este-oeste que constituye el límite entre las placas Norteamericana y Caribe. A esta zona corresponde la más alta sismicidad de toda Cuba y con ella se encuentran asociados los terremotos de mayor intensidad con epicentros en el archipiélago cubano. La intensidad máxima pronóstico promedio para la zona es de VIII grados en la escala MSK, llegando hasta IX en el sector Santiago-Guantánamo [83]. La magnitud máxima por su parte es de 8 grados en la escala Richter.

Zona sismogeneradora Cauto - Nipe: Está asociada a la zona de fractura de igual nombre, con dirección sudoeste-nordeste desde las inmediaciones de Niquero hasta la bahía de Nipe. Constituye un límite intraplaca que separa al Bloque Oriental Cubano del resto de la isla. La potencialidad sísmica de esta zona alcanza los siete grados en la escala Richter, mientras que la intensidad sísmica, según el mapa complejo de la Región Oriental de Cuba [83] señala valores entre VI y VII grados MSK.

Zona sismogeneradora Sabana: Se encuentra asociada a la falla Sabana o Norte Cubana por algunos autores o zona de sutura entre el Bloque Oriental Cubano y la Placa Norteamericana, presentando un contraste significativo entre el borde nororiental cubano y la depresión submarina del canal viejo de Las Bahamas. La potencialidad sísmica es variable en el rango de VI a VII grados MSK, alcanzando sus máximos valores hacia su extremo oriental. Los principales focos sísmicos de la zona se localizan en los puntos de intersección de ésta con las fallas de dirección noreste y noroeste que la cortan.

Con los criterios anteriormente descritos se puede resumir que la amenaza natural del territorio originada por los movimientos tectónicos es alta y se pone de manifiesto a través de dos mecanismos fundamentales:

Movimientos lentos variables en el tiempo que de forma progresiva van alterando el medio físico. Agente preparatorio.

Movimientos violentos de corta duración - sismos - que de forma brusca y en ocasiones catastróficas afectan el medio. Agente inmediato.

### **Riesgos Específicos.**

Después de analizados los mecanismos tectónicos que constituyen una amenaza en el entorno regional es posible realizar la evaluación de los riesgos directos e indirectos que tienen su génesis en estos procesos.

Según la terminología específica utilizada [57], se denomina riesgo específico a los daños esperados debido a la ocurrencia de un fenómeno natural. En este caso, se conocen los puntos a través de los cuales se ponen de manifiesto con mayor intensidad los procesos tectónicos, que son aquellos que coinciden con los planos de fracturas activas y las zonas periféricas de los bloques de mayor levantamiento haciéndose posible entonces determinar los daños esperados y dentro de estos aquellos que constituyen un riesgo al medio ambiente natural, al medio ambiente social o al medio ambiente construido, siendo frecuente la simultaneidad de sus efectos. También hay que tener en cuenta el surgimiento de riesgos indirectos al actuar los movimientos tectónicos sobre los elementos en riesgo que provocan reacciones en cadena y repercuten en la calidad ambiental.

En la descripción que se hace a continuación se especifican cada uno de los riesgos específicos que pueden ocurrir en el medio ambiente natural, construido y social.

#### Riesgos en el Medio Ambiente Natural.

Por constituir la amenaza un agente de carácter natural, los riesgos ocurridos en este medio presentan un carácter primario y condicionador directo o indirecto de los daños ocurridos en el medio construido y social.

Los principales riesgos de carácter natural posibles a ocurrir en el territorio por los agentes tectónicos son:

**Deslizamientos:** Constituyen importantes procesos de la dinámica superficial inducidos por la aceleración gravitacional, condicionada por factores geológicos, geomorfológicos y climáticos desde el punto de vista natural y por la actividad antrópica que en su

proceso constructivo rompe con frecuencia el equilibrio natural en las superficies inclinadas creando taludes artificiales inestables.

Los movimientos tectónicos actúan de forma directa sobre los materiales que constituyen las superficies inclinadas aumentando la fuerza motriz, al mismo tiempo que provocan la reducción de la resistencia interna del material, de forma indirecta las variaciones del manto freático originadas por estos movimientos pueden ocasionar la ocurrencia de deslizamientos por cambios en las condiciones geomecánicas del material y pérdida de la cohesión interna [9].

Cuando la actividad tectónica se pone de manifiesto de forma lenta, el cambio progresivo del nivel hipsométrico, fundamentalmente en los bloques de falla que se levantan, provoca la ruptura del equilibrio de la pendiente y por ende la intensificación de los procesos denudativos, provocando arrastres de suelos, caídas, *slides* y flujos, pero a través de movimientos relativamente lentos que hacen posible la aplicación de medidas técnicas preventivas.

Desde el punto de vista económico los principales perjuicios están asociados a la obstrucción de vías de comunicaciones, daños en obras construidas cercanas al talud y afectaciones agrícolas.

Sobre el medio ambiente natural los efectos se hacen sentir a más largo plazo, provocando la remoción del suelo y dentro de este a la cobertura vegetal más superficial, con la consecuente alteración de la vegetación y por ende del equilibrio ecológico.

Estos mismos efectos pero de forma violenta y en magnitudes variables en dependencia de la magnitud del proceso se presentan bajo la ocurrencia de actividad sísmica, haciéndose imposible la aplicación de medidas contentivas inmediatas, pudiendo provocar la pérdida de vidas humanas.

En la evaluación dentro del territorio de Moa se determinaron las áreas de posible ocurrencia de deslizamientos asociados a la actividad tectónica a partir de la búsqueda de las estructuras escarpadas asociadas a los planos de fallas activas, tipo de suelo sobre el cual se encuentran, grado de la pendiente y sentido del desplazamiento calculándose en cada caso el riesgo total esperado de forma directa ante la ocurrencia de cada uno de los mecanismos de amenaza. Dentro del territorio las áreas de mayor riesgo ante este fenómeno son las laderas orientales y occidentales de Río Moa en su curso medio, las vertientes del río Cayo Guam en la parte alta occidental y la vertiente noroeste del río Jiguaní, en todos los casos asociados a las fallas homónimas que

controlan tectónicamente el drenaje de estos ríos y en la ladera oriental del Cerro Miraflores, en la zona de escarpe de falla.

Finalmente se debe aclarar que de forma local este riesgo está también presente en otros bloques con movimientos relativos mínimos de ascenso, asociado a superficies de pendientes anómalas de origen natural como son los escarpes de fallas o antrópico como los taludes de la cortina de contención de las presas de colas.

Aumento de la erosión de suelos: Los procesos erosivos de suelo tienen entre los 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 hacerse mínimo a medida que se alcanza el 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.

El levantamiento de un bloque de la corteza terrestre aumenta la dinámica de los agentes denudativos - en el caso particular del área de trabajo el escurrimiento superficial y fluvial - intensificando el proceso de arrastre de sedimentos sueltos hacia las partes más deprimidas, donde ocurre la acumulación ya sea con carácter temporal o definitivo. Si a esta ruptura del equilibrio originada por causas tectónicas le sumamos la intensa meteorización de las rocas debido a las condiciones climáticas y litológicas que originan un gran volumen de material suelto en la superficie y cerca de esta, más el hecho de que en ocasiones esas superficies se encuentran descubiertas debido a la actividad minera o a los procesos constructivos, se hace evidente la importancia de los procesos erosivos en el territorio.

La erosión por sí misma tendrá como efecto directo la degradación de los suelos mineros y agrícolas con el consecuente daño a la cobertura vegetal y por tanto al equilibrio ecológico pero a su vez, al provocar un aumento del volumen de carga física transportada por los ríos da lugar a la colmatación de los depósitos fluviales de cauce y desembocadura, responsables del surgimiento de áreas anegadas que a su vez originan afectaciones en el medio ambiente construido, obstruyendo desagües naturales o artificiales y en el caso específico de Moa, colmatando las dársenas y bocana portuaria.

En la evaluación de riesgos en el área fueron señalados los sectores más afectados por la erosión, los que se encuentran asociados a los bloques de máximos levantamientos, siendo mayor el riesgo para los bloques El Toldo y Moa que además

de estar sometidos a los máximos ascensos tectónicos, están afectados por la actividad minera, lo que origina extensas áreas descubiertas y exceso de detritos rocosos sueltos acumulados en las escombreras.

Por otra parte, el proceso de colmatación se hace mas intenso en las partes bajas y desembocaduras de los ríos Moa, La Veguita, Cayo Guam y Yagrumaje por constituir estos los principales canales de arrastre de la carga física, la que se acumula temporalmente en los pies de monte y finalmente es arrastrada hacia la zona litoral, donde por efecto de las corrientes marinas locales se distribuyen por el fondo marino, constituyendo la bocana del puerto de Moa el receptáculo idóneo para su acumulación. Al analizar el aumento del material terrígeno aportado por los ríos al mar en la zona comprendida entre el litoral y la barrera arrecifal hay que tener en cuenta que de forma indirecta esto puede provocar alteraciones en la biota típica del medio, al aumentar la turbidez de las aguas y cambios en su composición química, lo que es de difícil control por el carácter limitado de la circulación con el mar abierto.

Alteración del manto acuífero: Este riesgo está originado por el cambio de posición del manto freático por el levantamiento del área, lo que conlleva al aforo natural del mismo al ser cortado por la superficie topográfica, generando una pérdida adicional que puede ocasionar un desequilibrio entre la alimentación y la descarga, alterándose el ciclo hidrogeológico. De forma directa y con resultados similares a los anteriormente descritos puede ocurrir la disminución del área de alimentación cuando esta no depende sólo de la infiltración de las aguas meteóricas, sino de su conexión con fuentes de aguas corrientes fluviales o embalses naturales. En ambos casos, la disminución del volumen de agua en el manto provoca la alteración de las características geomecánicas de suelos y rocas al mismo tiempo que alteran el comportamiento químico y dinámico de estas aguas, repercutiendo directamente sobre el medio ambiente.

Al no haberse realizado estudios hidrogeológicos durante la realización de las presentes investigaciones sólo se señalan posibles áreas de afectación del manto freático, siendo la más extensa la correspondiente al extremo centro oriental, en la parte alta de los bloques El Toldo y Cupey, sin hacerse referencia a la magnitud de los posibles daños.

Ruptura del suelo con formación de grietas de separación: Este fenómeno se pone de manifiesto a través de la actividad sísmica de gran magnitud o por la ocurrencia del llamado “colapso” de las arcillas por cambios en el comportamiento geomecánico, debido a variaciones hídricas y cargas externas. Sus efectos negativos repercuten sobre la actividad constructiva y en la conservación de los suelos.

Ruptura del equilibrio ecológico: Este riesgo ocurre como consecuencia indirecta de otros riesgos del medio ambiente natural como deslizamientos y aumento de la erosión y por efectos de riesgos de medio ambiente construido como derrame de productos químicos por rotura de plantas, conductores y almacenes. Al mismo tiempo las alteraciones ecológicas afectan directamente el medio ambiente social.

Este fenómeno puede aparecer en cualquier sector del territorio con diferentes magnitudes del daño, debiendo hacerse mención especial a las posibles afectaciones a la barrera coralina que bordea todo el litoral norte del territorio y que en caso de destrucción por agente directo que originen localmente su hundimiento o levantamiento brusco o por agentes indirectos como la concentración anómala de elementos químicos dañinos en el medio, originaría efectos destructores de envergadura para el medio físico y en particular a los asentamientos poblacionales que por lo general se encuentran ubicados en la zona litoral.

Riesgos al Medio Ambiente Construido.

Dentro de estos riesgos se han incluido todos los daños que puede provocar el agente tectónico sobre las obras construidas por el hombre y que comúnmente se clasifican en sociales, económicas y socioeconómicas como son las carreteras, sistemas de alcantarillado, instalaciones eléctricas, conductores de agua y de productos químicos.

Los principales daños a ocurrir en este medio son los siguientes:

Deformación o ruptura de las edificaciones sociales y económicas: Este fenómeno ocurre debido a las tensiones a que es sometido el subsuelo por las fuerzas tectónicas directamente o por acción de otros riesgos como los deslizamientos o alteración del manto acuífero, que provocan la ocurrencia de asentamientos, llegando incluso al derrumbe total en caso de acción continuada de estas fuerzas o por la ocurrencia de actividad sísmica con eventos de magnitudes superiores a las utilizadas en el proyecto constructivo.

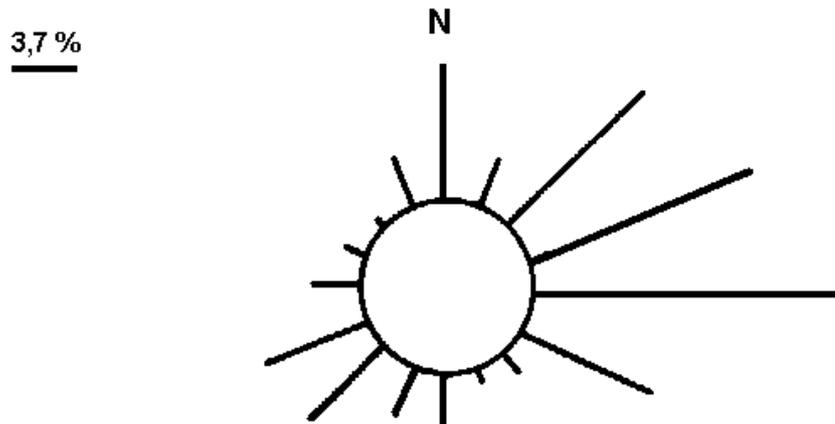
No obstante estar expuestas todas las construcciones del municipio a este riesgo ante la actividad telúrica, en proporción directa con la magnitud de los sismos, ante la amenaza que constituyen los movimientos tectónicos lentos –agente preparatorio- este fenómeno adquiere mayor importancia dentro de la ciudad de Moa, en toda la zona construida siguiendo la línea de falla Cabaña; en las instalaciones de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara al ser cortada por la falla La Veguita; la zona portuaria, cortada por la falla La Vigía y el área de construcción de la nueva planta en Las Camariocas que es cortada por numerosas estructuras disyuntivas activas como las fallas Punta Gorda y Quemado del Negro en su parte septentrional y meridional, y Cayo Guam y Quesigua en la occidental y oriental respectivamente.

Derrame de productos químicos: Este fenómeno está dado por la ruptura de las instalaciones en las que estos se almacenan o de los conductores que frecuentemente se usan para su transportación. Este riesgo de tipo indirecto alcanza su máxima peligrosidad ante la ocurrencia de terremotos, pero no dejan de ser una amenaza potencial los movimientos lentos, ya que al igual que en el caso anterior la ocurrencia de asentamientos van deformando continua y progresivamente las estructuras, llegándose a la ruptura.

Este fenómeno alcanza su máxima peligrosidad en el puerto de Moa al encontrarse allí almacenados productos altamente nocivos al medio como combustibles, amoniaco y azufre, asentadas parte de sus construcciones sobre el extremo septentrional de la falla Moa en su tramo La Veguita, no debiendo excluirse los posibles derrames o emisiones contaminantes en las plantas metalúrgicas si no se toman medidas con los movimientos diferenciales que provocan asentamientos y posibles rupturas de sus instalaciones.

En el caso específico del amoniaco que posee una alta velocidad de propagación por el viento, es preciso tomar en consideración que las direcciones de los vientos para el territorio tienen orientaciones fundamentales noreste y este-sureste como se muestra en la figura No.11, [55]. por lo cual ante el escape de gases sus efectos serian inmediatos sobre la principal zona de asentamiento poblacional.

Afectaciones en los embalses de agua: Este riesgo debe constituir una preocupación constante para los organismos responsabilizados con la explotación de la obra y del



**Figura No.11:** Dirección promedio anual de los vientos en la zona de Moa.

gobierno municipal del territorio, debido a que la presa Nuevo Mundo ocupa una posición crítica en la tectónica local, al estar construida en un nudo estructural en la zona de intersección de las fallas Moa, Maquey y Caimanes donde se han observado desplazamientos horizontales y verticales. Su posición hipsométrica y geográfica también la hacen altamente vulnerable. Las afectaciones en estas estructuras - presa y derivadora - pueden estar ocasionadas tanto por los movimientos lentos que en sentido diferencial actúan entre ambos bloques en que está situada la misma, como por la actividad sísmica, llegando en este último caso a alcanzar el riesgo magnitudes catastróficas.

**Daños en las vías de comunicaciones:** Este fenómeno se manifiesta de forma directa por rupturas continuas en los tramos en que éstas se interceptan con las estructuras activas o indirectamente por afectaciones en la viabilidad cuando son obstruidas por los deslizamientos de tierra, constituyendo un fenómeno de alta peligrosidad.

Las mayores afectaciones se localizan en los tramos de la carretera Sagua de Tánamo a Moa en la zona de intersección con las fallas Miraflores, Cananova y Cabaña y en la carretera Moa-Baracoa en los puntos de intersección con las estructuras La Vigía, La Veguita, Cayo Guam, Quesigua, El Medio, Cupey y Jiguaní.

**Ruptura de instalaciones de abasto de agua, electricidad y servicio telefónico:** Estos daños se presentan en los sectores donde estas instalaciones se interceptan con las

estructuras activas o de forma indirecta por la acción de otros agentes como los deslizamientos al empujar y desplazar los postes del tendido de cables o empalmes de tuberías. En el caso específico del agua hay que tener en cuenta la influencia que tiene la alteración del manto acuífero y la posible contaminación del mismo por derrame de productos químicos.

Este riesgo puede aparecer indistintamente en cualquier punto del territorio donde se desarrolla la actividad socio económica.

El grado de vulnerabilidad o magnitud de los daños que sobre este medio originan los movimientos tectónicos estará en dependencia del agente de riesgo - preparatorio o inmediato - y de las características constructivas de los objetos de obra, como son su grado de complejidad estructural, tipología, dimensiones y materiales con los cuales fue construida.

En cuanto a la posición de la obra respecto a las estructuras y bloques morfotectónicos es evidente que aquellas asentadas directamente sobre las estructuras activas son más vulnerables a los efectos de las deformaciones tectónicas al igual que aquellas situadas 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 su origen asociado a la descompresión y pérdida de la sustentación influenciada por aumento de la intensidad de los procesos erosivos e incluso por la ocurrencia de deslizamientos. Si por el contrario se encuentra ubicada en la zona periférica exterior al bloque en ascenso, las afectaciones 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.

Bajo la ocurrencia de movimientos tectónicos lentos los daños originados sobre las obras ya construidas pueden ir siendo amortiguados con medidas ingenieriles que mitiguen los efectos destructivos. Ante la ocurrencia de movimientos telúricos la situación se hace más crítica. Las formas de evitar los efectos dañinos varían desde el establecimiento de un programa de educación y preparación de la población ante la ocurrencia del fenómeno, hasta el replanteo de algunos objetos de obra de gran peligrosidad. En ambos casos se hace imprescindible una mejor proyección de las construcciones futuras donde se tenga en cuenta la tectónica activa del territorio.

### **Daños al Medio Ambiente Social.**

Los riesgos a que se expone el medio ambiente social por efecto de los movimientos tectónicos son de vital importancia y de máxima preocupación por los organismos y entidades responsabilizados con el gobierno municipal. Estos daños van a originar un diapasón de problemas diversos que provocan afectaciones individuales, familiares y grupos sociales, llegando en caso extremo a abarcar toda la sociedad. Hay que tener presente que esta es la parte integrante del medio más susceptible a las afectaciones en la calidad del entorno y que al mismo tiempo cualquier daño ocurrido al medio natural o constructivo repercute directa o indirectamente en el hombre.

Entre los riesgos mas importantes en este medio en el ámbito territorial se encuentran los siguientes:

**Afectación en los servicios generales a la población:** Estos daños están originados por cualquiera de los riesgos del medio ambiente natural o construido anteriormente señalados que afectan las instalaciones de servicio, estando concentrada su ocurrencia en las zonas de asentamientos poblacionales.

**Afectaciones en las condiciones de vida:** Se pone de manifiesto por la pérdida total o parcial de la vivienda, disminución o deterioro de los servicios públicos y abasto de alimentos, agua y electricidad, afectaciones laborales e incommunicaciones, todos ellos originados por los mismos agentes de riesgo descritos anteriormente.

**Afectaciones de la salud humana:** Este riesgo estará dado por efecto directo o indirecto de todos los agentes de riesgo natural, construido o social descritos con anterioridad, los cuales pueden ser ligeros o severos llegando incluso a las pérdidas humanas en dependencia de la intensidad de manifestación del agente y de los elementos en riesgo. En este aspecto hay que considerar además los efectos negativos en la salud mental o síquica de la población ante la suma gradual de factores de riesgos y temor ante la ocurrencia inesperada de un desastre natural.

**Afectaciones económicas:** Resultantes de las pérdidas y afectaciones de recursos humanos y materiales ante la ocurrencia de daños, manteniendo una relación directa entre el volumen de los perjuicios, el valor de las pérdidas y el costo de la recuperación.

Inestabilidad en el ejercicio del gobierno: Este riesgo es un resultado directo de la suma de los daños en las condiciones de vida y salud de la población de la cual el forma parte más la reorientación de su actividad en función de dar solución a las afectaciones en el medio ambiente en general bajo condiciones económicas críticas condicionadas por el volumen de las pérdidas.

Hasta aquí se ha hecho referencia a los principales riesgos específicos que pueden ocurrir u ocurren en el medio ambiente territorial por efecto directo de la manifestación de la energía interna del planeta sobre el entorno a través de sus dos mecanismos: Movimientos tectónicos lentos y Movimientos tectónicos rápidos (sismos).

Es imposible separar o aislar las afectaciones que ocurren entre los tres medios - natural, construido y social - y el hombre, que como ser social y eslabón fundamental del equilibrio y la calidad ambiental, al mismo tiempo que condiciona la naturaleza y la transforma a través de su actividad constructiva, es el responsable de las medidas que eviten o mitiguen los daños que de ella emanan. No está de más enfatizar que de la acción del gobierno como máximo responsable de la gestión ambiental, dependerá el grado de repercusión - no de actuación - de los agentes tectónicos en el medio ambiente y muy en particular en el hombre.

### **Zonificación de Riesgos Tectónicos.**

Después de haber sido analizadas la amenaza natural y los riesgos específicos posibles a ocurrir en el territorio, existen condiciones para poder realizar la zonificación de estos en los diferentes sectores del municipio y en particular en las áreas que constituyen asentamientos de carácter socio económico con el objetivo de dejar delimitados los sectores de mayores riesgo que permitan la orientación de las medidas para evitar o mitigar los daños.

Dentro de los diferentes métodos utilizados en los estudios de impacto ambiental se encuentran los de definición de relaciones causa-efecto en forma cualitativa o semicuantitativa, o técnicas de identificación como son también clasificados, dentro de los cuales se emplea la técnica de matrices de revisión causa-efecto, la cual se ha aplicado experimentalmente en estas investigaciones con la finalidad de obtener información de la magnitud relativa del riesgo y su distribución en superficie que permitiera la zonificación del territorio. [22, 23].

Para realizar la zonificación de riesgos se tuvo en cuenta el comportamiento de cada una de las variables analizadas en el epígrafe correspondiente a la metodología para el análisis de riesgo así como el rango de variación de sus valores para el caso concreto que nos ocupa. A continuación se analiza cada una de estas variables y los valores que se le asignan en las diferentes situaciones en el ámbito territorial.

Amenaza (  $H$  ): La actividad tectónica se pone de manifiesto en el territorio a través de dos mecanismos: movimientos tectónicos lentos, denominado agente preparatorio y movimientos rápidos o procesos sísmicos, denominado agente inmediato. Para esta variable se le asignaron valores que oscilan en el intervalo de cero a dos, asumiéndose el valor máximo -dos- para la amenaza que constituye el mayor factor de riesgo es decir, la originada por los movimientos telúricos y en particular aquellos que presentan una intensidad de moderada a alta, ya que la actividad sísmica de baja intensidad se manifiesta de forma similar a los movimientos lentos; el valor intermedio - uno- se asume para la amenaza que se pone de manifiesto a través de los movimientos tectónicos lentos y el valor mínimo -cero- para el caso que nos ocupa es convencional y despreciado debido a que está demostrado el carácter activo de la tectónica en el municipio.

Vulnerabilidad (  $V$  ): Es el grado de pérdida de un elemento o conjunto de elementos bajo riesgo como resultado de un fenómeno natural de una cierta magnitud [57]. A esta variable se le asignan valores de cero a tres correspondiendo el valor mínimo cero cuando a través del proceso tectónico no ocurren daños en el medio ambiente, el valor uno corresponde a la ocurrencia de daños que pueden ser recuperables; el valor dos se asume en aquellos casos en que se originan pérdidas de carácter parcial ante la ocurrencia de los agentes de riesgo y el valor máximo -tres- bajo las condiciones de pérdida total de los elementos en riesgo.

Elementos en riesgo (  $Er$  ): Esta variable determina la población, construcciones y actividad socio económica en riesgo [57] y a ella se le asignan valores en el rango de uno a cuatro, el valor uno corresponde a aquellos sectores en que se encuentran expuestos al riesgo elementos del medio ambiente construido o del medio ambiente natural de forma aislada o independiente, sin perjuicio directo al hombre; el valor dos se asume para aquellos sectores en que de forma combinada están expuesto al riesgo elementos del medio ambiente natural y construido, el valor tres se asigna cuando los

elementos en riesgo constituyen un grupo perteneciente al medio ambiente en general es decir que incluye los medios naturales, construidos y sociales, estando el valor cuatro reservado para condiciones extremas donde todo el medio es afectado, lo cual solo sería posible ante la ocurrencia de un terremoto de gran intensidad.

Riesgo total ( $Rt$ ): El riesgo total que puede ocurrir en un territorio está determinado por el volumen de los daños en el medio ambiente en general y se obtiene por el producto de la amenaza, la vulnerabilidad y los elementos en riesgo. Conociendo estos parámetros, se puede realizar la cuantificación puntual del valor del riesgo total para cada sector de la superficie.

Todas las variantes posibles quedan expuestas en la tabla IV que a continuación se muestra.

**Tabla IV:** Valores del riesgo total calculados para el área.

Vulnerabilidad <i>V</i>	Amenaza <i>H</i>	Elementos de Riesgos <i>Er</i>			
		1	2	3	4
1	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
2	1	2	4	6	8
	2	4	8	12	16
3	1	3	6	9	12
	2	6	12	18	24

Con estos valores del riesgo total se procede a la confección del mapa de riesgos a través del trazado de isolíneas del valor del riesgo total o asumiendo para cada cuadrícula el valor calculado para su área, sombreando cada una de ellas en dependencia de la magnitud del riesgo con una simbología ya establecida.

En el territorio de Moa la zonificación de riesgos se realizó a través del análisis de los valores del riesgo total calculados en cada cuadrícula para cada una de las variantes establecidas de la amenaza en el territorio, determinándose cuatro zonas de intensidades de riesgo que se explican a continuación y que se muestran en el anexo gráfico No.6.

Zona de máximo peligro o riesgo: Esta zona corresponde a áreas de valores de riesgo mayores a nueve para la amenaza que constituyen los movimientos tectónicos lentos y continuos, y de dieciocho bajo las condiciones de ocurrencia de movimientos telúricos, lo que constituye un indicador de la alta peligrosidad en la cual ella se encuentra. Espacialmente la zona está limitada a dos áreas muy pequeñas, pero que ocupan una posición desde la que pueden ocasionar grandes daños al medio ambiente.

La mas extensa está ubicada alrededor del puerto de Moa, donde la presencia de la planta de amoniaco que presta servicio a la industria del níquel constituye un elemento en riesgo, que al mismo tiempo, pone en peligro a todo el medio ambiente territorial dado fundamentalmente por su ubicación geográfica y tectónica.

Tectónicamente la planta se encuentra ubicada coincidentemente sobre la falla Moa en su tramo La Vigía, que se caracteriza por un carácter activo manifiesto a través de desplazamientos verticales y horizontales según su plano de fractura, al mismo tiempo que, debido a la posición respecto a los principales asentamientos poblacionales del territorio y la dirección - este-oeste - predominante de los vientos como se muestra en la figura No.11, se favorecería el proceso de propagación de los productos tóxicos expandidos al medio en caso de ocurrencia de alguna ruptura o avería de la instalación.

La otra zona de alto peligro del territorio lo constituye la presa Nuevo Mundo, construida sobre el cauce del río Moa que corre sobre la falla de igual nombre, en la zona donde esta se intersecta con las fallas Maquey y Caimanes formando un nudo estructural de alta complejidad dado a los desplazamientos horizontales y verticales de gran magnitud y sentido variable, tal y como quedó demostrado a través de las mediciones geodésicas realizadas.

A pesar de haberse realizado la construcción de la presa según las normas técnicas establecidas y tomándose como base para la construcción la intensidad máxima de VIII grados en la escala MSK, hay que tener en cuenta que la base geológica utilizada partía de la consideración de una tectónica pasiva, donde los desplazamientos según los planos de fracturas eran considerados nulos.

El valor del riesgo total para esta zona está determinado por las deformaciones que puede sufrir la cortina de la presa, lo cual puede provocar no solo la perdida de dicho elemento y de las características del entorno en el cual ella se encuentra, sino también, llegar en caso extremo de ruptura a provocar inundaciones con resultados catastróficos

debido al volumen de agua acumulado, la altura a que se encuentra el vaso del embalse, el cual fue construido para el sistema de descarga por gravedad y su posición respecto a la zona de desarrollo socio económico.

Zona de alto riesgo: Corresponde a las áreas donde el valor del riesgo calculado es mayor o igual a seis y menor que nueve para la amenaza que resulta de los movimientos tectónicos lentos mas o menos continuos en el tiempo y mayor o igual de doce y menor a dieciocho ante la ocurrencia de movimientos telúricos. Esta zona se encuentra desarrollada en los alrededores de la anteriormente descrita, abarcando la porción norte y central del área de trabajo, extendiéndose hacia el este hasta la zona de Quemado del Negro donde se construye la nueva planta de níquel Moa y sus alrededores y al oeste hasta el poblado de Centeno, prolongándose hacia el sur, hasta la zona de la presa Nuevo Mundo.

La magnitud del riesgo que se alcanza en esta zona está determinado por causas de origen natural así como factores de carácter antropogénico, en especial asociados con el desarrollo socio económico. Dentro de las causas de origen natural se destaca la presencia de las estructuras tectónicas activas que conforman las vías a través de las cuales se pone de manifiesto la amenaza natural para el territorio, la posición topográfica de la zona que corresponde a la mas baja y por ende constituye el colector natural hacia donde van los detritos y residuos de las zonas mas elevadas por efecto de la gravedad, sin dejar de tener en cuenta otros elementos como el equilibrio litoral establecido bajo las condiciones de existencia de una barrera natural, que al ser destruida o dañada puede provocar grandes afectaciones en el medio ambiente.

Desde el punto de vista antropogénico el mayor riesgo está dado por el desarrollo minero metalúrgico en el territorio, razón por la cual se han construido centros industriales que constituyen focos de alta peligrosidad así como sistemas de comunicaciones y suministros que además de formar parte de los elementos en riesgo son a su vez una amenaza de tipo indirecto.

En esta zona se concentra la mayor variedad de riesgos de la región, abarcando todos los tipos concernientes al medio ambiente construido y social, así como algunos de los riesgos del medio natural, los que han sido reflejados en el anexo gráfico de forma resumida para toda la zona, partiendo de la imposibilidad de representar el riesgo específico en cada punto debido a la densidad de símbolos que sería necesario para ello.

Es necesario aclarar que a esta zona, tal y como se representa en el mapa, pertenece un sector del medio marino que va desde la zona portuaria hasta la barrera arrecifal, lo que va a estar dado por la confluencia de dos estructuras activas de importancia como son la falla Moa, en su tramo La Vigía y la falla Cabaña, al mismo tiempo de que el sector constituye la vía de acceso a la terminal portuaria, lo que a su vez favorece los procesos acumulativos al ser el mas deprimido de la zona.

Zona de peligrosidad media: A esta zona corresponden valores del riesgo total mayores o iguales a cuatro y menores a seis para la amenaza de tipo uno - movimientos tectónicos lentos - y valores en el intervalo de ocho a doce para la amenaza referida a los movimientos sísmicos.

Dentro de esta zona los valores de la vulnerabilidad promedio en las áreas emergidas es de dos, al estar el peligro referido a las posibles pérdidas parciales en el medio ambiente, natural o construido, sin afectaciones directas al hombre; mientras que en la zona marina la vulnerabilidad llega hasta tres, al poder ocurrir la destrucción total del medio por ruptura de la barrera arrecifal, lo que implicaría el cambio de las condiciones dinámicas marinas, generando una nueva amenaza para el medio construido y social por encontrarse en el litoral los principales asentamientos poblacionales.

Esta zona constituye la de mayor difusión en el territorio, encontrándose espacial y genéticamente asociada a zonas periféricas interiores de los bloques morfotectónicos en ascenso, haciéndose mas pronunciada en aquellos sectores donde es mayor el levantamiento.

Los tipos de riesgos mas frecuentes para esta área de peligrosidad moderada son los deslizamientos asociados a las superficies de altas pendientes de génesis tectónica, el aumento de la erosión vertical y las variaciones del nivel del manto freático, sin negarse la posibilidad de que ocurran rupturas de vías de comunicaciones, redes de abasto de agua o electricidad y afectaciones en viviendas o construcciones aislada.

Dentro de esta área se encuentra la mayor parte de la porción marina de la región de estudio, la que es cortada en dirección casi perpendicular por la mayoría de las estructuras activas del territorio y por ende afectada por los movimientos verticales, lo que pone en peligro la vida de los organismos planctónicos que constituyen los arrecifes coralinos y por tanto la existencia de la propia barrera.

Zonas de baja peligrosidad: Esta zona está referida a aquellos sectores que presentan valores del riesgo total menores a cuatro y ocho ante las variantes de amenaza de movimientos lentos o rápidos respectivamente, estando sometido a los efectos del riesgo solo el medio ambiente natural a través de la intensificación de los procesos erosivos, predominando la variante uno de vulnerabilidad tomando en consideración que los posibles daños sean recuperables y en gran medida evitables ante la acción conservadora del hombre, pudiendo ocurrir solo pérdida total en aquellos sectores donde los elementos del relieve en riesgo no permitan su protección como ocurre en la zona de desarrollo de relieve cársico hacia el sur de la región, en el área del Alto de La Calinga.

Estas zonas de baja peligrosidad se encuentran tectónica y espacialmente ubicadas en la parte central e interior de los bloques morfoTECTÓNICOS, distribuidas de forma bastante homogénea por toda el área de trabajo, exceptuando el extremo suroccidental, donde se asumió un valor del riesgo total igual a tres a partir de la ocurrencia de daños recuperables al medio ambiente en general debido a la ausencia de actividad antropogénica intensa y al equilibrio y regularidad del relieve. No obstante a lo anterior es recomendable para esta zona realizar determinaciones mas detalladas no sólo de las estructuras geológicas, sino también para los elementos en riesgos y tipos de riesgos específicos posibles a ocurrir.

Además de la zonificación de riesgos, en el mapa aparecen representados los principales tipos específicos que pueden ocurrir en cada punto o sectores de la superficie.

Partiendo del conocimiento que ya se tiene de los peligros y riesgos en la región se propone el siguiente plan general de medidas:

Orientar a las instituciones y organismos competentes la evaluación de las afectaciones actuales y posibles a ocurrir en instalaciones y áreas jurisdiccionales, debido a la acción de los movimientos tectónicos lentos, lo que permitirá establecer las medidas para contrarrestar sus efectos.

Orientar a los órganos de defensa municipal la confección del plan de medidas ante desastres naturales, específicamente en lo que corresponde a la actividad sísmica y que comprende dos etapas, previa y posterior al terremoto y que siempre deberá partir del sistema de educación masiva.

Exigir a la industria del níquel el replanteo definitivo de la planta de amoniaco debido a la alta peligrosidad que representa para todo el territorio.

Establecer un sistema de control de los movimientos a través de mediciones geodésicas cíclicas de todas aquellas estructuras activas que constituyen un riesgo medioambiental, siendo fundamentales para la zona las fallas Moa y Cabaña debido a los objetos de obra asentados sobre ellas y ser las estructuras que cortan el asentamiento socio económico mas grande del territorio.

Establecer el sistema de monitoréo que corresponde a la presa Nuevo Mundo que permita determinar las posibles alteraciones de su estructura constructiva y tomar las medidas que al efecto se establezcan.

Hacer funcionar en el municipio el sistema de gestión ambiental que pueda determinar y evaluar los riesgos e impactos a que se encuentra expuesto el medio ambiente y establecer las medidas preventivas o correctivas según sea el caso.

### **Conclusiones.**

Durante el desarrollo del capítulo quedó establecido que en el territorio en que se desarrollaron las investigaciones existe la amenaza ambiental de génesis geológica y específicamente tectónica que de forma lenta o violenta se pone de manifiesto a través de las estructuras activas que en el mismo existen y que pueden originar riesgos de gran magnitud a partir de la existencia de obras de gran complejidad constructiva y de alta peligrosidad.

Los diferentes tipos de riesgos que pueden manifestarse en el territorio originados a través de la actividad tectónica así como las cuatro zonas de magnitudes diferentes de riesgos, fueron determinadas a través del estudio geológico, geomorfológico y topográfico, descritas en el trabajo y cartografiadas en el mapa de zonificación de riesgos que se muestra en el anexo gráfico No.6, a partir de lo cual es posible proponer un plan de medidas generales que permitan el desempeño de la labor de gestión ambiental. Sin embargo, es necesario señalar que la propia actividad socio económica del hombre puede provocar la intensificación de estos riesgos, haciendo mas complejo el proceso de previsión y prevención.

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Conclusiones.

Después de analizados los resultados obtenidos de la aplicación del conjunto de métodos de investigaciones utilizados en el desarrollo del trabajo, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- En el área de las investigaciones se encuentran claramente delimitadas dos zonas geomorfológicas,: La zona de llanuras, ubicada en la zona norte, desde la barrera arrecifal hasta sectores de cotas de 100 –150 m y génesis asociada a la actividad fluvial, marina y palustre, donde predominan los procesos acumulativos sobre los erosivos, condicionado por los elementos morfológicos, posición espacial, al bordear la zona de desarrollo de las cortezas lateríticas, y por la propia dinámica del litoral, que al estar bordeado por la barrera coralina favorece los procesos acumulativos que son preponderantes respecto a los erosivos. La otra zona geomorfológica está representada por el sistema de montañas y submontañas ubicadas en toda la porción sur y central del área, con pequeños sectores aislados hacia el norte, predominando las elevaciones de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas sobre las cuales se desarrollan potentes cortezas ferroniquelíferas. En esta zona se van a encontrar un conjunto de formas del relieve de gran interés como barrancos desarrollados en las zonas de fallas activas, fundamentalmente en los sectores de mayor levantamiento tectónico, y las formas cársicas formadas sobre las rocas serpentínicas en los sectores de máxima altura en el área del Alto de La Calinga.
- Tectónicamente el área investigada se caracteriza por el predominio de estructuras disyuntivas originadas en cuatro periodos geotectónicos diferentes, condicionados por los eventos regionales que han afectado al Bloque Oriental Cubano. Las estructuras más antiguas se encuentran genéticamente asociadas a los procesos compresivos que provocaron la acreción oceánica y con ella, el emplazamiento del complejo ofiolítico. Las estructuras de este sistema no presentan una dirección predominante debido a los numerosos eventos que lo han dislocado.

El segundo sistema cronológico corresponde a las estructuras formadas durante la colisión y obducción del arco volcánico Cretácico sobre el paleomargen de Bahamas

que concluye en el Eoceno medio (?) y que constituye en la actualidad el sistema más importante al ocurrir a través de él los mayores desplazamientos verticales y horizontales y constituir los límites de los bloques morfotectónicos. Las orientaciones predominantes para este sistema son noreste y norte-noroeste.

El tercer sistema tiene genéticamente está asociado a los desplazamientos tangenciales entre la Placa Norteamericana y la Placa Caribe que se inician en el Eoceno Medio-Superior originándose fallas de deslizamiento por el rumbo *-strike-slip-* que en el área están representadas por las estructuras Cananova y El Medio, a través de las cuales ocurre la rotación entre bloques y sub-bloques morfotectónicos.

El sistema más joven corresponde a fallas post-miocénicas resultantes de la descompresión de los bloques sometidos al mayor levantamiento regional, las que se van a caracterizar por una orientación predominante norte-sur y se reflejan en el relieve a través de la formación de barrancos y alineaciones fluviales.

- Para el área investigada fueron determinados nueve bloques morfotectónicos, los que se caracterizaron a través de la morfología de sus superficies, litologías que los constituyen, estructuras que los afectan y tendencia de los desplazamientos verticales y horizontales a que están sometidos. Estos bloques constituyen un sistema de horts y grabens que a su vez conforman el mayor bloque en ascenso del extremo nororiental cubano.
- En las investigaciones realizadas pudo caracterizarse la actividad neotectónica del territorio, que se pone de manifiesto a través de los sistemas de estructuras activas por medio de movimientos verticales, horizontales y rotacionales entre los diferentes bloques y sub-bloques morfotectónicos. A través de los diferentes métodos empleados se hizo evidente el predominio de los desplazamientos verticales de carácter ascendente, sin negar el papel que desempeñan en la geodinámica territorial los desplazamientos rumbo deslizantes, rotacionales y verticales de descenso relativo.
- A partir de la caracterización de los movimientos neotectónicos contemporáneos que se ponen de manifiesto a través de mecanismos lentos y rápidos (sismos), se concluyó la existencia de riesgos de origen geológico para el medio ambiente, determinándose los principales tipos de riesgos específicos posibles a ocurrir para cada una de las dimensiones medioambientales, lo que junto al conocimiento de la susceptibilidad a los daños que pueden provocar y los elementos en riesgo que

existen, permitió la determinación de la magnitud del riesgo total para cada punto del territorio, concluyéndose que en las áreas correspondientes a la zona de la presa de agua Nuevo Mundo y en la zona portuaria, donde se encuentra localizada la planta de amoniaco constituyen los sectores de máximo riesgo total del territorio.

- Con el estudio de las variables que determinan la magnitud del riesgo total y las principales estructuras activas, se confeccionó el Mapa de riesgos del territorio donde quedaron establecidas cuatro zonas por su grado de peligrosidad ante los efectos de los procesos tectónicos ya sean lentos o violentos. Las zonas de máxima y gran peligrosidad se localizan en las áreas de asentamientos socioeconómicos y en la zona litoral limítrofe con las mismas, mientras que las zonas de menor riesgo se ubican en los sectores interiores de las elevaciones que se desarrollan al sur y centro del territorio, proponiéndose finalmente un plan de medidas generales tendiente a contrarrestar o mitigar los efectos de la actividad tectónica sobre el medio ambiente.

### **Recomendaciones.**

Después de culminadas las investigaciones del territorio se hace necesario recomendar:

- Profundizar en el estudio tectónico de los extremos sureste y suroeste del área investigada y de la parte sur colindante, donde existe un menor volumen de información geológica y geodésica y que constituyen zonas de interés para el territorio por la posible y necesaria expansión de la actividad minera.
- Establecer un sistema de control geodésico cíclico alrededor de las estructuras tectónicas activas de mayor influencia en el contexto regional que permita determinar con mayor precisión la magnitud y sentido de los desplazamientos contemporáneos.
- Crear las condiciones para el funcionamiento de la estación sismológica y el establecimiento del mareógrafo que permitan caracterizar con mayor exactitud la geodinámica territorial.
- Alertar al gobierno municipal y a las instituciones responsabilizadas con la gestión ambiental de los graves riesgos a que se encuentra expuesto el territorio por la

degradación progresiva de su superficie, debido al crecimiento socio económico que conlleva a la pérdida del equilibrio en el medio ambiente natural.

- A partir del plan de medidas generales propuesto en el trabajo, orientar a los organismos y entidades del municipio la confección de planes específicos de protección ante los riesgos de origen tectónico con vista a mitigar los efectos dañinos.
- Profundizar en el estudio de las estructuras con vista a valorar su incidencia en el desarrollo y conservación de la cortezas de intemperismo ferroniquelíferas y otras posibles manifestaciones minerales asociadas a ellas.

# **BIBLIOGRAFIA**

## **BIBLIOGRAFIA**

### **Publicaciones del autor.**

### **Bibliografía Consultada.**

### **Publicaciones del autor.**

1. García G., Muñoz N., Domínguez E., Rodríguez A. Métodos geólogo-geomorfológicos en la búsqueda y exploración de yacimientos de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas en Cuba. Revista Minería y Geología, No.1, 1983.
2. Rodríguez A. Características geólogo-geomorfológicas del yacimiento Punta Gorda. Revista Minería y Geología, No.1, 1983.
3. Rodríguez A. Características geomorfológicas del área Calabazas - Tiguabos - Santa Catalina - Jamaica. Revista Minería y Geología, No.3, 1983.
4. Rodríguez A., Carralero N. Condiciones geomorfológicas y neotectónicas de las zonas de desarrollo de yacimientos lateríticos de Moa. Revista Minería y Geología, No.1, 1984.
5. González E., Cañete C., Carral R., Diaz J., Capote C., Rodríguez A. Análisis estructural del macizo Mayarí Baracoa. Serie Geológica No.4, 1986.
6. Rodríguez A. Estudio fotogeológico del área de Cayo Güin. Revista Minería y Geología, No.1, 1989.
7. Rodríguez A. Estudio fotogeológico de Moa y áreas adyacentes. Revista Minería y Geología, No.2, 1989.

8. Rodríguez A., Mundi M., Castillo J.L. Morfotectónica y sismotectónica de la región de Moa. Revista Minería y Geología, No.2, 1996.
9. °Rodríguez A. Estudio de la falla strike - slip Cananova. Revista Minería y Geología, No.1, 1998.
10. Rodríguez A. Estilo tectónico y geodinámica de la región de Moa. Revista Minería y Geología, No.1, 1998.
11. Rodríguez A. Relieve y Neotectónica de la región de Moa. Revista Tecnológica, Serie Níquel, No.1, 1998.
12. Rodríguez A. Riesgos de origen tectónico para el territorio de Moa. En proceso de publicación en la revista Tecnológica, Serie Níquel, No.2, 1998.

#### **Bibliografía Consultada.**

1. Adamovich A. y Chejovich V. Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. Revista Tecnológica. 1962.
2. Adamovich A., Chejovich V. y otros. Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. Fondo Geológico. 1963.
3. Adamovich A. y Chejovich V. Sobre el relieve pre Maestrictiano del norte de oriente y sus relaciones con la geomorfología contemporánea. Revista Tecnológica, Vol. 3, No.2, 1965.
4. Alfaro J.A., Casas A. y Simón J. L.. Ensayo de zonación sismotectónica en la cordillera ibérica, depresión del Ebro y borde sur pirenaico. Estudios Geológicos, 43 ( 5-6 ). 1987.

5. Andó J., Miklos K., Ríos Y. Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín - Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. *Revista Minería y Geología*, Vol. 7, No.1, 1989.
6. Anónimo. Medio Ambiente y Desarrollo. XIV Festival Mundial de la Juventud y los Estudiantes. Ciudad de la Habana, 1997.
7. Arango E.D. Geodinámica de la región de Santiago de Cuba, en el límite de las placas caribeña y norteamericana. Tesis de maestría. México. 1996.
8. Astrosa Gättgens A. El papel de las ciencias geológicas en los programas de desarrollo sostenible y ordenamiento territorial en Costa Rica. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Vol.2, Oficina regional de ciencia y tecnología, UNESCO, 1995.
9. Augusto O. Deslizamientos. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Vol.1, Oficina regional de ciencia y tecnología, UNESCO, 1995.
10. Bankwitz P. Introduction for remote sensing for geology and tectonics. United Nations Training Course, Postdam, 1987.
11. Barzana J. A. Prospección detallada del flanco suroeste del yacimiento Cayo Guam. Posición de los cuerpos de cromita en el flanco noroeste y sureste de Cayo Guam. Comunicación oral, Noviembre de 1997.
12. Batista J. Caracterización geológica y estructural de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1: 50 000. Tesis de maestría. Departamento de Geología, I.S.M.M, 1998.
13. Blanco J., Proenza J. Terrenos geológicos de Cuba Oriental. *Revista Minería y Geología*, 1994.
14. Bolt B. Excitación de terremotos por agua. *Terremotos*. Universidad de California. 1983.

15. Bugelsky Y., Formell F. Influencia del factor hidrogeoquímico en la formación y distribución de las cortezas de intemperismo en Cuba. Serie Geológica No.13, 1973.
16. Bugelsky Y., Formell F. Influencia del factor hidrogeoquímico y cuestiones de la génesis de las cortezas de intemperismo níquelíferas de Cuba. Serie Geológica No.12, 1973.
17. Campos M. Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias de Holguín y Guantánamo. Revista Minería y Geología No.2, 1983.
18. Campos M. Tectónica y minerales útiles de la asociación ofiolítica y de los complejos vulcanógenos del arco insular cretácico en Cuba Oriental. Inédito. Departamento de Geología, I.S.M.M, 1991.
19. Capote C., Pérez R., Villena M., Calzadilla M., Pérez C., Strazhevich V. La teledetección aplicada a las investigaciones geológicas. I.G.P., MINBAS, 1987.
20. Carbonel F., Almiral J. Estudio aerofotogeológico y geomorfológico del extremo oriental de Cuba a escala 1: 100 000. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1989.
21. Castellanos M. Economía y Medio Ambiente. Enfoques, Reflexiones y Experiencias actuales. Editorial Academia, La Habana, 1996.
22. Castellanos M. Introducción a la problemática de la valoración económica ambiental. Editorial Academia, La Habana, 1998.
23. Castellanos M. Sobre la metodología de evaluación de impacto y tendencias actuales. Comunicación oral, Moa, Julio, 1998.
24. Cavallín A., Marchetti M. Geomorphology and environmental impact assessment: a practical approach. Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria, 1995.

25. Christie-Blick u., Biddle K. T. Deformation and basin formation along strike-slip faults. Lamont Doberty Geological Obsrvatory Contribution, 1985.
26. Cobiella J.L. Sobre el origen del extremo oriental de la fosa de Bartlett. Editorial Oriente, 1984.
27. Cobiella J. L. Un melange en Cuba oriental. Revista La Minería en Cuba, No.4, Año 4. 1978.
28. Cobiella J.L. y otros. Geología de la región central y suroriental de la provincia Guantánamo. Editorial Oriente, 1984.
29. Cobiella J.L., Quintas F. Análisis estratigráfico y tectónico de las provincias orientales y Camagüey. Departamento de Geología, I.S.M.M., 1983.
30. Cobiella J. L., Quintas F. y otros. Geología de la región central y suroriental de la provincia de Guantánamo. Editorial Oriente, 1984.
31. Cobiella J. Y Rodríguez J. Algunos rasgos de la geología de Cuba oriental. Ciencias Técnicas, Serie Geodesia y Geofísica No.3, 1978.
32. Conde M. Estudio morfotectónico de la estructura Quesigua. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1996.
33. Cotilla M., Franzke H.J., Pilarski J., Portuondo O., Chuy T., Pilarski M., Alvarez L. Mapa de alineamientos y nudos tectónicos principales de Cuba.
34. Cotilla M., González E., Díaz J.L., Cañete C. Mapa neotectónico complejo del extremo oriental de Cuba y la parte marina meridional.
35. Cotilla M., Alvarez L., Grunthal G., Chuy T., Rubio M. Potenciales sísmicos del arco de las Antillas Mayores.

36. Chang J. L. Levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias Guantánamo y Holguín. Sector Guantánamo sur. Fondo Geológico Nacional, 1991.
37. Díaz J.L. Movimientos tectónicos recientes de Cuba occidental. Nuevas investigaciones geodésicas y geomorfológicas. Ciencias de la Tierra y el Espacio, No.17, 1990.
38. Dos Santos A. M. Geología aplicada y medio ambiente. Aspectos geológicos de protección ambiental. Vol.1, 1995.
39. Fleisher P.J. Maps in applied geomorphology. Developments and application of geomorphology, 1984.
40. Fonseca E., Zelepuguin M. y Heredia M. Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica en Cuba. Ciencias de la tierra y el espacio, No.9, 1984.
41. Fonseca Z., Salazar R. Estudio morfotectónico del extremo oriental de Cuba a escala 1:100 000. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1989.
42. Formell F. Clasificación morfogenética de las cortezas de intemperismo niquelíferas sobre las rocas ultrabásicas de Cuba. Ciencias de la tierra y el espacio No.1, ACC, 1979.
43. Formell F., Oro A. Sobre los procesos de redeposición del yacimiento Punta Gorda. Ciencia de la Tierra y el Espacio No.2, 1980.
44. García A., Almenares N. Estudio morfotectónico de las zonas Nuevo Mundo y Las Camariocas. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1994.
45. García G. Regularidades de la distribución de las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas de Cuba oriental. Tesis doctoral, I.S.M.M., 1978.

46. González E., Carral R., Díaz J.L., Cañete C. Estudio de los movimientos neotectónicos en el macizo Mayarí Baracoa. Serie Geológica No.3, 1986.
47. González E., Saunders P.E. Estudio de las cortezas ferroniquelíferas de Cuba por métodos morfométricos. La Minería en Cuba, Vol. 3, No.2, 1977.
48. Gyarmati P. y otros. Informe sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsquedas acompañantes en el polígono V, CAME-Guantánamo. Inédito. E.G.S., 1990.
49. Harding T. P. Identification of wrench faults using subsurface structural data: criteria and pitfalls. AAPG, Vol.74 / 10, 1990.
50. Hass J.E. Socioeconomic impact of earthquake prediction on government, business and community. Institute of behavior sciences, University of Colorado, 1976.
51. Hernández E. y Mera L. Actividad sísmica a lo largo de la zona de falla de la cordillera septentrional. ( Límite entre la placa Norteamericana y la placa del Caribe ). Investigación para el desarrollo, Año 1, No.1, 1994.
52. Hernández J.R., Marquez M., Lilienberg D. Carácter oscilatorio de la geodinámica endógena reciente en zonas sismogeneradoras cubanas. Ciencias de la tierra y el espacio, No.13, 1987.
53. Hernández J.R., Lilienberg D., González R. Principales nudos morfoestructurales sismoactivos de Cuba septentrional. Ciencias de la tierra y el espacio, No.17, 1990.
54. Hernández J.R. y otros. Regionalización morfoestructural de la Sierra Maestra y de las depresiones circundantes. Revista Ciencias de la tierra y el espacio, No.17, 1990.

55. Hurtado G. Estudio ambiental en la central termoeléctrica de la empresa niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara. Tesis de maestría, ISMM, 1997.
56. Instituto de Investigaciones Geológicas. Tipos y simbología de los mapas geomorfológicos. Ministerio de Minería y geología, 1978.
57. Instituto Tecnológico Geo Minero de España. Manual de ingeniería de taludes. 1987.
58. Iturralde M. Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. Ciencias de la tierra y el espacio, No.17, 1990.
59. Iturralde M. Sinopsis de la constitución y evolución geológica de Cuba. Inédito, 1997.
60. Kämpf H., Pilarski J. Remote sensing interpretation related to vein deposits and seismotectonics in the Vogtland. United Nations Training Course, Postdam, 1989.
61. Kassaskov P., Tabachserv V., Krasnoborodkin V., Efinova L., Escobar E., Vega P. Formación geológica y minerales útiles de la parte central y noreste del anticlinorio de Holguín. Fondo Geológico, 1974.
62. Keller E.A. and Rockwell T.K. Tectonic geomorphology, quaternary chronology and paleoseismicity. Developments and aplicaciones of geomorphology, 1984.
63. Knipper A. y Cabrera R. Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio y el eugeosinclinal y el cinturón hiperbasítico de Cuba. Publicación especial No.2, I.G.P., Contribución a la geología de Cuba., ACC, 1974.
64. Lewis J.F. and Draper G. Geology and tectonic evolution of the norther cribbean margin. The caribbean region. The geology of North America, Vol. H, 1990.

65. Lilienberg D., Hernández J.R., Marquez M.E., Alvarez J.L. Movimientos tectónicos recientes de Cuba. Editorial Academia, 1993.
66. Liuby L.R. y otros. Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico realizado en las provincias de Holguín y Guantánamo. Fondo Geológico Nacional. 1983.
67. López G.I. Desarrollo de una metodología para la elaboración de planes de desarrollo ambiental municipales. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Vol. No.2, Oficina regional de ciencia y tecnología, UNESCO, 1995.
68. Lundren P.R., Russo R.M. Finite element modeling of crustal deformation in the North America - Caribbean boundary zone. Journal of Geophysical, Vol. 101, No.35, 1996.
69. Magaz A.R. Principales problemas actuales de la geomorfología de Cuba y su importancia en la economía nacional. Ciencia de la Tierra y el Espacio, No.15-16, 1989.
70. Makarov V.I. Application of space techniques for neotectonic studies. United Nations Training Course, Postdam, 1989.
71. Mann P., Schubert C., Burke K. Review of caribbean neotectonic. The geology of North American, Vol. H, 1990.
72. Marquetti M. C. Proyecto de estudio sismotectónico de la C. H. A. Oriente norte. Informe técnico, E.I.P.I.B., 1990.
73. Martínez J. J. Y Hernández J. L. Tectónica reciente y rasgos sismotectónicos en el sector Lorca - Totana de la falla Alhama de Murcia. Estudios Geológicos 48 (3-4), 1992.
74. Martínez J. y otros. Un modelo de mapa neotectónico en la región nororiental de la provincia de Valencia ( España ). Estudios Geológicos 43 (1-2), 1987.

75. Medvedev S.V., Sponhever W., Karnik V. Escala de intensidad sísmica MSK. 1963.
76. Milanés M. Geomorfología de la zona Moa, provincia de Holguín. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1980.
77. Morris A. E., Taner I., Meyerhoff H.A., Meyerhoff A.A. Tectonic evolution of the caribbean region; alternative hypothesis. The geology of North American, Vol. H, 1990.
78. Mundi M., Castillo J.L. Estudio geólogo-tectónico de la región de Moa. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1993.
79. Nagy N. Ensayo de las zonas estructuro faciales de Cuba oriental, contribución geológica de Cuba oriental. Editorial Ciencia y Técnica, ACC, 1983.
80. Nagy E. y otros. Informe de los trabajos de levantamiento geológico para el mapa en escala 1: 250 000 del territorio de la antigua provincia de Oriente. ACC, 1976.
81. Nuñez Jiménez A. Cuevas y Carso. EMFAR, 1984.
82. Nuñez Jiménez A., Korin J., Finko V., Formell F. Notas preliminares acerca del carso en peridotitas, Sierra de Moa, Oriente, Cuba. Revista Geología No.1, 1967.
83. Oliva G. nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, ACC, 1989.
84. Orbera L. Estudio sismotectónico para el complejo hidroenergético Toa - Duaba. Informe técnico, E.I.P.I.B., 1990.

85. Orbera L. Sismicidad de la parte oriental de Cuba como índice de la actividad tectónica actual. Revista Boletín de la S.C.G., Primer congreso cubano de geología, 1989.
86. Pindell J.L., Barret S.F. Geological evolution of the caribbean region; A plate tectonic perspective. The geology of North American, Vol. H, 1990.
87. Pino M. Estudio geodinámico de Moa. Proyecto técnico integral No.63021, I.C.G.C. Empresa oriental de geodesia y cartografía, 1993.
88. Portela A. Relieve, Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba, 1989.
89. Proenza J. Asociación ofiolítica en el noreste de Cuba oriental. Inédito. Departamento de Geología, I.S.M.M., 1995.
90. Proenza J. Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa ( Cuba ). Ejemplo del yacimiento merceditas. Tesis Doctoral, ISMM, 1997.
91. Proenza J., Carralero N.M. Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. Revista Minería y Geología, No.2, 1994.
92. Pupo A., García M. Estudio de la falla Miraflores. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1995.
93. Quintas F. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1989.
94. Quintas F., Cobiella J., Campos M. Estratigrafía y tectónica de Cuba oriental y Camagüey. Departamento de Geología, I.S.M.M., 1985.
95. Quintas F. Nuevos datos faciales y estructurales de la provincia Guantánamo. Revista Minería y Geología, No.3, 1987.

96. Rivera D. Caracterización de las estructuras disyuntivas de la cuenca Santiago de Cuba. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1997.
97. Riverón A.B. Caracterización respuesta dinámica de los suelos en la ciudad de Moa. Tesis de maestría, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1996.
98. Rodríguez F. J. Estudio aerofotogeológico de la región de Moa y zonas aledañas. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1987.
99. Shein V. S. y otros. Modelo de constitución geológica profunda de Cuba. Serie Geológica No.1, 1985.
100. Tadashi A. Riesgos geológicos urbanos. Aspectos geológicos de protección ambiental, Vol. No.I, 1995.
101. Thornbury D.W. Principios de Geomorfología. Editorial Pueblo y Educación, 1983.
102. Trifonov V.G. Remote sensing of geological hazards. United Nations Training Course, Postdam, 1987.
103. Torrente Y. Estudio de la falla Cayo Guam. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1996.
104. Torres N. Estudio morfotectónico del área Moa-Cabañas. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1996.
105. Uchupi J.F. Cuencas de pull-apart en el Caribe. Geofísica Internacional, No.2, 1990.
106. Urrutia J. Rotación de bloques en sistemas de fallas de desplazamiento lateral en cuencas tensionales. Geofísica Internacional, Vol. 28, México, 1989.

107. Vargas Cuervo G. Metodología para la cartografía de zonas de susceptibilidad a los deslizamientos a partir de sensores remotos y S.I.G. Boletín geológico, Ingeominas, Vol. 34, No.1, Colombia.
108. Varios. Reporte del terremoto de Moa del 20 de marzo de 1992. Comunicación escrita, 1994
109. Ximenes F. Erosión y la ocupación rural y urbana. Aspectos geológicos de la protección ambiental, Vol. No.I, Oficina regional de ciencia y tecnología, UNESCO, 1995.
110. Yunén R.E. y otros. Guía metodológica de capacitación en gestión ambiental urbana para universidades de América Latina y el Caribe. P.N.U.D., 1996.

## RELACION DE MATERIALES GRAFICOS

### Anexos Gráficos.

- Anexo No.1 Mapa de ubicación geográfica, puntos de muestreo y puntos de control geodésico. Escala del original 1: 100 000.
- Anexo No.2 Mapa Geomorfológico. Escala del original 1: 50 000.
- Anexo No.3 Mapa Fotogeológico. Escala del original 1: 50 000.
- Anexo No.4 Mapa Morfotectónico. Escala del original 1: 50 000.
- Anexo No.5 Mapa Geodinámico. Escala del original 1: 100 000.
- Anexo No.6 Mapa de Riesgos. Escala del original 1: 50 000.

### Figuras.

- Figura No.1: Esquema tectónico de Cuba oriental según Nagy y otros, 1976.
- Figura No.2: Esquema tectónico de Cuba oriental según Cobiellas y Rodríguez.
- Figura No.3: Evolución geológica en la zona límite entre las placas Norteamericana y del Caribe.
- Figura No.4: Perfiles geodésicos de la línea geodinámica Moa.
- Figura No.5: Zona de falla Cayo Guam - Quesigua - El Medio.
- Figura No.6: Mapas morfométricos de la zona Nuevo Mundo, en la falla Moa.
- Figura No.7: Zona de falla Cananova.
- Figura No.8: Diagramas de agrietamiento.
- Figura No.9: Diagramas de agrietamiento.
- Figura No.10: Zona de origen de terremotos.
- Figura No.11: Dirección promedio anual de los vientos en la zona de Moa.

### Tablas.

- Tabla I: Litologías presentes en el área de estudio.
- Tabla II: Criterios de identificación de fallas.
- Tabla III: Características de los bloques morfotectónicos.
- Tabla IV: Valores del riesgo total.

**Fotografías.**

Fotografía No.1: Falla Cayo Guam.

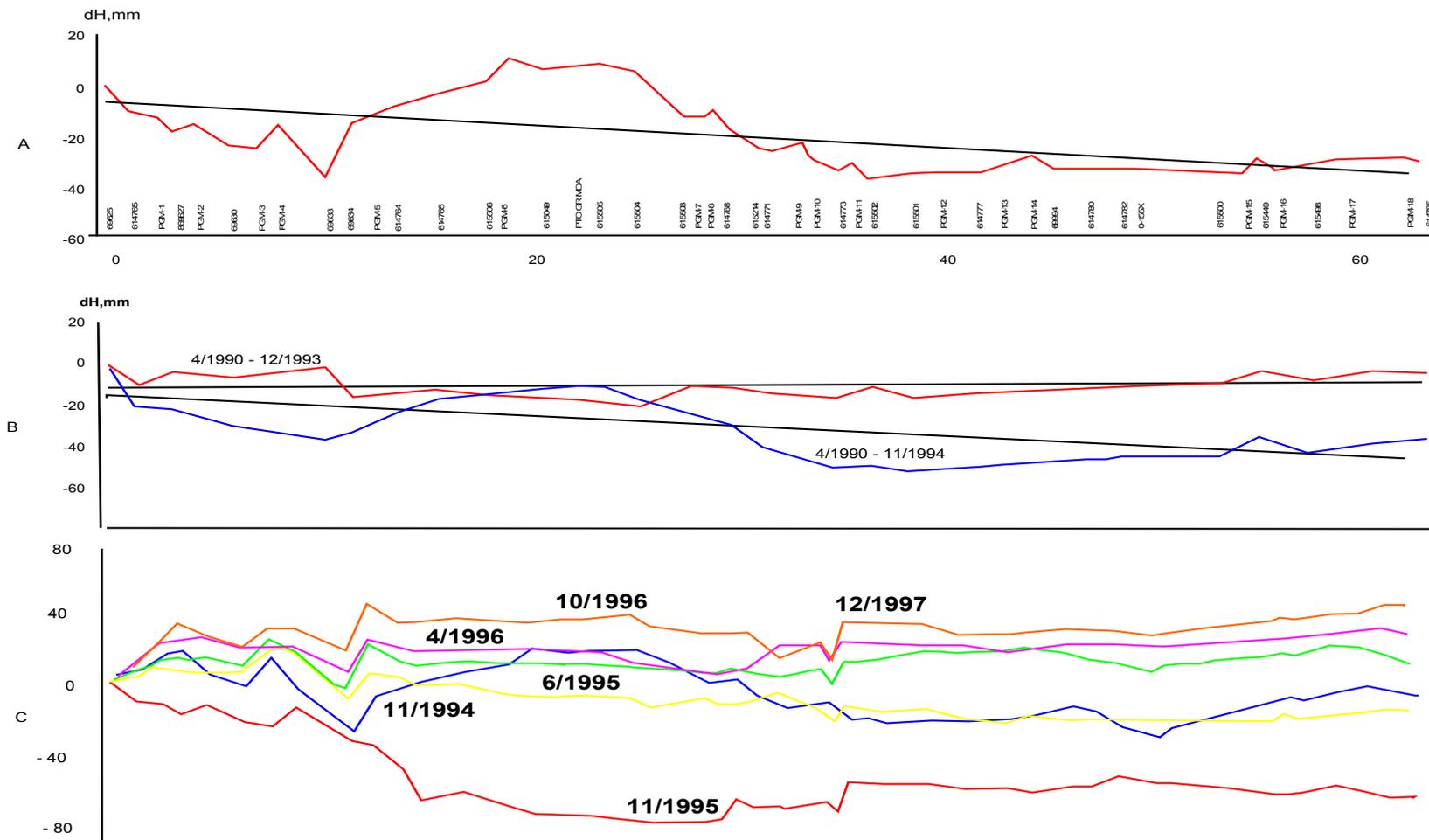
Fotografía No.2: Falla Moa.

Fotografía No.3: Falla Miraflores.

Fotografía No.4: Falla Cabaña.

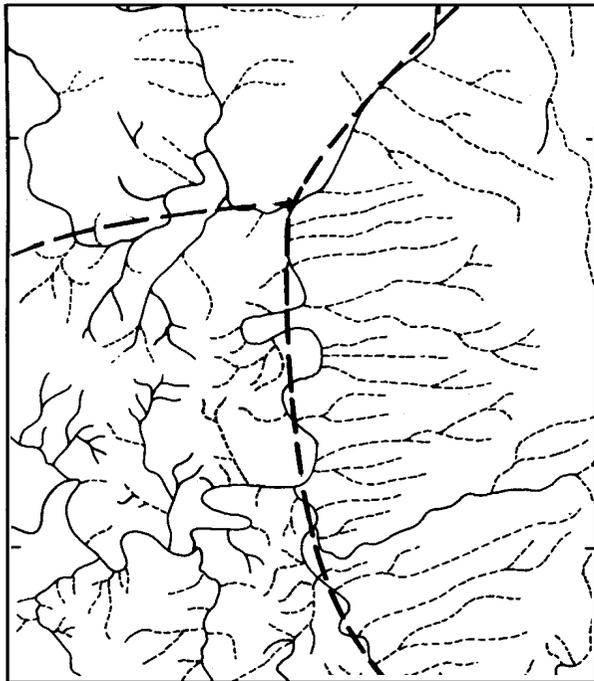
Fotografía No.5: Falla Cananova.

ANEXOS



**Figura No.4:** Perfiles geodésicos de la línea geodinámica Moa. A: Ciclo 12/93-11/94, B: en rojo 4/90-12/93, en azul 4/90-11/94 y C: líneas de diferencia respecto a 12/93.

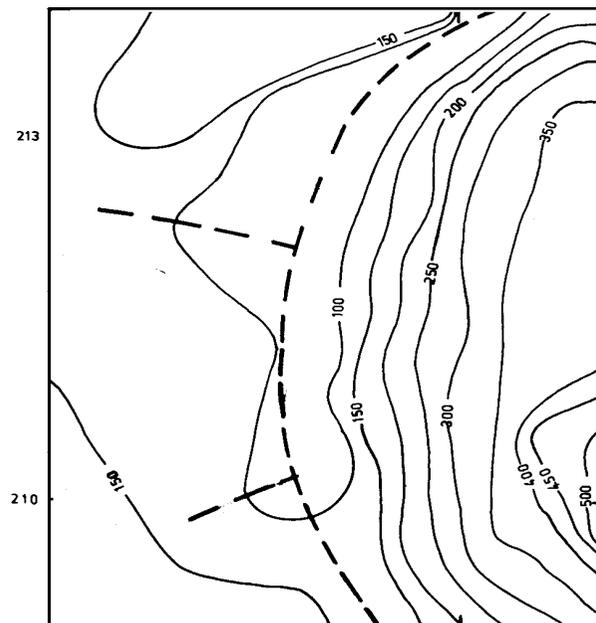
MAPA DE RED FLUVIAL



692

694

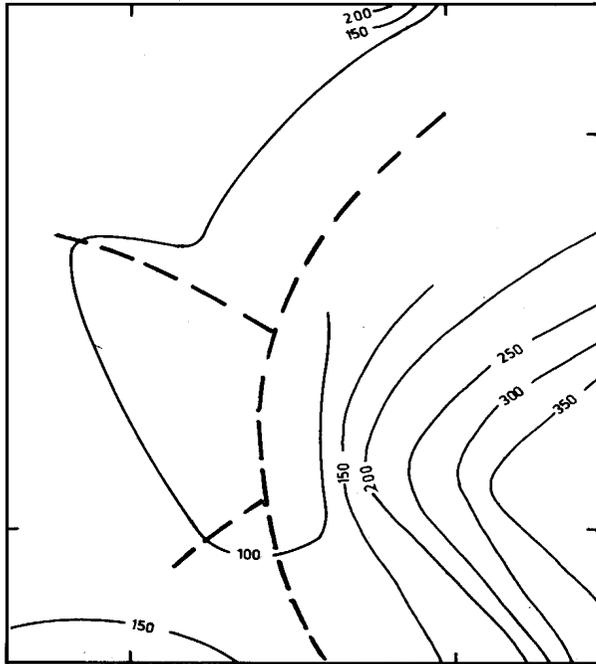
ISOBASITAS DE SEGUNDO ORDEN



213

210

ISOBASITAS DE TERCER ORDEN.



DISECCION VERTICAL

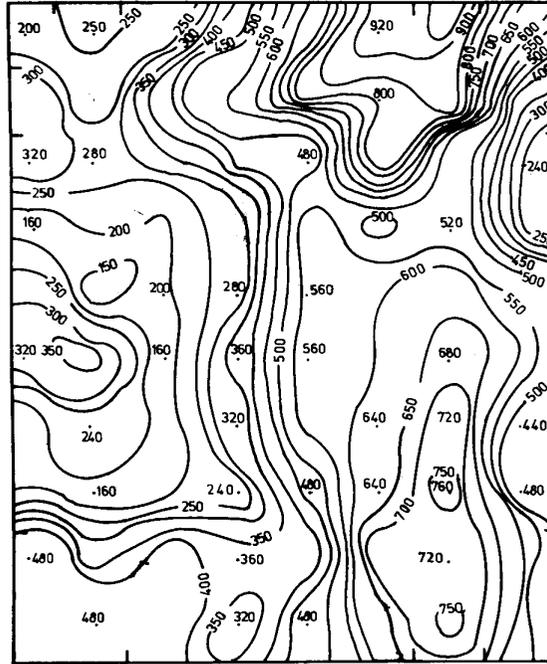
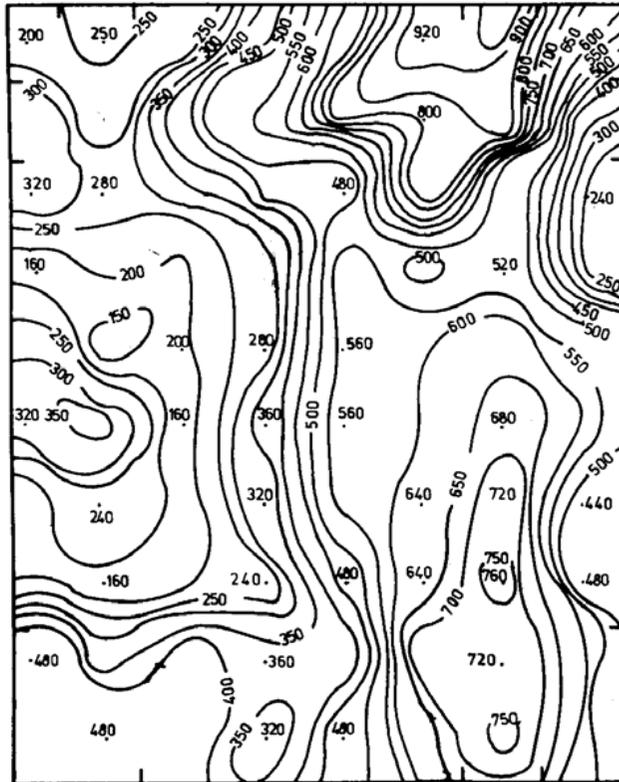
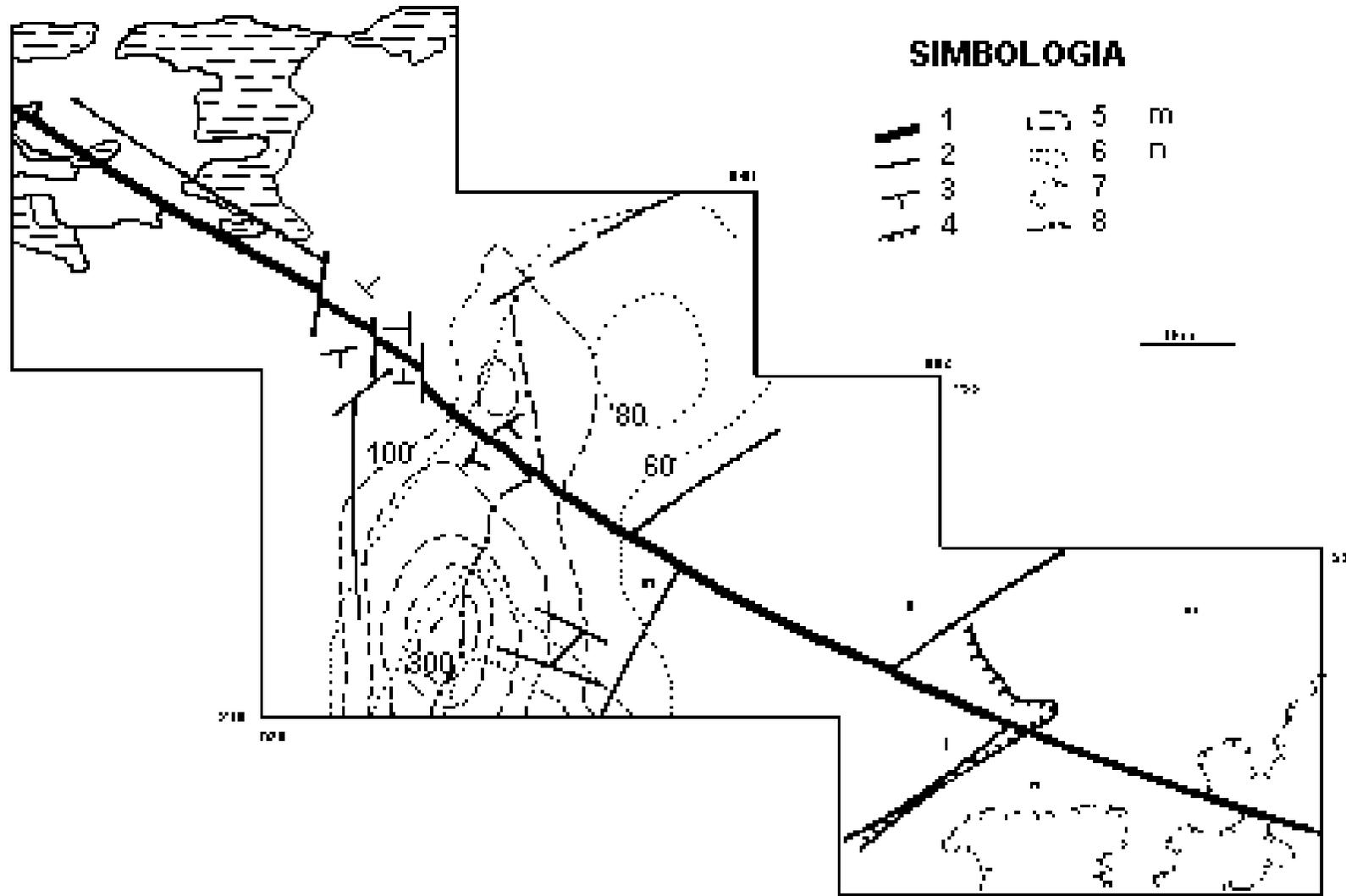


Figura No. 6: Mapas Morfométricos de Moa, en la zona de Nuevo Mundo.

DISECCION VERTICAL





**Figura No. 7:** Zona de la falla Cananova. 1. Falla Cananova, 2. Fallas, 3. Dirección del agrietamiento, 4. Escarpe, 5 y 6. Isobasitas de segundo y tercer orden, 7. Zona de minería, 8.

Divisoria de las aguas, 9. Relieve de montaña y 10. Relieve de llanura.



**D**



**E**



**F**



**G**



**H**

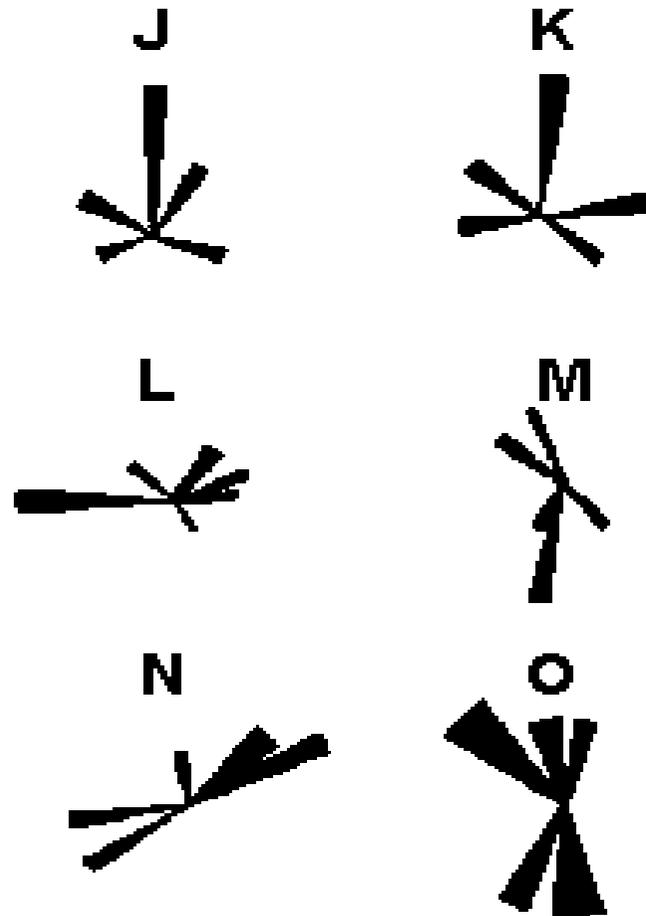


**I**

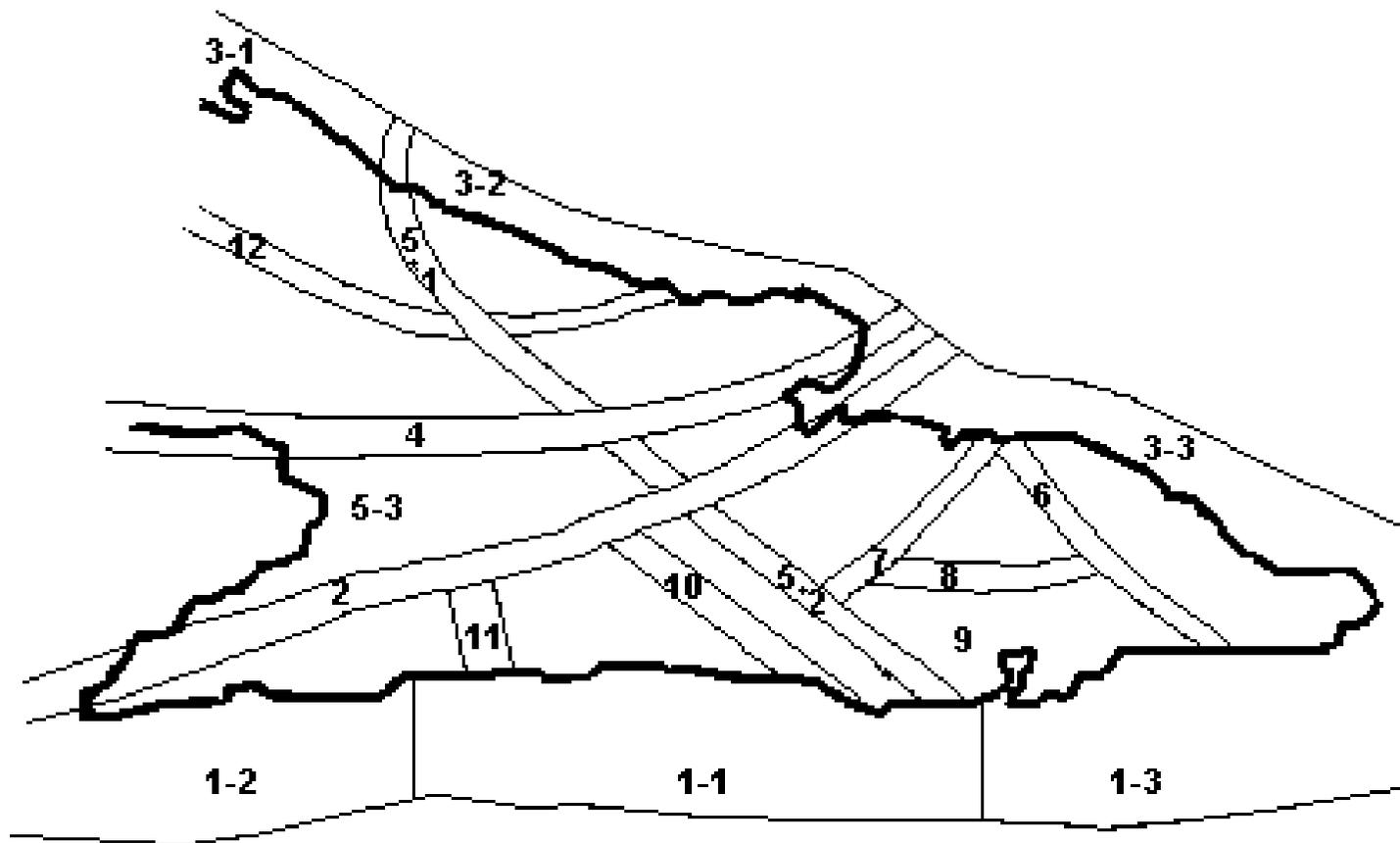


**Figura No. 8:** Diagramas de Agrietamiento. A y B, Puntos situados en el bloque Miraflores, al norte de la falla Cananova, D y E, al sur de la misma falla y equidistantes de los puntos anteriores, C y F, diagramas resúmenes del agrietamiento de los bloques Miraflores Norte y Sur respectivamente; G, H e I, puntos situados en el bloque El Toldo al norte y sur de la falla Punta Gorda y al suroeste de Cayo Guam.





**Figura No. 9:** Diagramas de Agrietamiento. J y K, puntos situados en el bloque El Toldo, en la zona de Calentura; L y M, corresponden a la parte occidental y nororiental del bloque Cayo Guam; N y O, a los bloques Cupey Norte y Sur respectivamente.



**Figura No. 10:** Zona de origen de terremotos. Región Oriental de Cuba. CENAIIS, 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).

Tabla II. Criterios de identificación de fallas.

ESTRUCTURAS			CRITERIOS DE IDENTIFICACIÓN E INTERPRETACION															DESPLAZAMIENTOS									
SISTEMA	NOMBRE	ORIENTACION	DESPLAZAMIENTO DEL RELIEVE	DESPLAZ. BARRERA ARRECIFAL	DESPLAZ. DEPOSITOS CUATERNARIOS	ALINEACION DE CURSOS FLUVIALES	RECTIFICACION DE SISTEMAS FLUVIALES	RECTIFICACION DE COSTAS	DESPLAZ. DE LINEAS COSTERAS	CONTACTOS LITOLOGICOS ALINEADOS	ALTERACION DE VALORES MORFOMETRICOS	ALINEACION GRADIENTE MAGNETOMETRICO	CAMPO MAGNETOMETRICO ANOMALO	DESPLAZA. GEODESICO VERTICAL	ALINEACION BRUSCA DEL RELIEVE	VARIACIONES HIPSONOMETRICAS BRUSCAS	CIZALLAMIENTO INTENSO	DESPLAZ. ELEMENTOS GEOLOGO ESTRUCT.	VARIACION DIRECCION DEL AGRIETAMIENTO	FORMACION DE BARRANCOS	ANOMALIAS GRAVIMETRICAS	MINERALIZACION SECUNDARIA EPITERMAL	FORMACION DE ESCARPES DE FALLAS	ESPEJOS DE FRICCION	HORIZONTALES	VERTICALES	
A L E G E N I C O	LOS INDIOS	N10°W N30°W																								0,7 km	
	CAYO GUAM	N15°W																								1,5-2,5 km	8mm/0,9a
	MOA	N48°E N25°E																								1 km	16mm/0.9a
	MIRAFLORES	N35°E N25°W																								0,5 km	8mm/0,9a salto 400m
	CABAÑA	N56°E N70°E																								3 km	9mm/0,9a
	QUESIGUA	N10°E N40°W																								1,6-2 km	2mm/0,9a

	MAQUEY	N65°E N78°E	█		█			█	█	█		█	█						1,5 km	80 m
MIO CE	CANANOVA	N53°W	█	█	█	█	█	█	█		█		█	█	█		█		1,5 km	
NI CO	EL MEDIO	N40°E	█		█	█			█		█		█	█		█				

BLOQUES	RELIEVE	ISOBASITAS (m)		DISECCION VERTICAL (m/km <sup>2</sup> )	DIRECCION AGRIETAMIENTO	TENDENCIA DE LOS MOVIMIENTOS RELATIVOS	
		2 <sup>DO</sup> ORDEN	3 <sup>ER</sup> ORDEN			VERTICALES	HORIZONTALES
Cananova	Llanuras	50	40	10-70	N40°E. N45°W	Descenso	SE
Miraflores	Montañas bajas disec.	300	100	230-390	N25°E. N15°E	Ascenso	N-NW NE
Cabaña	Llanuras y premontañas	200	150	40-100		Descenso	SW E
Maquev	Montañas bajas	400	350	450	N40°W	Ascenso	
El Lirial	Premontañas	250	150	60-130		Ascenso	
Moa	Llanuras y Mont. bajas	350	300	370	N20°E	Ascenso	NE
El Toldo	Montañas bajas	900	800	550	N85°W	Ascenso	NE
C.Guam	Montañas bajas	300	250	230	N5°E. N78°E	Ascenso	S
Cupev	Premontañas y Mont. bajas	450	350	460	N50°W. N50°E	Ascenso	

Tabla # 2: Características de los bloques morfotectónicos