

ESTUDIO MORFOTECTÓNICO DE MOA Y ÁREAS ADYACENTES PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS DE GÉNESIS TECTÓNICA

(RESUMEN DE TESIS DOCTORAL / 1998)

Alina RODRIGUEZ-INFANTE / rinfante@ismm.edu.cu

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico

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 km² 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 geológico-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 morfoTECTÓNICAS 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 amoniaco 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 geólogo 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 (CENASIS), 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 CENAIS.
- Estudio Fotogeológico y Morfométrico del área de Mayarí, en el período 1990-1991 en colaboración con la Empresa de Construcciones Militares de Holguín.

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.

CAPÍTULO I

CARACTERIZACION GEOLOGO GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO

En este capítulo, se establece la base teórica que sustenta la investigación y la metodología seguida para su ejecución, realizándose además 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 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 del macizo ofiolítico del nordeste de

Cuba oriental, al cual se encuentran asociadas otras manifestaciones minerales como las zeolitas, cromitas refractarias y otras materias primas no metálicas.

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 y marzo de 1994, los cuales se considera han sido originados por la reactivación de la llamada falla Sabana o zona de sutura que constituye el límite norte de la microplaca Cubana 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 Caribeña. 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 telúricos y los procesos geodinámicos, 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 las estructuras y sistemas a los cuales pertenecen se realiza tomando como base la teoría movilista que explica la característica y evolución de la litosfera terrestre, aplicando para ello métodos geológicos, geomorfológicos, geofísicos y geodésicos que garantizan el 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 reiterativas y frecuentes de las redes ya establecidas así como información geofísica.

En el caso específico de las estructuras que por el 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.

A pesar de que 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 bloques morfotectónicos, 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.

Metodología de la Investigación

La metodología de las investigaciones está estructurada en cuatro etapas de trabajo que se explican a continuación.

Etapas Preliminares

En esta etapa se estableció el área de trabajo, comprendida entre los ríos Cananova al oeste y Santa María al este y 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 km² de las cuales 712 km² corresponden al territorio insular emergido y el resto a la zona marina comprendida entre el litoral y la barrera coralina.

Anexo gráfico No.1. Según el sistema de coordenadas Lambert el área se encuentra enmarcada entre los puntos: X: 680 000 - 721 000 y Y: 207 000 - 232 000.

Se estableció la escala, asumiéndose para los métodos morfométricos y de comprobaciones de campo la escala 1: 25 000 y 1: 50 000 para la presentación final de la información obtenida. Finalmente se realizó la selección de los materiales primarios y se procedió a la búsqueda y revisión de la bibliografía.

Etapa Experimental

Se realizó la fotointerpretación con el objetivo de la determinación de las estructuras de fracturas, estudio de las formas del relieve y esclarecimiento de los contactos entre las diferentes litologías aflorantes en el territorio. Para ello fueron utilizadas las fotografías áreas a escala aproximada 1: 36 000 del proyecto K-10 de 1972, y de forma simultánea las fotografías a escala aproximada 1: 60 000 de la Aero Service Corporation de 1956, las fotografías a escala 1:100 000 y la fotografía cósmica digitalizada del vuelo conjunto.

Los trabajos morfométricos consistieron en la confección e interpretación de los mapas de Red fluvial, Isobasitas de segundo y tercer orden, Disección vertical y Pendientes. Finalmente se procedió a correlacionar la información obtenida por ambos métodos, confeccionándose el esquema morfotectónico preliminar del territorio.

Etapa de Campo:

Consistió en la comprobación de las estructuras determinadas, realizándose las mediciones de los elementos de yacencia de grietas y fracturas a ambos lados de las mismas 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 geológico tectónica y fueron medidas 7448 grietas que se procesaron estadísticamente.

Etapa de Gabinete

Se realizó la interpretación y procesamiento de la información obtenida por los métodos antes relacionados, así como de la información geodésica y geofísica. Con estos resultados se confeccionaron los mapas, geomorfológico y morfotectónico, se caracterizaron los movimientos geodinámicos actuales y se confeccionó 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 que es explicada en el desarrollo del capítulo correspondiente. Finalmente se confeccionó el informe de la investigación y el plan de medidas a seguir para mitigar los daños al medio ambiente.

Trabajos Precedentes

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.

En este sentido los trabajos de los especialistas soviéticos Adamovich y Chejovich [1] constituyen un paso fundamental hacia el conocimiento geológico del territorio oriental. Ellos elaboraron un mapa geológico, a escala 1: 250 000, sobre la base de fotointerpretaciones y marchas de reconocimiento; limitaron las zonas de corteza de intemperismo; establecieron la secuencia estratigráfica regional y estructuralmente 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. Las investigaciones posteriores demostraron que la estructura del territorio oriental cubano estaba muy lejos de tener el estilo sencillo que ellos concibieron.

En la década del setenta se inicia una nueva etapa en el conocimiento geológico regional, especialmente con posterioridad a la publicación en 1974 de los trabajos de Knipper y Cabrera [63], quienes 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.

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 ya en 1976 se estableció que la tectónica de sobrempuje 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

terrágenas del Maestrichtiano-Paleoceno Superior, planteando además el carácter alóctono de los conglomerados-brechas de la formación La Picota, demostrándose posteriormente que estas secuencias son típicas de la cuenca superpuesta al arco volcánico del Cretácico. Con estos nuevos elementos es reinterpretada la geología del territorio y se esclarecen aspectos de vital importancia para la acertada valoración de las reservas minerales. Como resultado de estos trabajos en 1979 Cobiella y otros [28] proponen un esquema tectónico que resume una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba oriental delimitando cinco zonas estructuro faciales. En 1980 Cobiella y Rodríguez [31] subdividen las anteriores estructuras en seis zonas.

En el periodo 1972-1976 se realiza el levantamiento geológico de la antigua provincia de oriente a escala 1: 250 000 por la brigada cubano-húngara de la Academia de Ciencias de Cuba, siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba oriental.

En el periodo 1980-1985 el Departamento de Geomorfología del Centro de Investigaciones Geológicas en colaboración con la Facultad de Geología del ISMM 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, a través de la aplicación de métodos morfométricos y de fotointerpretación.

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 [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 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 de nuestras investigaciones, en conjunto con los trabajos de Iturralde-Vinent [1996] sobre la geología de Cuba Oriental.

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 regional debemos 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 Santana [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 tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas.

En estas investigaciones se analizan y comparan las informaciones de Quintas e Iturrealde-Vinent sobre la geología de la región, asumiéndose estas para la caracterización de las diferentes litologías aflorantes en la misma.

A esta información se le han sumado los criterios de la fotointerpretación geológica y la corrección del cartografiado de algunos sectores según los datos aportados por las fotografías aéreas y los trabajos de campo.

Los grupos litológicos y formaciones que se encuentran representadas en el área de trabajo se muestran en la Tabla I .

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

Litología	Asociaciones Estructuro Formacionales F Quintas, 1989	Elementos Estructurales Iturralde-Vinent,1996		
			U n i d a d e s	C I N T U R O N
Rocas Ultrabásicas serpentinizadas y Complejo básico	AEF de la antigua corteza oceánica	Ofiolitas septentrionales	O c e á n i c a s	P L E G A D O
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 ^{ra} generación		
Fm. Mícará				
Fm. Sabaneta	Arco volcánico del Paleógeno	Arco de islas volcánico del Paleógeno		
Fm. Capiro	Cuenca superpuestas de la etapa platformica	Cuencas <i>piggy-back</i> 2 ^{da} generación		
Fm. Majimiana Fm. Júcaro Depósitos del Cuaternario	Secuencias terrígeno –carbonatadas de la etapa de desarrollo platformico	NEO AUTOCTÓNO		

Geomorfología del Territorio

Genéticamente el relieve de Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques [83] 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.

A partir de esta clasificación regional y tomando como base los criterios de clasificación que A. 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 del área mediante la aplicación de métodos de fotointerpretación geomorfológica, análisis morfométricos y observaciones de campo. Como resultado del estudio se clasificó el relieve del territorio en dos zonas geomorfológicas: Zona de llanuras y Zona de montañas con subtipos específicos que se describen a continuación y se muestran en el anexo gráfico No.3.

Zona de Llanuras. Se desarrolla en toda la parte norte del área comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur, originadas por la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos entre los que predominan los fluviales y marinos. Entre los tipos de llanuras se encuentran las fluviales, marinas y parálicas.

Las llanuras acumulativas marinas se ubican entre la barrera coralina y el litoral y se caracterizan por una pobre actividad erosiva. Los sedimentos que se acumulan provienen de las cortezas lateríticas, y la barrera arrecifal.

Las llanuras fluviales se clasifican en acumulativas y erosivo-acumulativas en dependencia del proceso que predomine en su morfogénesis, ocupando estas últimas una posición hipsométrica superior. Los sedimentos que se acumulan en estas zonas se caracterizan por su carácter temporal y su composición limonítica.

Asociada genética y espacialmente con las llanuras fluviales y marinas y en la zona de intersección entre ambas aparecen llanuras acumulativas palustres parálicas donde predominan procesos acumulativos 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.

La zona de montañas es la zona geomorfológica 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 y agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrolla así como del nivel hipsométrico que ocupan. Teniendo en cuenta esos parámetros el relieve de montaña fue clasificado en cuatro subtipos:

1. Premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
2. Submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas.
3. Montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas.
4. Montañas bajas diseccionadas.

Conjuntamente con estas zonas, aparecen en la región un conjunto de formas menores, que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional, son criterios de evaluación tectónicas y algunas representan un peligro para el medio ambiente. Dentro de esas formas se encuentran el relieve cársico y barrancos

como elementos naturales y las áreas minadas y presas de cola como elementos antropogénicos.

Resumiendo este capítulo se puede concluir que las rocas del complejo ofiolítico ocupan las mayores áreas de afloramiento, 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, determinándose para cada litología presente los criterios de fotointerpretación geólogo-geomorfológica que permiten establecer los patrones fotointerpretativos para áreas colindantes o geológicamente similares, alcanzando 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 estas investigaciones también se estableció como regularidad la disposición de los cuerpos de gabros en las zonas periféricas de los cuerpos serpentiniticos, 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, haciéndose necesario destacar 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 se pueden observar los elementos del relieve y 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.

CAPÍTULO II

MORFOTECTONICA Y GEODINAMICA DEL TERRITORIO DE MOA

A pesar del gran número de trabajos desarrollados en el territorio, así como de los estudios regionales realizados sobre el complejo ofiolítico, ha sido insuficiente hasta la fecha el estudio tectónico detallado, el que se hace difícil partiendo de la alta complejidad debido a 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 se realizó el presente estudio, para lo cual se procedió a la determinación de las estructuras tectónicas disyuntivas a partir de los diferentes métodos de investigación aplicados.

Rasgos Geotectónicos Evolutivos de la Región

En el análisis tectónico detallado del territorio se realizó el estudio de los principales rasgos geotectónicos regionales, para lo que fueron consultados diversos trabajos como los de Campos [18], Iturralde [58], Lewis y Drapper [64], Morris [77], Proenza [90] y otros, según lo cual quedó establecido que 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 partes de melanges.

A fines del Maestrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico cretácico cubano, iniciándose los procesos de compresión de sur a norte que originan, 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 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. 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.

A partir del Eoceno Medio y hasta el Mioceno Medio las fuerzas de compresión tangenciales se reducen, 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 considerar la influencia que sobre Cuba Oriental tienen los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente 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 cartografiadas cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica. En el trabajo se realiza la descripción de cada uno de estos sistemas y las principales estructuras que los conforman desde el sistema más antiguo, asociado genéticamente al proceso de emplazamiento del complejo ofiolítico hasta el más joven, originado bajo las condiciones geodinámicas contemporáneas, los que se muestran en el anexo gráfico No.4.

El primer sistema tiene su origen asociado al cese de la subducción que generó la colisión entre el arco insular y la margen continental, determinando el emplazamiento del complejo ofiolítico por lo que las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo y de este con las secuencias más antiguas. 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.

El segundo sistema está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste que se cortan y desplazan mutuamente constituyendo las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que afectan todas las litologías presentes y son los límites principales de los bloques morfoTECTÓNICOS. Su origen se encuentra asociado al proceso de colisión del arco volcánico cretácico sobre el paleomargen de Bahamas. Las principales estructuras representativas de este sistema son las fallas Los Indios, Cayo Guam, Moa, Miraflores, Cabaña, Quesigua y Maquey. Los criterios de reconocimiento de estas estructuras están recogidos en la tabla II.

Muchos de los criterios que permitieron la identificación de las estructuras de este sistema son índices de fallas tanto activas como pasivas, mientras que otros son formas de manifestación de estructuras que se han mantenido activas o se han reactivado en períodos recientes, siendo 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 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.

El tercer sistema está integrado por fallas de desplazamiento por el rumbo - *Strike-Slip*- cuyo origen está asociado al inicio de los movimientos hacia el este de la Placa del Caribe a través de la falla Oriente, originando un campo de esfuerzo de dirección norte-noreste que provoca la compresión del bloque oriental cubano contra la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas. Las dos fallas más importantes de este sistema son Cananova y El Medio. Los criterios de reconocimiento de estas estructuras están recogidos en la tabla II.

El cuarto sistema corresponde a estructuras de orientación norte-sur que tienen su mayor desarrollo en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento.

Las características de las estructuras de este sistema permiten suponer su génesis asociada a procesos de descompresión de bloques, por disminución de las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos. La edad de este sistema es considerado posterior al Mioceno, momento en que se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental como tendencia general.

Bloques Morfotectónicos

El análisis de las estructuras de la región y los parámetros geólogo-geomorfológicos que la caracterizan permiten asegurar que a pesar de la tendencia general al levantamiento, la geodinámica actual es mucho más compleja, existiendo junto a sectores que se levantan, otros con movimientos relativos de descenso, así como la ocurrencia de desplazamientos horizontales que en ocasiones llegan a provocar rotaciones de bloques sometidos a esfuerzos tangenciales.

En estas investigaciones se establecieron los nueve bloques morfotectónicos que conforman el territorio, los que se caracterizan a partir de criterios geológicos, morfométricos, fotogeológicos, geodésicos y magnetométricos determinados.

Bloque Cananova. Ocupa el extremo noroccidental del área de los trabajos quedando sólo su parte oriental dentro de la misma. Se caracteriza por valores mínimos de ascenso relativo, por lo que se considera el grabens más occidental de la zona.

Bloque Miraflores. Ubicado en la parte noroccidental del área teniendo como núcleo el Cerro de Miraflores y las laderas occidentales norte y nororientales del mismo. Se caracteriza por sufrir movimientos pulsantes, con tendencia al desplazamiento nort-noreste con un mayor levantamiento de su parte oriental 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 sí 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 la parte meridional mantiene una dirección noroeste en la zona Cayo Grande-Caimanes Abajo. Es cortado por la falla Cananova, con valores morfométricos diferenciados entre el sub-bloque norte y sur desplazándose el norte en dirección noroccidental. Este bloque se caracteriza por el carácter oscilante de los movimientos, comportándose 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, aun cuando en la actualidad muestre los valores geodésicos y morfométricos más deprimidos.

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. La caracterización de este bloque dentro del territorio es limitada por la ausencia de datos geodésicos y comprobaciones de campo; no obstante a ello y teniendo en cuenta el contexto geodinámico 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 Bloque Oriental Cubano.

Bloque El Lirial. Ubicado entre el bloque Cananova con el cual limita al norte a través de la falla Cabaña y el bloque Maquey al sur. En cuanto a la magnitud de los desplazamientos verticales ocupa también una posición intermedia, quedando como un escalón de transición entre un bloque de intenso levantamiento al sur y el sector de mínimos levantamientos relativos al norte.

Bloque Moa. Ubicado en la parte centrooccidental del área, entre los bloques Cabaña y El Toldo con los cuales contacta a través de las fallas Cabaña y Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de franja cóncava hacia el este. Está subdividido en cuatro sub-bloques: Calentura, Caimanes, Aeropuerto y La Vigía. La componente fundamental de los desplazamientos horizontales está orientada al noreste.

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. En este bloque y solo de forma similar ocurre en los bloques Maquey y Cupey, aparece el sistema de fracturas norte-sur. El límite oriental de este bloque esta dado por la falla Cayo Guam hacia el norte, mientras que al sur limita con el bloque Cupey a través de la falla Quesigua. En el mapa de anomalías magnéticas se nota que en el extremo suroccidental del bloque, entre las fallas Moa y Arroyón se desarrolla una zona de valores negativos anómalos, indicando la información geológica que en todo el sector afloran las rocas ultrabásicas del complejo ofiolítico. A partir de estos elementos Batista [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 ya que ese fenómeno sólo sería justificable a partir del ascenso de ese sector respecto al resto del bloque El Toldo.

Bloque Cayo Guam. El de más pequeña extensión en el área, 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. Los movimientos horizontales se manifiestan en los desplazamientos de la línea de costa y formas del relieve de hasta dos kilómetros y mantienen una dirección sur.

Bloque Cupey. Se ubica en el extremo oriental del área, desde la falla Quesigua hasta la coordenada 721 000 tomada como límite convencional. Este bloque aparece subdividido en cinco sub-bloques a través de las fallas El Medio, Cupey y Jiguaní con comportamientos diferenciados en los valores morfométricos. 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 de campo.

Neotectónica y Movimientos Geodinámicos Contemporáneos

En el estudio tectónico del territorio fueron determinados los principales parámetros que caracterizan la tectónica reciente siendo los más importantes:

- Alineación y desplazamiento de la línea de costa actual.
- Desplazamiento de zonas parálicas cuaternarias y límites rectilíneos de las mismas.
- Formación de escarpes rectilíneos con pendientes mayores a treinta grados en contacto con zonas de pendiente suaves.
- Encajamiento de valles fluviales.
- Desplazamiento lateral de valles fluviales.
- Acodamientos sucesivos de cursos fluviales con trazos rectilíneos
- Desplazamiento de líneas divisorias o partes de aguas principales.
- Desplazamiento de zonas geomorfológicas.
- Posición hipsométrica anómala de depósitos fluviales cuaternarios.
- 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.
- Ocurrencia de actividad sísmica.

Después de caracterizadas las estructuras tectónicas y los índices que indican actividad neotectónica contemporánea en la región, se hace referencia a las condiciones geotectónicas imperantes.

En estudios precedentes se reconoce la existencia de los 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 esto es cierto, existen evidencias de hundimientos y desplazamientos horizontales a través de las fallas activas o reactivadas que limitan los bloques morfotectónicos. Estos movimientos ocurren como consecuencia del reajuste de la corteza en el Bloque Oriental Cubano, que está sometido a fuerzas de compresión desde el sur en la zona límite de placas, donde ocurren los movimientos transformantes entre la Placa Norteamericana y la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos que empuja al Bloque Oriental hacia el norte-noreste. Estos esfuerzos que generan la formación de nuevas estructuras, provocan la reactivación de estructuras surgidas bajo condiciones geodinámicas diferentes tal y como ocurre con las fallas del segundo sistema, que bajo las condiciones compresivas actuales constituyen planos del deslizamiento horizontal. Este mecanismo de choques y deslizamientos 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 puede observar en el bloque Cabaña, donde alrededor de un eje subhorizontal de orientación noreste ocurre el basculamiento.

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 el papel más importante en el estilo morfotectónico, al constituir los límites de los bloques y ser a través de ellas que ocurren los principales movimientos neotectónicos.

Como resultado de los movimientos ocurridos a través de las estructuras falladas el territorio quedó dividido en nueve bloques que 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.

CAPÍTULO III

EVALUACION DE RIESGOS DE ORIGEN TECTONICO

En este capítulo se realiza el análisis de los riesgos del medio ambiente como consecuencia de la actividad tectónica, proponiéndose además una metodología de trabajo que podrá ser utilizada en otras áreas de interés.

Metodología para el Análisis de Riesgo

La metodología propuesta para la evaluación de riesgos de origen tectónico establece tres etapas de trabajo que se relacionan a continuación.

Etapa preliminar

Consiste en la recopilación y estudio de la información existente sobre las características geólogo-tectónicas y ambientales del territorio, con el objetivo de determinar la existencia de amenaza de génesis tectónica, los problemas que se tienen que enfrentar y las áreas por grados de complejidad, para poder realizar la planificación y organización de los trabajos, selección de los métodos y de los recursos materiales y humanos requeridos.

Etapa experimental

Consiste en la aplicación de los métodos de investigación seleccionados según el grado de estudio geólogo-geomorfológico y complejidad tectónica y ambiental del territorio. La magnitud del trabajo a desarrollar en esta etapa estará en dependencia del estudio precedente realizado. 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, relieve de 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 hay que tener en cuenta además de la amenaza natural latente en el mismo, su vulnerabilidad para determinar el riesgo específico y con este y los elementos en riesgo determinar el riesgo total según la fórmula propuesta por Varnes D. J. en 1984 [24].

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

Donde R_t : Riesgo total, H : Amenaza natural, V : Vulnerabilidad y E_r : Elemento en riesgo.

Etapas de Gabinete

Consiste en la confección del mapa de riesgo del territorio estudiado a partir de la información obtenida de los métodos aplicados en las etapas anteriores, el informe técnico de la investigación y las recomendaciones que faciliten la aplicación práctica de los resultados de la investigación que permitan evitar o mitigar los daños.

Amenaza Natural

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]. Para el territorio la amenaza 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

Se denomina riesgo específico a los daños esperados debido a la ocurrencia de un fenómeno natural [57]. 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 social o al construido, siendo frecuente la simultaneidad de sus efectos. También es necesario

tener en cuenta que de forma indirecta se generan al actuar los movimientos tectónicos sobre los elementos en riesgo que provocan reacciones en cadena y repercuten en la calidad ambiental.

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

- Deslizamientos.
- Aumento de la erosión de suelos.
- Aumento de sedimentación o colmatación.
- Alteración del manto acuífero.
- Ruptura del suelo con formación de grietas de separación.
- Ruptura del equilibrio ecológico.

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

- Deformación o ruptura de las edificaciones sociales y económicas.
- Derrame de productos químicos.
- Afectaciones en los embalses de agua.
- Daños en las vías de comunicaciones.
- Ruptura de instalaciones de abasto de agua, electricidad y servicio telefónico.

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.

Daños al Medio Ambiente Social

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.
- Afectaciones en las condiciones de vida.
- Afectaciones de la salud humana.
- Afectaciones económicas.
- Inestabilidad en el ejercicio del gobierno.

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.

Zonificación de Riesgos Tectónicos

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. 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 areal que permitiera la zonificación del territorio. [22, 23]. 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): 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; 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 cero cuando a través de los procesos tectónicos no ocurren daños en el medio ambiente, el valor uno a la ocurrencia de daños que pueden ser recuperables; el valor dos en aquellos casos en que se originan pérdidas parciales ante 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 y se le asignan valores en el rango de uno a cuatro, el valor uno corresponde a los sectores en que se encuentran expuestos al riesgo elementos del medio ambiente construido o natural de forma independiente, sin perjuicio directo al hombre; el valor dos se asume para 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 medio natural, construido y social, estando el valor cuatro reservado para condiciones extremas donde todo el medio es afectado, lo cual sólo sería posible ante la ocurrencia de un terremoto de gran intensidad.

Riesgo total (Rt). Se realizó la cuantificación puntual del valor del riesgo total para cada sector de la superficie según la fórmula antes referida, obteniéndose valores que oscilan de uno a veinticuatro como se muestra en la tabla IV, con los cuales se procedió a la confección del mapa de riesgos a través del sombreando con una simbología ya establecida de cada una de las cuadrículas, en dependencia de la magnitud del riesgo. En el territorio fueron determinadas cuatro zonas de intensidades de riesgo.

Tabla II: 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

Zona de máximo peligro o riesgo: Corresponde a áreas de valores de riesgo mayores a nueve para la amenaza que constituyen los movimientos tectónicos lentos y continuos (1), y de dieciocho bajo las condiciones de ocurrencia de movimientos telúricos (2), lo que constituye un indicador de la alta peligrosidad en la cual se encuentra. Espacialmente está limitada a dos áreas pequeñas, 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 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 está ubicada sobre la falla Moa en su tramo La Vigía, de carácter activo, mientras que la posición respecto a los asentamientos poblacionales del territorio y la dirección predominante de los vientos favorece 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 es la presa Nuevo Mundo, construida sobre el cauce del río Moa que corre sobre la falla de igual nombre, en la zona donde se intercepta con las fallas Maquey y Caimanes, formando un nudo estructural de alta complejidad dado por los desplazamientos horizontales y verticales de gran magnitud y sentido variable, tal y como quedó demostrado en el estudio tectónico. 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 aquí está determinado por las deformaciones que puede sufrir la cortina de la presa, lo que puede provocar no sólo la pérdida de dicho elemento y alterar el entorno en el cual se encuentra, sino también, llegar en caso extremo a provocar inundaciones con resultados catastróficos debido al

volumen de agua acumulado, la altura a que se encuentra el vaso del embalse, 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 (1) 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 en Moa y sus alrededores y al oeste, hasta el poblado de Centeno, prolongándose hacia el sur, hasta la zona de la presa Nuevo Mundo.

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 (1) y valores en el intervalo de ocho a doce para la amenaza dos (2). Constituye la zona de mayor extensión, encontrándose espacial y genéticamente asociada a las zonas periféricas interiores de los bloques morfotectónicos en ascenso, haciéndose mas pronunciada donde es mayor el levantamiento.

Zonas de baja peligrosidad: Está referida a los sectores que presentan valores del riesgo total menores a cuatro y ocho ante las variantes (1) y (2) respectivamente, estando sometido a los efectos del riesgo sólo 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. Estas zonas de baja peligrosidad se encuentran tectónica y espacialmente ubicadas en la parte central e interior de los bloques morfotectónicos, distribuidas de forma homogénea por toda el área, exceptuando el extremo suroccidental, donde se asumió un valor del riesgo total igual a tres a partir de la posible ocurrencia de daños recuperables al medio ambiente debido a la ausencia de actividad antropogénica intensa y al equilibrio y regularidad del relieve.

Partiendo del conocimiento que se obtuvo de los peligros y riesgos en la región se propone finalmente el plan general de medidas que deben seguir los órganos del gobierno y las diferentes entidades estatales del municipio.

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 tal y como se muestra en el anexo gráfico No, 9, a partir de lo cual fue posible establecer 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

En el área de las investigaciones se encuentran desarrolladas dos zonas geomorfológicas, claramente delimitadas:

1. *Zona de llanuras*: ubicada hacia el norte, desde la barrera arrecifal hasta sectores de cotas de 100 –150 m y de 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.
2. *Zona geomorfológica*: 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 ella se encuentra 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 formas cárnicas 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 genéticamente está asociado a los desplazamientos tangenciales entre la Placa Norteamericana y la Placa del 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 tectónicas 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 amoníaco 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

1. 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.
2. 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.

3. Crear las condiciones para el funcionamiento de la estación sismológica y el establecimiento del mareógrafo que permitan caracterizar con mayor exactitud la geodinámica territorial.
4. 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.
5. 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.
6. Profundizar en el estudio de las estructuras con vista a valorar su incidencia en el desarrollo y conservación de las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas y otras posibles manifestaciones minerales asociadas a ellas.

BIBLIOGRAFIA

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. 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. 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. 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 Maestrichtiano 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, Dpto. 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 Doherty Geological Observatory 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., ZEPEPUGUIN 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 níquelíferas 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 ferroníquelíferas 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 ferroníquelíferas 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., EFÍNOVA 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 applications 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 hiperbasáltico 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. Jurnal 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 JIMENEZ 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. **COLECTIVO DE AUTORES.** 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.