

Falla Moa: caracterización geodinámica y riesgos tectónicos asociados

Alina Rodríguez Infante ¹ / rinfante@ismm.edu.cu
José A. Batista Rodríguez¹ / jabatista@ismm.edu.cu

RESUMEN

En el contexto geodinámico del noreste oriental de Cuba existen numerosas estructuras disyuntivas activas que se ponen de manifiesto a través de los movimientos lentos y pulsantes, y de la actividad sísmica. Dentro de esas estructuras se encuentra la Falla Moa, que se extiende de forma submeridional, cortando el macizo ofiolítico y atravesando importantes yacimientos e instalaciones de la localidad. La caracterización de esta falla partiendo de su génesis, sentido de desplazamiento de los bloques rocosos y elementos que facilitaron su interpretación y cartografiado son tratados en este artículo, donde además se propone la necesidad del monitoreo de dicha estructura a partir de la influencia de ella en el medio ambiente territorial.

PALABRAS CLAVE

Geodinámica, fallas tectónicas activas, morfotectónica, riesgos tectónicos.

Moa fault: geodynamical characterization and associated tectonic risk

ABSTRACT

In the geodynamic context of the eastern part of northeast region, there are numerous active alternatives structures that show up through the slow and pulsating movements, and through the seismic activity. Among those structures it is located the Moa fault that extends in submeridional direction, cutting the ofiolitic solid and crossing important ores locations and facilities of the town. The characterization of this flaw is based on their genesis, sense of displacement of the rocky blocks and elements that allowed their interpretation and cartographic work are treated in this article, there is also pointed out the necessity of monitoring this structure starting from its influence on the territorial environment.

KEY WORDS

Geodynamic, tectonic active faults, morfotectonic, tectonic risk.

INTRODUCCIÓN

En el año 1992 en que ocurrió un aumento significativo de la actividad sísmica en el noreste de la región oriental cubana (CENAI, com. esc. 1994), se intensificaron las investigaciones dirigidas a ahondar en el conocimiento geológico y tectónico del territorio de Moa para establecer las estructuras tectónicas activas y bloques morfotectónicos, que permitieran caracterizar los movimientos contemporáneos y su incidencia en los sectores de máximo riesgo de origen tectónico. Dentro de esas estructuras activas se encuentra la Falla Moa, que atraviesa sublongitudinalmente el territorio de igual nombre y a la cual se encuentran asociados espacial y genéticamente numerosos epicentros registrados por la red sismológica regional. Para la correcta caracterización de esta estructura, es imprescindible el análisis del contexto geodinámico regional y los criterios geológicos y geomorfológicos.

Características geotectónicas regionales

Los principales rasgos geotectónicos de la región donde está ubicada la Falla Moa que condicionaron el surgimiento de la estructura y su evolución en el tiempo, han sido caracterizados en numerosos trabajos realizados por especialistas (Iturralde-Vinent, 1990; Lewis y Drapper, 1990; Morris, 1990; Campos, 1991) quienes que a partir del enfoque movilista del desarrollo geológico, explican la secuencia de procesos geotectónicos del Cretácico hasta el reciente en el contexto regional y muy en particular en los principales eventos que afectaron al bloque oriental cubano.

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

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

Estos movimientos de compresión terminaron con la colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas en el Eoceno Medio según Lewis Draper (1990), Morris (1990) y Pindell (1990), mientras que investigaciones más recientes (Iturralde-Vinent, 1996; Proenza, 1998) consideran que los mismos solo llegaron 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 tangencial se reducen quedando sólo expresadas a través de fallas de deslizamiento por el rumbo, plegamientos y empujes locales, tomando importancia para la región los movimientos verticales que caracterizan y condicionan la morfotectónica regional, iniciándose a partir del Mioceno Medio el proceso de ascenso del actual territorio de la isla de Cuba.

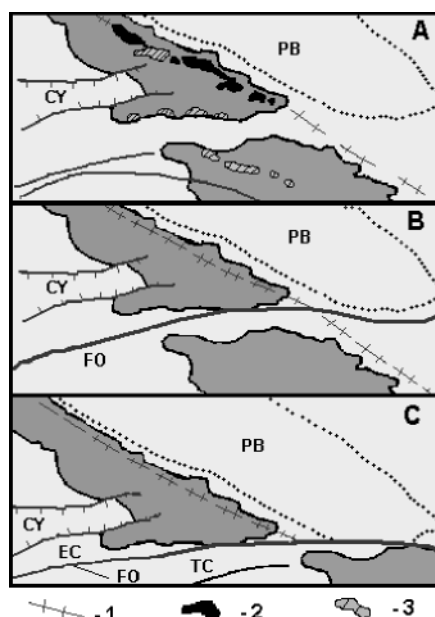


Figura 1. Evolución geológica en la zona límite de placas. A: Eoceno Medio (?), B: Mioceno Medio, C: Reciente, 1: Zona de sutura, 2: Corteza oceánica, 3: Arco paleogénico, PB: Plataforma de Bahamas, CY: Cuenca de Yucatán, FO: Falla Oriente, EC: Elevaciones de Caimán, TC: Trinchera de Caimán.

En estudios tectónicos precedentes ya han quedado establecidos cuatro sistemas de fracturas asociados a los principales eventos y estadios geotectónicos que han afectado a la región (Rodríguez, 1998) siendo de interés para este trabajo el segundo sistema cronológico, constituido por las dislocaciones de mayor extensión de la región y que afectan todas las litologías presentes, siendo a su vez los límites principales de los bloques morfotectónicos.

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

la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la Falla Oriente (Bartlett-Caimán), que constituye el límite entre la Placa Norteamericana y la Placa del Caribe, y generan un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste (Arango, 1996), que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todas las estructuras activas del Bloque Oriental Cubano desde el Eoceno Medio-Superior (Draper y Barros, 1994). La edad probable de estas estructuras es considerada en su fase final como Eoceno Medio con dudas (?), ya que existe divergencias sobre la edad probable de culminación del proceso.

Este sistema está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y nortenoeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre los sesenta y ochenta grados. Dentro de este sistema se encuentra la Falla Moa.

Caracterización de la Falla Moa

La Falla Moa es la estructura de mayor extensión dentro del territorio, y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de $N48^{\circ}E$, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo $N25^{\circ}W$ como se muestra en la Figura 2.

Hacia su parte septentrional, la Falla Moa se bifurca en dos tramos denominados La Vigía y La Veguita, con rumbos $N35^{\circ}E$ y $N74^{\circ}E$ respectivamente. En el bloque occidental al plano de falla afloran mayoritariamente las rocas del complejo ofiolítico, las rocas cretáceas de la formación Santo Domingo en la zona de Calentura, mientras que hacia el norte existe una extensa área de desarrollo de sedimentos fluviales y palustres del Cuaternario.

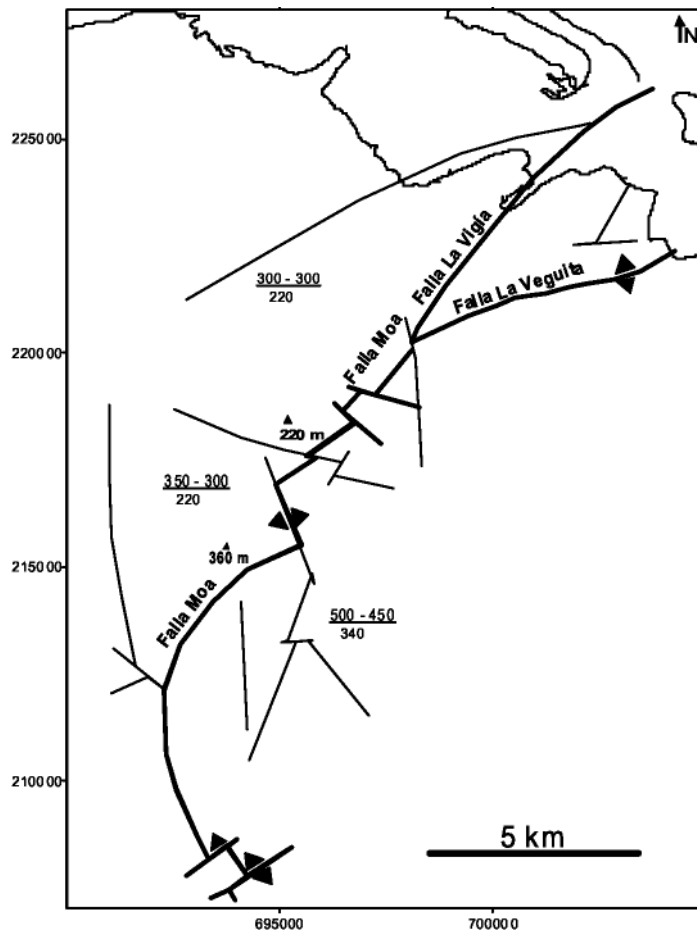


Figura 2. Mapa tectónico de la zona de Falla Moa.

Por otra parte, en el bloque oriental afloran las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, encontrándose también hacia el norte los sedimentos cuaternarios. En su conjunto forman la estructura más compleja, pero a su vez, de más fácil reconocimiento por su expresión nítida en la topografía (Figura 3).

Uno de los elementos que hace más evidente la Falla Moa en la topografía es la alineación del río de igual nombre que presenta en toda su porción central y meridional un cauce profundo en forma de barranco y laderas muy escarpadas de pendientes mayores de treinta grados. Similar comportamiento tienen los tributarios de la vertiente oriental que presentan una orientación predominante perpendicular al río principal como reflejo típico de un bloque en ascenso.

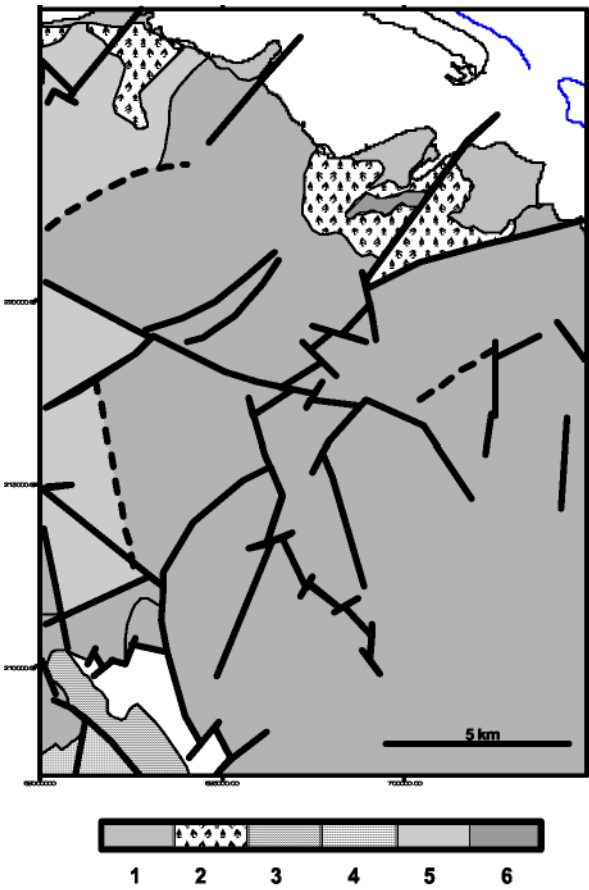


Figura 3. Mapa geológico de la zona Moa.1 Sedimentos Cuaternarios Parálícos, 2 Sedimentos Cuaternarios Fluviales, 3 Fm. La Picota, 4 Fm. Santo Domingo, 5 Gabros y 6 Serpentinitas

Entre ambos bloques de falla también se destacan elementos morfométricos bien diferenciados como son valores de isobasitas entre los 350 y 300 m para el 2^{do} y 3^{er} orden en la parte occidental y 900 y 800 m, respectivamente, para el bloque oriental así como la intensidad de erosión de fondo marcada por valores de 220 m/km² de disección vertical para la parte norte y central y 370 m/km² en el sur para el bloque oeste y 550 m/km² para la este. Estos valores se hacen más contrastantes en los alrededores de Calentura, entre las coordenadas Y: 219 000 y 214 000, destacándose las diferencias notables entre los valores de isobasitas, la tipología y la densidad del drenaje, y los valores de disección vertical entre ambos bloques de falla e incluso, las

diferencias dentro del mismo bloque occidental entre su parte norte y sur, tal y como se muestra en la Figura 4 (A, B, C y D).

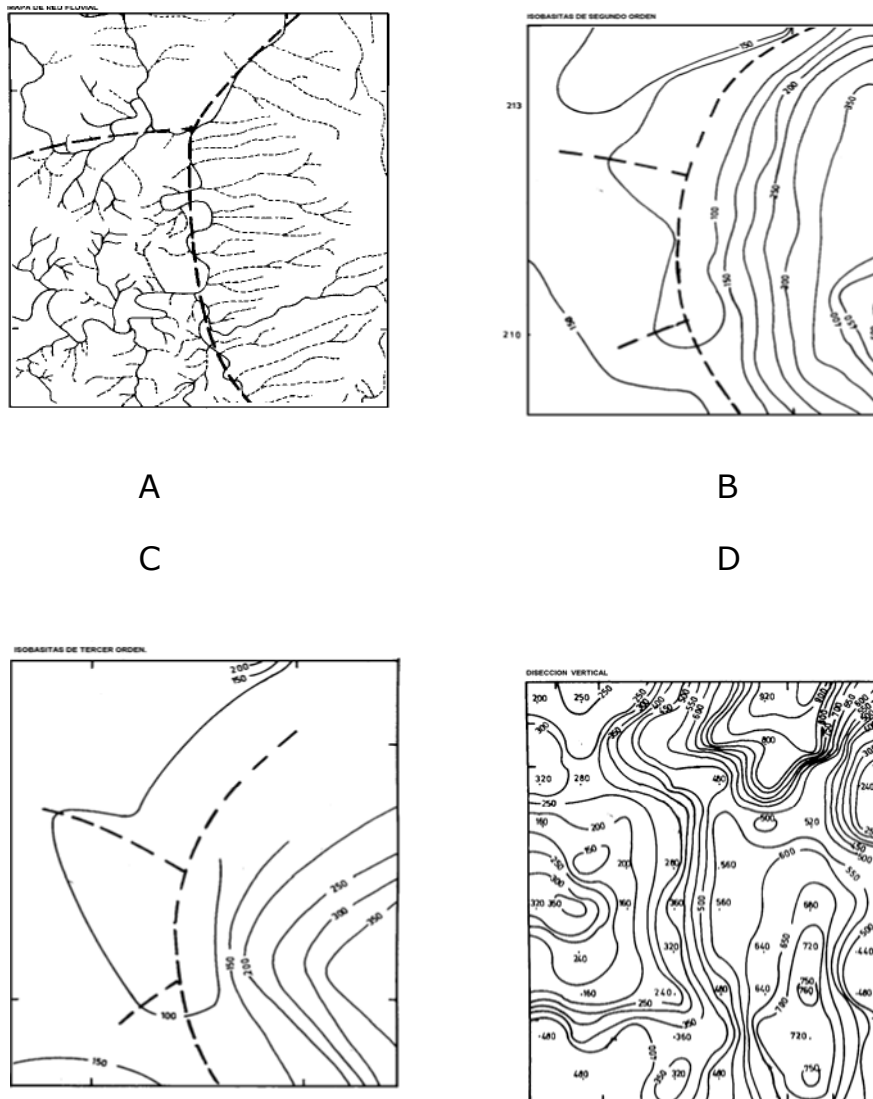


Figura 4. Mapas Morfométricos de Moa, en la zona de Nuevo Mundo. A, mapa de red Fluvial, B Isobasitas de segundo orden, C Isobasitas de tercer orden y D Disección vertical.

En los trabajos de campo pudo notarse el intenso cizallamiento según los planos de fracturas con sectores mineralizados por ejemplo en La Vigía, mientras que en las mediciones de grietas se pudo notar las diferencias en las orientaciones principales del agrietamiento entre ambos bloques de falla, predominando para la parte oeste la dirección $N20^{\circ}E$ mientras que para la este los valores son de $N5^{\circ}E$.

Durante la búsqueda de criterios que permitieran determinar las características dinámicas activas de esta estructura en la línea costera se hizo evidente la limitación brusca, por el sector La Veguita, de la barrera de arrecifes lo que provocó la desaparición de la misma quedando reflejada sólo como un banco de arenas.

Además de los criterios descritos se realizaron mediciones geodésicas verticales y horizontales que indicaron desplazamientos en ambas direcciones. En cuanto a los movimientos verticales, se evidenció que los dos bloques de falla se encuentran en ascenso, con mayor intensidad para el bloque oriental. Sin embargo, este levantamiento no ha sido continuo. En el gráfico lineal, correspondiente al ciclo 1990-1993, los movimientos para la parte occidental del plano de falla son negativos respecto al nivel medio regional, mientras que al ciclo 1993-1994 le corresponde movimientos de ascenso notable que alcanzan hasta ocho milímetros sobre el nivel cero y veinte y cuatro milímetros sobre la media.

En cuanto a los desplazamientos horizontales el movimiento de los bloques de falla es muy complejo para esta estructura. En la parte septentrional ocurre un desplazamiento noreste para ambos bloques, aunque con magnitudes de desplazamiento diferentes lo que se hace evidente a través del desplazamiento de la línea de costa, sin embargo, hacia la parte meridional el bloque occidental al plano de falla se desplaza hacia el sudeste, creando un punto de tensiones en el nudo tectónico que forman las estructuras Moa, Maquey y Caimanes.

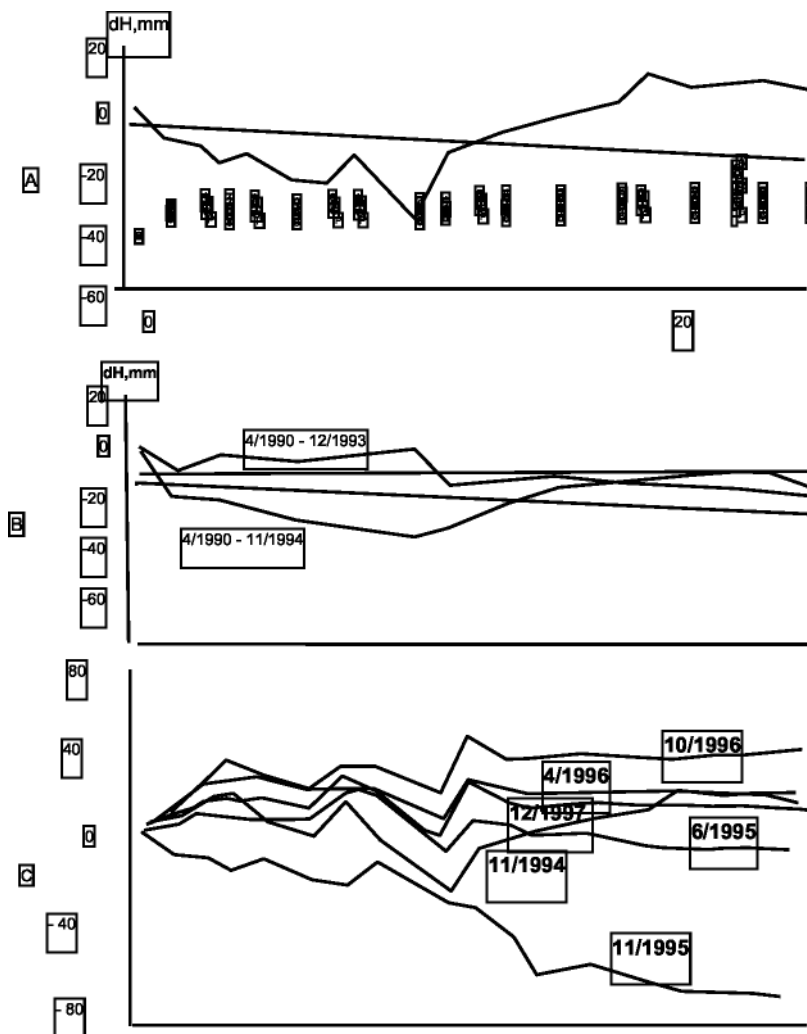


Figura 5. Perfiles geodésicos de la línea geodinámica Moa en diferentes ciclos de medición. A: Ciclo 12/93-11/94, B: 4/90-12/93, 4/90-11/94 y C: líneas de diferencia respecto a 12/93.

Desde el punto de vista geofísico se debe destacar que los principales sistemas de fallas de la región nororiental de Cuba, y entre ellos Moa, se reflejan en el comportamiento del campo magnético a través de diferentes criterios: anomalías negativas alineadas, cambios en la dirección de las isolíneas y zonas de altos gradientes alineados. En los mapas de relieve sombreados del mapa de ΔT y sus respectivas transformaciones, se resaltan varias alineaciones relacionadas con el sistema de Falla Moa

(Batista, 1998; Batista *et al.*, 2002). De este sistema de falla, el tramo La Veguita, es el que mejor enmarcado se encuentra.

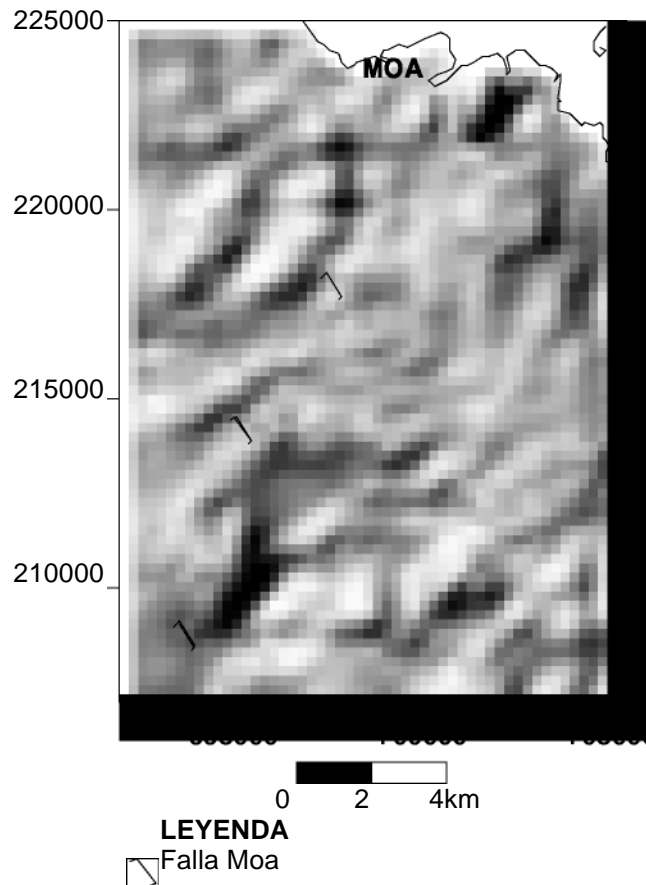


Figura 6. Mapa de relieve sombreado DT

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

En el mapa de anomalías magnéticas se puede notar que en el extremo suroccidental del bloque, entre las Fallas Moa y Arroyón se desarrolla una zona de valores negativos anómalos a pesar de que la información geológica indica que en todo el sector afloran las rocas ultrabásicas del complejo ofiolítico. A partir de estos elementos Batista (1998) consideró que en ese sector las rocas ultrabásicas constituían una delgada capa en

la superficie, mientras que en profundidad y muy cercano a esta se encuentran los gabros.

Si realmente esto ocurre, hay que entrar a considerar la existencia de un sub-bloque o incluso de un nuevo bloque para ese sector a partir del hecho de que ese fenómeno sólo sería justificable a partir del ascenso de esa zona respecto a la del resto del bloque El Toldo. En este trabajo no se concluye al respecto por falta de información de campo y mediciones geodésicas, que se hacen más necesaria debido al pobre reflejo topográfico y morfométrico. Después de analizados todos los criterios que permitieron el cartografiado de la estructura se procedió al análisis geodinámico de la misma, para lo cual se ha tomado en consideración los criterios que permiten valorar las principales direcciones de los desplazamientos según el plano de fractura. Geodinámicamente es evidente a través de los rasgos morfométricos locales que la estructura se encuentra activa en un sector donde predominan los movimientos de ascenso pulsantes y donde los desplazamientos horizontales tienden al reajuste de los bloques que están siendo presionados desde el sur a través de la estructura Bartlett Caimán que comprime al Bloque Oriental Cubano contra la Plataforma de Bahamas. Estos desplazamientos horizontales no mantienen una dirección constante para ambos bloques, lo que está condicionado por la existencia de otras estructuras como las Fallas Cananova, Maquey y Caimanes, (Rodríguez, 1998), que cortan a la estructura Moa y que provocan los efectos de cuña de otros bloques o sub-bloques tectónicos. En la Figura 7 se muestra esquemáticamente el sentido de estos desplazamientos horizontales.

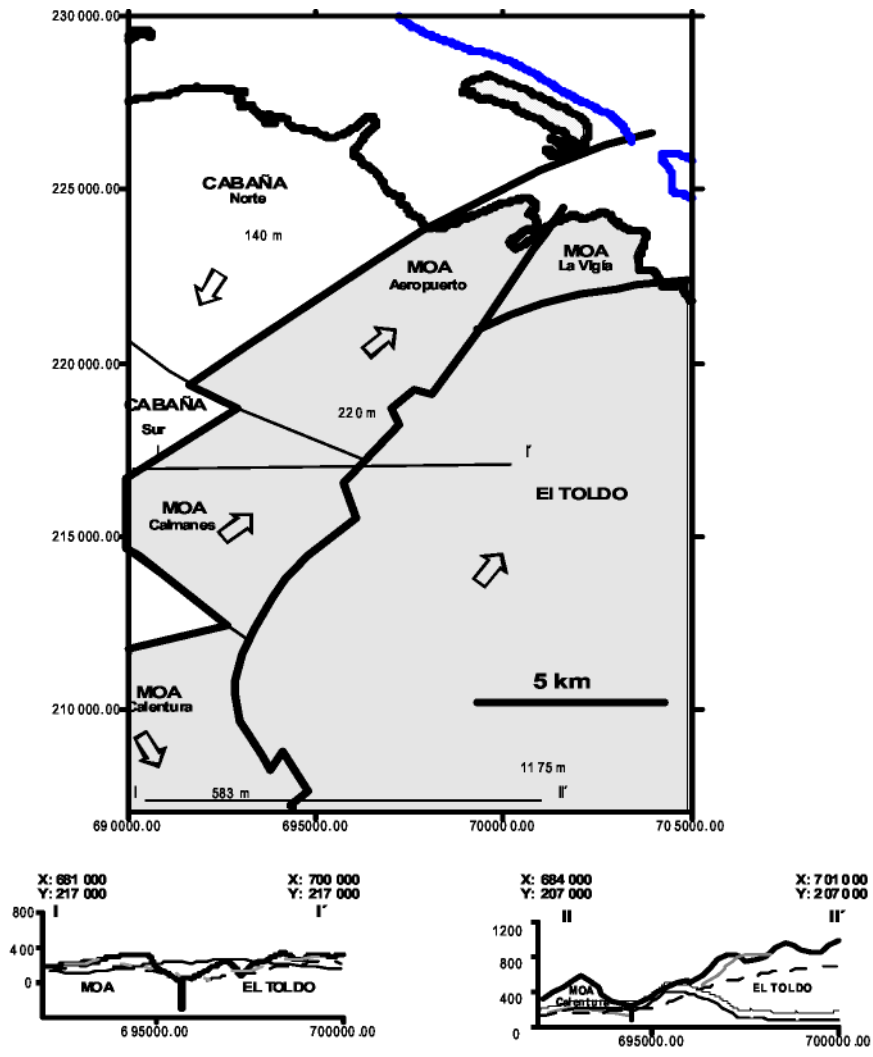
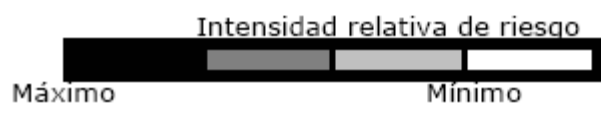
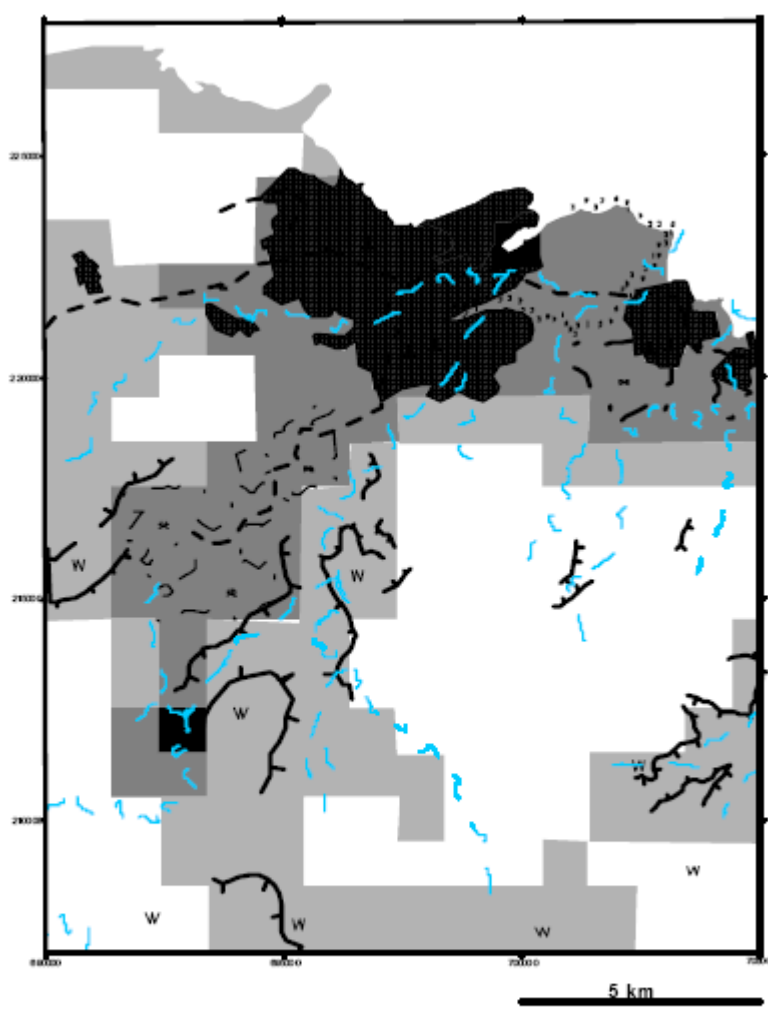


Figura 7. Bloques morfotectónicos asociados a la Falla Moa.

Riesgos asociados a la zona de la Falla Moa

A partir de esta caracterización y partiendo de las principales instalaciones socioeconómicas y los elementos del relieve que se encuentran ubicadas en la zona de la falla (Figura 8), se determinaron los principales impactos que pueden originarse y que representan peligro para el medio ambiente.



- Deslizamientos,
- Intensificación la erosión,
- Colmatación,
- Ruptura de carreteras,
- Derrame de productos químicos,
- Ruptura de edificaciones.

Figura 8. Mapa de riesgos tectónicos

Dentro de esos riesgos específicos debemos hacer referencia a aquellos de mayor incidencia como es el caso del aumento de la erosión de suelos y por ende, de sedimentación o colmatación en las partes más deprimidas, donde ocurre la acumulación, ya sea con carácter temporal o definitivo, al intensificarse la dinámica de los agentes denudativos debido a los movimientos de bloques de falla. Este aumento del volumen de carga física transportada por los ríos da lugar a la colmatación de los depósitos fluviales de cauce y desembocadura, responsables del surgimiento de áreas anegadas que a su vez, obstruyen los desagües naturales o artificiales y en el caso específico de Moa, colmatan las dársenas y bocana portuaria. En el bloque occidental de la Falla Moa estos procesos erosivos se hacen más intensos ya que la actividad minera origina extensas áreas descubiertas y la existencia de detritos rocosos sueltos acumulados en las escombreras.

En cuanto a los deslizamientos tienen mayor expresión en las laderas orientales y occidentales de Río Moa en su curso medio, así como en los taludes de la cortina de contención de la presa de cola.

Las deformaciones o rupturas de las edificaciones sociales y económicas pueden ocurrir tanto a través del efecto de los movimientos tectónicos lentos como de los sismos. Este fenómeno alcanza su máxima peligrosidad en el puerto de Moa al encontrarse allí almacenados productos altamente nocivos al medio como combustibles, amoniaco y azufre, asentadas parte de sus construcciones sobre el extremo septentrional de la Falla Moa en su tramo La Veguita, no debiendo excluirse los posibles derrames o emisiones contaminantes en las plantas metalúrgicas si no se toman medidas con los movimientos diferenciales que provocan asentamientos y posibles rupturas de sus instalaciones.

Un caso específico lo constituye la presa Nuevo Mundo, la que ocupa una posición crítica en la tectónica local, al estar construida en un nudo estructural en la zona de intersección de las Fallas Moa, Maquey y Caimanes donde se han observado desplazamientos horizontales y verticales. Su posición hipsométrica y geográfica también la hacen altamente vulnerable. Las afectaciones en estas estructuras - presa y derivadora - pueden llegar a alcanzar magnitudes catastróficas ante la ocurrencia de un sismo de magnitud elevada.

Existen otros riesgos específicos que pueden ser inducidos por estos a los que hemos hecho referencia como son daños en las vías de comunicaciones, ruptura de instalaciones de abasto de agua, electricidad y servicio telefónico, afectaciones en las condiciones de vida, afectaciones de la salud humana y afectaciones económicas.

CONCLUSIONES

Después de cartografiar y caracterizar la Falla Moa, estructura de gran incidencia en la geología del territorio al constituir un límite de bloques tectónicos activos, se hace evidente la necesidad de un monitoreo sistemático de los movimientos tanto horizontales como verticales que ocurren a través de su plano de fractura, debido a la amenaza de ocurrencia de riesgos específicos tanto en las obras sociales y económicas como en el medio ambiente natural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANGO, E. 1996. Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las placas caribeña y norteamericana. Tesis de maestría. México.

- BATISTA, J.**, 1998. 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.
- BATISTA, J., A. RODRÍGUEZ, J. BLANCO Y J. PROENZA**, 2002. Estructura del macizo ofiolítico de Moa (NE de Cuba) según la interpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000. *Acta Geológica Hispánica* 37(4): 369-387.
- CAMPOS, M.**, 1991. 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.
- ITURRALDE, M.**, 1990. Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. *Ciencias de la tierra y el espacio* 17 :8-26.
- LEWIS J.F., DRAPER G.**, 1990. Geology and tectonic evolution of the norther caribbean margin. The caribbean region. *The geology of North America* Vol. H. 345-358.
- MORRIS A. E., TANER I., MEYERHOFF H.A., MEYERHOFF A.A.**, 1990. Tectonic evolution of the caribbean region; alternative hipotesis. *The geology of North American*, Vol. H. 389-400.
- PINDELL J.L., BARRET S.F.**, 1990. Geological evolution of the caribbean region; A plate tectonic perspective. *The geology of North American*, Vol. H. 123-131.
- RODRÍGUEZ, A.**, 1998. Estudio de la Falla strike - slip Cananova. *Minería y Geología* XV (2) :11-16.
1998. ----- Estilo tectónico y geodinámica de la región de Moa. *Minería y Geología* XV (2) :37-42.
1998. -----Relieve y Neotectónica de la región de Moa. *Revista Tecnológica*, Serie Níquel, 1 :34-41.