



DELIMITACIÓN DE ZONAS VULNERABLES FRENTE A DESLIZAMIENTOS EN EL CAMINO DE ACCESO A LA COMUNIDAD LA MELBA, MOA, CUBA.

Yuri Almaquer Carmenates⁽¹⁾, Dayamí Galán Casellas⁽²⁾, Miguel Ángel Rodríguez⁽³⁾, María del Rosario Moradas⁽³⁾, Asel María Aguilar Sánchez⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Cuba; Email: yalmaquer@ismm.edu.cu

⁽²⁾ Empresa Geominera Oriente. Cuba.

⁽³⁾ Universidad de Oviedo, España.

⁽⁴⁾ Institut f. Baustoffe. Zurich, Suiza.

RESUMEN

Durante varios años el camino de acceso a la comunidad La Melba ha sido dañado por inestabilidades de laderas y taludes, afectando las comunicaciones con la cabecera municipal, Moa; la presente investigación surge por esta problemática, que se hace más frecuente durante períodos intensos de lluvias, pero que está condicionada fundamentalmente por las características geológicas del área. Es por ello que se plantea como objetivo delimitar las zonas vulnerables frente a deslizamientos en el camino de acceso a la Melba como base a futuros análisis de riesgos con vista a la prevención de desastres. Metodológicamente se aplican técnicas geomorfológicas de interpretación de fotografías aéreas, procesamiento digital de la información geológica e integración en un sistema de información geográfica. Como resultados se obtiene el inventario de 60 movimientos de laderas, dividiendo el área en dos sectores, norte y sur, de acuerdo al comportamiento morfológico de los deslizamientos, litología y tectónica. En el sector sur predominan cortezas lateríticas sobre gabros bandeados, condicionando movimientos estrechos y alargados con direcciones preferenciales hacia el noreste; los valores hipsométricos y las pendientes son bajos; en el sector sur predominan cortezas sobre serpentinitas y los movimientos son más extensos, con valores hipsométricos y pendientes más elevados. La vulnerabilidad del camino se valora alta por el nivel de exposición a los movimientos; el vial es afectado por cuatro deslizamientos, además de la presencia de sistemas de fallas que lo cortan y constituyen límites bloques morfotectónicos (Cayo Guam, El Toldo y Cupey) con actividad geodinámica diferenciada.

ABSTRACT

During several years the access road to the community the Melba has been damaged by instabilities of slopes, affecting the communications with Moa; the present investigation read about this problematic one, that becomes more frequent during intense periods of rains, but that are in favor conditional fundamentally of the geologic characteristics of the area. It is for that reason that considers as objective to delimit the vulnerable zones front to landslide in the access road to the Melba as it bases to future analyses of risks with Vista to the prevention of disasters. Methodologically geomorphological techniques of aerial photo interpretation, digital processing of the geologic information is applied and integration in a GIS. As results the inventory of 60 slope movements is obtained, dividing the area in two sectors, north and the south, according to the morphologic behavior of the landslide, lithology and tectonics. In the north sector soil predominate on basic rock crossed, conditioning close and extended movements with preferential directions towards the northeast; the hypsometric values and the slopes are low; in the south sector soil predominate on serpentinite rock and the movements are more extensive, with elevated hypsometric and pending values more. The vulnerability of the way values discharge by the level of exposition to the movements; the road is affected by four landslides, in addition to the presence of systems faults that cut it and constitute limits morphotectonic blocks (Cayo Guam, Toldo and Cupey) with differentiated geodynamic activity.



INTRODUCCIÓN.

Los accidentes causados por fenómenos geológicos como los deslizamientos, ocurren desde épocas remotas, provocando pérdidas de vidas humanas y perjuicios materiales. A pesar de los avances en el conocimiento técnico y científico de los procesos geológicos, muchas comunidades, principalmente en las zonas urbanas, son vulnerables a situaciones de desastre. Sin embargo, actualmente existen condiciones técnicas para aumentar la seguridad de las personas y de obras civiles que se encuentran en áreas y situaciones de riesgos geológicos considerando, la previsibilidad espacial y temporal de ocurrencia de los fenómenos y la posibilidad de prevenirse contra sus efectos.

Actualmente, la investigación de deslizamientos está relacionada con varias áreas del conocimiento. Bajo el aspecto de la aplicación, la importancia del análisis y control de los deslizamientos resulta de la demanda socioeconómica proveniente de accidentes y problemas diversos concernientes a la inestabilidad de las laderas. Brabb (1991) estima en millares de muertes y decenas de miles de millones de dólares por año los perjuicios provenientes de la deflagración de estos procesos en el mundo entero, más allá de los daños económicos de varias magnitudes asociados a inestabilidad de taludes en obras civiles lineales (carreteras, vías férreas, etc.) y áreas de minería. Datos colectados por el IPT estiman que de 1988 al 2000 murieron aproximadamente 1300 personas en accidentes por deslizamientos.

En Cuba no existe un registro de deslizamiento como desastre natural aunque informes presentados por la EMNDC (Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil), en el 2002 reporta que existen 45.000 personas como población vulnerables por deslizamientos de terreno (Batista, 2009). Las principales zonas vulnerables o susceptibles a deslizamiento en nuestro país son las zonas montañosas y son provocados principalmente por las intensas lluvias, la sismicidad, las condiciones ingeniero- geológicas, las actividades antrópica, etc.

Actualmente los avances en las técnicas computacionales y la generación de nuevos software, permiten realizar análisis de riesgos, determinar la susceptibilidad y la vulnerabilidad del terreno a los movimientos de masas de manera más precisa y confiable. En la actualidad los Sistemas de Información Geográfica (SIG), realizan el análisis de la susceptibilidad por deslizamiento, así como la elaboración de mapas de peligrosidad de manera sistemática, rápida y eficiente, tratando bases de datos y realizando cálculos para la estimación de la susceptibilidad que no eran viables en grandes áreas.

La presente investigación surge por la problemática relacionada con la ocurrencia de deslizamiento en el camino de acceso a la comunidad La Melba lo que influye en la estabilidad del camino por la incomunicación con la ciudad de Moa durante períodos intensos de lluvias, trazando como objetivo evaluar la vulnerabilidad frente a deslizamientos en un tramo del camino a la Melba que sirve de base a futuros análisis de riesgos con vista a la prevención de desastres.

Ubicación Geográfica.

El área de estudio se encuentra ubicada en el extremo oriental de la provincia de Holguín específicamente al este del municipio de Moa. Limitado al norte por el Océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio Baracoa y al oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País (Figura 1). El tramo del camino de acceso a la comunidad La Melba se ubica entre las coordenadas: $X_1:706,935$ - $Y_1:219,324$ m y $X_2:710,172$ - $Y_2:206,967$ m.



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

La región se encuentra enclavada en el grupo orográfico Sagua-Baracoa, lo cual hace que el relieve sea predominantemente montañoso, principalmente hacia el sur, donde es más accidentado en la Sierra de Moa con dirección submeridional. Hacia el norte el relieve se hace más suave con cotas que oscilan entre 40 y 50 m como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa. La red fluvial es densa y dendrítica, representada por numerosos ríos y arroyos permanentes, entre los que se encuentran los ríos Moa, con sus afluentes río Los Lirios, el Cabañas, Cayo Guam, Quesigua, Yagrumaje, Arroyo Aserrío entre otros. La fuente de alimentación principal de estos ríos y arroyos, son las precipitaciones atmosféricas, desembocando las arterias principales en el Océano Atlántico, formando deltas cubiertos de sedimentos palustres y vegetación típica de manglar.

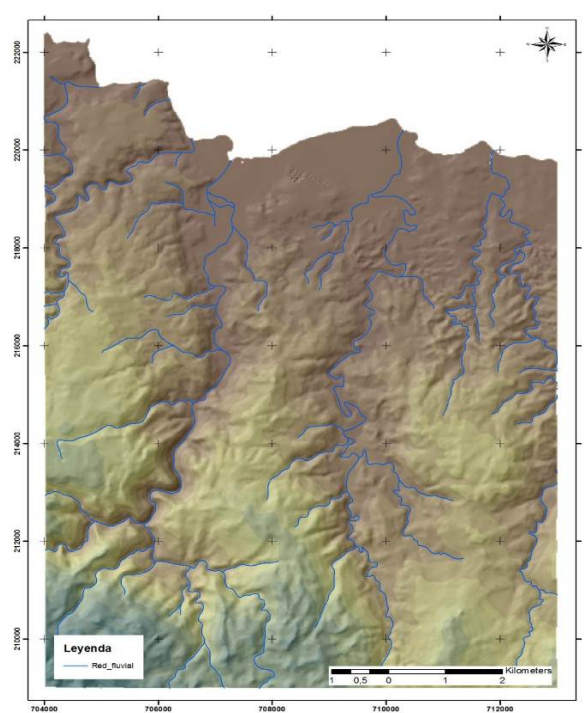


Figura 2. Mapa de red fluvial del área de estudio (Tamaño de píxel 15x15 m).

El clima es tropical con abundantes precipitaciones, siendo una de las áreas de mayor pluviometría del país. Estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso que se desarrolla en la región y la dirección de los vientos alisios provenientes de Océano Atlántico cargado de humedad. Según los datos aportados por la estación Hidrometeorológica. El Sitio y los datos tomados del pluviómetro Vista Alegre, la temperatura media anual oscila entre 22.6°C – 30.5°C, siendo los meses más calurosos los de julio a septiembre y los más fríos enero y febrero; el promedio de precipitaciones anuales entre 1231.3 – 5212 mm, siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual entre 1880 – 7134 mm. En los períodos de lluvia, se forman corrientes turbulentas de mucha fuerza, provocando una marcada erosión de las partes superiores de las laderas de los ríos y en aquellas zonas donde es escasa la vegetación o donde esta ha sido desmontada para la explotación minera, para la construcción o explotación.

Características geológicas regionales.

La geología de la región se caracteriza por una alta complejidad geológica condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico. (Rodríguez, 1998). La geología de este sector se caracteriza por la presencia de las siguientes litologías y formaciones:

- Rocas Serpentinizadas de Complejo Ofiolítico: Constituida por harzburgitas y peridotitas. Se han datado con una edad que comprenden del Jurásico-Cuaternario Temprano. Se considera que estas rocas serpentizadas poseen un espesor superior a los 1000 metros, se representan en forma de escamas tectónicas muy fracturadas.



- Gabros del Complejo Ofiolítico: Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques y la mayoría de éstos se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. En el sector Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros, los llamados gabros bandeados y los gabros masivos en las partes más altas del corte. En el área de estudio el más común es el gabro normal de color oscuro algo verdoso con textura masiva o fluidal. Estas rocas presentan alteraciones superficiales en forma de finísimas irregularidades semejantes a un micro relieve cársico, originadas por la meteorización diferencial de los minerales que las componen entre los cuales están los piroxenos monoclinicos, plagioclasas básicas y en menor grado olivino y piroxenos rómbicos. En la región de estudio los gabros afloran siempre asociados a las serpentinitas, apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua-Cayo Guam-Mercedita, Centeno-Miraflores y Farallones-Caimanes.
- El complejo vulcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico y está representado por la formación Quibiján, constituida por rocas vulcano-sedimentarias intruidas por gabro-pegmatitas, dioritas y diabasas. En la base se encuentran lavas y lavas-brechas, aglomerados y tobas gruesas de composición basáltica y basáltico-andesítica. En su conjunto son de color negro o verde oscuro. Las lavas son amigdaloidales, con amígdalas rellenas de cuarzo y clorita. La porción media superior de la formación se compone de lavas, lavas-brechas, tufo-lavas y en cantidades subordinadas tobas lapillíticas, las cuales se caracterizan por presentar una estratificación gruesa, a veces gradacional.
- Los sedimentos costeros están representados por pantanos ubicados al norte del área de estudio.

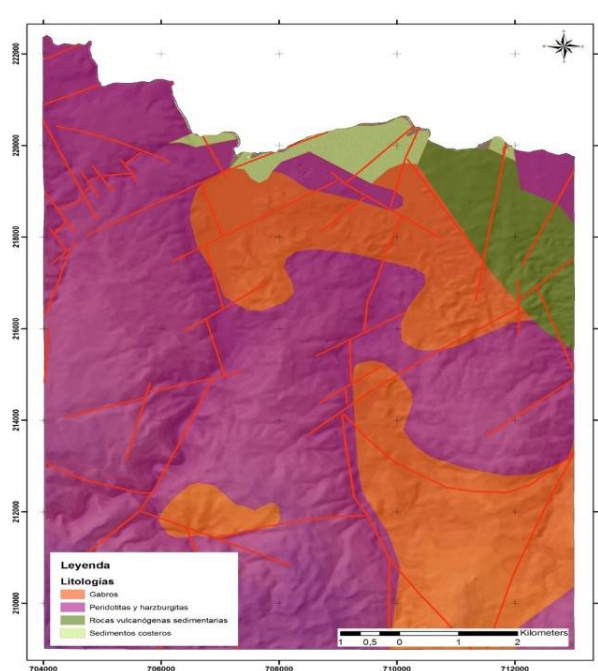


Figura 3. Mapa Geológico del área de estudio (escala 1. 50 000). Tomado de Rodríguez.1999.

La complejidad tectónica del territorio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales



diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Rodríguez, 1998). En el área de estudio se han delimitado una serie de bloques morfotectónicos los que se describen a continuación y se muestran en la figura 4:

- Bloque El Toldo: Ocupa la posición central del área de estudio y es el de máxima extensión, correspondiéndole también los máximos valores del levantamiento relativo de la región. Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas. El límite nororiental de este bloque está dado por la falla Cayo Guam, mientras que al sur limita con el bloque Cupey a través de la falla Quesigua.
- Bloque Cayo Guam. Es el bloque de más pequeña extensión en el área y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa, se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo. Geológicamente la mayor extensión de la superficie lo ocupan las rocas del complejo ofiolítico, predominando hacia el sur las serpentinitas y hacia el norte los gabros. Geomorfológicamente se desarrollan las llanuras acumulativas bajas y planas de origen fluvial o palustre en la mayor área del bloque y una pequeña franja de acumulaciones costeras. Hacia la parte sur aparecen las premontañas y montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas con elevaciones máximas de 460 m. Los movimientos horizontales en este bloque son muy evidentes y se ponen de manifiesto en los desplazamientos de la línea de costa y formas del relieve de hasta dos kilómetros con una dirección sur predominante.
- Bloque Cupey. Se ubica en el extremo oriental del área. Geológicamente a este bloque le corresponde la mayor complejidad al aflorar en su superficie las rocas del complejo ofiolítico que ocupan la mayor extensión del bloque, las rocas de las formaciones Sabaneta, Capiro y Majimiana y los sedimentos cuaternarios de origen parálico y fluvial. Estas últimas litologías se disponen en forma de franjas paralelas al litoral. Geomorfológicamente para el área predomina el relieve de montañas bajas y aplanadas hacia la parte occidental y bajas diseccionadas con divisorias alargadas hacia el sudeste.
-

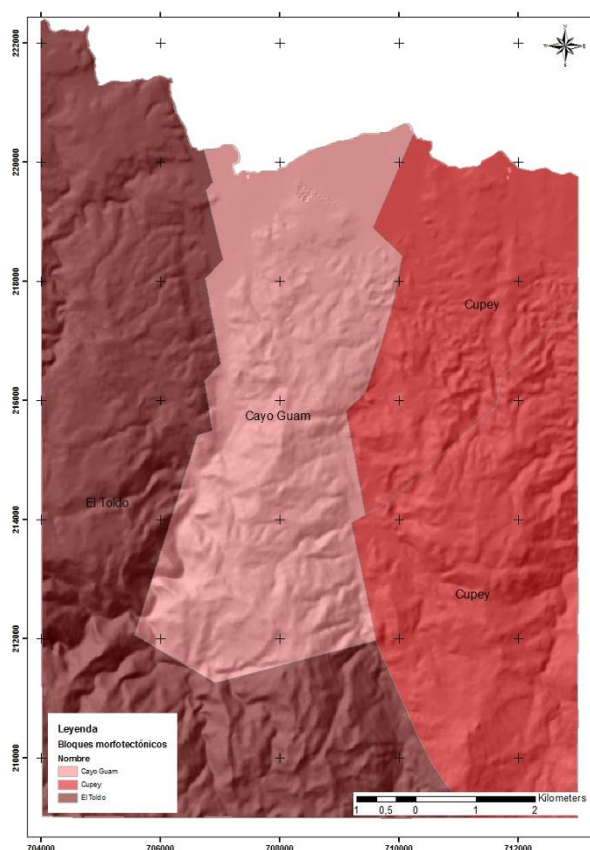


Figura 4. Mapa de bloques morfotectónicos (Tomado de Rodríguez, 1999).

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica. (Batista, J, 1998) (Rodríguez, 1999).

En el área de estudio existen tres estructuras disyuntivas fundamentales que se presentan a continuación con sus características respectivas:

Falla Cayo Guam: Presenta una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales. La componente horizontal de los movimientos de falla en el periodo neotectónico es indicado por los criterios geomorfológicos en sentido norte-noroeste para el bloque occidental y sur-sudeste para el oriental.

Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo. En el análisis geodésico no se observan desplazamientos verticales pronunciados entre los puntos situados a ambos lados de la falla y sólo se marcan con desniveles de 2 mm en el ciclo de mediciones 1990-1993. Sin embargo, los desplazamientos



horizontales evidenciados por los parámetros geomorfológicos están en el rango de 0,75 - 1,0 km.

Falla El Medio: Fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua con un rumbo aproximado de N40°E.

Metodología de los trabajos

Inventario de deslizamientos.

El inventario se confeccionó a partir de la interpretación fotogeológica a escala aproximada 1:17 000 del año 1979, utilizando los siguientes criterios de reconocimiento:

- 1- Laderas de altas pendientes con depósitos extensos de suelo y rocas es los pies de las mismas.
- 2- Presencia de líneas nítidas relacionadas con escarpes.
- 3- Superficies onduladas formadas por el deslizamiento de las masas de suelo desde los escarpes. Formas topográficas onduladas no naturales semejantes a una concha.
- 4- Depresiones elongadas.
- 5- Acumulación de detritos en canales de drenajes y valles.
- 6- Presencia de tonos claros donde la vegetación y el drenaje no han sido restablecidos.
- 7- Cambios bruscos de tonos claros a oscuros en las fotografías (tonos oscuros indican zonas húmedas).
- 8- Cambios bruscos de la vegetación, indicando variaciones en una unidad de terreno.

Análisis de los factores que contribuyen a la vulnerabilidad

En el análisis del factor litológico, se incluyó la litología, uno de los parámetros fundamentales para que ocurran los movimientos de ladera pues todas las rocas poseen un comportamiento diferente. Para el análisis del factor litológico se tomaron las litologías presentes en el área de estudio.

Las estructuras seleccionadas para el análisis de este factor fueron las fallas. Las estructuras disyuntivas con desplazamiento presentes son las fallas Cayo Guam, Quesigua, y El Medio, estas estructuras actúan como zonas de debilidad o conductores de corrientes de aguas subterráneas que pueden facilitar los movimientos. Para su análisis se determinó la influencia de la tectónica sobre la susceptibilidad del terreno mediante el SIG, aplicando una correlación entre fallas y movimientos. También se tomaron varios elementos de yacencia en la mina Mercedita y se realizaron diferentes diagramas (Diagrama de planos contornos y de rosetas), y se determinaron la dirección predominante las diferentes familias de grietas en la zona.

En el análisis de los bloques morfotectónicos se tomó la información propuesta por Rodríguez (1998), en la cual describe los bloques Toldo, Cupey y Cayo Guam.

Factor Geomorfológico.

El elemento seleccionado para el análisis de este factor es el relieve. La información de la geomorfología se obtuvo a partir de los mapas confeccionados por (Rodríguez, 1999) y de varias investigaciones realizadas en el área. La geomorfología del área se encuentra estructurada de la siguiente forma: zona de horst y bloques en las que se encuentran las montañas bajas aplanadas y premontañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas; zonas de llanuras en las que se desarrollan llanuras fluviales erosivas acumulativas, fluviales acumulativas, acumulativas palustres y marinas.

Digitalización y calibración de la información.



En el trabajo se utiliza el software ArcGIS, eficiente y potente programa que proporciona técnicas avanzadas de digitalización; se puede usar para convertir mapas, gráficos, fotos aéreas

Objeto	Clasificación del objetivo	Fuente de suministro	Atributos	Tipo de campo	Fuente de suministro
Área de trabajo	Areal	Investigación	Área	Numérico	Delimita el área de trabajo
Mapa litológico	Areal	Dpto. de Geología	Formaciones Geológicas Área Susceptibilidad	Descriptivo Numérico Numérico	Mapa geológico Del territorio de Moa
Mapa tectónico	Lineal	Dpto. de Geología	Sistema de fallas Área Susceptible	Descriptivo Numérico Numérico	Mapa de los sistemas de fallas del territorio de Moa
Mapa morfotectónico	Areal	Dpto. de Geología	Bloques Morfotectónico Área Susceptibilidad	Descriptivo Numérico Numérico	Mapa morfotectónico del territorio de Moa
Mapa geomorfológico	Areal	Dpto. de Geología	Zonas Geomorfológicas Área Susceptibilidad	Descriptivo Numérico Numérico	Mapa geomorfológico del territorio de Moa
MDE	Areal	Dpto. de Geología	Cotas de terreno Área Susceptibilidad	Numérico Numérico Numérico	MDE Oriente

o cualquier otro tipo de información en un formato digital versátil que puede ser utilizado con otro software de Sistemas de Información Geográfica.

Toda la información se localiza en un proyecto, el cual está formado por diferentes documentos como vistas, tablas, diagramas o gráficos y presentaciones.

La estructura final del proyecto GIS para la delimitación de zonas vulnerables está conformada por varios mapas temáticos de primer orden relacionados con los condicionantes de inestabilidades de laderas y el inventario de movimientos (tabla 2.2).

Tabla 1. Estructura del proyecto GIS.

RESULTADOS.

Descripción de deslizamientos.

En el área investigada se reportan 60 deslizamientos, desarrollados espacialmente en la parte central, con dirección predominante hacia el noreste, los movimientos están caracterizados por diferentes mecanismos y se manifiesta principalmente la tipología rotacional, con presencia de escarpes secundarios como criterios de la evolución y actividad de los movimientos. Las estadísticas de las dimensiones de los movimientos se muestran en la tabla 2 y el inventario en la figura 5.

Desde el punto de vista geomorfológico los movimientos manifiestan líneas nítidas relacionadas con escarpes hacia el sur del área, y depresiones alargadas en el terreno fundamentalmente hacia el norte, así como superficies onduladas formadas por el deslizamiento de las masas de suelo desde los escarpes, acumulación de detritos en canales de drenajes y valles fluviales.

En la figura 6 se muestra la comparación de la dimensiones de los movimientos en cada bloque morfotectónico. Se destacan las mayores dimensiones en los bloques El Toldo y Cayo Guam y valores mínimos en Cupey. La presencia de grandes deslizamientos en El Toldo está dada por



los mayores movimientos de ascensos en el mismo comparado con los demás bloques. En Cayo Guam la situación es aparentemente controversial teniendo en cuenta que este bloque ha sufrido lo menores levantamientos geodinámicos, sin embargo está ubicado entre dos bloques con mayores levantamientos y a través de esta dinámica se han desarrollado numerosos deslizamientos en los límites hacia el centro, o sea, desde las zonas más elevadas hacia las más bajas. Las diferencias hipsométricas entre los bloques se muestran en la figura 7. Sin embargo comparando las áreas de los bloques con respecto a las ocupadas por deslizamientos el más afectado por la ocurrencia de los movimientos es el bloque Cayo Guam con un 24%, seguido del bloque Cupey con un 6,6 %, y por último el Toldo con 0,6 %.



Tabla 2. Estadísticas de las dimensiones de los movimientos.

Estadígrafos	Características de los movimientos				
	Área (m ²)	Longitud Escarpe (m)	Longitud movimiento (m)	Ancho movimiento (m)	Perímetro movimiento (m)
Media	217008,05	339,573	648,48	341,63	1698,50
Desviación estándar	311236,01	326,41	423,72	292,20	1143,43
Mínimo	12359,85	39,39	134,76	40,66	489,61
Máximo	1510040,87	1614,98	2081,77	1327,8	5669,27

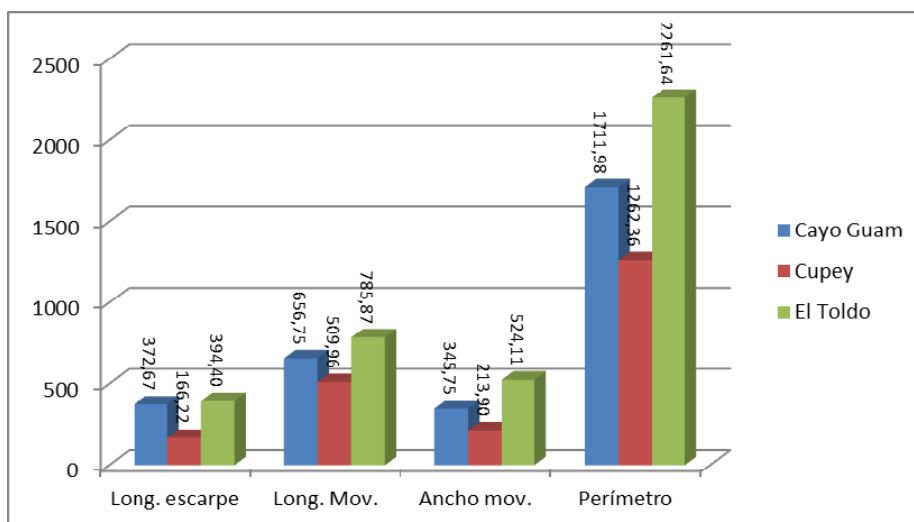


Figura 5. Comportamiento de las dimensiones de los movimientos en cada bloque morfotectónico.

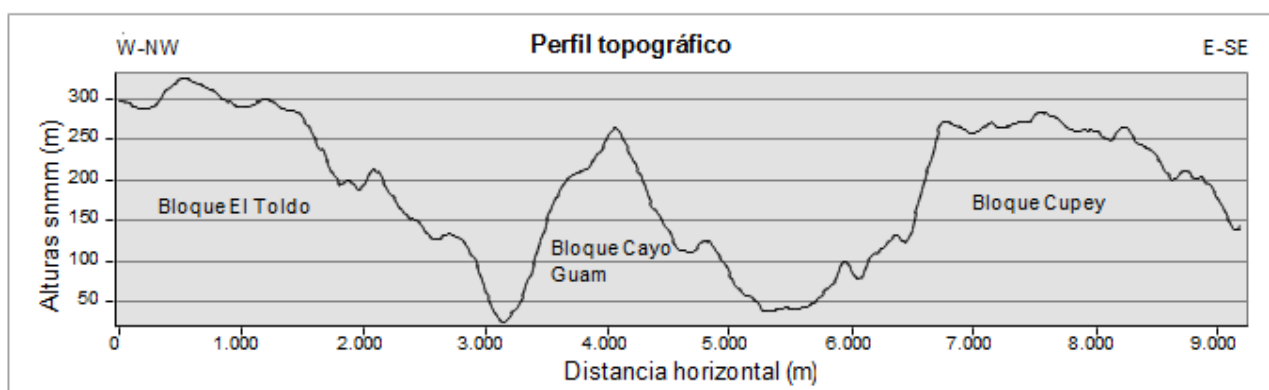


Figura 6. Perfil que muestra las diferencias hipsométricas de los movimientos geodinámicos verticales entre los bloques morfotectónicos.

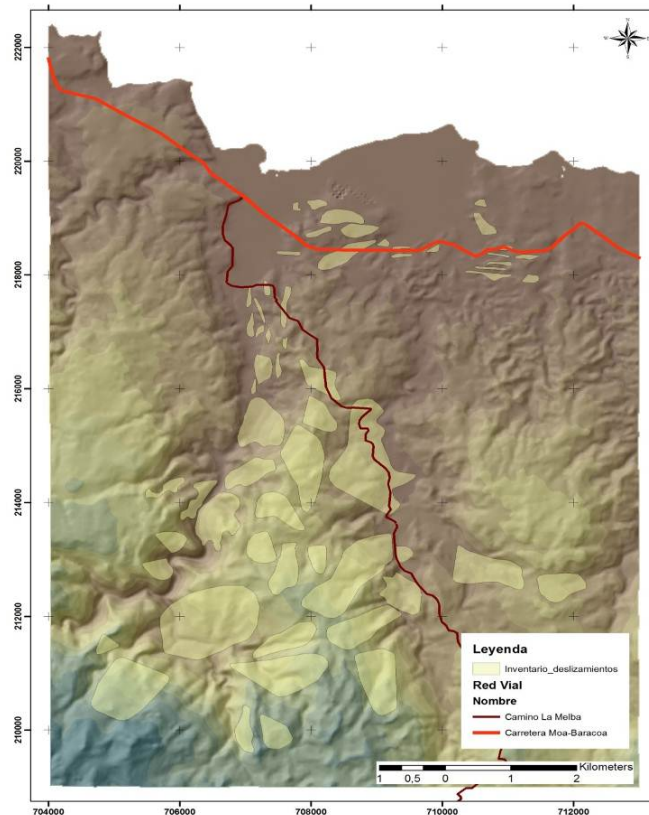


Figura 7. Mapa de inventario de deslizamientos (Escala original 1:36 000).

Análisis de pendientes.

Se realizó con vista a caracterizar la inclinación del terreno en los escarpes y en el cuerpo de cada deslizamiento. Como resultados se obtiene:

- Escarpes: se revelan pendientes mínimas de $0,04^{\circ}$, medias $14,49^{\circ}$ y máxima $51,34^{\circ}$.
- Movimiento: se revelan pendientes mínimas de $0,018^{\circ}$, medias de $17,13^{\circ}$, máximas de $51,88^{\circ}$.

Estos resultados demuestran que los deslizamientos se han desarrollado en pendientes muy bajas por lo que no precisan de elevada inclinación para desestabilizarse el terreno y generarse roturas en las cortezas lateríticas.

Geomorfología.

Para el análisis de este factor se realizó la comparación con el inventario de los deslizamientos. El área de trabajo está dividida en montañas bajas aplanadas, ocupando un área de $163,12 \text{ km}^2$, distribuidas hacia la parte central y sur del área de estudio, premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas desarrollada en la parte central y noreste del área, ocupa un área de $33,4 \text{ km}^2$; en la llanura fluviales acumulativa ocupa un área de $11,608 \text{ km}^2$, distribuida en la parte norte del área de estudio; llanuras fluviales erosivas acumulativas ocupa un $8,09 \text{ km}^2$, y se desarrolla en la



parte noreste del área; llanura acumulativas palustres con pantanos ocupa un 8,4 km², distribuida hacia norte del área. La zona geomorfológica en la cual se desarrollan más inestabilidades de laderas son las montañas bajas aplanadas con un 17,4 % del área ocupada por deslizamientos y las premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas con un 13,2 %; esta situación se debe a la acción de los agentes erosivos con mayor intensidad por estar a mayores niveles hipsométricos y valores de pendientes superiores a 30 grados. Casualmente coincide con los bloques morfotectónicos de mayores movimientos verticales ascendentes en el área de estudio como el Toldo y Cupey.

Delimitación de las zonas vulnerables.

Las zonas vulnerables del camino se deba a varios factores, principalmente por la exposición del camino a las condiciones geológicas complejas caracterizadas por la existencia cortezas sobre gabros y rocas serpentinizadas, la presencia de contactos tectónicos entre estas litologías, fallas activas que constituyen límites de los bloques morfotectónicos El toldo, Cayo Guam y Cupey y características geomorfológicas contrastantes a los largo del camino.

Realizando un análisis comparativo entre de la ubicación espacial de los movimientos, los tipos litológicos, sistemas de fallas y pendientes del terreno con respecto al camino se obtiene que hay 4 tramos vulnerables que coinciden con la presencia de deslizamientos, fallas y límites de bloques morfotectónicos (figura 6). Esto significa que los tramos afectados se describen con vulnerabilidad alta. Las coordenadas de los tramos vulnerables se relacionan a continuación:

- Tramo I. Coordenadas: $X_1: 707268$; $Y_1: 217830,62$ - $X_2: 707358,809$; $Y_2: 217826,861$. Tiene una longitud de 90,51 m.
- Tramo II. Coordenadas: $X_1: 707527,922$; $Y_1: 217443,538$ - $X_2: 707625,632$; $Y_2: 217308,248$. Este tramo tiene una longitud de 172,13m.
- Tramo III. Coordenadas: $X_1: 708200,616$; $Y_1: 216346, 934$ - $X_2: 708302,084$; $Y_2: 215850,869$. El tramo afectado presenta una longitud de 514,54 m.
- Tramo IV. Coordenadas: $X_1: 708614,004$; $Y_1: 215668,979$ - $X_2: 709155,166$; $Y_2: 213789,944$. El tramo afectado tiene una longitud de 2 541,116m.

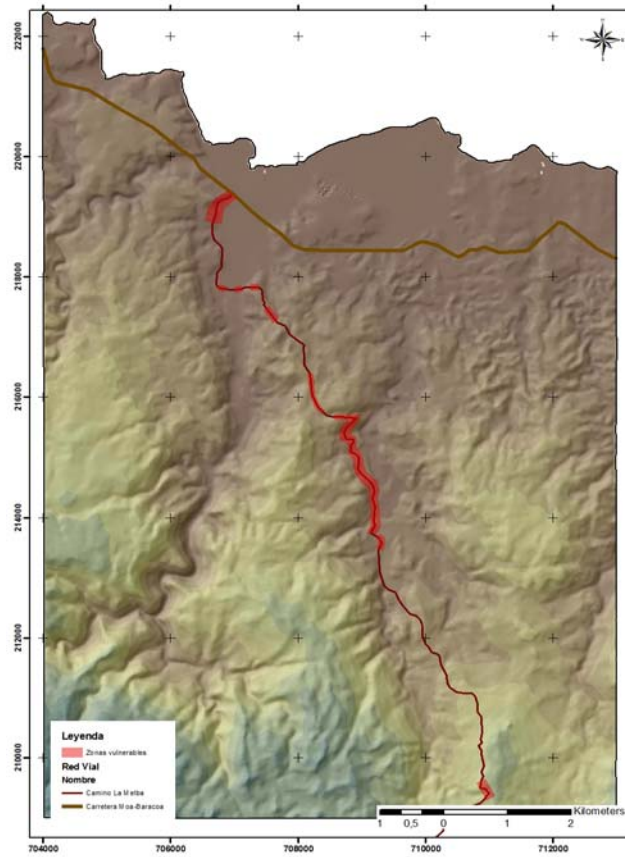


Figura 8. Delimitación de tramos vulnerables frente a deslizamientos del camino de La Melba.



CONCLUSIONES

En el área investigada se reportan 60 deslizamientos, desarrollados espacialmente en la parte central, con dirección predominante hacia el noreste, los movimientos están caracterizados por diferentes mecanismos y se manifiesta principalmente la tipología rotacional, con presencia de escarpes secundarios como criterios de la evolución y actividad de los movimientos. La vulnerabilidad del camino de acceso a la comunidad rural la Melba se considera alta a partir del grado de exposición frente a deslizamientos. El vial es afectado por cuatro movimientos, de ellos el mayor se ubica en la parte central delimitando un sector considerable de ese elemento en riesgo. Estos movimientos coinciden con las inestabilidades reportadas a lo largo del camino relacionados con pequeños deslizamientos rotacionales, desprendimientos de rocas y desarrollo de procesos erosivos en cárcavas. Además de esta situación, su vulnerabilidad se condiciona a la presencia de sistemas de fallas que lo cortan y a que se ubican sobre tres bloques morfológicos (Cayo Guam, El Toldo y Cupey) que presentan diferencias notables desde el punto de vista geodinámico.

BIBLIOGRAFÍA.

- Almaguer Y., "Metodología de cartografía de susceptibilidad a la rotura en cortezas lateríticas en el territorio de Moa, Cuba". Memorias del Taller Internacional de Riesgos Geodinámicos y Cierre de Minas (CYTED). Santa Cruz de la Sierra. 2005.
- Baeza, C., "Evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante". Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica ETSECCPB-UPC. 1994.
- California". US Geol. Surv. Misc. Field Studies Map MF 360 scale 1:62.500. caused by rainfall". Proc. Int. Symp. Erosion, Debris Flows and Disaster Prevention. Tsukuba, Japan. 347-350 p. 1972.
- Carmenate, J. A. 1996. Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa. (Tesis de maestría). Departamento de geología, ISMM. 108 p.
- Crozier, M.J., "Landslides. Causes, consequences & environment". Ed. Routledge. London & New York. 252 p. 1986.
- Cruden, D.M. y Varnes, D.J., "Landslide types and processes". En: Turner, A.A.K. and Schuster, R.L. (Eds.): *Landslides. Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, Special Report*. National Academy Press, Washington, DC. 247, 36-75 p. 1996.
- Corominas, J., "Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera". Riesgos Geológicos. Serie Geología Ambiental. IGME, Madrid. 193-201 p. 1987.
- Corominas, J., "Movimientos de ladera: predicción y medidas preventivas". 1r Congreso Iberoamericano sobre Técnicas aplicadas a la Gestión de emergencias para la Reducción de Desastres Naturales, Valencia. 55-77 p. 1992.
- Rodríguez A., "Estudio Morfológico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica". Tesis doctoral. Departamento de geología, ISMM, Cuba. 1998.
- Santacana, N., "Análisis de la susceptibilidad del terreno a la Formación de deslizamientos superficiales y Grandes deslizamientos mediante el uso de Sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat". Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2001.
- Sharpe, C.F.S., "Landslides and their control". Academia & Elsevier, Prague. 205 p. 1938.
- Suárez J., "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales". Ed. Ingeniería de suelos Ltda.. Colombia. 547 p. 1998.



- Van Westen, C.J., "Application of Geographic Information System to landslide hazard zonation". ITC- Publications nº 15 ITC, Enschede. 45 p. 1993.
- Varnes, D.J., "Landslide hazard zonation: a review of principles and practice". Natural Hazards. nº 3. UNESCO, Paris. 63 p. 1984.