



INSTITUTO SUPERIOR
MINERO- METALÚRGICO
DE MOA

FACULTAD: GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo de Diploma

En opción al Título de
Ingeniero Geólogo

Tema: Análisis del peligro por deslizamientos de los principales viales de la provincia de Santiago de Cuba.

Autor: Ileana Erlinda Colmenero Rielo.

Tutor: Dr. C. Enrique Diego Arango Arias.



Pensamiento:

Educar es depositar en cada hombre toda la obra humana que le ha antecedido: es hacer a cada resumen del mundo viviente hasta el día en que vive: es ponerlo al nivel de su tiempo: es prepararlo para la vida.

Al venir a la tierra, todo hombre tiene el derecho a que se le eduque y después, en pago, el deber de contribuir a la educación de los demás.

José Martí.



Agradecimiento:

- ✓ A mi tutor Dr. C. Enrique Diego Arango Arias por su buena disposición de tutoriarme y ayudarme en todo lo que he necesitado.
- ✓ A mis amigas Laudis, Evelin, Yanieski y Brizaida.
- ✓ A mis compañeros de aula, de escuela y a Liosmany.
- ✓ A los trabajadores del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.
- ✓ Especialmente a toda mi familia que me apoyaron mucho.

Gracias.

Dedicatoria:

Esta tesis ha sido el resultado de cinco años de intenso estudio, preparación y esfuerzo. Al igual que yo varias personas de una forma u otra han contribuido con mis estudios universitarios para poder llegar hasta el final y graduarme de Ingeniera Geóloga, es por esto que he dedicado este trabajo con mucho amor a todas estas personas pero en especial a mis padres, Marta Rielo y Esner Colmenero que son la razón de mi existir y a mi esposo Luis Ángel que ha estado a mi lado siempre que lo he necesitado y desde estudios anteriores me ha dado mucho apoyo. A mis bellos sobrinos, mis hermas, mis tías (os), mis abuelitas.

RESUMEN

El tema de los deslizamientos dentro de los peligros de origen geológicos es muy estudiado en el mundo, lo que permite valorar cómo es analizado este fenómeno en diferentes condiciones geoambientales y en consecuencia establecer un programa de trabajo para el análisis de esta problemática. Esta investigación tiene como objetivo evaluar el peligro por deslizamiento en los principales viales de la provincia de Santiago de Cuba. A partir de la caracterización de las condiciones ingeniero-geológicas del terreno utilizando la información geográfica existente, la histórica y los datos recopilados para realizar una caracterización geomecánica en los taludes con mayor susceptibilidad y luego por la clasificación de Beniaowski valoramos una serie de parámetros y obtenemos si el talud se desliza o no. Además de realizar esta clasificación geomecánica, este trabajo tiene como objetivo la propuesta de medidas de mitigación, estas medidas se elaboran para cada talud según las condiciones en que se encuentre el mismo con el objetivo de darle solución a este problema que afecta tanto los principales viales de la provincia de Santiago de Cuba. Estos resultados les permitirán a las autoridades del territorio poner en prácticas estas medidas con mayor precisión en el enfrentamiento ante los deslizamientos de tierra.



ABSTRACT

The issue of landslides within geological hazards origin is studied in the world, which allows us to assess how this phenomenon is analyzed in different geo-environmental conditions and thus establish a work program for the analysis of this problem. This research aims to evaluate the risk for slipping on the main road in the province of Santiago de Cuba. From the characterization of engineering-geological ground conditions using the existing geographic information, and historical data collected for a geomechanical characterization on slopes greater susceptibility and then Beniaowski ranking value a number of parameters and we get if the slope slips or not. In addition to performing this geomechanics classification, this paper aims the proposed mitigation measures, these measures are developed for each slope depending on the conditions that it be in order to give solution to this problem that affects both the main road in the province of Santiago de Cuba. These results will allow the territorial authorities put into practice these measures more precisely in the match against landslides.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Objeto de estudio.....	2
CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y SISMOLÓGICA DE LA PROVINCIA SANTIAGO DE CUBA.	1
1.1 Ubicación geográfica de las zonas de estudio en Santiago de Cuba.	1
1.2 Clima de la región.....	2
1.3 Características físico - geográficas.....	4
1.4 Características geológicas.....	6
1.5 Caracterización de la sismicidad de la región de estudio.	11
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO POR DESLIZAMIENTO Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	14
Primera fase: Identificación de los escenarios de susceptibilidad.....	15
Segunda fase: Evaluación del peligro	16
Tercera fase: Propuesta de medidas de mitigación	21
2.1 Volumen de los trabajos realizados	22
2.2 Análisis de la información	23
2.2.1 Interpretación cartográfica.....	23
2.2.2 Interpretación fotogeológica	23
2.3 Trabajo de campo.....	24
2.4 Trabajo de gabinete.....	24
CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DEL PELIGRO PARA LOS PRINCIPALES VIALES DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DE CUBA.....	25
3.1 Caracterización de los peligros geológicos por deslizamientos en la autopista nacional.....	25
3.2 Caracterización de los peligros geológicos por deslizamiento en la carretera Granma	30
3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTOS EN LA CARRETERA DE LA GRAN PIEDRA.	41
CAPITULO IV: PROPUESTAS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL PELIGRO PARA CADA UNO DE LOS TRAMOS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS.....	43



CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52

INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb-1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, meteorización, sismicidad, y lluvias intensas.

La presente tesis de grado tiene el objetivo de evaluar específicamente el peligro de desprendimiento o derrumbe a nivel local, aplicado a sectores escogidos de los principales viales de la provincia Santiago de Cuba que permita a los decisores tener una herramienta en sus manos para tomar medidas para la reducción del peligro en diferentes sectores de las carreteras de esta provincia. Muchas de las variantes metodológicas establecidas o en vías de proyección para el riesgo geológico por deslizamiento adolecen de ser muy complejas y no llegan de forma clara y factible a los decisores a nivel local, Cuba no está exenta de esta situación.

Debido a que la evaluación del peligro de derrumbes o desprendimientos de bloques se realiza a una escala muy local, en condiciones donde predominan taludes constituidos por rocas duras o semiduras de diferentes litologías, se aplicaron metodología donde se evalúa el comportamiento geomecánico del macizo rocoso como es la de Beniawsky (RMR) y la de la asociación de caminos de Japón (ACJ).

Los resultados obtenidos en este trabajo, donde se definen los sectores de mayor peligro a la ocurrencia de desprendimientos de bloques de las principales carreteras de la provincia de Santiago de Cuba deben ser considerados dentro de los planes de reducción de desastres del Órgano de Defensa Civil de la provincia.

Problema:

La red vial de la provincia de Santiago de Cuba presenta un peligro elevado ante los deslizamientos de taludes, específicamente desprendimiento de bloques, lo cual provoca continuas interrupciones del tráfico en estas vías.

Objeto de estudio:

Los taludes de carreteras con peligro de derrumbes o desprendimientos de bloques.

Objetivo general:

Realizar un estudio profundo del peligro de los principales deslizamientos y proponer algunas medidas de mitigación para erradicar las continuas interrupciones del tráfico en estas vías.

Objetivos específicos:

1. Caracterización físico-geográfica y sismológica de la provincia de Santiago de Cuba.
2. Aplicar una metodología para la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos de los taludes de las principales vías.
3. Evaluar el peligro por deslizamientos para cada uno de los taludes de las principales redes viales de la provincia de Santiago de Cuba.
4. Proponer medidas de mitigación de deslizamientos para aquellos taludes que presentan mayor peligro.

Hipótesis:

Si se realiza un estudio del peligro por deslizamiento para los taludes de la red vial de la provincia de Santiago de Cuba y se aplican medidas de mitigación se podrá reducir el impacto de este fenómeno natural a la circulación vial.

Resultados esperados

1. Metodología de evaluación del peligro por deslizamientos para los taludes de las principales vías de la provincia de Santiago de Cuba.

2. Evaluación del peligro por deslizamientos para los taludes de las principales vías de la provincia de Santiago de Cuba (Carretera Granma, Carretera de la Gran Piedra y Autopista Nacional en el tramo Santiago de Cuba – El Cristo).
3. Propuesta de medidas de mitigación del peligro por deslizamientos para los tramos más susceptibles de las vías principales de la provincia.

Fundamentación teórica de la investigación

Se establece la fundamentación teórica de la investigación, basada en las consultas bibliográficas relacionadas con la temática tratada.

Talud o ladera

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. Suárez (1998) lo define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente. Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Desde el punto de vista ingenieril los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

- **Altura**

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

- **Pie**

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

- **Cabeza o escarpe**

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

- **Altura de nivel freático**

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

- **Pendiente**

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente: 45o, 100%, o 1H: 1V.

Deslizamientos:

Sharpe en (1938) definió los deslizamientos como la caída perceptible o movimiento descendente de una masa relativamente seca de tierra, roca o ambas. Según Lomtadze (1977), es una masa de roca que se ha deslizado o desliza cuesta abajo por la ladera o talud al efecto de la fuerza de gravedad, presión hidrodinámica, fuerzas sísmicas, etc. Crozier (1986), define un deslizamiento como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua como agente de transporte. A pesar que el término deslizamiento, se utiliza para movimientos de ladera que se producen a lo largo de una superficie de rotura bien definida, en la presente investigación se utiliza de forma genérica para cualquier tipo de rotura.

- **Desprendimientos:** es aquel movimiento de una porción de suelo o roca, en forma de bloques aislados o masivamente que, en una gran parte de su trayectoria desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras.
- **Vuelcos:** son movimientos de rotación hacia el exterior, de una unidad o de un conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo del centro de gravedad de la masa movida.
- **Expansiones laterales:** el movimiento dominante es la extrusión plástica lateral, acomodada por fracturas de cizalla o de tracción que en ocasiones pueden ser de difícil localización.

- **Flujos:** son movimientos de una masa desorganizada o mezclada, donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni sus trayectorias tienen que ser paralelas. Debido a ello la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas.

Factores condicionantes y desencadenantes en la formación de deslizamientos:

Por las condiciones que favorecen a la formación de deslizamientos se entiende todo el conjunto de elementos naturales y antrópicos que facilitan la acción de fuerzas que alterarán el equilibrio en el macizo rocoso, por consiguiente las causales de la formación de los deslizamientos y las condiciones que lo favorecen no siempre son las mismas. Tal diferenciación de los conceptos puede parecer algo condicional, no obstante la experiencia del estudio de los deslizamientos nos lleva a tal afirmación. Según Guardado et al (2013), los factores condicionantes en la formación de deslizamientos en un territorio son:

1. Las particularidades climáticas de la región;
2. El régimen hidrológico de las cuencas, sus arroyos y ríos con sus tramos deslizables;
3. El relieve del terreno;
4. La estructura geológica de las laderas y taludes;
5. Los movimientos geotectónicos y los fenómenos sísmicos a ellos asociados;
6. Las particularidades de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y suelos;
7. La actividad antrópica.

Más adelante la autora realiza una descripción detallada de estos factores condicionantes generadores de los deslizamientos en los viales principales de Santiago de Cuba.

Conceptos y definiciones de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo:

Los procesos geodinámicos que afectan la superficie del terreno tienen diferentes magnitudes, intensidad, mecanismos, dinámica, que pueden constituir un riesgo geológico al afectar de forma directa o indirecta la actividad humana. La ingeniería

geológica, como ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas producidos por la interacción entre el medio geológico y la actividad humana, tiene una de sus principales aplicaciones en la evaluación, prevención, mitigación y gestión de los riesgos geológicos, es decir, de los daños ocasionados por los procesos geodinámicos.

Los daños asociados a los procesos de deslizamientos dependen de:

- La velocidad, magnitud y extensión del deslizamientos, el cual puede ocurrir de forma violenta y catastrófica (grandes deslizamientos) o lentas (flujos y otros movimientos de laderas).
- La posibilidad de prevención, predicción y el tiempo de aviso; los deslizamientos en los viales principales de Santiago de Cuba requieren de un proceso de prevención que permita en un corto tiempo alertar a las autoridades de su posibilidad de ocurrencia.
- La posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo o de proteger los elementos expuestos a sus efectos.

Para evitar o reducir los riesgos geológicos por deslizamiento en los viales principales de Santiago de Cuba es necesaria la evaluación del riesgo de manera tal que podamos incorporarlo a la planificación y ocupación de territorio.

La peligrosidad se refiere al proceso geológico, el riesgo a las pérdidas y la vulnerabilidad a los daños. A continuación se definen los conceptos según su uso más extendido.

Peligrosidad (P): es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente perjudicial dentro de un período de tiempo determinado y en un área específica.

Vulnerabilidad (V): es el grado de pérdida provocado por la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada sobre un elemento o conjunto de elementos.

Riesgo específico (Rs): es el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno natural y se expresa como el producto de $P * V$.

Los elementos bajo riesgo (E): son la población, las propiedades, etc.

Riesgo total (Rt): corresponde al número de vidas pérdidas, daños a la propiedad y a las personas, etc. debidas a un fenómeno natural concreto. El riesgo total se define como el producto del riesgo específico y de los elementos bajo riesgo como se observa en la siguiente expresión:

$$R_t = E * R_s = E * (P * V)$$

El primer paso en la evaluación del riesgo consiste en la estimación de la peligrosidad a roturas de laderas y ésta, a su vez, se evalúa determinando los siguientes aspectos (Varnes, 1984; Corominas, 1987; Hartlén y Viberg, 1988):

1. Evaluar la susceptibilidad de la ladera a las roturas por deslizamientos
2. Determinar el comportamiento del deslizamiento (movilidad y dimensiones del mismo)
3. Establecer la potencialidad del fenómeno (probabilidad de ocurrencia).

El término susceptibilidad hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno (Santacana, 2001).

Revisión de la literatura.

El propósito de esta investigación para el municipio de Santiago de Cuba, fue contribuir a mejorar la calidad de vida de los viajeros reduciendo el impacto negativo de los peligros naturales, específicamente en el campo de la peligrosidad por deslizamientos y promover los conocimientos y capacidades requeridas para reducir las pérdidas por estos procesos para beneficio de todos los ciudadanos. La peligrosidad, amenaza en la mayor parte de los países latinoamericanos, incluye dos conceptos, la probabilidad y la susceptibilidad. Uno de los aspectos de esta última es la intensidad o magnitud, que a través de una escala basada en algún parámetro del fenómeno, sitúa a este comparativamente con otro de forma absoluta. La susceptibilidad de determinada área de los principales viales de la provincia Santiago de Cuba a los deslizamientos se puede establecer y describir en base a la zonificación del peligro.

Los mapas de susceptibilidad responden a una necesidad, la de evaluar la propensión de la zona no movida o afectada a presentar problemas. Se puede preparar un mapa del peligro de deslizamientos que fundamente el estudio de planificación y desarrollo de los principales viales; combinándose como herramienta para identificar las áreas de terrenos mejor caracterizados para el desarrollo, examinando el riesgo potencial. Aún más, una vez que se identifique la susceptibilidad a los deslizamientos, se pueden desarrollar proyectos de inversión, que eviten, prevengan y mitiguen significativamente el peligro.

Los deslizamientos ocurridos en estos taludes y laderas son el producto de las intensas lluvias y los movimientos sísmicos ocurridos. Estos fenómenos climatológicos y geológicos activan el movimiento de masa en las laderas, provocando diversos tipos de deslizamientos. Ya desde la década de 1960 (Valentini, 1967) aparecieron diversos tipos de mapas y métodos de Análisis de la Susceptibilidad (Brabb et al., 1972), que desde el comienzo de la década de 1970 empezaron a realizarse con ayuda de sistemas de informáticos (Thomas, 1974). A partir de los años 1990 aproximadamente, la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), una herramienta que permitió el proceso integrado de la información, ha posibilitado la incorporación de tratamientos más sofisticados de datos y posibilitando una confección más rápida y barata de los mapas, lo cual se traduce probablemente en un incremento significativo de su producción en los últimos años. Guardado, R. & Almaguer, Y., (2001), en la revista de Minería y Geología, el artículo “Evaluación de Riesgos por Deslizamiento en el Yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín”, se realiza la evaluación hidrogeológica del yacimiento, se determinan las propiedades físico -mecánicas de las rocas y los suelos para evaluar el macizo desde el punto de vista geomecánico y realizan el análisis de estabilidad, para obtener el mapa de riesgos por deslizamientos. Almaguer, Y, (2005), en su tesis doctoral “Evaluación de la Susceptibilidad del Terreno a la Rotura por Desarrollo de Deslizamientos en el Yacimiento Punta Gorda”, evalúa los niveles de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en este yacimiento lo que le permite establecer criterios de estabilidad de taludes y laderas. Estos sirven de base para futuras evaluaciones de riesgos para prevenir o mitigar los

daños derivados de estos fenómenos. Emplea una metodología que parte de la confección del mapa inventario de deslizamientos.

Puig, R., (2007), en su trabajo de diploma “Evaluación de Riesgos Múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en el municipio Moa”, dentro de los riesgos determinados se encuentran los ocasionados por deslizamiento del terreno, analiza estos riesgos teniendo en cuenta una serie de variables e indicadores geo ambientales (geomorfología, tectónica, litologías, hidrogeología, precipitaciones, condiciones geotécnicas). Vitres, Y., (2010), en su trabajo de diploma “Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector este del Municipio Moa” confecciona varios mapas temáticos que permitieron la obtención de la cartografía de peligrosidad la cual se realizó a partir del método criterios de expertos y de vulnerabilidad por deslizamientos, hasta obtener el mapa de riesgos por deslizamiento del sector de estudio. Pintón, R, (2010), en su trabajo de diploma “Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector oeste del Municipio Moa” obtiene varios mapas en cada una de las evaluaciones, incluyendo el Mapa de Riesgos por deslizamiento, se determinaron los factores causales detonantes. Con estos resultados el Centro de Gestión para la Reducción del Riesgo en el Municipio de Moa cuenta con una herramienta clave, la que se incorporará a los planes de reducción de desastres para aquellas zonas y objetivos económicos que presenten el mayor riesgo, en los diferentes consejos populares. Daniel Alfonso Olivera en el 2013 hace una Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí. Castellanos et al (2006, 2009, 2012) sobre peligro de deslizamientos en Cuba a escala 1:250 000; también se destacan varios estudios de deslizamientos en Guantánamo (Rosabal et al, 2009), Holguín (Grupo multidisciplinario, 2011) y Santiago de Cuba (Villalón et al, 2012), los cuales hoy tienen cierto nivel de uso en los programas territoriales de prevención de desastres.

La presencia de estos trabajos demuestra que cada año es necesario incorporar la mayor cantidad de elementos posibles para perfeccionar paulatinamente las investigaciones de peligro por deslizamientos en el país.

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y SISMOLÓGICA DE LA PROVINCIA SANTIAGO DE CUBA.

Introducción

La provincia de Santiago de Cuba actualmente presenta distintas condiciones de peligro ante diversos procesos y fenómenos geológicos que conducen a deslizamientos, los cuales inciden en su desarrollo social y económico. En este sentido se realizaron las siguientes tareas:

1. Caracterizar la provincia de Santiago de Cuba desde el punto de vista físico - geográfico, geológico y sismológico.
2. Identificar y caracterizar los principales procesos y fenómenos geológicos conducentes a peligro por deslizamiento en la provincia Santiago de Cuba.

1.1 Ubicación geográfica de las zonas de estudio en Santiago de Cuba.

Las vías seleccionadas con mayor peligro al desprendimiento de taludes en la provincia de Santiago de Cuba son las que unen a la capital provincial con el resto del país y con las provincias vecinas.

La Autopista Nacional, el sector estudiado se encuentra entre las localidades de El Cristo a Boniato, donde esta vía atraviesa parte de las elevaciones de la Sierra Maestra y para lo cual, durante la construcción de esta autopista hubo que hacer cortes en el macizo rocoso. Este sector abarca unos 8 km de longitud (figura.1.1).

En la carretera Granma se estudiaron 12 taludes donde se presenta el mayor peligro a desprendimientos de bloques, en un tramo de la carretera que tiene una longitud de unos 70 km. Estos taludes, igual que el caso anterior, son el resultado de las excavaciones realizadas durante la construcción de la carretera que une a la localidad de Pilón, al sur de la provincia de Granma con la ciudad de Santiago de Cuba (figura.1.1). Durante la construcción de esta carretera perdió la vida una persona como resultado del terremoto de Pilón del 19 de febrero de 1976.

En el caso de la carretera de la Gran Piedra, aunque el tramo estudiado es de unos 3 km, este representa un gran peligro para los pobladores y turistas que utilizan esta vía. Es necesario señalar que durante las lluvias del Huracán Dennis en el año 2002 perdieron la vida 2 turistas como consecuencia de los desprendimientos ocurridos en este sector.

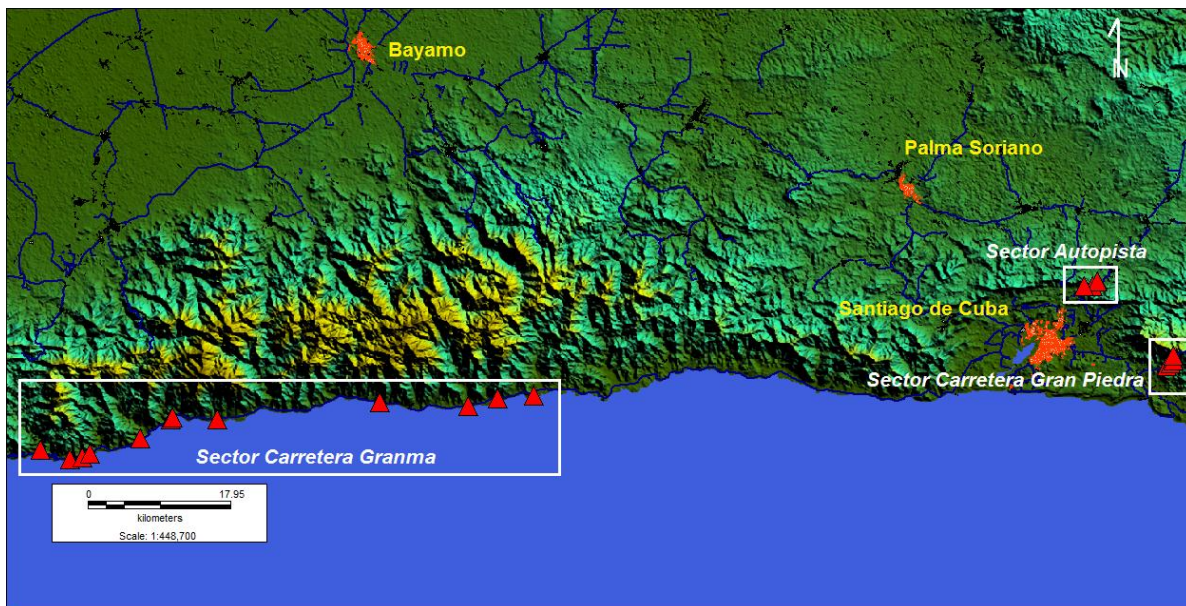


Figura 1.1 Ubicación de los sectores estudiados en las principales vías de la provincia de Santiago de Cuba.

1.2 Clima de la región

Desde el punto de vista climático la provincia de Santiago de Cuba es una de las más calurosas del país, al menos al nivel del mar, con una temperatura máxima media de 32⁰ C y una mínima media de 22⁰ C en la ciudad, la lluvia media anual el año 2012 fue de 1175 mm. (INRH., 201) El clima es subtropical cálido; con un período lluvioso de mayo a octubre donde se registran de un 80 a un 100 % de los totales anuales; los meses de septiembre y octubre son los de mayor ocurrencia, seguidos de agosto y noviembre. El período seco va de noviembre a abril, con el 20 % y los meses de menor ocurrencia son mayo, junio y julio.

Los estudios de peligro de deslizamientos y/o desprendimientos en taludes realizados en la provincia de Santiago de Cuba, señalan como de los agentes disparadores o

catalizadores son las intensas lluvias, por lo que este es un factor importante en las evaluaciones de peligro.

Maestra aunque con menores alturas (la Sierra del Cobre, la Sierra de Boniato y la Sierra de la Gran Piedra), con pendientes que en varios casos sobrepasan el 45%, un factor favorable para la ocurrencia de deslizamientos.

Al sur el relieve es llano a ondulado constituido por escasas elevaciones de pendientes suaves predominando las costeras en forma de mesetas alargadas formando hacia la cercanía de las costas varias terrazas escalonadas. En la bahía la costa es escarpada y se desarrollan elevaciones de aspecto terraciforme.

La cuenca de Santiago de Cuba se enmarca como principal accidente hacia el centro oeste de la provincia de Santiago de Cuba, donde se encuentran varios niveles de terrazas y mesetas escalonadas que parten de la bahía de Santiago de Cuba (largo: 8.5 km; ancho: 2.4 km; profundidad: entre 8.8 y 13.7 m) alrededor de la que se desarrolla la ciudad del mismo nombre, observando en su parte superior varias llanuras aluviales. (García et al, 2002).

Este relieve se caracteriza por estar subordinado en gran medida a varios factores, tales como la litología presente en el área, los procesos erosivos que tienen lugar (fluvial y marino), la tectónica que la caracteriza y la meteorización.

En la provincia Santiago de Cuba la red hidrográfica se encuentra poco desarrollada donde tienen un papel importante el régimen de las lluvias dentro de los factores climáticos, observándose escasas corrientes fluviales con carácter intermitente que atraviesan el municipio y que desaparecen en períodos secos. Los ríos por lo general corren con dirección norte – sur, entre los más importantes del municipio se encuentran: el Cobre (que alimenta la Presa Paradas), San Juan, Juraguá, Daiquirí y Baconao; además existen otros con menor desarrollo en sus cuencas: Sardinero, Los Guaos, Yarayó, que corren al oeste y vierten sus aguas en la bahía de Santiago de Cuba.

En sentido general el relieve de Santiago de Cuba presenta formas favorables para la ocurrencia de deslizamientos, particularmente en las zonas montañosas.

1.3 Características físico - geográficas

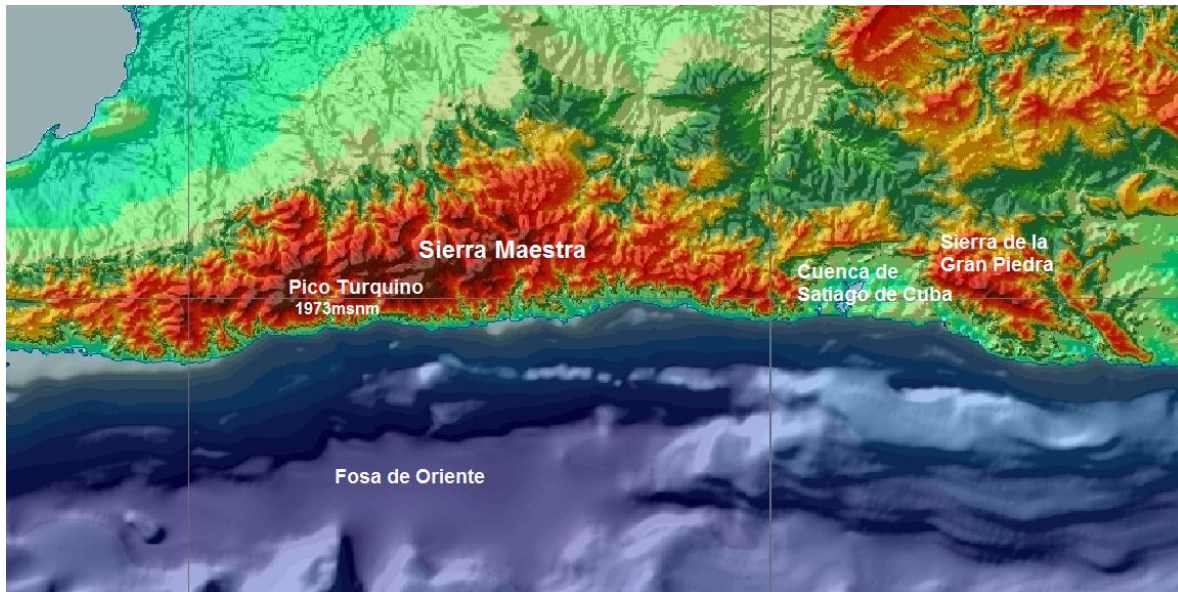


Figura1.2 Relieve de la región oriental donde se encuentra la provincia de Santiago de Cuba.

En la provincia de Santiago de Cuba el relieve es accidentado y variado siendo hacia el norte semimontañoso, constituido por elevaciones jóvenes y alargadas, las cuales forman un arco bordeando la cuenca de pendientes medianamente abruptas y cimas en forma de crestas separadas por pequeños valles. Este sistema montañoso forma parte de la Sierra Maestra aunque con menores alturas (la Sierra del Cobre, la Sierra de Boniato y la Sierra de la Gran Piedra), con pendientes que en varios casos sobrepasan el 45%, un factor favorable para la ocurrencia de deslizamientos.

Al sur el relieve es llano a ondulado constituido por escasas elevaciones de pendientes suaves predominando las costeras en forma de mesetas alargadas formando hacia la cercanía de las costas varias terrazas escalonadas. En la bahía la costa es escarpada y se desarrollan elevaciones de aspecto terraciforme.

La cuenca de Santiago de Cuba se enmarca como principal accidente hacia el centro oeste de la provincia de Santiago de Cuba, donde se encuentran varios niveles de terrazas y mesetas escalonadas que parten de la bahía de Santiago de Cuba (largo: 8.5 km; ancho: 2.4 km; profundidad: entre 8.8 y 13.7 m) alrededor de la que se desarrolla la ciudad del mismo nombre, observando en su parte superior varias llanuras aluviales. (García et al, 2002).

Este relieve se caracteriza por estar subordinado en gran medida a varios factores, tales como la litología presente en el área, los procesos erosivos que tienen lugar (fluvial y marino), la tectónica que la caracteriza y la meteorización.

En la provincia Santiago de Cuba la red hidrográfica se encuentra poco desarrollada donde tienen un papel importante el régimen de las lluvias dentro de los factores climáticos, observándose escasas corrientes fluviales con carácter intermitente que atraviesan el municipio y que desaparecen en períodos secos. Los ríos por lo general corren con dirección norte – sur, entre los más importantes del municipio se encuentran: el Cobre (que alimenta la Presa Paradas), San Juan, Juraguá, Daiquirí y Baconao; además existen otros con menor desarrollo en sus cuencas: Sardinero, Los Guaos, Yarayó, que corren al oeste y vierten sus aguas en la bahía de Santiago de Cuba.

En sentido general el relieve de Santiago de Cuba presenta formas favorables para la ocurrencia de deslizamientos, particularmente en las zonas montañosas.

1.4 Características geológicas.

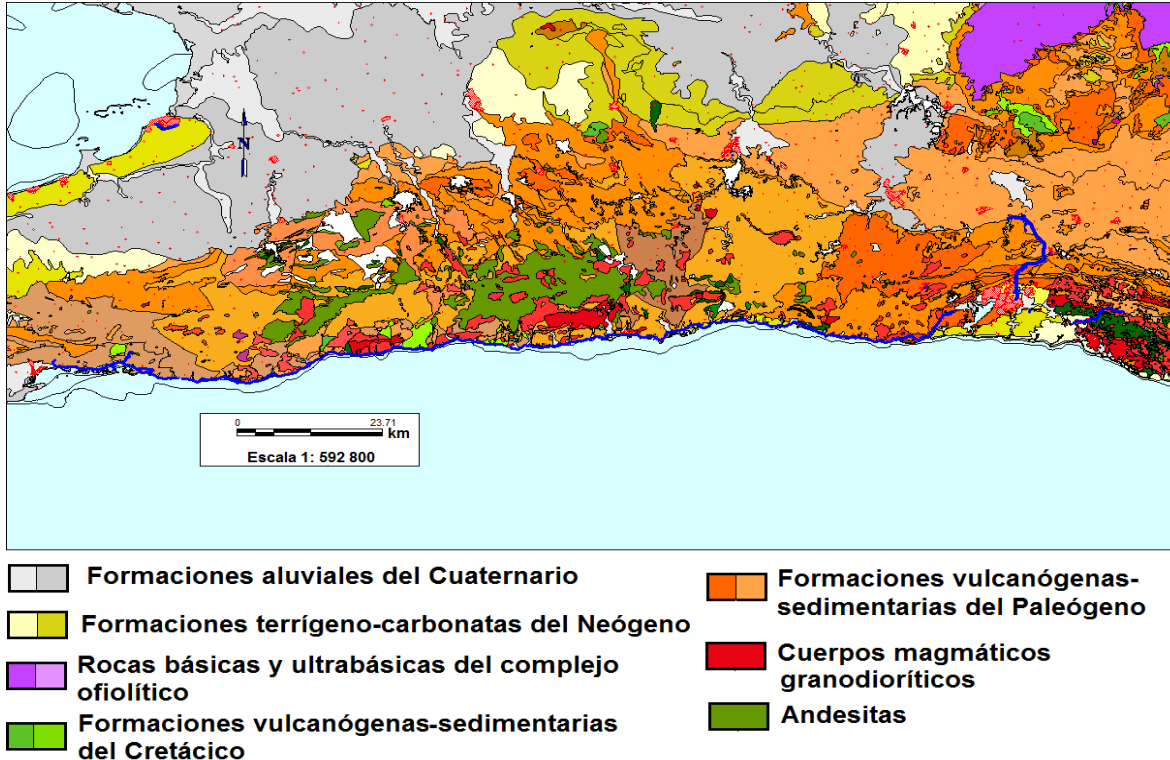


Figura1.3 Geología de la provincia de Santiago de Cuba y sus alrededores. (Fuente: Mapa geológico a escala 1: 250 000, I.G.P, 2008)

La región suroriental de Cuba presenta características geológicas que la diferencian del resto del territorio cubano. La Sierra Maestra ocupa la mayor parte de esta región, la cual constituye un complejo de rocas volcánicas de un arco de islas de edad Paleógeno. Estructuralmente la Sierra Maestra está definida como un bloque Horst-Anticlinal con una marcada tendencia al levantamiento en el período Neógeno-Cuaternario, lo cual se manifiesta por una escasa presencia de depósitos de esta edad. El flanco norte de la Sierra Maestra presenta una estructura monoclinial hacia el noreste, donde se observan buzamientos de las secuencias vulcanógenas-sedimentarias de 10° a 30°.

Tectónicamente la Sierra Maestra está dislocada por sistemas de fallas con tres direcciones fundamentales noroeste-sureste, noreste-suroeste y norte-sur relacionadas con diferentes etapas de la evolución geotectónica de la región desde la formación de la falla Oriente. En particular al norte de la ciudad de Santiago de Cuba se destaca la

zona de articulación de la Sierra Boniato con la Sierra de la Gran Piedra por una zona de fallas de dirección suroeste-norte-noroeste que se considera activa por los datos de nivelación del polígono geodinámico. En la porción noreste de la Sierra de la Gran Piedra se destaca la falla Baconao, la cual coincide y controla en gran medida el curso del río de igual nombre.

Estratigrafía.

Paleógeno

Grupo El Cobre (Eoceno Medio). Este grupo se ha subdividido en tres secuencias: inferior, media y superior.

La secuencia inferior (P_1) con un espesor variable entre 250 y 800 metros, se extiende hacia el Sur del bloque "El Cobre" y la pendiente meridional del bloque "Gran Piedra". Está constituida por diferentes tipos de rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias en distintas correlaciones y combinaciones alternantes, muy variables, tanto en sentido vertical como lateral. Las transiciones entre ellas a veces son bruscas y otras graduales y en muchos casos es prácticamente imposible establecer delimitaciones entre ellas. Las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidácica y dacítica, raramente riolítica, riodacítica y basáltica. Con estas rocas se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian a este complejo vulcanógeno-sedimentario cuerpos hipabisales y diques de diversa composición. En su composición también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas y grauvacas.

El vulcanismo, de composición fundamentalmente andesito-basáltico y carácter tholeítico, fue intenso y explosivo en condiciones submarinas.

La secuencia media (P_2^1): tiene un espesor de 3500-4400 metros y está compuesta predominantemente por tobas pefito-aglomeráticas y aglomeráticas de composición andesítica con intercalaciones de tobas finas, así como por clasto-lavas y aglomerados, rocas sedimentarias y efusivas, desde basaltos hasta riodacitas. Se debe destacar que

aunque proporcionalmente, los efusivos están subordinados y representan un volumen mucho mayor que el de las secuencias inferior y superior.

La secuencia superior (P_2^1 - P_2^2): tiene un espesor máximo de 3150 metros y está compuesta por tobas de andesitas y andesito - basaltos, lavas y rocas sedimentarias subordinadas. En la parte superior ocurren localmente tobas ácidas. En la región de "El Cobre" y "La Gran Piedra", la composición general de las rocas es más ácida que en el resto de la Sierra Maestra culminando el corte vulcanógeno y vulcanógeno - sedimentario, en esta área se desarrolla la Fm. Caney (Eoceno Medio) una secuencia Flyshoide compuesta por conglomerados, areniscas tobáceas, gravelitas, tobas, tufitas y calizas con escasos mantos de lava andesito-basáltica. Las tobas varían su composición desde media hasta ácida. La edad de esta formación es (P_2^2) y su espesor es de unos 1000 metros.

Sobreyaciendo a las secuencias del grupo El Cobre se encuentra la Fm. Puerto Boniato. Su espesor es reducido (no más de 20 m en el área) y su edad (P_2^2) parte media. Su litología más característica son calizas blancasaporcelanadas finamente estratificadas con intercalaciones de silicitas negro - parduscas y calizas biodetríticas subordinadas.

Formación Charco Redondo (Eoceno Medio): Está formada por calizas compactas, biodetríticas, fosilíferas, de colores claros, con brechas frecuentes en la base y estratificación gruesa en la base mientras que en la parte superior es fina. Su espesor varía entre 50 y 200 metros. Yace sobre el Grupo El Cobre, se encuentra en el flanco norte de la Sierra Maestra.

Formación Puerto Boniato (Eoceno Medio): Formada por calizas organodetríticas, algáceas y margas, con intercalaciones de cilicítas negro-parduzcas. Su espesor no sobrepasa los 50 metros. Aflora en una franja discontinua al norte de la Sierra Maestra, al sur de la Sierra Cristal, en las provincias de Guantámo y Santiago de Cuba.

Formación San Luis (Eoceno Medio). Constituye un potente paquete terrígeno con características flychoides de areniscas polimícticas, limolitas, margas, arcillas, calizas

arcillosas, biodetríticas, arenosas y conglomerados polimícticos. En la parte superior del corte abunda el material clástico. Está cortada por diques y cuerpos de diabasas. La Formación San Luis transiciona lateral o verticalmente a la Formación Camarones (Eoceno Superior), la cual solo se encuentra en las estribaciones nororientales de la Gran Piedra. Esta formación está constituida por conglomerados polimícticos de cantos subredondeados que transiciona a areniscas de igual composición. Tiene un espesor de unos 500 metros.

Neógeno

Formación La Cruz (Mioceno Superior). Se distribuye alrededor de la bahía de Santiago de Cuba, extendiéndose al Oeste en la zona de la Socapa y Ensenada de Cabañas, hasta las proximidades de Mar Verde. Forman una franja estrecha y sinuosa. Estos sedimentos parecen haberse depositado en una cuenca muy local, formada por la subsidencia de un bloque durante un intervalo que se inicia en algún momento del Mioceno que dio lugar a la Bahía de Santiago de Cuba.

Esta formación sobreyace a las secuencias del Grupo El Cobre en la cuenca de Santiago de Cuba, cubriendo la mayor parte del área de ésta. Su espesor no debe sobrepasar los 100 metros y está conformada por tres miembros:

1. Miembro Quintero (qt) N_1^2 . (M. Campos, 1972). Se desarrolla solamente en los alrededores de la ciudad de Santiago de Cuba y está formado por conglomerados polimícticos de calizas y vulcanitas, con matriz margosa o arenítica con cemento calcáreo más o menos desarrollado. De acuerdo con el Léxico Estratigráfico, el miembro Quintero está cubierto concordantemente por el miembro Tejar que yace discordantemente sobre el Grupo El Cobre, cuestión ésta última que no compartimos.

2. Miembro Tejar (tj) $N_1^3-N_2^{1a}$. Se desarrolla en los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba, prolongándose en forma discontinua hacia ella. Se observa una alternancia de calizas biodetríticas, calizas limosas y limoso- arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas. Colores crema en los carbonatos, y gris verdoso y parduzco abigarrado en los sedimentos

terrágenos. Yace concordantemente sobre el miembro Quintero. Es cubierta concordantemente por el miembro Santiago. Parece haberse depositado en condiciones de bahía, con un rosario de lagunas costeras con manglares. Las alternancias de materiales carbonáticos y terrígenos parece estar relacionada con períodos alternos de emersión y subsidencia. Su espesor no ha sido determinado con exactitud. Es probable que no alcance los 100 m.

3. Miembro Santiago (stg) N₂^{1b}. Se desarrolla muy localmente en la provincia de Santiago de Cuba, son depósitos regresivos compuesta por argilitas calcáreas, limoso-arenáceas plásticas con interestratificaciones de aleurolitaspolimícticas areno- arcillosas que contienen Ostrea y otros moluscos y calcilitas laminares, a veces nodulosas. Yace concordantemente sobre el miembro Quintero y discordantemente sobre el Grupo El Cobre. Es cubierto discordantemente por suelos pardos y aluvios del Cuaternario. Parece sobrepasar los 10 m.

Cuaternario

1. Formación Maya (Rm) N₂-Q₁. Sus depósitos corresponden a episodios de desarrollo arrecifal que alternan con episodios de intenso aporte de materiales clásticos terrígenos, predominando los de desarrollo arrecifal. Está compuesta fundamentalmente por calizas biohémicasalgáceas y coralinas muy duras de matriz micrítica, frecuentemente aporcelanadas conteniendo Corales en posición de crecimiento y fragmentarios, así como subordinadamente moldes y valvas de moluscos, todos muy recristalizados, siendo abundante el coral Acropora prolifera. Las calizas se encuentran frecuentemente dolomitizadas. El contenido de arcilla es muy variable. Contiene intercalaciones de clastos terrígenos de variada granulometría. El color es blanco, amarillento, rosado o grisáceo. Su espesor oscila entre 30 y 80 m. Yace discordantemente sobre la formación La Cruz. Es cubierta discordantemente por la Formación Jaimanitas.

2. Formación Jaimanitas (Js) Q₁₁₁. La formación bordea todo el territorio insular cubano, constituida por calizas biodetríticas, masivas, cársicas y fosilíferas, calcarenitas y a veces margas. Yace discordantemente sobre la formación Río maya. El espesor medio de esta formación parece ser de 8 a 10 m, aunque es probable que sea mayor. Su posición estratigráfica sobre sedimentos pliocénicos o pleistocénicos y el alto grado de

preservación de su fauna equivalente a la actual, apoyan una edad Pleistoceno superior, presenta marcadas formas de carso superficial de tipo lapiés. Sobreyace discordantemente a la formación Maya y la Cruz es sobreyacida discordantemente por la formación Camaroncito en la zona de Aguadores.

Por último aparecen en las formaciones más recientes los depósitos marinos, arenas, guijarros de playas y bancos de tormenta (m Q1v) y otros depósitos de tipo aluvial (al Q1) compuestos por lino gris y pardusco, linos arenosos y arcillas arenosas.

1.5 Caracterización de la sismicidad de la región de estudio.

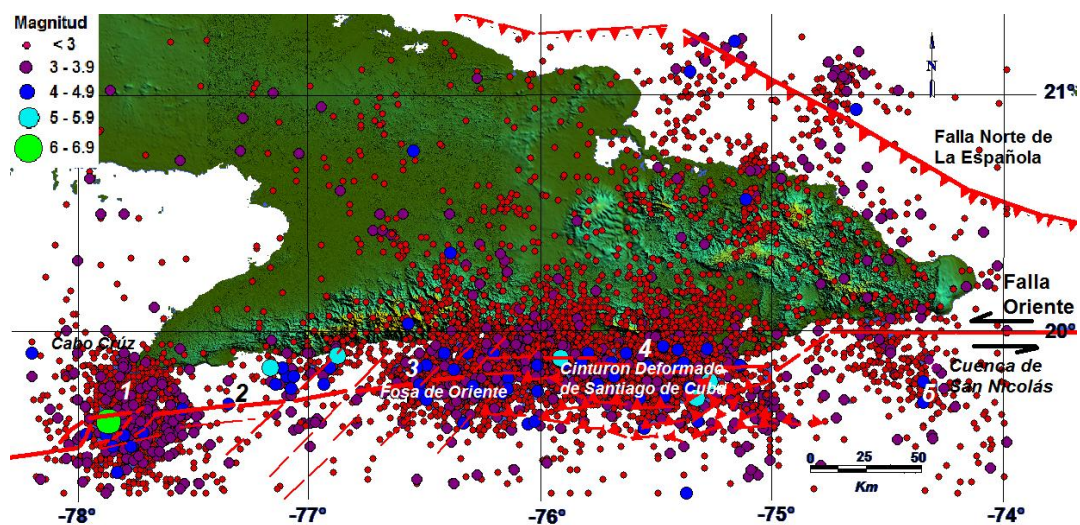


Figura 1.4 Ubicación de la falla Oriente y los principales elementos geodinámicos que la caracterizan en las inmediaciones de la región oriental de Cuba: 1. Transtensión (Cuenca de Cabo Cruz), 2. Deslizamiento puro, 3. Extensión (Fosa de Oriente), 4. Transpresión (Cinturón deformado de Santiago de Cuba). 5. Transtensión (Cuenca de San Nicolás).

De acuerdo a las características geodinámicas de la región norte del Caribe, la falla transformante Oriente constituyen la principal falla activa de primer orden donde pueden ocurrir sismos fuertes que afecten el territorio oriental de Cuba (Arango, 2008). A esta estructura se relaciona la principal actividad sísmica registrada en esta región, tanto en magnitud como en frecuencia, como se observa en la (figura 1.4), donde se representa la sismicidad registrada instrumentalmente en los períodos de 1967 a 1995 y de 1998 al 2012.

En Arango (1996) se realiza un análisis geodinámico de la zona de falla Oriente, entre los 75:00°W y 78:00° de W con los datos sismológicos existentes en ese momento y la

información tectónica, batimétrica y geofísica obtenida en la expedición oceanológica SEA CARIB II. Este estudio permitió diferenciar los procesos geodinámicos causantes de la sismicidad en este segmento de la falla Oriente al sur de Cuba oriental. La información disponible en la actualidad permitió realizar un análisis más completo en estos momentos de los procesos geodinámicos imperantes en esta zona de fallas al sur del territorio cubano. El sector comprendido entre los 74.90° W y los 77.20° W de la falla Oriente se puede considerar como el más activo de esta estructura. Sin embargo la sismicidad no es homogénea en todo este sector, debido a las características geodinámicas presentes en el mismo, como se observa en la figura 1.4.

Entre los 74.90° W y los 76.10° W aproximadamente, se localiza el llamado Cinturón Deformado de Santiago de Cuba, donde han ocurrido los sismos fuertes que han afectado históricamente a la ciudad de Santiago de Cuba entre los que se encuentran el del 20 de agosto de 1852 y el del 3 de febrero de 1932 con IX y VIII grados de intensidad respectivamente. Los sismos registrados en este sector se caracterizan por presentar mecanismos focales compuestos con un mecanismo de rumbo (fundamental) y otro mecanismo secundario inverso. Tanto las características morfológicas como los elementos estructurales determinados a partir de perfiles sísmicos se consideran evidencias para considerar que aquí se desarrolla un proceso transpresivo del tipo flower, originado como consecuencia del choque de la placa de Norteamérica con la microplaca de Gonave.

Precisamente la zona donde están ubicadas las líneas del polígono geodinámico de Santiago de Cuba queda próxima a la zona donde se encuentra la zona transgresiva conocida como promontorio de Santiago de Cuba, que es la zona donde históricamente han ocurrido los sismos más fuertes que han afectado a la ciudad de Santiago de Cuba. Por tanto esta es la zona donde se acumulan y se liberan las mayores tensiones y deformaciones en toda la zona sur oriental debido al movimiento transcurrente izquierdo de la falla Oriente. Esto significa que las deformaciones observadas en las nivelaciones reiteradas del polígono geodinámico son un reflejo directo de las deformaciones que ocurren en esta zona límite de placas y pueden servir como indicador de preparación de sismos fuertes en esta zona.

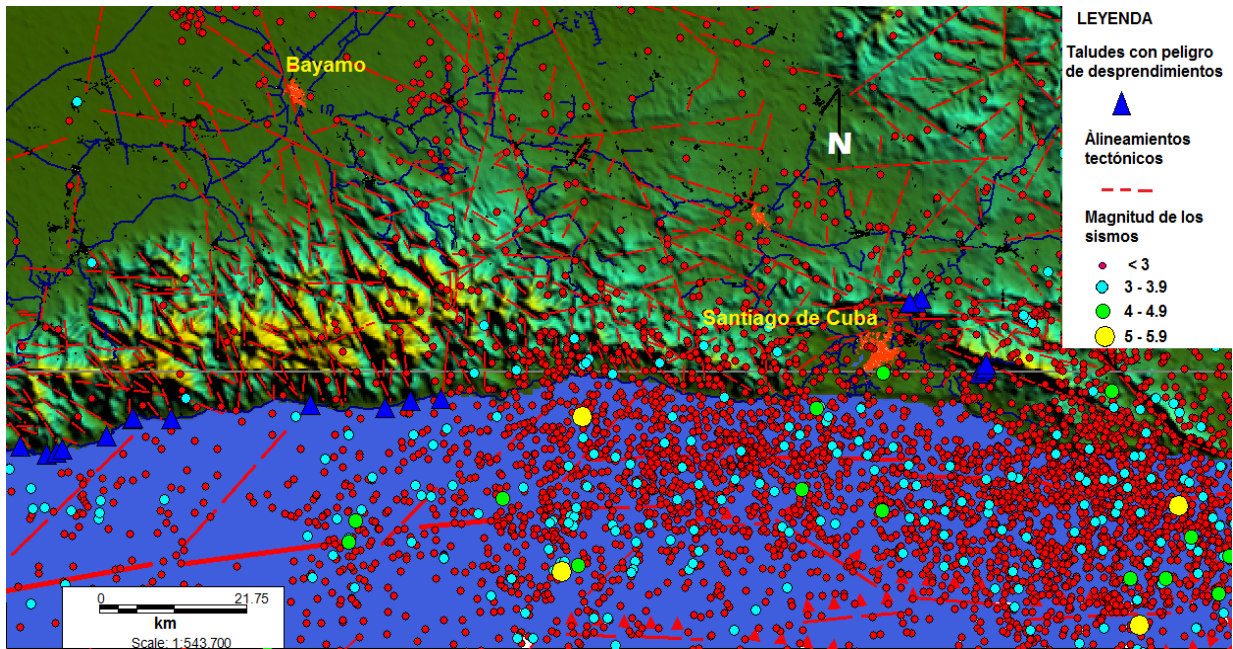


Figura 1.4.1 Sismicidad registrada desde el año 1998 por el Servicio Sismológico Nacional de Cuba en el área que ocupa la provincia de Santiago de Cuba y sus alrededores.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO POR DESLIZAMIENTO Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

Introducción

En el presente capítulo se dan a conocer los trabajos realizados, que corresponden con las etapas de la investigación (búsqueda bibliográfica, análisis de la información, trabajos de campo y trabajos de gabinete). Se explica en tres fases la metodología utilizada en la evaluación del peligro por deslizamiento de rocas a escala local o puntual en cada sector de la red vial estudiada atendiendo al tipo de fenómeno gravitacional en particular de acuerdo a las clasificaciones establecidas por diferentes autores con anterioridad.

Metodología para el estudio del peligro por deslizamientos del terreno.

Para elaborar la metodología de estudio del peligro por deslizamientos del terreno se han seguido las recomendaciones generales de los “lineamientos metodológicos para estudios de peligrosidad”, así como múltiples trabajos realizados en Cuba y en el exterior sobre esta temática.

Este trabajo es el estudio de peligrosidad por deslizamientos en el terreno y contiene 3 fases principales, con varias tareas como se observa en la, figura 2.1.

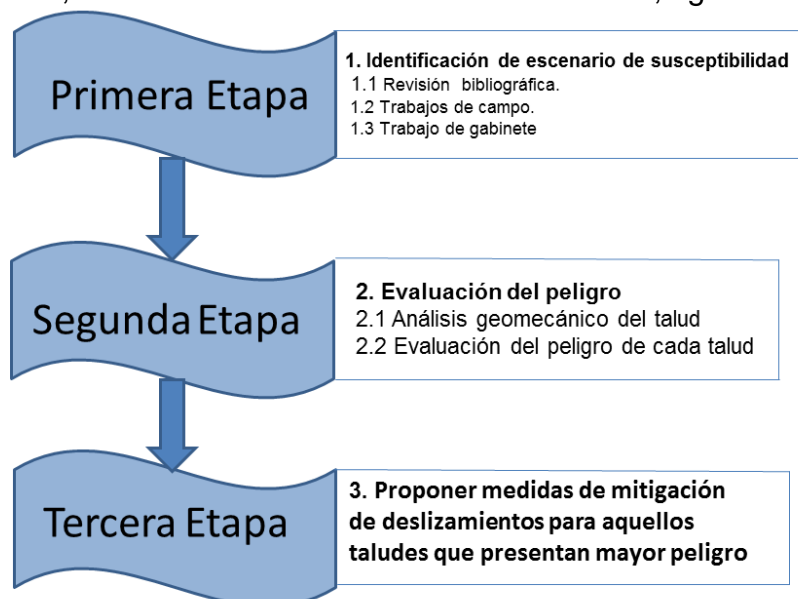


Figura 2.1. Etapas de la metodología del trabajo.

Primera fase: Identificación de los escenarios de susceptibilidad

1.1 Para la realización de la primera etapa donde se identificaron las zonas con mayor peligro de deslizamiento se necesitó realizar la revisión bibliográfica sobre la temática y el lugar de estudio, se consultó en el centro de información del I.S.M.M. los artículos científicos, trabajos de diplomas, tesis de maestrías y doctorales, revistas y libros. Además, se consultaron los trabajos que precedieron a esta investigación, la búsqueda en sitios web especializados, lo que contribuyó al enriquecimiento de la información con datos actualizados y confiables. Los pasos posteriormente mencionados formaron parte de esta búsqueda bibliográfica.

Teniendo en cuenta que los deslizamientos de terreno aparecen muchas veces relacionados con otros fenómenos como intensas lluvias, terremotos, o por la acción antrópica del hombre es necesario coleccionar toda la información posible sobre antiguos fenómenos en estas áreas. Hay tres formas principales que formaron parte de este estudio:

- a) Búsqueda de materiales históricos.
- b) Entrevistas.
- c) Empleando fotos aéreas.

1.2 Dentro de esta primera etapa el trabajo de campo ocupó un lugar muy importante. Se realizaron marchas de reconocimiento en los sectores, con el objetivo de corroborar las ubicaciones de los deslizamientos y determinar las características de los mismos. Para facilitar la documentación de los movimientos de masas durante los trabajos de campo, se tomó toda la información necesaria como para realizar la metodología de Beniawski, ya que para esta metodología es necesario tomar la información directamente del talud o la ladera en la que se va a realizar el estudio.

1.3 En esta etapa se realizó el trabajo de gabinete donde se procesó toda la información y, luego se interpretaron los resultados obtenidos, lo que dio paso a la

realización de la segunda fase en la que se evaluará el peligro a través de la metodología de Beniaowski.

Segunda fase: Evaluación del peligro

Para la realización de este trabajo se utilizó una metodología basada en una clasificación geomecánica que parte por caracterizar al macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que les asigna un cierto valor. Por medio de esta clasificación se calcula un índice característico de la roca que permite describir numéricamente la calidad de la misma. Es una herramienta para estimar la estabilidad de los taludes. (CENAIIS)

CLASIFICACIÓN DE BENIAWSKI

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z.T. Beniaowski durante los años 1972-73 y ha sido modificado en 1976 y 1979 en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989 que coincide sustancialmente con la de 1979.

Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes:

- La resistencia a compresión simple del material.
- El RQD (Rock Quality Designation)
- El espaciamiento de las discontinuidades
- El estado de las discontinuidades
- La presencia de agua
- La orientación de las discontinuidades

El RMR se obtiene como suma unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados. El valor de RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Beniaowski distingue cinco tipos de clases de rocas según el valor de RMR:

CLASE I: $RMR > 80$, Roca muy buena

- CLASE II: $80 < \text{RMR} < 60$, Roca buena
- CLASE III: $60 < \text{RMR} < 40$, Roca media
- CLASE IV: $40 < \text{RMR} < 20$, Roca mala
- CLASE V: $\text{RMR} < 20$, Roca muy mala

En las tablas que se muestran en la figura adjuntas se indican los criterios de valoración utilizados para los distintos parámetros. Hay que hacer las siguientes consideraciones:

1. Resistencia de la roca. Tiene una valoración máxima de 15 puntos y puede utilizarse como criterio el resultado del Ensayo de Resistencia a Compresión Simple o bien el Ensayo de Carga Puntual (Point Load).
2. RQD.-Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se denomina RQD de un cierto tramo de un sondeo a la relación en tanto por ciento entre la suma de las longitudes de los trozos de testigos mayores de 10cm y la longitud total del sondeo.
3. Separación entre discontinuidades o diaclasas.-Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas de rocas.
4. Estados de las discontinuidades.- Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse los criterios generales, que el estado de las diaclasas se descomponen en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.
5. Presencia de agua.- La valoración máxima es de 15 puntos. Ofrece tres posibles criterios de valoración: estado general, caudal cada 10 metros de túnel y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor en la roca.
6. Corrección por discontinuidades.- Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre 0 y -12 puntos en función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o

perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde Muy Favorable hasta Muy Desfavorable.

Para cada clase de roca, Beniaowski propone una medida de prevención al desprendimiento de rocas en correspondencia con la calidad geomecánica del macizo ROCOS.

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bieniawski)

Obra:
 Estación Geomecánica:
 Coordenadas (X,Y,Z):

X Y Z

Localidad:
 Observaciones:

Cliente:

Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación
1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)		
Ensayo de carga puntual	No aplica	0
Compresión simple	250-100	12
2 Índice RQD de la roca		
RQD (%)	25-50	6
3 Separación entre diaclasas		
Separación entre diaclasas (m)	< 0,006	5
4 Estado de las discontinuidades		
Longitud de la discontinuidad (m)	< 1	6
Abertura (mm)	Nada	6
Rugosidad	Suave	0
Relleno	Ninguno	6
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5
5 Agua freática		
Caudal por 10 m de tunel	10-25 l/min	7
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15
Estado general	Seco	15
Corrección por discontinuidades		
Túneles	No aplica	0
Cimentaciones	Favorable	-2
Taludes	No aplica	0
Puntuación		81

CLASIFICACIÓN RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm ²]	Angulo de rozamiento [°]
Muy buena	I	10 años con 15 m de vano	> 4	> 45

Foto o croquis de la estación geomecánica



Orientación de las discontinuidades en el túnel						
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20°. Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Figura 2.2. Imagen del sistema automático de clasificación geomecánica del macizo rocoso de Beniaowski utilizado para la evaluación de los taludes de las principales redes viales de la provincia Santiago de Cuba.

1er Parámetro: resistencia de la roca

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL(MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	>10	15
Muy dura	100-250	4-10	12
Dura	50-100	2-4	7
Moderadamente dura	25-50	1-2	4
Blanda muy blanda	5-25 1-5 <1	<1	2 1 0

Tipo de roca	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
	Mínimo	Máximo	Medio
Creta	1	2	1.5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limonita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Arcillita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	395	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Sílice	587	683	635

Resistencia Co (Roca Intacta)

I_s (MPa)	C_o (MPa)	Rango
>10	>250	15
4-10	100-250	12
2-4	50-100	7
12	25-50	4
-	5-25	2
-	1-5	1
-	<1	0

Determinación Calidad Roca (RQD)

RQD	Rango
90% - 100%	20
75% - 90%	17
50% -75%	13
25% -50%	8
<25%	3

Espaciado

If	Rango
>2	20
0.6 - 2 m	15
200 – 600mm	10
60 - 200 mm	8
<60mm	5

Condiciones de las discontinuidades

Características	Rango
Superficie muy rugosa, no continuas, no separadas roca dura	30
Superficie ligeramente rugosa, con separación <1mm, paredes duras	25
Superficie ligeramente rugosa, con separación <1mm, paredes blandas	20

Superficie lisa (SLK) o relleno <5mm de espesor o juntas abiertas 1-5 mm y continuas	10
Relleno de escasa resistencia > 5 mm de espesor o juntas abiertas > 5mm y continuas	0

Flujo de agua

Caudal por 10 metros lineales	Presión agua en la discontinuidad tensión máx.	Condiciones generales	Rango
0	0.0	Seco	15
<10 l/min	<0.1	Dañado	10
10 -25l/min	0.0 – 0.2	Agua intersticial	7
25 -125 l/min	0.2 – 0.5	Agua a baja presión	4
>125 l/min	>0.5	Problemas debido al flujo	0

Orientación de las discontinuidades respecto a la dirección de excavación

Orientación	Rango para galerías	Rango para Cimentaciones	Rango para Pendientes
Muy favorable	0	0	0
Favorable	-2	-2	-5
Discreta	-5	-7	-25
No favorable	-10	-15	50
Muy poco favorable	-12	-25	-60

Subdivisión en clase de la masa rocosa

Clase	I	II	III	IV	V
Descripción	óptima	buena	discreta	pobre	muy pobre
Coefficiente numérico total	81- 100	61- 80	41- 60	21- 40	< 20

Tercera fase: Propuesta de medidas de mitigación

Las medidas de mitigación para la seguridad de las vías de comunicación ante la ocurrencia de deslizamientos de rocas pueden ser efectivamente priorizadas basándose en estudios, trabajos e investigaciones en las que se realizan cálculos,

interpretaciones de mapas, de fotos aéreas etc. que permiten realizar un estimado acertado del riesgo con el objetivo de evitar daños en el futuro siempre y cuando se pongan en práctica estas medidas se podrán evitar accidentes en estas vías.

2.1 Volumen de los trabajos realizados

Con el objetivo de realizar la evaluación de peligrosidad por deslizamientos en los taludes de los principales viales de la provincia Santiago de Cuba se realizaron búsquedas bibliográficas, trabajos de campo y gabinete.

Etapas del trabajo

1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Una vez determinada el área de estudio de la investigación se ejecutó la búsqueda, selección y revisión bibliográfica. Para realizar la revisión bibliográfica referente al tema y a la cartografía existente, se consultó en el centro de información del I.S.M.M. los artículos científicos, trabajos de diplomas, revistas, libros y otros documentos relacionados con la temática abordada en la investigación. Además, se consultaron los trabajos que precedieron a esta investigación, la búsqueda en sitios web especializados, lo que contribuyó al enriquecimiento de la información con datos actualizados y confiables.

La autora visitó las Instituciones Gubernamentales del Municipio como: Planificación Física, Poder Popular, Defensa Civil, se visitó CENAI, el Fondo Geológico del Departamento de Geología del I.S.M.M en Moa y otros. Donde se obtuvo la información necesaria para la investigación la que incluye las características físico-geográficas y geológicas del área de estudio, expuestas en el capítulo I de la investigación (tabla 2.1)

Tabla 2.1. Base cartográfica obtenida en la búsqueda de información

Mapas	Fuente información	Escala	Información de área de estudio
Ubicación de los sectores de estudio	CENAI	1:250 000	Ubicación de los deslizamientos
Relieve de la región	CITMA	1:250 000	Zonas montañosas

Mapas	Fuente información	Escala	Información de área de estudio
Geológico	IGP	1:250 000	Formaciones geológicas
Tectónico	CENAI	1:250 000	Fallas
Sismicidad	CENAI	1:250 000	Aceleración sísmica

2.2 Análisis de la información

Con el objetivo de identificar aquellas zonas que puedan presentar movimientos de masas, nos apoyamos en los trabajos precedentes realizados dentro del sector en estudio y observación del relieve CITMA. Además, se ejecutó un análisis de los mapas tectónicos CENAI a escala 1: 250 000.

Para la interpretación cartográfica y fotogeológica se asumieron los siguientes criterios de reconocimiento:

2.2.1 Interpretación cartográfica

1. La presencia de escarpes (líneas de nivel muy cercanas), cambios en la dirección y la presencia de esquemas no - simétricos de estas depresiones.
2. Formas topográficas onduladas en forma de concha, semicirculares donde la longitud y el ancho varían según el mecanismo de desplazamiento de la roca.
3. Líneas discontinuas o cambios de dirección de vías, de canales o cuerpos de agua.
4. Presencia de bosques.

2.2.2 Interpretación fotogeológica

1. Laderas de altas pendientes con depósitos extensos de suelos y rocas en 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.

4. Cambios bruscos de la vegetación, indicando variaciones en una unidad de terreno.

Como resultado del análisis de la información, seleccionamos las áreas con probabilidad de ocurrencia de deslizamientos. Además, se planificaron los trabajos de campo, para corroborar la información obtenida durante este período.

2.3 Trabajo de campo

Se realizaron marchas en los diferentes viales y se reconocieron los deslizamientos con el objetivo de corroborar las ubicaciones de los mismos y determinar las características de estos. Junto al reconocimiento de los movimientos de masas durante los trabajos de campo, se utilizó la metodología Beniawsky, la cual a través de una serie de parámetros, cada cual con su valor; se realiza un cálculo de los taludes más propensos a deslizarse.

2.4 Trabajo de gabinete

En esta etapa se obtuvieron los resultados de dichos cálculos, para dar cumplimiento a la metodología propuesta para la evaluación de la peligrosidad por deslizamiento, luego se interpretaron los resultados obtenidos en la tabla de subdivisión en clase de la masa rocosa y se obtuvo el resultado final que te dice si el talud es desde Muy Favorable hasta Muy Desfavorable.

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DEL PELIGRO PARA LOS PRINCIPALES VIALES DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DE CUBA.

Introducción

El análisis de los peligros geológicos relacionados con los deslizamientos de taludes de carreteras es diferente a los casos de deslizamientos de taludes o laderas naturales. En los deslizamientos de taludes de las carreteras intervienen factores naturales y factores relacionados directamente con la acción del hombre a la hora de llevar a cabo la construcción de la vía, entre los que se encuentran el método de excavación empleado, la altura y el ángulo de inclinación del talud, su relación con los elementos estructurales del macizo rocoso, y la ejecución o no de medidas de mitigación de fallos de taludes (deslizamientos o desprendimientos) durante la construcción de la carretera.

3.1 Caracterización de los peligros geológicos por deslizamientos en la autopista nacional

En el tramo de la Autopista Nacional que se encuentra en la provincia Santiago de Cuba (desde las inmediaciones de Boniato hasta las cercanías del Cristo) existe la posibilidad de que ocurran deslizamientos o desprendimientos de rocas como consecuencia de sismos o intensas lluvias. Esta zona se caracteriza por tener intensas lluvias en algunos meses del año, los meses de menor ocurrencia son mayo, junio y julio. Presenta un sistema montañoso que forma parte de la Sierra del Cobre y la Sierra de Boniato con pendientes que en varios casos sobrepasan el 45%, un factor favorable para la ocurrencia de deslizamientos. La parte de la geología representa un parámetro muy importante en este estudio ya que existen formaciones del Paleógeno representadas abundantemente por formaciones pertenecientes al grupo El Cobre, las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidacítica y dacítica, raramente riolítica, riodacítica y basáltica.

Por lo general estas rocas están muy intemperizadas y agrietadas, así como cortadas por fallas de diferentes tipos que condicionan un gran fracturamiento del macizo rocoso y una gran inestabilidad de los taludes, provocando continuos desprendimientos de bloques y deslizamientos de suelo.

Precisamente las características propias del relieve que presenta este sector están dadas por los elementos tectónicos del relieve. Aquí convergen varios sistemas tectónicos activos que cortan a la cuenca y a la Sierra de Boniato y por encima de los cuales va el trazado de la autopista en este tramo (**figura 3.1 y 3.2**).

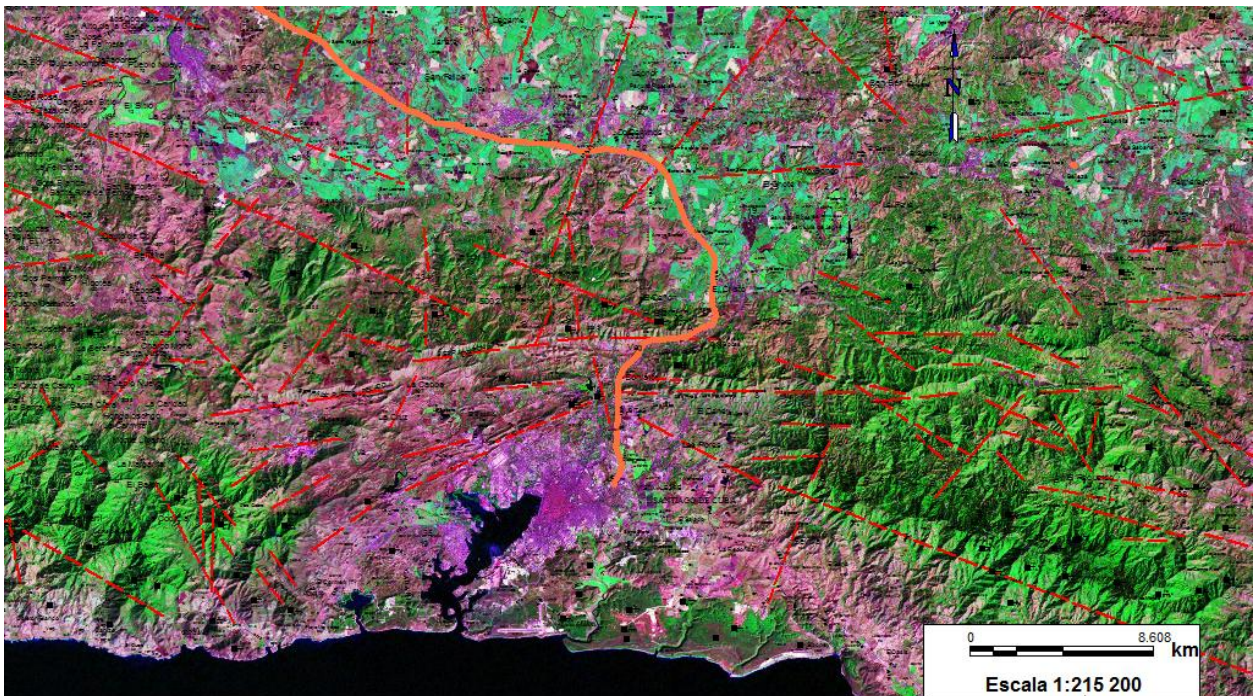
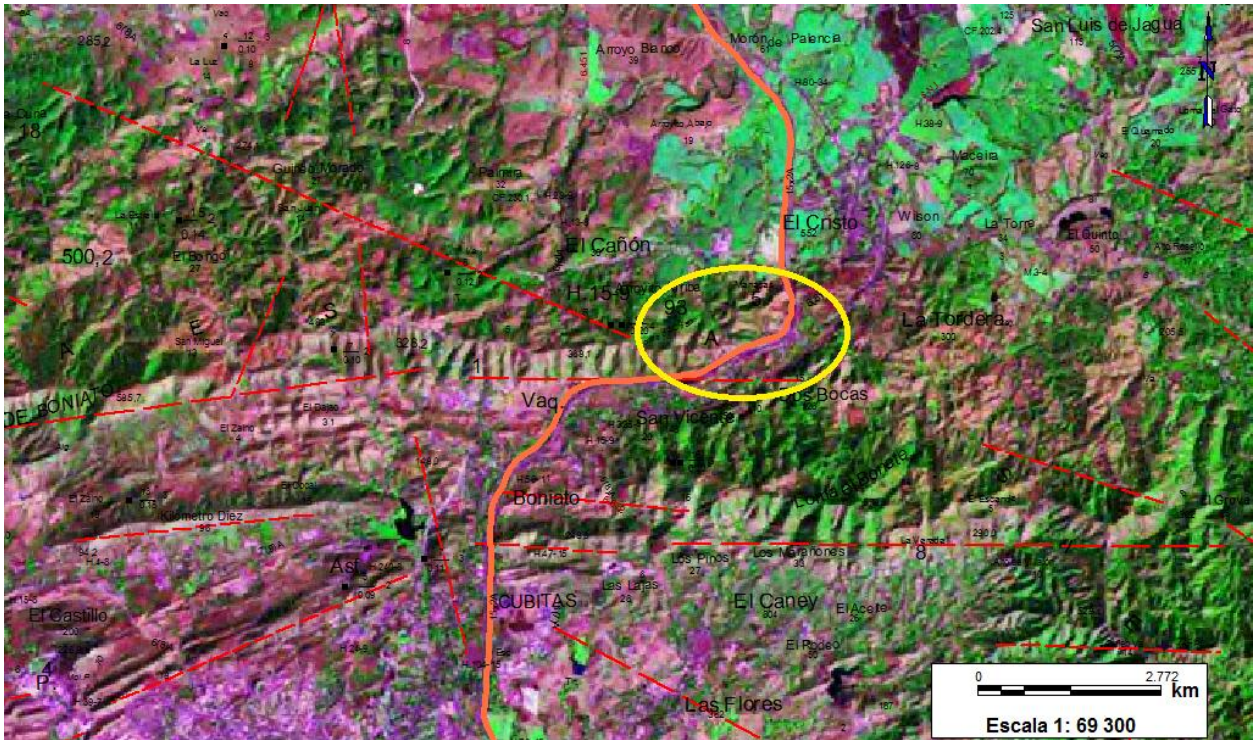


Figura 3.1 Imagen de Satélite donde se observa el trazado de la autopista en el sector que atraviesa la zona de la Sierra de Boniato en su articulación con la Sierra de la Gran Piedra y las principales fallas tectónicas que afectan a este tramo.



3.2. Detalle de la imagen anterior donde se señala el sector estudiado.

Levantamiento ingeniero geológico de los taludes de la Autopista Nacional.



Figura 3.1 Foto talud primer punto

Primer punto: Se encuentra ubicado en las coordenadas X.26.6.402 y Y.-75.45.537. Presenta una longitud de unos 200 metros, está formado por tovas estratificadas e intemperizadas. Según los cálculos de Beniawski el talud es muy pobre por lo que ocurren desprendimientos, presenta mala estabilidad y tiene **alta peligrosidad**. (ver foto 3.1)



Figura 3.2 Foto talud segundo punto

Segundo Punto: Se encuentra ubicado en las coordenadas X.20.5.920 y Y.-75.45.661. Talud izquierdo, presenta tobas con buzamiento de 30 grados, estratificados con capas de 10 a 20cm, solo se ve meteorización en la parte superior del corte, se encuentra cubierto por vegetación. Según la metodología aplicada el talud se encuentra bueno con una **peligrosidad baja**. (ver foto 3.2)



Figura 3.3 Foto talud tercer punto

Tercer Punto: Se encuentra ubicado en las coordenadas X.20.5.778 y Y.-75.45.800. El talud está compuesto por tobas, el mismo como se muestra en la foto se encuentra muy fracturado lo que le confiere mucha pobreza y está propicio a desprendimiento ya que presenta **alta peligrosidad**.(ver foto 3.3)



Figura 3.4 Foto talud cuarto punto

Cuarto Punto: Se encuentra ubicado en las coordenadas X.20.5.871 y Y.-75.45.818. Talud derecho, el mismo presenta **peligrosidad media** con tobas carbonatadas compuestas por estratos de unos 10cm de espesor. Este talud según Beniaowski se encuentra en condiciones pobre. Presenta vegetación (ver foto 3.4)



Figura 3.5 Foto talud punto cinco

Punto Cinco: Se encuentra ubicado en las coordenadas X.20.5.950 y Y.-75.45.846. Talud de unos 40 m de altura. Compuesto por tobas carbonatadas, con desprendimientos de grandes bloques. Muy estratificados con pendientes de 80 grados. Muy favorable para la ocurrencia de desprendimientos ya que presenta **alta peligrosidad**.(ver foto 3.5)

3.2 Caracterización de los peligros geológicos por deslizamiento en la carretera Granma

La Carretera Granma, es la vía de comunicación más importante de esta región y que enlaza las provincias de Santiago de Cuba y Granma, ha sufrido a través de los años afectaciones considerables como consecuencia de la ocurrencia de eventos naturales, lo que ha provocado que en numerosas ocasiones su función haya sido interrumpida causando pérdidas materiales y humanas.

Esta zona está conformada en su mayoría por secuencias de rocas vulcanógeno - sedimentarias pertenecientes al Grupo El Cobre, estratificadas y muy agrietadas. Como resultado de los trabajos de campo se observó que la pared en el 72% de los taludes presenta una orientación paralela o subparalela a los sistemas de grietas principales.

En la mayoría de los casos la altura de los taludes oscila entre los 20 y 40 metros con una inclinación de 60 a 90°, su estabilidad natural (equilibrio tensional) se encuentra alterada completamente a favor de la acción de la fuerza de gravedad que supera en estas condiciones,

Levantamiento ingeniero geológico de los taludes de la Carretera Granma

La Carretera Granma ha sido objeto de estudios realizados por el CENAIIS en diferentes etapas como los de Arango et al, (1997), Seisdedos et al (2001) y Reyes et al (2003), lo cual ha permitido un monitoreo de la problemática y los sitios con mayores afectaciones e impactos negativos desde el punto de vista geológico, dichos estudios se realizaron para casos de sismos, después de intensas lluvias y huracanes. A continuación se muestran las principales zonas con peligros potenciales de deslizamientos y desprendimientos de taludes detectadas por el CENAIIS en estudios anteriores, en el trabajo de campo se comprobó que dichas zonas se mantienen en la actualidad debido fundamentalmente a que no se tomaron las medidas preventivas propuestas en estos estudios.



Figura 3.1 Modelo digital del relieve donde se señalan los taludes estudiados en la carretera Granma por su peligro a la ocurrencia de desprendimientos o derrumbes donde existe un relieve muy abrupto.

Río Macío I: Talud **con peligrosidad alta** se encuentra muy pobre lo que provoca que esté totalmente inestable, situado al Norte de la carretera, antes de cruzar el río en dirección a Pilón. Está formado por rocas de composición andesito - basáltico muy agrietadas e intemperizadas; los sistemas de grietas que cortan el macizo lo hacen muy inestable, sobre todo aquellos que son paralelos al talud (Ver **Foto 3.2**). El talud Sur también presenta un peligro potencial del terraplén sobre el que se encuentra en la carretera.



Figura 3.2. Foto Talud Norte.

Río Macío II: Talud **con peligrosidad alta**, porque es muy pobre, según la metodología de Beniaowski, se encuentra situado a 500 metros del anterior y 30 metros sobre el nivel

del mar aproximadamente (ver **Foto 3.3**). Tanto el talud Norte, formado por tobas muy intemperizadas, como el talud Sur, constituido por el terraplén que forma la carretera constituyen un peligro potencial. (Ver **Foto 3.4**). La inestabilidad del talud Norte está dada por el ángulo favorable de las tobas..



Figura 3.3. Foto Talud Norte, la inclinación del árbol indica el movimiento en el talud.



Figura 3.4. Foto Grietas en la carretera producto al deslizamiento del talud Sur.

La Zorrilla: Talud pobre, ya que tiene **peligrosidad media**, está situado en la zona conocida como La Zorrilla (ver **Foto 3.5**). El mismo está formado por tobas estratificadas, muy agrietadas e intemperizadas, con buzamiento a través de los planos de estratificación con dirección al talud, como se puede apreciar en la **Foto 3.16**.



Figura 3.5. Foto Talud situado en la zona de la Zorrilla.



Figura 3.6. Foto Agrietamiento de las rocas en el talud.

Las Llanas: Talud con **peligrosidad media**, ya que es pobre debido a las características del talud, se encuentra a 1 Km aproximadamente de la zona de Las Llanas (ver **Foto 3.7**). En el talud Norte las rocas se encuentran formando ángulos en la misma dirección que el ángulo del talud, lo que favorece a los deslizamientos. En este talud ocurren con frecuencia desprendimientos de pequeños bloques de roca debido al alto grado de agrietamiento que la misma presenta y al ángulo del talud fundamentalmente. Como se observa en este talud no presenta ninguna medida de estabilidad para evitar que este fenómeno ocurra.



Figura3.7. Foto Talud Norte en la zona de las Llana

La Magdalena: Talud con **peligrosidad media**, se encuentra después del puente de la comunidad La Magdalena, en dirección a Cotobelo, al Sur de la carretera (ver **Foto 3.8**). Formado por alternancia de tobas y mantos de lavas andesíticas con intercalaciones de lava brechas. El talud aunque se mantiene en sentido general de forma estable, presenta sectores muy susceptibles a deslizamientos y derrumbes producto a la existencia de grietas subverticales como se observa en la **Foto 3.9**.



Figura 3.8. Foto talud de la zona La Magdalena.

Loma Blanca: Talud con **peligrosidad alta**, ya que se encuentra en condiciones muy pobre, lo constituye en sí una serie de taludes que incluye al deslizamiento de Loma Blanca. Toda esta zona, de aproximadamente 1 km de longitud, está constituida por rocas masivas (granodioritas) muy fracturadas en pequeños bloques y meteorizadas hasta alcanzar el estado de una arena, que en la mayoría de los casos se han deslizado en forma de flujos de suelo areno arcilloso gravoso, ya que en este caso se desliza todo el material que forma la corteza de meteorización, desde la capa vegetal

hasta la roca con cierto grado de alteración (ver **Foto 3.9 y 3.10**). En la parte superior del talud, se pueden observar grietas de tensiones con dimensiones considerables, llegando a formar grandes trincheras, diferentes escalones de deslizamientos, así como varios círculos o superficies que indican que su desarrollo va a continuar.



Figura 3.9. Foto vista general del sector de Loma Blanca y la parte superior del deslizamiento principal.



Figura 3.10. Foto parte superior del deslizamiento de Loma blanca.

Punta Babujal: El talud alcanza una longitud de 800 metros aproximadamente (ver **Foto 3.11**). Está formado por paquetes calizos que alternan con rocas dioríticas masivas. Se destacan zonas muy tectonizadas donde han ocurrido derrumbes y desprendimientos de bloques como se observa en la **Foto 3.12**. En muchos casos estos bloques están sueltos en condiciones favorables para producir derrumbes de considerable magnitud sobre la red vial, el mismo es muy pobre lo que provoca que presente una **peligrosidad alta**.



Figura 3.11. Foto talud de la zona Babujal, se observa la pendiente y altura del talud.



Figura 3.12. Foto deslizamiento ocurrido en el año 1997.

Don Luis: Talud con **peligrosidad alta**, muy pobre; abarca aproximadamente 1 500 metros de taludes muy verticales, formados por rocas estratificadas, lo que junto al intenso agrietamiento y fracturamiento le dan una gran inestabilidad, sobre todo en aquellos lugares no cubiertos con capa vegetal, donde los planos de grietas coinciden con la pared del talud (ver **Foto 3.13**). La zona más peligrosa es el extremo Oeste (zona próxima a Río Grande). En el talud que conforma la carretera está ocurriendo un deslizamiento que se observa en el desnivel de la misma (ver **Foto 3.14**).



Figura 3.13. Foto talud de la zona Don Luis.



Figura 3.14. Foto socavación de la carretera por el deslizamiento del talud.

Loma El Papayo: Talud **con peligrosidad alta**, esta zona se considera la más desfavorable el sector Oeste del talud que bordea la Loma El Papayo constituido por tobas y lavas brechas con buzamiento favorable al deslizamiento y derrumbe de partes del talud (ver **Foto 3.15**).



Figura 3.15. Foto talud el Papayo, secuencias de composición vulcanógeno sedimentarias estratificadas, con planos de discontinuidades favorables al ángulo del talud.

Loma Blanca: Talud con **peligrosidad alta**, ya que se encuentra en condiciones muy pobre, lo constituye en sí una serie de taludes que incluye al deslizamiento de Loma Blanca. Toda esta zona, de aproximadamente 1 km de longitud, está constituida por rocas masivas (granodioritas) muy fracturadas en pequeños bloques y meteorizadas hasta alcanzar el estado de una arena, que en la mayoría de los casos se han deslizado en forma de flujos de suelo areno arcilloso gravoso, ya que en este caso se desliza todo el material que forma la corteza de meteorización, desde la capa vegetal hasta la roca con cierto grado de alteración (ver **Foto 3.16 y 3.17**). En la parte superior del talud, se pueden observar grietas de tensiones con dimensiones considerables, llegando a formar grandes trincheras, diferentes escalones de deslizamientos, así como varios círculos o superficies que indican que su desarrollo va a continuar.



Figura 3.16. Foto vista general del sector de Loma Blanca y la parte superior del deslizamiento principal.



3.17. Foto parte superior del deslizamiento de Loma blanca.

Punta Babujal: El talud alcanza una longitud de 800 metros aproximadamente (ver **Foto 3.18**). Está formado por paquetes calizos que alternan con rocas dioríticas masivas. Se destacan zonas muy tectonizadas donde han ocurrido derrumbes y desprendimientos de bloques como se observa en la **Foto 3.19**. En muchos casos estos bloques están sueltos en condiciones favorables para producir derrumbes de considerable magnitud sobre la red vial, el mismo es muy pobre lo que provoca que presente una **peligrosidad alta**.

Punta Babujal: El talud alcanza una longitud de 800 metros aproximadamente (ver **Foto 3.18**). Está formado por paquetes calizos que alternan con rocas dioríticas masivas. Se destacan zonas muy tectonizadas donde han ocurrido derrumbes y desprendimientos de bloques como se observa en la **Foto 3.19**. En muchos casos estos bloques están sueltos en condiciones favorables para producir derrumbes de considerable magnitud sobre la red vial, el mismo es muy pobre lo que provoca que presente una **peligrosidad alta**.



Figura 3.18. Foto talud de la zona Babujal, se observa la pendiente y altura del talud.



Figura 3.19. Foto deslizamiento ocurrido en el año 1997.

Don Luis: Talud **con peligrosidad alta**, muy pobre; abarca aproximadamente 1 500 metros de taludes muy verticales, formados por rocas estratificadas, lo que junto al intenso agrietamiento y fracturamiento le dan una gran inestabilidad, sobre todo en aquellos lugares no cubiertos con capa vegetal, donde los planos de grietas coinciden con la pared del talud (ver **Foto 3.20**). La zona más peligrosa es el extremo Oeste (zona próxima a Río Grande). En el talud que conforma la carretera está ocurriendo un deslizamiento que se observa en el desnivel de la misma (ver **Foto 3.21**).



Figura 3.20. Foto talud de la zona Don Luis.



Figura 3.21. Foto socavación de la carretera por el deslizamiento del talud.

Loma El Papayo: Talud **con peligrosidad alta**, esta zona se considera la más desfavorable el sector Oeste del talud que bordea la Loma El Papayo constituido por tobas y lavas brechas con buzamiento favorable al deslizamiento y derrumbe de partes del talud (ver **Foto 3.22**).



Figura 3.22. Foto talud el Papayo, secuencias de composición vulcanógeno sedimentarias estratificadas, con planos de discontinuidades favorables al ángulo del talud.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTOS EN LA CARRETERA DE LA GRAN PIEDRA.

Caracterización de los Peligros Geológicos por Deslizamientos.

Los Deslizamientos de taludes es el principal Peligro Geológico que afecta a la carretera de la Gran Piedra. Después de la Carretera Granma, esta es la vía más afectada por deslizamientos de tierra y derrumbes de rocas en la provincia de Santiago de Cuba con el inconveniente de que las características de la vía no permiten buscar soluciones rápidas hasta tanto no se retira el material de la vía.

Causas de los deslizamientos en la carretera de la Gran Piedra.

Los deslizamientos de tierra normalmente obedecen a la ley de la gravedad y son inducidos por las pendientes pronunciadas, por una litología poco consolidada y por la estructura de los cuerpos rocosos. El valor de las pendientes es uno de los factores principales de la inestabilidad. Además, la estabilidad natural de las pendientes es alterada como resultado de los laboreos para la construcción de la carretera.

Esta carretera presenta tramos con una **alta peligrosidad** a la ocurrencia de estos fenómenos físico - geológicos que en muchos casos pueden constituir peligros potenciales para la vida de las personas que circula por la misma y obstaculizan significativamente el paso, sobre todo ante la caída de intensas lluvias, independientemente de la causa (Huracán, tormenta tropical, etc.). Estos tramos están

situados en la subida que presenta mayores pendientes después de la localidad de Río Carpintero y hasta el sitio donde la carretera alcanza la cresta de la elevación, principalmente después del kilómetro 7. En este tramo las rocas que conforman el macizo rocoso, aunque todas son de origen volcánico, varían en su composición y en sus propiedades físico - mecánicas, encontrándonos taludes con rocas muy duras pero agrietadas y en otras rocas intemperizadas al extremo de aparecer como una corteza de meteorización.



Figura 3.1. Foto taludes donde se observan rocas duras y agrietadas.



Figura 3.2. Foto huellas de deslizamiento antigua.

CAPÍTULO IV. PROPUESTAS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL PELIGRO PARA CADA UNO DE LOS TRAMOS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS.

Introducción

Las medidas de mitigación para evitar el desprendimiento de bloques en los taludes de las vías deben ser priorizadas basándose en estudios, trabajos e investigaciones en las que se realizan cálculos, interpretaciones de mapas, fotos aéreas etc. que permiten realizar un estimado acertado del riesgo con el objetivo de evitar daños en el futuro siempre y cuando se pongan en práctica estas medidas se podrá evitar accidentes en estas vías.

Entre las medidas de mitigación del peligro de desprendimiento de bloques tenemos:

- Modificación de la geometría del talud con el objetivo de disminuir su pendiente.
- Siembra de vegetación en la ladera del talud, siempre y cuando exista condiciones naturales (capa vegetal).
- Aplicación de capa de cemento proyectado (gunitaje). Esa medida generalmente se aplica conjuntamente con el anclaje de los bloques mediante bulones, lo que la hace un tanto costosa.

Los sectores de vías estudiados requieren la aplicación de medidas de mitigación del peligro por deslizamiento. En el caso de la autopista nacional, en el sector del Cristo a Boniato es la principal vía de comunicación y acceso a la ciudad de Santiago de Cuba. Tanto en situaciones de intensas lluvias como ante la ocurrencia de un sismo fuerte esta ciudad puede quedar incomunicada, y como consecuencia verse limitada a recibir ayuda de territorios vecinos. Este aspecto que está contemplado en los planes de la Defensa Civil para sismos de gran intensidad que afecten sensiblemente a la ciudad de Santiago de Cuba.

En el caso de la carretera Granma, el peligro de derrumbes en determinados sectores es muy alto, lo cual pone en riesgo la vida de quienes utilizan esta vía ya sea como turista o tránsito local. Igualmente ocurre con la carretera de la Gran

Piedra, la cual es frecuentada a diario por un número determinado de turistas, lo cuales en varias ocasiones se han visto en peligro de perder la vida ante la ocurrencia de derrumbes o se han visto imposibilitados de transitar por esta vía. Por tanto consideramos recomendar medidas de mitigación del peligro de derrumbe o desprendimiento para los taludes estudiados en este trabajo con el objetivo de garantizar la seguridad vial en estas importantes carreteras de la provincia de Santiago de Cuba.

Autopista Nacional. Sector El Cristo - Boniato

El tramo con mayor peligro de desprendimiento o derrumbes es el comprendido entre las localidades de El Cristo y Boniato, con una longitud de 7 km aproximadamente. Este sector se ha visto afectado por desprendimientos de bloques ante la ocurrencia de intensas lluvias en varios de los taludes, los cuales están constituidos por tobas muy fracturadas e intemperizadas. Como se ha mencionado anteriormente, los factores que favorecen a la ocurrencia de desprendimiento o derrumbes en esta vía son el fracturamiento de las rocas y la pendiente y altura de los taludes, aspectos que no se tuvieron en cuenta en el momento de su construcción.

Para evitar la caída de bloques que pongan en peligro la circulación vial y la vida de las personas en estos sectores, se proponen las siguientes medidas de mitigación (de bajo costo):

1. Siembra de arbustos en el pie del talud o en el propio talud según las condiciones lo permitan.
2. Remoción de los bloques susceptibles al desprendimiento.
3. Limitar la circulación vial por la senda próxima al talud.

Otras medidas un tanto más costosas pero más efectivas serian

1. Disminución de la pendiente de los taludes con mayor peligro de desprendimientos o derrumbes de bloques.

2. Aplicar una capa de hormigón proyectado (gunitaje) en los taludes que presentan mayor fracturamiento con el objetivo de darle mayor cohesión a los bloques que lo confirman.

En este sentido es necesario señalar que en algunos de estos taludes presentan actualmente un buen desarrollo de vegetación que en cierta medida disminuye el peligro de derrumbes, sin embargo esta vegetación se pierde cuando las lluvias son muy intensas y están acompañadas de intensos vientos como ocurrió con el huracán Sandy en el año 2012.

Carretera Granma

Para el caso de la carretera Granma, las medidas de mitigación del peligro de desprendimiento o derrumbe deben de evaluarse casuísticamente para cada talud, pues las características de los factores condicionantes de estos fenómenos físicos geológicos varían en cada uno de los sectores estudiados.

1.- Río Macío I

En correspondencia con estos resultados, se recomienda en este lugar, disminuir la pendiente del talud, dándole un ángulo de 42° , en correspondencia con el buzamiento de las capas, a partir del pie del talud, con el objetivo de darle mayor estabilidad al mismo.

2.- Río Macío II

En este sentido, se recomienda disminuir la pendiente del talud Norte, con un ángulo menor a 40° , el cual debe ser el ángulo de equilibrio mínimo permisible.

3.- La Zorrilla:

En este lugar se recomienda disminuir la pendiente del talud con un ángulo de 40° a partir del pie del talud, evitando en lo posible el empleo de explosivos.

4.- Las Llanas:

Se recomienda estabilizar al talud con una cubierta de capa vegetal u hormigón proyectado (gunitaje), ya que aquí se hace muy costoso la disminución de la pendiente por la altura que presenta el relieve en este lugar.

5.- La Magdalena:

Se recomienda en este lugar la disminución de la pendiente del talud y su recubrimiento con capa vegetal, con el objetivo de aumentar su estabilidad.

6.- Coto Bello:

Se recomienda en este sector de la carretera la realización de un mejoramiento del talud provocando la caída de los bloques con peligro de derrumbe o desprendimientos como medida temporal, y la construcción de un falso túnel como medida definitiva.

7.- Palma Mocha:

Se recomienda como medida temporal resanar la pared del macizo rocoso expuesta al exterior directamente sobre la carretera, y como medida definitiva la terminación del túnel de Palma Mocha y continuar con la construcción de un falso túnel hasta las cercanías de La Plata.

8.- Peñón de Las Cuevas:

Atendiendo a las condiciones muy desfavorables que presenta este sector de la carretera, recomendamos evaluar la posibilidad de un nuevo trazado de la vía, alejado de la zona actualmente afectada; no obstante como medida inmediata se recomienda no retirar el material rocoso deslizado, con el objetivo de que el talud conserve su ángulo de reposo.

9.- Loma Blanca:

Se recomienda en esta zona la construcción de bermas y la adición de capa vegetal como medida temporal para lograr la estabilidad del talud, analizar medidas definitivas.

10.- Punta Babujal:

Se recomienda realizar resane del talud y disminuir la pendiente del mismo con el objetivo de evitar derrumbes y desprendimientos sobre la red vial.

11.- Don Luis:

Se recomienda cubrir todo el talud con capa vegetal como medida para la estabilidad del talud.

12.- Loma El Papayo:

Se recomienda cubrir al talud con una capa vegetal con el objetivo de disminuir la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos, así como la siembra de árboles o arbustos en el pie del talud y la remoción de los bloques susceptibles al desprendimiento.

Carretera de la Gran Piedra.

Como se mencionó anteriormente, esta vía presenta un sector muy peligroso ante la ocurrencia de desprendimientos o derrumbes de bloques situado en el tramo de mayor pendiente, entre la localidad de Río Carpintero y el alto de la sierra conocido como el Olimpo, de unos 7 km de longitud.

En este sector algunos taludes alcanzan alturas considerables con pendientes mayores a 45°, unido a la estrechez y sinuosidad de la vía, aspectos que hacen muy difíciles la aplicación de medidas de mitigación del peligro de derrumbes de bloques.

No obstante se pueden aplicar medidas preventivas tales como:

- Señalización de los sectores de mayor peligro.
- Evitar la circulación de vehículos, principalmente turísticos ante la ocurrencia de intensas lluvias.

Resumen de las recomendaciones para reducir el peligro de derrumbes y desprendimientos de los taludes en las principales vías de comunicación de la provincia de Santiago de Cuba.

Vía de comunicación	Sitios	Recomendación
Autopista	Sector el Cristo - Boniato	<ol style="list-style-type: none">1. Siembra de árboles o arbustos en el pie del talud o en el propio talud según las condiciones lo permitan.2. Remoción de los bloques susceptibles al desprendimiento.3. Limitar la circulación vial por la senda próxima al talud.
Carretera de La Gran Piedra	Sector Río Carpintero – El Olimpo	<ol style="list-style-type: none">1. Señalización de los sectores de mayor peligro.2. Evitar la circulación de vehículos, principalmente turísticos ante la ocurrencia de intensas lluvias.
Carretera Granma	Río Macío I	En correspondencia con estos resultados, se recomienda en este lugar, disminuir la pendiente del talud, dándole un ángulo de 42° , en correspondencia con el buzamiento de las capas, a partir del pie del talud, con el objetivo de darle mayor estabilidad al mismo.
	Río Macío I	En este sentido, se recomienda disminuir la pendiente del talud Norte, con un ángulo menor a 40, el cual debe ser el ángulo de equilibrio mínimo permisible.
	La Zorrila	En este lugar se recomienda disminuir la pendiente del talud con un ángulo de 40° a partir del pie del talud, evitando en lo posible el empleo de explosivos.
	Las Lanás	Se recomienda estabilizar al talud con una cubierta de capa vegetal u hormigón proyectado (gunitaje), ya que aquí se hace muy costosa la disminución de la pendiente por la altura que presenta el relieve en este lugar.

Vía de comunicación	Sitios	Recomendación
	La Magdalena	Se recomienda en este lugar la disminución de la pendiente del talud y su recubrimiento con capa vegetal, con el objetivo de aumentar su estabilidad.
	Coto Bello	Se recomienda en este sector de la carretera la realización de un mejoramiento del talud provocando la caída de los bloques con peligro de derrumbe o desprendimientos como medida temporal, y la construcción de un falso túnel como medida definitiva.
	Palma Mocha	Se recomienda como medida temporal resanar la pared del macizo rocoso expuesta al exterior directamente sobre la carretera, y como medida definitiva la terminación del túnel de Palma Mocha y continuar con la construcción de un falso túnel hasta las cercanías de La Plata.
	Peñón de Las Cuevas	Evaluar la posibilidad de un nuevo trazado de la vía, alejado de la zona actualmente afectada; como medida inmediata se recomienda no retirar el material rocoso deslizado, con el objetivo de que el talud conserve su ángulo de reposo.
	Loma Blanca	Construcción de bermas y la adición de capa vegetal como medida temporal y analizar medidas definitivas.
	Punta Babujal	Realizar resane del talud y disminuir la pendiente
	Don Luis	Cubrir todo el talud con capa vegetal
	Loma El Papayo	Cubrir al talud con una capa vegetal, así como la siembra de árboles o arbustos en el pie del talud y la remoción de los bloques susceptibles al desprendimiento.

CONCLUSIONES

1. En este trabajo se determinaron las características físico-geográficas y sismológicas de la provincia Santiago de Cuba y sus alrededores.
2. Para la caracterización geomecánica de los taludes y laderas se utilizó la metodología de Beniawski.
3. Se realizó la evaluación del peligro por deslizamientos para los taludes más susceptibles de la red vial de la provincia de Santiago de Cuba, siendo estos los que presentan mayor daños en el área de estudio, caracterizados por su dinámica, volumen, sus factores condicionantes y desencadenantes.
4. Luego del estudio de estas áreas se propusieron algunas de las medidas de mitigación que se podrían poner en práctica para erradicar los deslizamientos de aquellos taludes que presentan mayor peligro.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el empleo de la metodología utilizada en este trabajo, para el estudio de peligro por deslizamientos, en otros municipios y provincias.
2. Discutir y analizar los resultados de este trabajo con los órganos de la Defensa Civil, el Gobierno, Planificación Física y el Centro de Gestión y Reducción del Riesgo de Santiago de Cuba.
3. Es recomendable realizar el estudio del Riesgo y la Vulnerabilidad para tener un estudio más detallado sobre el área de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFONSO-ROCHE, J. R., 1989. Estadísticas en las ciencias geológicas. 2 t. Ed. ISPJAE, Ciudad de La Habana.
- ALMAGUER, Y. 2005. Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Dpto. Geología. (Tesis doctoral) 108p.
- ALMAGUER, Y.; GU GUARDADO, R. 2006. Tipología de movimientos de masas en cortezas lateríticas residuales del territorio de Moa. Cuba. Minería y Geología. Vol. 1 No. 1. ISSN 0258 5979.
- ALMAGUER, Y.; GUARDADO, R. 2005. Caracterización geotécnica del perfil de meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas en el territorio de Moa. Cuba
- ÁLVAREZ, L., Chuy, T., García, J., Moreno, B., Álvarez, H, Blanco, M., Expósito, O., González, O., Fernández, A.I. 1999 an earthquake catalogue of cuba and neighbouring areas. ICTP internal report ic/ir/99/1, Miramare, Trieste, Italy, 60 p.
- ÁLVAREZ, L., Chuy, T., García, J., Moreno, B., Álvarez, H., Blanco, M., Expósito, O., González, O., Fernández, A.I. 1999 an earth quake catalogue of cuba and neighbouring areas. ICTP integral report ic/ir/99/1, Miramare Trieste Italy, 60p.
- ARANGO, A. 1988. Informe Geológico. Proyecto C.H.A de Río Guayabo y Río Sojo. Holguín. 24 p.
- ARANGO, E. 1996. Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las placas de Norteamérica y el Caribe. Tesis para optar por el grado de doctor en Ciencias de la Tierra en la especialidad de Geofísica Instituto Politécnico Nacional de México. 110 p.
- ARANGO, E., Reyes, C., Fernández, B., y Zapata, J. Los deslizamientos: Peligros geológicos inducidos e inevitables. Centro Nacional de Investigaciones sismológicas.

- ARANGO, E. 2014. Análisis sismotectónico del territorio oriental de Cuba a partir de la integración del modelo de corteza en 3D de datos gravimétricos con datos sismológicos y geodésicos. Tesis para optar por el grado de doctor en Ciencias de la Tierra en la especialidad de Geofísica. Centro de Investigación Científica y Enseñanza Superior de Ensenada. Baja California. México. 136 p.
- BATISTA, Y. 2009. Evaluación del riesgo por deslizamiento del municipio Bartolomé Masó. Provincia Granma. Tesis de Maestría. Dpto. Geología. ISMM.Moa.
- BOSQUE, J. 1992. Sistemas de información geográfica. Madrid, Ediciones Rialp,
- BURROUGH, P.A. 1988. Principles of Geographical Information Systems for Land
- CABRERA CASTELLANOS, M; Santos Hernández, R.M. "Mapa Geomorfológico del territorio marino y costero de Cuba a escala 1:1000 000". Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra,
- 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.
- CARRARA, A.; CARRATELLI, E.P.; MERENDA, L.1977. Computer-based data bank and statistical analysis of slope instability phenomena.Zeitschriftfüreo morphologie 21, 187 222 p.
- CARRILLO, D.; Echavarría, B.; Castellanos, E.; Triff, J.; Nuñez, K. (2009): Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología.
- CASTELLANOS E., 2005.Processing SRTM DEM data fornationallandslidehazardassessment.VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 12 p.
- CASTELLANOS, E., et al., Versión 4-Enero2012. Guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos de terreno a nivel municipal. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

- Agencia de Medio Ambiente. Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo. Cuba. 31 p
- CASTELLANOS, E.; VAN WESTEN, C.J. 2009. Descripción y uso del mapa Nacional de índice de riesgos por deslizamiento. VI Congreso Internacional de Geomática.
- CASTILLO, D.; Echavarría, B.; Castellanos, E.; Triff, J.; Nuñez, K. (2009): Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología.
- CEBRIÁN, J.A.; MARK, D. 1986. Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos. Estudios Geográficos. (188), 277-299 p.
- COROMINAS J.; GARCÍA, A. 1997: Terminología de los movimientos de laderas (conferencia). IV Simp. Nac. Sobre taludes y laderas inestables, Granada. Vol (2): 320-329 p.
- COROMINAS, J. 1987. Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera. Riesgos Geológicos. Serie Geología Ambiental. IGME, Madrid.193-201 p.
- CROZIER, M.J. 1986. Landslides.Causes, consecuencias& environment Ed. Routledge. London & New York.252 p.
- CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. 1996.Landslide types and processes.In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides, Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, Special Report 247, Washington D.C., USA, p. 36 75.
- CHUY RODRÍGUEZ, Tomás J. 1999. "Macro sísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica". Tesis en opción de Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del CENAIIS e Instituto de Geofísica y Astronomía, 273pp.
- CHUY RODRÍGUEZ, Tomás Jacinto et al, 2010."Modelo de peligro sísmico de la provincia Santiago de Cuba". Archivos CENAIIS. Cortesía del autor.
- CHUY, T. 1999. Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación Sísmica. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del MES y CENAIIS. 150 p.

- GALBÁN RODRÍGUEZ, L.;Vidaud Quintana I.; Chuy Rodríguez T.J. “Santiago de Cuba: Reflexiones históricas sobre las causas que generan riesgos geológicos”. Editorial Obras.CD ROM “XXXIII Convención panamericana de Ingeniería UPADI 2012, ISBN: 978-3-8465-6410-3. La Habana. Cuba
- GALBÁN RODRÍGUEZ, Liber. 2013. “Metodología para modelar el riesgo a deslizamientos considerando los pesos de las variables determinantes”. Archivos de la Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba.
- GALBÁN RODRÍGUEZ, Liber. 2013. “Metodología para modelar el riesgo a deslizamientos considerando los pesos de las variables determinantes”. Archivos de la Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba
- GARCÍA, J. C. 2005. Análisis de la Vulnerabilidad por movimientos de ladera: Desarrollo de las metodologías para la evaluación y cartografía de la vulnerabilidad. Venezuela. 220p.
- GARCÍA, J., Arango, E., Zapata, J.A., Oliva, R., González, B., Fernández, B., Chuy, T., Reyes, C., Monnar, O. (2002) Programa nacional de la defensa, Informe final del proyecto “Mapa de riesgo sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba”. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), CITMA, 120 p., 2002a.
- GEOCIENCIAS´2007. Memorias en CD - ROM, ISBN: 978-959-7117-16.
- GUARDADO, R.; ALMAGUER, Y. 2001.Evaluación de riesgos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. Minería y Geología, Cuba, vol. XVIII (1): 1-12.
- I.G.P. 2001.Mapa Geológico de las Provincias Orientales. Escala 1:100 000. Edición digital por el grupo CASIG-IGP, Cuba.
- Iturralde-Vinent, M. 1977. Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico en Cuba. Informe científico técnico N°20. Instituto de Geología y Paleontología, 24 p.

- Minería y Geología [en línea] Vol. 21, No. 3. Disponible en:
<http://www.ismm.edu.cu/revistamg/v21-n3-2005/art2-3-2005>.
- MOREJÓN, G., Candebat, D., Márquez, P., Ferrera, H., Arango, E., Zapata, J., Chuy, T., Díaz, L., 2006 CENAI. Evaluación de la vulnerabilidad ante la ocurrencia de eventos naturales de las carreteras de interés nacional de la provincia Santiago de Cuba: autopista nacional.
- ONEI. "Anuario estadístico de Cuba 2012". Oficina Nacional de Estadística e Información. 2012. <http://www.one.cu/aec2012/20080618index.htm>
- PITÓN, R. 2010. Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Oeste del Municipio Moa. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, ISMM. 86 p.
- PUIG, R. 2007. Evaluación de riesgos múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en el municipio Moa. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, ISMM. 75 p.
- SANTACANA, N. 2001. 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.
- SHARPE, C.F.S. 1938. Landslides and their control. Academia & Elsevier, Prague. 205
- SUÁREZ, J. 1998. Manual de Taludes en zonas Tropicales. Venezuela. 151 p.
- VARNES, D.J. 1978. Slope movement types and processes. En: Landslides analysis and control. Special Report. 176 p, 11-33 p.
- VILTRES, Y. 2010. Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio Moa. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, ISMM. 86 p.
- VILLALÓN SEMANT M.; Rosabal Domínguez, S.; Infante Gilart, Y., Chuy Rodríguez T.J.; Zapata Balaqué, A. "Riesgo por deslizamientos de tierra en la provincia Santiago de Cuba". Centro Nacional de Investigaciones sismológicas. 2012.