



Trabajo de Diploma

Título: Inventario de deslizamiento en la autopista nacional de la Provincia de Santiago de Cuba.

Autor: Luis Villalón Poulut

Tutor: Dr. C. Yurisley Valdés Mariño

PENSAMIENTO

“Es bueno amar tanto como se pueda, porque ahí radica la verdadera fuerza, y el que mucho ama realiza grandes cosas y se siente capaz, y lo que se hace por amor está bien hecho.”

“Vincent Willem Van Gogh”



DEDICATORIA

Esta tesis representa el resultado de cinco años de estudio, preparación y esfuerzo. Es por esto que he dedicado este trabajo con mucho amor, a todas estas personas que, de una forma u otra, me dieron su apoyo, consejos, comprensión y amor, en los momentos difíciles, para poder llegar hasta el final y graduarme como Ingeniero Geólogo, pero en especial a mis padres, Yaneidys Poulut y Luis Villalón que son la razón de mi existir y a mi hermana Leonor Villalón que ha estado a mi lado siempre que lo he necesitado y desde estudios anteriores me ha dado mucho apoyo. A mis compañeros(as), mis amigos(as), mi tía, y mi abuelita.

AGRADECIMIENTOS

A mis queridos padres Yaneidys Poulut y Luis Villalón por su amor dedicación y apoyo incondicional para toda la vida.

A cada miembro de mi familia, a mi hermana Leonor, mi abuelita, mi tía y tíos, mis primas y primos y para los que ya no están físicamente presentes, también mis más profundos agradecimientos.

A mi tutor Yurisley Valdés Mariño por servir como amigo y maestro, y apoyarme en cada tarea de mi tesis.

A todos mis amigos de la universidad, del aula y del cuarto en especial, que juntos a ellos di mis primeros pasos en este centro, los de Moa por su amistad y hospitalidad.

A cada persona de este planeta que de una forma u otra puso su empeño y se preocupación para que se pueda cumplir hoy uno de mis mayores sueños en la vida.

RESUMEN

Las áreas montañosas, caracterizadas por sus condiciones ingeniero-geológicas, incluyendo relieve, geología, tectónica y condiciones geotécnicas, junto con factores desencadenantes como lluvias intensas, sismicidad, procesos erosivos y acción antrópica, presentan propensión a deslizamientos, generando peligros y riesgos asociados en taludes y laderas. En este contexto, la presente investigación titulada: Inventario de deslizamiento en la autopista nacional de la Provincia de Santiago de Cuba tiene como objetivo principal evaluar y caracterizar las zonas con susceptibilidad a deslizamientos en un segmento específico de la Autopista Nacional de Santiago de Cuba.

La realización del inventario de deslizamientos se llevó a cabo mediante un enfoque integral que incluyó un exhaustivo estudio bibliográfico, observaciones de trabajo de campo y el procesamiento sistemático de la información disponible. Los resultados revelaron la identificación de 15 áreas, entre las cuales se destacaron 8 desprendimientos, 6 deslizamientos y una expansión lateral. La susceptibilidad a deslizamientos en estas áreas se ve determinada por factores geomorfológicos, tectónicos, sísmicos, intensas precipitaciones y litológicos.

Se propone un conjunto de siete acciones específicas destinadas a mitigar y prevenir estos fenómenos. Estas acciones abordan directamente los factores identificados como determinantes de la susceptibilidad a deslizamientos. La investigación confirma de manera concluyente que el municipio Santiago de Cuba se encuentra entre los territorios con mayores potencialidades para la manifestación de fenómenos de deslizamientos en Cuba.

SUMMARY

Mountainous areas, characterized by their engineering-geological conditions, including relief, geology, tectonics and geotechnical conditions, together with triggering factors such as intense rains, seismicity, erosive processes and anthropic action, present a propensity for landslides, generating dangers and risks associated with slopes. In this context, the main objective of the present investigation entitled: Landslide inventory on the national highway of the Province of Santiago de Cuba is to evaluate and characterize the areas susceptible to landslides in a specific segment of the National Highway of Santiago de Cuba.

The landslide inventory was carried out through a comprehensive approach that included an exhaustive bibliographic study, field work observations and systematic processing of the available information. The results revealed the identification of 15 areas, among which 8 landslides, 6 landslides and a lateral expansion stood out. The susceptibility to landslides in these areas is determined by geomorphological, tectonic, seismic, intense precipitation and lithological factors.

A set of seven specific actions is proposed to mitigate and prevent these phenomena. These actions directly address the factors identified as determining landslide susceptibility. The research conclusively confirms that the Santiago de Cuba municipality is among the territories with the greatest potential for the manifestation of landslide phenomena in Cuba.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Investigaciones precedentes	4
Marco teórico conceptual	6
Deslizamientos.	6
Elementos estructurales	7
Clasificación de los deslizamientos.	8
CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS, REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	10
1.1 Introducción	10
1.2 Ubicación geográfica.....	10
1.3 Relieve	11
1.4 Hidrografía.....	12
1.5 Clima.....	13
1.6 Características hidrogeológicas y geológicas	14
1.7 Condiciones sísmicas y tectónicas.....	15
1.8 Características geomorfológicas.....	18
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	20
2.1 Introducción.	20
2.2 Etapa I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica	21
2.3 Etapa II trabajo de campo.....	21
2.4 Etapa III. Interpretación de los resultados	25
CAPITULO 3. INVENTARIO DE DESLIZAMIENTO EN LA PROVINCIA DE SANTIAGO DE CUBA.	26
3.1 Inventarios de deslizamientos.....	26
3.2 Caracterización de movimientos de masa en los taludes.	41
3.3 Análisis de la susceptibilidad por deslizamientos.....	43
3.4 Propuesta del plan de acciones para mitigar o prevenir los deslizamientos.	44
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48

INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a la humanidad, causan muertes y daños; sin embargo, muy pocas personas están conscientes de su importancia. La mayoría de las pérdidas por deslizamientos son evitables, si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Según (Galván et al., 2012) un deslizamiento de tierra es una masa de rocas de baja consolidación o compactación que se ha movido o mueve cuesta abajo por la vertiente o talud (vertiente artificial) bajo el efecto de la gravedad, presión hidrodinámica (por efecto de sobresaturación), fuerzas sísmicas de diversos orígenes, etc. Estas fuerzas también pueden actuar en los deslizamientos de forma combinada.

Como parte del análisis de estos fenómenos se realizan inventarios de deslizamientos, los cuales son un registro ordenado de la localización y características individuales de una serie de movimientos ocurridos en un área dada. Los elementos a registrar en un inventario dependen en gran medida del interés para el cual este se realice y no se cuenta hasta el momento con un esquema unificado del mismo. No obstante, se pretende contar con una información completa y precisa sobre todos los aspectos involucrados en un movimiento en masa. Los mapas de deslizamiento identifican las áreas donde han ocurrido y, por consiguiente, dónde probablemente ocurrirán, procesos de laderas y los mismos constituyen un requerimiento básico para la valoración del peligro y el riesgo por deslizamiento de terreno, reflejan la distribución espacial de los deslizamientos como puntos o polígonos. Estos mapas pueden ser utilizados como la base o el fundamento de los diferentes métodos de zonación del peligro o como el mapa de peligro más elemental.

Aunque los mapas de inventarios derivados de archivos históricos, trabajos de campo, entrevistas a la población local e interpretación de imágenes, resultan esenciales en estos tipos de estudios, desafortunadamente con frecuencia están incompletos o no están disponibles (Aceves Quesada et al., 2014). El análisis de los inventarios permite predecir el patrón regional futuro de ocurrencia de deslizamiento a partir de la distribución pasada de estos fenómenos. Éste brinda información sobre la inestabilidad de las laderas y taludes sobre la base del mapeo de los antiguos deslizamientos. En general y como lo manifiestan (Soeters & Van Westen, 1996) un inventario confiable de deslizamientos es esencial para cualquier análisis de ocurrencia de deslizamientos y el establecimiento de la relación entre estos y sus condiciones ambientales.

Para evitar o reducir los daños causados por los deslizamientos en un territorio es necesario, en primer lugar, la evaluación de la peligrosidad, de manera tal que se pueda incorporar a la planificación y ocupación de territorio. En el municipio Santiago de Cuba, las zonas montañosas son susceptibles a la ocurrencia de los peligros y riesgos asociados a deslizamientos en sus taludes y laderas, lo que se debe a las condiciones ingeniero-geológicas y climáticas existentes en este territorio. Para resolver esta situación se propuso evaluar las condiciones ingeniero geológicas del terreno para determinar el peligro por deslizamiento en un sector de la autopista nacional de Santiago de Cuba al emplear un SIG, para elaborar un mapa de inventario del peligro por deslizamientos que incluye nuevos indicadores y obtener mapas y modelos que tengan como resultado un nuevo mapa de inventario de deslizamiento y proponer medidas de mitigación de deslizamientos para aquellos taludes que presentan mayor peligro.

Problema científico: Necesidad del inventario ingeniero geológico actualizado que permita identificar las zonas con peligro por deslizamientos en un sector de la autopista nacional Santiago de Cuba.

Objetivo general: Evaluar los niveles de riesgo por deslizamiento en un sector de la autopista nacional.

Hipótesis: Si se evalúan las condiciones ingeniero en la autopista nacional de Santiago de Cuba para realizar un mapa de inventario de las zonas con peligro por deslizamientos, al emplear un SIG, se podrá contar con una herramienta de trabajo, que permitirá mejorar las limitaciones existentes y reducir estos peligros en el sector estudiado y proporciona a los planificadores un método práctico y costo-efectivo para zonificar áreas susceptibles a deslizamientos.

Objeto de estudio: Los deslizamientos en un sector la autopista nacional de Santiago de Cuba.

Campo de acción: los niveles de riesgo por deslizamiento en sectores de la autopista nacional.

Objetivos específicos:

1. Recopilar, estudiar, revisar, y analizar los trabajos precedentes a la investigación en curso.
2. Realizar en el inventario de deslizamientos en el sector de la autopista nacional de Santiago de Cuba.
3. Inventariar ingeniero geológicamente los diversos procesos y fenómenos geodinámicas que están relacionados a estos deslizamientos.
4. Proponer medidas de mitigación de deslizamientos para aquellos taludes que presentan mayor peligro.

Impactos sociales.

Fortalecimiento de los vínculos entre la investigación científica y el diseño de políticas y gestión, tanto del territorio, la educación superior como del sector de la Defensa civil e instituciones involucradas directamente en la percepción del riesgo y su reducción en la zona de estudio.

Mejoramiento de los indicadores sociales de desempeño del sector de la Educación Superior, la Defensa civil e instituciones involucradas directamente en la reducción de riesgos y desastres en la zona de estudio, en la actualización del modelo de desarrollo económico y social a través de la creación de capacidades, la formación de talento humano y la investigación científica

Cambios en los puntos de vista teóricos y metodológicos sostenidos, derivados de las soluciones prácticas para los estudios de PVR por deslizamientos.

Medio ambientales.

El conocimiento de las posibles afectaciones a los ecosistemas existentes en el área geográfica de estudio, por la ocurrencia de dichos deslizamientos. Manejo sostenible de ecosistemas frágiles: montañas, cuencas, zona costera y bahías.

Conocimiento de los impactos y riesgos hídricos territorial derivados de las soluciones prácticas para la rama geológica y mineras en el territorio.

ESTADO DEL ARTE

Investigaciones precedentes

El propósito de esta investigación para el municipio de Santiago de Cuba, fue contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes y reducir 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. Los deslizamientos ocurridos en la región 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, y provocan diversos tipos de deslizamientos.

Desde la década de 1960 aparecieron diversos tipos de mapas y métodos de Análisis de la Susceptibilidad (Brabb et al., 1972), que desde al comienzo de la década de 1970 empezaron a realizarse con ayuda de sistemas de informáticos (Sharpe, 1938). 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 posibilitado 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.

(Kanungo et al., 2006) Desarrolla un estudio de susceptibilidad, apoyándose en un inventario de deslizamientos a partir de la interpretación de imágenes mediante el empleo de sensores remotos, y basó su análisis en características espectrales, forma, contraste, expresión morfológica etc. Por otra parte, Fell (2008), realiza un inventario de deslizamiento, y analizó estos a partir de la utilización de variables tales como localización, clasificación y volumen de los deslizamientos, datos que obtuvo a partir de la fotointerpretación de imágenes aéreas.

En Colombia El Ministerio de Obres Públicas y Transporte solicita en 1985 a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá, la realización de una investigación piloto sobre los deslizamientos que afectan la red vial nacional, en desarrollo de la cual se efectúa un inventario de los deslizamientos y movimientos de masa más importantes (Montero et al., 1988)

En la ciudad de Loja, en la formación de San Cayetano ubicado en la parte oriental de la cuenca de Loja, en un área de 1.351,99 hectáreas; como parte de estudio se realiza un inventario para analizar la susceptibilidad a los deslizamientos en esta formación. (Toledo Peláez, n.d.).

(Guardado-Lacaba & Almaguer-Carmenate, 2001) en la revista de Minería y Geología, el artículo “Evaluación de Riesgos por Deslizamiento en el Yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín”, se realiza una 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 Carmenates, (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, 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 al tener en cuenta una serie de variables e indicadores geoambientales (geomorfología, tectónica, litologías, hidrogeología, precipitaciones, condiciones geotécnicas)

Viltres Milán, (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.

Viltres et al., (2010) 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

En este contexto es conveniente realizar un análisis que permita realizar un mapa de inventario de la zona para fue contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Marco teórico conceptual

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. Díaz, (1998) lo define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y como talud cuando se conformó artificialmente (Figura 1).

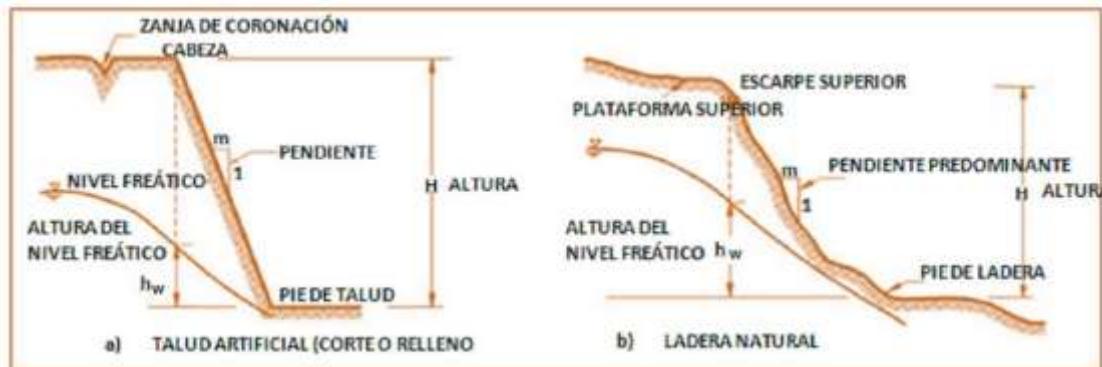


Figura 1. Nomenclatura de taludes y laderas. Fuente (Díaz, 1998).

Los elementos morfométricos de un talud o ladera (Díaz, 1998)

- **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.

Existen, además, otros factores topográficos como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

Deslizamientos.

Sharpe, (1938) definió los deslizamientos como la caída perceptible o movimiento descendente de una masa relativamente seca de tierra, roca o ambas. (Lomtatze, 1977) es una masa de rocas de baja consolidación o compactación que se ha movido o mueve cuesta abajo por la vertiente o talud (vertiente artificial) bajo el efecto de la gravedad, presión hidrodinámica (por efecto de sobresaturación), fuerzas sísmicas de diversos orígenes, etc. Estos agentes también pueden actuar

en los deslizamientos de forma combinada (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. (Díaz, 1998) plantea que un deslizamiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda superficie, la que sería, la superficie de falla. A pesar de 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. Los deslizamientos tienen la propiedad de destruir las laderas y los taludes, cambian sus configuraciones y crean un relieve característico, generan formas peculiares en la estructura de las acumulaciones de masa deslizada; por consiguiente, cambian el relieve del terreno, su estructura geológica, señalan la pérdida de resistencia y estabilidad de las rocas ante la influencia de determinados factores. Los deslizamientos resultan muy variables por las dimensiones (escalas) del fenómeno, el tipo de dislocación de la masa de roca o suelo, causa de alteración de su equilibrio, dinámica del desarrollo del proceso y otras características.

Elementos estructurales.

Para evaluar los deslizamientos es necesario conocer sus elementos estructurales (Figura 2), los cuales se describen a continuación:

1. **Corona:** sector de la ladera que no ha fallado y se localiza en la parte más alta de la zona deslizada. En ocasiones presenta grietas, llamadas grietas de la corona (Varnes, 1978).
2. **Escarpe principal:** superficie de la pendiente muy fuerte, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. Si este escarpe se proyecta bajo el material desplazado, se obtiene la superficie de ruptura.
3. **Escarpe menor:** superficie de pendiente muy fuerte en el material desplazado y producida por el movimiento diferencial dentro de este material.
4. **Punta de la superficie de ruptura:** la intercepción (algunas veces cubierta) de la parte baja de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.
5. **Cabeza:** la parte superior del material desplazado a lo largo de su contacto con el escarpe principal.
6. **Tope:** el punto más alto de contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.

7. **Cuerpo principal:** la parte del material desplazado que sobre yace la superficie de ruptura localizada entre el escarpe principal y la punta de la superficie de ruptura.
8. **Flanco:** Lado del deslizamiento.
9. **Pie:** la porción del material desplazado que descansa ladera abajo desde la punta de la superficie de ruptura.
10. **Dedo:** el margen del material desplazado más distante del escarpe principal.
11. **Punta:** el punto en el pie más distante del tope del deslizamiento.

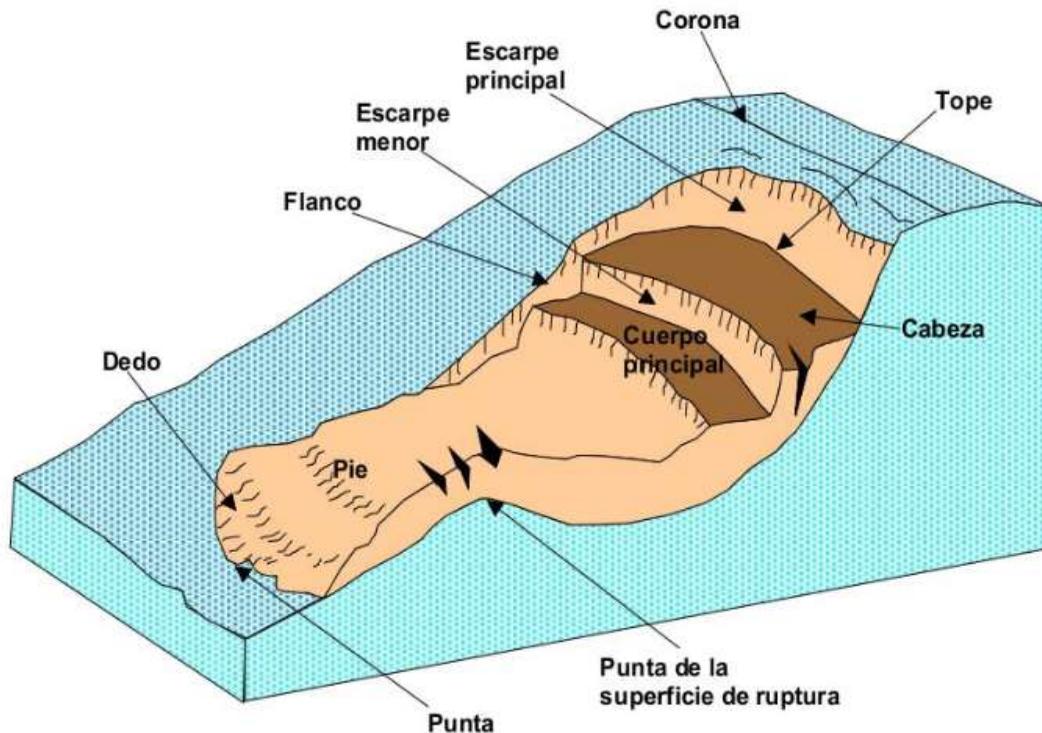
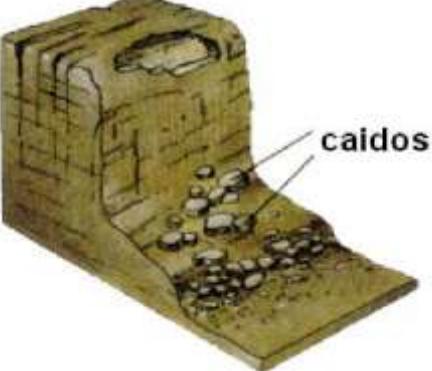
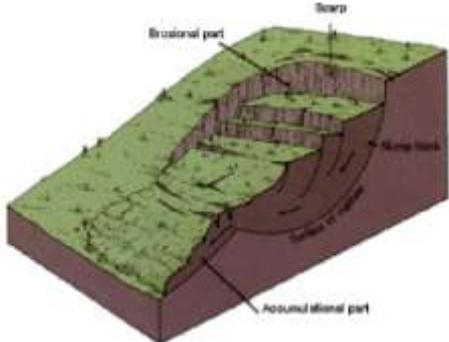
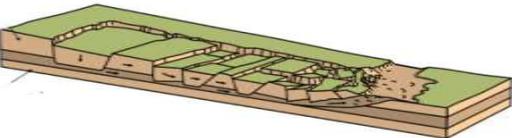
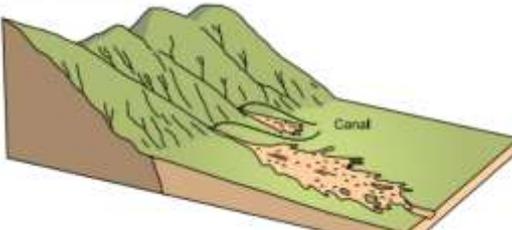


Figura 2. Elementos estructurales de un deslizamiento. Fuentes (Corominas & García Yagüe, 1997).

Clasificación de los deslizamientos.

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas (Tabla 1). Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas (Díaz, 1998). Existen varias clasificaciones de deslizamientos basadas en el mecanismo de rotura y la naturaleza de los materiales involucrados, (Hutchinson, 1988), (Cruden, 1991) y (Varnes, 1984) La clasificación que se ha utilizado es la propuesta por (Corominas & García Yagüe, 1997).

Tabla 1. Clasificación de los deslizamientos.

TIPO	EJEMPLO
<p>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, y entra 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.</p>	
<p>Deslizamientos: Son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movilizada se desplaza como un bloque único, y según la trayectoria descrita los deslizamientos pueden ser rotacionales o traslacionales.</p>	
<p>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.</p>	
<p>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, y adopta a menudo morfologías lobuladas.</p>	

CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS, REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

1.1 Introducción

En el presente capítulo se exponen las características físico-geográficas, geológicas e ingeniero geológicas del municipio de Santiago de Cuba provincia de Santiago de Cuba, y su incidencia en los deslizamientos, al conocer que para realizar el estudio de peligrosidad por deslizamientos, es necesario realizar su evaluación, y analizar cómo influyen las condiciones ingeniero-geológicas del macizo rocoso y los suelos en las condiciones de formación de los deslizamiento y así determinar las zonas de mayor peligrosidad en el municipio ante estos fenómenos.

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.

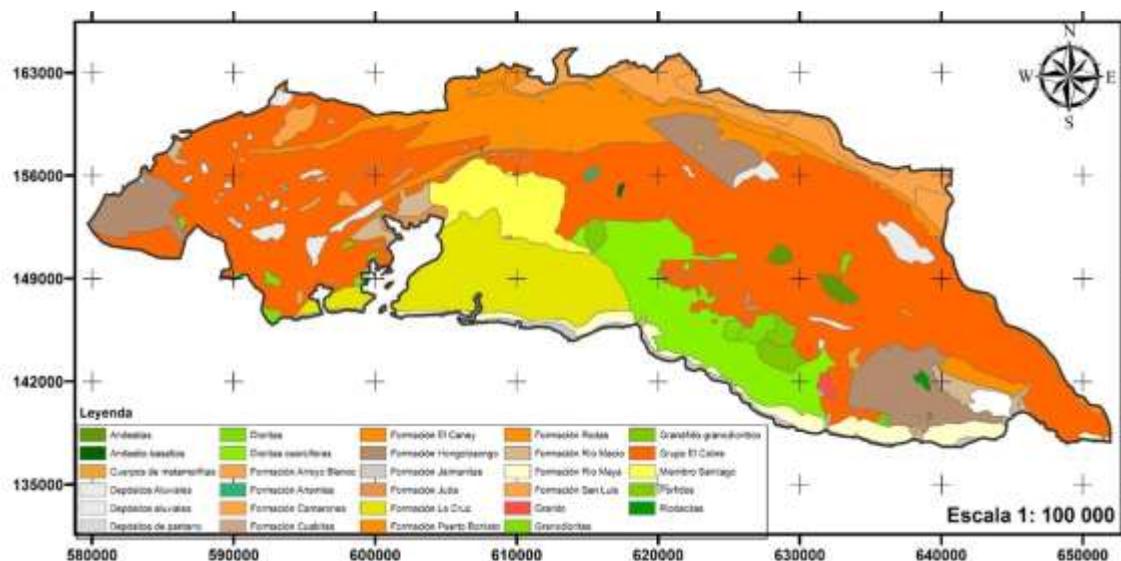


Figura 3. Formaciones Geológicas de Santiago de Cuba. Fuente: (I.G. P, 2008).

1.2 Ubicación geográfica

La Provincia Santiago de Cuba se encuentra situada al sur de la región oriental de Cuba, entre los 19°53', 20°12' de latitud norte y los 75°22', 77°02' de longitud oeste, limita al oeste con la provincia Granma, al norte con la provincia Holguín, al este con la provincia Guantánamo y al sur con el Mar Caribe. Su capital es la ciudad de Santiago de Cuba, segunda urbe más poblada del país con más de 510 665 habitantes (Datos: ONEI Santiago de Cuba, cifras de 2015). Este

territorio ocupa el décimo lugar en extensión entre las provincias cubanas con una superficie total de 6234,16 km², representa el 5,7% del total del país. Se divide en 9 municipios: Guamá, Santiago de Cuba, Palma Soriano, II Frente, III Frente, Songo la Maya, Contramaestre, San Luis y Julio A. Mella (Figura 4).



Figura 4. Ubicación geográfica del municipio Santiago de Cuba.

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.

1.3 Relieve

El relieve de la provincia es variado. Hacia el noreste es semi-montañoso y accidentado, constituido por elevaciones jóvenes donde las pendientes sobrepasan el 25% en algunos casos y, hacia el noroeste es relativamente llano con desarrollo de llanuras aluviales y cuencas hidrográficas de interés económico. Gran parte del territorio de la provincia está cubierto por la Sierra Maestra con las mayores alturas de la isla (Pico Turquino, 1974 m; Pico Cuba, 1874 m y Pico Suecia, 1734 m), y por la Sierra de la Gran Piedra (loma de la Gran Piedra con 1226 m), (Figura 5).

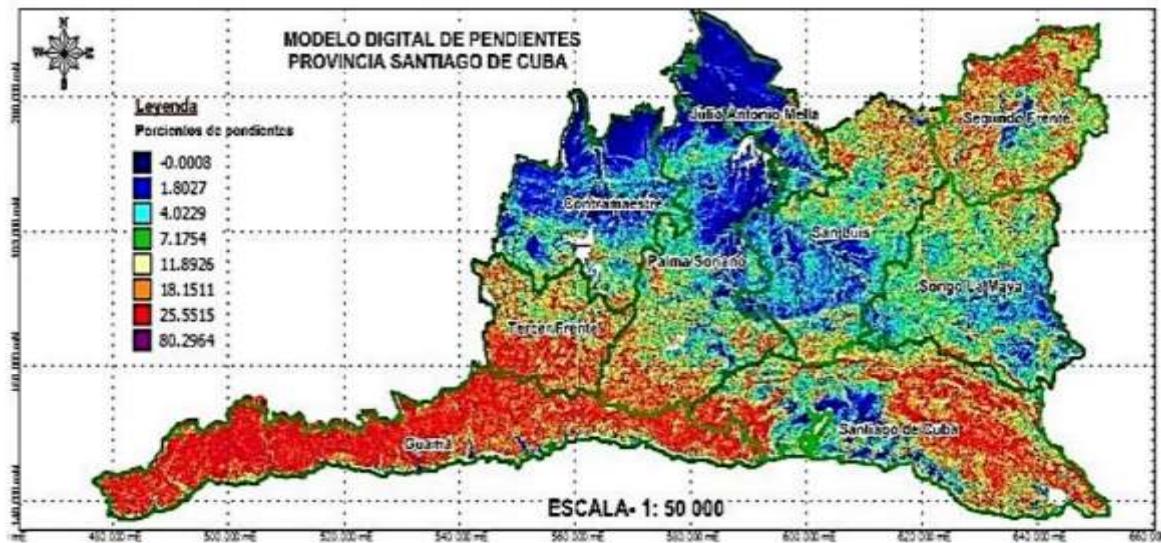


Figura 5. Imagen del modelo de pendientes de la provincia Santiago de Cuba a escala 1:50 000. Fuente. (Galbán-Rodríguez et al., 2021).

1.4 Hidrografía

En el municipio 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, en las zonas montañosas en particular, (Figura 6).



Figura 6. Imagen del mapa de peligro a inundaciones fluviales de provincia Santiago de Cuba (Galbán-Rodríguez et al., 2021).

1.5 Clima

Desde el punto de vista climático el municipio Santiago de Cuba es uno de los municipios más calurosos del país, al menos al nivel del mar, con una temperatura máxima media de 32.2°C y una mínima media de 22.1°C en la ciudad, la lluvia media anual el año 2012 fue de 1175 mm. (I.N.R.H., 2012), (Figura 7).

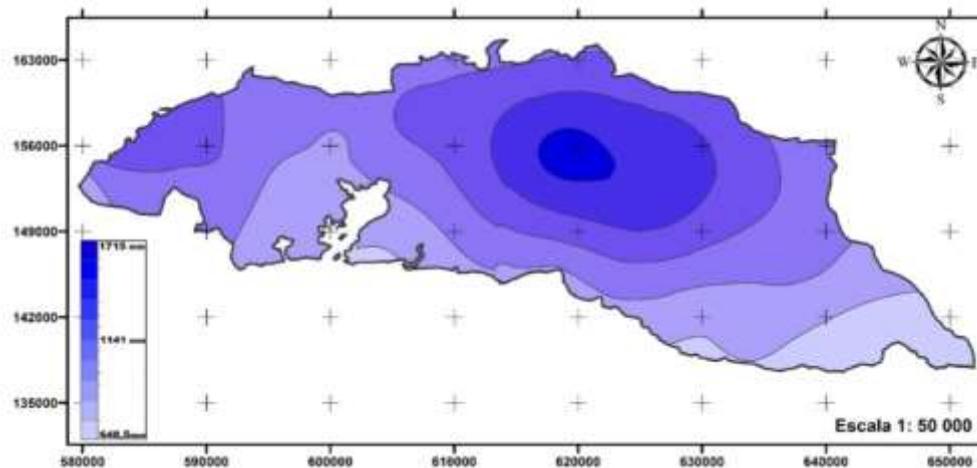


Figura 7. Mapa de Precipitaciones medias anuales del municipio Santiago de Cuba. Fuente: (I.N.R.H., 2012).

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.

Estudios recientes realizados por (Galván et al., 2012) señalan que una de las causas fundamentales de los deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba es la sobresaturación de los suelos, sobre todo la que ocurre en temporadas de intensas lluvias, por lo que este es un factor importante en las evaluaciones de peligro.

1.6 Características hidrogeológicas y geológicas

Las aguas subterráneas en el área de estudio se encuentran asociadas a diferentes complejos y horizontes acuíferos; en tal sentido se diferencian las relacionadas con las secuencias del paleógeno (Grupo El Cobre), del neógeno (Formación La Cruz) y las cuaternarias. (Guardado, 1985).

En las rocas del Grupo El Cobre se encuentran aguas de grietas o fisuras y filonianas. La profundidad del manto freático está en función de la morfología que presente el área donde se encuentren estas secuencias; como caso general alcanza valores mayores a los 10 metros, al oeste del área y en toda la parte norte. Ahora bien, en aquellas zonas donde aparecen estas rocas, corteza de meteorización pequeña y las cotas del terreno son muy bajas, como es el caso de la zona de la Refinería “Hermanos Díaz”; la profundidad varía entre 1 y 4 metros. Los complejos acuíferos relacionados con estas rocas se alimentan a través de las precipitaciones fundamentalmente y por las aguas fluviales a través de las grietas. Los complejos acuíferos que se encuentran en las rocas de la Formación La Cruz ocupan la mayor parte del área de estudio, prácticamente todo el borde sudeste y centro de la cuenca, son aguas estrato- fisúrales, de grietas y cársicas. Su profundidad es variable comienza a parecer a menos de 4 metros, pero en el caso específico de las rocas margosas y calcáreas supera los 10 metros. Por las características ingeniero-geológicas de las rocas que integran esta formación (calizas, calizas arcillosas, margas, entre otras) estos complejos presentan poca o ninguna interrelación hidráulica con otros horizontes.

Por último, los complejos acuíferos de los sedimentos cuaternarios resultan los más distribuidos. A ellos están asociados todas las aguas dentro del espesor del material terrígeno con diferentes propiedades. La profundidad del manto freático varía de 0-10 metros.

Las secuencias cuaternarias están representadas por depósitos eluviales, aluviales, marinos, artificiales y transiciones fundamentalmente con granulometrías variadas desde arcillas, gravas, arenas y puntos donde se dan combinaciones heterogéneas entre ellas (desembocadura de ríos, arroyos y en las zonas que bordean la bahía en su parte norte). La alimentación de estos horizontes acuíferos es a cuenta de las precipitaciones, infiltración de las aguas fluviales y en

menor proporción por la incidencia de las aguas subterráneas de zonas más elevadas a través del agrietamiento. La profundidad de las aguas subterráneas en la cuenca de Santiago de Cuba varia en un rango de 0-10 metros por lo que se definen como superficiales, puede ser mayor en las zonas donde se encuentren las rocas margosas y calcáreas de la Formación La Cruz, así como para la parte norte del área donde afloran las secuencias del Grupo El Cobre (Figura 8).

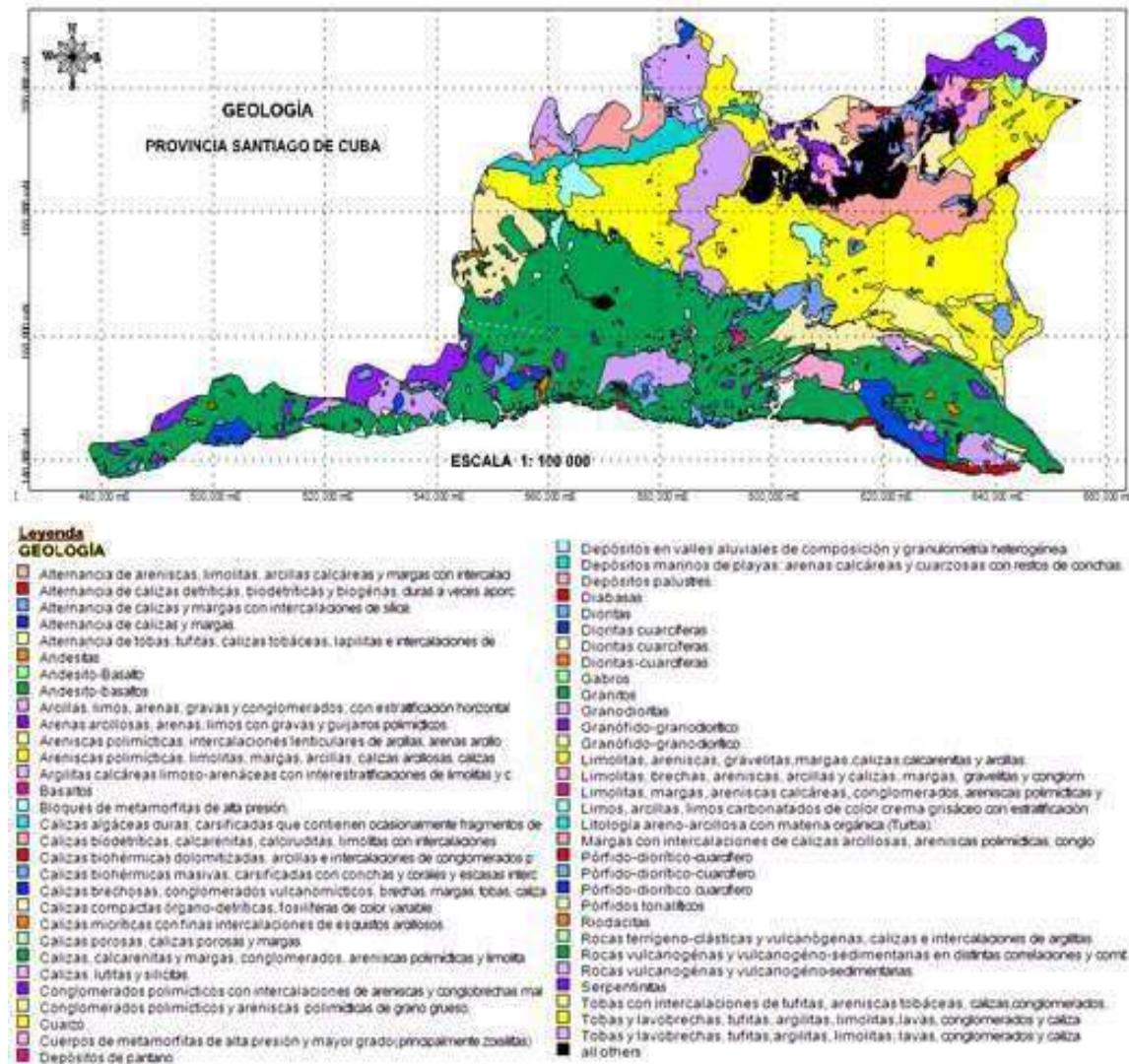


Figura 8. Características regionales de Santiago de Cuba.

1.7 Condiciones sísmicas y tectónicas

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 (Pérez et al., 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 9), 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 $75.00^{\circ}W$ y $78.00^{\circ}W$ 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 $74.90^{\circ}W$ y los $77.20^{\circ}W$ 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 9).

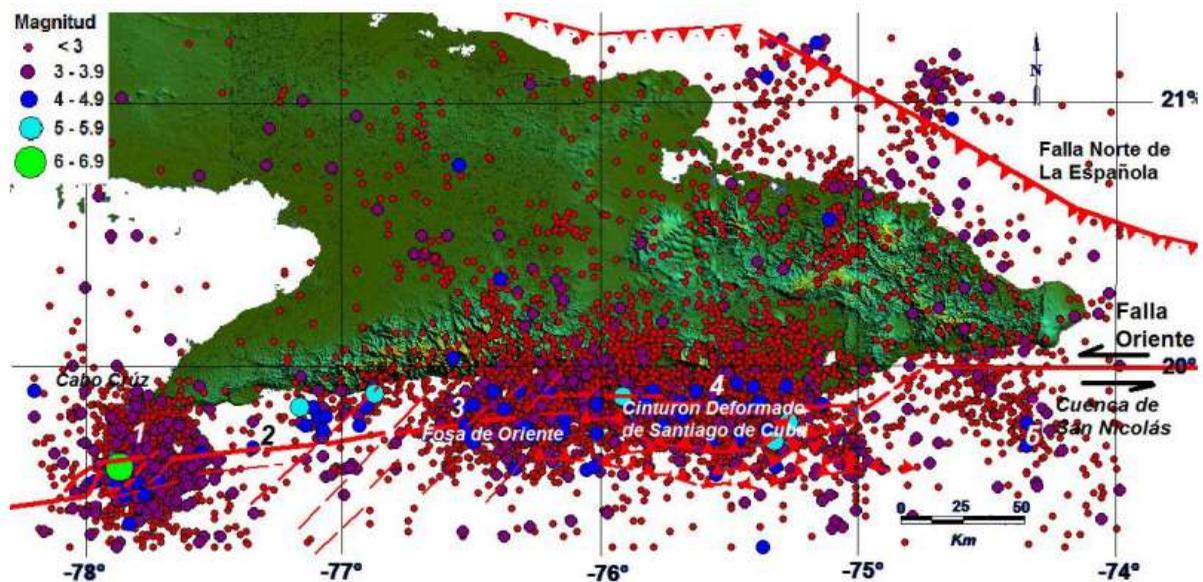


Figura 9. Ubicación de la falla Oriente y los principales elementos geodinámicos que la caracterizan en las inmediaciones de la región oriental de Cuba (Colmenero Rielo, 2015).

Entre los $74.90^{\circ}W$ y los $76.10^{\circ}W$ 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 transgresivo 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 10).

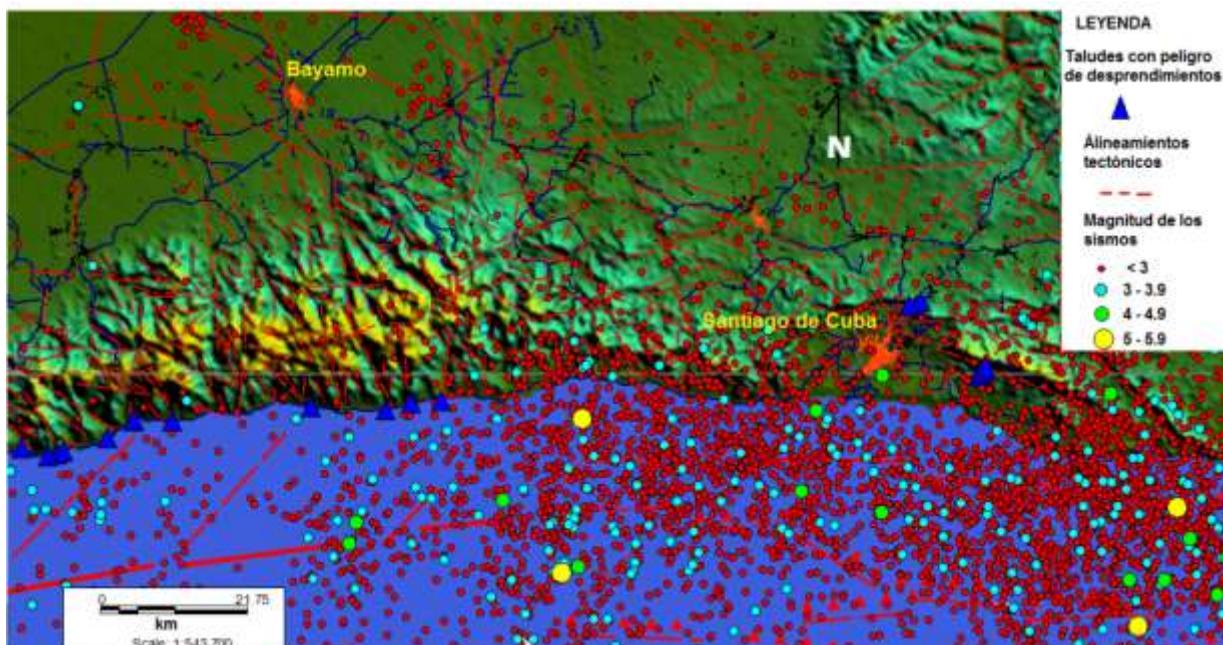


Figura 10. Sismicidad registrada desde el año 1998 por el Servicio Sismológico Nacional de Cuba en el área que ocupa la provincia de Santiago de Cuba y sus alrededores (Colmenero Rielo, 2015).

Los terremotos fuertes que se han originado en el sistema de fallas Bartlett - Caimán (Oriente) por su intensidad han debido generar efectos importantes en el municipio Santiago de Cuba. Estos efectos están relacionados con la sacudida del suelo propiamente dicho o con el efecto de esta en las partículas del suelo al dilatarlas y permitir la rápida infiltración del agua, lo que facilita el deslizamiento. En el caso de los deslizamientos ocasionados por terremotos, estos han sido menos documentados ya que ocurren con menor frecuencia, tal es el caso de los deslizamientos

ocasionados por los terremotos del 2 de agosto de 1852 en la Sierra de la Gran Piedra (Rodríguez, 1999) y el de 1947 en la Loma del Cake, ciudad de Santiago de Cuba (Chuy et al, 2005). Otros más recientes han sido ubicados, sobre todo en taludes artificiales, del tramo Santiago-El Cristo de la Autopista nacional (Figura 11).

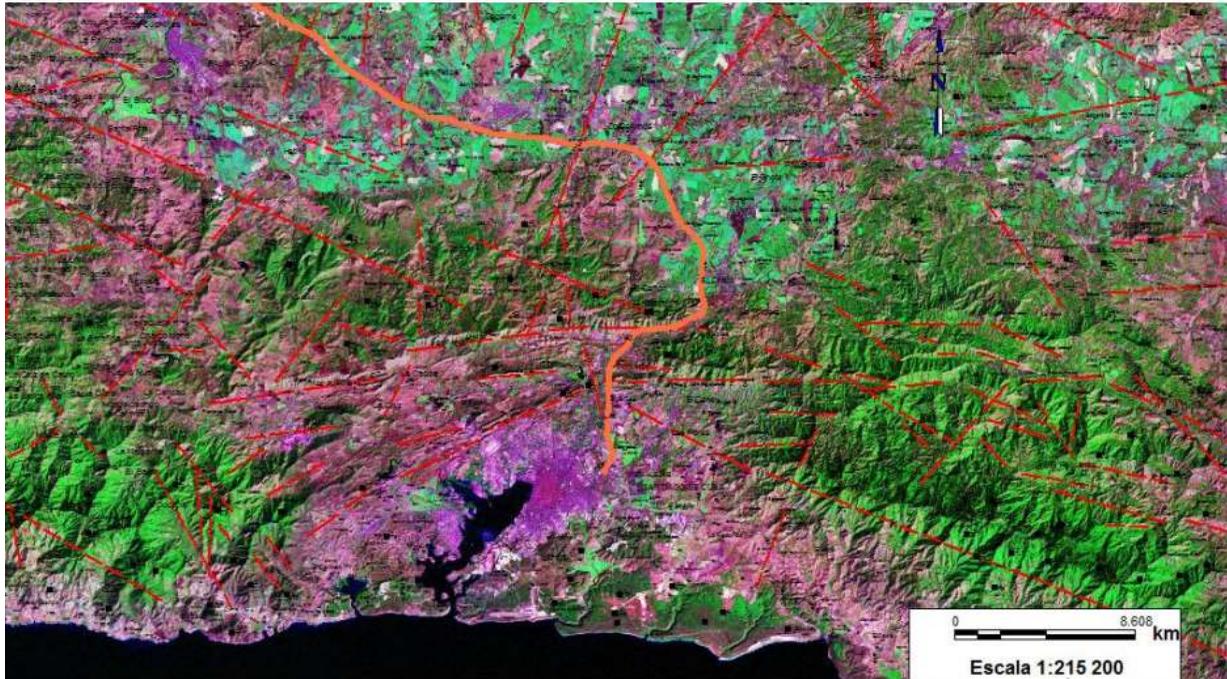


Figura 11. Imagen de Satélite donde se observa el trazado de la autopista en el sector que atraviesa la zona de la Sierra de Boniato en su articulación con la Sierra de la Gran Piedra y las principales fallas tectónicas que afectan a este tramo (Colmenero Rielo, 2015).

1.8 Características geomorfológicas

En el municipio de Santiago de Cuba el relieve es accidentado y variado, hacia el norte semi-montañoso, constituido por elevaciones jóvenes y alargadas, las cuales forman un arco al bordear 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 de llano a ondulado constituido por escasas elevaciones de pendientes suaves dentro de las que predominan las costeras en forma de mesetas alargadas formadas hacia la cercanía de las costas varias terrazas escalonadas. En la bahía la costa es escarpada y se desarrollan elevaciones de aspecto terraciforme. 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 (Figura 12).

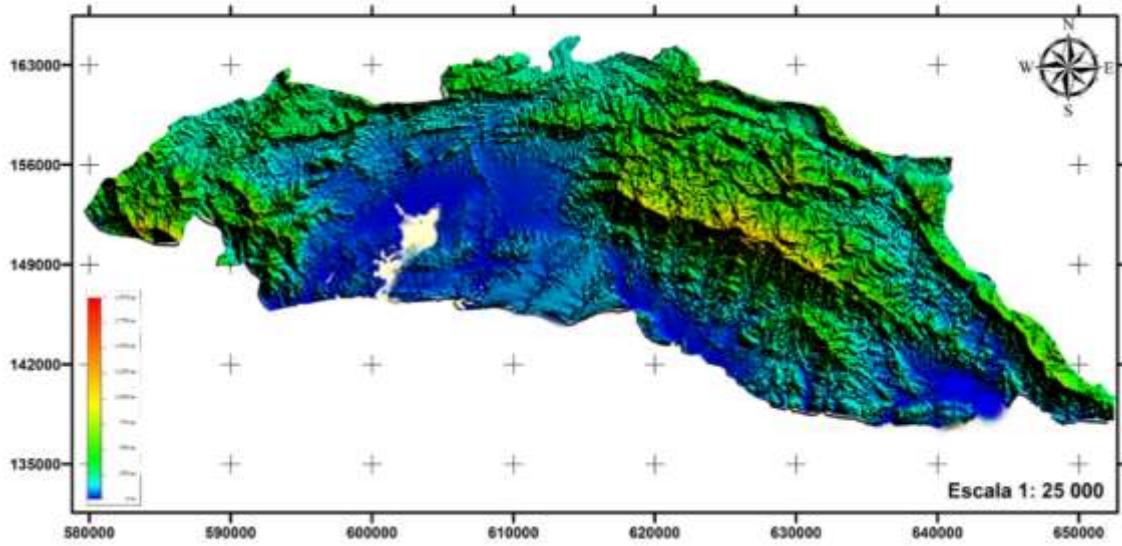


Figura 12. Modelo digital del terreno del municipio Santiago de Cuba. Fuente (Geocuba, 2010).

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción.

En el presente capítulo se hace una descripción de la metodología aplicada durante la investigación, para la realización del inventario de los deslizamientos, se parte del estudio bibliográfico de los trabajos precedentes, las observaciones realizadas durante los trabajos de campo y el procesamiento de toda la información existente. El trabajo se realizó en tres etapas fundamentales (Gráfico 1):

- ✚ **Etapa I.** Recopilación de la información y revisión bibliográfica
- ✚ **Etapa II.** Trabajos de campo
- ✚ **Etapa III.** Interpretación de los resultados y confección del mapa de inventario de deslizamientos.

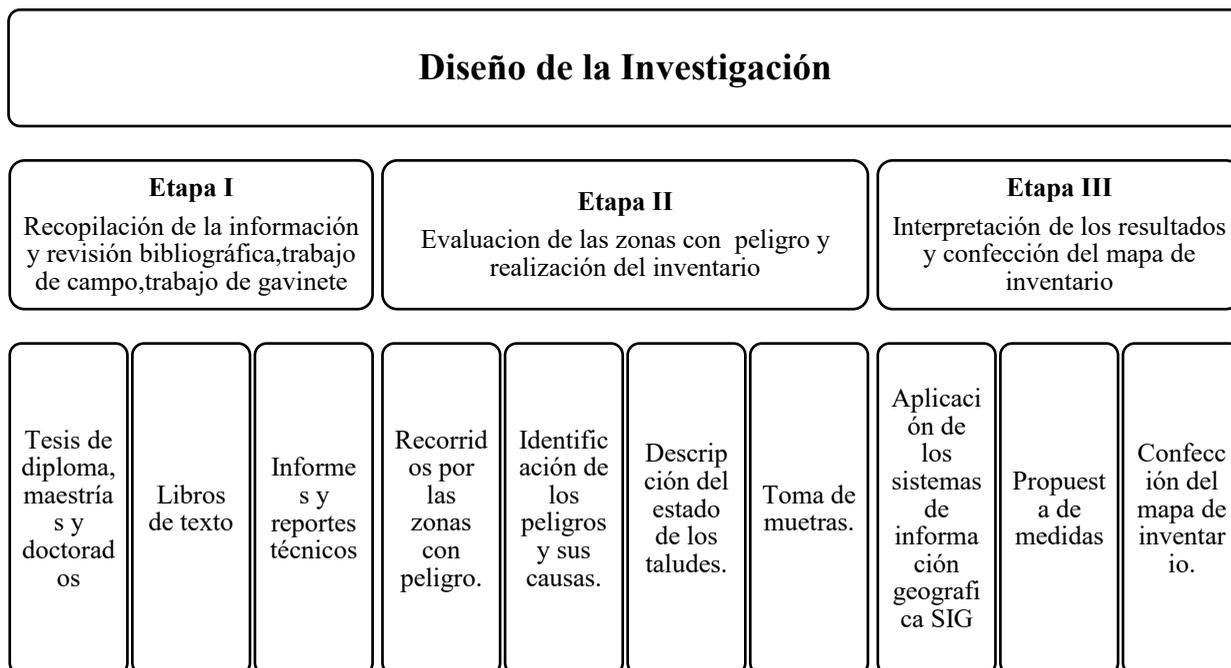


Gráfico 1. Organigrama del diseño de la investigación.

2.2 Etapa I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica

Para la realización de la primera etapa donde se identificaron las zonas con mayor peligro de deslizamiento se realizó una revisión bibliográfica sobre la temática y el lugar de estudio, se consultó en el centro de información de la Universidad de Moa, 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. Puesto 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) Empleo de fotos aéreas.

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 abarca una longitud aproximadamente de 10Km de carretera, en los cuales se describieron los deslizamientos existentes en los taludes de la carretera estudiada teniendo en cuenta la ubicación geográfica del punto, altura, longitud y ángulo del talud, azimut y ángulo de buzamiento de las estructuras, se realizaron mediciones de grietas y familias de grietas y se describieron las rocas presentes así como su grado de alteración y agrietamiento. Para facilitar la documentación de los deslizamientos se utilizó el modelo de la Planilla

2.3 Etapa II trabajo de campo

En esta etapa de la investigación se realizaron marchas en el sector de estudio y se reconocieron los deslizamientos con el objetivo de corroborar las ubicaciones de los mismos, determinar las características de estos y los factores desencadenantes.

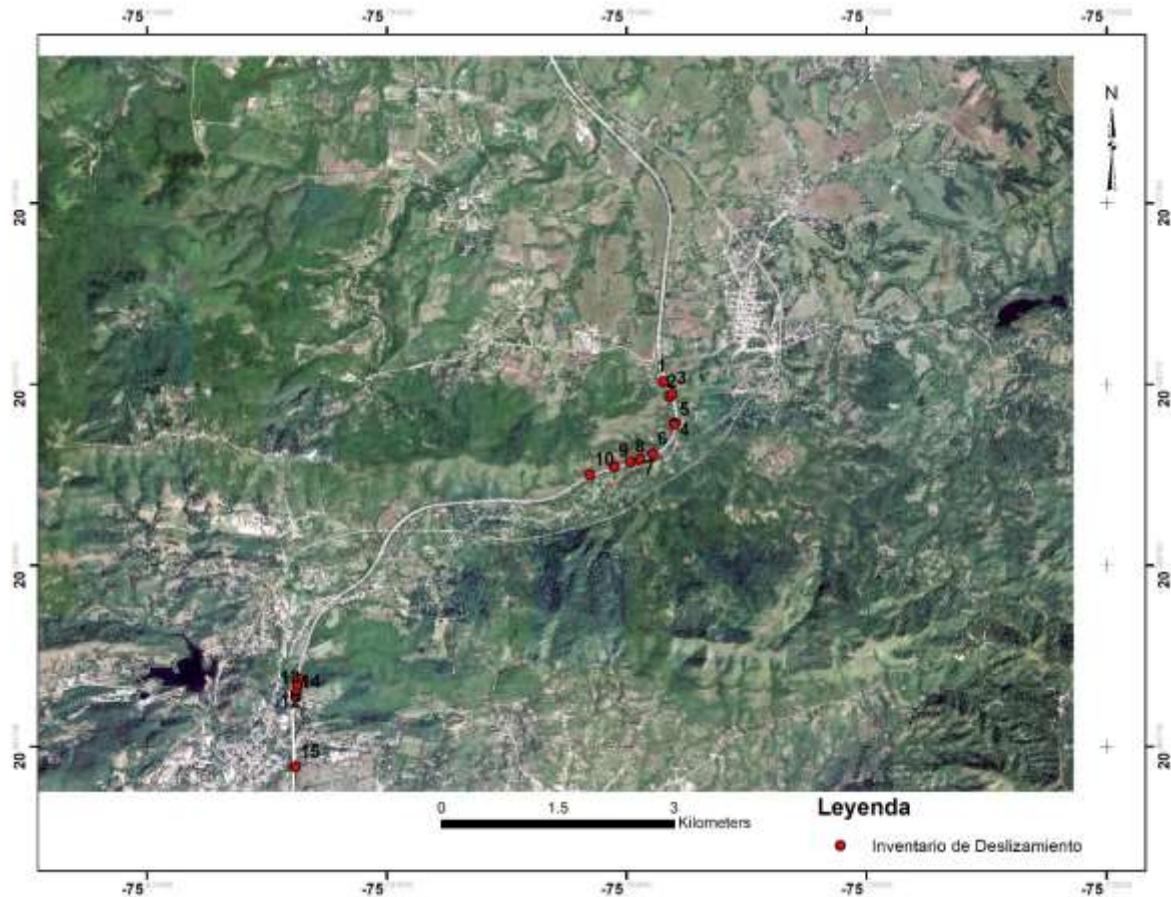


Figura 13: Ubicación geográfica de los puntos muestrados.

En nuestro país los estudios de peligro por deslizamiento, vulnerabilidad y riesgos acerca de los movimientos de ladera han sido ejecutados por el grupo Nacional de Evaluación de Riesgos de la Agencia de Medio Ambiente en coordinación directa con el Instituto de Geología y Paleontología, se empleó las instrucciones que aparecen descritas en la Guía metodológica.

Los campos presentes en esta planilla se ajustan a las características y condiciones físicas, geográficas y climáticas de nuestro país basados en datos de fácil recolección e interpretación, datos del registro, datos de ubicación, características del evento, causas del evento, algunas observaciones y un registro fotográfico el cual estará identificado con la nomenclatura del evento. Ver tabla. 2

Tabla. 2.

No inventario:	Tipo de deslizamiento:	Provincia:	Año:
Provincia	Municipio		
Este evento ha sido monitoreado con anterioridad			
Registrador			
Fecha del reporte			
Las coordenadas			
Tipo de material desplazado			
Contenido de agua presente en el material			
Descripción litológica			

Mecanismos y tipologías para determinar el tipo material y los tipos de movimientos de masa presentes en los taludes de la carretera.

Para determinar el tipo de material se utilizó como base las descripciones de tipos de materiales que componen un determinado movimiento de masa de un talud, según la terminología (Cruden, D.M., Varnes, 1996) Tabla 3.

GRAFICO	MATERIAL	DESCRIPCION
	Suelo	El suelo es un material mineral granular u orgánico. (Suelo friable o cohesivo). Se considera suelo si contiene más del 80% de partículas menores a 2 mm. Clasificación cualitativa (S.U.C.S). (Predominantemente arena, limo y arcilla, BGC)
	Escombros detrito	Suelo que con una significativa proporción de material grueso Se considera si más del 20% del material en peso es mayor de 2 mm de diámetro. (Mezcla de rocas lodo y árboles, BGC)
	Roca	Roca dura y firme que estaba intacta en su lugar antes de la iniciación del movimiento
	Roca compacta	Roca madre, intacta.

Tabla 3. Materiales que componen un movimiento del talud (Cruden y Varnes 1996).

Para determinar el tipo de movimiento que caracterizan los diferentes taludes estudiados se utilizó como base, la clasificación de los tipos de procesos de ladera existentes, según la terminología (Cenapred, n.d.) Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de procesos de ladera existentes (CENAPRED, 2014).

Clasificación de los tipos de procesos de ladera existentes (CENAPRED, 2014)	
Tipo	Concepto
Los caídos o derrumbes	Son movimientos repentinos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes abruptas y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre.
Flujos	Movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas ladera abajo, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos. Entre los más importantes se pueden distinguir los siguientes: Flujos de lodo, flujos o avalancha de detritos y lahares.
Deslizamientos	Movimientos de una masa de materiales pendiente abajo, delimitada por una o varias superficies, planas o cóncavas, sobre las que se desliza el material inestable: -Rotacionales -Traslacionales
Expansiones o desplazamientos laterales	Movimientos de masas terreas que ocurren en pendientes muy suaves, que dan como resultado desplazamientos casi horizontales. Con frecuencia son causados por licuación, fenómeno en el que los materiales sueltos y saturados, predominantemente arenosos y limosos, adquieren el comportamiento de un fluido como consecuencia de las vibraciones causadas por un sismo.

Factores que contribuyen con la ocurrencia de deslizamiento de tierra en el área de estudio.

Los deslizamientos que ocurren en el sector del vial estudiado son ocasionados por un conjunto de factores que inciden directamente en la ocurrencia de los mismos y en dependencia de cómo actúan se clasifican en dos grupos ver tabla 5.

a) Condicionantes, también conocidos como pasivos o intrínsecos, son aquellos que dependen de la naturaleza, estructura y forma del terreno como por ejemplo la constitución geológica, (tipos de rocas, estructura, fallas tectónicas, ángulos de agrietamiento y de estratificación), grado de meteorización y la altura e inclinación del talud.

b) Desencadenantes, también llamados activos o externos, son factores que actúan desde fuera del medio que se estudia, y provocan el deslizamiento, como son los eventos hidrometeorológicos extremos que provocan lluvias torrenciales y los fuertes sismos.

Los factores pasivos varían significativamente en cada uno de los taludes de la carretera, en los sectores donde predominan rocas con alto grado de meteorización se producen con mayor

frecuencia los flujos detríticos, de suelo o combinación de ambos, sin embargo en los taludes formados por rocas poco meteorizadas pero muy agrietadas y fracturadas se producen desprendimientos o caídas de bloques de diferentes tamaños ante sacudidas del terreno al ocurrir un sismo de moderada o gran intensidad, por efecto de la gravedad a consecuencia de la pendiente y por procesos erosivos.

Tabla 5. Factores utilizados en el análisis de susceptibilidad.

FACTORES	Pasivos	Factor geomorfológico	Pendiente, aspecto de la pendiente
		Factor litológico	Litologías presentes
		Factor tectónico	Densidad de fallas
		Humedad del terreno	Lluvia potencial
	Disparos	Factor Sísmico	Intensidad y magnitud de los sismos.
		Factor intensas Lluvias	Ocurrencia de lluvia máximas diaria (mm)

2.4 Etapa III. Interpretación de los resultados

Centrada en la Interpretación de los Resultados y Confección del Inventario, implica una aplicación significativa de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Aquí, se emplean estas herramientas para visualizar espacialmente los datos geográficos asociados con los deslizamientos, integrando información geológica y climática en el sistema para obtener una representación completa del área estudiada. Posteriormente, se revisan y analizan los datos recopilados para identificar patrones y relaciones espaciales, culminando en la confección del mapa de inventario de deslizamientos., los resultados se presentan de manera detallada en informes, validando la información con expertos y garantizando la calidad y precisión de la investigación.

CAPITULO 3. INVENTARIO DE DESLIZAMIENTO EN LA PROVINCIA DE SANTIAGO DE CUBA.

Se llevaron a cabo actividades de reconocimiento en el área de investigación con el objetivo de analizar la susceptibilidad del terreno. Durante este proceso, se identificaron y caracterizaron 15 taludes, en los cuales se identificaron diferentes movimientos de masas.

3.1 Inventarios de deslizamientos.

No inventario: 1 **Tipo de deslizamiento:** D **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.107102, Y.-75.759594

Tipo de material desplazado: Suelo

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Deslizamiento

Descripción litológica: Se describe un talud con una altura aproximada de 50 metros y una longitud de 40 metros que exhibe susceptibilidad a los procesos erosivos. Este talud, propenso a alteraciones en el equilibrio natural de su pendiente, experimenta movimientos muy lentos por la acción de la gravedad, desplazándose como una unidad cohesiva con escasa deformación interna, especialmente en la zona de suelo (Figura 14, A y B). En la base del talud, se acumula suelo sin representar un peligro inminente para la viabilidad, mientras que su parte superior está protegida por vegetación, al igual que sus alrededores. La estructura del talud se compone de capas, siendo más evidente en la parte superior con un espesor que varía desde los 5 hasta los 25 cm. Además, se observan signos de procesos de meteorización química en la base.



Figura 14. Talud con altura aproximada de 50m de alto y 40m de largo. A) y B) Acumulación de sedimentos en la base del talud.

No inventario: 2 **Tipo de deslizamiento:** DP **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.105346, Y-75.758907

Tipo de material desplazado: Rocas

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Desprendimiento

Descripción litológica: Talud con una longitud de unos 200 m de largo y 60m de altura (Figura 15), formado por tovas estratificadas e intemperizadas con mala estabilidad y alta peligrosidad donde ocurren movimientos rápidos, de ruptura y caída sorpresiva de rocas, intensamente agrietadas, alteradas y muy deterioradas. Los bloques poseen diversos tamaños desde grandes a pequeños. La forma del movimiento está gobernada por la morfología del terreno, se observan pendientes elevadas de $> 60^\circ$, con sistemas de grietas tectónicas bien definidas en las rocas.



Figura 15. Tobas estratificadas e intemperadas. A) Y B) Desprendimientos de material rocoso.

No inventario: 3 **Tipo de deslizamiento:** DP **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.105702, Y.-75.758583

Tipo de material desplazado: Rocas

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Desprendimiento

Descripción: En el talud se observan tovas estratificadas e intemperizadas, las cuales alcanzan los 200m (Figura 16 A) de longitud con mala estabilidad y alta peligrosidad, constituyendo un peligro para el vial, del cual se desprenden bloques entre los 10 y 45 cm de espesor (Figura 16 B), como consecuencia de los movimientos sísmicos, la gravedad y procesos erosivos, causante de alteraciones en el equilibrio natural de su pendiente. En toda su amplitud las alturas varían entre los 30 y 50 metros de altura, con la presencia en algunas zonas de vegetación en su techo y base, al igual que agrietamiento en todo su espesor.

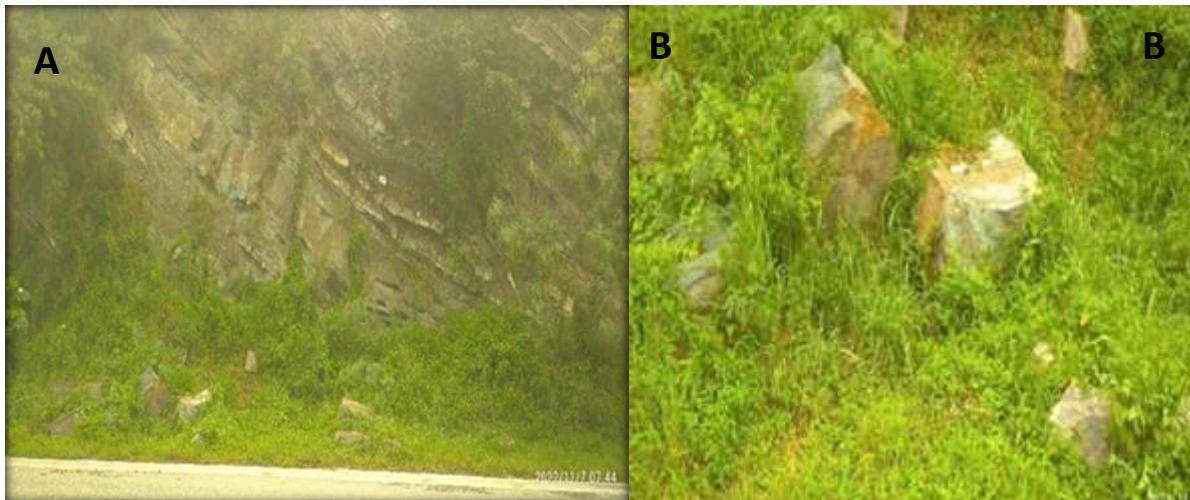


Figura 16. A) Tovas estratificadas e intemperizadas B) Bloques, entre los 10 y 45 cm de espesor.

No inventario: 4 **Tipo de deslizamiento:** DP **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X. 20.105702, Y.-75.758583

Tipo de material desplazado: Rocas

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Desprendimiento

Descripción: Se observa un talud izquierdo de 30 metros de altura y superficie 20 metros, cubierto por vegetación a sus alrededores (Figura 17 A), compuesto por tobas con buzamiento de 30 grados las cuales se presentan alteradas y dañadas por procesos erosivos y estratificadas, formadas por capas con espesores entre los 10 y 20 cm de la cual se desprenden algunos bloques por la acción muy lenta de la gravedad, sismos y los procesos erosivos que actúan sobre este, sin presentar peligro para el vial. Presenta evidencia de procesos meteorización química (Figura 17 B).



Figura 17. A) Talud cubierto de vegetación B) Tobas con buzamiento de 30 grados.

No inventario: 5 **Tipo de deslizamiento:** DP **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.102676, Y.-75.758295

Tipo de material desplazado: Roca

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Desprendimiento

Descripción: Se observa un talud cubierto por vegetación con altura de 30 metros y una superficie de 50 metros, con pendiente de 80 grados de cual se observa movimiento rápido, de ruptura y caída sorpresiva de rocas, rocas-suelos, bajo efecto de la gravedad, sismos y procesos erosivos de intemperismo, lo cual provoca que se presente agrietado (Figura 18 A). Ocurren en rocas intensamente agrietadas, alteradas y muy deterioradas por los procesos erosivos a la cual se halla expuesto. Los bloques poseen diversos tamaños desde grandes a pequeños (Figura 18 B y C).

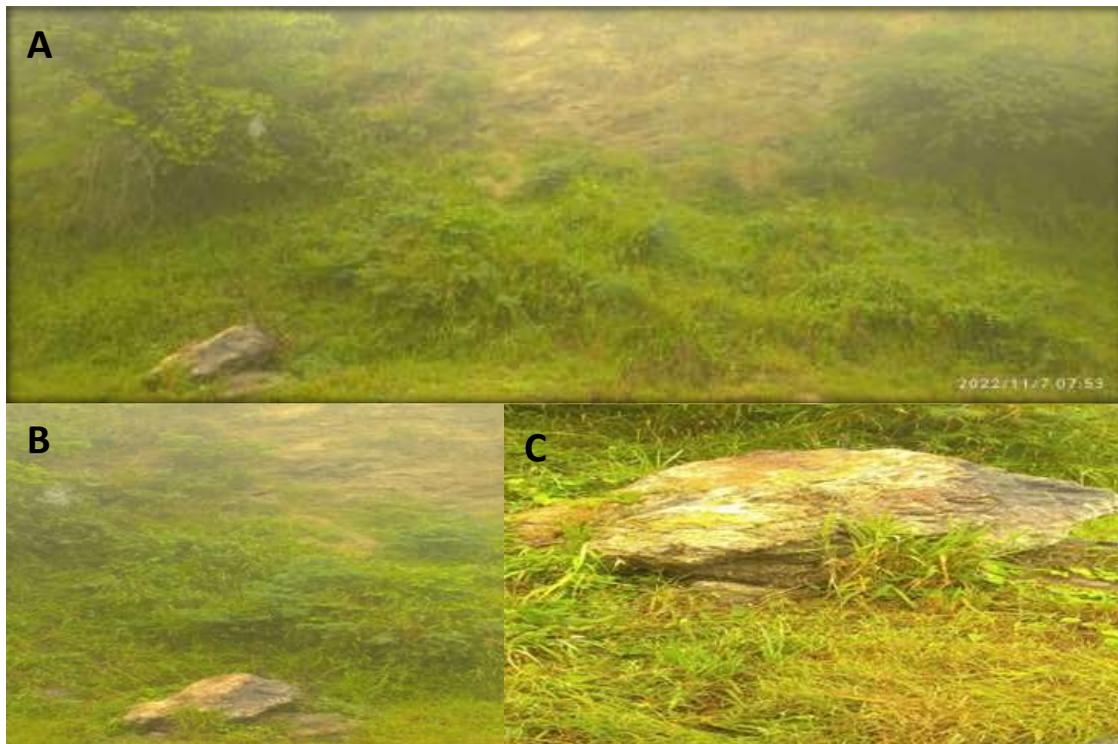


Figura 18. Talud cubierto por vegetación. B) Y C) Rocas desprendidas.

No inventario: 6 **Tipo de deslizamiento:** DP **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.098667, Y.-75.760829

Tipo de material desplazado: Rocas

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Desprendimiento

Descripción litológica: Talud de unos 40 m de altura (Figura 19 B). Compuesto por tobas carbonatadas muy estratificadas, con pendientes de 70 grados. Muy favorable para la ocurrencia de desprendimientos de grandes bloques por acción de la gravedad, sismos y los procesos erosivos que actúan sobre este (Figura 19 C y D), los cuales presentan peligro para el vial. Los desprendimientos de material siguen las direcciones de las grietas creadas por los procesos erosivos que actúan sobre este. Se presenta cubierto por vegetación a sus alrededores.



Figura 19. A) Dirección de los desprendimientos Y B) Talud de unos 40 m de altura C) Desprendimientos de bloques.

No inventario: 7 **Tipo de deslizamiento:** EL **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad:

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.098100, Y.-75.762300

Tipo de material desplazado: Rocas

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Expansión lateral

Descripción litológica: En el talud se observan movimiento de bloques rocosos en extrusión plástica lateral por deformación interna (expansión) del material (Figura 20 A), debido a que nos encontramos con una formación dura situada encima de una formación blanda, del cual se desprenden bloques de gran tamaño (Figura 20 B y C), por la acción de los movimientos sísmicos, gravedad y procesos erosivos a los cuales se encuentra expuesta, presentan peligro para el vial. Se presenta agrietado en todo su espesor.



Figura 20. Movimiento de bloques rocosos. B) y C) Material desprendido.

No inventario: 8 **Tipo de deslizamiento:** D **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X. 20.097806, Y.-75.763444

Tipo de material desplazado:

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Deslizamiento

Descripción litológica: Talud derecho de 70m de altura, con tobas carbonatadas formado por estratos de unos 10cm de espesor (Figura 21 A), con pendientes en su superficie entre los 50 y 70 grados. Se observan movimientos de masas de rocas y residuos hacia la base del talud (Figura 21 B), los cuales se acumulan en su base sin presentar peligro para el vial, por efecto de la gravedad sismos y los procesos erosivos que actúan sobre este.



Figura 21. A) Talud derecho de 70m de altura. B) Rocas y residuos

No inventario: 9 **Tipo de deslizamiento:** DP **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.097252, Y.-75.765334

Tipo de material desplazado: Rocas

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Desprendimiento

Descripción litológica: Talud agrietado de 40 metros de altura y 20 metros de superficie (Figura 22 A) cubierto por vegetación en su base y techo, afectado por procesos erosivos. Con pendiente de 60 grados, la cual provoca la caída de bloques de roca hacia su base al crear acumulaciones de rocas que no presentan peligro para el vial, las rocas acumuladas en su base poseen tamaños entre los 20 y 50 cm de grosor (Figura 22 B).



Figura 22. A) Talud de 40 metros de altura y 20 metros de superficie B) Bloques desprendidos.

No inventario: 10 **Tipo de deslizamiento:** D **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.096317, Y.-75.768180

Tipo de material desplazado: Suelo

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Deslizamiento

Descripción: Talud con altura de 150m de altura, que abarca una superficie en extensión de 40 metros (Figura 23 A), formado por capas las cuales son vulnerables a los agentes erosivos, por lo que se producen deslizamientos y acumulación de suelo hacia su base, (Figura 23 B), también originados por movimientos sísmicos y los efectos de la gravedad. Presenta una inclinación de 70 grados.



Figura 23. A) y B) Talud de 150m de altura. Material acumulado.

No inventario: 11 **Tipo de deslizamiento:** D **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.072600, Y.-75.801900

Tipo de material desplazado: Detritos rocosos

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Deslizamiento

Descripción litológica: Talud que alcanza los 120 metros de altura y una superficie de 50 metros, cubierto por vegetación en su base y techo, con pendiente de 70 grados de inclinación, en cual se observan deslizamientos de detritos rocosos (Figura 24) por acción de los agentes erosivos, efecto de la gravedad y movimientos sísmicos, siguen los planos de fallas y capas de los estratos que conforman el afloramiento.



Figura 24. A) Talud de 120 m de altura.

B) Material desprendido.

No inventario: 12 **Tipo de deslizamiento:** DP **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Las coordenadas: X.20.071701, Y-75.802085

Tipo de material desplazado: Rocas

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Desprendimientos

Descripción litológica: Talud agrietado de 30 metros de altura y una superficie de 50 metros de extensión, con pendiente entre los 70 y 80 grados, la cual provoca la caída libre de rocas por efecto lento de la gravedad, actividad sísmica y los agentes erosivos que actúan sobre este, ya el talud presenta poca vegetación (Figura 25 A), se observan fragmentos en su base de rocas desde los 10 hasta los 40 centímetros de grosor (Figura 25 B).



Figura 25. A) Talud de 30 metros de altura y B) Material desprendido.

No inventario: 13 **Tipo de deslizamiento:** D **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: SÍ

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.071000, Y.-75.802200

Tipo de material desplazado: Suelo

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Deslizamiento

Descripción litológica: Talud d 50 metros de altura con una extensión de 150 metros (Figura 26), en el cual se observan movimiento de suelo de velocidad moderada por efecto de la gravedad, erosión y movimientos sísmicos, ya que se observan pendientes aproximadas a los 80 grados y grietas por efecto de los agentes erosivos que actúan sobre este. Los movimientos siguen las direcciones de los planos y grietas entre las capas que conforman el afloramiento (Figura 27), y crean acumulaciones en su base de suelo de hasta 1m, controladas por la vegetación en su base, sin presentar peligro para el vial.



Figura 26. Talud d 50 metros de altura.



Figura 27. Dirección de los deslizamientos. Acumulación de sedimentos.

No inventario: 14 **Tipo de deslizamiento:** D **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: Sí

Registrador: Luis Villalón Poulut

Las coordenadas: X.20.070500, Y.-75.802200

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Deslizamiento

Descripción litológica: Abarca un área total de 20 metros se encuentra este talud de 30 metros de altura, donde se observan movimientos en caída libre de rocas, detritos y suelos, por efecto de movimientos sísmicos, actividad gravitacional y erosión, ya que el talud presenta una pendiente de 80 grados y poca vegetación en su techo. Se presenta agrietado y fracturado por la acción del intemperismo (Figura 28 A y B).



Figura 28. A) Talud de 30 metros de altura. B) Acumulación de sedimentos.

No inventario: 15 **Tipo de deslizamiento:** DP **Provincia:** SC **Año:** 2022

Provincia: SC **Municipio:** SC

Este evento ha sido monitoreado con anterioridad: Sí

Registrador: Luis Villalón Poulut

Fecha del reporte: 7 de noviembre

Las coordenadas: X.20.062409, Y.-75.802252

Tipo de material desplazado: Rocas y suelo

Contenido de agua presente en el material: Seco

Clasificación del Evento: Desprendimiento

Descripción litológica: Abarca un área total de 120 metros, se encuentra este talud agrietado de 40m metros de altura (Figura 29), cubierto por poca vegetación, la cual lo hace vulnerable a procesos erosivos, donde se observan ruptura y desplazamiento pendiente abajo, de una masa de suelo, roca o mezcla de ambas, movimientos de masa de velocidad moderada a través de unas superficies de fallas, planas y de cuñas, que siguen la dirección de los planos de deslizamientos, producida por la falta de soporte en la base del talud, consecuencia movimientos sísmicos, actividad gravitacional y erosión ,con pendientes desde 40 hasta los 80 grados de inclinación.



Figura 29. Acumulación de pequeñas rocas y sedimentos productos de los desprendimientos.

3.2 Caracterización de movimientos de masa en los taludes.

Desprendimiento de rocas: Todas las caídas se inician con un desprendimiento de suelo o roca de una ladera muy empinada, a lo largo de una superficie en la que poco o ningún desplazamiento cortante se desarrolla. El material desciende en caída libre, el movimiento es de muy rápido a extremadamente rápido, como se observa en el modelo de caída de rocas (Cruden & (Varnes, 1984)), (Figura 30 A y B).

Los desprendimientos que ocurren en la zona, aunque son de mayor magnitud que los deslizamientos, por lo que son un peligro potencial debido a la frecuencia con que ocurren y al tamaño de los bloques que caen. Como la causa fundamental de su origen es por efecto de la gravedad, movimientos sísmicos y la actividad erosiva, se producen en cualquier momento y a cualquier hora del día.

En el sector de la carretera objeto de estudio es muy común la ocurrencia de este fenómeno debido a que los taludes presentan ángulos muy abruptos y el grado de alteración y fracturación que presentan las rocas que lo forman.

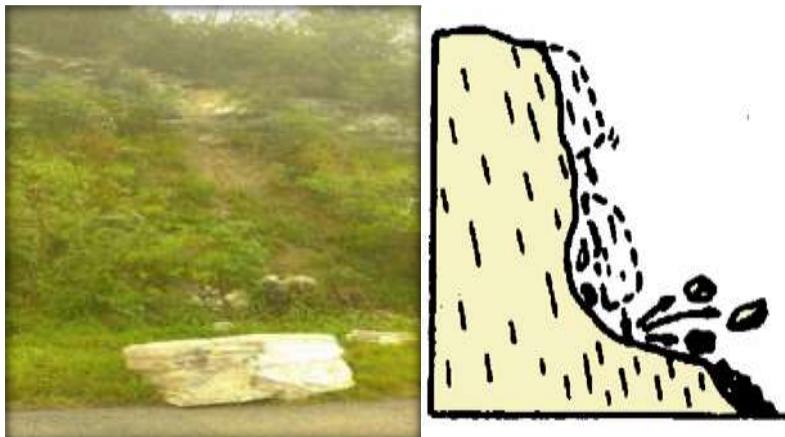


Figura 30 A. Desprendimiento de rocas. B Modelo de Caída de rocas (Varnes, 1978)

Deslizamientos: Un deslizamiento es un movimiento ladera abajo de una masa de suelos o rocas, que ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o zonas relativamente delgadas de intensa deformación cortante (Cruden & Varnes, 1996) y pueden ser rotacionales y traslacionales.

En los deslizamientos rotacionales, la masa se desplaza a lo largo de una superficie de ruptura plana o suavemente ondulada y superponiéndose a la superficie original del terreno.

En los deslizamientos trasnacionales la masa desplazada puede también fluir, convirtiéndose en un flujo de detritos ladera abajo.

En los deslizamientos que se observaron durante los recorridos realizados se produjeron por encontrarse las grietas orientadas en la misma dirección del talud y las fracturas ser casi perpendiculares a la carretera, (Figura 31 A y B).



Figura 31 A. Deslizamiento

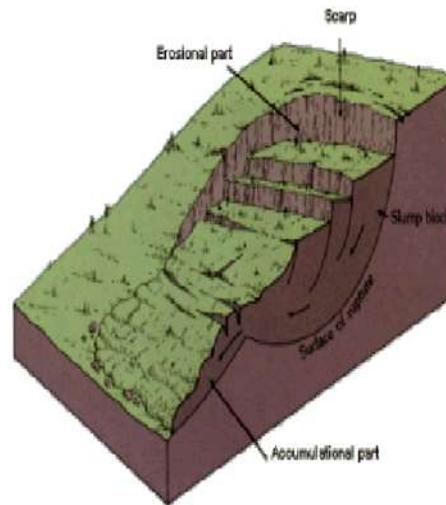


Figura 31 B Foto Deslizamiento

Expansiones laterales: El movimiento dominante es la extrusión plástica lateral, acomodada por fracturas de cizalla o de tracción, ocurren en pendientes muy suaves o terreno plano. se desencadena por un movimiento rápido del suelo, como el experimentado, cuando el material coherente, ya sea lecho rocoso o suelo, descansa sobre materiales que se licuan durante un terremoto, pero también puede ser inducido artificialmente (Cruden & Varnes, 1996).

La expansión lateral que se estudió durante los recorridos realizados se produjo debido a que nos encontramos con una formación dura situada encima de una formación blanda, del cual se desprenden bloques de gran tamaño (Figura 32 A y B)

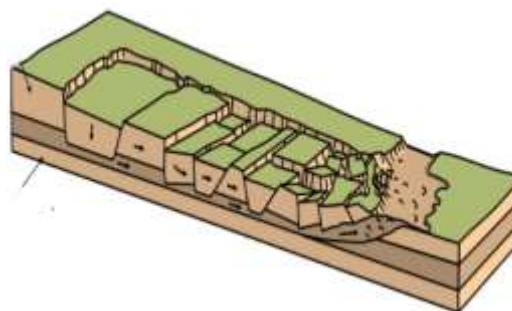


Figura 32. A Expansiones laterales. B Foto Expansiones laterales.

3.3 Análisis de la susceptibilidad por deslizamientos

El análisis de la susceptibilidad por deslizamientos se realizó a partir de los factores pasivos y disparadores existentes en el área de la investigación.

Factores geomorfológicos.

La pendiente del terreno expresa la inclinación de su superficie, es considerado como uno de los factores más importantes a tener en cuenta ya que se necesita de cierta pendiente para que se produzcan estos movimientos de ladera.

En los taludes descritos durante los trabajos de campo se pudo observar que presentan alturas que oscilan entre los 20-200 m, con una inclinación que varía de 50° - 85°, casi más del 50 % de la pared de los taludes presentan sistemas de grietas con una orientación paralela o subparalela, lo que permite que en más del 85 % de los mismos se han manifestado o se manifiestan de alguna manera desprendimientos de rocas.

Factor tectónico.

Para el análisis de este factor se tuvieron en cuenta las fallas inclinadas, verticales y subverticales, las cuales actúan como planos de debilidad tectónica y juegan un papel importante en la inestabilidad de los taludes.

Las zonas que presenten alta densidad de fallas son por lo general más propensas a la inestabilidad de sus pendientes. Un alto grado de deformación y fracturación del macizo rocoso (grietas, estructuras de foliación, fallas, etc.) debilitan considerablemente su resistencia, y facilitan la ocurrencia de deslizamientos y desprendimientos, en los taludes estudiados más del 50 % de la pared de los taludes presentan sistemas de grietas.

Factor disparo sísmicos

Los sismos constituyen uno de los principales factores catalizadores dinámico de los fenómenos gravitacionales ya que durante la ocurrencia de los mismos las rocas son sometidas a vibraciones que provocan la ocurrencia de deslizamiento. En este municipio, se han registrado históricamente pequeños sismos de los cuales han sido perceptibles por la población. Igualmente, sismos con epicentro en otras provincias han afectado a esta zona de alguna manera.

Factor intensas Lluvias

La lluvia es uno de los principales factores que afecta la estabilidad de laderas, muchos deslizamientos ocurren durante o después de los períodos de lluvia. El efecto de la lluvia depende fundamentalmente de la intensidad, duración y distribución de la tormenta; la lluvia actúa típicamente, en la inestabilidad de laderas, y aporta agua al sistema, lo que conlleva,

principalmente, la saturación del material situado en la ladera. Esta saturación conduce a cambios en las tensiones internas del material, debidas a incrementos de la presión de agua en los poros del mismo.

La lluvia provoca como resultado de la erosión pluvial en los taludes estudiados desgasta paredes y el arrastre de sedimentos siguen las direcciones de las grietas, las cuales en dependencia de la intensidad y duración de los periodos de lluvia genera deslizamientos de material constituyendo o no en algunos casos peligro para el vial (Figura 33).

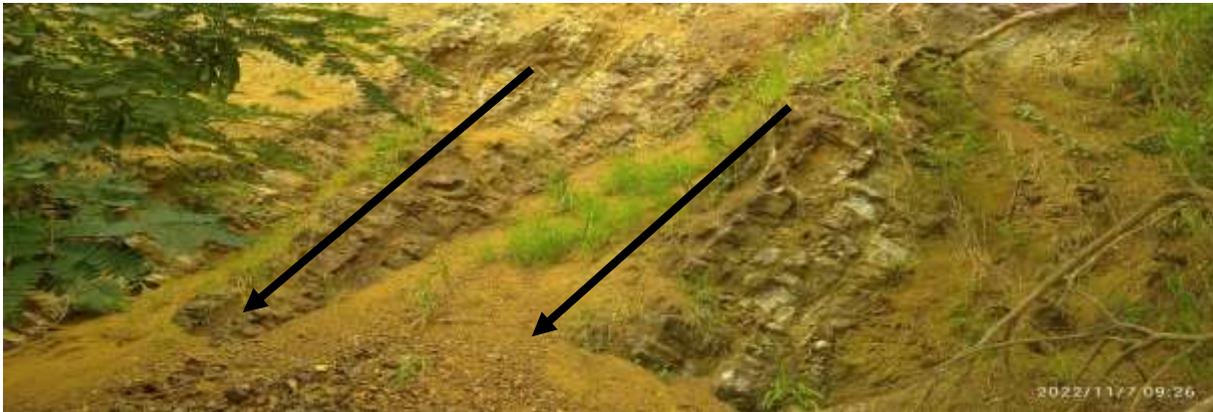


Figura 33. Direcciones de los movimientos

Factor Litológico.

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas (Mora et al., 1992) .La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, etc., influyen claramente en la estabilidad o inestabilidad de las laderas (Mora et al., 1992)

En el área de estudio nos encontramos con taludes afectados por procesos como la meteorización, el cual afecta la composición de las rocas que conforman el talud y por ende su estabilidad, en muchos casos las rocas se presentaban estratificadas, muy intemperizadas, agrietadas y deleznales.

3.4 Propuesta del plan de acciones para mitigar o prevenir los deslizamientos.

Considerando la alta susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el tramo de la carretera estudiada, se propone un plan integral de medidas para mitigar y prevenir estos fenómenos. Las siguientes acciones se sugieren como parte de este plan:

Actividad	Acciones
Estabilización del Talud	<p>Realizar un análisis detallado de la estabilidad del talud identificado como susceptible.</p> <p>Implementar técnicas de ingeniería geotécnica para estabilizar el talud, como la construcción de muros de contención, anclajes o sistemas de drenaje</p>
Monitoreo Continuo	<p>Establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar la actividad del talud y detectar signos tempranos de movimientos.</p> <p>Utilizar tecnologías como inclinómetros, sensores de desplazamiento y estaciones meteorológicas para recopilar datos relevantes.</p>
Control de la Erosión	<p>Implementar prácticas de control de erosión en la parte superior del talud, como la revegetación y la instalación de barreras físicas.</p> <p>Evitar la alteración innecesaria de la cobertura vegetal existente para mantener la estabilidad del suelo.</p>
Divulgación y Educación	<p>Realizar campañas de divulgación y educación para informar a la comunidad local sobre los riesgos asociados a deslizamientos y las medidas preventivas.</p> <p>Promover la participación activa de la comunidad en la vigilancia y reporte de condiciones adversas.</p>
Plan de Evacuación	<p>Desarrollar un plan de evacuación en caso de que se identifiquen condiciones críticas que puedan dar lugar a deslizamientos.</p> <p>Capacitar a la comunidad local sobre los procedimientos de evacuación y puntos de encuentro seguros.</p>
Coordinación Interinstitucional	<p>Establecer una coordinación efectiva entre las autoridades locales, organismos de protección civil y expertos en geología e ingeniería.</p> <p>Facilitar la comunicación y el intercambio de información para una respuesta rápida y eficiente.</p>
Investigación Continua	<p>Fomentar investigaciones continuas sobre la dinámica del terreno y las condiciones geológicas para adaptar y mejorar las medidas preventivas a lo largo del tiempo.</p> <p>Establecer una base sólida para la prevención continua y la seguridad a largo plazo en el tramo de la carretera afectado por la susceptibilidad a deslizamientos.</p>

CONCLUSIONES

1. La revisión bibliográfica realizada contribuyó significativamente a la comprensión integral de los distintos tipos de deslizamientos y su impacto particular en la provincia de Santiago de Cuba.
2. La identificación de patrones y factores determinantes, obtenida a partir de la revisión, sirvió como cimiento teórico esencial para el desarrollo de la investigación.
3. La meticulosa delimitación y ubicación de 15 áreas susceptibles revelaron puntos críticos propensos a deslizamientos, destacándose ocho desprendimientos, seis deslizamientos y una expansión lateral.
4. La caracterización detallada de las zonas identificadas proporcionó una visión precisa de las condiciones ingeniero-geológicas y los procesos geodinámicos presentes, lo cual resulta crucial para una comprensión exhaustiva de la vulnerabilidad del terreno.
5. Las propuestas de medidas efectivas para mitigar los posibles deslizamientos en el sector estudiado permiten diseñar acciones específicas y estrategias adaptadas a las características identificadas, abordando de manera integral las causas fundamentales de la vulnerabilidad.

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

- Aceves Quesada, F., Legorreta Paulín, G., & Álvarez Ruíz, Y. (2014). Cartografía geomorfológica para el inventario de procesos gravitacionales en la cuenca endorreica del arroyo La Ciénega, flanco oriental del volcán Nevado de Toluca. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 329–342.
- Almaguer Carmenates, Y. (2005). *Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas.
- Brabb, E. E., Pampeyan, E. H., & Bonilla, M. G. (1972). *Landslide susceptibility in San Mateo County, California*.
- Cenapred. (n.d.). *Serie de fascículos. Inestabilidad de Laderas. México*.
- Colmenero Rielo, I. E. (2015). *Análisis del peligro por deslizamientos de los principales viales de la provincia de Santiago de Cuba*. Departamento de Geología.
- Corominas, J., & García Yagüe, A. (1997). Terminología de los movimientos de laderas. *IV Simposio Nacional Sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada, 3*, 1051–1072.
- Crozier, M. J. (1986). *Landslides: causes, consequences and environment*, Croom Helm. London. 252pp.
- Cruden, D.M., Varnes, D. . (1996). *Landslide types and processes*, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., *Landslides investigation and mitigation*:
- Cruden, D. M. (1991). A suggested method for a landslide summary. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 43(1), 101–110.
- Díaz, J. S. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Galbán-Rodríguez, L., Guardado-Lacaba, R. M., & Chuy-Rodríguez, T. J. (2021). Principales procesos y fenómenos geológicos conducentes a riesgos en la provincia Santiago de Cuba, Cuba. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 49, 13–23.
- Galván, L., Chuy, T., & Vidaud, I. (2012). Indicadores más comunes en la evaluación de riesgos geológicos. *Indicadores Cualitativos y Cuantitativos Para La Evaluación de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos*. Editorial Académica Española.
- Guardado-Lacaba, R., & Almaguer-Carmenate, Y. (2001). Evaluación de riesgo por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. *Minería y Geología*, 18(1),

12.

- Hutchinson, J. N. (1988). Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proc., Fifth International Symposium on Landslides, 1988*.
- Kanungo, D. P., Arora, M. K., Sarkar, S., & Gupta, R. P. (2006). A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology, 85*(3–4), 347–366.
- Lomtatze, V. D. (1977). Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería. *Pueblo y Educación*.
- Montero, J., Moreno, L. B., & Cortés, R. (1988). Inventario de deslizamientos en la red vial colombiana. *Ingeniería e Investigación, 17*, 16–27.
- Mora, R., Vahrson, W., & Mora, S. (1992). Mapa de Amenaza de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica. *Centro de Coordinación Para La Prevención de Desastres Naturales En América Central (CEPREDENAC)*.
- Pérez, C., Núñez, K., Arango, E. D., Rueda, J., Zapata, J. A., Vega, N., Núñez, A., Ríos, Y., Millán, G., & Padilla, I. (2008). Proyecto “Valoración de la amenaza sísmica en la región minera del noreste de Holguín.” *Informe Final. Fondos Del CENAIIS e Instituto de Geología y Paleontología. Cuba*.
- Puig, R. (2007). Evaluación de riesgos múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en el municipio Moa. *Trabajo de Diploma, Departamento de Geología, ISMM, 75*.
- Rodríguez, T. J. C. (1999). *MACROSISMICA DE CUBA Y SU APLICACION EN LOS ESTIMADOS DE PELIGROSIDAD Y MICROZONACION SISMICA*.
- Sharpe, C. F. S. (1938). Landslides and their control. In *Academia & Elsevier*.
- Soeters, R., & Van Westen, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslides: Investigation and Mitigation, 247*, 129–177.
- Toledo Peláez, X. A. (n.d.). Inventario de deslizamientos en la formación San Cayetano, Loja, Ecuador. In *Inventario de deslizamientos en la formación San Cayetano, Loja, Ecuador* (p. 5).
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Special Report, 176*, 11–33.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice* (Issue 3).
- Viltres Milán, Y. (2010). *Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio Moa*. Departamento de Geología.

- Viltres, Y., Pintón, C., & Guardado, R. (2010). Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio Moa. *Trabajo de Diploma, Departamento de Geología, ISMM*.
- Aceves Quesada, F., Legorreta Paulín, G., & Álvarez Ruíz, Y. (2014). Cartografía geomorfológica para el inventario de procesos gravitacionales en la cuenca endorreica del arroyo La Ciénega, flanco oriental del volcán Nevado de Toluca. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 329–342.
- Almaguer Carmenates, Y. (2005). *Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas.
- Brabb, E. E., Pampeyan, E. H., & Bonilla, M. G. (1972). *Landslide susceptibility in San Mateo County, California*.
- Cenapred. (n.d.). *Serie de fascículos. Inestabilidad de Laderas. México*.
- Colmenero Rielo, I. E. (2015). *Análisis del peligro por deslizamientos de los principales viales de la provincia de Santiago de Cuba*. Departamento de Geología.
- Corominas, J., & García Yagüe, A. (1997). Terminología de los movimientos de laderas. *IV Simposio Nacional Sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada*, 3, 1051–1072.
- Crozier, M. J. (1986). *Landslides: causes, consequences and environment*, Croom Helm. London. 252pp.
- Cruden, D.M., Varnes, D. . (1996). *Landslide types and processes*, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., *Landslides investigation and mitigation*:
- Cruden, D. M. (1991). A suggested method for a landslide summary. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 43(1), 101–110.
- Díaz, J. S. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Galbán-Rodríguez, L., Guardado-Lacaba, R. M., & Chuy-Rodríguez, T. J. (2021). Principales procesos y fenómenos geológicos conducentes a riesgos en la provincia Santiago de Cuba, Cuba. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 49, 13–23.
- Galván, L., Chuy, T., & Vidaud, I. (2012). Indicadores más comunes en la evaluación de riesgos geológicos. *Indicadores Cualitativos y Cuantitativos Para La Evaluación de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos*. Editorial Académica Española.

- Guardado-Lacaba, R., & Almaguer-Carmenate, Y. (2001). Evaluación de riesgo por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. *Minería y Geología*, 18(1), 12.
- Hutchinson, J. N. (1988). Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proc., Fifth International Symposium on Landslides, 1988*.
- Kanungo, D. P., Arora, M. K., Sarkar, S., & Gupta, R. P. (2006). A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology*, 85(3–4), 347–366.
- Lomtadze, V. D. (1977). Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería. *Pueblo y Educación*.
- Montero, J., Moreno, L. B., & Cortés, R. (1988). Inventario de deslizamientos en la red vial colombiana. *Ingeniería e Investigación*, 17, 16–27.
- Mora, R., Vahrson, W., & Mora, S. (1992). Mapa de Amenaza de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica. *Centro de Coordinación Para La Prevención de Desastres Naturales En América Central (CEPREDENAC)*.
- Pérez, C., Núñez, K., Arango, E. D., Rueda, J., Zapata, J. A., Vega, N., Núñez, A., Ríos, Y., Millán, G., & Padilla, I. (2008). Proyecto “Valoración de la amenaza sísmica en la región minera del noreste de Holguín.” *Informe Final. Fondos Del CENAIIS e Instituto de Geología y Paleontología. Cuba*.
- Puig, R. (2007). Evaluación de riesgos múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en el municipio Moa. *Trabajo de Diploma, Departamento de Geología, ISMM, 75*.
- Rodríguez, T. J. C. (1999). *MACROSISMICA DE CUBA Y SU APLICACION EN LOS ESTIMADOS DE PELIGROSIDAD Y MICROZONACION SISMICA*.
- Sharpe, C. F. S. (1938). Landslides and their control. In *Academia & Elsevier*.
- Soeters, R., & Van Westen, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslides: Investigation and Mitigation*, 247, 129–177.
- Toledo Peláez, X. A. (n.d.). Inventario de deslizamientos en la formación San Cayetano, Loja, Ecuador. In *Inventario de deslizamientos en la formación San Cayetano, Loja, Ecuador* (p. 5).
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Special Report, 176*, 11–33.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice* (Issue 3).

Viltres Milán, Y. (2010). *Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio Moa*. Departamento de Geología.

Viltres, Y., Pintón, C., & Guardado, R. (2010). Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio Moa. *Trabajo de Diploma, Departamento de Geología, ISMM*.