

**REPÚBLICA DE CUBA**  
**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR**  
**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA**  
**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**TÍTULO: “Evaluación de la peligrosidad  
por deslizamientos en el municipio Sagua  
de Tánamo”**

**Tesis presentada en opción al Título  
Académico de Máster en Geología**

**Maestría en Geología, Mención Geotecnia e  
Hidrogeología**

Autor: Ing. Yexenia Viltres Milán

Tutor: Dr. C. Rafael Guardado Lacaba

**Moa, marzo del 2015**  
**“Año 57 de la Revolución”**

### **Declaración de autoría**

Por este medio declaro que soy el único autor de este trabajo y autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez” y a las Autoridades del municipio Sagua de Tánamo y provincia Holguín, para que hagan el uso que estimen pertinente con este trabajo.

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_\_ días del mes\_\_\_\_\_ del 2015.

Ing. Yexenia Viltres Milán

Nombre completo del autor \_\_\_\_\_ Firma.

Dr. C. Rafael Guardado Lacaba

Nombre completo del primer tutor \_\_\_\_\_ Firma.

# *Dedicatoria*

*Dedico con mucho amor esta tesis a:*

- *Mis madres Maritza Milán García y Martha Romero Céspedes y mis padres Luis Mario Viltres Bárzaga y Abel Arévalo Colomé.*

*También a mis hermanas:*

- *Yusnabis Avilés Milán, Noalis Arévalo Romero, Nauris Arévalo Romero y Mailín Mojena Saborit,.*

*Además a mi esposo y a su familia.*

*En mi familia dedico esta tesis a mis tías Rosy, Odalis y mi tío Carlos, a mi bisabuela Elia Pérez, y a todos mis tíos y primos.*

*Aunque mis abuelas no están vivas quisiera que de donde me estén mirando se sientan orgullosas de mí y también mi abuelo Luis, que esto fue lo que él siempre soñó.*

# Agradecimientos

*A todos aquellos que de una forma u otra colaboraron en la realización de este trabajo, a mi tutor Rafael Guardado y su esposa Virginia, a mis amistades por su apoyo incondicional, en especial, Yalina Montecelos, Yosbanis Batista, Reynaldo Puig, Jorge Urra, Iván Barrera, Yaniel Vásquez y Yuri Almaguer Carmenate. También deseo agradecer a mi familia por su apoyo y comprensión y a mi esposo de manera especial. Sobre todo quiero agradecerle a la Revolución Cubana por brindarme esta oportunidad de formarme como profesional.*

# Pensamientos

*"Descubrir con precisión lo que no ha sucedido ni va a suceder es el privilegio inapreciable de todo hombre culto y de talento."*

Oscar Wilde

*"Este es un gran día, estamos creando futuro"*

Nelson Mandela

*"Podrán morir las personas, pero jamás sus ideas."*

Ernesto Ché Guevara

*"Si una persona es perseverante, aunque sea dura de entendimiento, se hará inteligente; y aunque sea débil se transformará en fuerte."*

*"La práctica debe siempre ser edificada sobre la buena teoría."*

Leonardo Da Vinci

*A la cima no se llega superando a los demás, sino superándose a sí mismo."*

*Anónimo*

## **RESUMEN**

Los deslizamientos dentro de los riesgos de origen geológicos son muy estudiados 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. La ocurrencia de deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo genera situaciones de peligro a las comunidades, actividades socio-económicas y al medio ambiente. El presente trabajo tuvo el propósito de evaluar, empleando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los escenarios de peligro por deslizamientos de acuerdo con los factores condicionantes y desencadenantes en el área de estudio. Como basamento metodológico se utilizó la Guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos de terreno a nivel municipal, elaborada por el Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo, del año 2012. El resultado fue el esquema de peligro total por deslizamiento del municipio de Sagua de Tánamo, el cual constituye una herramienta más de gestión y reducción del riesgo en el ordenamiento territorial.

## **ABSTRACT**

Landslides in the risks of geological origin is studied in the world, allowing assess how this phenomenon is analyzed in different geo-environmental conditions and thus establish a work program for the analysis of this problem. The occurrences of landslides in the town Sagua de Tanamo generate a hazard to communities, socio-economic and environmental activities. This study aimed to evaluate, using Geographic Information Systems (GIS), the landslide hazard scenarios under constraints and triggers in the study area factors. As methodological foundation methodological guide for the study of hazard, vulnerability and risk was used by landslides at the municipal level, prepared by the National Risk Assessment Group, 2012. The result was the overall scheme slip hazard municipality of Sagua de Tanamo, which is a tool of management and risk reduction in land use.

## ÍNDICE

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....                                                                                                                                 | 1  |
| Antecedentes de la investigación: .....                                                                                                            | 2  |
| Fundamento teórico y conceptual. Estado del arte: .....                                                                                            | 8  |
| Capítulo I: Caracterización de las condiciones ingeniero geológicas en el municipio<br>Sagua de Tánamo y su incidencia en los deslizamientos ..... | 11 |
| Introducción.....                                                                                                                                  | 11 |
| 1.1 Ubicación geográfica.....                                                                                                                      | 12 |
| 1.2 Características socioeconómicas de la región .....                                                                                             | 12 |
| 1.3 Particularidades climáticas de la región .....                                                                                                 | 14 |
| 1.4 Relieve.....                                                                                                                                   | 16 |
| 1.5 Condiciones hidrográficas.....                                                                                                                 | 18 |
| 1.6 Geología regional y local.....                                                                                                                 | 20 |
| Estratigrafía .....                                                                                                                                | 20 |
| 1.7 Tectónica .....                                                                                                                                | 28 |
| 1.8 Hidrogeología regional y su influencia en la inestabilidad de taludes y laderas .....                                                          | 30 |
| 1.9 Procesos y fenómenos geodinámicos .....                                                                                                        | 33 |
| Los fenómenos de la meteorización: .....                                                                                                           | 33 |
| El carso.....                                                                                                                                      | 34 |
| Los procesos de erosión .....                                                                                                                      | 35 |
| La sismicidad.....                                                                                                                                 | 36 |
| 1.10 Condiciones geoambientales regionales .....                                                                                                   | 37 |
| Las inundaciones en Sagua de Tánamo .....                                                                                                          | 38 |
| Erosión .....                                                                                                                                      | 40 |
| Capítulo II. Metodología y volumen de los trabajos realizados en la evaluación de<br>peligrosidad por deslizamientos .....                         | 42 |
| 2.1 Introducción .....                                                                                                                             | 42 |
| 2.2. Partes principales para el análisis de la peligrosidad por deslizamientos .....                                                               | 43 |
| 2.2.1 Primera fase: Identificación de los escenarios de susceptibilidad.....                                                                       | 44 |
| 2.2.2 Segunda fase: Cálculo del peligro.....                                                                                                       | 45 |



|                                                                                                                      |                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 2.3 Volumen de los trabajos realizados.....                                                                          | 47                                   |
| 2.3.1 Etapas de trabajo.....                                                                                         | 47                                   |
| 2.4 Metodología de evaluación de peligrosidad por deslizamiento.....                                                 | 49                                   |
| 2.4.1. Implementación del Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) .....                                           | 50                                   |
| 2.4.2 Descripción de los factores utilizados en el análisis de peligrosidad.....                                     | 51                                   |
| Capítulo III: Evaluación y cartografiado de la peligrosidad por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo ..... | 61                                   |
| Introducción.....                                                                                                    | 61                                   |
| 3.1 Características de los deslizamientos del municipio Sagua de Tánamo .....                                        | 61                                   |
| 3.1.1 Descripción de los movimientos y las tipologías.....                                                           | 62                                   |
| 3.2 Caracterización de los mapas de peligrosidad .....                                                               | 67                                   |
| 3.2.1 Peligrosidad por el factor litológico .....                                                                    | 67                                   |
| 3.2.2 Peligrosidad por el factor tectónico .....                                                                     | 68                                   |
| 3.2.3 Peligrosidad por el factor geomorfométrico .....                                                               | 69                                   |
| 3.2.4 Peligrosidad por el factor antrópico.....                                                                      | 72                                   |
| 3.2.5 Peligrosidad por el factor hidrológico .....                                                                   | 74                                   |
| 3.2.6 Peligrosidad por el factor sísmico .....                                                                       | 75                                   |
| 3.3 Caracterización del mapa de peligrosidad por intensas lluvias .....                                              | 76                                   |
| 3.4 Caracterización del mapa de peligrosidad por sismos.....                                                         | 78                                   |
| 3.5 Caracterización del mapa de peligrosidad total.....                                                              | 81                                   |
| CONCLUSIONES .....                                                                                                   | 84                                   |
| RECOMENDACIONES .....                                                                                                | 85                                   |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                                                                                    | 86                                   |
| ANEXOS.....                                                                                                          | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |

## **INTRODUCCIÓN**

Los deslizamientos son procesos y fenómenos geológicos que ocurren en las laderas y taludes de forma repentina o lenta, bajo los efectos de la gravedad, la presión hidrostática y/o hidrodinámica, las fuerzas sísmicas, etc., suelen presentarse en la zona montañosa debido a la alta frecuencia de la ocurrencia de las intensas lluvias. El problema se vuelve más crítico teniendo en cuenta la presencia de suelos residuales y erosionados, y eventos naturales extremos como huracanes y terremotos. Los deslizamientos no son iguales en todos los casos por eso es indispensable para reducir el riesgo conocer las causas y las condicionales de como se originan; son movimientos de rocas y suelos hacia el exterior de la ladera o talud, ocurren a lo largo de una superficie de falla o rotura bien definida y tienen la propiedad de cambiar la morfología del relieve y las laderas creando un relieve característico, cambiando por consiguiente el relieve del terreno, su estructura geológica y la capacidad de resistencia de las rocas o suelos. Los deslizamientos son variados de acuerdo a su tipología, por sus dimensiones, tamaño, intensidad, dinámica, y otras característica propias del movimiento y de las rocas que lo componen. Son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando muertes y daños económicos y ambientales en grandes proporciones, 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.

Una situación problemática que se presenta en el municipio de Sagua de Tánamo de la provincia de Holguín es la ocurrencia de deslizamientos de diferentes tipos y tamaños, de diferentes formas e intensidad que afectan la economía y el ambiente del municipio; de ahí la necesidad de realizar un estudio ingeniero geológico que permita determinar los factores condicionantes y desencadenantes que los provocan, su evaluación y cartografía de la peligrosidad.

La presente investigación pretende dar respuesta a los aspectos relacionados con la evaluación ingeniero geológica del terreno basado en la cartografía de la

peligrosidad de los deslizamientos que han ocurrido y puedan ocurrir en el municipio de Sagua de Tánamo y que constituyen preocupaciones en el ámbito académico, científico, gubernamental, y que obedecen a las siguientes interrogantes. ¿Cómo y por qué se producen los deslizamientos en el municipio? ¿Cuál es el grado de peligrosidad y riesgos de estos fenómenos geológicos? ¿Qué tipos de deslizamientos ocurren?, ¿Podemos prevenir, mitigar, reducir estos fenómenos?

### **Antecedentes de la investigación:**

El propósito de esta investigación para el municipio de Sagua de Tánamo, fue contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes 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 una escala basada en algún parámetro del fenómeno, sitúa a este comparativamente con otro de forma absoluta. La susceptibilidad de determinada área del municipio de Sagua de Tánamo 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 del municipio; combinándose como herramienta para identificar las áreas de terrenos mejor caracterizados para el desarrollo, examinando el riesgo potencial. Aun 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 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, 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 al 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 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.

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 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, 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).

Viltres, 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.

En este contexto es conveniente realizar un análisis que permita una mejor cartografía de la susceptibilidad a los deslizamientos desde la problemática conceptual y metodológica.

Planteamiento del problema:

Necesidad de evaluar y cartografiar la peligrosidad por deslizamientos aplicando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando como basamento metodológico la “Guía para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos del terreno”, elaborada por el Grupo Nacional de Gestión de Riesgos (Versión 4, 2012) a partir de los factores condicionantes y desencadenantes.

Objeto de estudio: Laderas y taludes ubicados en el municipio Sagua de Tánamo.

Campo de acción: Los factores condicionantes y desencadenantes, que generan peligrosidad por deslizamientos en el municipio de Sagua de Tánamo.

Objetivo general: Evaluar y cartografiar la peligrosidad por deslizamientos en el municipio de Sagua de Tánamo.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar los factores condicionantes y desencadenantes que provocan la ocurrencia de deslizamientos.
2. Aplicar la “Guía para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos del terreno”, elaborada por el Grupo Nacional de Gestión de Riesgos (Versión 4, 2012), utilizando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.).
3. Evaluar y cartografiar los escenarios de peligro por deslizamientos en el área de estudio.

Hipótesis: Si se caracterizan los factores condicionantes y desencadenantes y se cartografían los escenarios de peligro que generan la ocurrencia de deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo se podrá realizar una correcta evaluación de estos fenómenos en el municipio para aplicar medidas de reducción y mitigación.

La tesis se ha estructurado en tres capítulos que responden a los objetivos específicos planteados. En el capítulo I, se brinda una caracterización de las condiciones físico-geográficas y geológicas de la región y su incidencia en los deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo. El capítulo II, brinda metodología y el volumen de los trabajos ingeniero geológicos para la evaluación y cartografía de peligrosidad por deslizamientos y el capítulo III, se ofrece la validación de la metodología y el análisis evaluativo de la de peligrosidad por deslizamientos.

Novedad científica: La realización por primera vez de un sistema de mapas de peligrosidad por deslizamientos basado en Sistemas de Información Geográfica SIG, que permite la evaluación de estos fenómenos para el Municipio Sagua de Tánamo.

Esta investigación ha sido discutida y analizada en las autoridades del gobierno municipal de Sagua de Tánamo y constituye una guía, estándar y referencia para la evaluación de amenaza por deslizamientos en la región.

Los métodos de investigación científica empleados fueron los métodos empíricos y teóricos. Los métodos empíricos utilizados fueron la observación, las mediciones in situ y los análisis de laboratorio. Las bases de datos se procesaron estadísticamente.

Entre los métodos teóricos: Análisis-síntesis, que permitió, del análisis de la investigación documental y de los trabajos de campo y gabinete para concluir en la cartografía de la peligrosidad de los deslizamientos y su evaluación.

### **El impacto económico.**

La realización de una cartografía geotécnica de los peligros por deslizamientos para el municipio de Sagua de Tánamo y su valoración, permite a las organizaciones de gobierno; Planificación Física, Vivienda, Defensa Civil, Grupo de

Reducción de Riesgos y la Asamblea Municipal contar con una herramienta para las proyecciones de desarrollo constructivo en el municipio, el ordenamiento territorial urbano y rural. La construcción de viales, y obras hidrotecnias etc. Admite además un mejor aprovechamiento de los sistemas de defensa nacional en la reducción de desastres por deslizamientos.

Permite integrar y actualizar el inventario de desastres y las evaluaciones de peligrosidad por deslizamiento a nivel municipal. Contribuye a formular actividades de desarrollo de menos vulnerabilidad. Determina las condiciones bajo las cuales los desastres por deslizamientos son más propensos a ocurrir (Susceptibilidad) y contribuye a mejorar los planes de desarrollo de proyectos regionales integrados. Contar con un Sistema de Información geográfica (SIG) que podrá ser una de las herramientas para el ordenamiento territorial, siendo además socializada a nivel municipal.

### **El impacto ambiental.**

El conocimiento, evaluación y cartografía de la peligrosidad por deslizamientos permite un mejor control y manejo ambiental en las zonas de montañas, un mejor ordenamiento territorial y planificación física para el manejo ambiental del municipio en las zonas de montañas.

### **El impacto social.**

Permite mejorar la calidad de vida de los pobladores al reducir los peligros por deslizamientos. Lo que se traduce en:

- La creación y manejo de mapas de susceptibilidad, peligrosidad por deslizamientos.
- Su uso en estudios de proyectos sectoriales de pre-factibilidad y factibilidad y actividades de manejo de recursos naturales.
- La planificación del uso de la tierra.
- Ayuda a los planificadores a identificar medidas de mitigación específica para proyectos de inversión de alto riesgo.



- Localiza facilidades vulnerables críticas para la implementación de actividades de preparación y respuesta para los planes de reducción de desastres por deslizamientos.
- Prueba los “modelos de estimación de daños” para diferentes desastres y múltiples escenarios.
- Crea los planes de preparación y emergencia probando las rutas de evacuación y reubicación de lugares como hospitales y refugios. Controla la movilización de recursos y equipamiento.
- Determina las áreas más afectadas por evaluación de daños.
- Útil en el diseño de reconstrucción y programas de desarrollos.

### **Fundamento teórico y conceptual. Estado del arte:**

El término deslizamiento incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de suelos, suelos y rocas, por efectos de la gravedad y otras fuerzas que contribuyen a su movimiento (Cruden, 1991). Algunos movimientos, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura (Crozier, 1999a, en Glade & Crozier, 2005).

Los primeros trabajos en el uso espacial de la información en el contexto digital para la cartografía de la susceptibilidad por deslizamientos aparecen en los años 70. Entre los primeros se destacan Carrara, *et al.* (1977) en Italia y Brabb, *et al.* (1978) en California. Se han hecho esfuerzos por estandarizar a través de una nomenclatura para la valoración de los deslizamientos (IAEG- Comisión de deslizamientos, 1990; UNESCO-WP/WLI, 1993). (IUGS-Grupo de trabajo de los deslizamientos, 1995), Cruden & Varnes, 1996, realizan un trabajo para obtener el tamaño del deslizamiento y las medidas para mitigar y disminuir la acción de los deslizamientos. En los trabajos presentados por Cruden & Varnes en 1996 aparecen los factores y mecanismos de fallas de los diferentes tipos de deslizamientos que tienen lugar en el medio geológico. Estos autores incluyen

además los elementos de geomorfometría, geología, tipo de suelo e hidrología. (Soeters & Van Westen), 1996, en su trabajo exponen los resultados de la cartografía por deslizamientos basada en el análisis de imagen en los laboratorios y los sensores remotos aplicando métodos geomorfológicos y el análisis de suelos en laderas. Ibsen & Brunsden, (1996); Lang, *et al.*, (1999); Glade, (2001), en este orden de aparición se destacan los trabajos de la cartografía según un inventario de deslizamientos (diagnóstico por deslizamientos de un área). Van Westen, *et al.*, (2004-2005) ofrece una tabla donde se toma en consideración cuatro grupos para la evaluación de la susceptibilidad y la peligrosidad, (Glade & Crozier 2005) publican un artículo tomando los diferentes factores que inciden en los tipos y mecanismos por deslizamientos y analizan su incidencia con los elementos meteorológicos y los efectos hidrológicos según los diferentes meses del año y propone un análisis geodinámico en un periodo de 10 años. Schuster & Kockelman (1996) proponen una serie de principios y metodologías para la reducción de peligrosidad por deslizamiento, utilizando sistemas de prevención, los cuales requieren de políticas del Estado, la colaboración y toma de conciencia por parte de las comunidades

En Cuba el estudio de los fenómenos geológicos ha ido aumentando progresivamente, pero no es hasta la década de los 90 que el tema de los riesgos geológicos comienza a tener auge al realizarse varios trabajos en diferentes partes del país y algunos de estos, ya con la implementación de los S.I.G. Dentro de estas investigaciones se encuentran las realizadas por Castellanos E., en el 2005, donde muestra los resultados del procesamiento de datos del SRTM para obtener la evaluación geomorfológica de amenaza de deslizamiento de terreno. El análisis y procesamiento se realiza empleando técnicas S.I.G. y software de sensores remotos. Mesa, A, (2007) en su tesis de maestría demuestra y realiza la Evaluación de Riesgo Específico por deslizamiento en el municipio Yateras, Guantánamo, la metodología empleada parte de los criterios de inestabilidad, analizando los factores condicionantes y aplicando como herramienta para su combinación un S.I.G, Batista, Y, (2009) en opción al título de máster efectúa la investigación "Evaluación de riesgos por deslizamiento del municipio Bartolomé

Masó. Provincia Granma”, el método que usa para la evaluación de la peligrosidad es el de criterio de expertos y la metodología utilizada, está basada en la implementación de un S.I.G., lo que le permitió la combinación de los mapas de factores, para obtener el mapa de riesgo final. Otros de los trabajos realizados en Holguín que a bordan esta temática es el de Reyes , Y,(2010) que realiza una Evaluación de la susceptibilidad por deslizamiento en el territorio de Moa aplicando métodos geomorfológicos y estadísticos.

Por lo tanto, se puede decir que esta Tesis de Maestría en Geotecnia E Hidrogeología constituye un paso más en la aplicación de este marco teórico, a la evaluación y el cálculo de la peligrosidad por deslizamientos de las laderas y taludes y su cartografía.

## **Capítulo I: Caracterización de las condiciones ingeniero geológicas en el municipio Sagua de Tánamo y su incidencia en los deslizamientos**

### **Introducción**

En el presente capítulo se exponen las características físico-geográficas, geológicas e ingeniero geológicas del municipio de Sagua de Tánamo provincia de Holguín, y su incidencia en los deslizamientos, teniendo en cuenta 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.

Por condiciones que favorecen a la formación de los deslizamientos se entiende todo un conjunto de condiciones naturales y artificiales que facilitan la acción de las fuerzas que alteran el equilibrio del macizo rocoso y de su matriz en la ladera o talud.

Entre las principales características a evaluar en el municipio Sagua de Tánamo que inciden en las condiciones ingeniero-geológicas se encuentran las siguientes:

1. Particularidades climáticas.
2. Relieve del terreno.
3. Geología
4. Tectónica y estratigrafía
5. Condiciones hidrográficas.
6. Hidrogeología y su influencia en la inestabilidad de laderas y taludes.
7. Desarrollo de procesos y fenómenos geológicos
8. Condiciones geoambientales

## 1.1 Ubicación geográfica

El municipio Sagua de Tánamo limita al norte con el municipio Frank País, al sur con las provincias de Guantánamo y Santiago de Cuba, al este con el municipio de Moa y al oeste con el municipio Il Frente de la provincia Santiago de Cuba y el municipio Frank País, con una superficie de 699,9 km<sup>2</sup> (Figura 1.1).

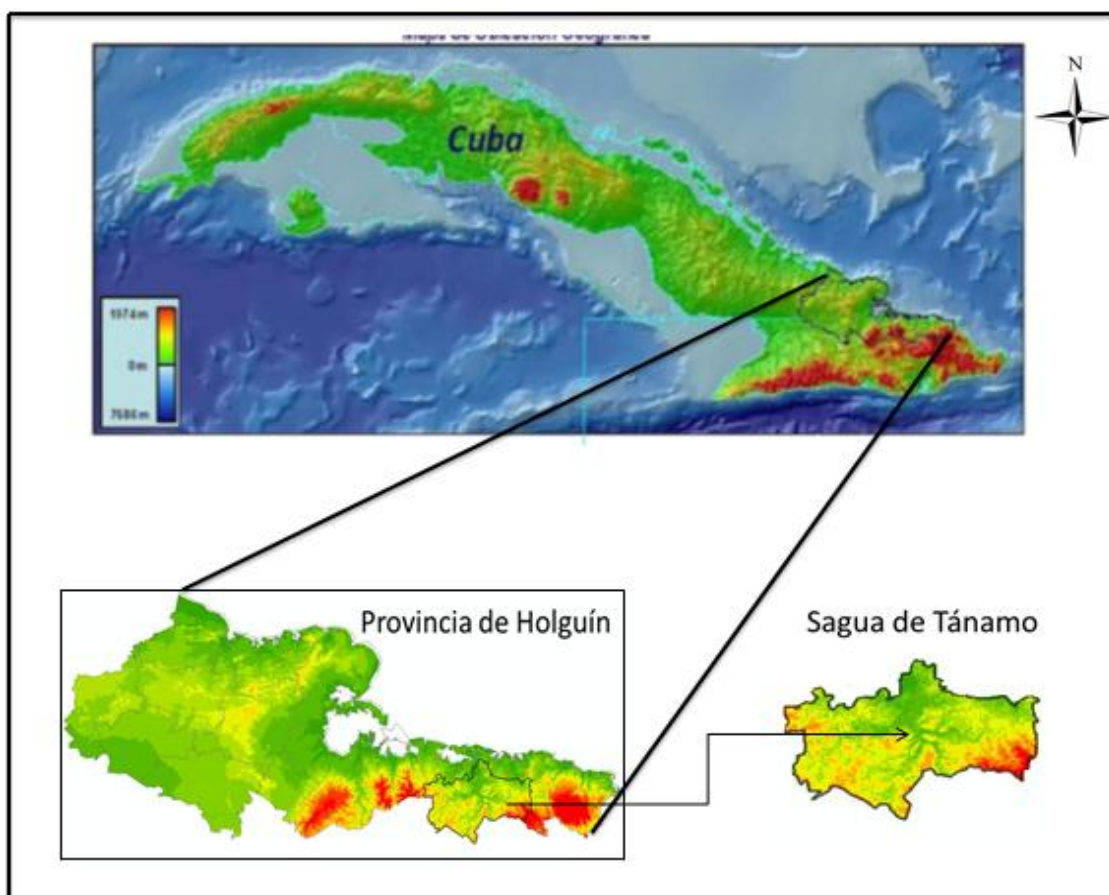


Figura 1.1: Esquema de ubicación geográfica del municipio Sagua de Tánamo

## 1.2 Características socioeconómicas de la región

El municipio cuenta con 48 213 habitantes y una densidad poblacional de 71,1 hab/km<sup>2</sup>, de ellos 23 979 reside en el asentamiento urbano Sagua con un 49,7%, el cual desempeña el papel de cabecera municipal. También está conformado por 14 Consejos Populares (Figura 1.2), 1 urbano, 4 mixto y 9 rurales, así como un Sistema de Asentamiento Humano (SAH) de 78 asentamientos, 1 urbano y 77 rurales, de estos últimos 65 están localizados en la zona de montaña perteneciendo al Plan Turquino, uno de los importantes centros son El Jobo, La

Plazuela, Calabaza, Carpintero, El Sitio, Juan Díaz, Naranjo Agrio y Naranjo Dulce, Alcarraza, Marieta, Castro, San Pedro, El Progreso, mientras que dentro el mismo Sagua están el Martillo, La Rana, Indalla, Ocapuna, Cuatro Vientos ,Sabala.

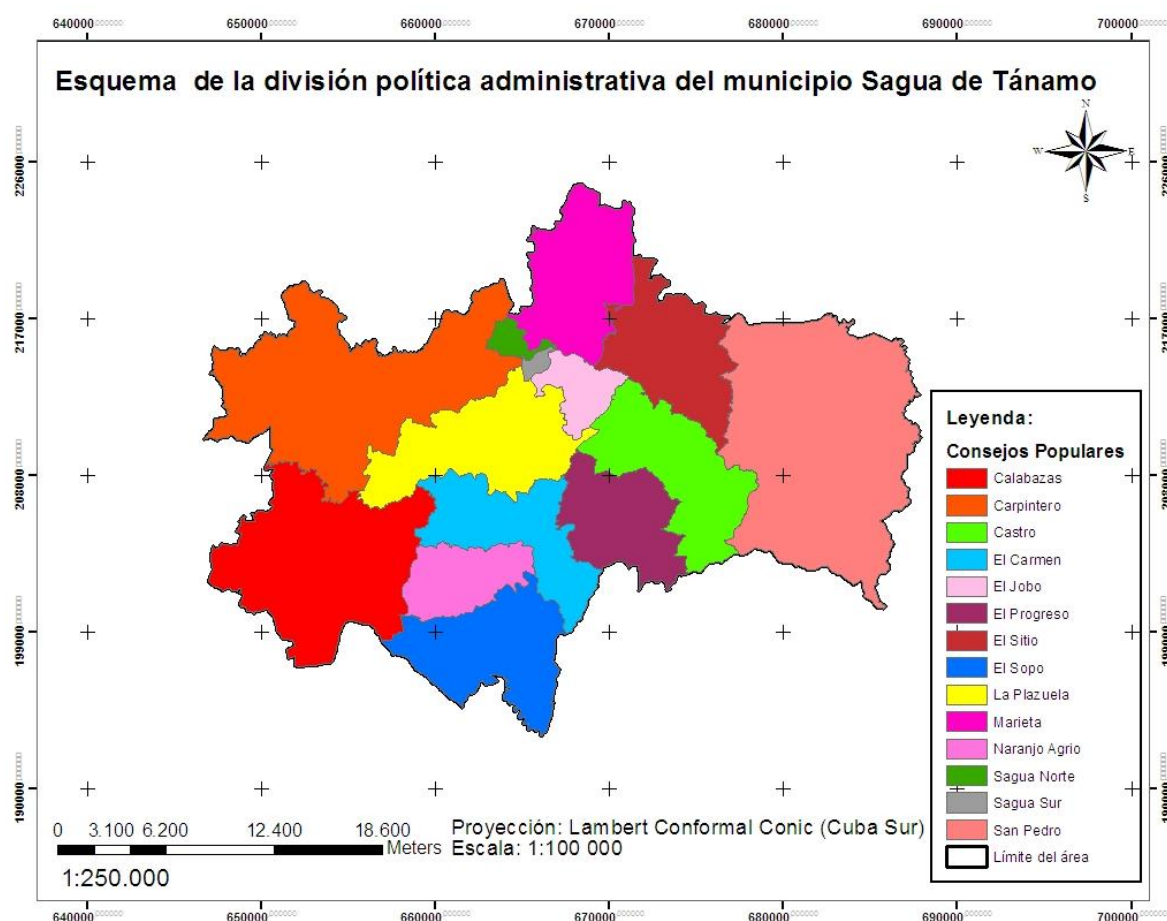


Figura 1.2: Esquema de los consejos populares del municipio Sagua de Tánamo. Escala: 1: 100 000

La actividad económica fundamental es el cultivo del café que es una de las principales ramas de la economía, la caña de azúcar, el tabaco, la actividad forestal, la producción pecuaria y en menor grado los cultivos varios. También se encuentra el comercio, la gastronomía y los servicios, la construcción, la producción alimentaria, las investigaciones, el transporte, así como la actividad de la salud, la cultura, el deporte, la educación y la actividad de los servicios

comunales y personales entre otros. En los estudios de peligro por deslizamientos del terreno las características socio económicas del municipio son muy importantes al evaluar los riesgos. Teniendo en cuenta que la principales actividades económicas de la región como pueden ser la agricultura, la construcción, ya que generan una alteración en el medio natural lo que puede generar zonas de susceptibilidad.

### 1.3 Particularidades climáticas de la región

Las condiciones climáticas ejercen una gran influencia en el régimen hidrológico de los ríos y cuencas hidrográficas contribuyendo al surgimiento y desarrollo de los deslizamientos. Desde el punto de vista climático, la localidad de Sagua de Tánamo se sitúa en una zona subtropical, constituyendo un factor de obligada utilización en la evaluación del medio físico - geológico para la planificación territorial de las actividades en condiciones urbanas y de montaña por la fragilidad de sus ecosistemas. Las precipitaciones promedio anuales oscilan entre 100 y 2000 mm en el municipio (Figura 1.3).

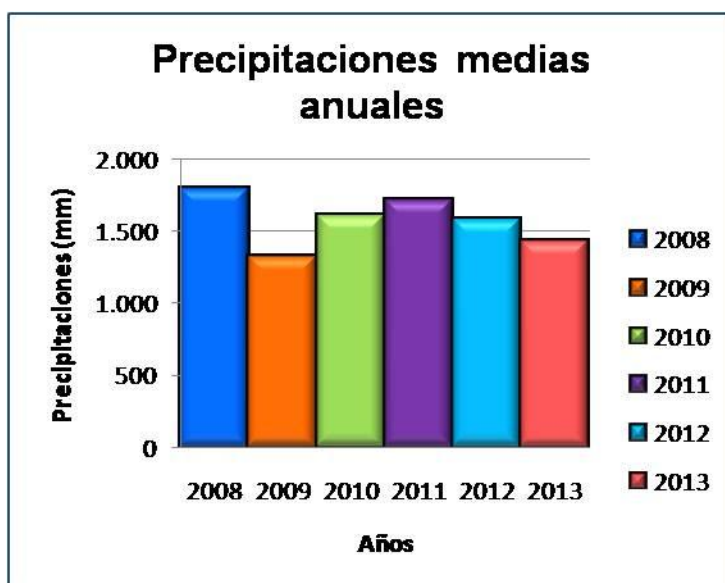


Figura 1.3: Histograma de precipitaciones medias anuales en el municipio Sagua de Tánamo (I.N.R.H 2013).



A partir del gráfico (Figura 1.4).de las lluvias medias anuales se evidencia la existencia de dos etapas , la primera es de un período lluvioso de mayo a noviembre (verano), siendo los meses de lluvias más intensas octubre y noviembre, los cuales presentan valores promedio mensual de 400 a 500mm. La segunda etapa relativamente seca corresponde a los meses de noviembre a mayo (invierno), los meses más secos son enero y diciembre con lluvias menores a los 200 mm. En esta zona las lluvias de verano son convectivas, en invierno son frontales, provocadas por los frentes fríos

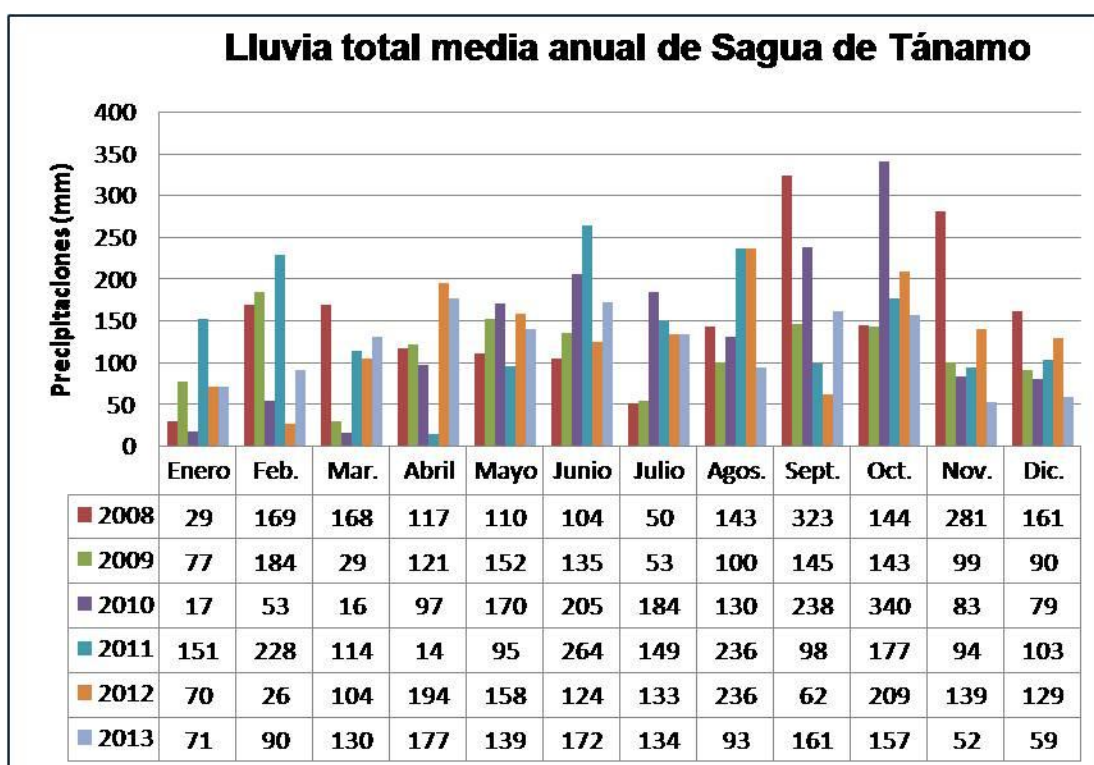


Figura 1.4: Histograma de lluvias total medias anual en el municipio Sagua de Tánamo (I.N.R.H 2013)

La temperatura media anual varían entre 25.4 y más de 27°C siendo el promedio de 26°C, las temperaturas bajas son producidas por el gradiente vertical en las áreas montañosas y por el paso de los frentes fríos. Los vientos predominantes son los alisios del noreste durante casi todo el año y la velocidad de los mismos oscila alrededor de los 13Km/h.



La humedad del aire es elevada durante todo el año para evaluarla se utiliza el concepto conocido como humedad relativa que es la relación que existe entre la humedad absoluta y la que tendría el aire si estuviera saturado de humedad, donde esta humedad relativa del aire es de 83,6% , siendo ésta superior a la media normal (80%), lo cual demuestra que estamos en presencia de una zona con características climáticas húmedas, determinadas por la abundancia de lluvias caídas, así como las bajas temperaturas que reinan durante casi todo el año.

El período comprendido entre diciembre y marzo es el que presenta la mayor frecuencia en la llegada de los Frentes Fríos a la región, de dos por cada mes, (García, *et al.*, 1989). Correspondiendo el período de peligro de la temporada ciclónica entre los meses de septiembre y noviembre, el mes de octubre es el más peligroso. El clima con abundantes precipitaciones, está estrechamente relacionadas con el relieve montañoso, teniendo gran incidencia en el desarrollo de los deslizamientos. En los períodos de lluvia, se forman corrientes hídricas de grandes proporciones y fuerza, contribuyendo a una marcada erosión lateral de fondo en las laderas de los ríos; y en aquellas zonas de escasa la vegetación provoca su inestabilidad.

#### **1.4 Relieve**

El relieve constituye una condición importante que favorece a la formación de los deslizamientos. De clara evidencia sirven su propagación geográfica y su ubicación geomorfológica en el municipio de Sagua de Tánamo, revelando su mayor propagación en las zonas montañosas.

El territorio que comprende el municipio de Sagua de Tánamo, se localiza sobre el flanco central del macizo montañoso Mayarí- Sagua- Moa de la provincia de Holguín. En general la morfología observada en el área corresponde a un relieve montañoso con una marcada influencia estructural, está representado por grandes unidades que se corresponden con algunos grupos orográficos del complejo ofiolítico. El eje de la cordillera (las crestas principales) presenta una orientación predominantemente este-oeste, con cambios bruscos de dirección en

ángulos de aproximadamente 90 grados (perfil en zigzag). Las divisorias laterales se observan en sentido sur-norte principalmente alineadas.

En el sistema montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, donde se enmarca el territorio estudiado tienen gran importancia desde el punto de vista geológico, desempeñando un papel muy marcado en la conformación del plano morfo estructural debido a la vigorosa reconstrucción neotectónica. Como resultado de los ascensos neotectónicos débiles y moderados se fue elaborando su morfología bajo control estructural.

Dado el carácter diferenciado e interrumpido de los levantamientos neotectónicos, se destacan escalones morfoestructurales, que desde el punto de vista geomorfológico se distingue como forma de relieve de premontañas con alturas que no sobrepasan los 300 m, constituidas por serpentinitas y rocas no carbonatadas.

Su morfoestructura es de horst y bloques en plegamientos y monoclinales (Portella *et al.*, citado en N.A.N.C., 1989) que se corresponde con los cuerpos de rocas elevadas en la etapa neotectónica.

El relieve de la región es el resultado de un incesante desarrollo y de la compleja intervención de factores internos y externos. Al analizar el mapa tectónico se observa que este tipo de relieve se encuentra asociado a las trazas de las fallas principales que cruzan el área. Podría entonces plantearse que se trata de un relieve de origen estructural denudativo. Las colinas presentan cimas anchas de pendiente suave y vertientes cortas de pendientes altas a muy altas.

El relieve constituye una condición importantísima que favorece la formación de deslizamientos. Aspecto importante a resaltar se refiere a la presencia de gran cantidad de cicatrices de antiguos deslizamientos. Los tamaños son variables pero en general las coronas principales presentan en algunos casos hasta 200 metros de longitud. Su presencia corresponde a la dinámica natural de evolución del sistema montañoso. Las observaciones revelan que con mayor frecuencia los deslizamientos están propagados en regiones montañosas, en tramos con relieve

bruscamente accidentado, en las laderas escarpadas de los valles fluviales, en los taludes de desmontes y canteras. En general, el relieve del terreno y la situación orográfica de la región crean reservas de la energía potencial, la cual condiciona el desarrollo de los fenómenos de deslizamientos.

### 1.5 Condiciones hidrográficas.

El municipio Sagua de Tánamo cuenta con una red hidrográfica (Figura 1.5) bien desarrollada que corre de sur a norte y de norte a sur, la misma es de tipo dentrítica, aunque en algunos casos se observa la red subparalelas. Esta red hidrográfica está representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se encuentran de este a oeste como son: Castro, Santa Catalina y Miguel los cuales son de carácter permanente, drenando en el mismo sentido que representa la red. Estos ríos desembocan en el río Sagua de Tánamo apreciándose en los mismos una zona de erosión y otra de acumulación. Son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como origen las zonas montañosas del grupo Sagua-Baracoa.

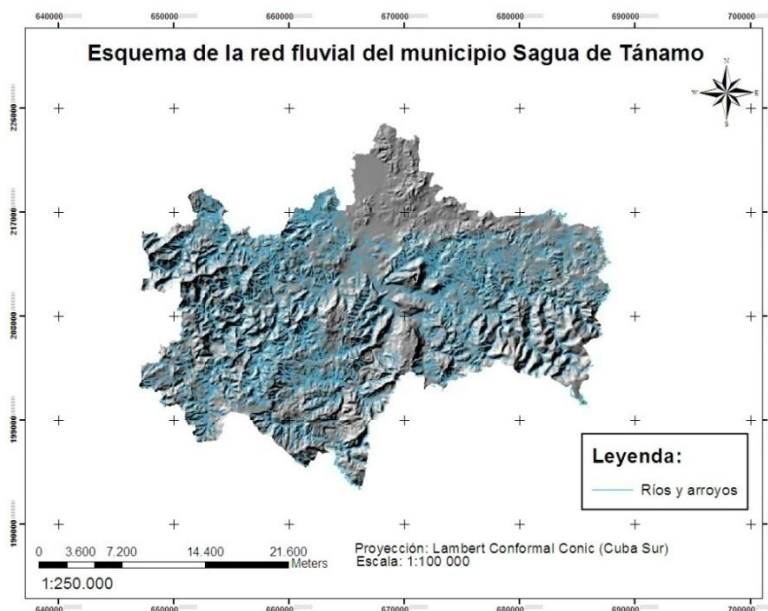


Figura 1.5 Esquema de la red fluvial del municipio Sagua de Tánamo. Escala 1:100 000

El nivel de los ríos varía con las precipitaciones, los niveles más bajos se observan en el período de seca y los más elevados en la época de lluvia. La cuenca del río

Sagua de Tánamo (Figura 1.6) tiene un área de 1 127,6 km<sup>2</sup> hasta la ciudad de Sagua de Tánamo, tiene una longitud de 89 km y su nacimiento se localiza en la Sierra del Guaso. Uno de los afluentes es el río Bayate, en esta área la forma de esta cuenca es prácticamente redonda hasta la ciudad, de aquí a la desembocadura se estrecha de forma de embudo. La zona superior de la cuenca Sagua y Miguel esta deforestada, no así como los ríos Castro y Santa Catalina, otra particularidad de la cuenca del río Sagua y sus afluentes es que estos tributan muy próximos uno de otros y tienen longitudes , red de drenaje y pendiente de la cuenca muy similares. Todo esto trae como consecuencia que cuando llueve torrenciales debido a fenómenos meteorológicos, como son depresiones, ondas tropicales, bajas o ciclones se producen grandes crecidas en afluentes independientes uno de otro o en su cuenca total y este río abarca las tres provincias más orientales de la región: Guantánamo , Santiago de Cuba y Holguín.



Figura 1.6 Vista del Río Sagua a la altura del paso de San Andrés 8 km de la ciudad de Sagua de Tánamo aguas arriba.

La evaluación de las características hidrográficas tiene gran importancia ya que estas áreas están cercanas a los ríos, donde estas pueden estar bajo determinadas condiciones susceptibles ante la ocurrencia de deslizamientos de tierra, teniendo en cuenta que estos representan el escurrimiento superficial de los suelos y a la vez la saturación de los mismos, aumentando la erosión, creando condiciones inestables en las laderas más cercanas a los ríos (Sulma C. 2003).

## 1.6 Geología regional y local

La Geología es compleja en la región de Sagua de Tánamo, en ella aparecen rocas de las más diversas formaciones geológicas, edades y composición litológica. (Figura 1.7).

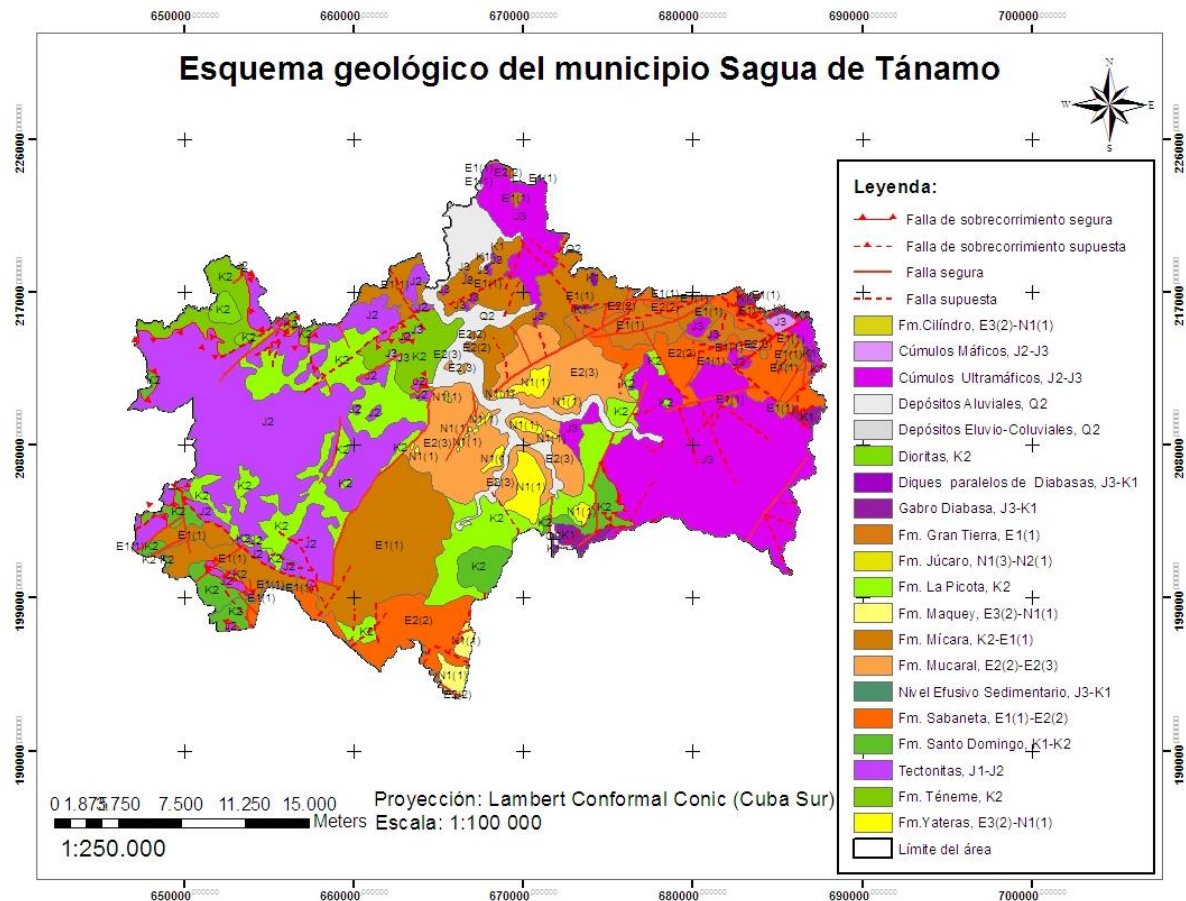


Figura 1.7: Esquema geológico del municipio de Sagua de Tánamo. Escala: 1: 100 000. Modificado del IGP, 2001

## Estratigrafía

Cada una de las formaciones nombradas fueron tomadas del Léxico Estratigráfico de Cuba 2013 del IGP y del mapa a escala 1:100 000 modificado del IGP 2001. La figura 1.8, corresponde a un perfil del borde de la cuenca de Sagua de Tánamo (Quintas F, 1989) que representa la complejidad geológica y los diversos cabalgamientos que en ella tienen lugar (Figura 1.8). La región presenta diversos

complejos rocosos que son representativos de las etapas de su evolución geológica. A continuación se describen las formaciones presentes en el área de estudio, donde se tienen en cuenta las rocas que se encuentran dentro de estas y sus principales características geológicas - estratigráficas:

**Cúmulos máficos y ultramáficos**, edad Jurásico Cretácico Temprano (Iturralde Vinent, 1996) constituidas por harzburgitas y peridotitas. Se considera que estas rocas serpentinizadas poseen un espesor superior a los 1000 metros, se presentan en forma de escamas tectónicas muy fracturadas (Fonseca *et al.*, 1985).

**Formación LA PICOTA (lpc)** G. E. Lewis y J. A. Straczek, 1955, J. L. Cobiella (1975). (Cretácico Superior). Se deriva de La Picota, Sierra de Cristal, provincia de Santiago de Cuba. Conglomerados polimícticos con intercalaciones de areniscas polimícticas y conglomerados con brechas mal seleccionadas, que se intercalan con argilitas. Los clastos son predominantemente de diabasas y serpentinitas, calizas, rocas efusivas de composición media a básica, gabros, dioritas y piroxenitas. El tamaño de los fragmentos varía desde algunos centímetros hasta cientos de metros. La selección de los clastos es pobre y la matriz fragmentaria, de igual composición que la de los clastos. Su localidad tipo se encuentra en la loma La Picota se propaga por la periferia del macizo orogénico Nipe - Cristal, y en la cuenca Sagua de Tánamo y Baracoa. En el territorio de trabajo estas rocas se encuentran en franjas discontinuas del río Sagua, aparece en el valle del río Santa Catalina en forma de restos erosionales aislados y la encontramos cerca del arroyo la Novilla, Serrajon y San Mateo. La formación está constituida por sedimentos clásticos, generalmente de granos gruesos mal seleccionados mal estratificados y débilmente sementados, los clastos y guijarros se componen de tobas ácidas a intermedias de lavas andesíticas y basaltos, diabasas, gabro, rocas ultrabásicas serpentinizadas, raramente calizas, aleurolitas y guijarros



lateríticos, es característico el color pardo rojizo en los gujarros sometidos a meteorización. Las arenas de composición más o menos similares son de color gris, amarillo o pardo, sus granos van de finos a gruesos, las margas son de color amarillento, las arcillas son de color rojo y pardo.

Esta formación yace en discordancia indistintamente angular y erosional sobre la formación Santo Domingo y las rocas ultrabásicas. Se encuentra plegada fracturada formando un anticlinal entre los ríos Sagua y Guaso. Las capas tienen buzamiento entre veinte y treinta grados hacia el norte o norte noroeste.

**Formación MÍCARA, (mcr).** Cobiella, J, 1973. (Cretácico Superior-Paleoceno Inferior) Su nombre proviene del río Mícará, afluente del río Sagua en las cercanías del pueblo de Mayarí Arriba, Por su composición, esta unidad se puede dividir en tres partes: inferior, media y superior.

- **Inferior:** constituida por limonitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas.

**Media:** secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, limolitas, gravelitas y conglomerados. Los olistolitos son de brecha y ultrabasitas serpentinizadas. La estratificación es buena.

**Superior:** predominan las limonitas y subordinadamente brechas y areniscas tobáceas, en su parte más alta, con intercalaciones de tobas ácidas bentonitizadas y calizas. Presentan buena estratificación. Las areniscas, limonitas, brechas, gravelitas y conglomerados son polimícticos. Las calizas son biodetríticas, arenosas y brechosas. Algunas veces, en la parte alta de la formación las areniscas y limonitas tienen un contenido alto de tobas vitroclásticas y cristaloclásticas y de tufitas psammíticas.

Son brechas tectónicas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges. Su localidad tipo se encuentra en el valle de Mícará en Santiago de Cuba. Se propaga por el flanco sur de la zona cristal desde Sabanilla de Mayarí Arriba hasta

Naranjo, en toda la depresión de Sagua de Tánamo y en el borde norte de la Sierra de Cristal entre Collazo y Sagua de Tánamo. Esta formación se compone de fases terrígenas y terrígenas carbonatadas de edad Maestrichtiano a Daniano.

Las secuencias inferiores tienen un marcado carácter molásico mientras que la superior es flichóide. La formación Mícara según F. Quintas 1989, está compuesta esencialmente por limonitas, areniscas y conglomerados vulcanomícticos cuyos clastos se dividen de la erosión de las rocas volcánicas y vulcanógenas sedimentarias de la formación Santo Domingo, así como, por clastos de gabros, dioritas y serpentinas.

**Formación SANTO DOMINGO,(sd)** Iturralde-Vinent,1976.(Cretácico Inferior (Aptiano) - Cretácico Superior) (Turoniano.): Su localidad tipo se encuentra en Santo Domingo, al sur de la localidad, calabazas al sur de la provincia Santiago de Cuba. El corte típico este dado por el predominio de la parte baja del perfil de tobas estratificadas, de composición básica e intermedia con intercalaciones de cuerpos subvolcánicos de gabros, diabasas, dioritas y dioritas cuarcíferas en forma de sílice, que en profundidad continúan en cuerpos hipabisales de dioritas y andesitas. Esta formación está compuesta por rocas volcánicas y vulcanógenas sedimentarias las más frecuentes son las tobas que en la parte occidental presentan una composición un poco más ácida que en la oriental variando de rango de rocas básicas a intermedias. Son tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas, calizas estratificadas color grisáceo.

**Formación TÉNEME (Cretácico)** son tobas y lavabrechas andesíticas, dacíticas, tufitas, argilitas, limonitas vulcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas.



**Formación CILINDRO**, Oligoceno Superior -Mioceno Inferior parte baja ,(Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O’Conor, 1990; Crespo, 1996).se conforma de conglomerados polimícticos con estratificación lenticular y a veces cruzadas, débilmente cementada con lentes de areniscas que contienen lignito. La matriz es arenítica-polimíctica, conteniendo carbonato, Coloración abigarrada. Su espesor se estima en la decena de metros.

**Formación GRAN TIERRA, (gt).** (Iturralde-Vinent, 1976); (Cobiella, 1978); (Quintas, 1989). (Paleoceno Inferior, Daniano).Se compone principalmente de conglomerados monomícticos con cemento calcáreo, que transicional hasta calizas fragmentarias producto de la disminución del volumen de material clástico. Se intercalan areniscas calcáreas vulcanomícticas y tobaceas, limonitas, tufitas, margas y tobas. Sustrato plegado.

**Formación JÚCARO, (jcr),** (Nagy et all, 1976; Gyarmati & LeyéO’Conor, 1990).(Mioceno Superior-Plioceno). Calizas, por lo general arcillosas, que se desagregan en pseudoconglomerados, calcarenitas, margas, limolitas, en ocasiones con gravas polimícticas, arcillas yesíferas, localmente aparecen dolomitas. Contiene horizontes fosilíferos. Puede existir un conglomerado basal. Colores amarillo y crema que, por alteración, pasan a rojo y violáceo.

**Formación MAQUEY, (mq)** Fue definida por O. E. Meinzer, 1933; C. Schuchert, 1935; F. G. Keijzer, 1945; G. E. Lewis and J. A. Straczek, 1955; M.T. Kozary, 1955a; M. A. Iturralde, 1976; G. L. Franco, 1976, 1980a; L. M. García, 1978. (Cobiella, J, 1988; Quintas, F, 1989; Crespo, 1996).Oligoceno Superior - Mioceno Inferior parte baja. Alternancia de areniscas, limonitas y arcillas calcáreas de color gris y margas de color blanco a crema, que contienen intercalaciones de espesor variable de calizas biodetríticas, arenáceas y gravelíticas decolores blanco amarillo y

crema, ocasionalmente amarillo grisáceo. La estratificación es fina a media, menos frecuentemente gruesa o masiva. Algunos horizontes, particularmente de limonitas y calizas biodetríticas, son fosilíferos, en los que abundan grandes lepidocyclinas. Otros horizontes contienen yeso, lignito y restos vegetales lignitizados.

**Formación MUCARAL, (mcl)** (Cobiella,J, 1983.) (Eoceno Medio- Eoceno Superior).Un perfil entre Loma Mucaral y el valle inferior del río Castro, al SW del pueblo de Sagua de Tánamo, provincia de Holguín, sirve de holoestratotipo de esta formación. Se establecieron dos hipoestratotipos: el primero, es un perfil ubicado a unos 4 km al S-SE del pueblo de Sagua de Tánamo, entre el arroyo Lindero (afluente del río Sagua) y el río Sagua, provincia de Holguín. Secuencia terrígena compuesta principalmente por margas, margas arcillosas y margas calcáreas bien estratificadas, con intercalaciones frecuentes de calizas margosas, arcillosas y biodetríticas, más raramente de areniscas calcáreas. La secuencia, en su parte inferior, presenta intercalaciones frecuentes de margas y calizas tobáceas, de tobas y tufitas redepositadas que en varios lugares es subyacente.

- **Formación SABANETA, (sn)** (Iturralde-Vinent, 1976. Iturralde-Vinent Quintas, F, *et al*, 1995) (Paleoceno Inferior- Eoceno Medio) El holoestratotipo es un perfil en la carretera Guantánamo-Sagua de Tánamo, la cual yace sobre una secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) (Iturralde-Vinent, 1976) o descansa discordantemente sobre las formaciones Mícara y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Nagy, *et al*, 1983)(Albear, *et al*, 1988,). Tobas de ácidas a medias, de colores claros, vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, limonitas, margas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos y ocasionalmente pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito- basaltos y andesito-

dacitas. Es muy característica, debido a la alteración de las tobas, la presencia de minerales del grupo de la montmorillonita (bentonita) y de las zeolitas (zeolitas). En las tobas, el promedio de vidrio volcánico es superior al 60%.

**Formación YATERAS, (yt)** (Iturralde-Vinent, 1976; Nagy, 1976; Cobiella, J, 1978; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990; Manso, 1995; Crespo, 1996). (Oligoceno Superior - Mioceno Inferior). Se establecieron dos hipoestratotipos: el primero, es un perfil en la elevación Alto de Majimiana, a unos 8,5km al S-SE del caserío de Calabazas, Areniscas de grano fino, conglomerados de cemento terrígeno, con clastos de calizas biodetríticas, calizas arrecifales, alternancia de calizas detríticas, biodetríticas y biógenas, de grano fino a grueso; estratificación fina a gruesa o masivas, muy duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas. Por lo general, la coloraciones blanca, crema o rosácea, menos frecuentemente marrón (carmelita). Es frecuente la presencia de grandes foraminíferos (lepidocyclinas) en las calizas de la unidad se compone de alternancia de calizas biodetríticas y detríticas y calizas biogénicas de granos finos a gruesos, duras, de porosidad variable. Se observan parches aislados en el curso superior de los ríos Mayarí y Sagua de Tánamo.

**Formación SAGUA DE TÁNAMO**, Albert, *et al*, 1988, Quintas, F, 1989

Su localidad tipo se encuentra al SE de la ciudad de Sagua de Tánamo entre los ríos Sagua y el arroyo Lindero. La serie terrígena- carbonatada ocupa un área en los alrededores de las confluencias de los ríos Santa Catalina, Castro y Sagua. La formación está constituida por alternancia de margas, calizas margosas y raramente calizas que contienen intercalaciones de conglomerados y areniscas. Las margas son de color blanco cremoso o grisáceo generalmente compactas aunque la variedad arcillosa es más friable. La serie carbonatada se encuentra bien estratificada al igual que las areniscas.

- **Sedimentos Cuaternarios:** Están representados fundamentalmente por aluviones depositados por los ríos de la zona, los cuales alcanzan un área notable en las partes más llanas y se componen de una variedad litológica de clastos de rocas calcáreas, serpentinitas, calizas estratificadas que en algunos casos alcanzan hasta 2.00m de potencia en la llanura de inundación. Constituyen una cobertura generalmente delgada casi continua y de tipo continental, que cubren el área. Aparecen suelos grises y oscuros de una potencia de hasta 50cm, producidos por la meteorización de rocas y areniscas en pequeñas zonas de afloramiento de la Formación Mícara, sembrados de caña principalmente y desarrollo de pastos.

Los contactos observados por las estructuras circundantes son tectónicos. La estructura es compleja debido al emplazamiento tectónico, estando afectadas tanto por dislocaciones plicativas como disyuntivas de diferentes tipos y ordenes de importancia. Las secuencias ofiolíticas representadas por serpentinitas, wherlithas, peridotitas con textura de tectónicas, cúmulos ultramáficos, diques de diabasas, niveles efusivos sedimentarios. Estas secuencias constituyen la denominada faja ofiolítico Mayarí- Baracoa (Iturralde- Vinent, 1996). También se encuentran presentes en esta zona varios tipos de depósitos como por ejemplo los aluviales y eluvio - coluviales.



Figura 1.8: Esquema del perfil del borde de la cuenca de Sagua de Tánamo (Quintas, F, 1989)

Los deslizamientos que tienen lugar en la región están relacionados con la litología y una estructura geológica determinada. En la mayoría de los casos, los deslizamientos están propagados en laderas compuestas por suelos arcillosos donde en el grueso de las rocas que los constituyen, se encuentran capas, intercalaciones, zonas de suelos arcillosos, aditivos arcillosos u otras rocas que forman las superficies de discontinuidad y zonas de debilitamiento; por último, en lugares de las laderas donde hay acumulaciones considerables de facies eluviales, diluviales y proluviales arcillosas. El análisis de las condiciones de formación de deslizamientos en los suelos rocosos enseña que en estos casos el relleno arcilloso en las grietas y los aditivos arcillosos en las superficies de las grietas facilitan de modo considerable la alteración del equilibrio de las masas de rocas. La formación de deslizamientos resulta más favorable en tramos donde en la estructura geológica de las laderas o taludes hay superficies potenciales de resbalamiento, orientadas de modo desfavorable, es decir, que su pendiente está dirigida en el sentido de las pendientes de las laderas.

### **1.7 Tectónica**

La falla Miraflores es el principal elemento de subducción regional del territorio, tiene dirección NW-SE con un ligero arqueamiento hacia el SE. Se compone de varias fallas subparalelas trazo irregular, deformado. El ancho de la zona es variado puede alcanzar cuatro kilómetros. Los tramos de fallas han sido, cartografiados en el campo, su parte noroccidental está parcialmente cubierta por sedimentos paleogénicos enmascarados por fallas más jóvenes; las zonas de falla son verticales, las rocas dentro de la zona están muy trituradas, también están orientadas subparalelamente conformando un sistema de fallas. En ella se encuentran rocas de la asociación ofiolíticas y de la formación Sierra del Purial.

La cuenca Sagua de Tánamo está delimitada al este por la falla Miraflores y al sur por el bloque elevado de la Sierra de Maquey, al norte continua en la costa del océano atlántico. Castañeda, S, (2003).

Esta cuenca está afectada por fallas compresivas laramílicas y postlaramílicas de rumbo NW-SE, al sur del poblado Cebolla una falla de igual dirección a la

anterior delimita la extensión territorial de la formación Mícará y Gran Tierra aparecen formas suavemente plegadas con eje de dirección NE-SW, E-W, NW-SE y N-S que no son correlacionables con el sistema de falla protocubana conocidas.

**Bloque Sierra Maquey:** se limita al norte y al noroeste por el hundimiento de la cuenca de Sagua de Tánamo, al noreste está cortado por fallas Miraflores-Rito, se considera un bloque elevado entre una cuenca y una falla, en su parte central predominan las rocas ultrabásicas (ofiolitas) y en los bordes las rocas del arco volcánico superior. Las peridotitas de la sierra Maquey presentan una forma ovalada negativa con su eje de 3 y 5 Km de longitud que se manifiestan en el bandeamiento de la roca que puede tener un origen magmático tectónico. Las zonas periféricas de las ultrabásitas están atravesadas por diques de diabasa.

La región pertenece a una zona transicional con características de anomalías gravimétricas con valores de isolíneas entre 70 y 140 Mgal que se encuentran entre el máximo de la meseta y el mínimo de la costa NE. Se supone que el bloque de Sierra del Maquey se hunda hacia el oeste en el fondo de la cuenca Sagua de Tánamo en forma escalonada.

Para este bloque son características las fallas compresivas de rumbo ENE-WSW y ESE- WNW que determinan movimientos en las direcciones NE-SW, E-W, N-S. Según datos aeromagnético existe un sistema de fallas de rumbo NW-SE, septentrional con las de dirección NE-SW que son de gran importancia.

La tectónica (Figura 1.9) favorece el desarrollo de los deslizamientos, en las áreas donde existen grandes familias de grietas y fallas, donde es evidente que los movimientos tectónicos han alterado mucho más las rocas, ya que son las zonas más débiles estructuralmente del macizo rocoso.

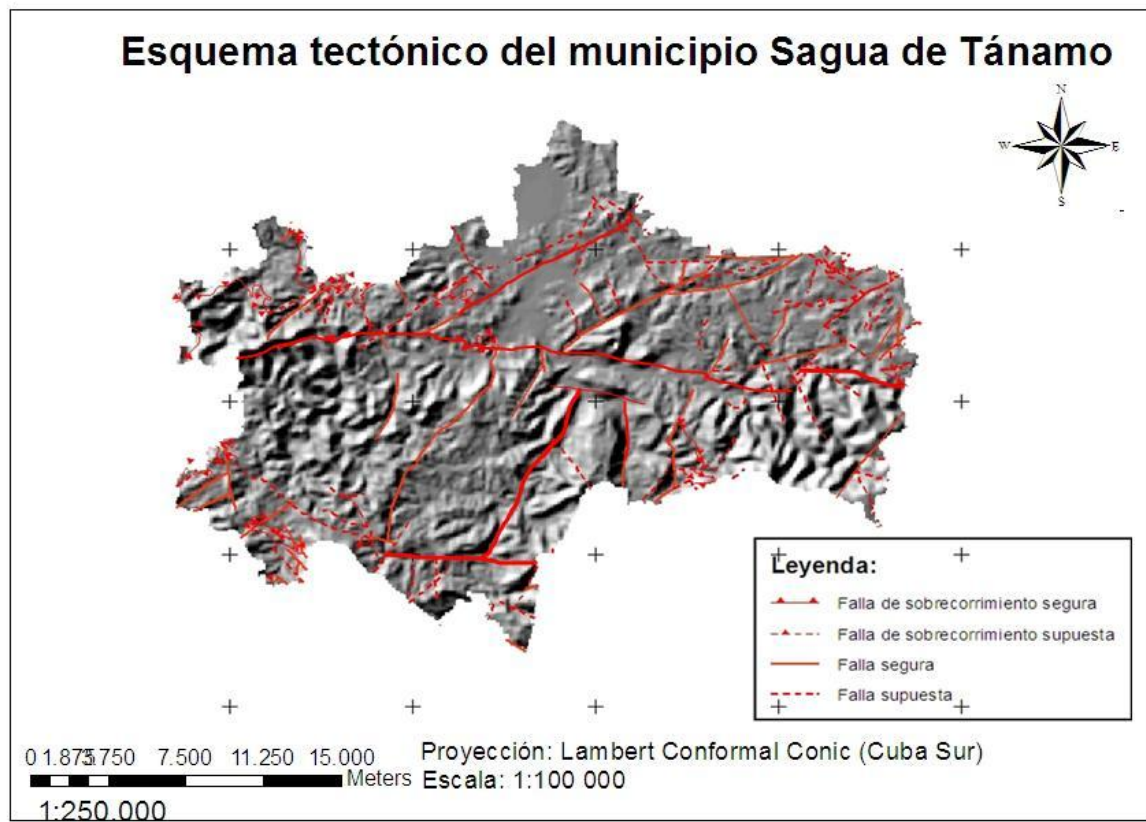


Figura 1.9 Esquema tectónico del municipio Sagua de Tánamo. Escala 1: 100 00. Tomado del mapa geológico del IGP,2001

## 1.8 Hidrogeología regional y su influencia en la inestabilidad de taludes y laderas

Cuando se quiere dar una valoración sobre la hidrogeología de una región hay que tomar en cuenta la influencia que ejercen las precipitaciones como fuente de alimentación de las aguas subterráneas, así como también los cursos fluviales (ríos y arroyos).

La cuenca del río Sagua al norte limita con el océano atlántico, al sur con los límites de la provincia Holguín y Guantánamo en una parte y en otra con los límites de las provincias Holguín –Santiago, al este limita con las cuencas de los ríos Moa y Cananova y al oeste contacta con la cuenca del río grande. También se caracteriza por un ensanchamiento de su parte central y un estrechamiento hacia la costa, la temperatura media es de 25,6°C.



Dentro de la cuenca se localiza hacia el oeste, este y norte en pequeñas porciones el complejo acuífero de los sedimentos lateríticos, hacia el centro el complejo acuífero de los sedimentos terrígenos carbonatados, en el oeste se localiza el complejo acuífero de los sedimentos aluviales y en pequeñas áreas en el norte y sureste el complejo acuífero de los sedimentos piroclásticos, en la costa en forma de una faja estrecha se emplaza el complejo de acuífero de los sedimentos costeros y en el noreste se localiza el complejo de los sedimentos carbonatados del Neógeno(N).

1. Complejo acuífero de los sedimentos lateríticos

Se encuentra al norte, este y oeste en pequeñas porciones, el relieve es bien suave típico de una zona peniplana. La geología está constituida por corteza de intemperismo, formada por la meteorización de las rocas ultrabásicas.

La profundidad del nivel freático varía desde 1-2 m hasta algunas decenas de metros, la mineralización va desde 0.04-0.9g/l y su dureza total es de 5.7 -8.8 mg-eq/l.

2. Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos –carbonatados

Aparece en el municipio de Sagua de Tánamo ocupando la porción central, en el sur el relieve es abrupto con elevaciones de hasta 300msnm, la parte norte se caracteriza por elevaciones pequeñas próximas a los 20m.

La composición geológica está representada por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos o conglomeráticos brechosos.

Complejo acuífero de los sedimentos aluviales

El relieve es propio de terrazas aluviales , por formarse en las terrazas del rio Sagua de Tánamo ,las rocas acuíferas están representadas por depósitos areno-gravoso los cuales poseen una alta conductividad acuífera y son alimentados directamente por las aguas fluviales ,el coeficiente de filtración de las rocas es elevado y oscila entre 13-290m/días.

Las aguas son dulces generalmente, poco mineralizadas (0,2-0,9g/l), siendo por su composición hidrocarbonatada magnésica cálcicas y el PH varía entre 7,5-8,5.

3. Complejo acuífero de los sedimentos carbonatados del Neógeno



Está constituido por una faja costera al norte del poblado de Frank País, el relieve es ligeramente ondulado, en ocasiones forma terrazas marinas. La geología la constituye calcarenitas de granos medios y finos de material aleuríticos e intercalaciones de margas y calizas finamente estratificadas pertenecientes a la formación Júcaro.

El coeficiente de filtración es de 10m/día en las calcarenitas y en las rocas menos acuíferas es de 4m/día, la profundidad de las aguas freáticas es de 6m en las calcarenitas y de 25 m en las margas.

#### 5. Complejo acuífero de los sedimentos costeros

El complejo forma una franja estrecha al norte de la cuenca con unos 2 km de ancho, el relieve es costero ligeramente ondulado, constituido por terrazas marinas y llanuras deltaicas con costas que oscilan entre 0 -3m.

El coeficiente de filtración puede alcanzar 268,4 m/día, el gasto puede llegar a 140l/seg mientras que el gasto específico alcanza valores de 93,4l/seg/m en las calizas.

#### 6. Complejo acuífero de los sedimentos piroclásticos.

Se encuentra situado en la parte central en los extremos este y oeste del municipio Frank País, en el este del municipio Sagua de Tánamo y en el oeste del municipio Moa, el relieve es variado siendo llano en la parte norte.

La geología está representada por secuencias de tobas y lavas con aglomerados en cantidades subordinadas, areniscas tobaceas, lavas andesíticas, las rocas acuíferas de estos complejos son las calizas de la formación Puerto Boniato, las cuales por lo general aparecen carstificadas.

#### 7. Régimen de las aguas subterráneas

La mineralización generalmente es baja comportándose con valores menores que 0,8g/l, en general podemos decir que las aguas tienen una mineralización baja y oscila entre 0,3 1,1 g/l. La composición química de las aguas es predominantemente hidrocarbonatada-clorurada-magnésica-cálcica. Los gastos de explotación son variables en dependencia del lugar, hacia la zona norte de la cuenca, los gastos de explotación son pequeños y hay que explotar estas aguas de forma racional debido al peligro de una intrusión salina.

Las laderas formadas por rocas saturadas de agua son más favorables para la formación de deslizamientos que aquellas zonas formadas por suelos drenados. Se sabe que no es posible evaluar la resistencia y la estabilidad de las rocas sin tomar en consideración la humedad y la capacidad acuífera. Por eso al caracterizar y evaluar la estabilidad de las laderas y taludes, así como las condiciones de formación de deslizamientos es preciso considerar las aguas subterráneas como una de los factores más importantes. Y su importancia no radica en su grado de irrigación sino en el grado de humectación.

### **1.9 Procesos y fenómenos geodinámicos**

Las condiciones favorables para la formación de deslizamientos suelen crearse cuando evolucionan los procesos y fenómenos geológicos acompañantes. Por ejemplo la meteorización de las rocas, los procesos erosivos que tiene lugar en las laderas y taludes, el carso, la acción de las aguas subterráneas, los movimientos neotectónicos y sísmicos, entre otros, los que facilitan la acción de esfuerzos de fallos o cortantes en las laderas y taludes provocando su rompimiento. Por esta razón al efectuar medidas para reducir los efectos del deslizamiento con frecuencia surge la necesidad de analizar el proceso a partir de los procesos y fenómenos que los provocan.

#### **Los fenómenos de la meteorización:**

Es uno de los fenómenos geológicos más importantes ya que está vinculado a los procesos de alteración que producen en la roca las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia, facilitando la ocurrencia de deslizamientos. En el municipio de Sagua de Tánamo estos procesos están relacionados a los diversos tipos de rocas que como las secuencias ofiolíticas, se distribuyen en el municipio. Las condiciones climáticas, el relieve, la tectónicas y las características mineralógicas de las rocas favorecen los procesos de meteorización. (Figura 1.10).



Figura 1.10. Corteza de meteorización en el consejo popular Sagua Sur en el municipio Sagua de Tánamo.

Las formaciones antes descritas en este capítulo, poseen determinado grado de alteración. El grado de meteorización en las rocas sedimentarias, terrígenas, calcáreas etc. es menor que en las serpentinizadas, y en las diabasas.

### **El carso**

En la zona son frecuentes los sedimentos calcáreos, rocas que se caracterizan por su solubilidad ante la presencia de aguas enriquecidas en CO<sub>2</sub> y otros elementos orgánicos. Este proceso de disolución de las calizas provoca: el incremento de su porosidad, la ampliación de las grietas, el debilitamiento de su dureza y resistencia, la formación de cavernas y, en general, el surgimiento de un paisaje superficial y subterráneo, denominado relieve cárstico (o kárstico, o cársico). El municipio de Sagua de Tánamo no presenta un marcado paisaje cárstico como es observado en otras regiones del país. Sin embargo la presencia de rocas solubles carbonatadas y de yeso hace en la zona la ocurrencia de estos fenómenos (Figura 1.11). En estos tipos de terrenos cársticos, otro evento geológico generador de desastres son los desplomes de los techos de las cavernas, estos ocurren con frecuencia; evidencia de ello son las propias bocas de las cavernas, que, en su mayoría, han sido formadas por derrumbes. Este es un riesgo al que se exponen sobre todo en los viales, presas e instalaciones que se construyan en zonas cársticas. Por ello, estas obras deben estar precedidas por investigaciones

ingeniero-geológicas del sustrato donde se habrá de colocar los cimientos, para evitar que se sitúe una obra por encima del techo de una caverna.



Figura 1.11. Manifestaciones cársticas en el municipio de Sagua de Tánamo

Según la clasificación del Carso Cubano este se puede catalogar como Carso de Montaña. Ya en detalle, para distinguir los macizos cársticos entre sí, toma en cuenta también la estructura, tectónica, agrietamiento y espesor de las rocas cársticas. Asimismo, las clases de carsos puede quedar subdivida, además de por su altura, teniendo en cuenta un criterio climático-zonal, en dependencia del volumen de precipitaciones y composición de las aguas. Los tipos y clases anteriores Iturralde Vinent M. los agrupa en subtipos, según la composición litológica de las rocas carsificadas. De este modo se distinguen carsos:

**1) Calizos, 2) dolomíticos, 3) margosos, 5) anhídrido-yesos, 6) salinos.**

En nuestro caso encontramos rocas caliza interestratificadas con areniscas calcáreas, materiales calizo margosa, como los descritos en la formación Júcaro, Maquey, Mucaral y Sagua de Tánamo.

### **Los procesos de erosión**

Los procesos de erosión poseen dos tipos de fenómenos, la erosión laminar y la erosión por surcos, cárcavas, etc. La mayoría de los procesos erosivos son resultado de la acción combinada de varios factores, como el climático, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal. En función del principal agente causante de la erosión y del tiempo que sus efectos sobre la superficie terrestres

tardan en manifestarse, se habla de erosión geológica o natural y de erosión acelerada.

Los fenómenos climáticos inician la erosión de los suelos y causan alteraciones en la superficie de sus estratos. En climas subtropicales como el desarrollado en el municipio de Sagua de Tánamo, la lluvia actúa tanto química como mecánicamente en la erosión de las rocas. El agua de los arroyos y de los ríos conforma un poderoso agente erosivo; disuelve determinados minerales y los cantos que transporta la corriente desgastan y arrastran los depósitos y lechos fluviales

La intervención humana de conjunto con otros factores es generadora de gran parte de los fenómenos de la erosión en el municipio. En los terrenos sin alterar, los suelos están protegidos por el manto vegetal. Cuando la lluvia cae sobre una superficie cubierta por hierba u hojas, parte de la humedad se evapora antes de que el agua llegue a introducirse en la tierra. Los árboles y la hierba hacen de cortavientos y el entramado de las raíces ayuda a mantener los suelos en el lugar, frente a la acción de la lluvia y el viento. El desarrollo de la montaña como el que se ejecuta en el municipio conduce a una agricultura y la explotación forestal, la pseudourbanización, la instalación de industrias y la construcción de carreteras contribuyen a destruir parcial o totalmente el dosel protector de la vegetación, acelerando la erosión de determinados tipos de suelos

### **La sismicidad**

Los movimientos sísmicos pueden activar deslizamientos. En el caso de un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados.

Nuestra isla posee tres unidades sismo- tectónicas. Una de ellas se localiza al este del sistema de fallas de Cauto Nipe y de la zona de falla Bartlett-Caimán. Por lo que el territorio de la provincia Holguín no ha estado exento de esos fenómenos.

Esto ha hecho que en Moa y Sagua de Tánamo se sitúen en una zona de alta peligrosidad sísmica. Pudiera estar asociada a un terremoto de gran intensidad (sismo principal) que pueden producir sismos promotores y réplicas. Estas últimos pueden ser de 1 ó 2 grados de intensidad inferior al sismo principal y pueden complicar aún más la situación por lo que pueden perturbarse estructuras ya resentidas por el sismo principal. El municipio de Sagua de Tánamo es atravesado por las zonas sismo generadoras, como Santiago-Moa y Purial, capaces algunas de ellas de generar terremotos entre 7 y 8 grados de magnitud de RICHTER. Se conoce además que los terremotos con epicentro en Santiago de Cuba (20 con  $>7$  en la escala MSK) se han sentido en esta zona, específicamente en esta región han sido perceptibles sacudidas de 5,6 y 7 grados de intensidad como consecuencia de los terremotos fuertes del 3 de febrero de 1932 que estuvo entre 1 y 8 el 7 de agosto de 1947 entre 1 y 7 y el del 12 de junio de 1966 entre 1 y 9 grados en Santiago de Cuba.

Todo esto da la posibilidad de que pudieran ser afectados por sismos de mayor o menor magnitud al estar asociados a las llamadas fallas de interior de placa los principales asentamientos de Sagua, Bazán, La Plazuela, Naranjo Agrio y Calabaza.

En los últimos años el ISMM y Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba, ejecutaron la investigación Ingeniero Sismológicas de la región noroeste de la provincia de Holguín como vía para fundamentar el mapa de PVR por deslizamientos de la provincia de Holguín y que ha centrado como objetivo de esclarecer las características geodinámicas y sismo tectónicas y sus relaciones con la sismicidad del medio.

### **1.10 Condiciones geoambientales regionales**

Como problema geoambientales entendemos aquel que ha propiciado un mayor impacto y que afectan la cantidad y calidad de los recursos naturales en su estrecha vinculación con el desarrollo socioeconómico. Así los principales impactos que tiene lugar se pueden mencionar:

1. Las inundaciones.



2. Los asociados a la actividad agropecuaria
3. La construcción de viales y asentamientos urbanos.
4. Los incendios espontáneos o provocados

## **Las inundaciones en Sagua de Tánamo**



Figura 1.12 Inundaciones en Sagua de Tánamo, Holguín durante el Huracán Sandy.

Las inundaciones se definen como la ocupación ocasional de terreno por el agua, las más frecuentes son las inundaciones producidas por las aguas de escorrentía superficial (ríos, arroyos, torrentes, etc.) que sufren una crecida (avenida) transitoria del caudal, ocasionada por lluvias torrenciales e intensas.

Las inundaciones en Sagua de Tánamo son las catástrofes naturales que causan mayor riesgos de desastre en este territorio. Es el más importante de los riesgos relacionados con la geodinámica externa. El fenómeno de las inundaciones es uno de los que presentan mayor riesgo inducido, ya que las actividades humanas aumentan la gravedad del fenómeno e incluso lo pueden provocar. Por esto, interesa dividir las causas en naturales y antrópicas:

- Causas Naturales: Generalmente de origen climático y meteorológico, como puede suceder por ciclones, huracanes, frentes fríos, etc. que provocan precipitaciones de gran intensidad y duración. La existencia de climas con períodos de marcado estiaje, frente a otras épocas de precipitaciones torrenciales.

Otras causas naturales son las inundaciones por obstrucción natural de cauces fluviales, en las que materiales provenientes de deslizamientos, obstruyen el paso del agua que se ve obligada a salir del cauce produciendo inundaciones.

Causas Antrópicas: Pueden ser directas o indirectas. Entre las causas directas que pueden causar, el desembalse súbito de agua, incremento de aportes sólidos al cauce por explotaciones mineras, escombreras, canteras, obras, prácticas agrícolas y forestales, y obras en el cauce fluvial como diques y canalizaciones (ambos contruidos para evitar inundaciones pueden tener el efecto contrario porque aumentan la velocidad del agua, impermeabilizan el terreno, pudiendo incluso aumentar el caudal), así como construcciones diversas que invaden el cauce (fábricas, viviendas, puentes) que actúan como obstáculos, reduciendo la sección útil del cauce en el caso de crecidas. Esta última situación puede agravarse cuando además se produce una obstrucción a la circulación del agua por la vegetación y otros cuerpos flotantes (incluidas basuras de todo tipo, encontrándose lavadoras, televisores, en ramblas), que quedan retenidos en estos obstáculos. Entre las causas indirectas que pueden causar inundaciones está la impermeabilización del terreno con asfalto y hormigón por aumento de zonas urbanizadas (menos aguase infiltra quedando más agua en escorrentía para producir inundación), prácticas deficientes de cultivo y usos del suelo erróneos (como labrar a favor de pendiente que aumenta la velocidad del agua disminuyendo su posible infiltración, o el excesivo laboreo que facilita la erosión llevando el agua gran cantidad de sedimentos que aumentan la peligrosidad de las inundaciones), erosión de suelos que favorece los fenómenos torrenciales (el suelo absorbe mucha agua por lo que la pérdida de suelo por erosión disminuye la retención de agua) y sobre todo, la deforestación y pérdida de cobertera vegetal ya que la vegetación disminuye la velocidad del agua, frena la erosión y aumenta la infiltración del agua. En los últimos 50 años en Sagua de Tánamo se producían inundaciones cada 2 o 3 años, las pérdidas anuales por inundaciones son más de 14 veces superiores a las producidas en los años anteriores a los 50. En nuestro caso cabe destacar como especialmente peligrosas los cauces secos la mayor parte del año que pueden transformarse en una avalancha suelos y rocas.



## **Erosión**

Desde nuestra óptica el mayor impacto negativo en el territorio es sobre el recurso suelo. Con la actividad agropecuaria ocurre la sustitución de ecosistemas naturales por agro ecosistemas o áreas de cultivos con la consecuente disminución del fondo genético local, la aparición de especies sinántropicas o acompañantes del hombre y formación de bosques secundarios sobre todo cuando ocurre el abandono de las áreas que fueron cultivadas.

Como consecuencia de los desbroces totales se destruye la vegetación y la estructura de los suelos, lo cual propicia la aceleración de los procesos erosivos en esta área de alto riesgo de erosión.

Se identifican en el territorio los siguientes impactos negativos:

- Compactación del suelo: La compactación del suelo ocurre necesariamente en el plano de la vida y además en las laderas de pendientes muy fuertes donde se deben construir taludes de contención. Este impacto significa la pérdida inmediata de parte de los ecosistemas localizados, donde ocurre la disminución de la infiltración, porque las áreas compactadas son superficies lisas de rápido escurrimiento superficial. Esto, lógicamente perjudica el bosque adyacente al disminuir los niveles de infiltración.

- Procesos de encharcamiento de los suelos: Este impacto tiene lugar en las áreas de los suelos enterrados como consecuencia de los vertimientos. Como el material vertido no posee estructura alguna, durante las precipitaciones, la erosión es muy fuerte, pero en cuanto disminuyen las lluvias, el agua se infiltra con facilidad y se desliza lentamente entre la placa de sedimentos y el suelo enterrado.

- Destrucción de las formas naturales y estabilidad del relieve: Este impacto viene dado por cortes de taludes como consecuencia se pierden irreversiblemente el moldeado de la superficie. Este proceso altera además la estabilidad de los procesos geomorfológicos (acarreo, deposición, etc.), deformando la dinámica y funcionamiento del relieve local.

- Deseccación local del clima: Este fenómeno ocurre como consecuencia de los desbroces de la vegetación, en las grandes áreas minadas o taladas, esto disminuye los valores de humedad por falta de evapotranspiración, conjuntamente con esto, al desaparecer la cobertura se posibilita la entrada directa de los rayos solares sobre la superficie del suelo (Sulma C. 2003).

## Capítulo II. Metodología y volumen de los trabajos realizados en la evaluación de peligrosidad por deslizamientos

### 2.1 Introducción

En este capítulo se pretende proporcionar los elementos metodológicos a desarrollar para la realización de evaluaciones de peligrosidad por deslizamiento. Estos componentes metodológicos están dirigidos a un uso técnico administrativo en la municipalidad de Sagua de Tánamo; se brinda además criterios muy básicos y fáciles de aplicar para la identificación, tipificación y caracterización de los peligros por deslizamientos. Proporcionar pautas adaptadas no solo a las necesidades del ámbito municipal, sino también a las posibilidades que ofrece el marco de trabajo, este es el objetivo de la presente tesis el cual forma parte de una serie de dos elementos claves: el primero de ellos está dirigido a las **municipalidades** y el segundo está dirigido a los **especialistas** en el análisis del riesgos en el municipio. También se describen algunos conceptos y la metodología para evaluar el grado de peligrosidad en el municipio de Sagua de Tánamo la cual está fundamentada en un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.). La investigación en las áreas de peligrosidad por deslizamientos se ha desplazado del análisis y evaluación en sí de los procesos de estabilidad, hacia el análisis que permita reducir las pérdidas de vidas humanas, económicas y ambientales. Los resultados de este proceso continuo pueden ser divididos en:

- Medidas a largo plazo (prevención), eliminando las causas como la intensidad de los fenómenos de deslizamientos,
- Medidas de preparación cuyo objeto es asegurar una respuesta apropiada en caso de necesidad, incluyendo alertas tempranas oportunas y eficaces, así como evacuación temporal de gente y bienes de zonas de peligrosidad
- Medidas de respuesta antes, durante o después del fenómeno de deslizamiento (manejo, recuperación, reconstrucción).

## 2.2. Partes principales para el análisis de la peligrosidad por deslizamientos

La metodología de trabajo para el análisis de la peligrosidad por deslizamientos consiste en la realización de inventarios de fenómenos realizados de forma participativa con las municipalidades y la población; observaciones y mediciones de campo, análisis y revisión de información científica disponible (mapas, fotos aéreas, informes, etc.), con el fin de conocer la probable ubicación y severidad de los fenómenos peligrosos, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y área específica. Tiene como resultado la elaboración de un mapa de peligrosidad, el cual representa un elemento clave para la planificación del uso del territorio y constituye un insumo imprescindible para la evaluación de los riesgos actuales y potenciales.

**En una evaluación cuantitativa, la peligrosidad por deslizamiento en un sitio específico se podría caracterizar determinando para cada evento posible (i):**

- $m_i$ : magnitud del evento [definida por tipología, velocidad, volumen, dinámica, ...]
- $p(m_i)$ : frecuencia o probabilidad de ocurrencia del evento [en % / año]

Para desarrollar el estudio de la metodología 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. El estudio de peligrosidad por deslizamientos en el terreno contiene 2 fases principales, con varias tareas como se observa en la siguiente (Figura 2.1)

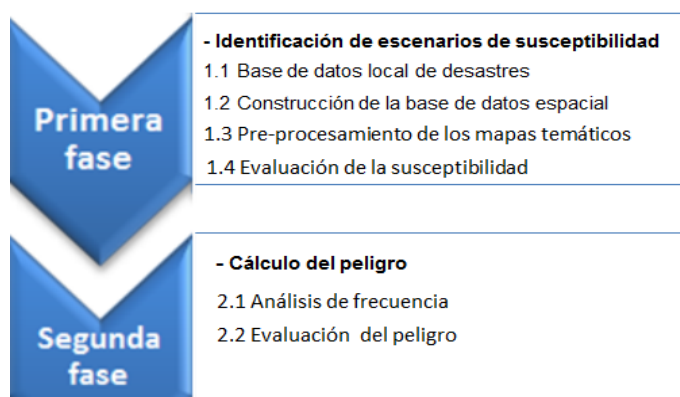


Figura 2.1: Fases del estudio de peligrosidad por deslizamiento

### 2.2.1 Primera fase: Identificación de los escenarios de susceptibilidad

#### 1. Realizar la base de datos de desastres en el municipio y la provincia

Teniendo en cuenta que los deslizamientos de terreno aparecen muchas veces relacionados con otros desastres como intensas lluvias o terremotos, es necesario coleccionar toda la información posible sobre antiguos desastres en el territorio. Hay tres formas principales de realizar esta base de datos:

- a) A partir de materiales históricos
- b) Por entrevistas
- c) Empleando fotos aéreas

#### 2. Construcción de la base de datos espacial

Se debe solicitar los siguientes datos para la realización del estudio de peligro por deslizamientos de terreno:

- Modelo digital del terreno (MDT) 1:25,000 (raster)
- Mapa de la red fluvial (línea)
- Mapa geológico 1:100,000 o más detallado (polígono)
- Mapa de falla o alineamientos tectónicos (línea)
- Mapa de la red vial 1:25,000 (línea)
- Mapa de uso del suelo 1:50,000 o más detallado (polígono)
- Mapa de intensidad de la lluvia (raster)
- Mapa de aceleración de o de amenaza sísmica (raster)

#### 3. Pre-procesamiento de los mapas temáticos

Empleando el MDT se deben generar los siguientes mapas geomorfométricos:

- Ángulo de la pendiente
- Orientación de la pendiente

El ángulo de la pendiente debe calcularse en grados y clasificarse en 5 clases según los cuantiles. La orientación de la pendiente se debe calcular empleado las

herramientas SIG existentes y clasificarlo en 5 clases. Nueve para cada dirección y la clase 1 para los píxeles planos.

#### 4. Evaluación de la susceptibilidad

La evaluación de la susceptibilidad se realizará en dos variantes (A o B) dependiendo de la existencia o no del inventario de deslizamientos de terreno. En esta investigación se utiliza la variante A.

##### a) Evaluación de susceptibilidad variante A

La variante A se basa en la selección de un conjunto de indicadores de peligro que son evaluados por asignación de pesos. Esta variante se emplea desde hace muchos años cuando la información sobre eventos conocidos es limitada o cuando solo se requiere conocer de manera general las áreas más susceptibles. La particularidad de este caso es que se realizará empleando evaluación espacial multi-criterio. La ecuación general que se emplea es:

$$\text{Peligro} = \text{Factores de susceptibilidad} * \text{Factores disparadores}$$

##### b) Evaluación de susceptibilidad variante B

La variante B se realizará para aquellos territorios donde el inventario por deslizamientos de terreno sea suficiente para aplicar un método de probabilidad espacial empleando estadística bi-variada. En este caso se empleará el método de evidencia pesada. El método se basa en calcular un valor de peso basado en probabilidades espaciales a cada clase de cada mapa según la evidencia que se tenga de los deslizamientos que se han generado en esa clase.

### 2.2.2 Segunda fase: Cálculo del peligro

En el caso de los deslizamientos de terreno el cálculo del peligro es muy similar al de susceptibilidad, con la diferencia que se agregan los factores disparadores que en este caso serán las lluvias y los sismos.

#### 1. Análisis de frecuencia

El paso inicial es el análisis de frecuencia basado en el inventario de los deslizamientos o, en su defecto, en los factores disparadores. En caso de tener

inventario con fecha de ocurrencia, lo cual es muy escaso en Cuba, se realizará un análisis estadístico de frecuencia empleando la relación magnitud/frecuencia por tipo de deslizamiento. Estos datos se emplearán posteriormente en la evaluación del peligro.

De no tener datos históricos suficientes, en el área de estudio se emplearán los períodos de retorno de los favores disparadores. Para esto ya se cuentan con los mapas de máxima intensidad de lluvias (generado por ISMET) y de máxima aceleración de las ondas sísmicas (generado por CENAI) con un período de retorno de 100 años. Ambos mapas cubren todo el territorio nacional. Empleando estos mapas se asume una relación entre las áreas susceptibles y los factores disparadores y que el resultado final será para un período de retorno de 100 años.

## **2. Evaluación del peligro**

Estimación del peligro se realizará dependiendo del tipo de mapa de susceptibilidad que se generó variante A (sin inventario).

### **a) Evaluación del peligro variante A**

Al modelo de evaluación multi-criterio de susceptibilidad se adicionará el mapa de máxima intensidad de lluvia en 24 horas para un período de retorno de 100 años y el mapa de máxima aceleración pico para un período de retorno de 100 años.

La realización del mapa de peligro para esta variante puede hacerse desde un inicio cuando se hace el mapa de susceptibilidad o pueden agregarse posteriormente los factores disparadores estandarizando el mapa de susceptibilidad obtenido y agregándole los factores disparadores. Al igual que en el caso del mapa de susceptibilidad el mapa de peligro tendrá valores entre 0 y 1. Para obtener un mapa de peligro en clases es te debe dividirse en clases alta, media y baja empleando como umbrales 0.33 y 0.66 al igual que con el mapa de susceptibilidad.

## **2.3 Volumen de los trabajos realizados**

Con el objetivo de realizar la evaluación de peligrosidad por deslizamientos en el municipio de Sagua de Tánamo, se realizaron búsquedas bibliográficas, trabajos de campo y gabinete.

### **2.3.1 Etapas de 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.

El autor visitó las Instituciones Gubernamentales del Municipio como: Planificación Física, Poder Popular, Defensa Civil, fuera del municipio se visitó CITMA provincial, 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: Bases cartográficas obtenidas en la búsqueda de información

| Mapas         | Fuente información                | Escala     | Información del área de estudio                          |
|---------------|-----------------------------------|------------|----------------------------------------------------------|
| M.D.T         | Defensa Civil, Sagua de Tánamo    | 1:100 000  | Ángulo de la pendiente, dirección de laderas, altitudes. |
| Municipio     | Defensa Civil, Sagua de Tánamo    | 1:100 000  | Límite del área y Consejos Populares.                    |
| Geológico     | I.G.P                             | 1: 100 000 | Formaciones geológicas                                   |
| Topográfico   | CITMA                             | 1:100 000  | Red fluvial (ríos y arroyos) y carreteras y caminos      |
| Tectónico     | Centro de Riesgo, Sagua de Tánamo | 1:100 000  | Fallas                                                   |
| Pluviométrico | I.N.R.H                           | 1:100 000  | Precipitación media anual                                |
| Sísmico       | CENAI                             | 1: 100 000 | Aceleración sísmica                                      |

### 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 Modelo Digital del Terreno (M.D.T.). Además, se ejecutó un análisis de los mapas topográficos CITMA a escala 1: 100 000.

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

#### - 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 brusca de vías, de canales o cuerpos de agua.
4. Presencia de bosques.

**- 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.

**Trabajo de campo:**

Se realizaron marchas de reconocimiento en el municipio Sagua de Tánamo en varios 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 utilizó la planilla de inventario de deslizamientos de terreno para la República de Cuba, en la cual se incluye: 1. Localización, 2. Clasificación, 3. Daños ocasionados y 4. Otros datos de interés.

**Trabajo de gabinete:**

En esta etapa se implementó el S.I.G., para dar cumplimiento a la metodología propuesta para la evaluación de la peligrosidad por deslizamiento, luego se interpretaron los resultados obtenidos.

**2.4 Metodología de evaluación de peligrosidad por deslizamiento**

Para la evaluación de peligrosidad por deslizamientos se utilizaron diferentes métodos y herramientas como los S.I.G.

### 2.4.1. Implementación del Sistema de Información Geográfica (S.I.G.)

Estructura del proyecto:

El ArcGIS es el S.I.G. utilizado en la presente investigación y toda la información se localiza en un proyecto, el cual está formado por diferentes documentos como vistas, tablas, diagramas o gráficos, y presentaciones. La información integrada en el proyecto se almacena en un archivo con extensión\*.mxd. Vistas (VIEW). En el View se integran los diferentes temas o mapas, y en esencia es una superposición de todos los temas que conforman el proyecto (Figura 2.2).

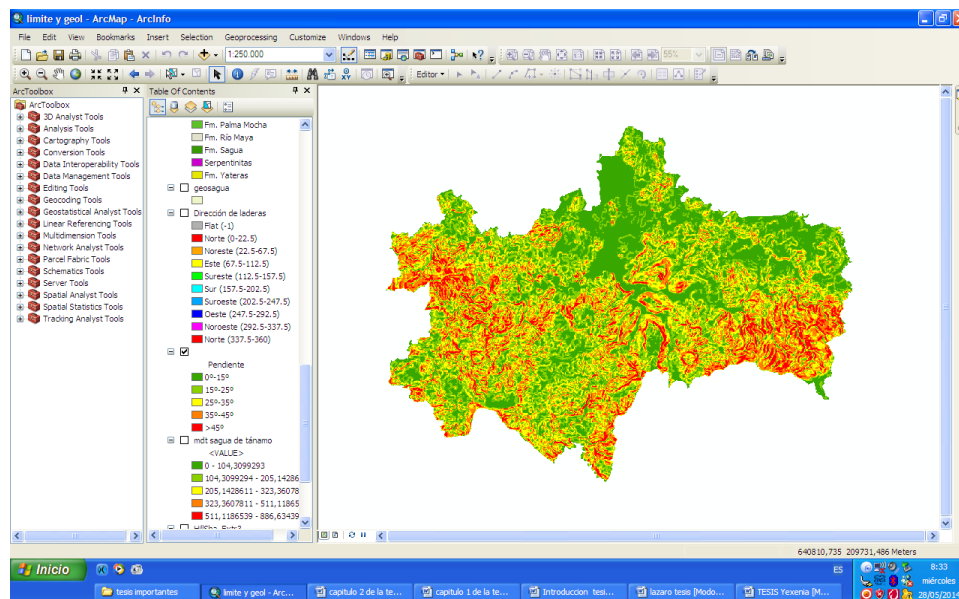


Figura 2.2: Visualización del VIEW de los mapas temáticos

Tablas (TABLE): Las tablas se encuentran asociadas a cada tema y contienen información descriptiva o atributos del mismo. Están formadas por columnas y filas o registros que representan características individuales de cada rasgo y por columnas o campos que definen las características de todos los elementos (Figura 2.3).

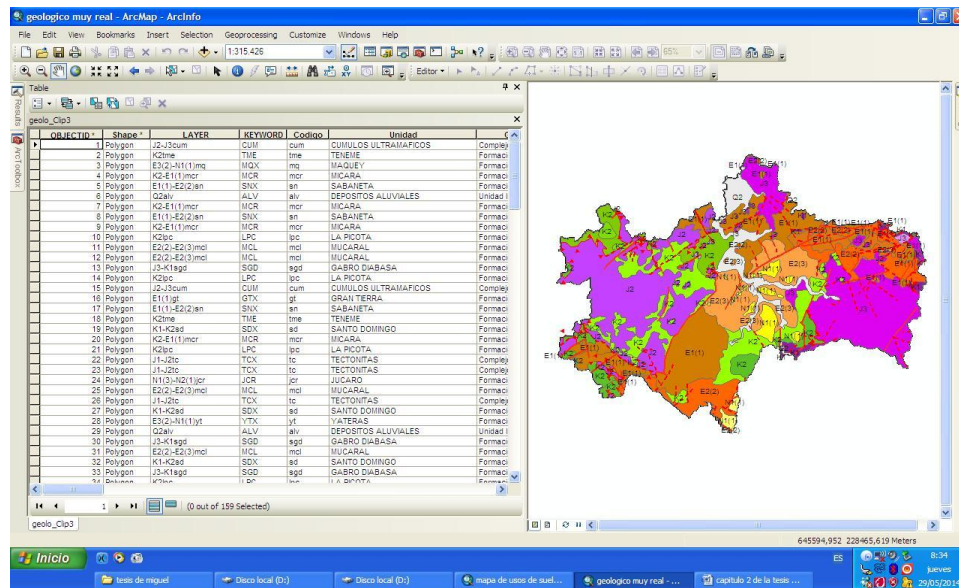


Figura 2.3: Visualización de la tabla de atributos de los mapas temáticos utilizados

Diagramas y gráficos: Se han utilizado los diagramas para las representaciones graficas de los datos tabulares y constituyen una forma de visualizar información de atributos, mediante la construcción de diagramas de barras para la caracterización de los mapas temáticos.

## 2.4.2 Descripción de los factores utilizados en el análisis de peligrosidad

El conjunto de factores de peligro se evalúa por asignación de pesos, dado que solo se requiere conocer de manera general las áreas más susceptibles. Similares trabajos se han realizado en otros países por Varnes & IAEG, 1984; Carrara et al., 1991; Mora Castro & Vahrson, 1993. La particularidad de este caso es que se realizará empleando los métodos heurísticos. La ecuación general que se emplea es:

$$\text{Peligro} = \text{Factores de susceptibilidad} + \text{Factores disparadores}$$

Los factores de susceptibilidad son aquellos que forman parte de las propiedades y comportamiento del medio (ej. litología, geomorfometría, etc.). Ellos hacen que la ladera pase de estable a marginalmente estable. Los factores disparadores

son aquellos que inducen el movimiento por hacer pasar la ladera de semi-estable a inestable, en este estudio se consideraran solo las lluvias (Tabla 2.2). Los factores están relacionados entre sí y cada uno de ellos influye directamente en la formación de deslizamientos, (Figura 2.4).

La utilización combinada de los factores de susceptibilidad y disparadores generan un mapa, que indica cuales son los lugares con mayor probabilidad de desarrollo de deslizamientos.

Los factores utilizados en el análisis son:

-Internos:

.Factor litológico

.Factor tectónico

.Factor geomorfométrico

-Externos:

.Factor hidrológico

.Factor de uso actual del suelo

.Factor sísmico

Tabla 2.2: Tabla de criterios e indicadores para el análisis de peligrosidad por deslizamiento del terreno (Guía Metodológica para el estudio de P.V.R versión4 – enero2012).

|                                      |          |                                |                        |                                                                  |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|
| FACTORES DE ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD | INTERNOS | Características intrínsecas    | Factor litológico      | Grupos lito-estructurales                                        |
|                                      |          |                                | Factor tectónico       | Fallas                                                           |
|                                      |          | Características extrínsecas    | Factor geomorfométrico | Pendiente<br>Dirección de laderas<br>Distancia de la red fluvial |
|                                      | EXTERNOS | Factor hidrológico             |                        | Lluvia media anual                                               |
|                                      |          | Factor de uso actual del suelo |                        | Uso de suelo<br>Distancia a la red vial                          |
|                                      |          | Factor sísmico                 |                        | Aceleración sísmica                                              |

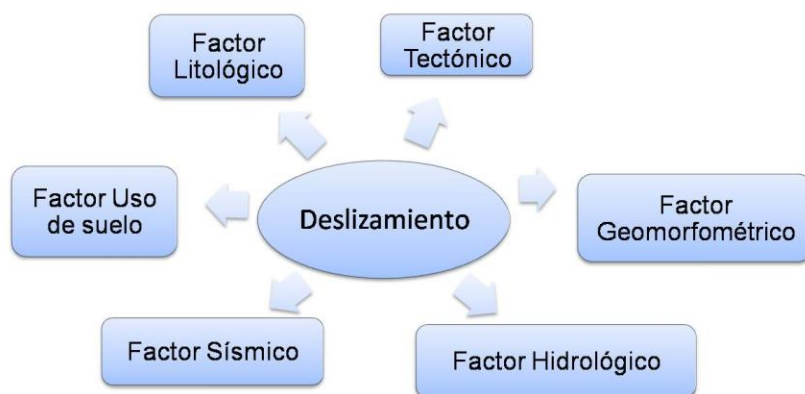


Figura 2.4: Modelo para la valoración de la peligrosidad por deslizamientos (Guía Metodológica para el estudio de P.V.R versión4 –enero2012).

### **1. Factor litológico**

-Grupos litológicos:

En el análisis litológico, se tuvo en consideración la clasificación propuesta por Galbán 2013 (Tabla 2.3). El área se clasificó a partir de las litologías presentes en función de las características geológicas, propiedades físico-mecánicas las cuales expresan determinados niveles de susceptibilidad geológica ante la ocurrencia de distintos procesos y fenómenos geológicos.

| Tipos de rocas según NC-49:1999                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Litología general                                                                                                                                                    | SG                    | Grupos representativos                                        | VP G | Comportamiento de las PFM de las rocas |                                     |                 |                 |                                |                       |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                      |                       |                                                               |      | Diclasamiento o agrietamiento          | Coeficiente de permeabilidad (cm/s) | Humedad         | Índice de poros | Deformabilidad del suelo (Mpa) | Índice de plasticidad | Resistencia a la compresión simple (Mpa) |
| Roca de cualquier tipo, sedimentaria o cristalina (este tipo de material puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda de cortante mayor de 800 m/seg.)<br>Suelos rígidos de un espesor menor de 60 m hasta la base rocosa, siempre y cuando los estratos superiores estén compuestos por depósitos estables de arenas, gravas o arcillas duras (este material puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda de cortante entre 450 y 750 m/seg.).<br><br>Sus períodos están comprendidos entre 0.3 y 0.5 seg. | Calizas impermeables, basaltos, andesitas, bajo grado de intemperismo, poca fracturación, rocas con alta resistencia al corte, bajo nivel de las aguas subterráneas. | Baja<br>0-0.25        | Basaltos, diabasas, gabro                                     | 0.08 | Menor que 3 %                          | Menor que $10^{-8}$                 | Entre 0 – 10 %  | Menor que 0,15  | Mayor de 20.000                | Menor que 30          | Mayor que 80                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                      |                       | Andesita, diorita, pórfidos, granitos                         | 0.16 |                                        |                                     |                 |                 |                                |                       |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                      |                       | Serpentinita, riolacita, riolita, mármoles, calizas compactas | 0.24 |                                        |                                     |                 |                 |                                |                       |                                          |
| Depósitos estables de suelos no cohesivos o arcillas duras cuando su profundidad hasta la base rocosa excede los 60 m y los estratos superiores están compuestos por arenas, gravas o arcillas duras (este material puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda de cortante entre 240 y 450 m/seg.)<br><br>Sus períodos están comprendidos entre 0.5 y 0.8 seg.                                                                                                                                                                 | Alto grado de intemperismo de las rocas encimas mencionadas y en las rocas sedimentarias clásticas masivas, baja resistencia al corte, fractura de cizallas.         | Moderada<br>0.26-0.50 | Calizas permeables,                                           | 0.28 | Entre el 3 y 10 %                      | Entre $10^{-8}$ Y $10^{-5}$         | Entre 10 – 40 % | 0,15 – 0,25     | Entre 20.000 y 10.000          | Entre 30 y 50         | Entre 80 y 50                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                      |                       | Esquistos, metamórfitas clásticas, ígneas agrietadas          | 0.36 |                                        |                                     |                 |                 |                                |                       |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                      |                       | Brechas y conglomerados compactos, areniscas cohesionadas     | 0.48 |                                        |                                     |                 |                 |                                |                       |                                          |
| Depósitos de arcillas blandas o medias y arenas con espesores de 10 m o más con o sin                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Rocas o suelos poco consolidados, considerable                                                                                                                       | Media<br>0.51-0.75    | Rocas vulcanógeno-sedimentarias                               | 0.54 |                                        |                                     |                 |                 |                                |                       |                                          |

Evaluación de la peligrosidad por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo

|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                      |                    |                                                                                               |      |                    |                             |                |                   |                      |               |               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------|-----------------------------|----------------|-------------------|----------------------|---------------|---------------|
| presencia de capas intermedias de arenas u otra clase de suelos no cohesivos (este material puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda de cortante menor de 240 m/seg.)<br><br>Sus períodos están comprendidos entre 0.8 y 1.2 seg. | intemperismo de las rocas sedimentarias, intrusivas y volcánicas, fluctuaciones del nivel freático.                                                  |                    | Arcillas compactas                                                                            | 0.62 | Entre el 10 y 30 % | Entre $10^{-2}$ y $10^{-5}$ | Entre 40–70 %  | Entre 0,25 y 0,50 | Entre 10.000 y 5.000 | Entre 50 y 70 | Entre 50 y 20 |
|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                      |                    | Rocas arcillosas masivas con diaclasamiento o, conglomerados diaclasados con mediana cohesión | 0.72 |                    |                             |                |                   |                      |               |               |
| Depósitos de arcilla blanda con espesores mayores de 12 m (este material puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda cortante menor que 150 m/seg.)                                                                                  | Suelos no consolidados del Cuaternario, relleno arcilloso, suelos piroclásticos y fluvio-lacustres no consolidados, niveles freáticos superficiales. | Alta<br><br>0.76-1 | Margas, limos, areniscas                                                                      | 0.76 | Más de 30 %        | Mayor que $10^{-2}$         | Mayor del 70 % | Mayor de 0,50     | Menos de 5.000       | Mayor que 70  | Menos de 20   |
|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                      |                    | Suelos arcilloso arenoso,                                                                     | 0.88 |                    |                             |                |                   |                      |               |               |
|                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                      |                    | Depósitos palustres, fluvio-lacustres, aluviales                                              | 0.96 |                    |                             |                |                   |                      |               |               |

Tabla 2.3: Clasificación de la influencia litológica o susceptibilidad geológica, de acuerdo a las condiciones generales. (Según Galbán 2013)



## **2. Factor tectónico**

### **-Distancia a las fallas:**

El análisis de distancia a fallas fue realizado por la interpretación del mapa tectónico del municipio Sagua de Tánamo. La información se obtuvo a partir del análisis, del Modelo Digital del Terreno (M.D.T.) del área en estudio a escala 1:100 000 y la interpretación de fotos aéreas, donde se tuvo en cuenta los criterios de identificación de fallas, como son la alineación de estructuras geológicas, presencia de escarpes de falla, cambio brusco de litología, entre otras. Como resultado se obtuvo un buffer de distancia a las fallas, con un espaciamiento de 100 metros, el mapa fue dividido en 5 intervalos (100, 200, 300, 400 y 500 m) (Anexo 2).

## **3. Factor geomorfológico**

### **-Ángulo de la pendiente:**

Para analizar este factor se utilizó la pendiente del terreno. El mapa se realizó a partir del (M.D.T.) del área de estudio a escala 1: 100 000. Los intervalos de pendiente seleccionados, se tomaron según Kamp, *et al.* (2008). De esta forma se presenta un mapa clasificado en cinco intervalos  $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ - $45^{\circ}$  y  $>45^{\circ}$  (Anexo 3).

### **-Distancia a la red fluvial:**

Se utilizó la red fluvial, en la que se representan los principales ríos y arroyo del área de estudio. Según el mapa, la red fluvial es muy densa, hacia el norte y sur, estas son de tipo dendrítica y los ríos principales corren siguiendo las principales direcciones de las fallas. La información se obtuvo mediante la interpretación de cartas topográficas del Instituto Cubano de Geología y Cartografía a escala 1: 100 000 y a partir de la correlación con el M.D.T. a escala 1:100 000. Se realizó un análisis de la influencia de la distancia a los ríos y arroyos en la ocurrencia de deslizamientos. Para ello, se confeccionó un buffer de la red fluvial con una distancia de 100 metros y fue dividido en 5

intervalos (100, 200, 300, 400 y 500 m) (Anexo 5).

-Orientación de la pendiente:

Para analizar este factor se utilizó la dirección de laderas. El mapa se realizó a partir del M.D.T. a escala 1:100 000. El mapa se divide en 9 clases para cada dirección y la clase 1 para los pixeles planos (Anexo 6).

#### **4. Factor de uso del suelo**

-Uso de los suelos:

El factor de uso de suelos se trabajó a partir de fotos cósmicas y fue enriquecido con bases cartográficas digitales del municipio Sagua de Tánamo. La información procesada referente al uso de suelo está dividida en 15 clases, estas son: áreas protegidas, arroyos, asentamientos, bosques, café, desarrollo minero, depósitos mineros, parque nacional, plantas, ríos, caña, cultivos varios, frutales, pastos naturales y red vial (Anexo 7).

-Distancia a la red vial:

El mapa de red vial se modificó del mapa brindado por la Defensa Civil, Moa. El mismo brinda la información de las carreteras y los caminos de municipio Sagua de Tánamo. Este factor se utilizó mediante el análisis de la distancia de la red vial a la ocurrencia de deslizamientos. Como resultado se obtuvo un buffer a las carreteras y caminos con un espaciamiento de 100 metros, el mapa fue dividido en 5 intervalos (100, 200, 300, 400 y 500 m) (Anexo 9).

#### **5. Factor hidrológico**

-Precipitación media anual:

En este factor se consideró el período de ocurrencia de las lluvias medias anuales, teniendo en cuenta los milímetros que caen por 24 horas para un período de retorno de 100 años. El mapa se confeccionó a partir del mapa pluviométrico realizado por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (I.N.R.H.). Además, este factor se analiza debido a la influencia que ejerce sobre el macizo al aumentar la presión de poros del mismo y provocar los deslizamientos (Anexo 10).

## **6. Factor sísmico**

### **- Aceleración sísmica:**

El análisis del factor sísmico se realizó a partir de los datos de aceleración sísmica brindados por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Holguín para cada tipo de perfil de suelo S1, S2, S3 y S4 como lo refiere la NC 46:1999, y aplicando esta norma se procesan los datos de las aceleraciones del perfil de suelo S2 siendo representativa para el área de estudio.

### **2.3.3 Valoración de los mapas de factores**

Con el análisis de la información obtenida de los trabajos precedentes, la interpretación de cartas topográficas, fotos aéreas y reconocimiento de campo, se demostró que en el área de estudio los deslizamientos están distribuidos mayoritariamente en zonas montañosas de altas pendientes, áreas mineras y donde las lluvias son intensas, esto hizo al autor realizar un estudio cualitativo basado en los indicadores de peligro utilizando criterio de expertos y no un estudio probabilístico condicional. De esta forma se trabajó sobre una escala probabilística de 0 a 1, donde el cero representa inexistencia de peligrosidad y el 1, condiciones extremas de inestabilidad o pérdida total de los elementos en riesgo. Una vez valoradas todas clases de los indicadores analizados, se procedió a la conversión en formato ráster y la posterior reclasificación de cada mapa temático (Figura 2.5). De esta forma se determinaron las clases de peligrosidad de cada factor para la obtención del mapa final de peligrosidad frente a deslizamientos.



Figura 2.5: Proceso de rasterización y de reclasificación para la obtención de mapas de peligrosidad de factores

Mediante la utilización del (S.I.G.) se combinaron los indicadores de peligrosidad con el objetivo de generar un mapa en el que quede representado el peligro total de deslizamientos por intensas lluvias. Todo el procedimiento metodológico empleado en la investigación para la obtención final (Mapa de peligro total de deslizamientos por intensas lluvias del municipio Sagua de Tánamo) queda reflejado en la (Figura2.6).

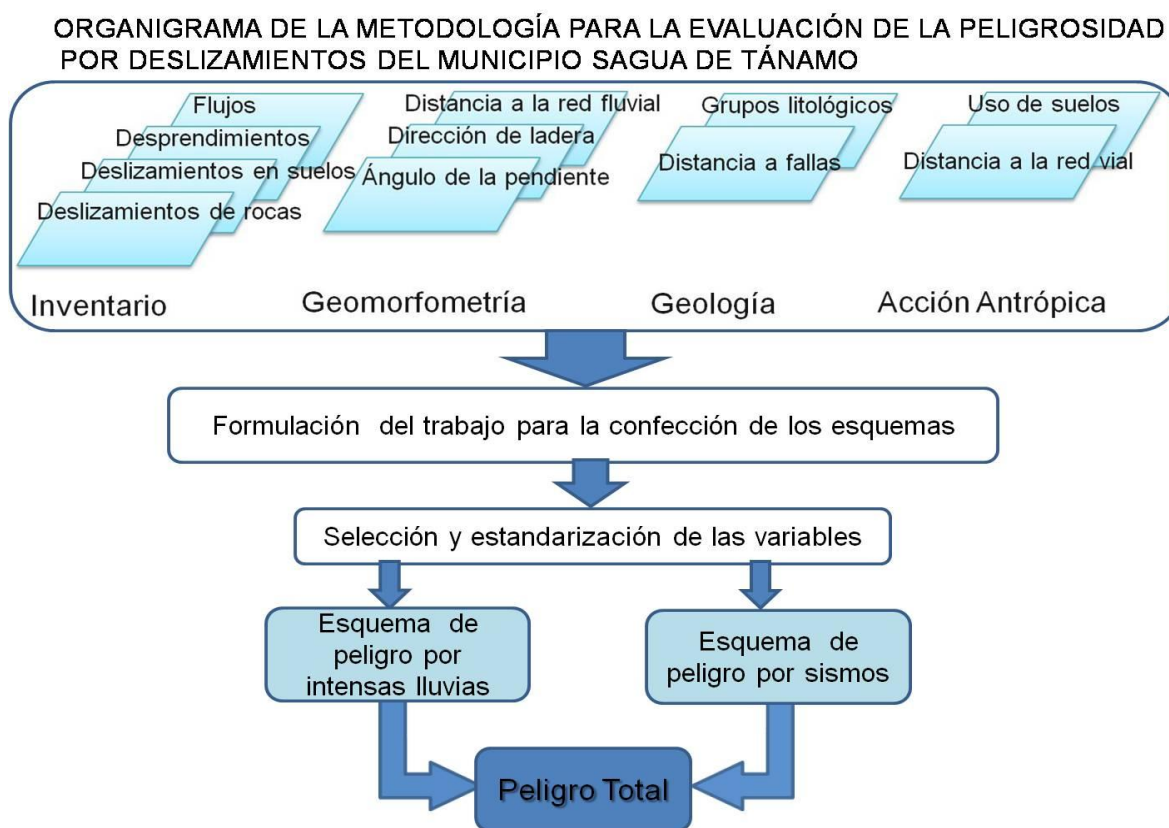


Figura 2.6: Metodología de evaluación de la peligrosidad por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo

## **Capítulo III: Evaluación y cartografiado de la peligrosidad por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo**

### **Introducción**

El presente capítulo tiene como objetivo la obtención del mapa de peligro de deslizamientos para el municipio Sagua de Tánamo, con la utilización de un Sistema de Información Geográfica (S.I.G) tomando como base la metodología propuesta en el capítulo anterior. Los mapas SIG de peligrosidad por deslizamiento de tierras son herramientas comunes y útiles para las personas que participan en la gestión de desastres, planificación espacial y de recuperación de desastres, proporcionando una imagen de las zonas más sensibles antes, durante y después del desastre para toma de decisiones.

Esta investigación se llevó a cabo debido a un proyecto del CITMA Territorial y tiene por objetivo proporcionar una base para hacer frente a los peligros de deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo. En él se tienen en cuenta los factores desencadenantes más importantes, así como los asentamientos y la infraestructura afectada por los deslizamientos. También constituye la base para la elaboración del mapa de riesgos por deslizamientos en un intento por cuantificar todas las posibles pérdidas relacionadas con este proceso.

### **3.1 Características de los deslizamientos del municipio Sagua de Tánamo**

Para determinar las particularidades de los movimientos de masas, la autora se basó en las etapas de análisis de la información, trabajo de gabinete, y trabajos de campo. Se ubicaron los deslizamientos, representados en el mapa de inventario de deslizamiento Figura 3.1. Para ello se tomó en consideración aquellos elementos de clasificación de los deslizamientos más tratados en la literatura, en los que se encuentran dos sistemas de clasificación propuestos por Hutchinson (1968) y por Varnes (1958 y 1978), Lomtatze B D., 1972. En el municipio Sagua de Tánamo los deslizamientos históricos se caracterizan por ser caídos, deslizamientos, y flujos.

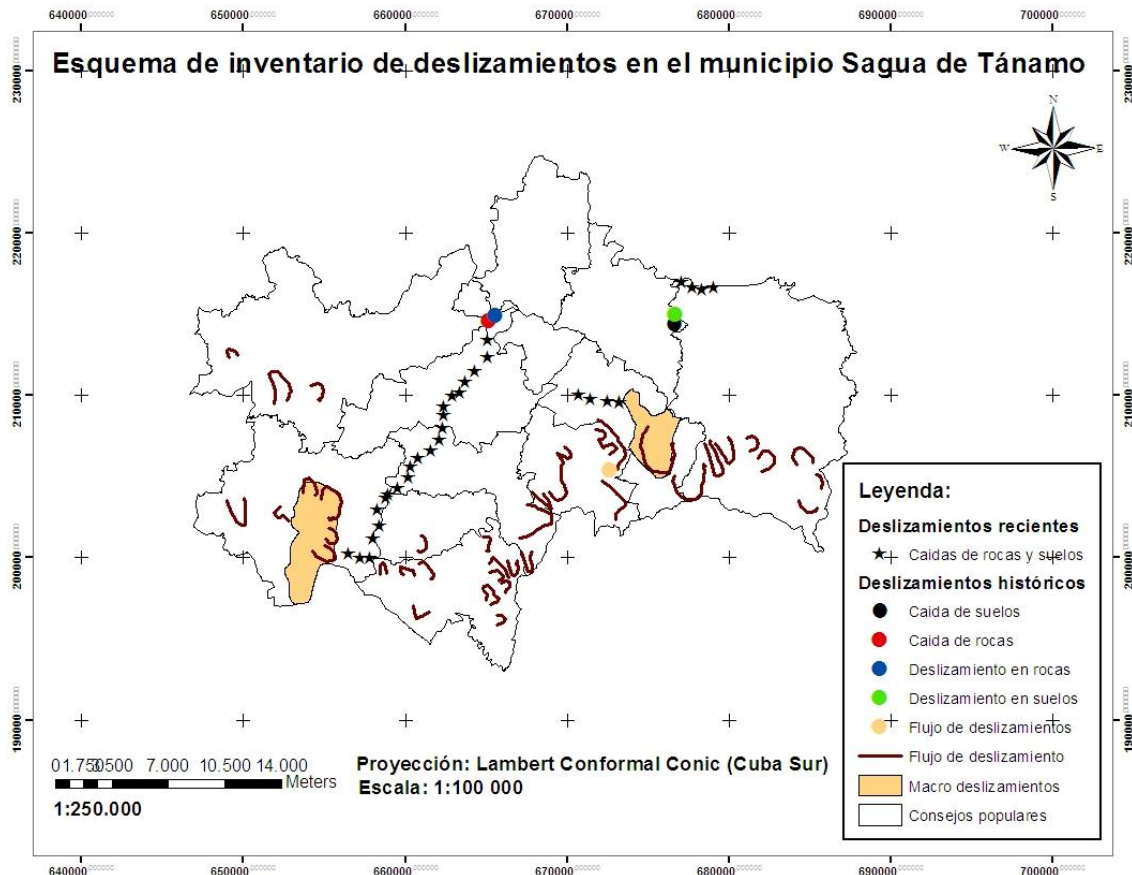


Figura 3.1: Esquema de inventario de deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo

### 3.1.1 Descripción de los movimientos y las tipologías

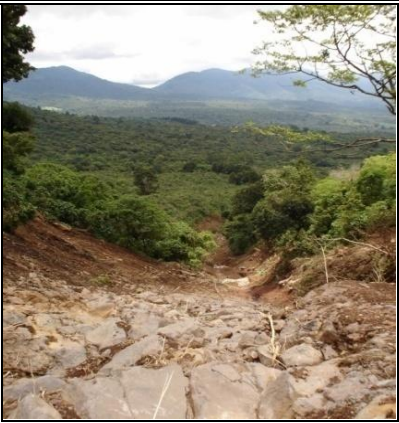
Los movimientos de masas en laderas y taludes son fenómenos asociados al mecanismo de rotura y al tipo de desplazamiento de los volúmenes de materiales o de sus partes móviles unidas entre sí, que componen el cuerpo del deslizamiento. El conocimiento del mecanismo de rotura, permite entender la física del proceso y elegir las medidas ingenieriles que permitan debilitar los esfuerzos de dislocación y aumentar la resistencia al corte en taludes y laderas. Para realizar la descripción de los movimientos y las definiciones de los distintos mecanismos y tipologías, se ha tomado como base los trabajos y las clasificaciones propuestas por Varnes (1978), Lomtadze (1977), y Cruden y Varnes (1996). A continuación se muestra la caracterización ingeniero-


geológica de las tipologías y mecanismos de los deslizamientos que tienen lugar en el municipio Sagua de Tánamo (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Caracterización ingeniero geológica de la tipología y los mecanismos de los deslizamientos que tienen lugar en el municipio Sagua de Tánamo

|                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de movimiento</b>               | Desprendimientos<br>Mecanismos: Caída de bloques, Desprendimientos periódicos, Desprendimientos en masa, Formación de escarpes y acantilados, Avalanchas.                                                                                                                                                                                            |
| <b>Caracterización</b>                  | Movimiento rápido, de ruptura y caída sorpresiva de rocas, rocas-suelos desde laderas, y taludes abruptos. Ocurren en rocas intensamente agrietadas, alteradas y muy deterioradas. Los bloques poseen diversos tamaños desde grandes a pequeños. Los lugares más representativos son: Los Calderos, Miguel, El Caro, La Plazuela, Naranjo Agrio.     |
| <b>Factores que intervienen</b>         | La forma del movimiento está gobernada por la morfología del terreno. Pendientes elevadas $>60^{\circ}$ . Precipitaciones por encima de los 220mm. Aumento de la presión de agua en las fisuras y grietas. Sistemas de grietas tectónicas bien definidas en las rocas. Vibraciones por sismo, explosivos, tráfico de vehículos pesados, maquinarias. |
| <b>Condiciones ingeniero-geológicos</b> | Ocurren en laderas de los cauces de ríos y arroyos, en las rocas serpentinizadas, con superficie de deslizamiento contacto roca/suelo. Las rocas poseen un determinado sistema de grietas, estas son de alta intensidad, poca resistencia y a través de ellas se mueven las aguas subterráneas.                                                      |



|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Visualización del fenómeno</b></p>       |  <p>Desprendimientos</p>                                                                                                                                                                                               |
|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>Tipo de movimiento</b></p>               | <p>Deslizamientos en Suelos<br/>Mecanismos: Rotacional, Traslacional</p>                                                                                                                                                                                                                                |
| <p><b>Caracterización</b></p>                  | <p>Movimiento de masa de velocidad moderada en superficies de fallas circular, rotacional y traslacional. Se forman grietas de tracción en la cresta. Los desplazamientos son menos anchos que largos. Los lugares más representativos son: San Pedro, El Picado, La Alcarraza.</p>                     |
| <p><b>Factores que intervienen</b></p>         | <p>Pendientes entre <math>20^{\circ}</math>-<math>40^{\circ}</math>. Las direcciones están en NE, NW, N y EW. Precipitaciones por encima de los 120-220 mm/h. Aumento de sobrecarga en la cresta de los taludes. Cortes en el pie los taludes y laderas en viales. Vibración por sismos, voladuras.</p> |
| <p><b>Condiciones ingeniero-geológicos</b></p> | <p>Se manifiestan en laderas y cuencas hidrográficas. Las arcillas poseen una alta plasticidad y capilaridad. Son suelos poco permeables, generan alta carga hídrica. Poca resistencia al corte alta deformabilidad e inestabilidad. Disminución de la resistencia de los suelos.</p>                   |

|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Visualización del fenómeno</b></p>       |  <p>Deslizamiento en suelos</p>                                                                                                                                                                                      |
|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p><b>Tipo de movimiento</b></p>               | <p>Deslizamientos en Rocas<br/>Mecanismos: Superficie plana, Superficie en cuña</p>                                                                                                                                                                                                                   |
| <p><b>Caracterización</b></p>                  | <p>Movimiento de masa de velocidad moderada a través de unas superficies de fallas, planas o de cuñas, que siguen una dirección determinada según los planos de deslizamientos. Ocurren en rocas intensamente agrietadas. Los lugares más representativos son: Loma acueducto, Sagua Sur.</p>         |
| <p><b>Factores que intervienen</b></p>         | <p>Pendientes entre 20°-40° fundamentalmente. Con dirección NE, NW y N. Precipitaciones por encima de los 145 y 250 mm/h. Disminución de la resistencia de las rocas. Aumento de sobrecarga en la cresta de los taludes. Vibración por sismos, voladuras. Cortes al pie de los taludes y laderas.</p> |
| <p><b>Condiciones ingeniero-geológicos</b></p> | <p>Se manifiestan en laderas de los cauces de ríos y arroyos y en la rocas serpentinizadas, en ella aparecen planos de espejos de fricción bien definidos. La permeabilidad es por grietas.</p>                                                                                                       |

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Visualización del fenómeno</b></p> |  <p>Deslizamiento en rocas</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <p><b>Tipo de movimiento</b></p>         | <p>Flujos<br/>Mecanismos: Flujo de derrubios y bloques, Coladas de suelos y rocas</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>Caracterización</b></p>            | <p>La masa en movimiento totalmente dislocada, fluye como un cuerpo viscoso. El límite entre las masas móviles y el terreno en sitio está bien definido. La velocidad con que ocurre el movimiento varía en función de la naturaleza del material transportado y de la topografía y pendientes del terreno. El rango de velocidad va desde un flujo plástico extremadamente lento hasta una colada catastrófica de materiales sueltos compuestos por una mezcla de rocas, árboles y suelos con humedades variables. Los lugares más significativos son: El Solito, Río Grande.</p> |
| <p><b>Factores que intervienen</b></p>   | <p>Pendientes entre Fuertes precipitaciones durante períodos prolongados de lluvia anormalmente, mas de 300mm.<br/>Fenómenos meteorológicos. Sismicidad: sismos, terremotos, vibraciones.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Condiciones ingeniero-geológicos</b></p> | <p>Se desarrollan en materiales con diversas granulometrías, dispersándose cuando se desarrollan en suelos de granulometrías más gruesas. Poseen mecanismo catastrófico, reducción de la fricción interna en pendientes fuertes y disminución de la resistencia al deslizamiento de los materiales sobre el sustrato rocoso. Al llegar a una superficie menos inclinada, horizontal o en contrapendiente, hay un aumento repentino de la fricción interna y disipación rápida de la energía cinética y en consecuencia una acumulación de la masa al pie de la ladera.</p> |
| <p><b>Visualización del fenómeno</b></p>       | <div data-bbox="518 884 945 1297" data-label="Image"> </div> <p>Flujos</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

## 3.2 Caracterización de los mapas de peligrosidad

### 3.2.1 Peligrosidad por el factor litológico

-Grupos litológicos:

Los grupos litológicos se clasificaron de acuerdo a la peligrosidad que representan cada uno de ellos en el desarrollo de deslizamientos, a partir de la clasificación propuesta por Galban (2013) y se clasifica en (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta). La **peligrosidad muy baja** corresponde a las

formaciones de Dioritas, Diques paralelos de diabasas y Gabros diabasas, con respecto al área total es de un 1,50% , en la **peligrosidad baja** se encuentran formaciones tales como Yateras, Tectonitas, Cúmulos máficos y Cúmulos ultramáficos donde tiene un 38,56% con respecto al área total, la **peligrosidad moderada** hay formaciones como Cilindro, Mícará, Gran Tierra, Nivel efusivo-sedimentario, Sabaneta, Santo Domingo y Téneme, tiene un valor del 18,45% con respecto al área total, la peligrosidad alta se encuentran las formaciones Maquey, Júcaro, Mucaral, La Picota, tiene con respecto al área total un 36,42% y por último la **peligrosidad muy alta** tiene formaciones tales como: Depósitos aluviales y Depósitos eluvio-coluviales y tiene con respecto al área total un 5,06% (Anexo 11) (Figura 3.2).

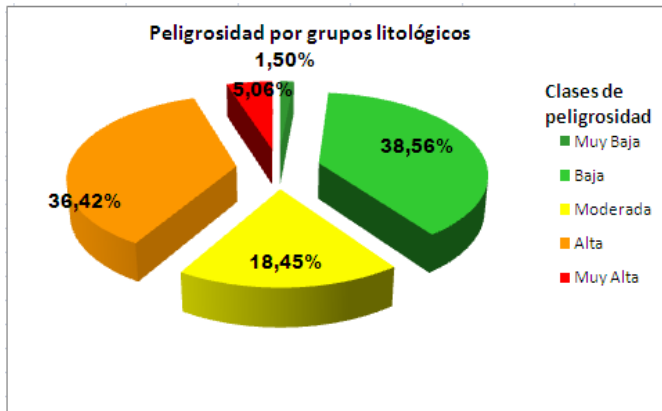


Figura 3.2 Por ciento de peligrosidad por grupos litológicos respecto al área total

### 3.2.2 Peligrosidad por el factor tectónico

-Distancia a las fallas:

Para analizar la influencia del factor por distancia a las fallas sobre la peligrosidad del terreno mediante el S.I.G., se aplicó un buffer a partir de las estructuras principales del plano tectónico. La tectónica del área se caracteriza por una elevada complejidad con la presencia de varios sistemas de fallas de gran importancia e influencia en el debilitamiento del macizo estudiado y en la formación de deslizamientos.

El buffer se dividió en cinco intervalos de 100 metros de distancia (100, 200, 300, 400 y 500 m) y se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La **peligrosidad muy alta** frente al desarrollo de deslizamientos la representa la distancia a 100 m, debido a que las rocas en esta zona se encuentran fuertemente agrietadas y fracturadas por la influencia directa de las fallas, las que se pueden convertir en superficie de rotura para el desarrollo de los deslizamientos, ocupan un 8,51% del área total. La **peligrosidad alta** está representada por la distancia a 200 m que ocupa un 4,40% del área total, la **peligrosidad moderada** es a 300 m de distancia y contiene un 4,82% del área total, la **peligrosidad baja** representa la distancia a 400 m y contiene 3,77% del área total y la **peligrosidad muy baja** corresponde con la distancia a 500 m y es la que ocupa mayor extensión con 78,49% del área total (Anexo 12) (Figura 3.3).

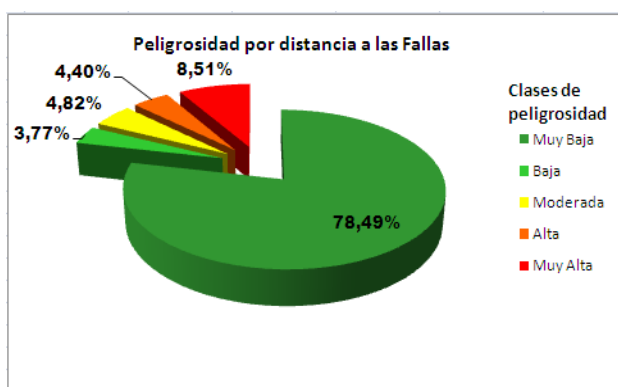


Figura 3.3: Por ciento de peligrosidad por distancia a las fallas respecto al área total

### 3.2.3 Peligrosidad por el factor geomorfométrico

-Ángulo de la pendiente:

La pendiente del terreno es uno de los elementos geomorfológicos más importantes en el análisis del riesgo por deslizamiento. Para el análisis del mapa de pendiente obtenido a partir del procesamiento del modelo digital del terreno (M.D.T.), escala 1: 100 000, se utilizaron 5 clases fundamentales:  $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ - $45^{\circ}$  y  $>45^{\circ}$ .

El mapa de pendiente se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), de acuerdo al peligro que representan frente a los movimientos de masas. La **peligrosidad muy alta** se relaciona con las mayores pendientes,  $>45^{\circ}$ , debido a que los deslizamientos son de carácter gravitatorio y en estas zonas es donde se acumula mayor cantidad de energía en los taludes y laderas ocupando el 7,13% del área total, la clase de **peligrosidad alta** se relaciona con las pendientes de  $35^{\circ}$ - $45^{\circ}$  y ocupa el 16,65% del área total. La clase de **peligrosidad moderada** se relaciona con las pendientes  $25^{\circ}$ - $35^{\circ}$ , ocupando el 22,19% del área total, la clase de **peligrosidad baja** está relacionada con pendientes de  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ , y ocupa el 25,79% del área total, la clase de **peligrosidad muy baja** se relaciona con el intervalo de pendiente  $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$  con un valor de 28,25% del área total (Anexo 13) (Figura 3.4).

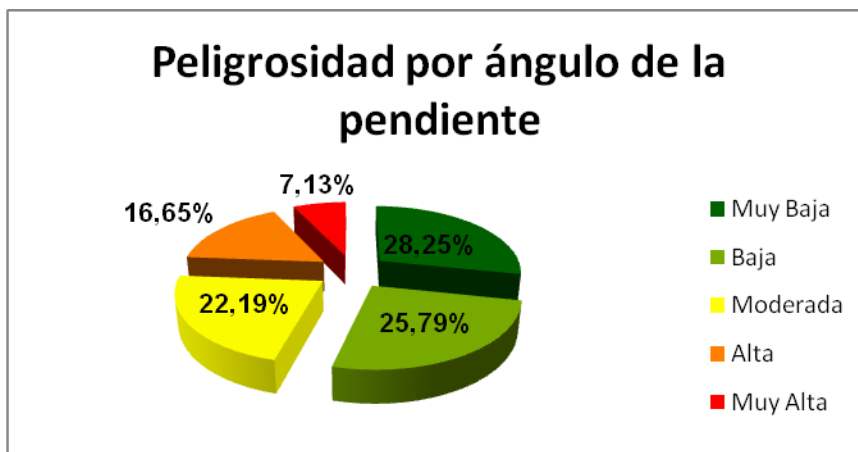


Figura 3.4: Por ciento de peligrosidad por ángulo de pendiente respecto al área total

-Distancia a la red fluvial:

Para incluir este factor en el S.I.G y analizar la influencia del mismo sobre el desarrollo de deslizamientos, se aplicó un análisis de distancia, utilizando la herramienta buffer. El buffer se dividió en cinco intervalos de 100 metros de distancia (100, 200, 300, 400 y 500 m) y se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La **peligrosidad muy alta** frente al desarrollo de deslizamientos la representa la distancia a 100 m,



ocupa 25,02% del área total, La **peligrosidad alta** está representada por la distancia a 200 m que ocupa 9,30% del área total. La **peligrosidad moderada** es a 300 m de distancia y contiene 7,40% del área total. La **peligrosidad baja** representa la distancia a 400m y contiene 4,20% del área total. La **peligrosidad muy baja** correspondiente con la distancia a 500 m es la que ocupa mayor extensión 54,07% del área total (Anexo14) (Figura 3.5).

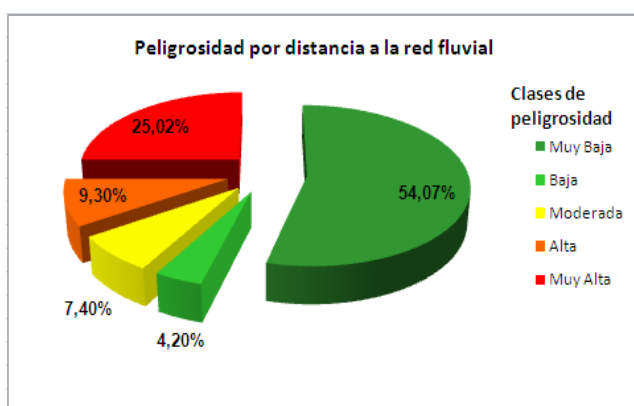


Figura 3.5: Por ciento de peligrosidad por distancia a la red fluvial respecto al área total

#### -Dirección de laderas:

El mapa de peligrosidad por dirección de laderas se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), de acuerdo al peligro que representan frente a los movimientos de masas. Dentro de los agentes que influyen en la formación de deslizamientos por la dirección de laderas se incluyen la exposición a la luz del sol, los vientos y las lluvias (Dai, et al., 2001). Es por consiguiente razonable asumir que la **peligrosidad muy alta** está representada por las direcciones de laderas norte que ocupan 14,36% del área total y la **peligrosidad alta** se representa por las direcciones de laderas noreste y noroeste ocupando el 27,86% del área total, ya que son las más susceptibles a sufrir deslizamientos detonados por lluvias debido a que en estas zonas las precipitaciones son más frecuentes. La **peligrosidad moderada** está representada por las direcciones de laderas este y oeste



ocupando el 25,58% del área total. Por otra parte se considera que las menos susceptibles son las direcciones de laderas suroeste y sureste, representando la **peligrosidad baja** que ocupan el 21,77% del área total, y la dirección de laderas del sur, que representa la **peligrosidad muy baja** y ocupa 10,43% del área total (Anexo 15) (Figura 3.6).

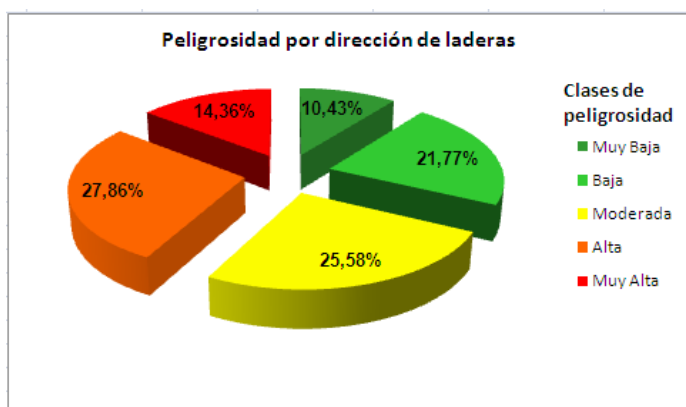


Figura 3.6: Por ciento de peligrosidad por dirección de laderas respecto al área total

### 3.2.4 Peligrosidad por el factor antrópico

-Uso de suelos:

El mapa de uso de suelos se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta) teniendo en cuenta la importancia económica, física y social de cada tipo de uso del suelo. La clase de **peligrosidad muy baja** es la que representa el 26,99% del área total, constituida fundamentalmente por los bosques. La **peligrosidad baja** ocupa el 59,46% del área total, representada generalmente por los parques nacionales, zonas agrícolas y pastos, es la de mayor área. La clase de **peligrosidad moderada** contiene el 10,08% del área total, del mismo modo las **peligrosidades alta y muy alta** ocupan un 1,50% y 1,97% del área total respectivamente (Anexo 16) (Figura 3.7).

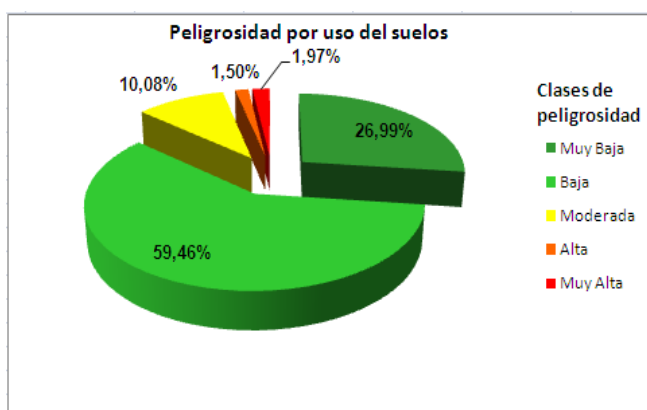


Figura 3.7: Por ciento de peligrosidad por uso de suelos respecto al área total

#### -Distancia a la red vial:

Para analizar este factor, se toma en consideración la influencia que tienen los viales sobre el desarrollo de deslizamientos, pues en ocasiones se construyen carreteras y caminos cortando laderas de altas pendientes y formando taludes abruptos, favorables para la ocurrencia de deslizamientos. Para ello se aplicó un análisis de distancia utilizando la herramienta buffer. El buffer se dividió en cinco intervalos de 100 metros de distancia (100, 200, 300, 400 y 500 m) y se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La **peligrosidad muy alta** frente al desarrollo de deslizamientos la representa la distancia a 100 m, ocupa 10,76% del área total; la distancia a 200 m representa la **peligrosidad alta**, ocupa 2,52% del área total; la clase de **peligrosidad moderada** es a 300 m de distancia y contiene 2,89% del área total; la **peligrosidad baja** representa la distancia a 400 m con un 2,38% del área total; por último la **peligrosidad muy baja** correspondiente con la distancia a 500 m es la que ocupa mayor extensión, con 81,45% del área total (Anexo 17) (Figura 3.8).

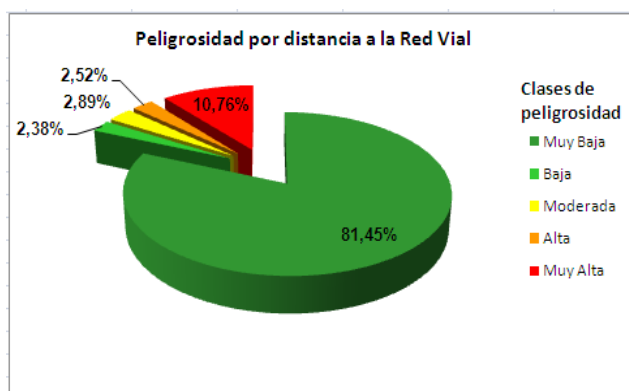


Figura 3.8: Por ciento de peligrosidad por distancia a la red vial respecto al área total

### 3.2.5 Peligrosidad por el factor hidrológico

-Intensidad de lluvia en 24 horas para un período de retorno de 100 años:

De acuerdo al análisis realizado, este factor ejerce gran influencia en el desarrollo de los movimientos de masas, al incidir directamente sobre el medio geológico. Este factor actúa principalmente provocando una saturación del macizo rocoso, al infiltrarse al agua a través de las grietas y poros va lixiviando el relleno que mantiene unido el **material** rocoso lo que origina un aumento de la masa del macizo provocando el desprendimiento del mismo a través de zonas de debilidad. El mapa de peligrosidad por Intensidad de lluvia en 24 horas para un período de retorno de 100 años se divide en 5 clases (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La clase de **peligrosidad muy baja** se corresponde a los valores de 131,13-235,37 mm/día y representa el 10,08% del área total; la **peligrosidad baja** es de 236,37-326,59 mm/día, constituyendo el 13,95% del área total; la clase de **peligrosidad moderada** los valores son de 326-270,89 mm/día, es de un 20,47%; la **peligrosidad alta** ocupa la mayor extensión del área tiene valores de 370,89-430,83 mm/día, representada por el 44,22% del área total y la **peligrosidad muy alta** tiene valores 430,83- 476 mm/día donde representa 11,08% del área total (Anexo18) (Figura 3.9).

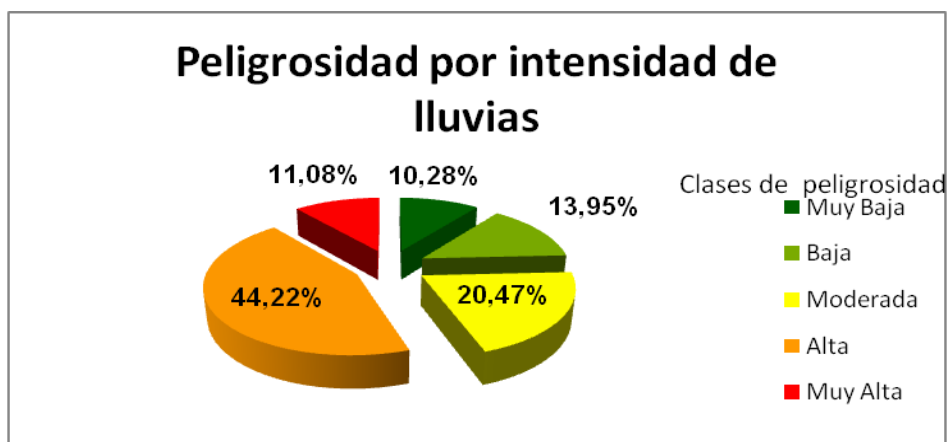


Figura 3.9: Por ciento de peligrosidad por intensidad de las luvias con respecto al área total

### 3.2.6 Peligrosidad por el factor sísmico

Aceleración Sísmica para un período de retorno de 100 años:

El mapa de sismicidad de la región indica a este, como un municipio de alta peligrosidad sísmica, esto nos muestra que muchos de los deslizamientos que en él tienen lugar son inducidos por los movimientos sísmicos que en la región se producen. El mapa de peligrosidad por aceleración sísmica para un período de retorno de 100 años se divide en 5 clases (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La clase de **peligrosidad muy baja** se corresponde a los valores de  $0,082-0,86 \text{ cm/s}^2$  y representa el 5,95% del área total; la **peligrosidad baja** es de  $0,086-0,89 \text{ cm/s}^2$ , constituyendo el 13,69% del área total; la clase de **peligrosidad moderada** los valores son de  $0,089-0,92 \text{ cm/s}^2$ , es de un 31,12%; la **peligrosidad alta** tiene valores de  $0,092-0,95 \text{ cm/s}^2$ , representada por el 22,22% del área total y la **peligrosidad muy alta** tiene valores  $0,095-0,097 \text{ cm/s}^2$  donde representa 27,02% del área total (Anexo19) (Figura 3.10).

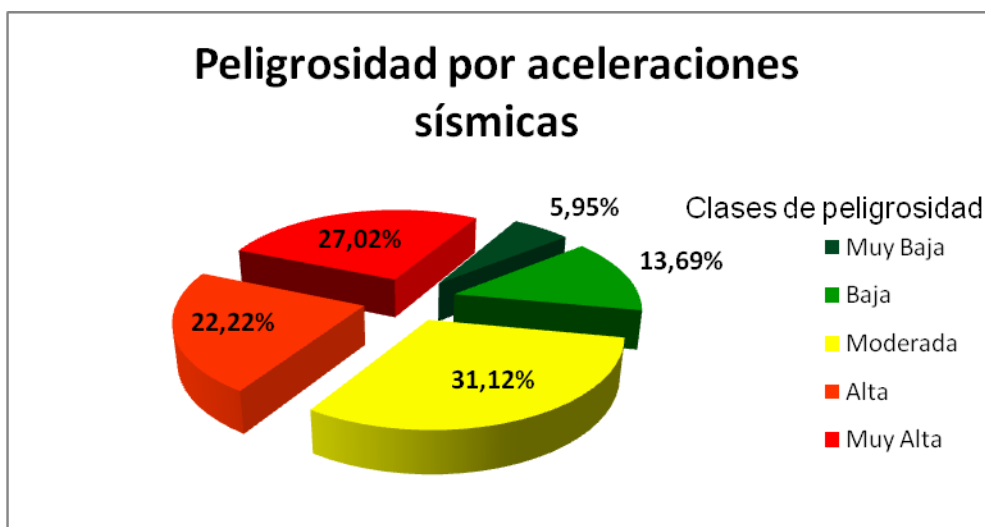


Figura 3.10: Por ciento de peligrosidad por aceleraciones sísmicas con respecto al área total

### 3.3 Caracterización del mapa de peligrosidad por intensas lluvias

El mapa de peligrosidad de deslizamientos por intensas lluvias en el municipio Sagua de Tánamo (Figura 3.11), se obtuvo a partir de la integración de los mapas de peligrosidad de cada factor condicionante (mapa litológico, mapa de ángulo de la pendiente, mapa dirección de laderas, mapa de uso de suelos, mapas de influencia de la red fluvial y red vial, mapa de distancia a fallas), con el factor desencadenante analizado (mapa pluviométrico), los que mayores pesos tuvieron a la hora de procesar el mapa fueron: Factor litológico, pluviométrico y el de ángulo de la pendiente, todo el procesamiento se realizó utilizando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G).

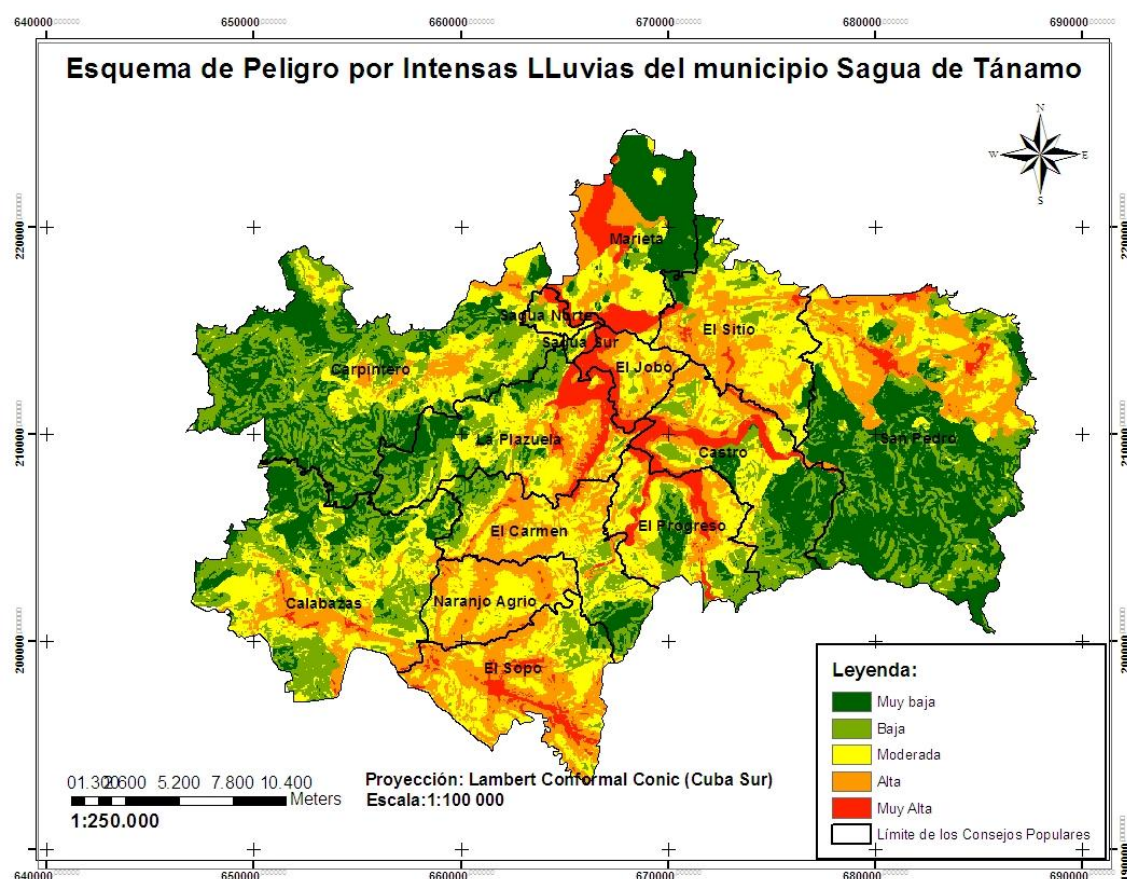


Figura 3.11: Esquema de peligrosidad a deslizamientos por intensas lluvias del municipio Sagua de Tánamo. Escala: 1:100 00

Se establecieron clases de peligrosidad a partir de los pesos asignados a cada factor (muy baja, baja, moderada, alta, muy alta). La peligrosidad muy baja se observa mayormente en los consejos populares de San Pedro, Carpintero y Marieta, con un valor respecto al área total de 24,42%, la peligrosidad baja mantiene similitud con la anterior clase en correspondencia a los consejos populares donde se encuentra, con un valor con respecto al área total de 23,51%, la peligrosidad moderada se concentra en la parte central desde el suroeste al noreste en forma de franja afectando de una manera u otra, de mayor a menor proporción a todos los consejos populares del municipio, con un valor respecto al área total. Por último la peligrosidad alta y muy alta se distribuye de manera similar a la clase anterior manteniendo valores de 21,04% y 6,08%

respectivamente, es necesario señalar que la clase muy alta posee menor distribución en los consejos populares Naranjo Agrio, El Carmen y Carpintero. La figura 3.12 muestra el histograma de frecuencia del mapa de peligrosidad en cuanto a por ciento con respecto al área total que ocupa.

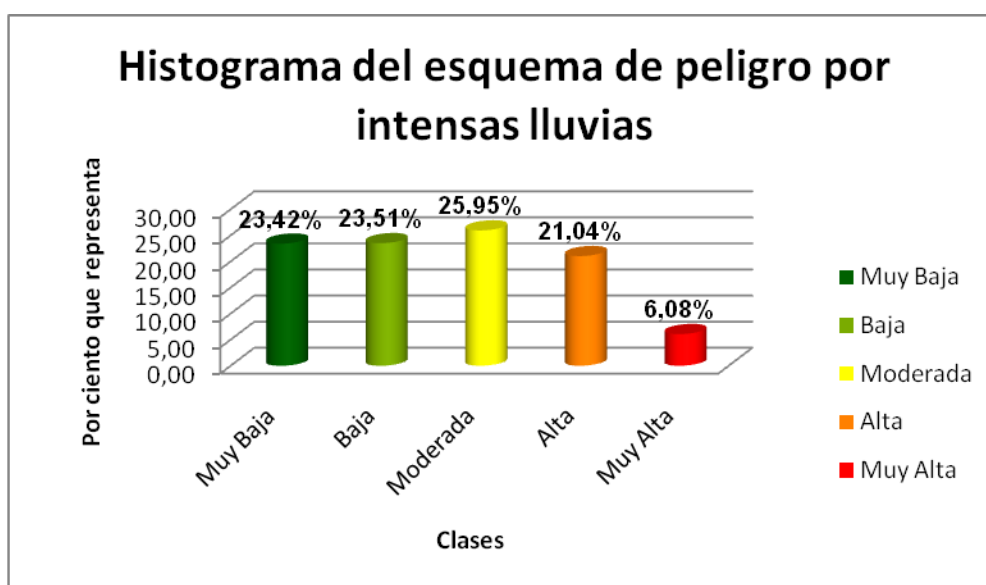


Figura 3.12: Histograma de frecuencia del esquema de peligro a deslizamientos por intensas lluvias del municipio Sagua de Tánamo con respecto al área total

### 3.4 Caracterización del mapa de peligrosidad por sismos.

El mapa de peligrosidad de deslizamientos por sismos en el municipio Sagua de Tánamo (Figura 3.13), se obtuvo a partir de la integración de los mapas de peligrosidad de cada factor condicionante (mapa litológico, mapa de ángulo de la pendiente, mapa dirección de laderas, mapa de uso de suelos, mapas de influencia de la red fluvial y red vial, mapa de distancia a fallas), con el factor desencadenante analizado (mapa de aceleraciones sísmicas), los que mayores pesos tuvieron a la hora de procesar el mapa fueron: Factor litológico, sísmico y el de ángulo de la pendiente, todo el procesamiento se realizó utilizando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G).



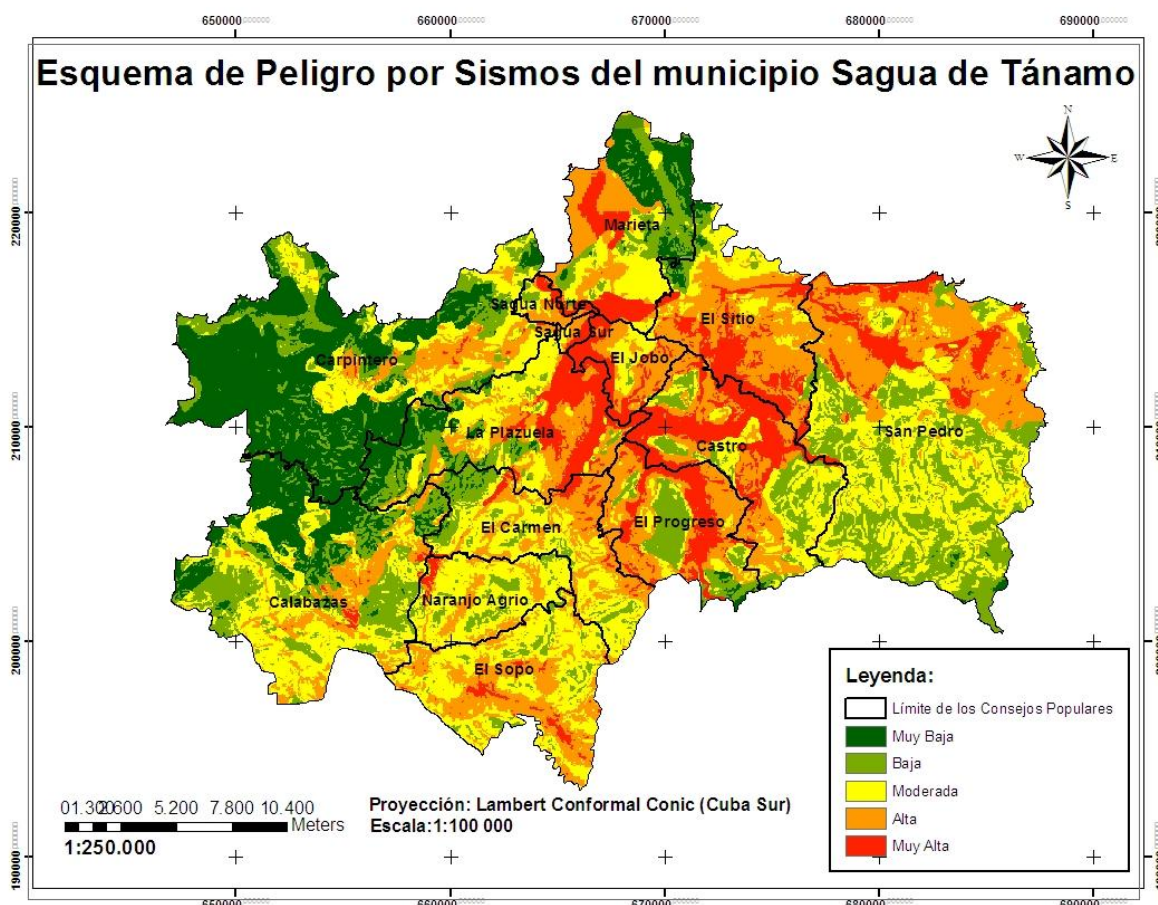


Figura 3.13: Esquema de peligrosidad a deslizamiento por sismos del municipio Sagua de Tánamo. Escala: 1:100 000

Se distribuyeron clases de peligrosidad a partir de los pesos asignados a cada factor (muy baja, baja, moderada, alta, muy alta). La peligrosidad muy baja se observa mayormente en los consejos populares de Calabazas, Carpintero y Marieta, con un valor respecto al área total de 14,62%, la peligrosidad baja se localiza en los consejos populares San Pedro, Marieta, Calabazas, El Progreso, Castro, Carpintero, de mayor a menor proporción, con un valor con respecto al área total de 20,01%, la peligrosidad moderada se visualiza en de una manera u otra en todo el municipio con un 28,34%, observándose la mayor concentración en los consejos populares Calabazas, El Sopo, El Carmen, Naranjo Agrio, San



Pedro, La Plazuela, Carpintero y Marieta. La peligrosidad alta y muy alta se encuentra representada principalmente en los consejos El Progreso, Castro, La Plazuela, El Jobo, El Sitio, San Pedro, Sagua Sur, Sagua Norte y Marieta con valores de 25,70% y 11,34% respectivamente. La figura 3.14 muestra el histograma de frecuencia del mapa de peligrosidad en cuanto a por ciento con respecto al área total que ocupa.

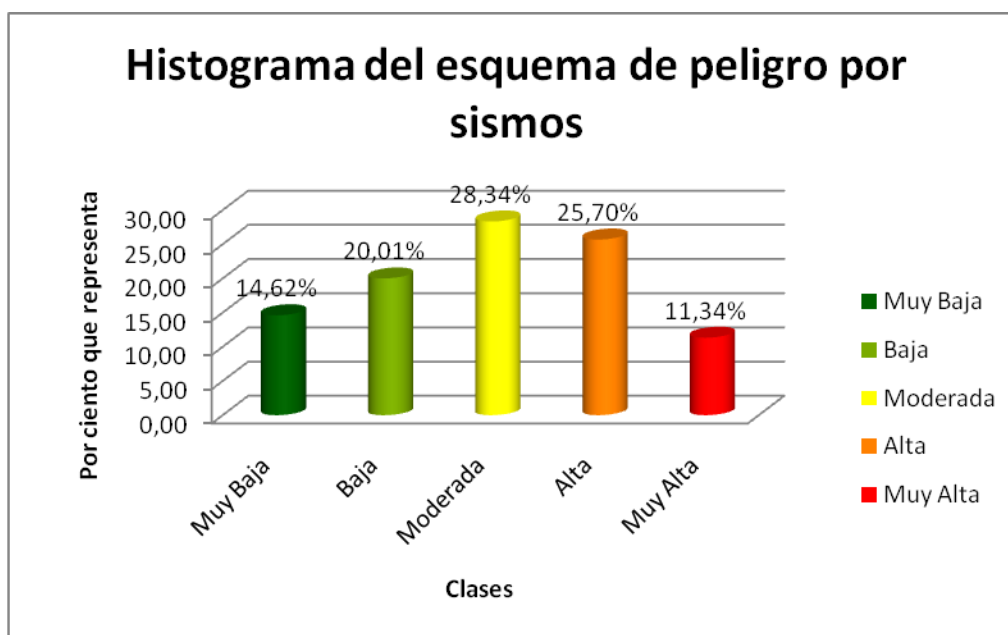


Figura 3.14: Histograma de frecuencia del esquema de peligro a deslizamientos por sismos del municipio Sagua de Tánamo con respecto al área total

### 3.5 Caracterización del mapa de peligrosidad total

El mapa de la peligrosidad total por deslizamientos del municipio Sagua de Tánamo (Figura 3.15), se obtuvo a partir de la integración del mapa de peligrosidad de deslizamientos por intensas lluvias y el mapa de peligrosidad de deslizamientos por sismos, donde el primero tuvo mayor peso debido a que las intensas lluvias poseen mayor ocurrencia con respecto a los sismos registrados en el área de estudio, teniendo en cuenta que ambos mapas fueron el resultado del análisis de los factores condicionantes y desencadenantes, todo el procesamiento se realizó utilizando los Sistemas de Información Geográfica(S.I.G). El mapa posee un alto valor práctico desde el punto de vista geoambiental, porque delimita las áreas en las que puede existir mayor probabilidad de ocurrencia a deslizamientos.

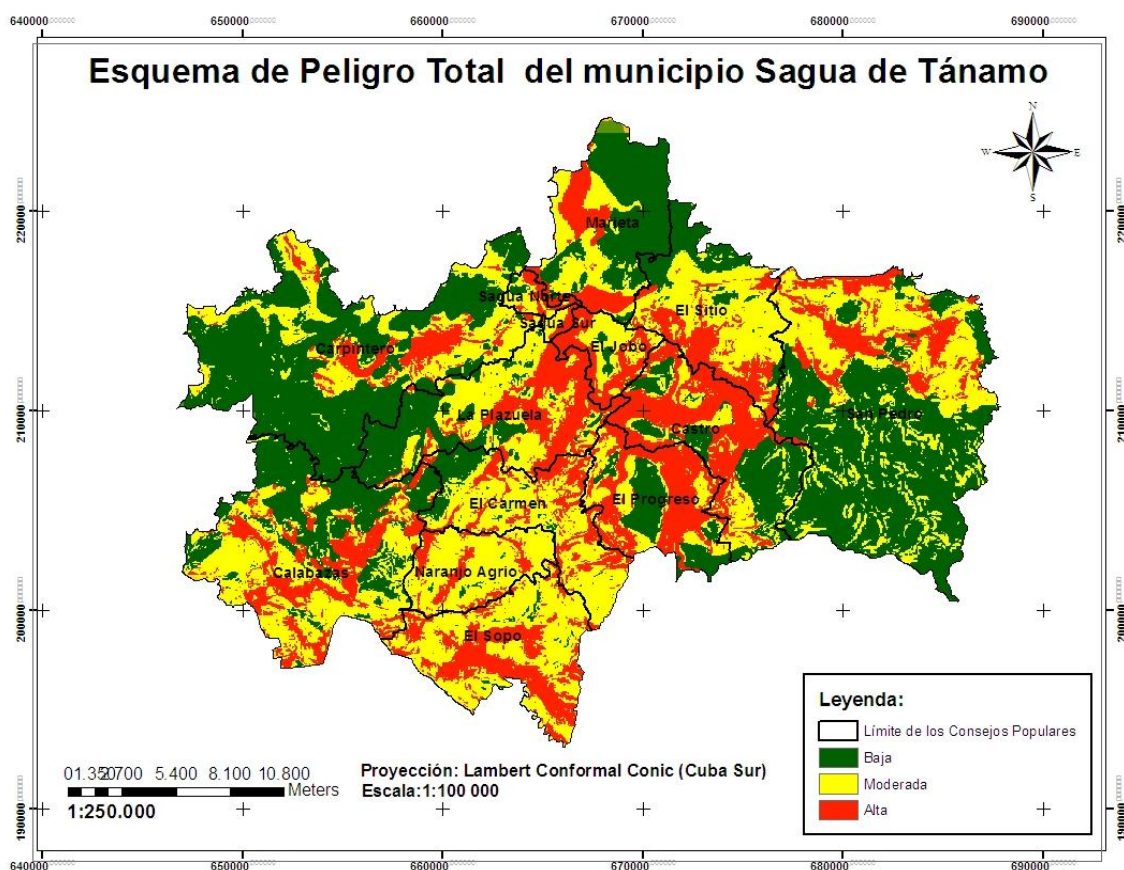


Figura 3.15: Esquema de peligrosidad total por deslizamiento del municipio Sagua de Tánamo. Escala: 1:100 000

Se dividieron en clases de peligrosidad a partir de los pesos asignados a cada mapa (baja, moderada, alta,). La peligrosidad baja se observa mayormente en los consejos populares de Calabazas, Carpintero, San Pedro y Marieta, con un valor respecto al área total de 37,46%, la peligrosidad moderada se visualiza en de una manera u otra en todo el municipio, con mayor presencia en la parte central en forma de franja que se extiende desde el suroeste hasta el noreste con un valor de 37,04%, La peligrosidad alta muestra una distribución similar a la clase anterior observándose la mayor concentración en los consejos populares, El Sopo, El Carmen, La Plazuela, Castro, El Progreso, El Sitio y El Jobo con un 25,49% con respecto al área total. La figura 3.16 muestra el histograma de frecuencia del mapa de peligrosidad total en cuanto a por ciento con respecto al área total que ocupa y en la tabla 3.2 se muestra la caracterización del mapa de peligrosidad total por deslizamientos.

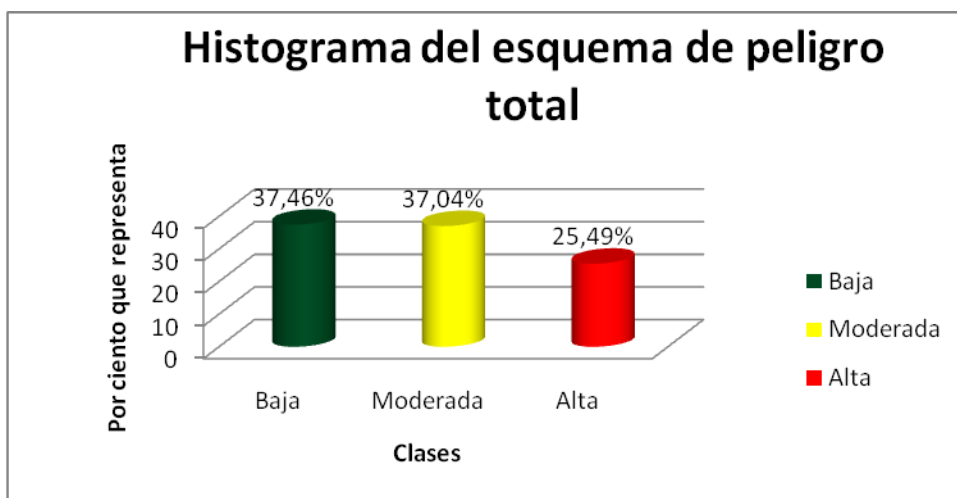


Figura 3.16: Histograma de frecuencia del esquema de peligro total por deslizamientos del municipio Sagua de Tánamo con respecto al área total

Tabla 3.2: Caracterización del mapa de la peligrosidad total por deslizamientos del municipio Sagua de Tánamo.

| Clases de Peligrosidad | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Porciento del área total |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Baja                   | <p>La peligrosidad baja, es poco probable a la ocurrencia de deslizamientos aunque pueden originarse pocos movimientos fundamentalmente en las laderas de los márgenes de los ríos.</p> <p>Para tener en cuenta los principales factores que provocan los deslizamientos podemos abordar que en el factor litológico, las rocas que se encuentran son los diques paralelos de diabasa, gabros diabasa, los cúmulos máficos ultramáficos y las tectonitas, los ángulos de las pendientes oscilan entre 0-25 grados, el factor pluviométrico tiene una intensidad de lluvias 131-235 mm /día y en el factor sísmico las aceleraciones son bajas.</p>                                                  | 37,46%                   |
| Moderada               | <p>Grado medio de peligrosidad. De acuerdo a la distribución en el mapa de estas zonas se pueden manifestar movimientos de medianas dimensiones provocados por inestabilidad en el macizo rocoso. Son comunes los pequeños desprendimientos.</p> <p>En el factor litológico las principales rocas son las calizas brechosas, margas, conglomerados volcanomícticos, tobas. Los ángulos de las pendientes que predominan son de 25-35 grados, en el factor pluviométrico la intensidad de lluvias alcanzan 326-396 mm/día y en el factor sísmico las aceleraciones son moderadas</p>                                                                                                                 | 37,04%                   |
| Alta                   | <p>La peligrosidad alta. Se combinan la geología, la pendiente, la intensidad de lluvias y las aceleraciones sísmicas. En estas áreas las lluvias son intensas y se han registrado zonas perceptibles a la ocurrencia de sismos estos como indicadores detonantes. Los movimientos son de grandes dimensiones y en muchos casos obstruyen las vías de comunicación.</p> <p>El factor litológico las principales rocas presentes son calizas biodetríticas, calcarenitas, brechas, tobas, depósitos aluviales y eluvio-coluviales, los ángulos de las pendientes son mayores que 45 grados, la intensidad de las lluvias tienen valores de 430-476 mm/día y las aceleraciones sísmicas son altas</p> | 25,49%                   |

## **CONCLUSIONES**

1. Al caracterizar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo, se identificó al factor geológico, diferenciado por su composición litológica y características físico-mecánicas, como el principal, de acuerdo con sus comportamientos frente a estos fenómenos. Existen litologías inestables como, los sedimentos de ríos, las rocas carbonatadas terrígenas y la melange La Picota. En segundo lugar, la intensidad de lluvias representa un factor de gran consideración debido que alcanzan valores entre 370-476 mm/h y por último el factor sísmico, con aceleraciones de 0,082 a 0,097 cm/s<sup>2</sup> considerado como un territorio de mediana peligrosidad sísmica.

2. A partir de la aplicación de la “Guía para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos del terreno”, elaborada por el Grupo Nacional de Gestión de Riesgos (Versión 4, 2012), utilizando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.), tomando en consideración los mapas temáticos para cada factor condicionante y desencadenante que permitió obtener el mapa del peligro total por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo.

3. La evaluación y la cartografía de peligro por deslizamiento se fundamentó en su tipología: caídos, deslizamientos y flujos siendo estos los que mayor distribución y daños tienen en el área de estudio, caracterizados por su dinámica, volumen, sus factores condicionantes y desencadenantes.

Los principales escenarios de peligro o zonas susceptibles se encuentran en los consejos populares, El Jobo, Castro, El Progreso, El Sitio y La Plazuela, según el esquema de peligrosidad total son los consejos populares de alta peligrosidad ante la ocurrencia de estos fenómenos geológicos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar los estudios de vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo utilizando la metodología cubana (versión4-enero2014) de cartografiado de riesgos por deslizamientos empleando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.).
2. Generalizar la metodología utilizada en la investigación para determinar el nivel de P.V.R por deslizamientos en otros municipios de la provincia Holguín.
3. 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 Sagua de Tánamo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 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.; GUARDADO, R. 2005. Caracterización geotécnica del perfil de meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas en el territorio de Moa. Cuba. Minería y Geología [en línea] Vol. 21, No. 3. Disponible en: <http://www.ismm.edu.cu/revistamg/v21-n3-2005/art2-3-2005>.
- ALMAGUER, Y.; GUARDADO, R. 2006. Tipología de movimientos de masas en cortezas lateríticas residuales del territorio de Moa. Cuba. Minería y Geología. Vol. 1No. 1. ISSN 0258 5979.
- BATISTA, Y. 2009. Evaluación del riesgo por deslizamiento del municipio Bartolomé Masó. Provincia Granma. Tesis de Maestría. Dpto. Geología. ISMM.Moa.97 p.
- BOSQUE, J. 1992. Sistemas de información geográfica. Madrid, Ediciones Rialp, 451 p.
- BRABB, E.E.; PAMPEYAN, E.H.; BONILLA, M.G. 1978. Landslide susceptibility in San Mateo County, California.US Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map, MF-360, Map at 1: 62,500 scale.
- BRACKEN; WEBSTER. 1990. Information technology in Geography and planning. Including principles of G.I.S. London: Rout ledge. 444p.
- BURROUGH, P.A. 1988. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, Oxford University press. 194 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.
- CASTELLANOS E., 2005. Processing SRTM DEM data for national landslide hazard assessment.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.
- 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, consequences& 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.
- 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. 220 p.
- GALBÁN RODRÍGUEZ, L. (a).“Algunas reflexiones sobre las causas que generan el riesgo geológico en la provincia Santiago de Cuba”. CD ROM “III Taller Internacional Nuestro Caribe en el Nuevo Milenio”. 2009.ISBN: 978-959-207-3579.
- GALBÁN RODRÍGUEZ, L.(b). “Problemas sociales que enfrenta la gestión de riesgos geológicos en los procesos constructivos y de infraestructura en Cuba”, Monografías.com.



2009.<http://www.monografias.com/trabajos75/problemas-sociales-gestion-riesgos-geologicos/problemas-sociales-gestion-riesgos-geologicos.shtml>

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.

GLADE, T. 2001.Landslide hazard assessment and historical landslide data an inseparable couple? In: Glade, T., Albini, P., Frances, F. (Eds.), The Use of Historical Data in Natural Hazards Assessment (Advances in Natural and Technological Hazard. Research). Kluwer Academic Publications, Dordrecht, The Netherlands, p. 153 168.

GLADE, T.; CROZIER, M.J. 2005.A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis. In: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J. (Eds.), Landslide Hazard and Risk.

GUARDADO, R.; ALMAGUER, Y. 2001.Evaluación de riegos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. Minería y Geología, Cuba, vol. XVIII (1): 1-12.

HARP, E.L.; CASTAÑEDA, M.R.; HELD, M.D. 2002.Landslides triggered by Hurricane Mitch in Tegucigalpa, Honduras. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-33. 11.

I.G.P. 2001.Mapa Geológico de las Provincias Orientales. Escala 1:100 000. Edición digital por el grupo CASIG-IGP, Cuba.

IAEG. 1976. Engineering geological maps. A guide to their preparation. International Association of Engineering Geologists. The UNESCO Press, Paris, 79 p.

IBSEN, M.; BRUNSDEN, D.1996.The nature, use and problems of historical archives for the temporal occurrence of landslides, with specific reference to the south coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight. Geomorphology 15, 241 258 p.

ITURRALDE-VINENT, M.A. 1996.Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba.I.G.C.P.Project 364,

Special Contribution No. 1.

IUGS-Working group on landslide, 2001. A suggested method for reporting landslide remedial measures. Bulletin of Engineering Geology and Environment 60, 69–74 p.

LOMTADZE, V. D. 1977. Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería. Ed. Pueblo y Educación, 560 p.

LUZI, L.; FABBRI, A.G. 1995. Application of Favourability Modelling to Zoning of Landslide Hazard in the Fabriano Area, Central Italy. 1st. Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, The Hague, NL. 398-403 p.

LUZI, L.; PERGALANI, F. 1996. Applications of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1:50.000 Fabriano geological map sheet). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 15, 83-94 p.

MESA, A. 2007. Evaluación de Riesgo Específico por deslizamiento en el Municipio Yateras. Guantánamo. Tesis de Maestría.

MORA, S., Vahrson, W.G., 1993. Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. Tecnología ICE 3, 32-42.

METTERNICHT, G.; HURNI, L.; GOGU, R. 2005. Remote sensing of landslides: and analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. Remote Sensing of Environment 98 (23), 284 303 p.

MULDER, H.F.H.M. 1991. Assessment of landslide hazard. Nederlandse Geografische Studies. PhD Thesis, University of Utrecht. 150 p.

NCGIA. 1990. Core Curriculum. Tres volúmenes: I. Introducción to GIS. II. Technical issues in GIS. III. Application issues in GIS. Santa Bárbara, CA. National Center for Geographic Information and Analysis / University of California.

ONEI. "Anuario estadístico de Cuba 2012". Oficina Nacional de Estadística e Información. 2012. <http://www.one.cu/aec2012/20080618index.html>

PINTÓN, 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.

PROENZA, J. 1998. Mineralización de cromitas en la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa

- (Cuba). El ejemplo del Yacimiento Mercedita. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 227 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
- RENGERS, N.; SOETERS, R.; VAN WESTEN, C.J. 1992. Remote sensing and GIS applied to mountain hazard mapping. Episodes. 15 (1), 36-45 p.
- ROLANDO VIÑALS NÚÑEZ. Ordenamiento territorial ambiental para el uso de suelos en le Unidad Básica de Producción Cooperativa Naranja Agrio, Sagua de Tánamo.
- REYES, Yenisel. 2010. Evaluación de la susceptibilidad por deslizamientos en el territorio de Moa aplicando métodos geomorfológicos y estadísticos. Trabajo de Diploma, Departamento de Geología. ISMM. 95 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 p.
- SOETERS, R.; VAN WESTEN, C.J. 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Turner, A.K., Schuster, and R.L. (Eds.), Landslides, investigation and mitigation. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. s.l.: National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., p. 129 177.
- SUÁREZ, J. 1998. Manual de Taludes en zonas Tropicales. Venezuela. 151 p.
- SULMA CASTAÑEDA HERRIS 2003 .Zonación ingeniero-geológica de peligrosidad y riesgo por inundación en el territorio Sagua de Tánamo. Tesis de Maestría.
- THE JAPANESE GEOTHECNICAL SOCIETY. "Manual for zonation of seismic geotechnical hazards (Revised version)". 1999. ISBN: 4-88644-809-7.
- THOMAS, A. 1974. Systeme dynamique de traitement et d'edition cartographique de l'information geotechnique. Proc. Of the 2th Intern. Congress of Engineering Geology, Sao Paulo, Brasil, Vol I, III-12.1-III-12.8.
- VALENTINI, G. 1967. Un modelo statico nello studio della frannosita nel quadro morfologico,

geológico, e geotécnico nella media valle del Fortore. Geologia applicata e Idrogeologia, Barri II.

- VAN WESTEN, C.J. 2004. Geo-information tools for landslide risk assessment-an overview of recent developments. In: Lacerda,W., Ehrlich,M., Fontoura, S., Sayao, A. (Eds.), Landslides, Evaluation & Stabilization. Proceedings of the 9th International. S.I: Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, 28th June 2nd July, p. 39 56.
- VAN WESTEN, C.J.; GETAHUN, F.L. 2003. Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models. Geomorphology 54 (1 2), 77 89. VAN WESTEN, C.J., VAN ASCH, T.W.J., SOETERS, R., 2005. s.l.: Landslide hazard and risk zonation; why is it still so difficult? Bulletin of Engineering geology and the Environment 65 (2).p 167 184.
- VARNES, D.J. 1978. Slope movement tyoes and processes. En: Landslides analysis and control. Special Report.176 p, 11-33 p.
- VARNES, D.J. IAEG. 1984. Landslide Hazard Zonation: a review of principles practice.UNESCO, Darantiere, París, 61 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.

## ***Bibliografía***

---

***Evaluación de la peligrosidad por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo***

***Yexenia Viltres Milán***