



INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Departamento de Geología
Facultad: Geología y Minas

Trabajo de Diploma

Para Optar por el Título de

Ingeniero Geólogo

**Título: Evaluación ingeniero geológica del peligro por
deslizamiento en el municipio Santiago de Cuba
empleando un SIG**

Autor: Uswatte Liyanage Ranura Lamal Perera

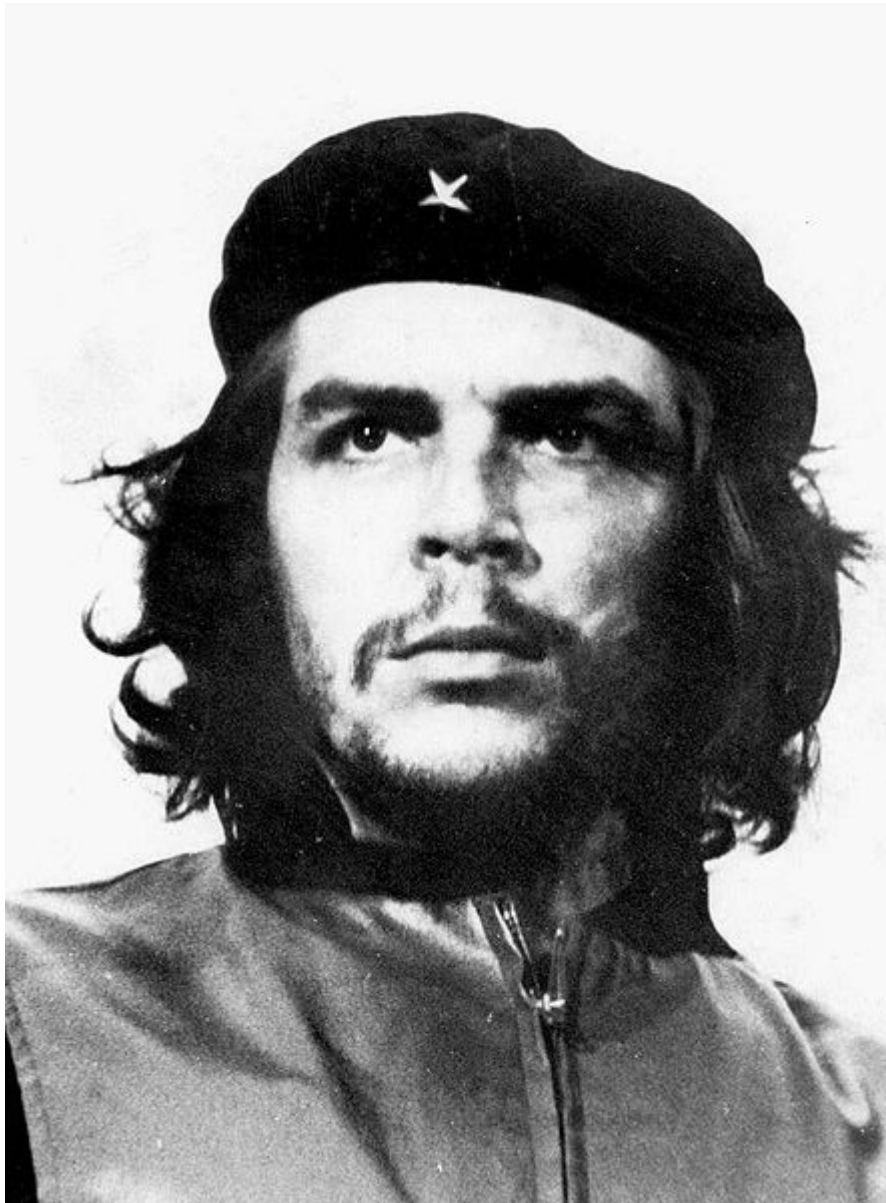
Tutor: Ing. Líber Galbán Rodríguez

Dr. C. Rafael Guardado Lacaba

**Moa, 2014
"Año 56 de la Revolución"**



Pensamiento



"...Déjenme decirles, a riesgo de parecer ridículo, que el revolucionario verdadero está guiado por grandes sentimientos de amor..."

Ernesto Guevara de la Serna

AGRADECIMIENTOS

Al gobierno cubano: Por haberme permitido llegar hasta aquí, para que en el futuro pueda aportar mi granito de arena al desarrollo de mi país.

A mis tutores: Ing. Líber Galbán Rodríguez, Dr.C Rafael Guardado Lacaba, por la inmensa confianza depositada, ya que en el momento preciso dieron lo mejor de sí mismos, brindándome su total apoyo, comprensión y colaboración para que el éxito de este trabajo fuese posible.

A todos los profesores de la facultad de Geología y Minas del Instituto Superior Minero Metalúrgico, que colaboraron con mi formación profesional, y en especial, a los que también me regalaron vivencias que enriquecieron en gran medida mi vida.

A mis compañeros de estudio que de una forma u otra me ayudaron incondicionalmente a alcanzar este éxito.

A mis padres, que desde el comienzo de mis estudios me apoyaron en todo y fueron los que inculcaron en mí los deseos de llegar a ser alguien en la vida.

A todo aquel que de alguna forma me ayudó en algún momento de mi vida durante los seis años de estudiante.

¡Muchísimas Gracias!

DEDICATORIA

A Yanelis Martínez y su esposo Roilber Sánchez: por ayudarme durante estos últimos años, haciendo de mí la persona que soy hoy.

Al Dr. León Ortelio Vera: por ser uno de los mejores profesores que he tenido y por ser un ejemplo a seguir en la vida.

A Yoandris Portales: por motivarme para hacer las cosas cada vez mejor y por ser el mejor estudiante universitario cubano que he conocido en mi vida.

Resumen

En el municipio Santiago de Cuba, las zonas montañosas son susceptibles a la ocurrencia de los peligros y riesgos asociados a deslizamientos en sus taludes y laderas, lo que se debe a las condiciones ingeniero-geológicas existentes en este territorio.

La revisión bibliográfica efectuada evidenció que los estudios de deslizamientos en este municipio presentan algunas deficiencias relacionadas a la consideración de variables o indicadores tales como la susceptibilidad litológica, los niveles freáticos, entre otros; además de que la metodología empleada para su determinación no considera adecuadamente su peso en la formulación para obtener el modelo de peligro total a deslizamientos.

Para resolver esta situación se propuso evaluar las condiciones ingeniero geológicas del terreno para determinar el peligro por deslizamiento en el municipio de Santiago de Cuba empleando un SIG. En esta evaluación se emplea por primera vez una metodología para modelar el peligro por deslizamientos e incluyen nuevos indicadores. Finalmente se obtuvieron mapas y modelos que tuvieron como resultado un nuevo mapa de peligro a deslizamiento para el municipio Santiago de Cuba.

Abstract

In Santiago de Cuba municipality, the mountain range zones are susceptible to the occurrence of hazard and risks associated to landslides in their slopes and hillsides, due to the presented engineering and geological conditions of the territory.

The bibliographical revision made evidenced that the studies of landslides in this municipality has some deficiencies related to the consideration of variables or indicators such as the geological susceptibility, the phreatic levels, among others; besides the methodology used for its determination did not consider its weight appropriately in the formulation to obtain the landslide hazard model.

To solve this situation an engineering and geological evaluation of the geologic conditions of the municipality was proposed to determine the landslides hazard using a GIS. In this evaluation the methodology employed to model was used for the first time and includes new indicators. Finally maps and models were obtained that lead to the modeling of a new map of landslide hazard for the municipality of Santiago de Cuba.

ÍNDICE

Agradecimientos	3
Dedicatoria	4
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE PELIGROSIDAD POR DESLIZAMIENTOS.	5
1.1 Análisis teórico conceptual	5
1.1.1 Talud o ladera.	5
1.1.2 Deslizamientos.	6
1.1.3 Dimensiones de los deslizamientos.	9
1.1.4 Clasificación de los deslizamientos.	10
1.1.5 Factores condicionantes en la formación de deslizamientos.	12
1.2 Conceptos y definiciones de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.	13
1.3 Empleo de los Sistemas de Información Geográfica en la modelación del peligro por deslizamiento.	16
1.3.1 Definición de los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.).	16
1.3.2 Antecedentes del empleo de los SIG en la evaluación del peligro por deslizamientos.	18
CAPÍTULO II: Características Físico-Geográficas y Geológicas del Municipio Santiago de Cuba y su Incidencia en los Deslizamientos	1
2.1 - Características Físico-Geográficas del municipio Santiago de Cuba	2
2.2 Particularidades climáticas de la región	4
2.3 Características geomorfológicas	4
2.4 Condiciones geológicas	6
2.5 Condiciones sismo-tectónicas	8
2.6 Desarrollo de procesos y fenómenos geológicos condicionantes	9
2.6.1 Fenómenos sísmicos	9

2.6.2 Erosión fluvial.	11
2.6.3 Procesos cárnicos.	13
2.6.4 Los deslizamientos.	14
2.7 Condiciones geotécnicas	17
CAPÍTULO III: PROPOSICIÓN METODOLÓGICA PARA LA MODELACIÓN DEL PELIGRO POR DESLIZAMIENTOS	20
3.1 Metodología general de trabajo	20
3.2 Etapa de identificación e indagación de la base de datos local.	21
3.3 Etapa de Pre procesamiento de datos	22
3.3.1 Herramientas SIG para la obtención del modelo de peligro por deslizamiento.	23
3.3.2 Modelación empleando el software ArcGIS	24
3.4 Etapa de formulación de trabajo para la construcción de los modelos.	25
3.4.1 Definición del modelo de peligro por deslizamientos.	25
3.4 Etapa de selección y estandarización de variables	..26
3.5 Etapa de Confección de los submodelos	27
3.5.1 Submodelo de Vegetación	27
3.5.2 Submodelo de Nivel Freático	27
3.5.3 Submodelo de susceptibilidad cársica.	28
3.5.4 Submodelo de Fallas	29
3.5.5 Submodelo de susceptibilidad geológica	29
3.5.6 Submodelo de Pendiente	1
3.5.7 Submodelo de precipitaciones medias anuales	1
3.5.8 Submodelo de peligro sísmico	1
3.5.9 Submodelo de uso de suelo	2
CAPÍTULO IV. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LA FORMULACIÓN GENERAL Y DISCUSIÓN DE LOS MODELOS.	3

4.1 Representación de los submodelos primarios obtenidos con el Software ArcGIS.	4
4.1.1 Submodelo de Vegetación	5
4.1.2 Submodelo de Nivel Freático	7
4.1.3 Submodelo de susceptibilidad cársica	8
4.1.4 Submodelo de Fallas	9
4.1.5 Submodelo de Susceptibilidad geológica	10
4.1.6 Submodelo de Pendiente	11
4.1.7 Submodelo de precipitaciones medias anuales	12
4.1.8 Submodelo de Peligro Sísmico	13
4.1.9 Submodelo de uso de suelo	14
4.2 Representación del los submodelos secundarios el Software ArcGIS	15
4.2.1 Modelo de Deslizamiento por lluvias	15
4.2.3 Modelo de deslizamientos por sismos	16
4.3 Modelo de deslizamiento total	17
CONCLUSIONES	1
RECOMENDACIONES	2
BIBLIOGRAFÍA	2

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a la humanidad, causando muertes y daños en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb, 1989); sin embargo, muy pocas personas están 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.

En Cuba, no existe un registro de los efectos causados por deslizamientos del terreno como desastre natural, aunque un informe presentado por el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC, 2002), reporta que existen 45,000 personas como población vulnerable por deslizamientos. (Batista, Y., 2009). Actualmente se están realizando nacionalmente investigaciones en este sentido por distintos especialistas en las provincias del país coordinadas por la Agencia Nacional de Medio Ambiente (AMA) del Ministerio de ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

Situación problemática:

En la provincia Santiago de Cuba, y en particular en el municipio Santiago de Cuba, las zonas montañosas son susceptibles a la ocurrencia de los peligros y riesgos asociados a deslizamientos en sus taludes y laderas, esto se debe a las condiciones ingeniero geológicas existentes: el relieve, las lluvias intensas, la geología y su tectónica, la sismicidad, los procesos erosivos, condiciones geotécnicas y la acción antrópica.

Por las razones antes mencionadas se considera al municipio Santiago de Cuba, como uno de los territorios con mayores potencialidades de manifestación de fenómenos de deslizamientos de tierra en Cuba.

Los estudios del peligro, la vulnerabilidad y los riesgos causados por deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba están avanzados. Estos son liderados particularmente por un grupo multidisciplinario del Centro Nacional de Investigaciones Sismológica (CENAI) que radica en la ciudad de Santiago de Cuba (Villalón *et al*, 2012); sin embargo, la revisión bibliográfica efectuada

evidenció que estos estudios presentan algunas deficiencias en su realización, entre ellas:

- Existen dificultades en la consideración de variables o indicadores tales como la susceptibilidad litológica, los niveles freáticos, entre otros.
- La metodología empleada para su determinación no considera adecuadamente el peso de las variables.

Por tanto se definen las siguientes categorías de investigación.

Problema científico:

Necesidad de una evaluación ingeniero geológica actualizada que permita identificar el grado de peligrosidad por deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba.

Objeto de estudio:

Los deslizamientos en el municipio de Santiago de Cuba.

Objetivo general:

Evaluar las condiciones ingeniero geológicas del terreno para determinar el peligro por deslizamiento en el municipio de Santiago de Cuba empleando un SIG.

El campo de acción:

Peligro por deslizamientos en el municipio de Santiago de Cuba

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar ingeniero geológicamente el municipio de Santiago de Cuba y los diversos procesos y fenómenos geodinámicos que están relacionados con los deslizamientos.
2. Exponer los elementos metodológicos para modelar el peligro por deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba.
3. Implementar la metodología en el municipio Santiago de Cuba y argumentar los elementos básicos del modelo de peligro por deslizamiento obtenido.

Hipótesis:

Si se evalúan las condiciones ingeniero geológicas del municipio de Santiago de Cuba para determinar el peligro por deslizamientos empleando un SIG e introduciendo nuevos indicadores en su evaluación, se podrá contar con una herramienta de trabajo que permitirá mejorar las limitaciones existentes y reducir estos peligros en el territorio.

Métodos de investigación:

- Métodos teóricos: inducción-deducción, el histórico-lógico, hipotético deductivo.
- Métodos empíricos: la observación, métodos estadísticos.
- Métodos profesionales: método geológico, analógico ingeniero geológico, métodos de cálculo geotécnico, la modelación ingeniero-geológica con el empleo de los SIG, observación experimental de las manifestaciones de peligro por deslizamiento, la cartografía ingeniero-geológica, entre otros.

Como novedad científica:

1. Se emplea por primera vez la metodología propuesta para modelar el peligro por deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba:
2. La introducción de nuevos indicadores geológicos de evaluación durante la modelación.
3. El empleo de una nueva clasificación y zonación integral para las evaluaciones de peligro por deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba.
4. Nuevos mapas y modelos que apoyan los estudios geológicos de peligro por deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba.

La actualidad de la investigación radica en su correspondencia con los objetivos priorizados de la Defensa Civil Nacional cubana establecidos en la Directiva No.1 /2010, del Presidente del Consejo de Defensa Nacional “Para la organización, planificación y preparación del país para situaciones de desastres”; además con los objetivos estratégicos nacionales del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medioambiente de Cuba (CITMA).

Fundamento metodológico de la investigación:

La tesis está compuesta por una introducción, cuatro capítulos que conforman el cuerpo de la tesis, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos:

- En la introducción se expone el diseño de la investigación.
- Capítulo 1: Se exponen los principales conceptos relacionados con los estudios de los deslizamientos, la peligrosidad y su modelación con los Sistemas de información geográfica.

- Capítulo 2: Se caracterizan ingeniero geológicamente los diversos procesos y fenómenos geodinámicos que están relacionados con los deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba.
- Capítulo 3: Se realiza la proposición metodológica para que permitirá obtener el modelo de peligro por deslizamientos del municipio Santiago de Cuba.
- Capítulo 4: Se presentan los resultados de la aplicación de la metodología empleada.
- Conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE PELIGROSIDAD POR DESLIZAMIENTOS.

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE PELIGROSIDAD POR DESLIZAMIENTOS.

Los deslizamientos son fenómenos que en numerosas regiones contribuyen significativamente en la evolución del relieve y del paisaje, ocurren en lugares caracterizados por condiciones ambientales específicas, tienen lugar en la superficie terrestre (lugar de ocupación y desarrollo de las principales actividades humanas) modificando más o menos bruscamente sus condiciones y están entre los fenómenos de origen geológico que causan daños más extendidos en el mundo. Para llegar a la caracterización de los procesos y fenómenos geológicos que conducen a deslizamientos en el presente capítulo se realizan las siguientes tareas:

1. Análisis teórico conceptual de los deslizamientos.
2. Introducción a los estudios de peligrosidad por deslizamientos.
3. Evolución histórica del estudio de los deslizamientos empleando técnicas SIG.

1.1 Análisis teórico conceptual

1.1.1 Talud o ladera.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. Suárez (1998) lo define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y como talud cuando se conformó artificialmente. (Figura 1.1).

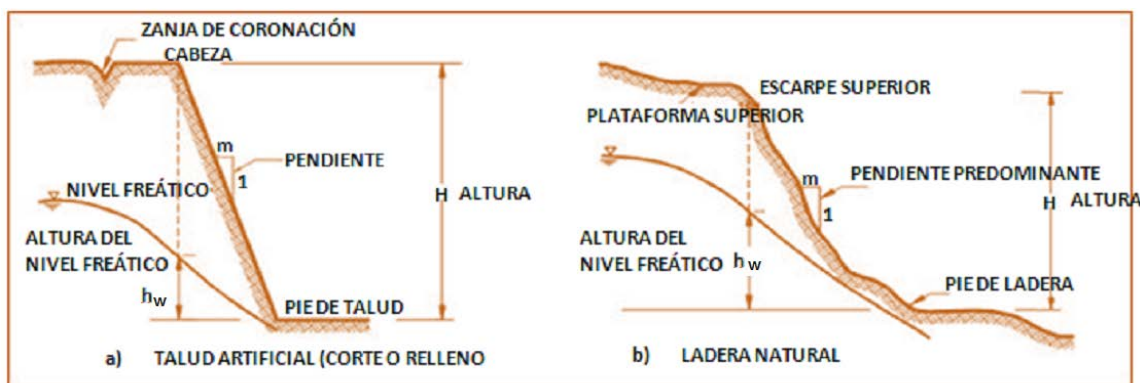


Figura 1.1 Nomenclatura de taludes y laderas. Fuente: (Suárez. J, 1998)

Los elementos morfométricos de un talud o ladera son (Suárez. J, 1998):

- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar

en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

- **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

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

1.1.2 Deslizamientos.

Sharpe (1938), definió los deslizamientos como la caída perceptible o movimiento descendente de una masa relativamente seca de tierra, roca o ambas.

Según Lomtadze (1977), es una masa de rocas de baja consolidación o compactación que se ha movido o mueve cuesta abajo por la vertiente o talud (vertiente artificial) bajo el efecto de la gravedad, presión hidrodinámica (por efecto de sobresaturación), fuerzas sísmicas de diversos orígenes, etc. Estos agentes también pueden actuar en los deslizamientos de forma combinada.

Crozier (1986), define un deslizamiento como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua como agente de transporte.

Suárez (1998) plantea que un deslizamiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda superficie, la que sería, la superficie de falla.

A pesar de que el término deslizamiento, se utiliza para movimientos de ladera que se producen a lo largo de una superficie de rotura bien definida, en la presente investigación se utiliza de forma genérica para cualquier tipo de rotura.

Los deslizamientos tienen la propiedad de destruir las laderas y los taludes, cambian sus configuraciones y crean un relieve característico, generando formas peculiares en la estructura de las acumulaciones de masa deslizada; por consiguiente cambian el relieve del terreno, su estructura geológica, señalando la pérdida de resistencia y estabilidad de las rocas ante la influencia de determinados factores. Los deslizamientos resultan muy variables por las dimensiones (escalas) del fenómeno, el tipo de dislocación de la masa de roca o suelo, causa de alteración de su equilibrio, dinámica del desarrollo del proceso y otras características.

Para evaluar los deslizamientos es necesario conocer sus elementos estructurales, los cuales se describen a continuación (Varnes, 1978) (Figura 1.2):

- **Corona:** sector de la ladera que no ha fallado y se localiza en la parte más alta de la zona deslizada. En ocasiones presenta grietas, llamadas grietas de la corona.
- **Escarpe principal:** superficie de la pendiente muy fuerte, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. Si este escarpe se proyecta bajo el material desplazado, se obtiene la superficie de ruptura.
- **Escarpe menor:** superficie de pendiente muy fuerte en el material desplazado y producida por el movimiento diferencial dentro de este material.
- **Punta de la superficie de ruptura:** la intercepción (algunas veces cubierta) de la parte baja de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.
- **Cabeza:** la parte superior del material desplazado a lo largo de su contacto con el escarpe principal.
- **Tope:** el punto más alto de contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.
- **Cuerpo principal:** la parte del material desplazado que sobre yace la superficie de ruptura localizada entre el escarpe principal y la punta de la superficie de ruptura.
- **Flanco:** Lado del deslizamiento.
- **Pie:** la porción del material desplazado que descansa ladera abajo desde la punta de la superficie de ruptura.
- **Dedo:** el margen del material desplazado más distante del escarpe principal.

- **Punta:** el punto en el pie más distante del tope del deslizamiento

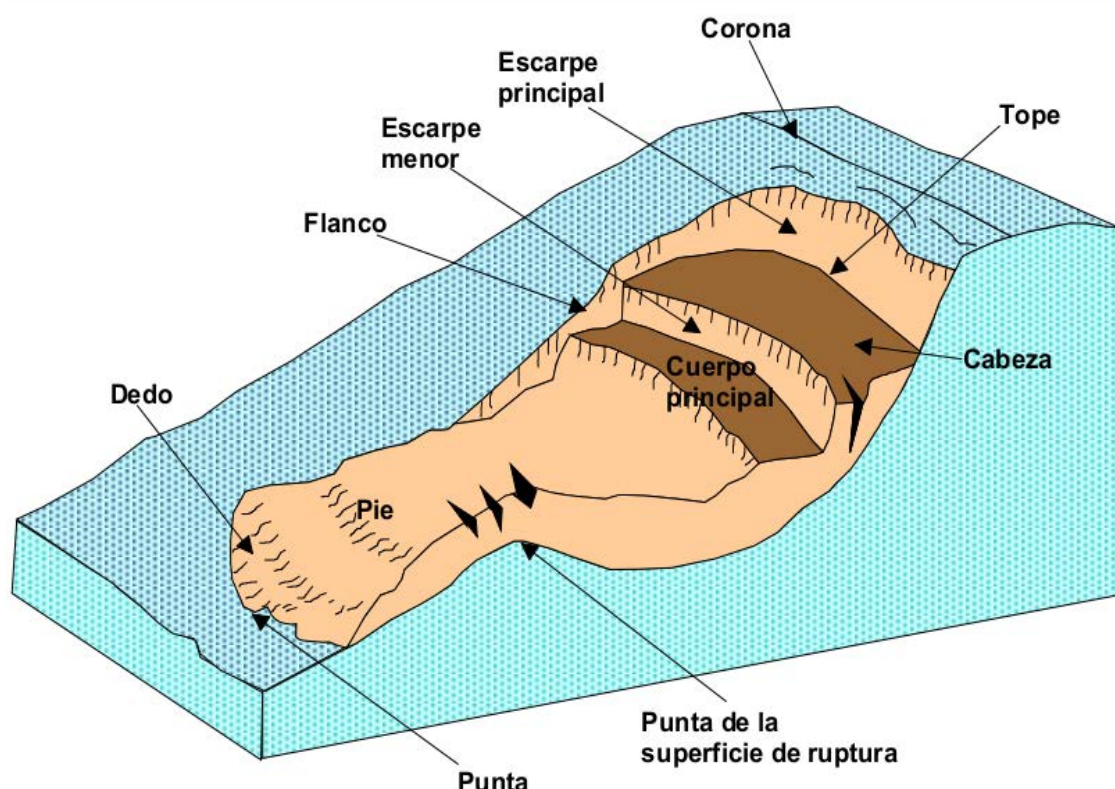


Figura 1.2 Elementos estructurales de un deslizamiento. Fuente:(Varnes, 1978).

En el proceso de deslizamiento, las masas de rocas y suelos siempre se mueven por una o varias superficies de resbalamiento (rotura), que constituye un elemento característico de la estructura de cada deslizamiento. La superficie de resbalamiento, es la superficie por la cual sucede el desprendimiento de la masa deslizable y su deslizamiento o arrastre. También se le llama Superficie de Rotura (SR) (Lomtadze, 1977).

La forma de la Superficie de Rotura (SR) en las rocas homogéneas, con mayor frecuencia es cóncava, próxima por su forma, a la superficie cilíndrica redonda. En las rocas heterogéneas, la forma de la SR, se determina por la situación y orientación de las superficies y zonas de debilitamiento en el macizo rocoso que integran la ladera o talud. Estas superficies pueden ser:

- Superficies de rocas firmes o de frontera inferior de rocas fuertemente erosionadas.
- Capas o intercalaciones de rocas débiles (arcillas, argilitas, areniscas arcillosas, margas, etc.)
- Grietas o sistemas de fisuras.

➤ Superficies de fallas.

La forma de la SR en las rocas heterogéneas también pueden ser cóncavas, pero con mayor frecuencia planas, plano-escalonadas, onduladas o más irregular, como resultado de la combinación y orientación desfavorable de las familias de grietas y otras fronteras (esquistosidad, estratificación, etc.) con respecto a la dirección de las laderas y taludes.

1.1.3 Dimensiones de los deslizamientos.

Para definir las dimensiones de un deslizamiento se utilizó la terminología recomendada por IAEG Commission on Landslides (1990):

1. **Ancho de la masa desplazada (Wd):** Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, Ld.
2. **Ancho de la superficie de falla (Wr):** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud Lr.
3. **Longitud de la masa deslizada (Ld):** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
4. **Longitud de la superficie de falla (Lr):** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
5. **Profundidad de la masa desplazada (Dd):** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por Wd y Ld.
6. **Profundidad de la superficie de falla (Dr):** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por Wr y Lr.
7. **Longitud total (L):** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
8. **Longitud de la línea central (Lcl):** Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos
9. **Volumen del deslizamiento:** El volumen del deslizamiento se mide en metros cúbicos después de la falla. El volumen de material medido antes del deslizamiento generalmente, aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término "Factor de expansión" puede ser utilizado para describir éste aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento.

En algunas ocasiones como en el caso de roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70% (Figura 1.3).

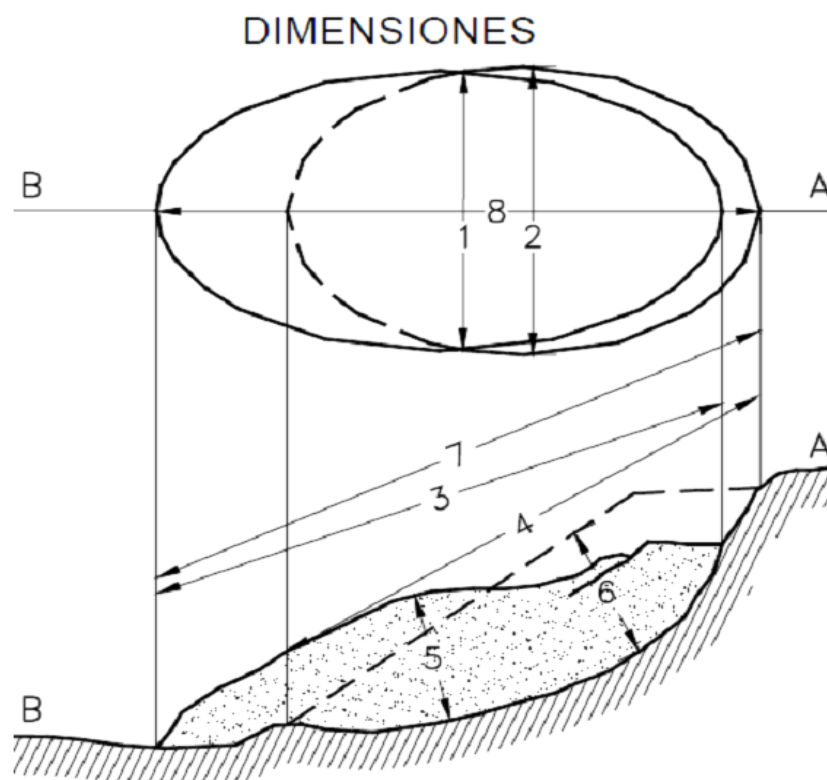


Figura 1.3. Dimensiones de los movimientos en masa. Fuente: IAEG Commission on Landslides (1990).

1.1.4 Clasificación de los deslizamientos.

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas. Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas (Suárez, 1998).

Existen varias clasificaciones de deslizamientos basadas en el mecanismo de rotura y la naturaleza de los materiales involucrados (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; WP/WLI, 1993; Cruden y Varnes, 1996). La clasificación que se ha utilizado es la propuesta por Corominas y García (1997) (Tabla, 1.1).

Tabla 1.1. Clasificación propuesta por Corominas y García (1997).

TIPO	EJEMPLO
<p>Desprendimientos:</p> <p>Es aquel movimiento de una porción de suelo o roca, en forma de bloques aislados o masivamente que, en una gran parte de su trayectoria desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras. <i>Vuelcos</i>: son movimientos de rotación hacia el exterior, de una unidad o de un conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo del centro de gravedad de la masa movida.</p>	
<p>Deslizamientos:</p> <p>Son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movilizada se desplaza como un bloque único, y según la trayectoria descrita los deslizamientos pueden ser rotacionales o traslacionales.</p>	
<p>Expansiones laterales:</p> <p>El movimiento dominante es la extrusión plástica lateral, acomodada por fracturas de cizalla o de tracción que en ocasiones pueden ser de difícil localización</p>	
<p>Flujos: son movimientos de una masa desorganizada o mezclada, donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni sus trayectorias tienen que ser paralelas. Debido a ello la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas.</p>	

1.1.5 Factores condicionantes en la formación de deslizamientos.

Por condiciones que favorecen a la formación de deslizamientos, se entiende todo el conjunto de elementos naturales y antrópicos que facilitan la acción de fuerzas que alterarán el equilibrio en el macizo rocoso, por consiguiente las causales de la formación de los deslizamientos y las condiciones que lo favorecen no siempre son las mismas. Tal diferenciación de conceptos puede parecer algo eventual, no obstante la experiencia del estudio de los deslizamientos nos lleva a tal afirmación.

En los trabajos presentados por Cruden y 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. (Glade y 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. (Soeters y Van Westen, 1996 y Metternich *et al.*, 2005) 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. Ibens y Brunnsden, (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). Según Guardado *et al* (2013), los factores condicionantes en la formación de deslizamientos en un territorio son:

- La estructura geológica de las laderas y taludes;
- Las particularidades de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y suelos.
- Las condiciones de actividad de las aguas subterráneas cercanas a la superficie.
- Las condiciones de actividad de las aguas superficiales.
- La presencia de vegetación.
- Las particularidades climáticas de la región;

- El régimen hidrológico de las cuencas, sus arroyos y ríos con sus tramos deslizables.
- El relieve del terreno.
- Los movimientos neotectónicos y los fenómenos sísmicos a ellos asociados.

1.2 Conceptos y definiciones de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.

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

Los daños asociados a los procesos de deslizamientos dependen de:

- La velocidad, magnitud y extensión del deslizamientos, el cual puede ocurrir de forma violenta y catastrófica (grandes deslizamientos) o lentas (flujos y otros movimientos de laderas).
- La posibilidad de prevención, predicción y el tiempo de aviso.
- La posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo o de proteger los elementos expuestos a sus efectos.

Para evitar o reducir los daños causados por los deslizamientos en un territorio es necesario, en primer lugar, la evaluación de la peligrosidad, de manera tal que se pueda incorporar a la planificación y ocupación de territorio.

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

- **Susceptibilidad (S):** hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno (Santacana, 2001).
- **Peligrosidad (P):** Se refiere básicamente a la posibilidad o probabilidad de ocurrencia durante un periodo dado de tiempo de un fenómeno (natural o construido) potencialmente dañino (peligro) en un área determinada, conocidas las características del mismo (magnitud o intensidad) y su zona de acción e influencia (García, 2005).

- **Vulnerabilidad (V):** Se ha definido como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso o fenómeno natural de una magnitud determinada, expresada en términos cualitativos y relativos (García, 2005).
- **Riesgo específico (Rs):** Es el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno potencialmente dañino. Este puede ser estimado por la relación entre dos variables fundamentales: peligrosidad y vulnerabilidad. $RS = P * V$ (García, 2005).
- **Exposición (E):** Es el conjunto de elementos bajo riesgo en un área determinada. En una zona concreta cambia de acuerdo con la tipología del riesgo. En función de los tipos de elementos expuestos, pueden distinguirse tres tipos de exposición: Social, Económica o Estructural y Medioambiental. (García, 2005)
- **Riesgo total (Rt):** Corresponde al número de vidas perdidas, daños a la propiedad y a las personas, etc. Debidas a un fenómeno natural concreto en un área determinada. El riesgo total se define como el producto del riesgo específico y de los elementos bajo riesgo como se observa en la siguiente expresión: (García, 2005)

$$Rt = E * Rs = E * (P * V)$$

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

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

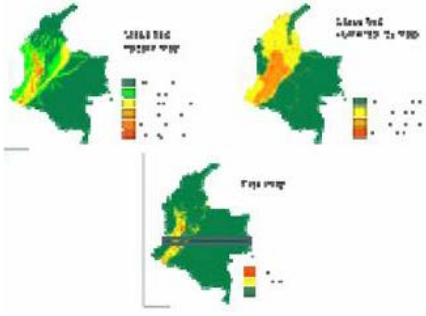
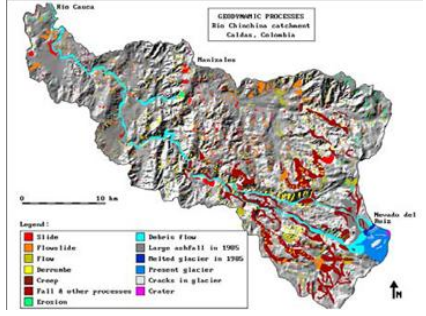
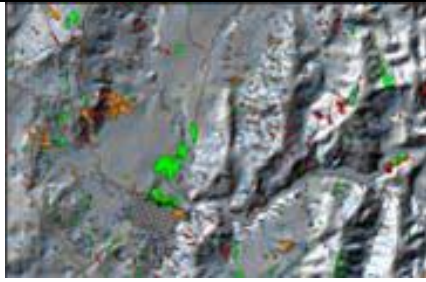
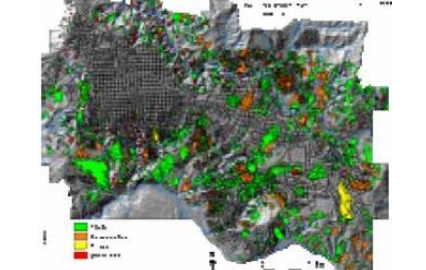
El término *susceptibilidad* hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno (Santacana, 2001).

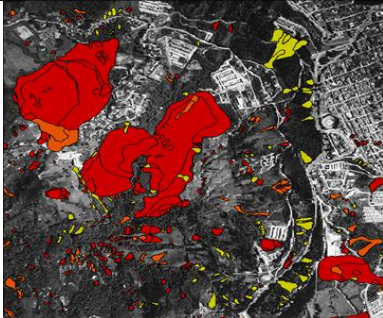
Escalas utilizadas en la cartografía de peligrosidad.

La escala de análisis es uno de los primeros puntos a considerar en un proyecto. De ella depende la metodología utilizada, los factores o datos considerados, la unidad de terreno etc. En Cuba la Defensa Civil emplea cinco tipos escalas de

trabajo para la cartografía de peligro, vulnerabilidad y riesgos según se plantea en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Tipos de cartografía para el mapeo de peligro, vulnerabilidad y riesgos según escalas de análisis. Según Galbán, 2013.

ESCALA	EJEMPLO	DESCRIPCIÓN
Escala nacional.		Menos de 1:1.000.000, cubre la totalidad del país, el objetivo principal es el de llamar la atención de los tomadores de decisiones y público en general. A menudo mapas en esta escalas se diseñan con el propósito de ser incluidos en atlas nacionales
Escala regional.		Entre 1:100.000 y 1:1.000.000, cubre una cuenca grande o una entidad político-administrativa de un país. Mapas en esta escala diseñados en la fase de reconocimiento para la planificación de proyectos de infraestructura de gran dimensión.
Escala media.		Entre 1:25.000 y 1:100.000, cubre una municipalidad o una cuenca pequeña. Orientado a la planificación detallada de en el desarrollo de proyectos de infraestructura, estudios de impacto ambiental, planificación Municipal.
Escala detallada.		Entre 1:2.000 y 1:25.000, cubre una municipalidad o parte de una ciudad. Usados en la generación de mapas de peligro detallados.

<p>Investigación de sitio.</p>		<p>Entre 1:200 y 1:2.000, cubriendo las áreas donde los trabajos ingenieriles serán ejecutados, o un solo sector problema. Usados en diseño detallado de trabajos de ingeniería tales como vías, puentes, túneles, represas, y la ejecución de trabajos de mitigación.</p>
---------------------------------------	---	--

1.3 Empleo de los Sistemas de Información Geográfica en la modelación del peligro por deslizamiento.

1.3.1 Definición de los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.).

Varios autores (Cebrián y Mark, 1986; Burrough, 1988; Bracken y Webster, 1990, entre otros) han realizado distintas definiciones en torno a los Sistemas de Información Geográfica. Una de las más significativas define un S.I.G como una tecnología (un sistema de hardware y software) aplicada a la resolución de problemas territoriales (Bosque, 1992).

Otra definición plantea que es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelación y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración (NCGIA, 1990). Una definición más sencilla es: Un sistema de computador capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre (Reyes, 2010).

El S.I.G particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. A parte de la especificación no gráfica el S.I.G. cuenta también con una base de datos gráfica con información georreferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es medible y tiene localización.

La base de un S.I.G es, por tanto, una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (formato ráster), o bien capas que representan objetos (formato vectorial) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Esta estructura permite combinar en un

mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos, incrementando la complejidad del sistema. A todo objeto se le asocian atributos que pueden ser:

- Gráficos
- No gráficos o alfanuméricos.

Atributos gráficos

Son las representaciones de los objetos geográficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real. La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas.

Atributos no gráficos

También llamados atributos alfanuméricos. Corresponden a las descripciones, cualificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos.

El proyecto implementado permite varias habilidades útiles en el procesamiento, interpretación y actualización de las bases de datos:

- Georreferenciar y desplegar datos espaciales en las vistas
- Crear, editar, importar datos en las vistas
- Realizar consultas en las bases de datos
- Realizar funciones espaciales avanzadas entre capas (intersección, superposición, corte)
- Realizar operaciones entre capas temáticas
- Crear mapas para presentaciones

A modo de resumen se puede sintetizar que los S.I.G. tienen como propósito crear un modelo simplificado del territorio que pueda dar respuesta de cómo actuar delante de problemas reales. De esta forma constituyen sistemas de apoyo a la decisión; en ellos los datos se estructuran para servir de ayuda a la toma de decisiones, facilitando discusiones y simulaciones de lo que podría ocurrir en caso de adoptar una u otra postura.

1.3.2 Antecedentes del empleo de los SIG en la evaluación del peligro por deslizamientos.

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 pioneros se destacan Brabb *et al.* (1978) en California y Carrara *et al.* (1977) en Italia. En la actualidad, prácticamente todas las investigaciones de susceptibilidad por deslizamientos y su cartografía de peligrosidad se realiza empleando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.), entre los más extendidos e encuentran el ArcGIS, ArcView, MapInfo, illwis, entre otros.

Actualmente estos se asocian con herramientas y aplicaciones como los GPS, Sensores remotos, las imágenes satelitales, etc.; todas han logrado desarrollarse con mucho auge en los últimos 10 años.

Los S.I.G han alcanzado su mayor desarrollo, sobre todo, en la evaluación de la peligrosidad, basada en Van Westen *et al* (2004), que brinda un análisis esquemático de los componentes que intervienen en el peligro por deslizamiento.

En América Latina, a raíz de los fenómenos de deslizamientos ocurridos en 1998 provocados por las intensas lluvias que a su paso trajo el del huracán Mich, que causó más de 1000 muertes y pérdidas incalculables solamente en la ciudad de Tegucigalpa en honduras (Harp *et al.*, 2002; Mastin, 2002); se realizaron distintos trabajos que sirvieron de fundamento para elaborar guías para la susceptibilidad por deslizamientos, zonación por peligrosidad y riesgo, uso de suelos y planeación, entre otros documentos que se dedican a describir metodológicamente su uso empleando los S.I.G (JTC-1, 2008).

Por otro lado, IAEG- Comisión de deslizamientos (1990), UNESCO-WP/WLI, (1993), Van Westen *et al* (2004), entre otros, han hecho esfuerzos por estandarizar a través de una nomenclatura la valoración de los deslizamientos; unos toma en consideración tres grupos (bajo, medio y alto), otros cuatro grupos (bajo, medio, alto, muy alto) para la evaluación de la susceptibilidad, la peligrosidad y el riesgo por deslizamiento. Cruden y Varnes (1996), el Grupo de trabajo de los deslizamientos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (IUGS, 2001), etc., han trabajado en elementos relacionados al tamaño del deslizamiento y medidas para mitigar y disminuir su acción.

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 peligros 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 (2005), donde muestra los resultados del procesamiento de datos para obtener la evaluación geomorfométrica de amenaza de deslizamiento del terreno. El análisis y procesamiento se realiza empleando técnicas S.I.G. y software de sensores remotos.

Mesa (2007), en su tesis de maestría 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. en opción al título de máster en el 2009 efectúa la investigación "Evaluación del riesgo por deslizamiento del municipio Bartolomé Masó en la 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 peligro final.

En estos momentos se realizan estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos centrados por la AMA del CITMA que tienen como base la Directiva No.1/2010 . Entre los resultados más recientes se encuentran los alcanzados por Castellanos *et al* (2006, 2009, 2012) sobre peligro de deslizamientos en Cuba a escala 1:250 000; también se destacan varios estudios de deslizamientos en Guantánamo (Rosabal *et al*, 2009), Holguín (Grupo multidisciplinario, 2011) y Santiago de Cuba (Villalón *et al*, 2012), los cuales hoy tienen cierto nivel de uso en los programas territoriales de prevención de desastres.

La evolución de estos trabajos indica que cada año se precisa incorporar la mayor cantidad de elementos posibles para mejorar paulatinamente los estudios de peligro por deslizamiento en el país.

**CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-
GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL MUNICIPIO
SANTIAGO DE CUBA Y SU INCIDENCIA EN LOS
DESLIZAMIENTOS.**

CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE CUBA Y SU INCIDENCIA EN LOS DESLIZAMIENTOS

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

1. Caracterizar el municipio Santiago de Cuba desde el punto de vista geomorfológico y geológico.
2. Identificar y caracterizar los principales procesos y fenómenos geológicos conducentes a peligro por deslizamiento en el municipio Santiago de Cuba.

2.1 - Características Físico-Geográficas del municipio Santiago de Cuba

El municipio Santiago de Cuba se encuentra situado al sur de la provincia de igual nombre y colinda por el norte con los municipios San Luis y Songo La Maya; por el sur con el Mar Caribe; por el este con la provincia Guantánamo y por el oeste con los municipios Guamá y Palma Soriano (Figura 2.1) siendo sus Coordenadas Lambert aproximadas de:

	Min	Max
X	579 319,500 Metros	651 778,500 Metros
Y	137 356,000 Metros	164 642,000 Metros

Es uno de los mayores del país en cuanto a extensión y población. Tiene una extensión de 1025,79 km², ocupando el primer lugar entre los municipios santiagueros al igual que en población, la cual supera los 500 000 habitantes (ONEI, 2012). En éste se encuentra el municipio Santiago de Cuba, capital municipal y provincial, la segunda ciudad más importante del país.



Figura 2.1. Ubicación geográfica del municipio Santiago de Cuba en el contexto provincial y nacional.



Figura 2.2 Imágenes de la ciudad de Santiago de Cuba, centro económico y social principal del oriente cubano.

Entre las principales características a evaluar en el municipio que inciden en las condiciones ingeniero-geológicas que causan deslizamientos se encuentran las siguientes:

- Particularidades climáticas de la región.
- Características geomorfológicas.
- Condiciones geológicas
- Condiciones sismo tectónicas
- Desarrollo de procesos y fenómenos geológicos condicionantes.
- Condiciones geotécnicas.
- Actividad antrópica sobre el medio geológico

2.2 Particularidades climáticas de la región

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

El clima es subtropical cálido; con un período lluvioso de mayo a octubre donde se registran de un 80 a un 100 % de los totales anuales; los meses de septiembre y octubre son los de mayor ocurrencia, seguidos de agosto y noviembre. El período seco va de noviembre a abril, con el 20 % y los meses de menor ocurrencia son mayo, junio y julio.

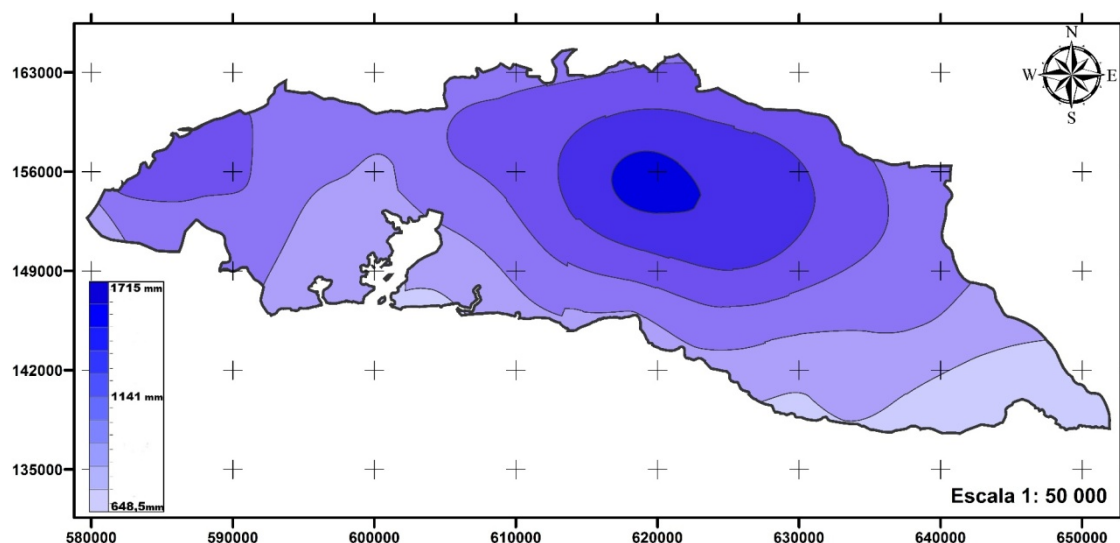


Figura 2.3. Mapa de Precipitaciones medias anuales del municipio Santiago de Cuba. Fuente: (I.N.R.H., 2012)

Los estudios recientes realizados por Galbán (2012), señalan que la causa fundamental de los deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba es la sobresaturación de los suelos, sobre todo la que ocurre en temporadas de intensas lluvias, por lo que este es un factor importante en las evaluaciones de peligro.

2.3 Características geomorfológicas

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

pendientes que en varios casos sobrepasan el 45%, un factor favorable para la ocurrencia de deslizamientos.

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

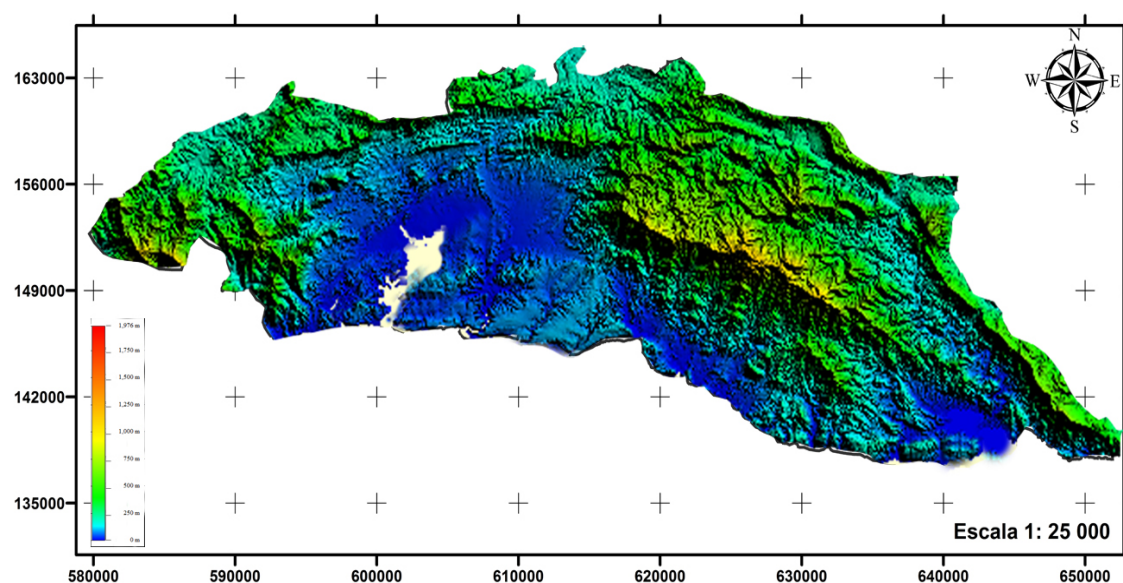


Figura 2.4. Modelo digital del terreno del municipio Santiago de Cuba. Fuente: (Geocuba, 2010)

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

Figura 2.5. Vista bahía de Santiago de Cuba (Izquierda). Terrazas arrecifales en la zona costera de la cuenca de Santiago de Cuba, donde la Formación Maya ocupa las partes más elevadas y la Formación Jaimanitas la parte más baja y próxima a la costa. Fuente: (Medina *et al*, 1999).

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

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

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

2.4 Condiciones geológicas

Geológicamente, en los macizos montañosos del sur del municipio predominan las rocas ígneas del tipo granítico hacia el sureste, máficas alrededor de la cuenca Santiago, del tipo vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias hacia el suroeste en distintas correlaciones, combinaciones alternantes y muy variables, tanto en sentido vertical como lateral. Las rocas del tipo sedimentarias predominan sobre todo en la Cuenca Santiago (centro sur) y en su parte meridional, observándose una alternancia de calizas biodetríticas, calizas limosas y limoso- arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas, conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas; aunque también es posible encontrarlas metamorfizadas hacia el sureste principalmente. (Carrillo *et al*, 2009). Estratigráficamente, las formaciones más antiguas provienen del período Cretácico Superior, donde predominan las rocas sedimentarias, vulcanógenas y vulcanógeno sedimentarias, aunque se revelan algunas del tipo metamórficas en los contactos con los macizos de origen vulcanógeno y vulcanógeno sedimentarios hacia la parte sureste (Mármoles Jurásico: T.Kozary, 1957, Edad:

Pre-Cretácico Superior; Metamórficas Duarte, M.T.Kozary, 1955, Edad: Pre-Campaniano (?), etc.) (Carrillo *et al*, 2009).

Se representan además formaciones del Paleógeno representadas abundantemente por formaciones pertenecientes al grupo El Cobre, ampliamente distribuidas a lo largo de la Sierra Maestra; las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidacítica y dacítica, raramente riolítica, riodacítica y basáltica. Con estas rocas se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian a este complejo vulcanógeno- sedimentario cuerpos hipoabisales y diques de diversa composición. En su constitución también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas, vulcanomícticas y grauvacas. En el Paleógeno también se desarrollan formaciones sedimentarias de origen terrígeno y de ambientes marinos, entre las que se destacan la Formación Jaimanitas en la faja costera, Formación Cauto, terrígena ubicada hacia la parte centro oeste, y otras formaciones tales como Punta Imías, Bitirí, etc. (Carrillo *et al*, 2009).

Dentro de la evolución geológica del Neógeno se encuentran un grupo de formaciones sedimentarias fundamentalmente carbonatadas representadas por Formación La Cruz (periferia de la bahía de Santiago de Cuba), Formación San Luis, Formación Camarones y además, otras predominantemente terrígenas como la Formación Puerto Boniato. Las formaciones más recientes, predominantemente sedimentarias, pertenecen al Cuaternario y se desarrollan en forma discontinua en pequeñas áreas de la cuenca de Santiago de Cuba; representadas en las formaciones Camaroncito y Maya, desarrollándose depósitos arrecifales que alternan con episodios de intenso aporte de materiales clásticos terrígenos (Carrillo *et al*, 2009).

El entorno geológico local donde se encuentra el municipio Santiago de Cuba es favorable para la ocurrencia de deslizamientos en dependencia de las condiciones puntuales en combinación con factores externos como la lluvia y la aceleración sísmica. Es preciso destacar que en el territorio se encuentran muy expandidas las rocas vulcanógeno-sedimentarias con textura arcillosa en potencias que en algunos casos sobrepasan los 30 metros de espesor, las que igualmente favorecen la consecución de deslizamientos en zonas de pendiente elevada.

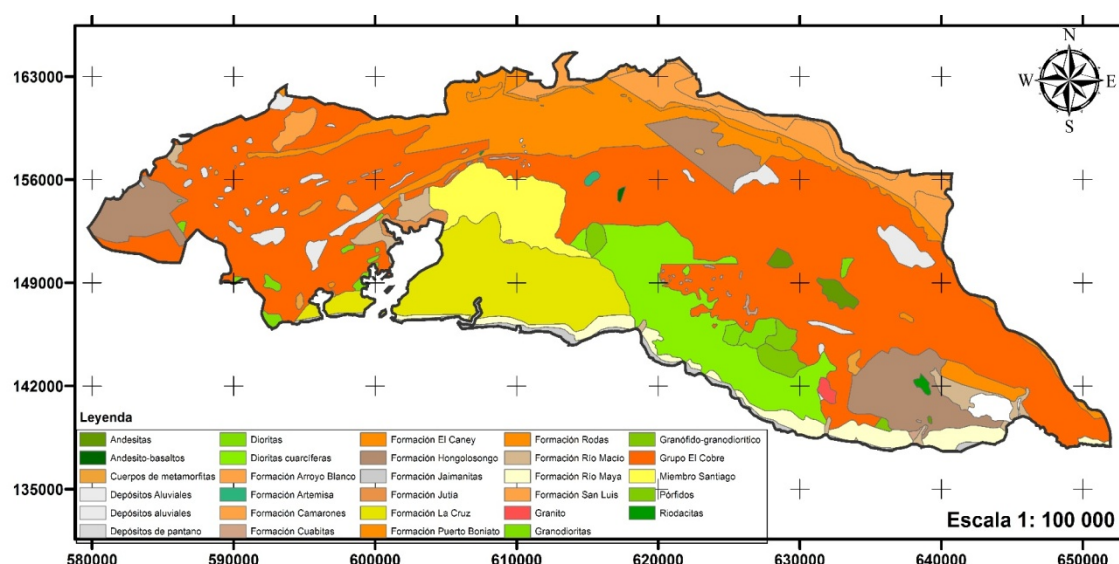


Figura 2.6. Mapa geológico del municipio Santiago de Cuba Fuente:(I.G.P, 2008)

2.5 Condiciones sismo-tectónicas

Desde el punto de vista sismo tectónico el municipio Santiago de Cuba está situado al borde del límite sur de la placa Norteamericana y norte de la placa Caribe (Figura 2.7), es interceptado por numerosas estructuras tectónicas, varias de las cuales determinan los límites de bloques con diferente dinámica en las zonas sismo génicas de la región oriental del país (Figura 2.8). En particular, se destaca el tipo de sismicidad conocida como de entre placas, vinculada a la estructura Bartlett-Caimán (zona sismogénica oriente) la cual se caracteriza por ser un sistema de fallas transformantes abierto con una fosa en su centro.

Figura 2.7 Mapa del Caribe donde se destacan las placas y sus límites. 1- microplaca La Española 2- microplaca septentrional, 3- Microplaca de Gonave, . Fuente: Mann, 2002.

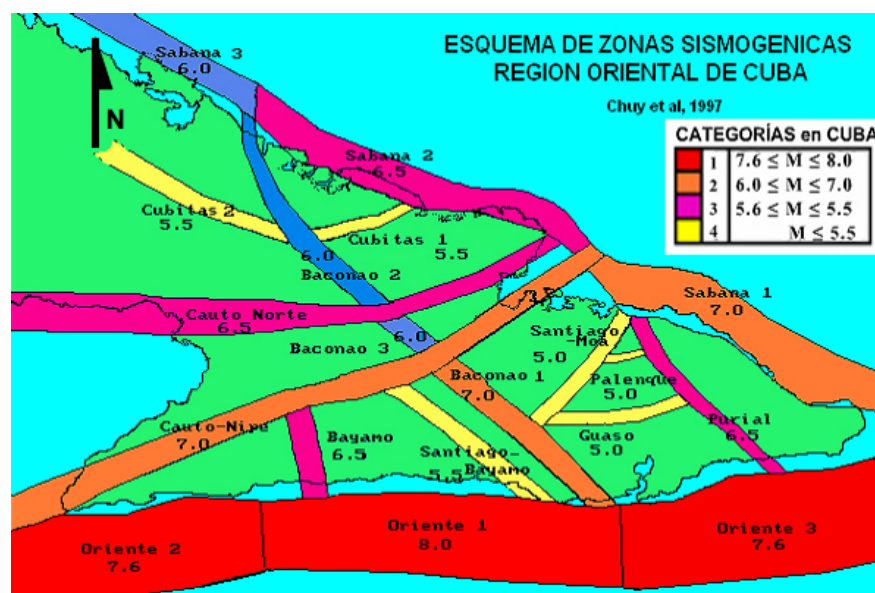


Figura 2.8 Esquema de zonas sísmogénicas de la región oriental donde se observan los límites de bloques (Izquierda). Fuente: Chuy, T. 1997.

Los terremotos fuertes que se han originado en el sistema de fallas Bartlett - Caimán (Oriente) por su intensidad han debido generar efectos importantes en el municipio Santiago de Cuba. Estos efectos están relacionados con la sacudida del suelo propiamente dicho o con el efecto de esta en las partículas del suelo al dilatarlas y permitir la rápida infiltración del agua, facilitando el deslizamiento.

En el caso de los deslizamientos ocasionados por terremotos, estos han sido menos documentados ya que ocurren con menor frecuencia, tal es el caso de los deslizamientos ocasionados por los terremotos del 2 de agosto de 1852 en la Sierra de la Gran Piedra (Chuy, 1999) y el de 1947 en la Loma del Cake, ciudad de Santiago de Cuba (Chuy *et al*, 2005). Otros más recientes han sido ubicados, sobre todo en taludes artificiales, del tramo Santiago-El Cristo de la Autopista nacional.

2.6 Desarrollo de procesos y fenómenos geológicos condicionantes

2.6.1 Fenómenos sísmicos

Las investigaciones sismológicas de Cuba sitúan a la provincia Santiago de Cuba como la de mayor peligro sísmico del territorio nacional. Más del 60% de los sismos perceptibles y fuertes reportados en el país han tenido su epicentro en Santiago de Cuba (Chuy *et al*, 2002), siendo sacudida por más de 1000 sismos perceptibles desde el año 1528 hasta la fecha (Chuy *et al*, 2010). A tales efectos se recuerdan en el municipio Santiago de Cuba y más específicamente en su

ciudad cabecera, los grandes terremotos ocurridos el 3 de febrero de 1932 y el 8 de agosto de 1947, donde se reportaron serios daños en la ciudad de Santiago de Cuba, fundamentalmente en los alrededores de la bahía (Chuy *et al*, 2002). (Figura 2.9).



Figura 2.9. Daños ocasionados en Santiago de Cuba por el terremoto de 1932. Fuente: (Archivos CENAI)

Para la evaluación del peligro sísmico se considera que las principales afectaciones están relacionadas con las fallas activas, constituyendo zonas débiles en superficie donde se producen incrementos de la intensidad sísmica, y donde también se pueden producir movimientos diferenciales por constituir éstas límites de bloques con diferente dinámica, así como por servir de guía para ondas desde el foco sísmico o hipocentro; en ellas el potencial de daños ante los terremotos puede ser intensificado.

El nivel de estudio alcanzado en la cuenca de Santiago de Cuba hace posible realizar evaluaciones sobre la licuefacción como fenómeno geológico secundario. Casi toda la zona baja de los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba se encuentra altamente expuesta a las afectaciones por este fenómeno. Esta área está compuesta por sedimentos aluviales poco consolidados donde además, el nivel freático se encuentra a unos pocos centímetros de profundidad (García *et al*, 2002); esto significa que las construcciones y obras de infraestructura situadas en el entorno tienen un alto grado de vulnerabilidad ante la ocurrencia de la licuefacción del terreno.



Figura 2.10. Afectaciones que se produjeron en la zona de la Alameda (Avenida Jesús Menéndez, Ciudad de Santiago de Cuba) durante el terremoto del 3 de Febrero de 1932, causadas probablemente por la licuefacción del terreno. Fuente: (Archivo CENAIS)

2.6.2 Erosión fluvial.

Según Pérez (2007) la erosión constituye uno de los principales peligros geológicos del municipio Santiago de Cuba, valorándose como elevada debido a la intensidad de los factores condicionantes de la erosión, entre estos, intensa capacidad erosiva de los suelos, la presencia de rocas vulcanógeno sedimentarias medianamente compactadas con una potencia considerable, sobre todo hacia el sur, un elevado factor del relieve manifestado por sus pronunciados ángulos de inclinación y longitud de las pendientes, y poco desarrollo de la vegetación.

De acuerdo a la revisión bibliográfica y las comprobaciones de campo realizadas, se manifiestan distintos tipos de erosión fluvial:

- Erosión general a nivel de cuenca: manifestada en la pérdida de suelo por acción hídrica; sobre todo en la parte alta de las cuencas.
- Erosión general en cauce: Caracterizada por el descenso generalizado del fondo de los ríos como consecuencia de una mayor capacidad de la corriente para arrastrar y transportar en suspensión al material del fondo (característica en zonas montañosas de la provincia).
- Erosión transversal: Se produce en todas aquellas secciones en donde se reduce el ancho del río, ya sea por factores humanos o naturales.
- Erosión en las curvas: Consiste en un mayor incremento de la profundidad del fondo en la zona cercana a la orilla cóncava o exterior de ríos, como

consecuencia de la corriente helicoidal que se forma en las curvas por la sobreelevación del agua que produce la fuerza centrífuga. No se debe a factores humanos, aunque es muy importante tener en cuenta que dicha profundidad aumenta cuando se fija y estabiliza la orilla exterior con un revestimiento o protección marginal.

- Erosión al pie de obras dentro de los causes: Ocurre al pie de todas las estructuras rodeadas completamente por el flujo, sobresalgan o no de la superficie, como consecuencia de la deflexión de las líneas de corriente, la turbulencia y los vórtices provocados por la presencia del obstáculo. También se conoce como erosión por socavación.
- Erosión local en estribos o erosión al pie de obras unidas a la margen: Es la que tiene lugar al pie y en el extremo de las obras que están unidas a la orilla, por causas semejantes a las señaladas en el párrafo anterior.
- Erosión aguas abajo de presas: se caracteriza por el descenso del fondo que resulta de la interrupción del transporte de sedimentos debido a la presencia de un embalse, en que se detiene la mayor parte del sedimento que proviene de aguas arriba, siempre y cuando la corriente aguas abajo tenga capacidad de acarrear los materiales del fondo.
- Erosión local aguas abajo de obras de descargas: Como su nombre lo indica es la que ocurre aguas abajo de las obras de descarga cuando las secciones no están recubiertas con alguna protección.

El problema de la erosión fluvial y deposición de suelos cohesivos por acción hídrica es importante para el municipio Santiago de Cuba desde el punto de vista de la ingeniería, porque está relacionado entre otros elementos, con la estabilidad de canales en lechos cohesivos, con la estabilidad de las obras de drenaje superficial (puentes, alcantarillas, cunetas, etc.), con el mantenimiento de profundidades mínimas en estuarios (donde el sedimento se deposita en mayor medida) y con la vida útil de los embalses.

En el municipio existen distintas afectaciones por fenómenos erosivos, sobre todo a las obras ingenieras ubicadas en zonas de montaña (camino, carreteras, puentes, etc.), incide en la reducción de la vida útil de embalses por efecto de azolve (embalses Chalón y Charco Mono) e incide en la degradación de suelos (Galbán, 2013)

2.6.3 Procesos cárlicos.

Los procesos cárlicos, en la mayoría de los casos, tardan años en desarrollarse completamente; estos se encuentran en diferentes etapas de desarrollo en las proximidades costeras del municipio Santiago de Cuba, aunque hacia la parte meridional y oriental también se observan algunas manifestaciones (Figura 2.11).

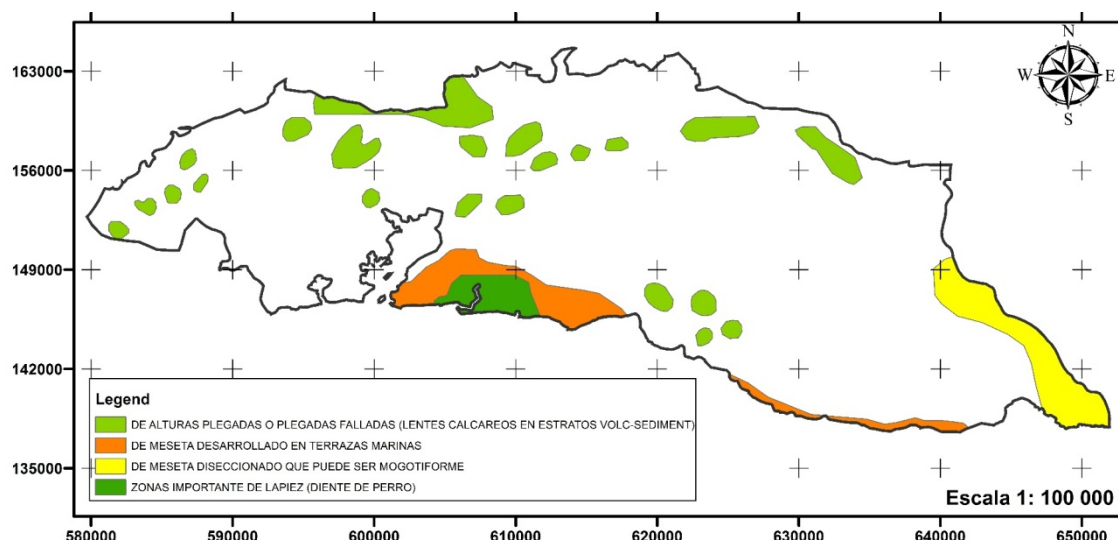


Figura 2.11. Mapa de manifestaciones de carso en el municipio de Santiago de Cuba. Fuente: (Colectivo de autores, 2002)

Cabrera y Santos (2007) destacan que las principales afectaciones por peligro cárlico en la región, se encuentran en las zonas cercanas a las costas donde se genera una alta infiltración al manto freático, formación de cavidades y por tanto, daños a distintas infraestructuras; propiciando además, algunos asentamientos diferenciales en determinadas áreas.

Otras manifestaciones pueden relacionarse con el derrumbe de algunas paredes de formaciones cárlicas que se encuentran cercanas a las costas formando terrazas en la cuenca Santiago y el área de Baconao, donde se han ubicado varias construcciones y obras de infraestructura (entre ellas varios hoteles: Costa Morena, Bucanero y Balcón del Caribe).

Las afectaciones por la presencia del carso se manifiestan, por ejemplo, en una obra hidráulica de importancia como la Presa Parada (1985), destinada a abastecer la zona industrial y una buena parte de la población de la ciudad de Santiago de Cuba. Esta presa nunca ha podido satisfacer la demanda para la cual fue inicialmente diseñada. En su ejecución fue subvalorada la presencia de rocas altamente porosas y agrietadas en la base de la cortina y el vaso del embalse. Hoy existen varias zonas de filtración por las cuales se evacuan hacia el manto

freático varios miles de metros cúbicos de agua, y a pesar de los trabajos enfocados a disminuir la vulnerabilidad que muestra la presa ante la presencia del carso (inyecciones de cemento en la base de la cortina), la presa continua evacuando grandes volúmenes de agua por esta vía, evidenciando igualmente limitaciones en la gestión ante este peligro geológico. (Galbán, 2009)

2.6.4 Los deslizamientos.

Según Castellanos *et al* (2006), los deslizamientos en las laderas de Santiago de Cuba constituyen uno de los principales peligros geológicos. Los deslizamientos tienen su aparición de manera puntual y localizada en el municipio, aunque la susceptibilidad a este fenómeno es elevada por las condiciones ingeniero geológicas presentes en el territorio. Entre las causas que dan lugar a la formación de los deslizamientos se encuentran: las fuerzas gravitacionales, las cargas hidrostáticas e hidrodinámicas y las sísmicas, el debilitamiento de la resistencia de las rocas a consecuencia del cambio de su estado físico (al humedecerse en temporada lluviosa, hincharse, descompactarse o cambiar la constitución natural), la variación del estado tensional de las rocas en los taludes producto a las acciones constructivas, el minado y los efectos exteriores que originan las oscilaciones micro sísmicas y sísmicas del territorio. Cada una de estas causales por separado puede ocasionar deslizamientos, pero con mayor frecuencia se observa su influencia de forma combinada.

Para el municipio se empleó la clasificación de deslizamientos propuesta por Corominas y García (1997) donde se han diferenciado los siguientes tipos:

- Deslizamientos en forma de flujos: característicos en zonas con un relieve montañoso, la alta capacidad de evacuación y velocidad de traslación de líquidos de las cuencas hidrográficas, generando el peligro de remoción de suelos por sobresaturación e incremento de la erosión fluvial y consecuentemente, la generación de varios deslizamientos.

Figura 2.12. Deslizamiento en tramo Carretera de la Gran Piedra, en 2009. Fuente: (CENAIIS)

- Desprendimientos: se observan sobre todo, en los taludes artificiales generados por la actividad humana alrededor de las diferentes obras de ingeniería, destacándose las que se encuentran bordeando o cortando zonas montañosas como son los casos de algunos que se producen en el tramo Santiago- El Cristo de la autopista nacional.



Figura 2.13. Deslizamiento en tramo Santiago – el Cristo de la Autopista nacional en 2002. Fuente: Chuy et al, 2005.

- Deslizamientos masivos: se localizan fundamentalmente en zonas de montaña en taludes naturales donde existen rocas agrietadas o meteorizadas, favorecidos además por elementos relacionados a la presencia de planos de falla o elevada saturación; destacándose los ocurridos en la zona de la Gran Piedra entre otros.



Figura 2.14. Deslizamiento en la carretera de El Cobre en 2003. Fuente: Chuy *et al*, 2005.

De acuerdo con informaciones de la Defensa Civil del municipio existen varias zonas de deslizamiento en el territorio, donde pueden ser afectadas varias personas y algunos tramos de la infraestructura vial (Tablas 2.1) (Villalón *et al*, 2012).

Tabla 2.1 Reportes de deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba en el año 2012. Fuente: Villalón *et al*, 2012.

CONSEJO POPULAR	LOCALIDAD
BONIATO	Afecta un tramo de la Autopista (Km 6 hasta Km 8)
	Puerto de Boniato con afectaciones al tramo de la vía.
SIBONEY	Afecta tramo de la carretera de la Gran Piedra (Km 1 1/2 hasta Río Carpintero)
ALTAMIRA	Calle 10 del final de Altamira (Periquera). Zona de construcción de viviendas de manera descontrolada y afectando la ladera de la loma allí existente, lo cual la ha desestabilizado. Viven allí en peligro unas 65 personas.
	Altamira (Antigua Carretera Turística) Frente a la Fábrica de Cemento y el Astillero. Afecta tramo vial.
EL ESCANDEL	Escandel (Matayegua camino de Villalón). Existen allí varias viviendas próximas a las zonas de deslizamiento, con unas 63 personas en peligro.
EL COBRE	Afecta tramo de la Carretera Central-Hongolosongo-Puerto de Moya
30 DE NOVIEMBRE	Altos 30 Noviembre (Calle 10 de Santa Bárbara hasta la Escuela del Partido). Existen allí varias viviendas próximas a las zonas de deslizamiento, con unas 26 personas en peligro.
VISTA HERMOSA	Carretera Moro y Calle 11 (El Fortín). Existen allí varias viviendas próximas a las zonas de deslizamiento, con unas 125 personas en peligro.

Los datos arriba expuestos demuestran que el impacto de los deslizamientos en el municipio, aunque puntuales y sin pérdida de vidas humanas, aún es una cuestión latente que debe tenerse en cuenta, sobre todo en el control de las áreas de desarrollo; pues se observa en el municipio ,y sobre todo en zonas de la ciudad, invasión de terrenos con susceptibilidad a los deslizamientos que son empeorados por la desestabilización de las laderas de manera artificial, son originados por la acción del hombre, pero no dejan de constituir un problema para las autoridades locales.

2.7 Condiciones geotécnicas

La sobresaturación de suelos es un fenómeno común en algunas zonas. En esta situación influyen las corrientes de agua subterránea que existen, por ejemplo, en los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba, en las cercanías de los valles aluviales de los ríos del municipio Santiago de Cuba. Este es un factor que junto al tipo de litología que presentan estas áreas (depósitos aluviales, palustres y rocas sedimentarias de baja cohesión) incrementa los efectos de los deslizamientos sobre las infraestructuras ubicadas en estas locaciones.

Las afectaciones por la presencia de suelos expansivos es un tipo de peligro que también está presente en el municipio santiaguero afectando distintas áreas, sobre todo, de la ciudad de Santiago de Cuba. Existen varios ejemplos que confirman la consideración inadecuada de este peligro y por tanto de su gestión, entre estos, el Hospital Clínico Quirúrgico Juan Bruno Zayas, donde se produjeron asentamientos diferenciales en sus edificios durante la ejecución, que luego de paralizarse por varios años, finalmente se terminó en el año 1984 (Galbán, 2009). Según Galbán (2013) los trabajos de campo realizados en el municipio confirmaron que este fenómeno también se observa en la Sede Julio Antonio Mella de la Universidad de Oriente, donde existen asentamientos diferenciales en varios edificios, manifestándose con mayor fuerza en los que ocupan las facultades de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Mecánica. Se comprobó además la existencia de agrietamientos, hundimientos y estructuras de contención inclinadas en los repartos Vista Alegre, Terraza, Sueño y Pastorita, de la ciudad de Santiago de Cuba, los cuales se encuentran ubicados en formaciones geológicas compuestas por arcillas expansivas.

Por otro lado, muchas construcciones se elevan sobre suelos susceptibles al incremento de la velocidad de las ondas sísmicas, situación exacerbada por la necesidad de vivienda que presenta la población del territorio, la cual realiza una serie de acciones constructivas (autoconstrucción), sin dominio previo de las medidas de reducción ante el peligro (Galbán, 2009b).

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE PELIGROSIDAD POR DESLIZAMIENTOS.

CAPÍTULO III: PROPOSICIÓN METODOLÓGICA PARA LA MODELACIÓN DEL PELIGRO POR DESLIZAMIENTOS

En los últimos años en Cuba se han realizado varios estudios para la determinación del peligro por deslizamiento, sin embargo las distintas metodologías empleadas pudieran mejorarse a partir de la concepción de un conjunto de elementos geológicos. Para cumplir con esta meta se proponen las siguientes tareas:

1. Enunciar y describir la metodología general de trabajo para la modelación del peligro por deslizamiento.
2. Exponer los elementos que conforman los indicadores para obtener los distintos submodelos.

3.1 Metodología general de trabajo

En el municipio Santiago de Cuba se han realizado varios estudios relacionados con el peligro por deslizamientos liderados por el CENAI, los cuales en su ejecución han empleado distintas metodologías. El estudio más reciente data del año 2012 pero el mismo tiene como dificultad la consideración inadecuada de los distintos tipos de rocas en el territorio según su predominio en cuanto a tipo de roca, posición espacial y estratigráfica (Galbán, 2013), además de no considerar elementos geotécnicos como la presencia de niveles freáticos, entre otros aspectos, por cuanto la inserción de estos elementos a los estudios de peligro por deslizamientos podría constituir un elemento que incrementa la precisión de los estudios que se realicen.

En la actualidad existen varias maneras de calcular los peligros. Se pudo detectar que existen varias metodologías relacionadas con la determinación del peligro por deslizamientos a nivel internacional; la mayormente empleada es la metodología Hazards propuesta por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, en inglés). En Cuba actualmente se emplean, por ejemplo, la diseñada por Castellanos *et al*, (2011) para los estudios dirigidos por la AMA a nivel nacional, que fue la empleada por el CENAI para Santiago de Cuba en el año 2012 y presenta las deficiencias declaradas anteriormente.

Esta proposición intenta atender estas deficiencias y, teniendo en cuenta que los deslizamientos que predominan en el municipio Santiago de Cuba son en forma de flujo, se seleccionó la metodología propuesta por Galbán, 2013 para

su modelación. Los pasos metodológicos a seguidos en la investigación constan las siguientes etapas(Figura 3.1):

- Etapa de identificación e indagación de la base de datos local
- Etapa de pre procesamiento de datos
- Etapa de formulación de trabajo para la construcción de los modelos.
- Etapa de selección y estandarización de Variables
- Etapa de confección de los submodelos primarios
- Etapa de confección de los modelos secundarios
- Etapa de confección del modelo de peligro de deslizamiento total

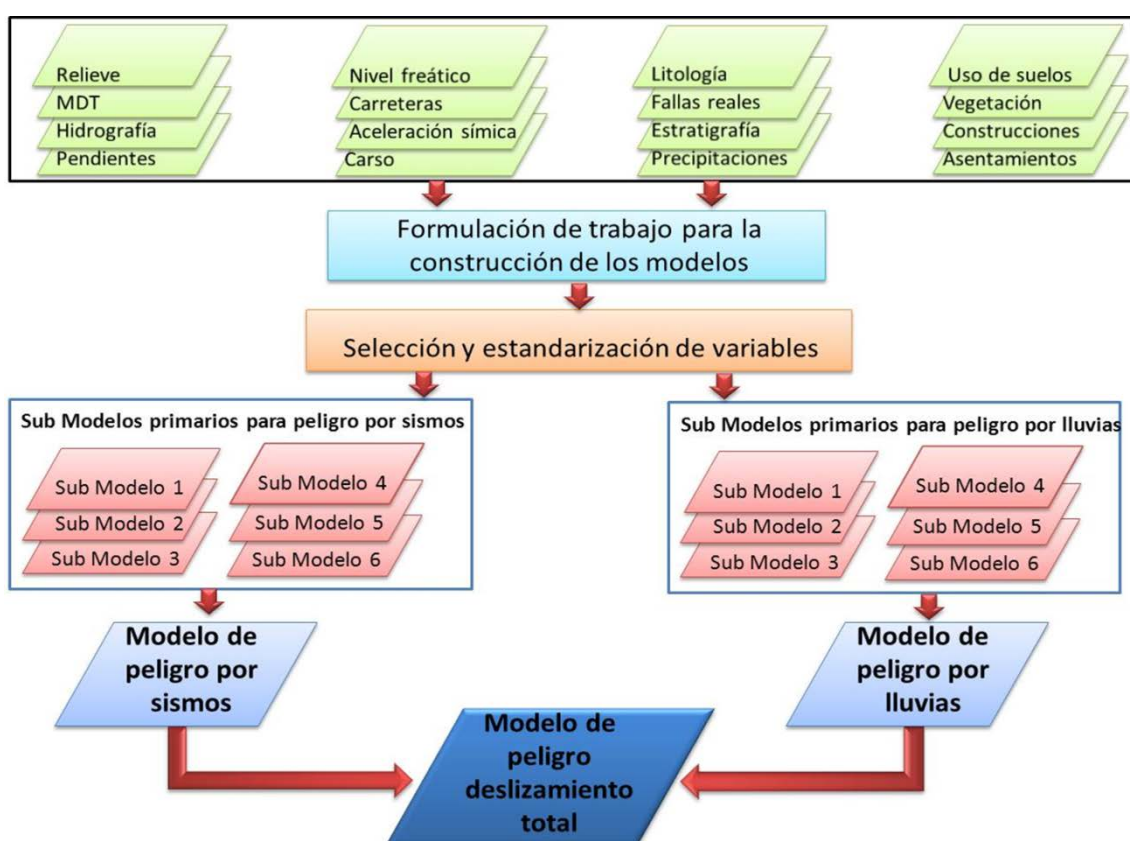


Figura 3.1. Esquema de la Metodología de trabajo.

3.2 Etapa de identificación e indagación de la base de datos local.

Esta etapa es crucial para el desarrollo del proyecto. Se trata de la compilación de la información multidisciplinaria y se requiere por tanto de la interacción de varios niveles institucionales del municipio.

Para realizar la revisión bibliográfica referente a la cartografía existente, se deberán consultar varias fuentes, entre estas, las revistas y los artículos científicos, informes, trabajos de diplomas, tesis de maestrías y doctorales, libros y otros documentos relacionados con la investigación. Además, los

trabajos que precedieron a la investigación que se realiza, la búsqueda en sitios web especializados, entre otros, lo que contribuye al enriquecimiento de la información con datos actualizados y confiables.

Se deberá visitar distintas instituciones relacionadas con los datos que conforman los indicadores o variables que condicionan los deslizamientos en el territorio. Además las bases de datos disponibles sobre desastres en el Centros de Gestión para la Reducción del Riesgo del municipio, en Planificación física, la Delegación provincial de Recursos Hidráulicos, distintas instituciones del CITMA provincial, entre otras, donde se recopilan varios mapas y bases de datos que sirven de base al desarrollo de las etapas posteriores de la investigación.

Los trabajos de campo se realizan después de tener identificados los principales escenarios de peligro a partir del análisis de toda la información obtenida, planificándose marchas de reconocimiento, mediciones puntuales, entre otras.

3.3 Etapa de Pre procesamiento de datos

En esta etapa se implementa el S.I.G para dar cumplimiento a la metodología propuesta para la evaluación del peligro por deslizamiento. Luego de adquirir la información primaria necesaria para el estudio de peligro por deslizamientos se elaboran los mapas necesarios para la generación de los submodelos primarios, entre los fundamentales están:

- M.D.T.
- Mapa de pendientes
- Mapa del porcentaje de cobertura vegetal

A partir de los datos obtenidos de I.N.R.H se elaboran los siguientes mapas:

- Mapa de precipitaciones medias anuales
- Mapa de los niveles freáticos
- Mapa de las redes hidrográficas

Con el uso de los datos publicados por I.G.P. se elaboran los siguientes mapas:

- Mapa de fallas.
- Mapa de aproximaciones a fallas.
- Mapa geológico

A partir de los datos publicados por CITMA se elaboran los siguientes mapas:

- Mapa de manifestaciones del cárso
- Mapa de uso de suelos

Los datos brindados por CENAIIS también son de gran utilidad donde se obtiene:

- Mapa de aceleración sísmica

3.3.1 Herramientas SIG para la obtención del modelo de peligro por deslizamiento.

Se considera un modelo a una descripción matemática de un sistema físico que puede obtenerse a partir de la evolución de su conducta basada en mediciones estimadas, observadas o realizadas directamente sobre el sistema que se pretende modelar. (Sánchez *et al*, 2005)

La confección de modelos, cuando el estudio que se está realizando consta de varias variables, permite hacer el análisis de la mayor cantidad de interacción entre variables, en este caso en la determinación del peligro sísmico, es una herramienta útil en la confección de los escenarios de peligrosidad.

Un modelo de peligro da la posibilidad de contribuir al entendimiento de los niveles de amenaza que llegan a tener estos fenómenos.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas valiosas para abordar trabajos que requieran modelar múltiples variables. Debido al gran volumen de información que pueden procesar, su capacidad de generar tipología, la posibilidad de realizar la superposición de mapas, convierten estas herramientas en un método idóneo para modelar el peligro por deslizamiento.

El mayor peligro en la utilización de los SIG se encuentra en usuarios que pueden tender a reemplazar el razonamiento, la calidad de los datos, el análisis, y hasta los modelos conceptuales mismos, por la herramienta. Cada metodología y técnica de modelamiento puede aportar valiosos resultados al conocimiento del problema, si se establecen con claridad tanto la escala de trabajo, como una objetiva recolección y manejo de los datos, sumado a una adecuada presentación de los resultados.

3.3.2 Modelación empleando el software ArcGIS

Estructura del proyecto:

El ArcGIS es el S.I.G. utilizado en la presente investigación donde 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 temas que conforman el proyecto (Figura 3.2).

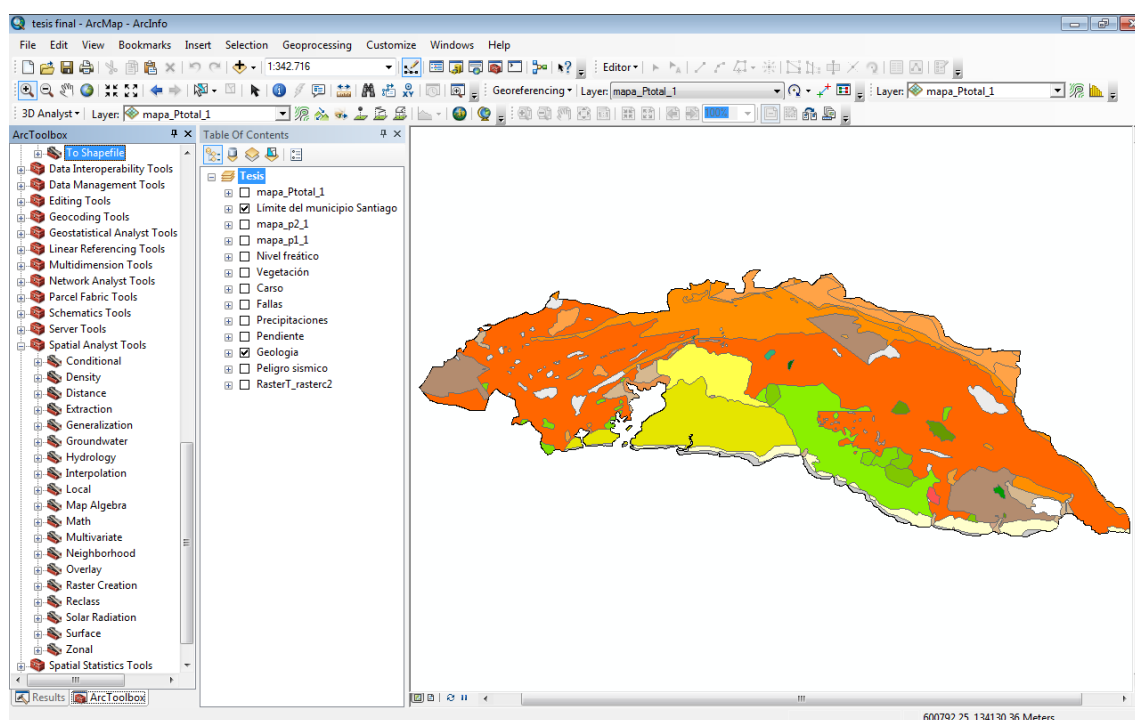


Figura 3.2 Visualización del VIEW de los mapas temáticos.

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 3.3).

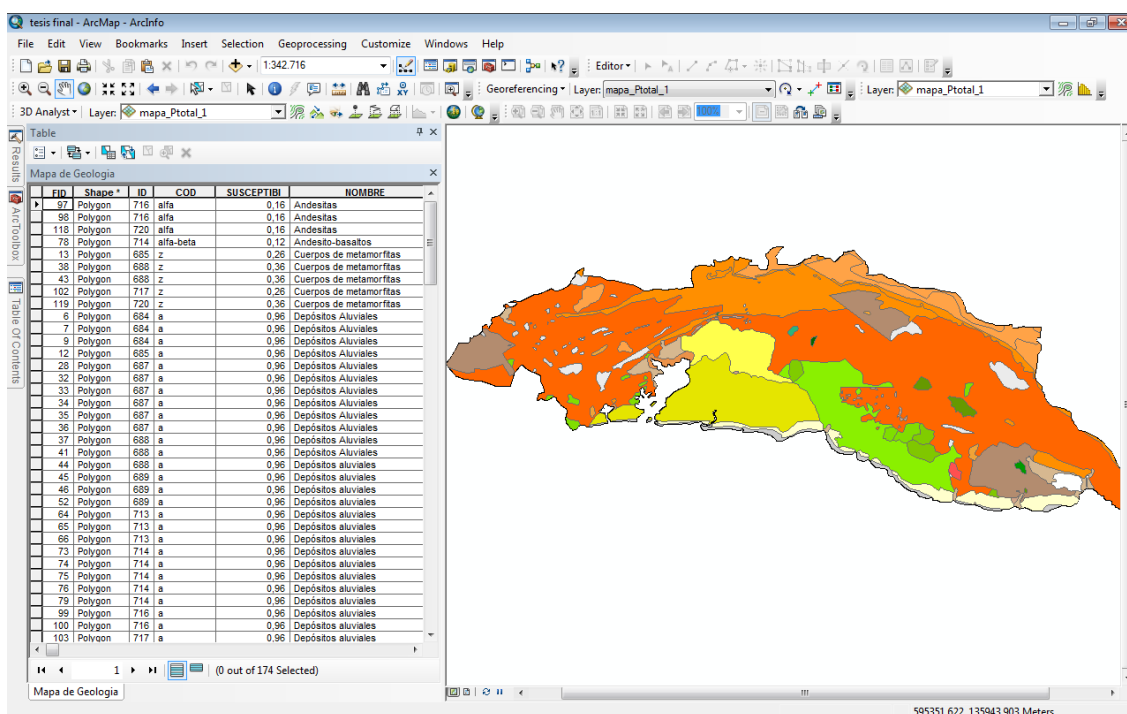


Figura 3.3 Visualización de la tabla de atributos de los mapas temáticos utilizados.

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

3.4 Etapa de formulación de trabajo para la construcción de los modelos.

3.4.1 Definición del modelo de peligro por deslizamientos.

Con el uso del ArcMap, una aplicación del ArcGIS, la evaluación del peligro por deslizamiento se realizará a través de la obtención o elaboración de un conjunto de mapas o modelos, los cuales se regirán por la siguiente formulación matemática (Galbán, 2013):

$$\text{Peligro por Deslizamientos Total (P}_{Dt}) = P1 (0.80) + P2 (0.20)$$

Donde:

➤ P1 o Modelo de Deslizamientos por Iluvias

Submodelo de Vegetación (0.05) + Submodelo de Nivel Freático (0.05) + Submodelo de Influencia cársica (0.05) + Submodelo de Fallas (0.10) + Submodelo de uso de suelo (0.10) + Submodelo de Susceptibilidad litológica (0.20) + Submodelo de Pendiente (0.20) + Submodelo de precipitaciones medias anuales (0.25)

➤ **P2 o Modelo de Deslizamientos por sismos**

Submodelo de Vegetación (0.05) + Submodelo de Nivel Freático (0.05)
 Submodelo de Influencia cársica (0.05) + Submodelo de uso de suelo (0.10)
 + Submodelo de Susceptibilidad litológica (0.20) + Submodelo de Pendiente
 (0.20) + Submodelo de Fallas (0.10) + Submodelo de Peligro Sísmico (0.25)

En la formulación se introducen valores por los cuales deben multiplicarse las distintas variables que influyen en la determinación del peligro por deslizamiento; los mismos obedecen al peso que estas variables tienen en la manifestación o no de los distintos factores condicionantes. En el caso de estudio, el mayor peso en la formulación general corresponde a los deslizamientos ocasionados en forma de flujos, debido a que son los más frecuentes en Santiago de Cuba.

3.4 Etapa de selección y estandarización de variables

Luego de obtener la información necesaria para la investigación la que incluye las características físico-geográficas y geológicas del área de estudio, se seleccionaran las variables necesarias para el trabajo con el fin de llegar al objetivo planteado en el trabajo.

La uniformidad en el tratamiento de los datos y modelos, independientemente de su procedencia es un elemento imprescindible para realizar una modelación adecuada y con resultados confiables. Para lograr este objetivo se sugiere estandarizar los valores a partir de la proposición realizada por Galbán (2012), de manera que los peligros o amenazas se clasifiquen en una escala de cero a uno (0 -1) siguiendo niveles de la siguiente manera:

Tabla 3.2. Clasificación y valores para estandarización de PVR. (Galbán, 2012)

	Primer nivel	Segundo Nivel	Tercer nivel	Cuarto nivel
Peligro	Ninguno–Bajo (0 – 0,25)	Moderado (0,26 – 0,5)	Alto (0,51 – 0,75)	Muy alto (0,76 – 1)

Estas estandarizaciones facilitan, entre otros aspectos, los siguientes:

- Trabajo con una misma unidad de medida.
- Confiabilidad para el trabajo con variables.
- La asignación de pesos más adecuados a las variables utilizadas.

- Interpretaciones más factibles de los mapas de peligro y por tanto, la toma de decisiones más certeras.
- Uniformidad en las clasificaciones y la información de salida de los mapas e informes.

3.5 Etapa de Confección de los submodelos

Para la obtención de los diferentes submodelos que serán empleados para la determinación del peligro por deslizamientos del municipio Santiago de Cuba, deberán analizarse los distintos indicadores que influyen en su modelación. Para ello se observa lo siguiente:

3.5.1 Submodelo de Vegetación

El nivel de desarrollo de la vegetación así como su tipología es un elemento importante en la sucesión de deslizamientos en un área determinada. La cobertura vegetal y su sistema radical es un factor que puede disminuir la velocidad de los deslizamientos, e inclusive prevenirlos en las zonas de taludes. Para la consideración de este elemento se asume la proposición realizada por Galbán (2012) (Tabla 3.3)

Tabla 3.3 Consideraciones para la influencia de la vegetación y los niveles de peligro. Según Galbán (2012).

Elemento a evaluar	Indicador	Grado de evaluación			
		Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Peligro	Desarrollo de la vegetación	Más del 70 por ciento.	Entre el 70 – 40 por ciento.	Entre el 40 – 20 por ciento.	Menos del 20 por ciento.

3.5.2 Submodelo de Nivel Freático

Un acuífero es una estructura geológica subterránea compuesta de grava, arena, roca porosa o agrietada, capaz de almacenar y rendir agua. Las condiciones geológicas e hidrológicas determinan su tipo y funcionamiento. La circulación del agua subterránea depende de la zona hidrogeológica por donde ésta se mueve dentro de las que se pueden distinguir las siguientes:

- 1) Zona no saturada o de aireación.
- 2) Zona freática o saturada.
- 3) Zona de saturación y circulación profunda.

El nivel freático generalmente coincide con el nivel máximo medio alcanzado en la zona freática o saturada, depende de las circunstancias geológicas y

climáticas, y puede encontrarse a diferentes profundidades, desde solo unos centímetros hasta varios metros de profundidad. El nivel freático no es horizontal, a diferencia del nivel superior de los mares y lagos, sino que es irregular, con pendiente monótonamente desde el nivel fijo superior al nivel fijo inferior (Galbán, 2012).

El agua contenida en el subsuelo, manifiesta sus variaciones en cuanto a cantidad y velocidad en el nivel freático de la zona de estudio, es un agente extremadamente peligroso cuando se encuentra cercana a la superficie en las zonas de laderas o cuando coinciden con espejos de agua, debilitando los suelos y las rocas, provocando los deslizamientos. Su influencia en el peligro a deslizamientos se expresa según la tabla 3.4

Tabla 3.4 Categorización de la influencia por profundidades de los niveles freáticos. Según Japan Working Group, 1993.

Niveles Freáticos		
CLASES	PROFUNDIDADES (m)	CATEGORIAS
1	0 a 3	Muy alto
2	3 a 10	Alto
3	10 a 15	Moderado
4	Mayor de 15	Bajo

3.5.3 Submodelo de susceptibilidad cársica.

Para la evaluación del peligro se considera que las principales afectaciones relacionadas con el desarrollo cársico ante la ocurrencia de un deslizamiento están dadas, sobre todo, en el hecho de que las estructuras cársicas ocupan zonas inestables donde se producen incrementos de la susceptibilidad de deslizamientos por desplomes, derrumbes, asentamientos y etc. (Tabla 3.5):

Tabla 3.5 Consideraciones para la influencia de la susceptibilidad cársica. Según Galbán, (2012).

Tipo de carso	(ISC)	Grado de evaluación
Zonas donde prácticamente no se manifiestan los procesos cársicos	0-0.25	Bajo
Mesetas diseccionadas que pueden ser mogotiformes	0.25 - .050	Moderado
Zonas muy falladas, diente de perro, lentes calcáreos en estratos vulcanógeno sedimentarios muy porosos y/o agrietados.	0.50 -0.75	Alto
Cuevas, cavernas, carso en meseta desarrollado en terrazas marinas, áreas de mogotes bien desarrollados, acantilados cársicos, etc.	0.75 - 1	Muy alto

ISC: Índice de susceptibilidad cársica.

3.5.4 Submodelo de Fallas

Para la evaluación del peligro se considera que las principales afectaciones relacionadas con la fallas activas ante la ocurrencia de deslizamiento están dadas sobre todo en el hecho de que estas constituyen zonas débiles en superficie donde se producen incrementos de la intensidad sísmica, son zonas también donde se pueden producir movimientos diferenciales por constituir planos activos para los deslizamientos. Atendiendo a estos criterios se considera la tabla 3.6:

Tabla 3.6 Consideraciones para la influencia de las fallas y los niveles de peligro. Según Galbán, (2012).

Elemento a evaluar	Indicador	Grado de evaluación			
		Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Peligro	Presencia de estructuras tectónicas activas	En ubicaciones alejadas del área seleccionada (más de 300 Km ²)	En las cercanías a la ubicación seleccionada (entre 50 y 300 Km ²)	En las proximidades a la ubicación seleccionada (entre 5 y 50 Km ²)	En las inmediaciones de la ubicación seleccionada (menos de 5 km ²)
	Diaclasamiento y/o fallamiento secundario del terreno (%)	Menor que 3	Entre el 3 y 10	Entre el 10 y 30	Más de 30

3.5.5 Submodelo de susceptibilidad geológica

Las rocas se clasifican en función del fenómeno que les dio origen así como por los minerales contenidos. El conocimiento acerca de los diversos tipos de litologías que están presentes en el área de estudio permitirá evaluar el posible comportamiento que pueden tener ante un deslizamiento.

Esta variedad litológica está caracterizada por sus propiedades físico-mecánicas (nivel de compactación, agrietamiento, porosidad, humedad, entre otras), las cuales expresan determinados niveles de susceptibilidad geológica ante la ocurrencia de los distintos procesos y fenómenos geológicos.

Esta susceptibilidad influye en la capacidad de las rocas no solo de permitir el paso de las ondas sísmicas, sino también de incrementar la velocidad de traslación de las mismas cuesta abajo en los deslizamientos. Una aproximación a la determinación de la susceptibilidad geológica fue ofrecida por Galbán (2013) (Tabla 3.7)

Tabla 3.7 Clasificación de la influencia litológica o susceptibilidad geológica, de acuerdo a las condiciones generales. Según Galbán 2013.

Tipos de rocas según NC-49:1999	Litología general	SG	Grupos representativos	VPG	Comportamiento de las PFM de las rocas						
					Diaclasamiento o agrietamiento	Coefficiente de permeabilidad (cm/s)	Humedad	Índice de poros	Deformabilidad del suelo (Mpa)	Índice de plasticidad	Resistencia a la compresión simple (Mpa)
<p>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.)</p> <p>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.).</p> <p>Sus períodos están comprendidos entre 0.3 y 0.5 seg.</p>	Calizas impermeables, basaltos, andesitas, bajo grado de intemperismo, poca fracturación, rocas con alta resistencia al corte, bajo nivel de las aguas subterráneas.	Baja 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, riolita, mármol, calizas compactas	0.24							
<p>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.)</p> <p>Sus períodos están comprendidos entre 0.5 y 0.8 seg.</p>	Alto grado de intemperismo de las rocas encima mencionadas y en las rocas sedimentarias masivas, baja resistencia al corte, fractura de cizallas.	Moderada 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 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.) Sus períodos están comprendidos entre 0.8 y 1.2 seg.	Rocas o suelos poco consolidados, considerable intemperismo de las rocas sedimentarias, intrusivas y volcánicas, fluctuaciones del nivel freático.	Media 0.51-0.75	Rocas vulcanógeno-sedimentarias	0.54	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
			Arcillas compactas	0.62							
			Rocas arcillosas masivas con diaclasamiento, 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 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							

SG: Susceptibilidad geológica VPG: Valores promedios por grupos de rocas.

3.5.6 Submodelo de Pendiente

El valor de la pendiente topográfica es un elemento que incide en la actuación de la fuerza de gravedad en el fenómeno de deslizamiento en las zonas de taludes, pues mientras mayor es la pendiente mayor actuación tendrá la fuerza de gravedad en conjunto a otros factores que también actúan en los deslizamientos, entre ellos: la litología, estado de agrietamiento, humedad, etc. Para la consideración de este elemento se asume la proposición realizada por Galbán (2012) (Tabla 3.8)

Tabla 3.8 Consideraciones para la influencia de la pendiente y los niveles de peligro. Según Galbán (2012).

Elemento a evaluar	Indicador	Grado de evaluación			
		Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Peligro	Valor de la pendiente topográfica	Entre 0 y 15 por ciento	Entre 15 al 25 por ciento	Entre 25 y 45 por ciento	Más del 45 por ciento

3.5.7 Submodelo de precipitaciones medias anuales

Como se plantea en el segundo capítulo, las precipitaciones es uno de los factores que incrementa el peligro por deslizamientos debido a su influencia en el incremento de los procesos erosivos, además de incrementar la humedad en las rocas y consecuentemente el peso de la masa que se desliza.

Tabla 3.9 Valores considerados para el submodelo de precipitaciones, y los niveles de peligro según Galbán (2012).

Elemento a evaluar	Indicador	Grado de evaluación			
		Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Peligro	Precipitaciones (mm/año)	Menos de 600	Entre 600 y 1700 mm al año	Entre 1700 y 2500 mm al año	Más de 2500 mm al año

3.5.8 Submodelo de peligro sísmico

La aceleración sísmica es la medida de un terremoto más utilizada en ingeniería, y es el valor utilizado para establecer normativas sísmicas y zonas de peligro

sísmico. Los valores empleados en la investigación para la consideración de la aceleración sísmica, son los recogidos en la NC- 49:1999 (Tabla 3.10).

Tabla 3.10 Valores considerados para la aceleración sísmica según NC-49:1999, y los niveles de peligro según Galbán (2012).

Elemento a evaluar	Indicador	Grado de evaluación			
		Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Peligro	aceleración sísmica (m/s^2)	Menor que 150	Entre 150 y 200	Entre 200 y 250	Mayor que 250

3.5.9 Submodelo de uso de suelo

El nivel de desarrollo de la actividad humana sobre el terreno influencia la susceptibilidad del mismo ante la manifestación de los deslizamientos. El uso de suelo es la modificación antrópica del ambiente natural constituido por campos de cultivo, pasturas, asentamientos urbanos y etc. Para la consideración de este elemento se asume la proposición realizada por Galbán (2012) (Tabla 3.11)

Tabla 3.11 Consideraciones para la influencia del uso del suelo y los niveles de peligro. Según Galbán (2012).

Elemento a evaluar	Indicador	Grado de evaluación			
		Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Peligro	Uso de suelo	Cobertura arbórea bien desarrollada (bosques) Comunidades muy grandes	Cobertura arbórea medianamente desarrollada. Comunidades medianas Comunidades grandes	Cobertura arbórea pobremente desarrollada con intercalaciones constantes de cobertura herbácea, cultivos y plantaciones frutales Comunidades pequeñas	Áreas denudadas con escasa cobertura herbácea y arbustiva (matorrales y comunidades herbáceas secundarias) y cultivos y plantaciones frutales Construcciones aisladas en zonas rurales y semiurbanas

**CAPÍTULO IV. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LA
FORMULACIÓN GENERAL Y DISCUSIÓN DE LOS
MODELOS.**

CAPÍTULO IV. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE LA FORMULACIÓN GENERAL Y DISCUSIÓN DE LOS MODELOS.

La modelación del peligro por deslizamiento es de suma importancia para el desarrollo constructivo, social, la planificación física y para la realización de las distintas acciones previstas en las fases sucesivas de los desastres que realiza la Defensa Civil en el municipio Santiago de Cuba. Dando cumplimiento a esta necesidad y aplicando la técnica SIG descrita en la metodología de trabajo se realizan las siguientes tareas:

- Representación de los submodelos primarios.
- Representación de modelos secundarios.
- Representación del modelo de peligro total por deslizamiento del municipio Santiago de Cuba.

4.1 Representación de los submodelos primarios obtenidos con el Software ArcGIS.

Para el desarrollo del proyecto SIG y la obtención de los datos necesarios para los submodelos y modelos se realizó una compilación del municipio. Para ello se realizó una revisión bibliográfica referente a la cartografía existente, se consultó en el centro de información del I.S.M.M. y de la universidad de Oriente, las revistas y los artículos científicos, informes, trabajos de diplomas, tesis de maestrías y doctorales, libros y otros documentos relacionados con la investigación. Además, se consultaron los trabajos que precedieron a esta investigación, la búsqueda en sitios web especializados, entre otros, lo que contribuyó al enriquecimiento de la información con datos actualizados y confiables.

Se visitaron distintas instituciones: Delegación provincial de Recursos Hidráulicos radicada en la ciudad de Santiago de Cuba, el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), el departamento de Ingeniería Hidráulica en la

Universidad de Oriente, la Dirección provincial de Planificación Física y otros, donde se recopilaron varios mapas y bases de datos que sirven de base al desarrollo del trabajo y la obtención de los resultados que se exhiben.

Los trabajos de campo se realizaron después de tener identificados los principales escenarios de peligro a partir del análisis de toda la información obtenida. Para ello se realizaron marchas de reconocimiento en el municipio 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 información dada por el CENAIIS.

Tabla 3.1. Bases cartográficas obtenidas en la búsqueda de información.

Mapas	Fuente información	Escala
M.D.T.	Geocuba (2010)	1: 25 000
Mapa de porciento de cobertura vegetal	Geocuba (2010)	1 :100 000
Mapa de división político administrativa de Cuba	Geocuba (2010)	1 : 50 000
Mapa geológico	I.G.P. (2008)	1 :100 000
Mapa tectónico	I.G.P. (2008)	1 :100 000
Mapa de las redes hidrográficas	I.N.R.H. (2005)	1 : 50 000
Mapa de precipitaciones por lluvia	I.N.R.H. (2012)	1 : 50 000
Mapa de los niveles freáticos	I.N.R.H. (2012)	1 : 50 000
Mapa de manifestaciones de Carso	CITMA(2002)	1 :100 000
Mapa de uso de suelos	CITMA(2002)	1 : 50 000
Mapa de aceleración sísmica	CENAIIS	1 : 25 000
Mapa de carreteras y caminos	CITMA(2011)	1 : 25 000
Mapa de asentamientos	CITMA(2011)	1 : 25 000
Mapa de construcciones	CITMA(2011)	1 : 25 000

4.1.1 Submodelo de Vegetación

Para la obtención del submodelo de vegetación se tomaron los datos que ofrece Geocuba de tipo de vegetación, a partir de esto se determinaron los promedios de cobertura vegetal, que se emplearon posteriormente en sucesivas valoraciones hasta llegar al submodelo de vegetación estandarizado.

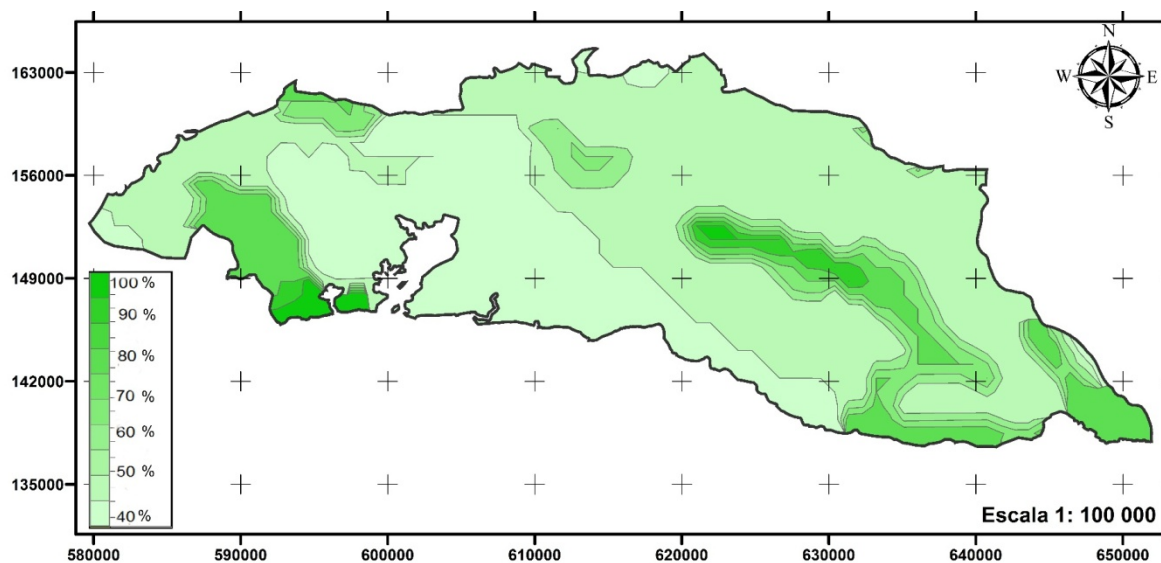


Figura 4.1. Mapa de cobertura vegetal en el municipio de Santiago de Cuba. Fuente: elaborado a partir de Geocuba (2010)

En el submodelo de vegetación toda el área está representada por las clases de peligrosidad baja y moderada. La clase de peligrosidad baja es la de mayor área y representa el 87.56% del área total, mientras que la peligrosidad moderada ocupa el 12.44% del área total constituida fundamentalmente por bosques y zonas con una cobertura arbórea bien desarrollada (Figura 4.2).

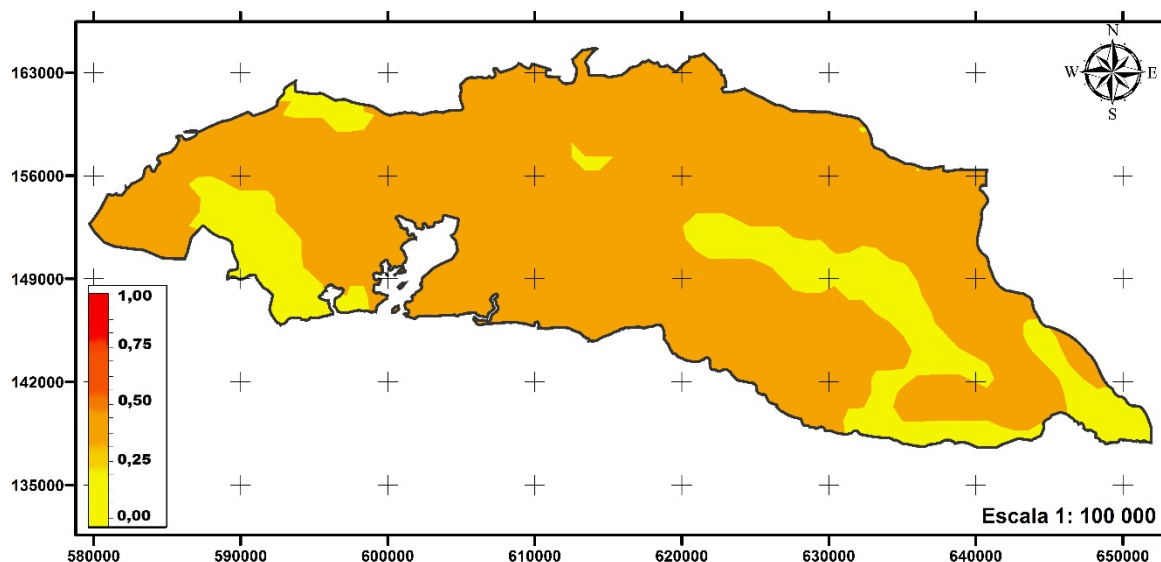


Figura 4.2. Submodelo de vegetación estandarizado del municipio de Santiago de Cuba. (Elaboración propia)

4.1.2 Submodelo de Nivel Freático

Para la obtención del submodelo se utilizó la base de datos obtenidas a través de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba. En el municipio se manifiesta las cuatro clases de peligrosidad donde la clase de peligrosidad baja es la de mayor área y representa el 74.17% del área total, constituida fundamentalmente por zonas elevadas; mientras que la peligrosidad moderada ocupa el 2.8% del área total, del mismo modo las peligrosidades altas y muy alta ocupan un 3.54% y 19.50% del área total respectivamente, representadas fundamentalmente por zonas cercanas a las costas, zonas bajas y zonas aledañas a las redes hidrográficas.(Figura 4.4).

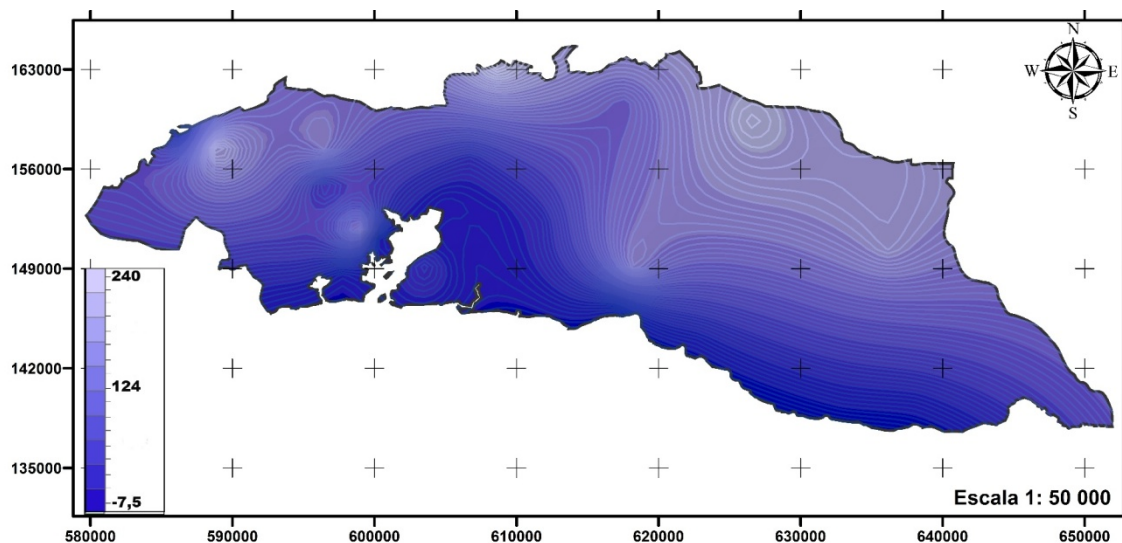


Figura 4.3. Mapa de hidroisohipsas en el municipio de Santiago de Cuba. Fuente (I.N.R.H 2012)

En el análisis se observa que la mayor parte del área se corresponde con los niveles freáticos mayores de 10 m coincidentes con suelos de las formaciones Cobre y La Cruz, el área de niveles entre 0 y 4 m coincide con la zona de las formaciones Cuaternarias y los valores de pendientes más bajos.

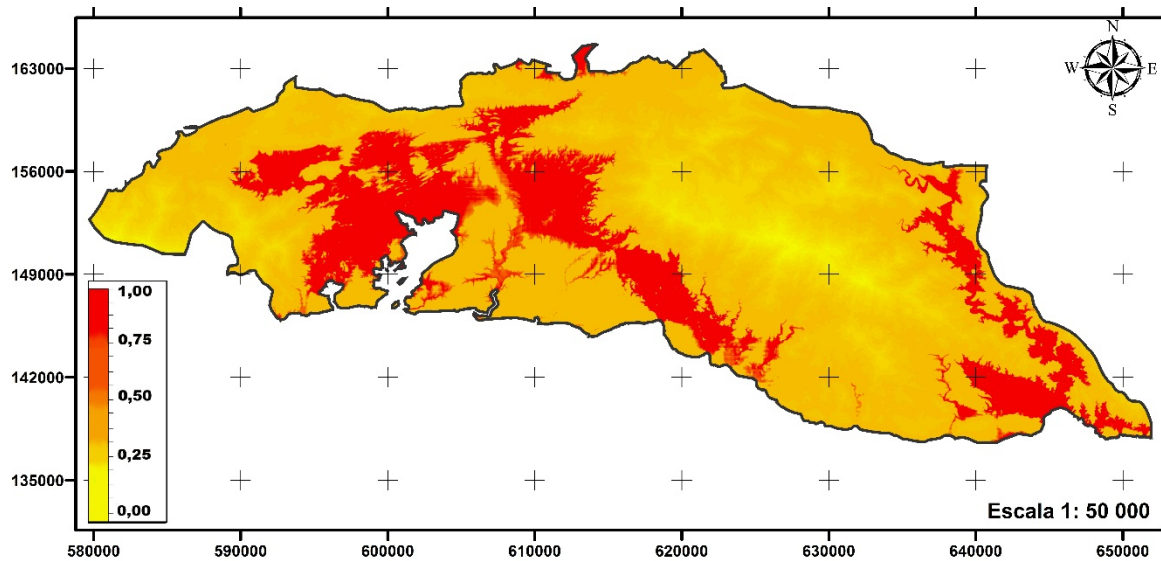


Figura 4.4. Submodelo de nivel freático estandarizado del municipio de Santiago de Cuba. Elaboración propia.

4.1.3 Submodelo de susceptibilidad cársica

El submodelo de susceptibilidad cársica del municipio está representado por las clases de peligrosidad baja, moderada y alta. La clase de peligrosidad baja es la de mayor área y representa el 82.10% del área total, representado por áreas donde no se manifiesta el procesos cársico, mientras que la peligrosidad moderada ocupa el 5,66% del área total constituida fundamentalmente por formaciones cársicas de meseta diseccionado y zonas importantes de lapiez. La clase de peligrosidad alta representa el 12.24% del área total y está representada por lentes calcáreos en estratos volcano-sedimentarios y por formaciones de meseta desarrollado en terrazas marinas. (Figura4.5).

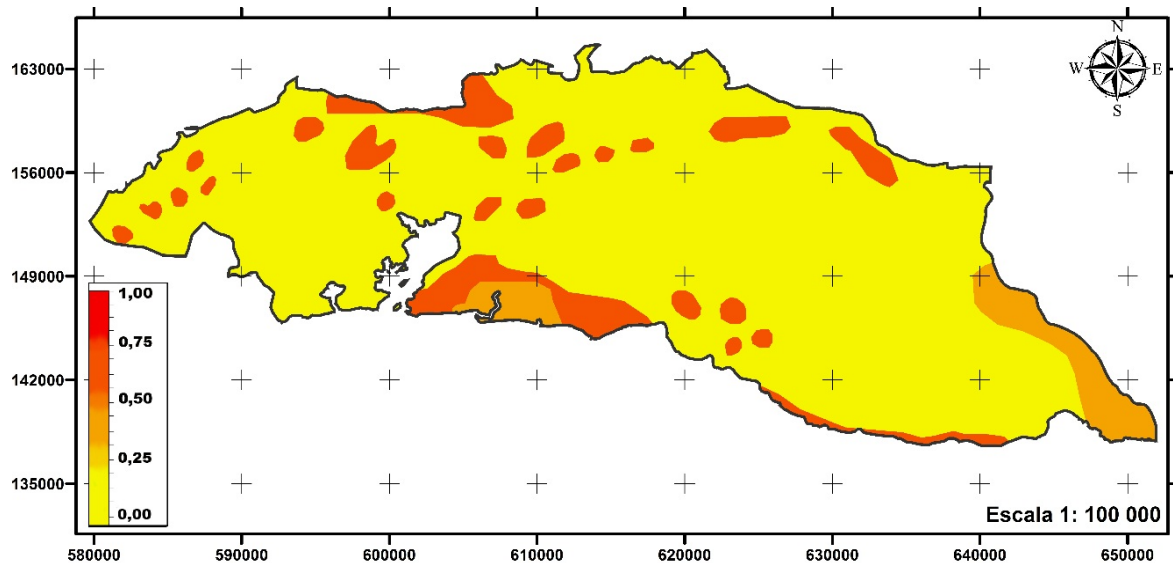


Figura 4.5. Submodelo de la susceptibilidad cársica estandarizado del municipio Santiago de Cuba. Fuente (Galbán, 2012)

4.1.4 Submodelo de Fallas

Para analizar la influencia del factor distancia a las fallas sobre la peligrosidad del terreno mediante el SIG, 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 de los macizos rocosos y en la formación de deslizamientos.

El municipio está representado totalmente por las clases de peligrosidad muy alta y alta debido a la presencia de fallas regionales y por ser una zona muy afectada por los sismos.

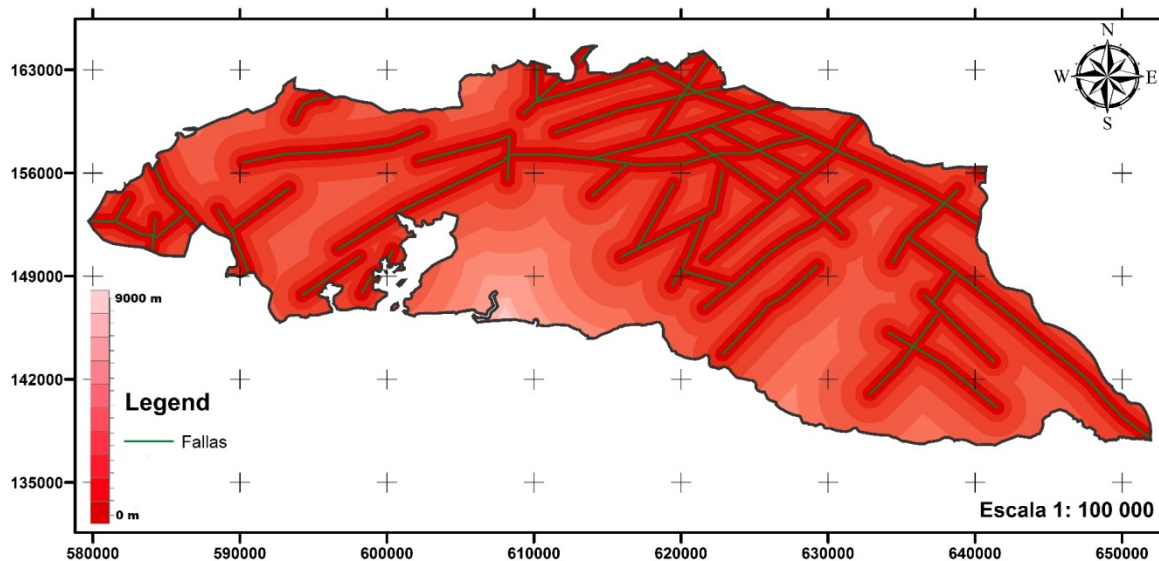


Figura 4.6. Mapa de distancia a fallas en el municipio de Santiago de Cuba. Elaboración propia

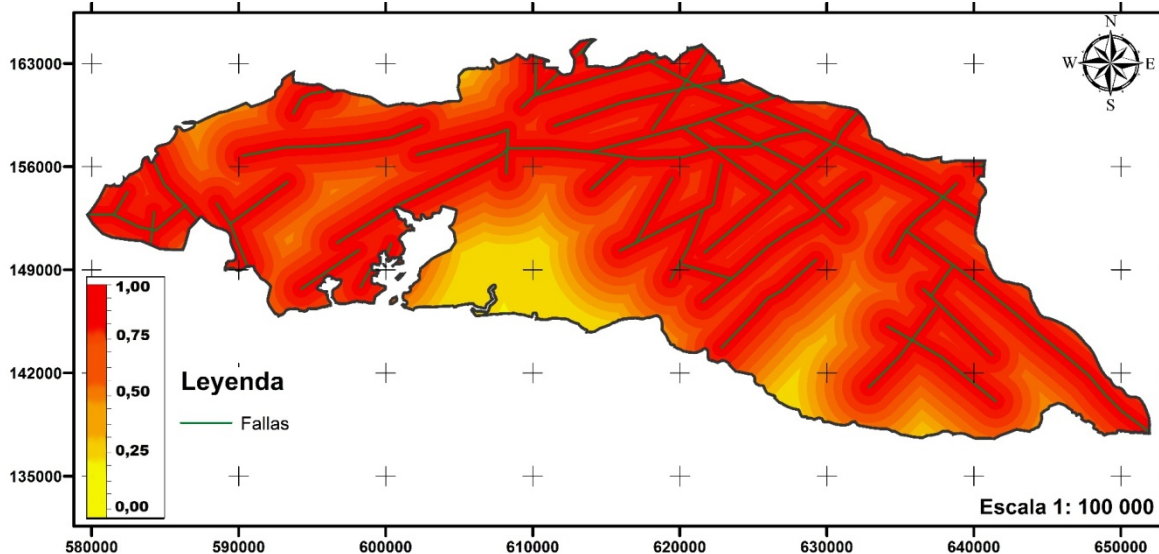


Figura 4.7. Submodelo de fallas estandarizado del municipio Santiago de Cuba. Elaboración propia

4.1.5 Submodelo de Susceptibilidad geológica

En la zona de estudio existe una variedad litológica descrita con anterioridad, las cuales de acuerdo a sus propiedades físico-mecánicas, expresan determinados niveles de susceptibilidad geológica ante la ocurrencia de los deslizamientos.

De acuerdo al análisis realizado a cada uno de los grupos litológicos, se clasificaron de acuerdo a la peligrosidad que representan cada uno de ellos en el desarrollo de los deslizamientos.

La peligrosidad muy alta está representada principalmente por los depósitos aluviales y de pantanos, incluyendo las formaciones Jutía y Río Macío, constituyen el 13.41% del área total. La peligrosidad alta coincide con las formaciones la cruz, puerto boniato y etc., que ocupa el 71.78% del área total. La peligrosidad moderada representa un 4.99% del área total donde aparecen formaciones como camarones y jaimanitas. La peligrosidad baja está constituida principalmente por rocas graníticas y dioríticas ocupando un 9.82% del área total. (Figura4.8).

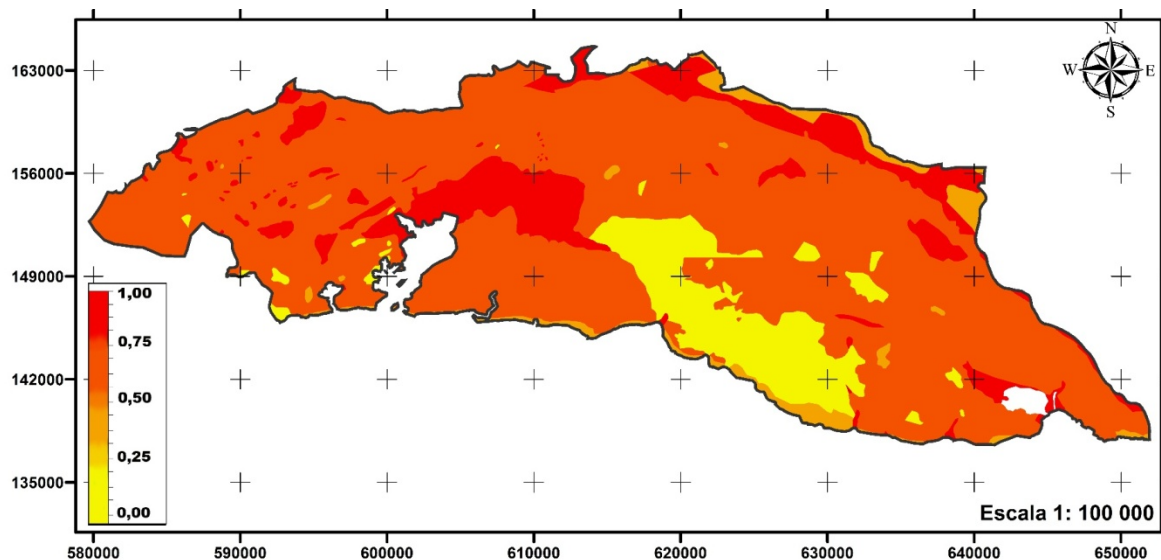


Figura 4.8 Submodelo de susceptibilidad geológica estandarizado del municipio Santiago de Cuba. Fuente (CENAIIS).

4.1.6 Submodelo de Pendiente

Para hallar la pendiente del terreno se utilizó el modelo digital de terreno (M.D.T.) del municipio a escala 1: 25 000. Luego se obtuvo el modelo de pendientes estandarizados aplicando métodos de reclasificación.

En el municipio los valores de las pendientes varían entre 0 a 65 grados. La peligrosidad muy alta se relaciona con las taludes de zonas más elevadas y de cuencas hidrográficas debido a que los deslizamientos son de carácter gravitatorio y en estas zonas es donde se acumula mayor cantidad de energía.(Figura4.10).

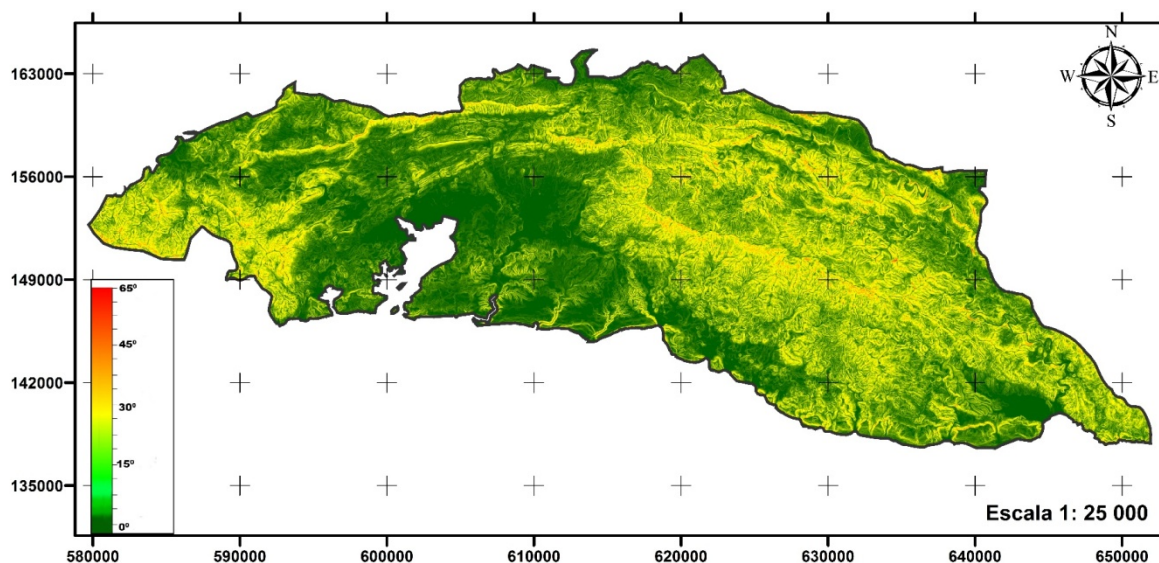


Figura 4.9. Mapa de pendientes del terreno en el municipio Santiago de Cuba. Elaboración propia

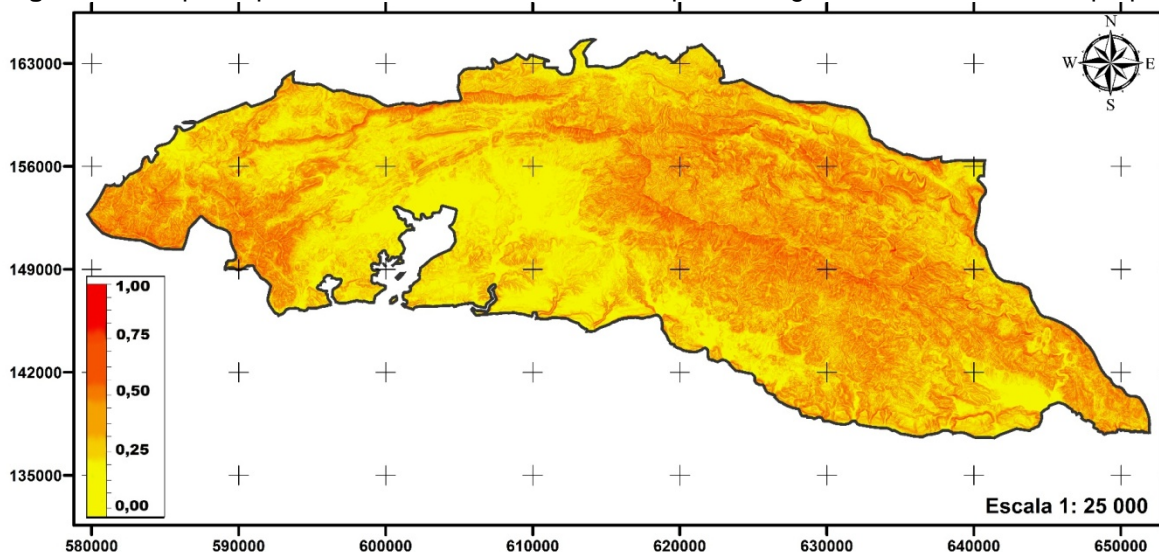


Figura 4.10 Submodelo de pendiente estandarizado del municipio Santiago de Cuba. Elaboración propia

4.1.7 Submodelo de precipitaciones medias anuales

En este factor se consideró el periodo de ocurrencia de las lluvias medias anuales. El mapa se confeccionó a partir de la base de datos brindada por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (I.N.R.H.) de Máxima intensidad de lluvia en 24 horas desde el año 1961 (Figura 2.3) (Ver Anexo 1). Este factor es de gran importancia para el análisis de peligro por deslizamientos debido a la influencia que ejerce sobre el macizo, al aumentar la presión de poros del mismo y provocar los deslizamientos.

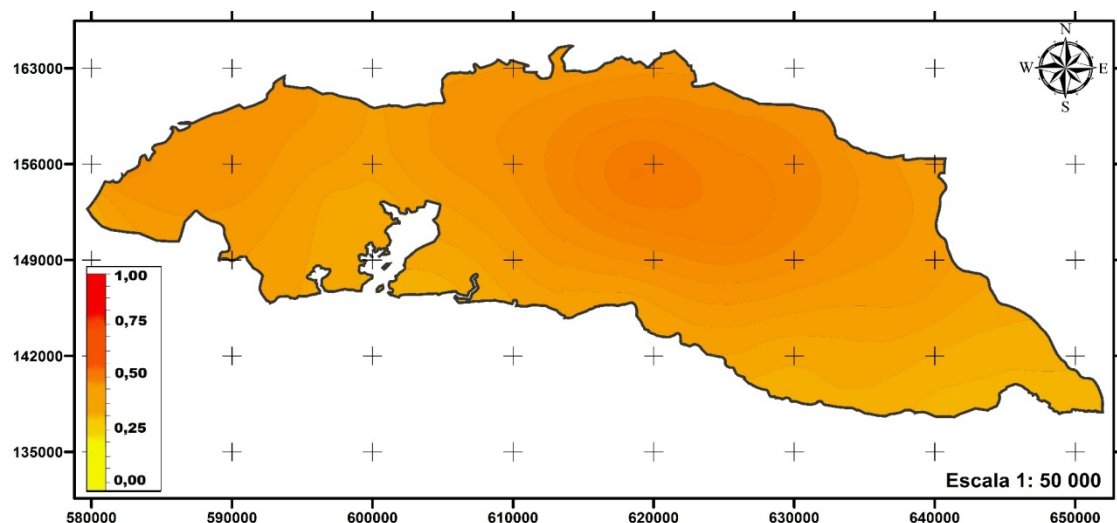


Figura 4.11 Submodelo de Precipitaciones estandarizado del municipio Santiago de Cuba. Elaboración propia.

4.1.8 Submodelo de Peligro Sísmico

El submodelo de peligro sísmico del municipio permite conocer en cada punto de la geografía santiaguera los valores de las aceleraciones, tipos de suelos y periodo, dando como las áreas de mayor peligro sísmico del municipio a la ciudad de Santiago de Cuba y la zona de Baconao (al este), coincidiendo con las zonas donde se ubican dos centros sismo generadores al Sur del municipio.

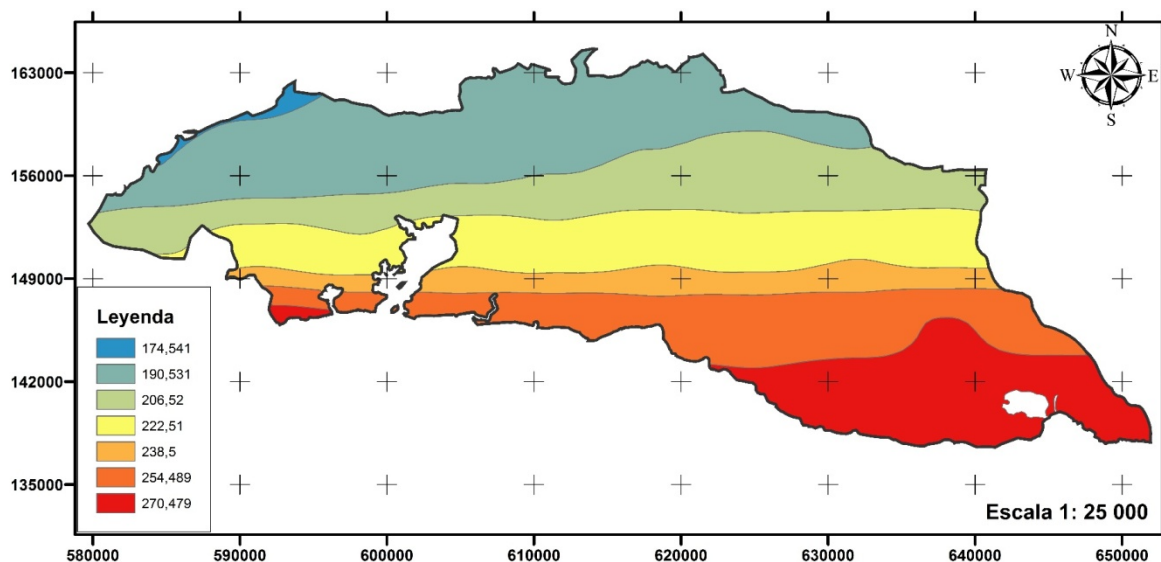


Figura 4.13. Mapa de aceleración sísmica del municipio de Santiago de Cuba (CENAI).

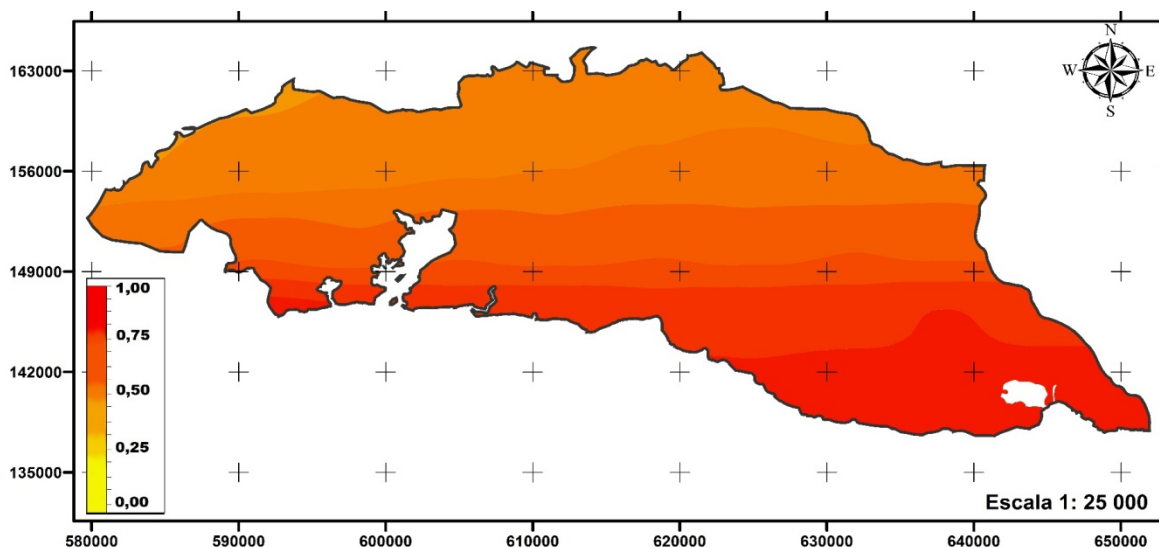


Figura 4.12 Submodelo de aceleración sísmica estandarizado del municipio Santiago de Cuba. Elaboración propia

4.1.9 Submodelo de uso de suelo

De acuerdo al submodelo de uso de suelo las zonas más pobladas como la ciudad de Santiago de Cuba, El Cobre y Siboney reciben los valores más bajos. Más del 60% de la zona queda dentro de las clases de peligro alto y muy alto debido a la aparición de construcciones de forma aislada y por tener una vegetación bien desarrollada.

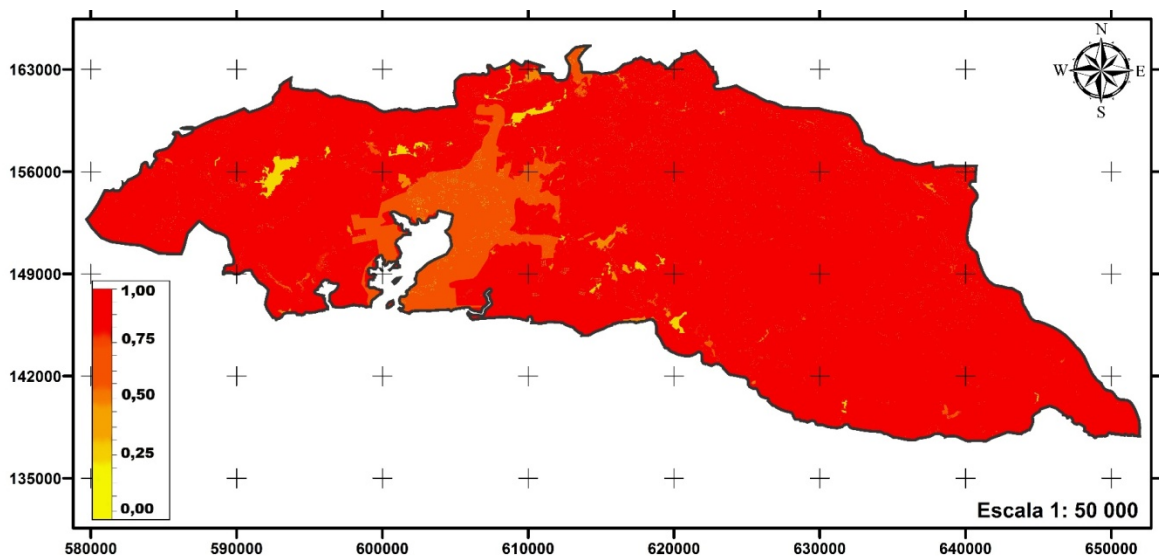


Figura 4.14 Submodelo de uso de suelo estandarizado del municipio Santiago de Cuba. Elaboración propia

4.2 Representación del los submodelos secundarios el Software ArcGIS

4.2.1 Modelo de Deslizamiento por llluvias

Para la determinación del modelo de deslizamiento por llluvias (P1), se considera realizar las consultas al sistema a partir de los valores primarios de base según se expresa a continuación en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Valores para la modelación del peligro a deslizamientos por llluvias. Elaboración propia a partir de lo propuesto por Galbán (2012).

Nivel de peligro Submodelos	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Vegetación (%)	Más del 70 por ciento.	Entre el 70 – 40 por ciento.	Entre el 40 – 20 por ciento.	Menos del 20 por ciento.
Nivel freático (metros)	Mayor de 15	10 a 15	3 a 10	0 a 3
Influencia Cársica	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1
Fallas(km)	más de 300	entre 50 y 300	entre 5 y 50	menos de 5
Susceptibilidad geológica	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1
Pendiente (%)	0-15	15-30	30-45	>45
precipitaciones medias anuales(mm/año)	Menos de 600	Entre 600 y 1700	Entre 1700 y 2500	Más de 2500
Uso de suelos	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1

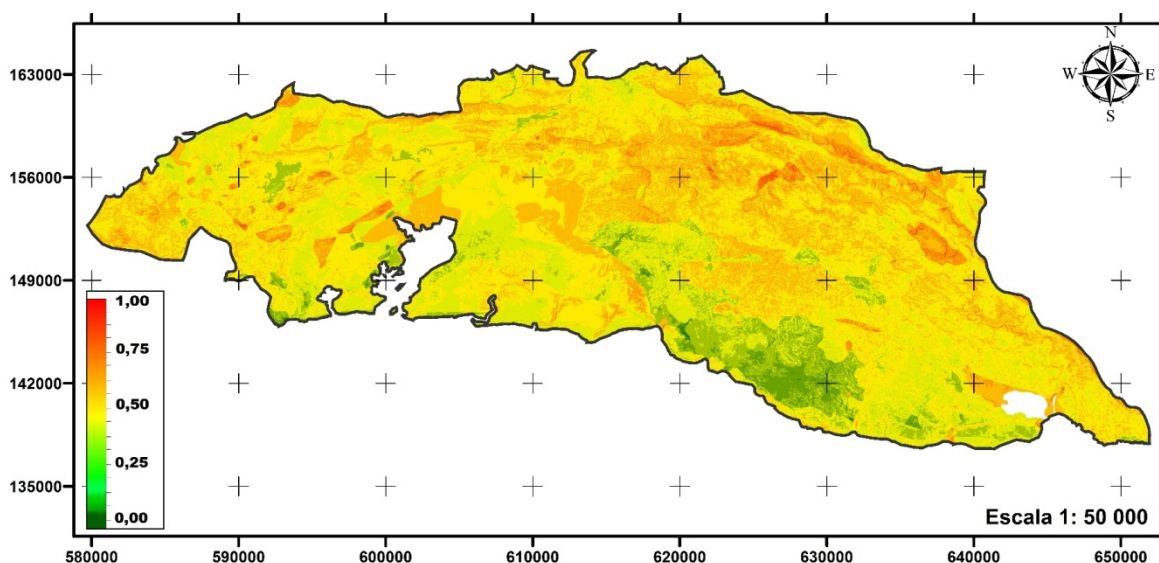


Figura 4.15. Modelo de deslizamientos por lluvia en el municipio de Santiago de Cuba. Elaboración propia.

4.2.3 Modelo de deslizamientos por sismos

Para la determinación del modelo de peligro por deslizamientos (P2), se consideró realizar las consultas al sistema a partir de los valores primarios de base según se expresa a continuación en la tabla 4.2:

Tabla 4.2. Valores para la modelación del peligro a deslizamientos por sismos. Elaboración propia a partir de lo propuesto por Galbán (2012).

Nivel de peligro Submodelos	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Vegetación (%)	Más del 70 por ciento.	Entre el 70 – 40 por ciento.	Entre el 40 – 20 por ciento.	Menos del 20 por ciento.
Nivel freático (metros)	Mayor de 15	10 a 15	3 a 10	0 a 3
Influencia Cársica	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1
Fallas(km)	más de 300	entre 50 y 300	entre 5 y 50	menos de 5
Susceptibilidad geológica	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1
Pendiente(grados)	0-15	15-30	30-45	>45
Peligro sísmico(m/s²)	Menor que 150	Entre 150 y 200	Entre 200 y 250	Mayor que 250
Uso de suelo	0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1

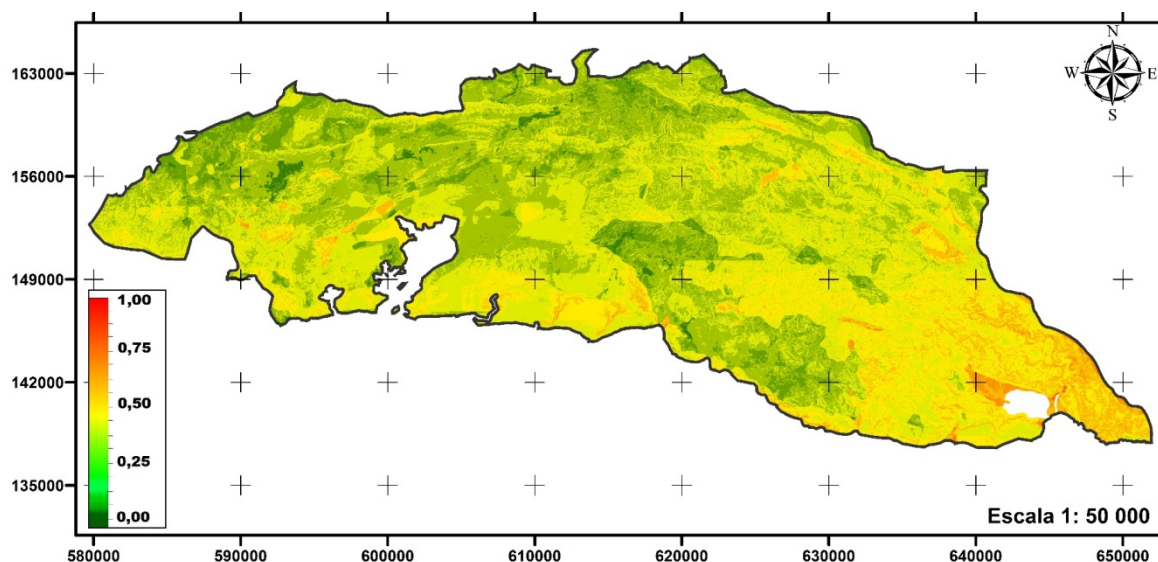


Figura 4.16. Modelo de deslizamientos por sismos en el municipio de Santiago de Cuba. Elaboración propia.

4.3 Modelo de deslizamiento total

Finalmente el modelo de peligro por deslizamientos del municipio Santiago de Cuba se obtiene a partir de la superposición de los submodelos previamente obtenidos, con el objetivo concreto de realizar una evaluación lo más precisa posible de los elementos o variables que permiten caracterizar al peligro por deslizamientos, como uno de los principales fenómenos geológicos que se manifiestan en el territorio comprendido por el municipio en cuestión.

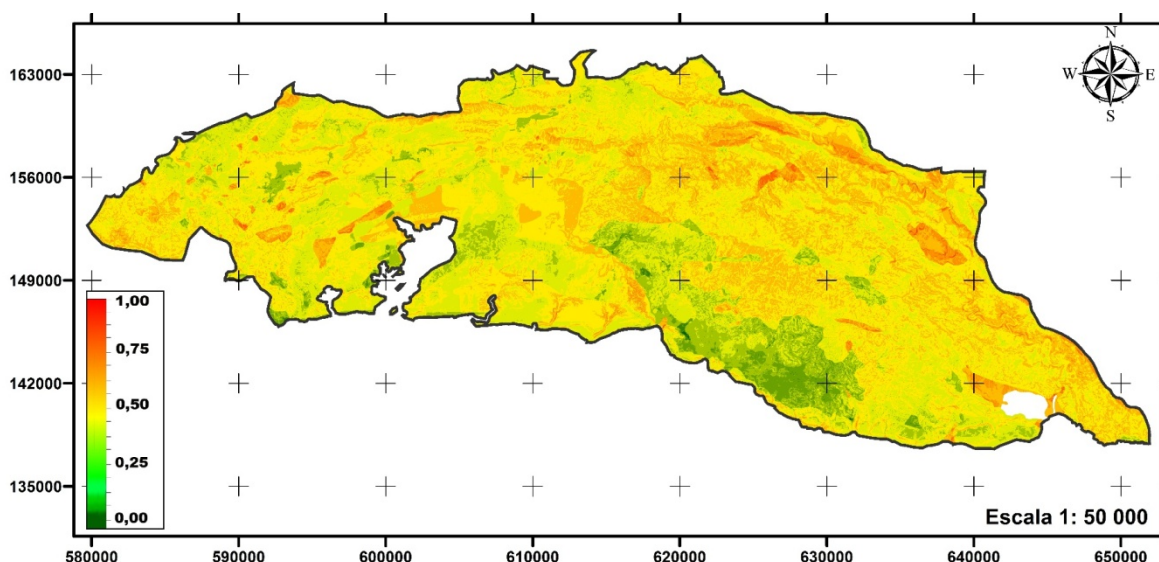


Figura 4.17. Modelo de peligro por deslizamiento total en el municipio de Santiago de Cuba. Elaboración propia.

Una visión más amplia y acabada con la superposición de las principales estructuras del municipio (comunidades, carreteras, embalses, ríos, arroyos, construcciones y manzanas), y su relación con el peligro total a deslizamientos se expresa en la figura 4.18.

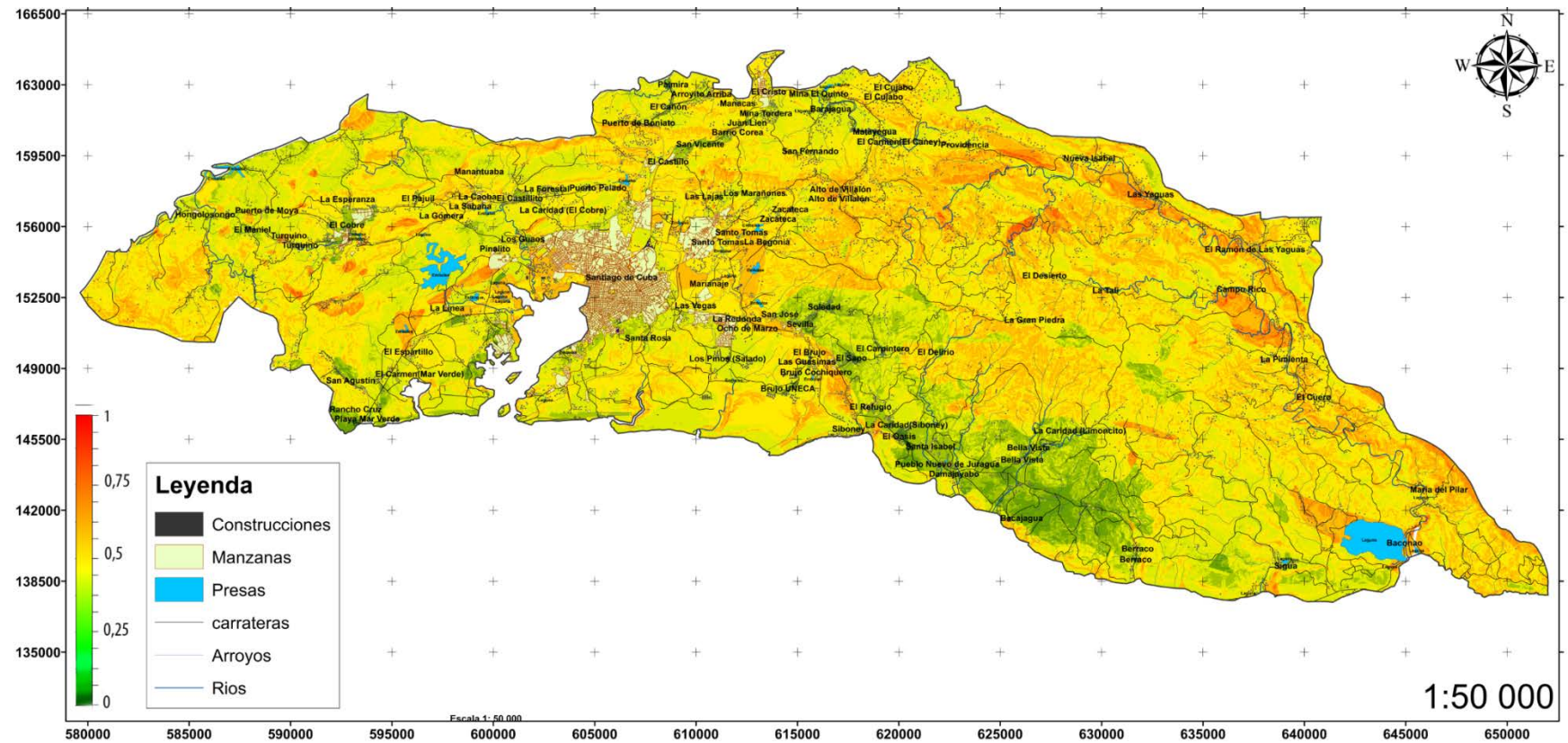


Figura 4.18. Mapa de peligro por deslizamientos total en el municipio de Santiago de Cuba. Elaboración propia

Para la interpretación y análisis del peligro por deslizamientos total se propone observar lo planteado en la tabla 4.3

Tabla 4.3. Consideraciones de peligro por deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba

GRADO	Consideraciones para las zonas con peligro totales de ser afectadas por los deslizamientos
Bajo	De acuerdo al análisis realizado la zona que corresponde desde Verraco hasta el pueblo de San José es la menos afectada. Eso se debe principalmente por la presencia de dioritas cuarcíferas y granodioritas en el área dando mas estabilidad ante un peligro. En esta zona no se manifiestan los procesos cársicos. Las pendientes del terreno oscilan entre 10 y 20 grados. La zona no presenta peligro ante precipitaciones, donde los valores de las mismas oscila entre 800-1200mm.
Moderado	La ciudad de Santiago de Cuba está entre las zonas menos afectadas por el peligro por deslizamientos. Las formaciones calcáreas como la formación la cruz, miembro Santiago presenta un peligro moderado ante deslizamiento. En la zona se ve la presencia del carso que viene siendo lentes calcáreos en estratos vulcanógeno-sedimentarios y mesetas desarrollados en terrazas marinas. Las precipitaciones oscilan entre 800-1200mm por año. La ciudad posee un elevado valor de la aceleración sísmica. Las pendientes varían entre 5-20 grados. En general los deslizamientos son puntuales en zonas de laderas.
Alto	Las zonas montañosas presentan un peligro alto ante los peligros por deslizamientos: (desde La gran piedra hasta el alto de villalón). En la zona los valores de las aceleraciones sísmicas son moderados. El peligro por fallas es elevado. Las pendientes y las precipitaciones tienen su máximo valor en esta zona llegando a 65 % y superando 1700mm por año respectivamente. Las rocas del grupo El Cobre (rocas vulcanógeno-sedimentarias y andesitas) predominan la geología del área. No se ve un buen desarrollo de la cobertura vegetal ni la presencia de viviendas. (desde maría del Pilar hasta Campo rico) Las pendientes varían entre 20 y 35 grados. En el área se manifiestan procesos cársicos de meseta diseccionado. Respecto a la geología en la zona predominan rocas de carácter sedimentario, con representaciones de grupo del El Cobre, a depósitos aluviales y otras formaciones con presencia de rocas vulcanógeno sedimentarias con una susceptibilidad alta. Las precipitaciones varían entre 700-1300mm por año. En la zona los valores de las aceleraciones sísmicas son altos

	y el peligro por la influencia de las fallas es elevado.
Muy alto	<p>La zona con el peligro mas alto se define como la zona comprendida entre el Cujabo hasta el Ramón de las yaguas. Se observa la cercanía a las estructuras falladas. Los valores de precipitaciones oscilan entre 1200-1500mm por año. Se observa un leve desarrollo de los procesos cársticos.</p> <p>El área esta compuesta por rocas de las formaciones Puerto Boniato, San Luis y Camarones, que vienen siendo rocas sedimentarias como calizas, margas, areniscas y conglomerados. Los valores de las aceleraciones sísmicas son moderados. En la zona existen pueblos cultivos y viviendas. Las pendientes oscilan entre 15-45 %.</p>

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. La caracterización ingeniero geológica del municipio Santiago de Cuba arrojó la existencia de distintos procesos y fenómenos geológicos que inciden en la manifestación de los fenómenos de deslizamientos. Entre los más importantes se encuentran: la presencia de rocas susceptibles a la transmisión de las ondas sísmicas, erosión, cárso, conjunto de sistemas de fallas correspondientes al gran sistema de fallas Battle-Caimán y la presencia de una red hidrográfica extensa que en conjunto con los niveles freáticos incrementan sus posibilidades de manifestación.
2. Para la elaboración de la metodología empleada en la determinación del peligro a deslizamiento en el municipio Santiago de Cuba, se tuvieron en cuenta distintos elementos recogidos en una amplia y exhaustiva revisión bibliográfica con un adecuado nivel de actualización de todos los documentos existentes relacionados con las variables implicadas en el fenómeno de deslizamiento. En consecuencia se analizaron e introdujeron los resultados de trabajos realizados anteriormente en Santiago de Cuba, así como las valoraciones realizadas en otras metodologías empleadas a tales efectos.
3. En la implementación de la metodología fueron introducidos elementos novedosos que no habían sido considerados anteriormente para este tipo de evaluación en el municipio, entre ellos: el modelo de niveles freáticos, la susceptibilidad geológica, la susceptibilidad cársica. Todos ellos unidos a otros elementos ya conocidos contribuyeron a la obtención del modelo de peligro a deslizamientos total del municipio Santiago de Cuba, el que constituye una herramienta de trabajo para futuras investigaciones en estos temas.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

Al considerar los aspectos tratados en esta investigación, se recomienda divulgar los resultados obtenidos y toda la información en aras de promover su uso por las distintas instituciones del territorio.

Entregar a la Defensa Civil Provincial de Santiago de Cuba y sus dependencias municipales, los Centros de Gestión para la Reducción de Riesgos y las entidades relacionadas con el estudio, actualización, evaluación y aplicación, los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Batista, Y., 2009. —Evaluación del riesgo por deslizamiento del municipio Bartolomé Masó. Provincia Granmall. Tesis de Maestría. Dpto. Geología. ISMM. Moa. 97 p.
2. BOSQUE, J.1992. Sistemas de información geográfica. Madrid, Ediciones Rial ,451 p.
3. Brabb, E.E. y Harrod, B.L., 1989. —Landslides: extent and economic significance||. Balkema, Rotterdam. 385 p.
4. 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.
5. BRACKEN; WEBSTER. 1990. Information technology in Geography and planning Including principles of G.I.S. London: Rout ledge. 444p.
6. BURROUGH, P.A. 1988. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, Oxford University press. 194 p.
7. Cabrera Castellanos, M; Santos Hernández, R.M. "Mapa Geomorfológico del territorio marino y costero de Cuba a escala 1:1000 000". Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2007. Memorias en CD - ROM, ISBN: 978-959-7117-16.2
8. CARRARA, A.; CARRATELLI, E.P.; MERENDA, L.1977. Computer-based data bank and statistical analysis of slope instability phenomena. Zeitschrift für morphologie 21, 187–222 p.
9. Carrillo, D.; Echavarría, B.; Castellanos, E.; Triff, J.; Nuñez, K. (2009): Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología.
10. Castellanos, E. et al. "Aplicación de técnicas geofísicas para la caracterización de deslizamientos en Cuba. Escala 1:250 000." Instituto de Geología y Paleontología. Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2007. Memorias en CD - ROM, ISBN: 978-959-7117-16.2
11. Castellanos, E., *et al.*, Versión 3-Abril 2012. "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.

12. CEBRIÁN, J.A.; MARK, D. 1986. Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos. Estudios Geográficos. (188), 277-299 p.
13. Chuy Rodríguez, T.J. *et al.* "Amenazas Municipio Santiago de Cuba. Proyecto caracterización e impacto de amenazas naturales extremas en Santiago de Cuba", Dr. Tomás Jacinto Chuy Rodríguez, Jefe de proyecto. Archivo CENAI. 2005.
14. Chuy Rodríguez, Tomás J. 1999. "Macro sismica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica". Tesis en opción de Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del CENAI e Instituto de Geofísica y Astronomía, 273pp.
15. Chuy Rodríguez, Tomás Jacinto *et al.*, 2002. "Nuevas investigaciones sismológicas en Cuba", La Habana, Obtenido en formato electrónico en Centro Territorial de Gestión de la Información del MICON, Santiago de Cuba.
16. Chuy Rodríguez, Tomás Jacinto *et al.*, 2010. "Modelo de peligro sísmico de la provincia Santiago de Cuba". Archivos CENAI. Cortesía del autor.
17. Chuy, T. (1997): Mapa de peligrosidad sísmica de Cuba con fines de ingeniería. Reportes de Investigación. Fondos del CENAI.
18. 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.
19. 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.
20. CROZIER, M.J. 1986. Landslides. Causes, consequences & environment .Ed.Routledge. London & New York.252 p.
21. 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.
22. 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.

23. Galbán Rodríguez, L. (b). “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: 978-959-207-357-9.
24. Galbán Rodríguez, L.(f). “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>
25. 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
26. 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.
27. García Peláez, Julio A. et al. 2002. “Informe Final del Proyecto: Mapa de riesgo sísmico de la Ciudad de Santiago de Cuba”. Desarrollado por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas – CITMA para el Programa Nacional de la Defensa. 2002. Archivo CENAIIS.
28. 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.
29. Geocuba Oriente Sur. 2010. “SIG de la Base cartográfica de Santiago de Cuba a escala 1:100 000”. Obtenido en formato electrónico.
30. 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.
31. 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.

32. 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 p.
33. HUTCHINSON, J.N. 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. En: Ch. Bonnard (Editor), 5th Int. Congr. On Landslides, Lausanne. 1, 3-35 p.
34. IAEG-Commission on Landslides. 1990. Suggested nomenclature for landslides. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 41.13–16 p.
35. 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.
36. International.s.l: Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, 28th June –2nd July, p.39–56.
37. IUGS-Working group on landslide, 2001. A suggested method for reporting landslide remedial measures. Bulletin of Engineering Geology and Environment 60, 69–74 p.
38. IUGS-Working group on landslide. 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 52, 75–78 p.
39. JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes, 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning, for land use planning. Engineering Geology 103, 85–98 (this volume).
40. LANG, A.; MOYA, J.; COROMINAS, J.; SCHROTT, L.; DIKAU, R. 1999. Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements. Geomorphology 30 (1–2), 33–52 p.
41. LOMTADZE, V. D. 1977. Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería. Ed. Pueblo y Educación, 560 p.
42. Mann P., F. Taylor, E. Lawrence, T. Ku, 2002. Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults: An example from the northeastern Caribbean Plate margin. Tectonophysics. 246. p.1- 69.

43. MASTIN, M.C. 2002. Flood-hazard mapping in Honduras in response to Hurricane Mitch. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01-4277. 46 p.
44. Medina, A., Escobar, E., Ortíz, G. Ramírez, M., Díaz, L., Móndeño, F., Montejó, N., Dieguez, H., Guevara, T y Acosta, J. (1999): Reconocimiento geológico - geofísico de la cuenca de Santiago de Cuba, con fines de Riesgo Sísmico. Empresa Geominera de Oriente, Santiago de Cuba. 32pp.
45. MESA, A. 2007. Evaluación de Riesgo Específico por deslizamiento en el Municipio Yateras. Guantánamo. Tesis de Maestría.
46. METTERNICHT, G.; HURNI, L.; GOGU, R. 2005. Remote sensing of landslides: an analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. *Remote Sensing of Environment* 98 (23), 284–303 p.
47. 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.
48. ONEI. “Anuario estadístico de Cuba 2012”. Oficina Nacional de Estadística e Información. 2012. <http://www.one.cu/aec2012/20080618index.htm>
49. Pérez de los Reyes et al. 2006. “Las inundaciones costeras en Cuba. Sistema nacional de alerta de eventos naturales extremos en la zona costera”, Publicaciones Red UTEEDA-CYTED. Editora UNAH. La Habana. Cuba. <http://uteeda.isch.edu.cu/Publicaciones-UTEEDA-CYTED/cuba/M1.swf> . Consultado en Octubre 2010.
50. Pérez Escobar, E.M; Sánchez Cruz, R. “Interpretación de los campos magnéticos y gravimétricos profundos del sistema de fallas Santiago con fines sismotectónicos” Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS´2007. 2007. Memorias en CD-Rom, ISBN: 978-959-7117-16.2
51. Regadera R. et al. “Diagnóstico de la calidad de las aguas en la Bahía de Santiago de Cuba”. CD Memorias, Conferencia Internacional de Manejo Integrado de Zonas Costeras. “CARICOSTAS 2005”. ISBN 959-207-195-0.
52. RENGERS, N.; SOETERS, R.; VAN WESTEN, C.J. 1992. Remote sensing and GIS applied to mountain hazard mapping. *Episodes*. 15 (1), 36-45 p.

53. 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.
54. Sánchez Silva, M; Yazmin L.; Cardona Arboleda, O.D. "Metodología para evaluación de vulnerabilidad de centros urbanos". CRIES. Multimedia Compilación: Comarcas Vulnerables". Mérida. VE. Compilador: Fernández, A. 2005.
55. 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.
56. Servicio Geológico de los Estados Unidos. (USGS, del ingles: United States Geological Survey 2009.
http://es.wikipedia.org/wiki/Servicio_Geol%C3%B3gico_de_los_Estados_Unidos.
57. SHARPE, C.F.S. 1938. Landslides and their control. Academia & Elsevier, Prague.205 p
58. 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.
59. SUÁREZ, J. 1998. Manual de Taludes en zonas Tropicales. Venezuela. 151 p.
60. The japanese geotechnical society. "Manual for zonation of seismic geotechnical hazards (Revised version)". 1999. ISBN: 4-88644-809-7.
61. 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, (Eds.), Landslides, Evaluation & Stabilization. Proceedings of the 9th
62. 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.

63. VARNES, D.J. 1978. Slope movement tyoes and processes. En: Landslides analysis and control. Special Report.176 p, 11-33 p.
64. VARNES, D.J. IAEG. 1984. Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice.UNESCO, Darantiere, París, 61 p.
65. Villalón Semant M.; Rosabal Domínguez, S.; Infante Gilart, Y., Chuy Rodríguez T. J.; Zapata Balaqué, A. “Riesgo por deslizamientos de tierra en la provincia Santiago de Cuba”. Centro Nacional de Investigaciones sismológicas. 2012.

ANEXO 1: TABLAS

ANEXO 1: TABLAS

Tabla A1.1 Estratigrafía provincia Santiago de Cuba. Tomado de: Carrillo *et al*, 2009.

Era	Periodo	Descripción de grupos y formaciones
Mesozoica	Cretácico	<p>Formación La Picota (lpc): Conglomerados polimícticos con intercalaciones de areniscas polimícticas y conglobrechas mal seleccionadas que se intercalan con argilitas. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre la Fm. Santo Domingo. Es cubierta discordantemente por las formaciones Charco Redondo, Mucaral, Puerto Boniato, Sabaneta y Yateras. Edad: Cretácico Superior (Campaniano- Maestrichtiano).</p> <p>Formación Manacal. (mc). Se desarrolla en la Sierra Maestra. Litología diagnóstica: Areniscas polimícticas, aleurolitas polimícticas y tobáceas, argilitas, calizas, gravelitas, tobas psammíticas, tobas psefíticas, tobas aglomeráticas y conglomerados. Las tobas son de composición andesito-basálticas. Relaciones estratigráficas: Yace tectónicamente sobre la Fm. Palma Mocha. Es cubierta discordantemente por el Gr. El Cobre. Edad: Cretácico Superior (Campaniano-Maestrichtiano Inferior).</p> <p>Formación Palma Mocha. (pmc). Tiene un desarrollo limitado al S, SE y SW del Pico Turquino, Litología diagnóstica: Rocas terrígeno-clásticas y vulcanógenas, en menor cantidad aparecen calizas; intercalaciones de argilitas. Las tobas y aglomerados de esta unidad son de composición básica. En el hipoestratotipo, en la parte baja predominan las tobas y aglomerados; en la parte media los aglomerados y en la parte superior predominan las calizas sobre las areniscas tobáceas y las tobas; en todo el corte hay intercalaciones de argilitas y gravelitas tobáceas. Relaciones estratigráficas: Su subyacente se desconoce. Es cubierta discordantemente por el Gr. El Cobre y tectónicamente por la Fm. Manacal. Edad: Cretácico Inferior (Aptiano)- Cretácico Superior (Turoniano).</p> <p>Formación Santo Domingo. (sd): Su litología diagnóstica son tobas y lavobrechas andesíticas, dacíticas, tufitas, argilitas, aleurolitas vulcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se desconoce su subyacente. Es cubierta discordantemente por las formaciones Charco Redondo, La Picota, Mícara y Sabaneta. Se le asigna una edad Cretácico Inferior (Aptiano)- Cretácico Superior (Turoniano). Subdivisiones: Mbro. Guásimas y Mbro. Perucho.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Miembro Guásimas. (gsm). Su desarrollo es limitado. Se desarrolla en las localidades de Cintras, Guásimas y Santo Domingo, provincia de Santiago de Cuba. Su litología diagnóstica son tobas lapílligas, conglomerados tobáceos, tufitas de grano medio a fino, aleurolitas. Las rocas vulcanoclásticas son de composición andesítica. Edad: (?). Observaciones: Esta unidad constituye la parte baja de la Fm. Santo Domingo. Relaciones estratigráficas: Se desconoce su subyacente. Es cubierto concordantemente por el Mbro. Perucho (Fm. Santo Domingo) y

		<p>discordantemente por la Fm. Mícara.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Miembro Perucho. (prc). Se desarrolla en la región de Calabazas, provincia de Santiago de Cuba. Su litología diagnóstica son tufitas cristaloclásticas de composición andesítica, de grano grueso a medio. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre el Mbro. Guásimas (Fm. Santo Domingo). Es cubierta discordantemente por las formaciones La Picota y Mícara. Edad: (?). <p>Formación Mícara (mcr): Por su composición esta unidad se puede dividir en tres partes: inferior, media y superior. Inferior: Constituida por aleurolitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas. Media: Secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, aleurolitas, gravelitas y conglomerados. Los olistolitos son de brecha y ultrabásitas serpentinizadas. La estratificación es buena. Superior: Predominan las aleurolitas y subordinadamente brechas y areniscas tobáceas, en su parte más alta, con intercalaciones de tobas ácidas bentonizadas y calizas. Presentan buena estratificación. Las areniscas, aleurolitas, 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 aleurolitas tienen un contenido alto de tobas vitroclásticas y cristaloclásticas y de tufitas psammíticas. En estos depósitos se observa estratificación gradacional y en ocasiones cruzada. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones La Picota y Santo Domingo. Es cubierta concordantemente por la Fm. Gran Tierra y discordantemente por las formaciones Charco Redondo, Mucará, Puerto Boniato y Sabaneta. Su parte inferior transiciona lateralmente a la parte alta de la Fm. La Picota. Edad: Cretácico Superior Maestrichtiano Superior- Paleoceno Inferior Daniano basal.</p> <p><i>Unidades Litoestratigráficas sin correspondencia actual definida</i></p> <p>Formación Aptychi, (? Schuchert, 1935), Edad: Jurásico Superior (Tithoniano ?)- Cretácico Inferior (Neocomiano).</p> <p>Serie Boniato, (? Weisbord, 1928), Edad: Cretácico (?),</p> <p>Formación Bucuey, (C.R.DeLand, 1956), Edad: Cretácico Superior- Paleógeno.</p> <p>Formación Burra, (M.T.Kozary, 1956), Edad: Cretácico Inferior (?).</p> <p>Formación Cojimar, (M.T.Kozary, 1958), Edad: Cretácico.</p> <p>Formación Daiquirí, (M.T.Kozary, 1955), Edad: Cretácico Superior.</p> <p>Mármoles Jurásico, (M.T.Kozary, 1957), Edad: Pre-Cretácico Superior.</p> <p>Intrusivos Macio, (M.T.Kozary, 1958), Edad: Cretácico (?).</p> <p>Formación Rosa, (M.T.Kozary, 1958), Edad: Cretácico (?).</p> <p>Intrusivos Siboney, (M.T.Kozary, 1956), Edad: Cretácico.</p> <p>Macizo del Turquino, (M.T.Kozary, 1956), Edad: Cretácico Superior.</p> <p>Metamorfitas Demajabo, (M.T.Kozary, 1955), Edad: Pre-Campaniano</p> <p>Metamorfitas Duarte, (M.T.Kozary, 1955), Edad: Pre-Campaniano (?).</p> <p>Formación Fajardo, (M.T.Kozary, 1958), Edad: Post-Campaniano.</p>
--	--	---

Cenozoica	Paleógeno	<p>GRUPO EL COBRE. (ec). Esta ampliamente distribuida a lo largo de la Sierra Maestra, provincias de Granma, Guantánamo y Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Está constituida por diferentes tipos de rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias en distintas correlaciones y combinaciones alternantes, muy variables, tanto en sentido vertical como lateral. Las transiciones entre ellas a veces son bruscas y otras graduales y en muchos casos es prácticamente imposible establecer delimitaciones entre ellas. Las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidácica y dacítica, raramente riolítica, riodácica y basáltica. Con estas rocas se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian a este complejo vulcanógeno- sedimentario cuerpos hipoabisales y diques de diversa composición. En su composición también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas y grauvacas. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Manacal y Palma Mocha. Es cubierta concordantemente por la Fm. Puerto Boniato y discordantemente por las formaciones Charco Redondo, La Cruz, Río Maya y San Luis. A su parte no diferenciada transicionan lateralmente las formaciones El Caney y Pilón, a la primera lo hace verticalmente también. Edad: Paleoceno- Eoceno Medio parte baja. Subdivisiones: Fm. El Caney y Fm. Pilón.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formación El Caney. (ecy). Se desarrolla en la Sierra Maestra, provincias Granma y Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Alternancia de tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, lapilitas e intercalaciones de lavas y aglomerados. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la Fm. Pilón y la secuencia indiferenciada del Gr. El Cobre con la cual transiciona lateralmente también. Es cubierta discordantemente por las formaciones Charco Redondo y San Luis. Edad: Eoceno Medio. • Formación Pilón. (pln). Se desarrolla en la parte occidental de la Sierra Maestra, provincias de Granma y Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Tufitas, areniscas vulcanomícticas y polimícticas, grauvacas, aleurolitas, calizas (frecuentemente con fragmentos de rocas vulcanógenas) y en menor cantidad tobas. En general, en la parte inferior del corte predominan las tufitas y en la parte superior las calizas. Relaciones estratigráficas: Su subyacente se desconoce. Es cubierta concordantemente por la Fm. El Caney y discordantemente por la Fm. Farallón Grande. Transiciona lateralmente a la parte no diferenciada del Gr. El Cobre. Edad: Paleoceno- Eoceno Inferior parte baja. • Formación Jaimanitas. (js). Subdivisiones: Miembros Punta Monje y Tortuguilla. Faja discontinua que ciñe la costa cubana y gran parte de las islas adyacentes. Litología diagnóstica: Calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla carbonato- arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas y a veces

		<p>contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. La coloración predominante es blancuzca o amarillenta.</p> <p>Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Cayo Piedras, Grande, Güines, Júcaro, Río Maya, Mícaro, Vázquez, Vedado, calciruditas Feliz y el Gr. Remedios. Es cubierta discordantemente por la Fm. Playa Santa Fé, por los depósitos del Holoceno y depósitos innominados del Cuaternario.</p> <p>Edad: Según criterios geomorfológicos su edad ha sido considerada tentativamente como Pleistoceno Superior.</p> <p>Miembro Punta Monje. (pm). Aparece en algunos sectores de la costa meridional de Cuba Oriental entre el Río Las Puercas y Tortuguilla, provincias de Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo. Calcarenitas similares han sido observadas en la costa N de las provincias de La Habana y Pinar del Río.</p> <p>Litología diagnóstica: Biocalcarenitas de granulometría variable, masivas o de estratificación mediana a gruesa, muy fosilíferas, medianamente cementadas con inclusiones ocasionales de gravas derivadas de rocas magmáticas y fósiles bien preservados de especies marinas actuales. La coloración es amarillenta.</p> <p>Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Cojimar, Río Maya y probablemente Vedado. Su límite superior es erosivo. Transiciona lateralmente con el Mbro. Tortuguilla (Fm. Jaimanitas).</p> <p>Edad: De acuerdo con su fauna fósil y su posición estratigráfica se le ha asignado una edad Pleistoceno Superior.</p> <p>Formación Cauto. (ca). Valle del Río Cauto, Santiago de Cuba.</p> <p>Litología diagnóstica: Arcillas, limos, arenas, gravas polimícticas y conglomerados polimícticos, con estratificación horizontal y cruzada. Coloración abigarrada.</p> <p>Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la Fm. Bayamo y discordantemente sobre las formaciones Barrancas, Bitirí, Camazán, Dátil, Manzanillo, Paso Real, San Luis y el Gr. El Cobre. Es cubierta concordantemente por los sedimentos aluviales del Holoceno y también probablemente por la Fm. Camacho.</p> <p>Edad: Pleistoceno, por su posición estratigráfica.</p> <p>Formación Punta Imías. (pi). Subdivisiones: Miembros Guardarraya y Yacabo. Se desarrolla en la faja costera en Sigua, provincia de Santiago de Cuba.</p> <p>Litología diagnóstica: Secuencia terrígeno carbonática muy fosilífera, formada por rocas clásticas polimícticas de distinta granulometría, constituidas principalmente por metamorfitas, vulcanitas, ultramafitas y calizas y por calizas arcilloso- limosas, calcarenitas, aleurolitas polimícticas y calcáreas, y margas arcillosas. El cemento es carbonático por lo general bien desarrollado. Estratificación gruesa a fina, lenticular o paralela a veces oblicua a gran escala. Los paquetes terrígenos tienen color oscuro abigarrado y los carbonáticos amarillo grisáceo o crema carmelitoso.</p> <p>Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Maquey, San Antonio, Santo Domingo, San Ignacio, San Luis, Sierra del Purial y el Gr. El Cobre. Es cubierta por la Fm. Río Maya con discordancia angular.</p> <p>Edad: Mioceno Superior - Plioceno Inferior.</p> <p>Formación Bitirí. (bt). (M. Iturralde, 1972). Aflora de forma discontinua en la región de Contramaestre, Santiago de Cuba.</p> <p>Litología diagnóstica: Calizas algáceas de matriz fina, duras, compactas, calcificadas, que contienen ocasionalmente</p>
--	--	--

		<p>fragmentos de corales y grandes <i>Lepidocyclina</i>. Colores amarillo grisáceo a carmelitoso. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Charco Redondo, Mucaral y San Luis. Es cubierta discordantemente por la Fm. Río Jagüeyes y la cobertura aluvial cuaternaria. Lateralmente transiciona a las calizas algáceas de la Fm. Camazán. Edad: Oligoceno Superior- Mioceno Inferior parte baja.</p> <p><u><i>Unidades Litoestratigráficas sin correspondencia actual definida</i></u></p> <p>Caney Formación, (C.R.DeLand, 1957), Edad: Paleógeno-Eoceno Inferior.</p> <p>Formación Unión, (M.T.Kozary, 1958), Edad: Paleógeno Superior-Eoceno Inferior (?).</p>
	Neógeno	<p>Formación La Cruz. (lcz). Subdivisiones: Miembros Quintero, Tejar y Santiago. Periferia de la Bahía de Santiago de Cuba, extendiéndose al W de la misma a lo largo de la costa S en una faja estrecha y hacia el E de la bahía, en una faja más ancha pero irregular. Existen parches irregulares y discontinuos en las cercanías del límite occidental, provincia de Santiago de Cuba.</p> <p>Litología diagnóstica: Secuencia terrígeno- carbonática en la base y el techo, siendo en su parte media carbonato- terrígena. Existen alternaciones de calizas biodetríticas, a veces limosas o arcillosas, calcarenitas de matriz margosa y subordinadamente margas, conglomerados, areniscas polimícticas y aleurolitas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas. En menor proporción aparecen intercalaciones de arcillas esmecticas. Coloración gris verdosa a pardusca abigarrada en los horizontes terrígenos y blancuzco y crema en los carbonáticos. Existen horizontes muy fosilíferos. Las aleurolitas del borde SE de la Bahía de Santiago de Cuba aparecen ligeramente fosfatizadas. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre el Gr. El Cobre y los cuerpos de granitoides. Es cubierta discordantemente por las formaciones Río Maya y Jaimanitas. Edad: Mioceno Superior- Plioceno Superior.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Miembro Quintero. (qt). Se desarrolla solamente en los alrededores de la ciudad de Santiago de Cuba, provincia de Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Conglomerados polimícticos de vulcanitas y calizas, con matriz margosa o arenítica, con cemento calcáreo más o menos desarrollado. Coloración oscura abigarrada. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre el Gr. El Cobre. Es cubierto concordantemente por el Mbro. Tejar (Fm. La Cruz). Edad: De acuerdo con su posición estratigráfica se le ha asignado una edad Mioceno Medio parte alta. • Miembro Tejar. (tjr). Se desarrolla en los alrededores de la Bahía de Santiago de Cuba, prolongándose en forma discontinua hacia el E hasta Sigua y hacia el W hasta las cercanías de Punta Tabacal, provincia de Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Alternancia de calizas biodetríticas, calizas limosas y limoso- arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo , formadas principalmente por vulcanitas. Existen horizontes muy fosilíferos (<i>Chlamis cruciana</i>, <i>Gypsina globularis pilaris</i>, <i>Kuphus incrassatus</i>, <i>Sorites magna</i>). Algunos horizontes presentan ligera

		<p>fosfatización. Colores crema en los carbonatos, y gris verdoso y parduzco abigarrado en los sedimentos terrígenos. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre el Mbro. Quintero (Fm. La Cruz). Es cubierta concordantemente por el Mbro. Santiago (Fm. La Cruz). Edad: Mioceno Superior- Plioceno parte baja.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Miembro Santiago. (stg). Se desarrolla muy localmente en la provincia de Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Argilitas calcáreas, limoso- arenáceas plásticas con interestratificaciones de aleurolitas polimícticas areno- arcillosas que contienen Ostrea y otros moluscos y calcilutitas laminares, a veces nodulosas. Colores abigarrados predominando el crema, carmelitoso, grisáceo y verdoso. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre el Mbro. Quintero (Fm. La Cruz) y discordantemente sobre el Gr. El Cobre. Es cubierta discordantemente por suelos pardos y aluvios del Cuaternario. Edad: Plioceno Inferior. <p>Formación San Luis. (sl) Tiene un amplio desarrollo en la región centro- sur de la antigua provincia de Oriente: en la Cuenca de Guantánamo, en el Sinclinorio Central, en las áreas adyacentes a las cuencas de Guacanayabo-Nipe, en el borde N de la Sierra Maestra, en la Sierra de Nipe- Cristal- Baracoa, al S de la Sierra de Purial y al N del pueblo de Pilón. Litología diagnóstica: Areniscas polimícticas, aleurolitas, margas, arcillas calizas arcillosas, organodetríticas, arenosas y conglomerados polimícticos. Se encuentra bien estratificada. Hacia arriba en el corte se observa un aumento de la cantidad del material clástico. Se encuentra cortada por diques y cuerpos de basalto. Sus depósitos aparecen ligeramente plegados. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre las formaciones Charco Redondo, Farallón Grande y Puerto Boniato y discordantemente sobre las formaciones Sabaneta, San Ignacio y el Gr. El Cobre (parte no diferenciada). Es cubierta discordantemente por las formaciones Bitirí, Camazán y Maquey. Transiciona lateralmente a la Fm. Camarones Edad: Eoceno Medio parte alta- Eoceno Superior.</p> <p>Formación Camarones. (cm). Su desarrollo está limitado a la provincia de Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Está constituida por conglomerados polimícticos de cantos subredondeados y redondeados, areniscas polimícticas de grano grueso. La matriz del conglomerado es arenosa de composición polimíctica. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la Fm. San Luis con la cual transiciona lateralmente también. Su límite superior es erosivo, excepto cerca de la costa, en que está cubierta discordantemente por el Mbro. Gobernadora (Fm. Maquey). Edad: Eoceno Superior.</p> <p>Formación Farallón Grande. (fg). Se desarrolla en la parte occidental de la Sierra Maestra, provincias de Santiago de Cuba y Granma. Litología diagnóstica: Esta constituida por brechas polimícticas, de fragmentos angulares y subangulares de tamaños variados, con intercalaciones de conglomerados de clastos bien seleccionados y en menor cantidad de areniscas de grano grueso. Hacia la parte superior del corte aumenta el grado de clasificación de los materiales, dando lugar a una estratificación rítmica de argilitas, calizas tobáceas, calizas arenáceas, calizas puras, areniscas tobáceas y aleurolitas. Los</p>
--	--	---

		<p>clastos provienen fundamentalmente de la Fm. Charco Redondo y del Gr. El Cobre. En algunos lugares la brecha es cortada por diques de composición andesito- basáltico. La matriz de la brecha y el conglomerado es arenosa tobácea. El cemento es carbonático y está en proporción inversa con la matriz.</p> <p>Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Charco Redondo y Pílon. Es cubierta concordantemente por la Fm. San Luis y transgresivamente por las formaciones Dátil y Manzanillo. También es cubierta por la Fm. Barrancas sin conocerse el carácter del contacto. Edad: Eoceno Medio parte alta.</p> <p>Formación Gran Tierra. (gt). Se desarrolla en forma de pequeñas franjas en las provincias de Holguín, Guantánamo y Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Calizas brechosas, conglomerados vulcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas órgano- detriticas, areniscas vulcanomícticas de cemento calcáreo, aleurolitas y tufitas. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la Fm. Mícaro y discordantemente sobre las formaciones Santo Domingo y Sierra Verde. Es cubierta concordantemente por la Fm. Sabaneta. Edad: Paleoceno Inferior (Daniano).</p> <p>Formación Puerto Boniato. (pb). Se desarrolla en forma de franja discontinua en la Sierra Maestra, al S de la Sierra de Cristal, provincia de Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Alternancia de calizas organodetríticas aporcelanadas, algáceas y margas, con intercalaciones de sílice negro- parduzco. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre las formaciones El Caney, Sabaneta y Gr. El Cobre (parte indiferenciada) y discordantemente sobre la Fm. La Picota. Es cubierta concordantemente por las formaciones Mucaral, San Luis y Sierra de Capiro. Edad: Eoceno Medio.</p> <p>Formación San Luís. (sl). Tiene un amplio desarrollo en la región centro- sur de la antigua provincia de Oriente: en el Sinclinorio Central, en el borde N de la Sierra Maestra. Litología diagnóstica: Areniscas polimícticas, aleurolitas, margas, arcillas calizas arcillosas, organodetríticas, arenosas y conglomerados polimícticos. Se encuentra bien estratificada. Hacia arriba en el corte se observa un aumento de la cantidad del material clástico. Se encuentra cortada por diques y cuerpos de basalto. Sus depósitos aparecen ligeramente plegados. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre las formaciones Charco Redondo, Farallón Grande y Puerto Boniato y discordantemente sobre las formaciones Sabaneta, San Ignacio y el Gr. El Cobre (parte no diferenciada). Es cubierta discordantemente por las formaciones Bitirí, Camazán y Maquey. Transiciona lateralmente a la Fm. Camarones. Edad: Eoceno Medio parte alta- Eoceno Superior.</p> <p>Formación Charco Redondo. (chr). Tiene un buen desarrollo en la región de Mayarí, al S de las sierras de Nipe y de Cristal y en la Sierra de Baconao. Litología diagnóstica: Calizas compactas órgano- detriticas, fosilíferas, de color variable. En la parte inferior del corte, son frecuentes las brechas. En esta parte predomina la estratificación gruesa, mientras que en la superior predomina la estratificación fina. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones La Picota, Sabaneta, Santo Domingo y Vigía y el Gr. El Cobre. Es cubierta</p>
--	--	---

		<p>concordantemente por las formaciones Mucaral y Sierra de Capiro y discordantemente por la Fm. San Luis. Edad: Eoceno Medio.</p> <p><u>Unidades Litoestratigráficas sin correspondencia actual definida</u></p> <p>Formación Bijagual, Edad: Eoceno (?).</p> <p>Formación Cimborrio, (M.T.Kozary, 1956), Edad: Eoceno Superior,</p> <p>Torcaza, Formación (C.R.DeLand, 1956), Edad: Eoceno</p>
	Cuaternario	<p><u>Formación Camaroncito</u> (Crt) Q₁₁₁. Se desarrolla en forma discontinua, en pequeñas áreas, en la cuenca de Santiago de Cuba. Compuesta por calcarenitas laminares de grano medio a grueso, bien cementadas, con diseminaciones de gravas polimícticas predominantemente finas. La coloración es abigarrada. Su subyacente no se ha observado. Es cubierta por la Formación Jaimanitas, aunque no se conoce el carácter del contacto. Su espesor oscila entre 3 y 4 m aunque en ocasiones puede ser mayor. Es posible que esta unidad forme parte de la Formación Río Maya, aunque su definitiva ubicación requiere estudios. Tiene la misma edad que la Formación Jaimanitas.</p> <p><u>Formación Maya</u> (Rm) N₂-Q₁. Sus depósitos corresponden a episodios de desarrollo arrecifal que alternan con episodios de intenso aporte de materiales clásticos terrígenos, predominando los de desarrollo arrecifal. Está compuesta fundamentalmente por calizas biohémicas algáceas y coralinas muy duras de matriz micrítica, frecuentemente aporcelanadas conteniendo Corales en posición de crecimiento y fragmentarios, así como subordinadamente moldes y valvas de moluscos, todos muy recrystalizados, siendo abundante el coral Acropora prolifera. Las calizas se encuentran frecuentemente dolomitizadas. El contenido de arcilla es muy variable. Contiene intercalaciones de clastos terrígenos de variada granulometría. El color es blanco, amarillento, rosado o grisáceo. Su espesor oscila entre 30 y 80 m. Yace discordantemente sobre la formación La Cruz. Es cubierta discordantemente por la Formación Jaimanitas.</p>

Tabla A1.2 Registros históricos de
lluvias. Fuente: (I.N.R.H., 2012).

Cod. Prov	NC	Años	Precipitaciones(mm)
13	535	1960	1533,2
13	535	1961	2212,0
13	535	1962	1037,0
13	535	1963	2536,6
13	535	1964	1419,8
13	535	1965	1035,2
13	535	1966	2430,8
13	535	1967	1116,9
13	535	1968	1119,5
13	535	1969	1874,5
13	535	1970	1188,4
13	535	1971	1377,7
13	535	1972	1815,8
13	535	1973	2393,4
13	535	1974	1270,6
13	535	1975	1071,7

13	535	1976	1329,8
13	535	1977	1840,3
13	535	1978	1696,3
13	535	1979	2382,8
13	535	1980	1494,2
13	535	1981	1418,9
13	535	1982	1401,9
13	535	1983	1430,8
13	535	1984	1436,3
13	535	1985	1199,7
13	535	1986	1623,5
13	535	1987	1564,6
13	535	1988	1570,1
13	535	1989	1255,3
13	535	1990	1639,0
13	535	1991	1415,9
13	535	1992	1419,8
13	535	1993	2061,3
13	535	1994	2424,0
13	535	1995	2184,2
13	535	1996	1490,0
13	535	1997	1521,9

13	535	1998	1934,3
13	535	1999	1504,7
13	535	2000	1164,4
13	535	2001	1472,5
13	535	2002	1289,8
13	535	2003	1508,7
13	535	2004	983,9
13	535	2005	1605,0
13	535	2006	1588,4
13	535	2007	2379,2
13	535	2008	1540,9
13	535	2009	1196,7
13	535	2010	1898,3
13	535	2011	1045,1
13	535	2012	1012,4
A	535		1573
13	829	1959	350,8
13	829	1960	738,9
13	829	1961	591,1
13	829	1962	605,9
13	829	1963	1755,0
13	829	1964	559,2
13	829	1965	741,4
13	829	1966	1280,5
13	829	1967	500,1
13	829	1968	348,5
13	829	1969	1063,3
13	829	1970	364,0
13	829	1971	515,3
Cod. Prov	NC	Años	Precipitaciones(mm)
13	829	1972	631,0
13	829	1973	820,0
13	829	1974	634,9
13	829	1975	332,8
13	829	1976	226,0
13	829	1977	795,5
13	829	1978	1114,3
13	829	1979	1054,5
13	829	1980	716,6
13	829	1981	620,2
13	829	1982	738,1
13	829	1983	753,1
13	829	1984	757,1
13	829	1985	789,5
13	829	1986	1097,5
13	829	1987	795,5
13	829	1988	718,3
13	829	1989	941,2
13	829	1990	1021,1
13	829	1991	1036,4
13	829	1992	789,0
13	829	1993	1494,6
13	829	1994	1210,0
13	829	1995	1202,0
13	829	1996	729,0
13	829	1997	793,0
13	829	1998	494,8
13	829	1999	591,0
13	829	2000	675,2
13	829	2001	38,0
13	829	2002	
13	829	2003	
13	829	2004	
13	829	2005	
13	829	2006	
13	829	2007	
13	829	2008	824,3
13	829	2009	457,1
13	829	2010	779,0
13	829	2011	
13	829	2012	

A	829		762,7
13	830	1961	1799,7
13	830	1962	691,6
13	830	1963	1159,2
13	830	1964	1291,5
13	830	1965	1024,5
13	830	1966	1783,9
13	830	1967	613,8
13	830	1968	736,9
13	830	1969	1350,6
13	830	1970	1047,8
13	830	1971	745,9
13	830	1972	1426,0
13	830	1973	1244,0
13	830	1974	637,4
13	830	1975	625,8
13	830	1976	705,7
13	830	1977	1471,8
13	830	1978	1475,6
13	830	1979	2225,5
13	830	1980	901,1
13	830	1981	952,9
13	830	1982	922,8
13	830	1983	1096,3
13	830	1984	967,2
13	830	1985	982,3
13	830	1986	1414,7
13	830	1987	1399,9
13	830	1988	1379,8
13	830	1989	905,5
13	830	1990	1237,5
13	830	1991	1084,9
13	830	1992	871,4
13	830	1993	1748,9
13	830	1994	1015,7
13	830	1995	964,6
13	830	1996	1517,1
13	830	1997	1188,7
13	830	1998	1560,2
13	830	1999	1331,7
13	830	2000	893,2
13	830	2001	1525,8
13	830	2002	1443,3
13	830	2003	1191,7
13	830	2004	904,7
13	830	2005	1320,7
13	830	2006	1470,2
13	830	2007	2192,6
13	830	2008	1213,9
13	830	2009	745,6
13	830	2010	1290,5
13	830	2011	1103,2
13	830	2012	1303,2
13	830	2013	
A	830		1194
13	900	1961	1496,9
13	900	1962	886,7
13	900	1963	4784,6
13	900	1964	1218,2
13	900	1965	1603,2
13	900	1966	1680,8
13	900	1967	637,3
13	900	1968	832,7
13	900	1969	1824,5
13	900	1970	1221,5
13	900	1971	774,5
13	900	1972	1424,0
13	900	1973	1184,5
13	900	1974	958,8
13	900	1975	834,5
13	900	1976	637,0
13	900	1977	1328,0

PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA PROVINCIA
SANTIAGO DE CUBA

13	900	1978	1348,0
13	900	1979	2943,0
13	900	1980	1369,0
13	900	1981	999,0
13	900	1982	1092,0
13	900	1983	1179,6
13	900	1984	1021,0
13	900	1985	1006,8
13	900	1986	984,7
13	900	1987	670,9
13	900	1988	
13	900	1989	837,4
13	900	1990	1274,4
13	900	1991	1104,5
13	900	1992	1007,3
13	900	1993	1914,6
13	900	1994	1291,3
13	900	1995	1186,2
13	900	1996	1402,9
13	900	1997	1362,6
13	900	1998	692,5
13	900	1999	1267,5
13	900	2000	338,2
13	900	2001	1638,4
13	900	2002	1491,1
13	900	2003	1036,3
13	900	2004	694,7
13	900	2005	1674,1
13	900	2006	1310,8
13	900	2007	3045,1
13	900	2008	1400,8
13	900	2009	934,2
13	900	2010	1227,9
13	900	2011	806,9
13	900	2012	1160,4
13	900	2013	
A	900		1295
13	1040	1962	175,6
13	1040	1963	832,2
13	1040	1964	700,3
13	1040	1965	549,7
13	1040	1966	559,4
13	1040	1967	534,6
13	1040	1968	584,4
13	1040	1969	1030,2
13	1040	1970	505,4
13	1040	1971	189,2
13	1040	1972	332,4
13	1040	1973	852,8
13	1040	1974	725,5
13	1040	1975	339,5
13	1040	1976	355,5
13	1040	1977	961,5
13	1040	1978	464,5
13	1040	1979	896,5
13	1040	1980	709,8
13	1040	1981	736,1
13	1040	1982	434,6
13	1040	1983	633,5
13	1040	1984	482,6
13	1040	1985	640,4
13	1040	1986	794,7
13	1040	1987	
13	1040	1988	
13	1040	1989	
13	1040	1990	1475,0
13	1040	1991	416,3
13	1040	1992	294,0
13	1040	1993	1520,0
13	1040	1994	563,0
13	1040	1995	1406,6
13	1040	1996	406,2
13	1040	1997	592,5

13	1040	1998	408,0
13	1040	1999	825,1
13	1040	2000	0,0
13	1040	2001	73,0
13	1040	2002	558,3
13	1040	2003	1154,4
13	1040	2004	495,1
13	1040	2005	1456,5
13	1040	2006	1282,0
13	1040	2007	1405,0
13	1040	2008	790,4
13	1040	2009	914,0
13	1040	2010	1368,8
13	1040	2011	1168,1
13	1040	2012	996,1
13	1040	2013	
A	1040		720,6
13	1051	1962	
13	1051	1963	1542,7
13	1051	1964	945,7
13	1051	1965	690,2
13	1051	1966	1189,6
13	1051	1967	155,0
13	1051	1968	557,4
13	1051	1969	777,7
13	1051	1970	300,9
13	1051	1971	449,5
13	1051	1972	903,1
13	1051	1973	581,2
13	1051	1974	604,5
13	1051	1975	457,1
13	1051	1976	714,4
13	1051	1977	1243,0
13	1051	1978	1203,1
13	1051	1979	1399,3
13	1051	1980	807,6
13	1051	1981	582,0
13	1051	1982	714,2
13	1051	1983	663,7
13	1051	1984	560,8
13	1051	1985	640,9
13	1051	1986	873,8
13	1051	1987	787,0
13	1051	1988	692,4
13	1051	1989	812,1
13	1051	1990	611,4
13	1051	1991	931,4
13	1051	1992	555,8
13	1051	1993	1337,7
13	1051	1994	1095,6
13	1051	1995	1269,7
13	1051	1996	911,3
13	1051	1997	651,9
13	1051	1998	675,9
13	1051	1999	1114,0
13	1051	2000	676,9
13	1051	2001	628,0
13	1051	2002	751,3
13	1051	2003	772,0
13	1051	2004	546,1
13	1051	2005	1153,9
13	1051	2006	1089,7
13	1051	2007	1557,4
13	1051	2008	979,1
13	1051	2009	719,2
13	1051	2010	1235,7
13	1051	2011	1191,0
13	1051	2012	1110,7
13	1051	2013	
A	1051		848,3
13	1053	1962	

PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA PROVINCIA
SANTIAGO DE CUBA

13	1053	1963	951,4
13	1053	1964	1075,5
13	1053	1965	707,6
13	1053	1966	1353,1
13	1053	1967	359,7
13	1053	1968	520,4
13	1053	1969	927,2
13	1053	1970	516,1
13	1053	1971	339,7
13	1053	1972	699,7
13	1053	1973	
13	1053	1974	
13	1053	1975	
13	1053	1976	
13	1053	1977	1183,8
13	1053	1978	767,7
13	1053	1979	1019,6
13	1053	1980	871,9
13	1053	1981	702,1
13	1053	1982	942,0
13	1053	1983	851,0
13	1053	1984	713,2
13	1053	1985	918,5
13	1053	1986	899,4
13	1053	1987	828,8
13	1053	1988	893,0
13	1053	1989	854,9
13	1053	1990	1169,7
13	1053	1991	953,1
13	1053	1992	743,2
13	1053	1993	1100,4
13	1053	1994	1202,0
13	1053	1995	1555,2
13	1053	1996	824,2
13	1053	1997	839,2
13	1053	1998	1167,5
13	1053	1999	1137,6
13	1053	2000	700,1
13	1053	2001	907,0
13	1053	2002	1013,0
13	1053	2003	956,9
13	1053	2004	647,8
13	1053	2005	1285,5
13	1053	2006	1460,8
13	1053	2007	1424,2
13	1053	2008	1422,1
13	1053	2009	1046,7
13	1053	2010	1519,6
13	1053	2011	1327,3
13	1053	2012	1159,6
13	1053	2013	
A	1053		966,5
13	1058	1962	
13	1058	1963	1048,8
13	1058	1964	1303,2
13	1058	1965	1295,1
13	1058	1966	939,0
13	1058	1967	796,5
13	1058	1968	473,5
13	1058	1969	443,6
13	1058	1970	
13	1058	1971	
13	1058	1972	1009,0
13	1058	1973	
13	1058	1974	893,3
13	1058	1975	482,8
13	1058	1976	491,1
13	1058	1977	849,1
13	1058	1978	1130,8
13	1058	1979	1797,2
13	1058	1980	948,0
13	1058	1981	1049,8
13	1058	1982	892,3

13	1058	1983	929,9
13	1058	1984	763,7
13	1058	1985	834,1
13	1058	1986	914,6
13	1058	1987	906,3
13	1058	1988	889,0
13	1058	1989	1017,0
13	1058	1990	1191,5
13	1058	1991	1144,4
13	1058	1992	637,2
13	1058	1993	1387,6
13	1058	1994	1336,0
13	1058	1995	1288,0
13	1058	1996	875,4
13	1058	1997	826,0
13	1058	1998	888,0
13	1058	1999	1385,5
13	1058	2000	891,0
13	1058	2001	1010,8
13	1058	2002	1290,7
13	1058	2003	1195,0
13	1058	2004	510,2
13	1058	2005	1562,0
13	1058	2006	1208,0
13	1058	2007	1724,5
13	1058	2008	915,0
13	1058	2009	654,4
13	1058	2010	1313,3
13	1058	2011	1059,4
13	1058	2012	854,4
13	1058	2013	
A	1058		1005,2
13	1118	1962	584,8
13	1118	1963	1457,4
13	1118	1964	1151,1
13	1118	1965	785,0
13	1118	1966	980,0
13	1118	1967	442,0
13	1118	1968	733,6
13	1118	1969	1008,4
13	1118	1970	944,0
13	1118	1971	689,2
13	1118	1972	907,9
13	1118	1973	1264,9
13	1118	1974	626,9
13	1118	1975	740,5
13	1118	1976	550,4
13	1118	1977	461,2
13	1118	1978	647,1
13	1118	1979	1741,5
13	1118	1980	646,6
13	1118	1981	1208,8
13	1118	1982	1092,6
13	1118	1983	1138,3
13	1118	1984	941,0
13	1118	1985	832,8
13	1118	1986	1194,1
13	1118	1987	1343,6
13	1118	1988	928,6
13	1118	1989	1101,8
13	1118	1990	1020,1
13	1118	1991	1296,2
13	1118	1992	844,5
13	1118	1993	1470,6
13	1118	1994	1081,6
13	1118	1995	1240,7
13	1118	1996	470,6
13	1118	1997	1016,6
13	1118	1998	1222,2
13	1118	1999	1213,6
13	1118	2000	830,8
13	1118	2001	1176,3
13	1118	2002	1079,9

PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA PROVINCIA
SANTIAGO DE CUBA

13	1118	2003	1090,7
13	1118	2004	741,0
13	1118	2005	1686,0
13	1118	2006	1515,6
13	1118	2007	2017,8
13	1118	2008	1317,2
13	1118	2009	1058,7
13	1118	2010	1681,5
13	1118	2011	1372,9
13	1118	2012	1179,7
13	1118	2013	
A	1118		1054,3
13	1323	1964	
13	1323	1965	1153,0
13	1323	1966	1241,2
13	1323	1967	866,9
13	1323	1968	890,8
13	1323	1969	1615,9
13	1323	1970	1202,0
13	1323	1971	1289,5
13	1323	1972	1520,2
13	1323	1973	1630,3
13	1323	1974	1143,0
13	1323	1975	667,1
13	1323	1976	1150,9
13	1323	1977	1570,4
13	1323	1978	1596,1
13	1323	1979	1913,6
13	1323	1980	1340,1
13	1323	1981	1172,8
13	1323	1982	1022,2
13	1323	1983	1349,7
13	1323	1984	1364,6
13	1323	1985	1212,4
13	1323	1986	1220,4
13	1323	1987	1457,5
13	1323	1988	1514,7
13	1323	1989	1190,8
13	1323	1990	1327,4
13	1323	1991	1291,1
13	1323	1992	1404,3
13	1323	1993	1607,6
13	1323	1994	1769,1
13	1323	1995	1268,3
13	1323	1996	1310,5
13	1323	1997	1383,1
13	1323	1998	1763,4
13	1323	1999	1300,8
13	1323	2000	1061,6
13	1323	2001	1342,0
13	1323	2002	1344,0
13	1323	2003	1179,8
13	1323	2004	1155,6
13	1323	2005	1398,8
13	1323	2006	1745,2
13	1323	2007	2112,0
13	1323	2008	1685,8
13	1323	2009	1010,5
13	1323	2010	1824,6
13	1323	2011	1320,5
13	1323	2012	1751,4
13	1323	2013	
A	1323		1367,8
13	1325	1964	
13	1325	1965	1090,8
13	1325	1966	1445,7
13	1325	1967	796,9
13	1325	1968	990,8
13	1325	1969	1041,1
13	1325	1970	938,1
13	1325	1971	795,3
13	1325	1972	1345,1
13	1325	1973	1540,9

13	1325	1974	781,2
13	1325	1975	671,1
13	1325	1976	873,0
13	1325	1977	1355,7
13	1325	1978	1523,6
13	1325	1979	2234,6
13	1325	1980	1226,7
13	1325	1981	894,9
13	1325	1982	969,1
13	1325	1983	1165,5
13	1325	1984	873,5
13	1325	1985	274,5
13	1325	1986	1459,6
13	1325	1987	1051,4
13	1325	1988	1119,6
13	1325	1989	890,1
13	1325	1990	1253,4
13	1325	1991	838,4
13	1325	1992	882,3
13	1325	1993	1823,3
13	1325	1994	1753,0
13	1325	1995	
A	1325		1130,0
13	1327	1964	
13	1327	1965	1127,0
13	1327	1966	1405,5
13	1327	1967	626,9
13	1327	1968	794,3
13	1327	1969	956,3
13	1327	1970	875,4
13	1327	1971	755,9
13	1327	1972	1194,0
13	1327	1973	1092,0
13	1327	1974	759,6
13	1327	1975	435,6
13	1327	1976	
13	1327	1977	
13	1327	1978	
13	1327	1979	
13	1327	1980	
13	1327	1981	2230,0
13	1327	1982	811,4
13	1327	1983	
13	1327	1984	
13	1327	1985	
13	1327	1986	1256,0
13	1327	1987	
13	1327	1988	
13	1327	1989	
13	1327	1990	
13	1327	1991	
13	1327	1992	
13	1327	1993	1273,9
13	1327	1994	1499,1
13	1327	1995	956,5
13	1327	1996	797,0
13	1327	1997	825,5
13	1327	1998	1182,2
13	1327	1999	1358,2
13	1327	2000	686,5
13	1327	2001	653,3
13	1327	2002	905,5
13	1327	2003	1219,8
13	1327	2004	551,5
13	1327	2005	1503,2
13	1327	2006	1152,6
13	1327	2007	1597,7
13	1327	2008	1226,7
13	1327	2009	754,4
13	1327	2010	1638,7
13	1327	2011	1093,4
13	1327	2012	
13	1327	2013	

PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA PROVINCIA
SANTIAGO DE CUBA

A	1327		1066,5
13	1331	1963	
13	1331	1964	1267,3
13	1331	1965	958,1
13	1331	1966	1391,0
13	1331	1967	449,9
13	1331	1968	453,0
13	1331	1969	825,9
13	1331	1970	917,2
13	1331	1971	425,1
13	1331	1972	975,6
13	1331	1973	
13	1331	1974	824,2
13	1331	1975	438,9
13	1331	1976	420,1
13	1331	1977	1005,4
13	1331	1978	1292,7
13	1331	1979	1686,0
13	1331	1980	887,0
13	1331	1981	719,3
13	1331	1982	588,0
13	1331	1983	351,9
13	1331	1984	502,5
13	1331	1985	267,5
13	1331	1986	587,5
13	1331	1987	807,5
13	1331	1988	911,9
13	1331	1989	828,7
13	1331	1990	938,7
13	1331	1991	1224,6
13	1331	1992	773,7
13	1331	1993	1351,7
13	1331	1994	1046,7
13	1331	1995	1102,4
13	1331	1996	779,0
13	1331	1997	782,9
13	1331	1998	873,0
13	1331	1999	1021,9
13	1331	2000	674,1
13	1331	2001	870,4
13	1331	2002	934,3
13	1331	2003	886,0
13	1331	2004	583,6
13	1331	2005	1318,9
13	1331	2006	1173,5
13	1331	2007	1563,0
13	1331	2008	905,1
13	1331	2009	847,0
13	1331	2010	1219,3
13	1331	2011	940,0
13	1331	2012	956,0
13	1331	2013	
A	1331		886,4
13	1332	1964	
13	1332	1965	1148,3
13	1332	1966	1288,3
13	1332	1967	748,9
13	1332	1968	716,0
13	1332	1969	1171,3
13	1332	1970	940,7
13	1332	1971	742,5
13	1332	1972	1677,3
13	1332	1973	1475,8
13	1332	1974	892,7
13	1332	1975	723,6
13	1332	1976	950,4
13	1332	1977	1389,8
13	1332	1978	1341,7
13	1332	1979	1809,2
13	1332	1980	1019,1
13	1332	1981	1003,4
13	1332	1982	773,8
13	1332	1983	1050,4
13	1332	1984	833,5

13	1332	1985	873,3
13	1332	1986	1416,8
13	1332	1987	1215,7
13	1332	1988	1228,8
13	1332	1989	983,9
13	1332	1990	1270,2
13	1332	1991	913,9
13	1332	1992	1022,5
13	1332	1993	1702,7
13	1332	1994	1499,4
13	1332	1995	1369,9
13	1332	1996	1226,3
13	1332	1997	1005,0
13	1332	1998	1648,0
13	1332	1999	1531,4
13	1332	2000	710,5
13	1332	2001	929,6
13	1332	2002	1033,9
13	1332	2003	1179,7
13	1332	2004	764,0
13	1332	2005	1388,9
13	1332	2006	1320,8
13	1332	2007	1714,1
13	1332	2008	1205,4
13	1332	2009	1144,8
13	1332	2010	1634,6
13	1332	2011	1173,8
13	1332	2012	1386,5
13	1332	2013	
A	1332		1170,6
13	1334	1963	
13	1334	1964	1278,7
13	1334	1965	1153,8
13	1334	1966	1498,8
13	1334	1967	613,5
13	1334	1968	649,2
13	1334	1969	1395,1
13	1334	1970	1168,9
13	1334	1971	746,8
13	1334	1972	1437,5
13	1334	1973	1372,8
13	1334	1974	873,4
13	1334	1975	778,1
13	1334	1976	691,4
13	1334	1977	1507,9
13	1334	1978	1644,7
13	1334	1979	2377,0
13	1334	1980	972,6
13	1334	1981	1015,9
13	1334	1982	1005,2
13	1334	1983	1175,3
13	1334	1984	913,0
13	1334	1985	927,9
13	1334	1986	1476,6
13	1334	1987	1337,8
13	1334	1988	1478,2
13	1334	1989	1097,4
13	1334	1990	1337,0
13	1334	1991	1310,6
13	1334	1992	1095,7
13	1334	1993	1823,2
13	1334	1994	834,3
13	1334	1995	1085,6
13	1334	1996	1413,3
13	1334	1997	1201,4
13	1334	1998	1386,5
13	1334	1999	1503,8
13	1334	2000	1166,0
13	1334	2001	1338,0
13	1334	2002	1412,0
13	1334	2003	1233,4
13	1334	2004	825,5
13	1334	2005	1407,4

13	1334	2006	1402,8
13	1334	2007	2431,0
13	1334	2008	1185,4
13	1334	2009	579,0
13	1334	2010	951,6
13	1334	2011	1118,1
13	1334	2012	1213,7
13	1334	2013	
A	1334		1221,3
13	1486	1963	2271,5
13	1486	1964	1225,4
13	1486	1965	
13	1486	1966	1589,9
13	1486	1967	871,1
13	1486	1968	792,9
13	1486	1969	1164,3
13	1486	1970	1006,5
13	1486	1971	848,6
13	1486	1972	1656,9
13	1486	1973	1494,6
13	1486	1974	935,7
13	1486	1975	933,4
13	1486	1976	953,7
13	1486	1977	1171,7
13	1486	1978	1672,3
13	1486	1979	2150,2
13	1486	1980	1025,7
13	1486	1981	1367,6
13	1486	1982	1268,0
13	1486	1983	1127,9
13	1486	1984	1146,3
13	1486	1985	845,6
13	1486	1986	1185,0
13	1486	1987	1109,3
13	1486	1988	1241,1
13	1486	1989	1073,9
13	1486	1990	1386,1
13	1486	1991	1244,0
13	1486	1992	1004,3
13	1486	1993	1627,2
13	1486	1994	1545,3
13	1486	1995	1426,3
13	1486	1996	1024,2
13	1486	1997	1135,1

13	1486	1998	1422,3
13	1486	1999	1219,2
13	1486	2000	925,5
13	1486	2001	1411,3
13	1486	2002	1339,3
13	1486	2003	1181,6
13	1486	2004	646,5
13	1486	2005	1373,0
13	1486	2006	1395,7
13	1486	2007	1688,4
13	1486	2008	1092,2
13	1486	2009	1144,8
13	1486	2010	1570,5
13	1486	2011	1331,1
13	1486	2012	1190,9
13	1486	2013	
A	1486		1254,2
13	1675	1995	
13	1675	1996	
13	1675	1997	
13	1675	1998	1459,7
13	1675	1999	1791,3
13	1675	2000	
13	1675	2001	1485,0
13	1675	2002	1062,8
13	1675	2003	1667,0
13	1675	2004	2169,0
13	1675	2005	1161,0
13	1675	2006	2747,0
13	1675	2007	2920,4
13	1675	2008	1937,5
13	1675	2009	634,4
13	1675	2010	1703,0
13	1675	2011	1557,3
13	1675	2012	
13	1675	2013	
A	1675		1715

