

Susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la zona costera y cuencas hidrográficas de la Sierra Maestra

Susceptibility to landslides in the coastal zone and hydrographic basins of the Sierra Maestra

Leonor Villalón-Poulut^{1*}, Sandra Yanetsy Rosabal-Domínguez², Alberto de las Mercedes Beyris-Mazar¹, Elianne Calderón-Montoya¹

¹ Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad, Santiago de Cuba, Cuba.

² Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba, Cuba.

*Autor para correspondencia: leonorvillalon28@gmail.com

Resumen

Se realizó una evaluación de las áreas susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos en la zona costera y cuencas hidrográficas representativas del municipio de Guamá. Se empleó, a través de un Sistema de Información Geográfica, el método Mora-Vahrson, con modificaciones de la propuesta original de acuerdo con las características del área. Se obtuvo el mapa de susceptibilidad, categorizado en: Baja, Moderada, Alta y Muy Alta. Como resultado de la zonificación se obtuvo que la susceptibilidad alta es la de mayor representatividad (52 %); en ella se ubican localidades como El Macho, La Plata, Uvero, Montompolo y El Francés. El resultado constituye una actualización del peligro para el municipio de Guamá y crea las bases para el desarrollo de estrategias locales de gestión y mitigación de los impactos.

Palabras clave: riesgo geológico; sismicidad; vulnerabilidad costera.

Abstract

An evaluation of the areas susceptible to the occurrence of landslides in the coastal zone and representative hydrographic basins of the Guama municipality was carried out. The Mora-Vahrson method was used through a Geographic Information System, with modifications to the original proposal according to the characteristics of the area. The susceptibility map was obtained, categorized into four levels: Low, Moderate, High and Very High. As a result of the zoning, it was obtained that high susceptibility is the most representative (52 %); Towns such as El Macho, La Plata, Uvero, Montompolo and El Frances are located there. The result constitutes an update of the danger for the Guama municipality and creates the bases for the development of local strategies for management and mitigation of impacts.

Keywords: geological risk; seismicity; coastal vulnerability.

1. INTRODUCCIÓN

La zona costera del municipio de Guamá, provincia Santiago de Cuba, de acuerdo con las particularidades físico-geográficas y su evolución en el tiempo han conformado un paisaje muy complejo, con multiplicidad de fenómenos que le han aportado características muy propias. Dentro de estos fenómenos se encuentran los deslizamientos (Figura 1), los cuales tienen un amplio desarrollo, condicionados principalmente por la topografía y la geología, mientras que la sismicidad y la intensidad de las lluvias destacan como agentes desencadenantes.



Figura 1. Deslizamientos en el sector de estudio. a). Deslizamiento localidad El Macho; b). Desprendimiento localidad La Bruja.

En el contexto de los estudios de riesgos, la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de deslizamientos constituye una de las primeras fases en la evaluación del peligro. Para ello al nivel internacional existen diversos métodos de evaluación (Soeters y Van Westen 1996; Aleotti y Chowdhury 1999; Guzzetti *et al.* 1999; Barredo *et al.* 2002), siendo las características del área, la disponibilidad de datos o la escala de trabajo algunas de las variables que influyen en su elección.

En Cuba se han realizado varios estudios sobre la temática, destacándose en la provincia Santiago de Cuba los realizados por Reyes (2001), Del Puerto y Ulloa (2003), Villalón *et al.* (2012) y Galbán y Guardado (2016). Por su parte, en el sector de estudio estos se han dirigido fundamentalmente al estudio de los taludes de la carretera Guamá-Granma (Seisdedos *et al.* 2001; Aguller 2010) y a la evaluación del peligro inducido por actividad sísmica (Rosabal 2018).

Sin embargo, la mayoría de estas investigaciones no consideran la influencia de la actividad antrópica en el medio, las precipitaciones como agente catalizador importante, las características ingeniero-geológicas de las litologías presentes, así como la comprobación directa en el terreno de los resultados obtenidos. Por ello surge la necesidad de este estudio, enmarcado en el Proyecto 022 del Programa de Desarrollo de Investigaciones Sismológicas Aplicadas en la República de Cuba (DISA), "Gestión de Riesgos de Desastres para la adaptación y la reducción de la vulnerabilidad en la zona costera del municipio de Guamá, Santiago de Cuba".

El objetivo fue evaluar las áreas susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos de la zona costera y cuencas hidrográficas representativas del municipio de Guamá, posibilitando así la realización de los estudios de peligrosidad y la adopción de medidas de mitigación de los impactos.

1.1. Características del área de estudio

El municipio de Guamá se localiza al suroeste de la provincia Santiago de Cuba, en la vertiente sur del macizo montañoso de la Sierra Maestra. Limita al norte con la provincia Granma y los municipios de Tercer Frente y Palma Soriano, al este con el municipio de Santiago de Cuba, al oeste con el municipio de Pilón; provincia de Granma y al sur con el Mar Caribe.

La línea de costa del municipio es de aproximadamente 179 km de largo desde el río Macío hasta la playa Rancho Cruz. Para los intereses de esta investigación se enmarca hasta la cota de 120 m sobre el nivel del mar, extendiéndose hasta el parteaguas de la Sierra Maestra, con dos áreas demostrativas; las áreas incluyen las cuencas Sevilla y Guamá, considerando las cuencas intermedias (La Calabaza, Marañón y Tabacal) (Figura 2).

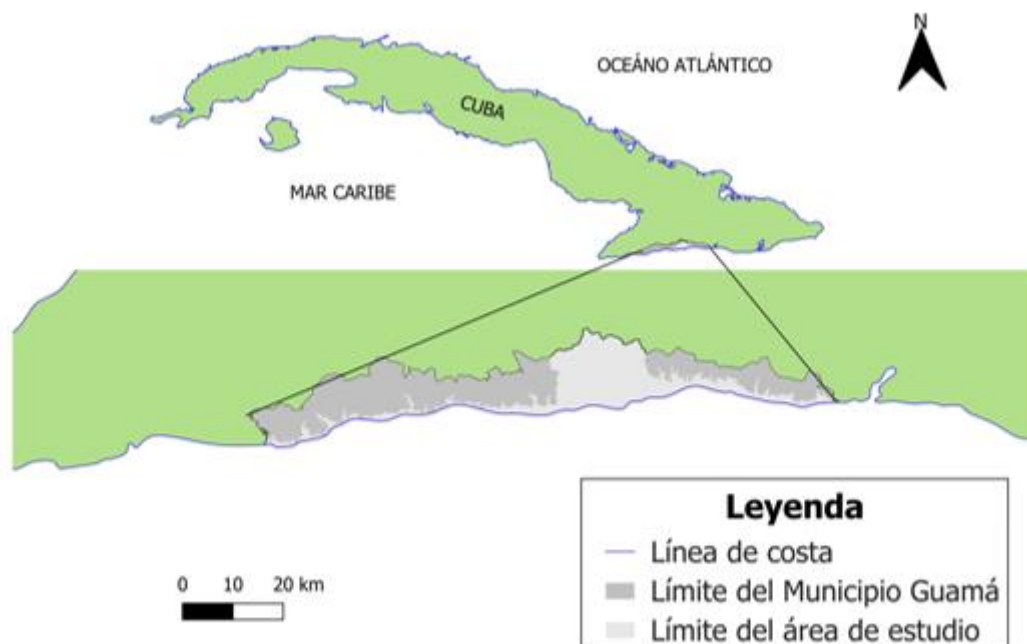


Figura 2. Ubicación geográfica del sector de estudio.

El área de estudio se encuentra enmarcada dentro de la región sismogénica más activa de Cuba y el Caribe noroccidental (zona Bartlett-Caimán). En ella se definen procesos de fallas activas de edad muy reciente que mantienen fenómenos de apertura y formación de grietas, reflejado en la sismicidad y en la presencia de movimientos verticales y horizontales que se combinan (Chuy-Rodríguez, Despaigne-Longchamp y González-Simón 2011).

Geológicamente se caracteriza por secuencias de rocas pertenecientes al grupo El Cobre y las formaciones Jaimanitas, Manacal, Palma Mocha y La Cruz; indistintamente afectadas por procesos de intemperismo. En la parte inferior, próximo a la costa, se localizan materiales no consolidados del Cuaternario en valles aluviales, formaciones carbonatadas aisladas de diferentes tamaños y zonas de calizas arrecifales (BIOECO 2022).

El relieve en general está caracterizado por el desarrollo de valles profundos que se ensanchan hacia sur a medida que disminuye la altura. Se encuentra fuertemente influenciado por procesos tectónicos de ascenso, movimientos geotectónicos recientes y predominio de pendientes de elevado valor con estructuras falladas, lo que le atribuye un carácter muy complejo (BIOECO 2022).

La red hidrográfica es cuantiosa por el gran número de cursos superficiales que posee, con ríos cortos y encajados profundamente, que favorecen la acción intensa y sostenida del drenaje. Estos poseen escaso caudal superficial en sus zonas bajas, debido a la acumulación de materiales clásticos y escurrimiento significativo en zonas medias y altas (BIOECO 2022).

Desde el punto de vista climático se presentan características muy peculiares. La distribución espacial de la lluvia responde en gran medida a la configuración de la zona, la disposición del relieve, vientos predominantes y distancia de la costa al interior. El análisis espacial de las precipitaciones media anual, muestra que los valores más elevados (1 800 mm - 2 400 mm) se localizan en la cuenca alta y media; degradándose hacia la costa (BIOECO 2022).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación parte de la caracterización físico-geográfica del área, a través de la cual se identificaron y caracterizaron los factores que originan y condicionan la ocurrencia de deslizamientos. Posteriormente se realizaron recorridos de campos que permitieron corroborar dichos factores y la obtención de registros de deslizamientos. Como herramienta cartográfica se utiliza el Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS, mediante el cual se procesan los factores identificados, a través de mapas temáticos (pendiente, geomorfología, geología, precipitación media anual y sismicidad).

Se empleó el método Mora y Vahrson (1992), el cual permite realizar un análisis *a priori* de susceptibilidad a deslizamientos, utilizando indicadores morfodinámicos. Este método permite dividir al área en sectores con condiciones similares a la ocurrencia de deslizamientos, lo que constituye una herramienta útil en la toma de decisiones en procesos de planificación, uso del suelo y planes de gestión de riesgo.

Es un método ampliamente utilizado dada su efectividad, simplicidad y facilidad de implementar en un SIG (Barrantes, Barrantes y Nuñez 2011). Se debe tener en cuenta que las áreas de susceptibilidad constituyen solamente zonas de referencias, por lo que no sustituyen la realización de estudios geotécnicos de detalles o los trabajos de campo. Según este método (Ecuación 1) el grado de susceptibilidad (H) es producto de factores pasivos: Litología (S_l), Humedad del Suelo (S_h), Pendiente (S_p) y de la acción de los elementos de disparo: Lluvia (D_u) y Sismos (D_s).

$$H = (S_l * S_h * S_p) * (D_u + D_s) \quad (1)$$

Sin embargo, se modificó el método (Ecuación 2) mediante la inclusión del factor de unidades geomorfológicas (S_g) dentro de los elementos pasivos, en sustitución del parámetro de humedad del terreno (Mora y Vahrson 1994), el cual se emplea como elemento de disparo (SGC 2012), así como la valoración de las características ingeniero-geológicas en el parámetro de susceptibilidad litológica (Rosabal, Zapata y Gómez 2009; Galbán y Guardado 2016; Rosabal 2018).



$$H = (S_p * S_l * S_g) * (D_u + D_s) \quad (2)$$

Estas modificaciones se basan en la caracterización físico-geográfica del área (BIOECO 2022) y los recorridos de campo, en los cuales se identificó a la geomorfología como uno de los elementos que más influyen en la ocurrencia del fenómeno. En segundo lugar, la geología, diferenciada por su composición litológica y características físico-mecánicas. Por su parte las precipitaciones y la sismicidad del área constituyen los principales agentes detonantes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra, de acuerdo con la metodología, la asignación de un valor de susceptibilidad cualitativo y cuantitativo, en función de cinco niveles, teniendo en cuenta su incidencia en el desarrollo de deslizamientos y las características del área.

Tabla 1. Clasificación de la susceptibilidad

Nivel de susceptibilidad	Valor asignado	Color orientativo
Muy Baja	1	
Baja	2	

Moderada	3	
Alta	4	
Muy Alta	5	

3.1. Caracterización de los factores

3.1.1. Susceptibilidad por el ángulo de las pendientes (S_p)

Para el análisis de este parámetro se elaboró el mapa de pendientes del área a partir del Modelo Digital del Terreno de la empresa GeoCuba, en formato ráster de 25 m empleando los rangos adoptados por la oficina de Ordenamiento Territorial y Urbanismo de Cuba. En la Tabla 2 se describen los procesos característicos esperados por rangos, las condiciones del terreno y el valor de susceptibilidad asignado en base a estas características (Figura 3A).

Tabla 2. Descripción y valoración del nivel de susceptibilidad por el ángulo de las pendientes

Rango de pendientes (°)	Características
0 - 4	Pendientes planas a poco inclinadas. Procesos de encharcamiento, erosión, inundación y empantanamiento. Susceptibilidad muy baja (1)
4 - 16	Pendientes inclinadas a moderadamente abruptas. Erosión severa. Susceptibilidad baja (2)
16 - 35	Pendientes abruptas. Erosión y procesos de denudación intensos. Peligro de deslizamiento. Susceptibilidad moderada (3)
35 - 55	Pendientes muy abruptas. Erosión intensa. Peligro de caída de rocas. Susceptibilidad alta (4)
> 55	Pendientes extremadamente abruptas. Erosión intensa. Peligro de caída de rocas. Susceptibilidad muy alta (5)

3.1.2. Susceptibilidad litológica (S_l)

Para la determinación de las litologías presentes (Tabla 3) se toma como base el mapa geológico de Cuba Oriental a escala 1:250 000. La descripción de las mismas se basa en la información del Léxico Estratigráfico de Cuba (IGP 2013) y la clasificación ingeniero-geológica de Lomtadze (1977) y Pérez (1976). En correspondencia con lo anterior no se asigna la categoría de muy baja susceptibilidad (Figura 3B).

Tabla 3. Descripción de las características ingeniero-geológicas y valoración del nivel de susceptibilidad de las rocas y formaciones geológicas presentes en el área de estudio

Rocas / Formaciones	Características
---------------------	-----------------

Formación Manacal	Rocas piroclásticas y sedimentarias con bajo grado de afectación. Susceptibilidad baja (2)
Monzonitas, Dioritas porfídicas, Dioritas y Cuarzodioritas	Rocas duras firmes, afectadas por procesos de intemperismo. Susceptibilidad moderada (3)
Formación Palma Mocha	Rocas terrígeno- clásicas y vulcanógenas; en menor cantidad aparecen calizas. Intercalaciones de argilitas. Estratificación fina. Alternancia o intercalaciones de rocas duras y débiles. Susceptibilidad moderada (3)
Formación La Cruz	Secuencia terrígeno-carbonática. Intercalaciones de arcillas esmectíticas. Alternancias de calizas biodetríticas. Resistencia al corte medio. Fracturas cizallables. Susceptibilidad moderada (3)
Depósitos del Cuaternario	Sedimentos no consolidados, afectados por procesos de erosión. Granulometría diversa. Estratificación. Susceptibilidad muy alta (4)
Grupo El Cobre	Rocas volcánico-sedimentarias. Rocas duras-semiduras, debilitada tectónicamente. Estratificación. Carso. Intenso agrietamiento. Yacencia de estratos paralelas o subparalelas a la orientación de los sistemas de grietas principales. Susceptibilidad muy alta (5)
Formación Jaimanitas	Calizas biodetríticas masivas muy fosilíferas. Estratificación fina. Intercalaciones de rocas duras y débiles, en ocasiones con margas. Procesos de carsificación. Susceptibilidad muy alta (5)

3.1.3. Suceptibilidad geomorfológica (S_g)

En este parámetro se toma como base el mapa de unidades morfogenéticas principales propuesto por BIOECO (2022); estas constituyen una división simplificada de los tipos relieve del área estudio. Se realizó considerando las características geográficas de la zona, los procesos geodinámicos que en ella inciden y los criterios morfogenéticos del Mapa Carsológico de Cuba a escala 1: 250 000.

En la Tabla 4 se resumen las características de las unidades y en base a estas se determinan los niveles susceptibilidad; por lo tanto, no se obtienen las categorías de muy baja, baja y moderada (Figura 3C).

Tabla 4. Descripción y valoración del nivel de susceptibilidad por unidades geomorfológicas

Unidades	Características
----------	-----------------

Llanos litorales	<p>Terrazas aluviales paralelas a los cauces fluviales. Costas altas y acantiladas de rocas carbonatadas e ígneas, intercaladas por planos aluviales y costa baja de material no consolidado.</p> <p>Procesos de erosión intensos. Alta densidad de infraestructuras. Fenómenos cárnicos. Suelos pobres y degradados. Incidencia de la actividad agropecuaria y forestal. Afectación por inundaciones en períodos de lluvias intensas y oleajes de tormentas. Susceptibilidad alta (4)</p>
Cerros litorales	<p>Montículos o cerros litorales y colinas prelitorales escalonadas con fuertes pendientes. Menor grado de conservación en sus partes más bajas, especialmente en zonas pobladas y próximas a las vías de comunicación. Predominio de rocas ígneas y existencia de parches carsificados. Modificación del paisaje por actividad antrópica. Fenómenos de erosión local.</p> <p>Susceptibilidad alta (4)</p>
Premontañas y Montañas medias	<p>Terrazas y crestas que abarcan zonas premontañosas. Pendientes fuertemente diseccionadas transformadas por procesos denudativos. Zonas de pastoreo, vegetación secundaria y áreas con bosque semidecídulo micrófilo y mesófilo con cierto grado de afectación. Presencia de morfoalineamientos. Susceptibilidad muy alta (5)</p>

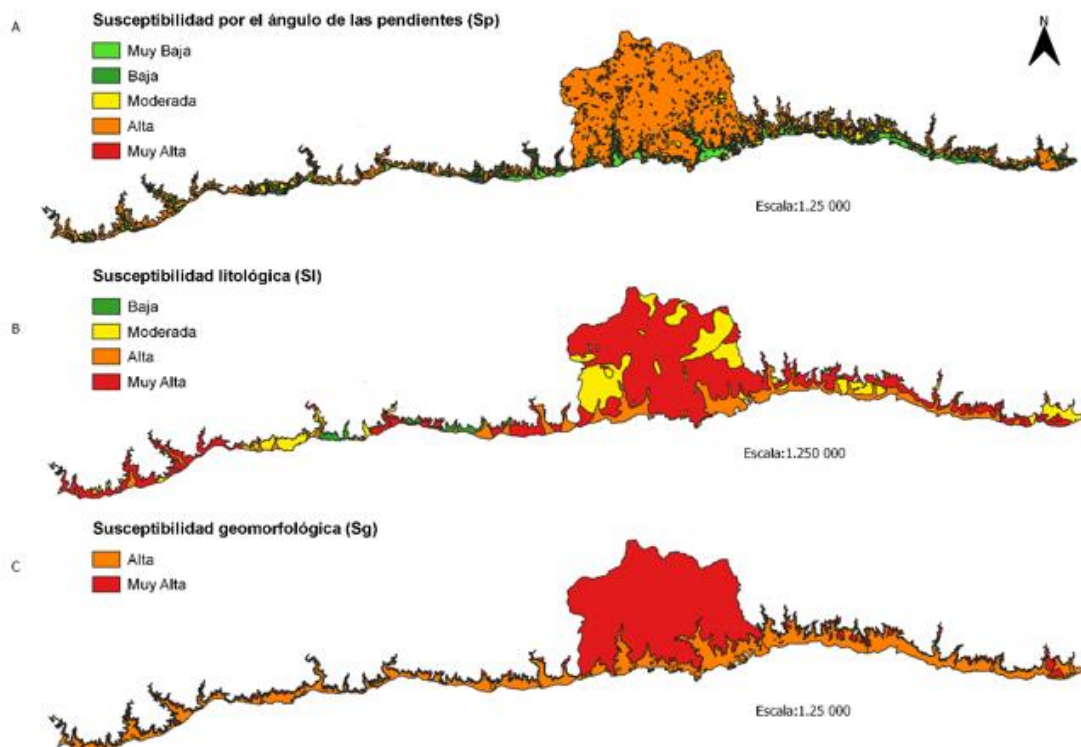


Figura 3. Factores condicionantes de inestabilidad en la zona costera y cuencas demostrativas del municipio de Guamá.

3.1.4. Factor de disparo por lluvia (D_{ll})

Las lluvias intensas son fundamentales en la detonación de deslizamientos; no obstante, la lluvia acumulada juega un papel fundamental (Aristizábal, Riaño y Jiménez-Ortiz 2022; Gómez, Aristizábal y García 2023). En esta investigación se trabaja con la precipitación media anual, la cual se considera como un indicativo de la humedad antecedente del suelo en el momento que se dan las lluvias máximas diarias (SGC 2012). El comportamiento de esta (Bermúdez y Beyris 2016) se describe en la Tabla 5. No se asigna la categoría de muy baja susceptibilidad (Figura 4 A).

Tabla 5. Valoración de la susceptibilidad por precipitacióneste

Rangos de precipitación media anual (mm)	Características
1000 - 1400	Susceptibilidad baja (2)
1400 - 1800	Susceptibilidad moderada (3)
1800 - 2200	Susceptibilidad alta (4)
2200 - 2400	Susceptibilidad muy alta (5)

3.1.5. Factor de disparo por sismicidad (D_s)

Dado que se ha observado que el potencial de generación de deslizamientos por actividad sísmica puede correlacionarse con la escala de intensidades Mercalli Modificada (Tabla 6) (Mora y Vahrson 1993), esta se valora como muy alta (4) (Figura 4 B) para toda el área. En la asignación de un valor de susceptibilidad se tiene en cuenta que respecto a los parámetros de peligrosidad sísmica para el sector Guamá, Chuy-Rodríguez y Álvarez (1995) indican valores de intensidad sísmica $I > 8$ MSK y aceleración horizontal efectiva de 350 cm/s^2 .

Tabla 6. Valoración del parámetro de intensidad sísmica de Mercalli modificado

Intensidad Mercalli (modificado)	Magnitud Richter (estimada)	Clasificación	Clasificación
III	3,5	Leve	0
IV	3,5	Muy bajo	0
V	3,5	Bajo	0
VI	4,5	Moderado	1
VII	4,5	Medio	1
VIII	6,0	Elevado	2
IX	6,0	Fuerte	2
X	7,0	Bastante fuerte	3

XI	8,0	Muy fuerte	4
XII	8,0	Extremadamente fuerte	4

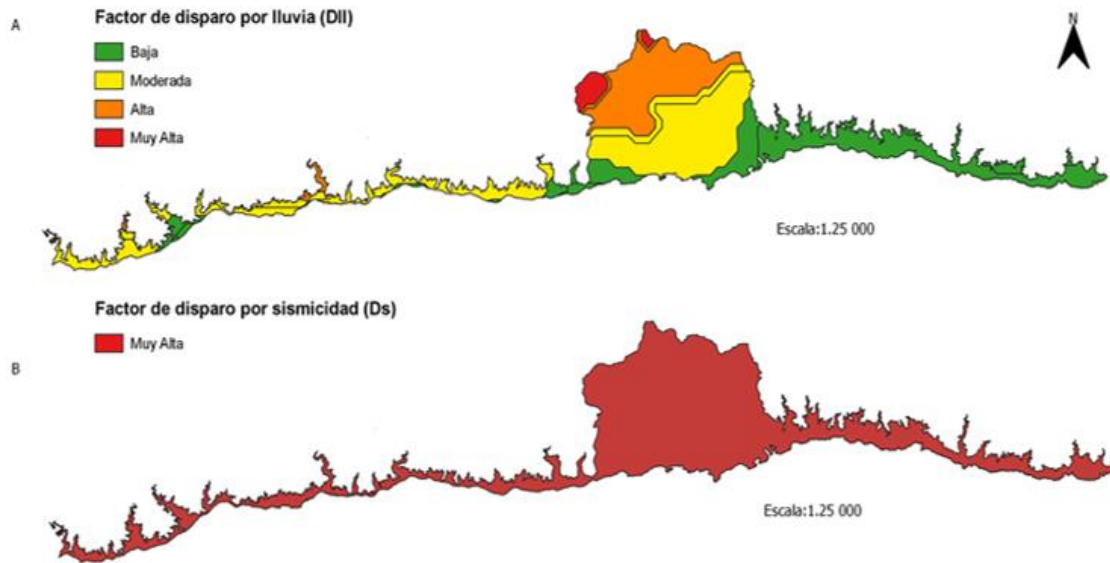


Figura 4. Factores desencadenantes de inestabilidad en la zona costera y cuencas demostrativas del municipio de Guamá.

3.1.6. Susceptibilidad a deslizamientos

Considerando que durante la combinación de los factores no se crean valores únicos (Mora, Vahrson y Mora 1992), se muestran las categorías de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamiento del sector de estudio:

Muy Baja: Zonas de muy baja probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, aunque pueden ocurrir pequeños deslizamientos en las laderas de los márgenes de los ríos, por acción fluvial y/o procesos de erosión. Pendientes planas o poco inclinadas. Litologías carentes de sistemas de fracturamiento e intemperismo.

Baja: Zonas de bajo grado de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamiento. Pueden ocurrir pequeños deslizamientos. Pendientes inclinadas. Rocas semiduras estables sin o muy poco afectadas por procesos de meteorización.

Moderada: Zonas de peligrosidad moderada. Pendientes inclinadas a moderadamente abruptas. Procesos de erosión y denudación intensos. Presencia de carso. Rocas duras- semiduras alternadas. Afectación por procesos antrópicos.

Alta: Zonas de alta susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos. Alta influencia de procesos antrópicos. Pendientes abruptas a muy abruptas. Erosión intensa. Rocas debilitadas tectónicamente. Alternancia de rocas de

diferente dureza. Planos de estratificación con dirección al talud. Unidades de Cerros y Llanos litorales.

Muy alta: Zonas de muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos. Rocas meteorizadas y debilitadas tectónicamente. Presencia de carso. Alternancia de rocas de diferente dureza. Alta influencia de procesos antrópicos. Pendientes muy abruptas a extremadamente abruptas. Unidades de premontaña.

Una vez determinadas clases de susceptibilidad para cada factor y su reclasificación en mapas temáticos (Figura 3 y 4) a través de las técnicas de elaboración cartográfica que brinda el SIG se aplica la ecuación 2 y se obtiene el mapa de susceptibilidad de la zona costera y cuencas demostrativas del municipio de Guamá (Figura 5). Para la validación del modelo final se utilizan registros de deslizamientos, aclarando que los mismos se circunscriben al sector costero.

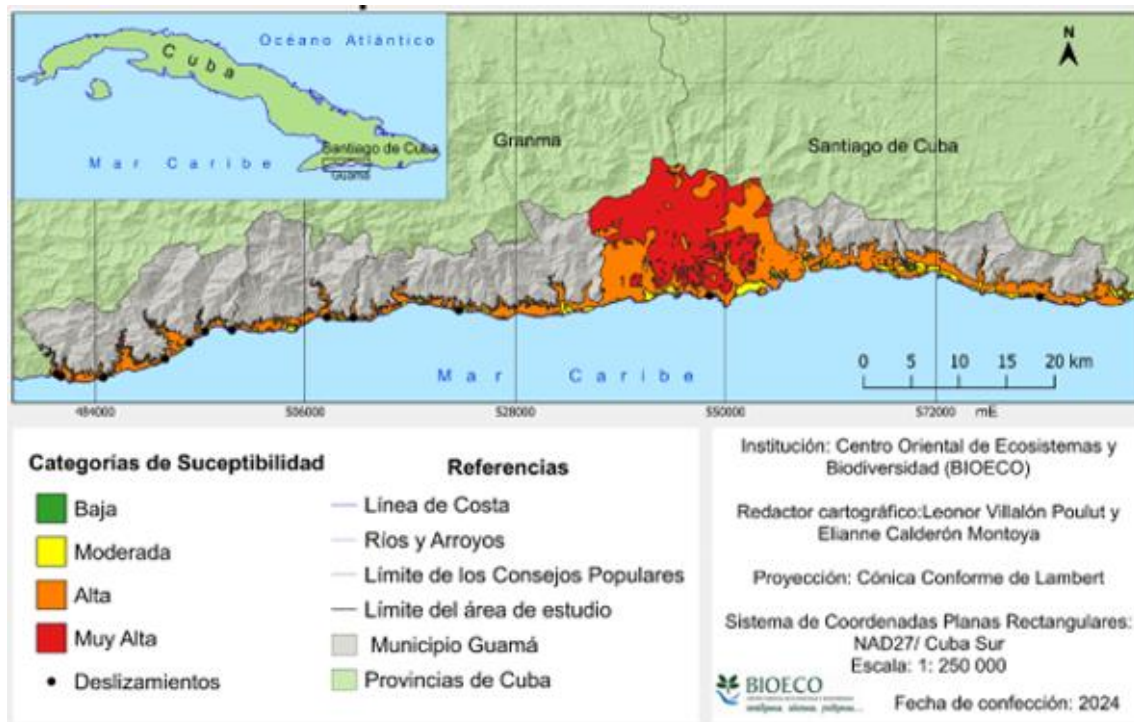


Figura 5. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la zona costera y cuencas demostrativas del municipio de Guamá.

El resultado de la zonificación evidenció que las áreas de muy baja susceptibilidad resultaron ser insignificantes con respecto al área total. Las áreas correspondientes a susceptibilidad baja son las de menor distribución ocupando el 2 % del área total. Se presentan de manera localizada en el sector este, en llanos litorales entre los consejos Chivirico y Calentón Blanco donde aflora la formación La Cruz. Se relacionan con precipitaciones entre los 1 200-1 400 mm y pendientes inclinadas a moderadamente abruptas. Mientras que la susceptibilidad moderada con condiciones similares se halla

en forma de parches en toda la costa, con mayor representación el sector este, englobando el 7 % del área total. En esta se obtuvieron dos registros de deslizamientos. Se localiza en sedimentos del Cuaternario y rocas de diferente dureza afectadas por procesos de intemperismo.

La categoría alta es la de mayor representación con el 52 % del área total. Se distribuye a lo largo y ancho del área e incluye partes altas de las cuencas. En ella se localiza el grueso de los registros de campos. Se presentan principalmente en depósitos del Cuaternario y rocas del grupo El Cobre, con pendientes muy abruptas. Dentro de los procesos antrópicos con mayor incidencia se encuentra la construcción de la carretera Granma-Santiago la cual generó una refracturación de las rocas y la acentuación de fuertes pendientes. Los valores de precipitación se ubican entre los 1 000 y 1 200 mm.

Las zonas de muy alta susceptibilidad, segunda en distribución, ocupan el 39 % del área total. Se corresponde principalmente con las cuencas hidrográficas y zonas de premontañas y montañas medias, con pendientes muy abruptas de los consejos populares Uvero, Ocujal del Turquino y la Plata. Se concentran en rocas del grupo El Cobre y en ella inciden notablemente de manera negativa la actividad agropecuaria. Se caracterizan por la presencia de pendientes muy abruptas a extremadamente abruptas y valores de precipitación en el rango de los 1 600 mm - 1 800 mm.

4. CONCLUSIONES

- Se obtienen las zonas que pueden ser afectadas por deslizamientos clasificadas en cuatro categorías de susceptibilidad (baja, moderada, alta y muy alta), según las condiciones intrínsecas del terreno. Las áreas de susceptibilidad alta son la de mayor distribución, con el 52 % del área total, vinculadas principalmente a sedimentos del Cuaternario, rocas del grupo El Cobre y pendientes mayores a 16°.
- La valoración espacial de los deslizamientos confirma la importancia de la modelación realizada, ya que de los 12 deslizamientos inventariados dos (2) se ubican en susceptibilidad moderada y 10 en alta. Se distribuyen en los consejos populares Uvero, La Plata, Ocujal del Turquino, Chivirico y Caletón Blanco; varios de ellos en sectores catalogados como peligrosos o extremadamente peligrosos de la carretera Granma-Santiago.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por su contribución en la realización de este trabajo al proyecto *"Gestión de Riesgos de Desastres para la adaptación y la reducción de la vulnerabilidad en la zona costera del municipio de Guamá,*

Santiago de Cuba”, perteneciente al programa: Desarrollo de Investigaciones Sismológicas Aplicadas en la República de Cuba (DISA).

6. REFERENCIAS

Aguller, M. C. 2010: *Evaluación del peligro por desprendimientos de rocas en taludes y laderas del tramo de la carretera Plata–Punta Babujal, municipio Guamá, Santiago de Cuba*. Tesis de maestría. Universidad de Moa.

Aleotti, P. and Chowdhury, R. 1999: Landslide hazard assessment, summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58: 21-44.

Aristizábal, E.; Riaño, F. y Jiménez-Ortiz, J. 2022: Umbrales de lluvia como detonante de movimientos en masa en el piedemonte de la cordillera Central en los Andes colombianos. *Boletín de Geología*, 44(2): 183-197.

Barredo, J.; Benavidez, A.; Hervhl, J. and Van-Westen, C. J. 2002: Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International J. Appl. Earth Observ. N Geoinform*, 2(1): 9-23.

Barrantes, G.; Barrantes, O. y Nuñez, O. 2011: Efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Chinchona, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 42(2): 141-162.

Bermúdez, G. y Beyris, A. M. 2016: Mapa del factor de disparo para el 2 % de probabilidad de ocurrencia de la provincia Santiago de Cuba. Inédito.

BIOECO. Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad. 2022: Caracterización físico-geográfica y socioeconómica de la zona costera y cuencas hidrográficas representativas del municipio Guamá. Informe anual del Proyecto Gestión de Riesgos de Desastres para la adaptación y la reducción de la vulnerabilidad en la zona costera del municipio Guamá, Santiago de Cuba, Cuba.

Chuy-Rodríguez, T. J. y Álvarez, J. L. 1995: Peligrosidad sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS y del X Fórum Nacional de Ciencia y Técnica. Santiago de Cuba.

Chuy-Rodríguez, T. J.; Despaigne-Longchamp, G. y González-Simón, L. 2011: Peligrosidad sísmica de la región de Santiago de Cuba. *Minería y Geología*, 18(2): 25-30. Consultado: 12/10/2023. Disponible en: <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/202>

- Del Puerto, J. y Ulloa, D. 2003: Identificación de los peligros geológico-geomorfológicos de la cuenca de Santiago de Cuba. Memorias del V Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. GEOMIN2003.
- Galbán, L. y Guardado, R. 2016: Modelación del peligro a deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba considerando el peso de las variables determinantes. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 18(1): 89-99.
- Gómez, D.; Aristizábal, E. y García, E. 2023: Influencia de la lluvia antecedente en los deslizamientos en los Andes Colombianos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 80(2): 179-194.
- Guzzetti, F.; Carrara, A.; Cardinali, M. and Reichenbach, P. 1999: Landslide hazard evaluation, a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4): 181-216.
- IGP. 2013: *Léxico Estratigráfico de Cuba*. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. Ministerio de Energía y Minas.
- Lomtadze, V. D. 1977: *Geología aplicada a la ingeniería*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Mora, S.; Vahrson, W. y Mora, S. 1992: *Mapa de amenaza de deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC).
- Mora, S. y Vahrson, W. 1993: Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. *Tecnología ICE*, 3(1): 32-42.
- Mora, S. and Vahrson, W. 1994: Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bull. Of the Assoc. Eng. Geology*, XXXI(1): 49-58.
- Pérez, N. 1976: *Aspectos ingeniero-geológicos del levantamiento geológico de Cuba Oriental*. La Habana: Editorial Científico-Técnica. Instituto De Geología y Paleontología, Academia de Ciencias..
- Reyes, C. 2001: *Susceptibilidad de deslizamiento en Santiago de Cuba y sus alrededores, escala 1, 25 000*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico (Universidad de Moa). Moa, Holguín, Cuba.
- Rosabal, S. Y.; Zapata, J. A. y Gómez, J. 2009: Incidencia de la geomorfología en los deslizamientos de la carretera de Beltrán, Guantánamo, Cuba. *Revista Geos*, 29(2). ISSN: 0186-1891.
- Rosabal, S. Y. 2018: *Evaluación de peligros de deslizamientos y licuefacción de suelos inducidos por la actividad sísmica en Cuba suroriental*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.

- Seisdedos, J.; Reyes, C.; Guasch, F.; Avich, B.; Chuy, T.; Zapata, J.; Despaigne, G.; Rivera, Z.; Diez, E. y Puente, G. 2001: *Atlas de peligros naturales del municipio de Guamá*. Santiago de Cuba. p. 84
- Soeters, R. and Van-Westen, C. J. 1996: Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslides, investigation and mitigation*, 247: 129-177.
- SGC. Servicio Geológico Colombiano. 2012: *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1, 100 000*. Bogotá DC, Colombia.
- Villalón, M.; Reyes, C.; Aguller, C.; Trejo, R.; Nápoles, S.; Despaigne, G.; Salmon, Y.; Hernández, C.; Rosabal, E.; Domínguez, A.; Núñez, D.; Negret, N.; Ginarte, C.; Fernández, S. y Suarez, O. 2012: *Informe sobre los estudios de PVR deslizamientos provincia Santiago de Cuba. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS)*. Santiago de Cuba.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual

ORCIDs

LVP: <https://orcid.org/0000-0003-2855-5545>

SYRD: <https://orcid.org/0000-0003-1233-1101>

AMBM: <https://orcid.org/0000-0003-1753-8299>

ECM: <https://orcid.org/0000-0002-9116-7759>

Recibido: 02/12/23

Aceptado: 26/12/23