

Modelación del peligro a deslizamientos en el Municipio Santiago de Cuba considerando el peso de las variables determinantes

Liber GALBÁN RODRÍGUEZ¹ & Rafael GUARDADO LACABA²

¹Facultad de Construcciones, Departamento de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. liberg@uo.edu.cu. ²Facultad de Geología y Minas, Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba. rguardado@ismm.edu.cu

Resumen: 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 (relieve, geología y su tectónica, condiciones geotécnicas) y factores desencadenantes o disparadores (lluvias intensas, sismicidad, procesos erosivos, acción antrópica) que están presentes en el territorio. Por esto 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. En este trabajo se pretende introducir una nueva metodología para la modelación regional de los deslizamientos de tierra en Santiago de Cuba, basada en los niveles de importancia de las variables que influyen en la manifestación del fenómeno y se propone su formulación matemática para su determinación con el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Palabras clave: Santiago de Cuba, deslizamientos, peligro, metodología, variables.

Abstract: Modeling the landslide hazard in the municipality of Santiago de Cuba considering the weight of determining variables. In Santiago de Cuba province, particularly in the municipality of Santiago de Cuba, mountain areas are susceptible to the occurrence of the hazards and risks associated with landslides, this is due to geological engineer existing conditions (the relief, geology and tectonics, geotechnical conditions) and the presence of shooting factors in the territory (intense rainfall, seismicity, erosion processes and human action). Therefore the municipality of Santiago de Cuba is considered, one of the areas with greatest potential for expression of landslide phenomena in Cuba. This paper is intended to introduce a new methodology for regional modeling of landslides in Santiago de Cuba, based on levels of importance of the variables that influence the manifestation of the phenomenon, and its mathematical formulation is proposed for its determination with the use of Geographic Information System (GIS).

Key words: Santiago de Cuba, landslide, hazard, methodology, variables.

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; sin embargo, muy pocas personas están conscientes de su importancia. La mayoría de las pérdidas por deslizamientos son evitables, si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Según Galbán (2012), un deslizamiento de tierra es una masa de rocas de baja consolidación o compactación que se ha movido o mueve cuesta abajo por la vertiente o talud (vertiente artificial) bajo el efecto de la gravedad, presión hidrodinámica

(por efecto de sobresaturación), fuerzas sísmicas de diversos orígenes, etc. Estas fuerzas también pueden actuar en los deslizamientos de forma combinada.

Los deslizamientos tienen la propiedad modificar las laderas y los taludes, cambian sus configuraciones y crean un relieve característico, generando morfologías típicas y estructuras internas que resultan de la trituración, flujo, etc., de masa deslizada; por consiguiente cambian el relieve del terreno, la estructura interna del depósito comparado con la roca o suelo previos al deslizamiento, 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,



Fig. 1. Ubicación geográfica del municipio Santiago de Cuba.

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 evitar o reducir los daños causados por los deslizamientos en un territorio es necesario, en primer lugar, la evaluación de la peligrosidad, de manera tal que se pueda incorporar a la planificación y ocupación de territorio. En el municipio Santiago de Cuba, las zonas montañosas son susceptibles a la ocurrencia de los peligros y riesgos asociados a deslizamientos en sus taludes y laderas, lo que se debe a las condiciones ingeniero-geológicas y climáticas existentes en este territorio.

La revisión bibliográfica efectuada evidenció que los estudios regionales de deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba presentan algunas deficiencias relacionadas a la consideración de variables o indicadores tales como la susceptibilidad litológica y los niveles freáticos, entre otros; además de que las metodologías empleadas para su determinación no consideran 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 que incluye nuevos indicadores. Finalmente se obtuvieron mapas y modelos que tuvieron como resultado un nuevo mapa de peligro ante deslizamiento. Finalmente se obtuvieron mapas y modelos que tuvieron como resultado un nuevo mapa de peligro a deslizamiento para el municipio Santiago de Cuba.

JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES

En Cuba, no existe un registro de los efectos causados por deslizamientos del terreno

como desastre natural, aunque según Castellanos (2008) existen 45.000 personas como población vulnerable por deslizamientos. Actualmente se están realizando a nivel nacional 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), con algunos resultados parciales.

En el caso del municipio Santiago de Cuba, en función de continuar los trabajos para caracterizar los deslizamientos se partió del análisis de las condiciones geográficas, geomorfológicas y geológicas, entre otras, que se exponen a continuación:

Condiciones geográficas, geomorfológicas y geológicas

El municipio Santiago de Cuba 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, 2013). En él se encuentra la ciudad de Santiago de Cuba, capital municipal y provincial, la segunda ciudad más importante del país. Situado al sur de la provincia de igual nombre, 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 (Fig. 1).

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 Santiago de Cuba 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 mesetas alargadas que hacia la cercanía de las costas forman varias terrazas escalonadas. En la bahía la costa es escarpada y se desarrollan elevaciones de aspecto terraciforme. La cuenca de Santiago de Cuba se enmarca como principal accidente hacia el centro sur del municipio, donde se encuentran varios niveles de terrazas y mesetas escalonadas que parten desde la bahía de



Fig. 2. Daños ocasionados en Santiago de Cuba por el terremoto de 1932. Fuente: Archivos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba (CENAIIS).

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).

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 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 clastos de vulcanitas; aunque también es posible encontrarlas metamorfozadas hacia el sureste principalmente (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 (sobre todo en los estratos superiores) las rocas tobáceas de baja compactación en potencias, que en algunos casos, sobrepasan los 30 metros de espesor, que igualmente favorecen la consecución de deslizamientos en zonas de pendiente elevada.

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, siendo sacudida por más de 1100 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, 2002). (Fig. 2).

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 (Fig. 3), es interceptado por numerosas estructuras tectónicas, varias de las cuales determinan los límites de bloques con diferente dinámica en las zonas sismogénicas de la región oriental del país. 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.

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 al pasar las ondas P, de compresión y expansión, en suelos saturados,

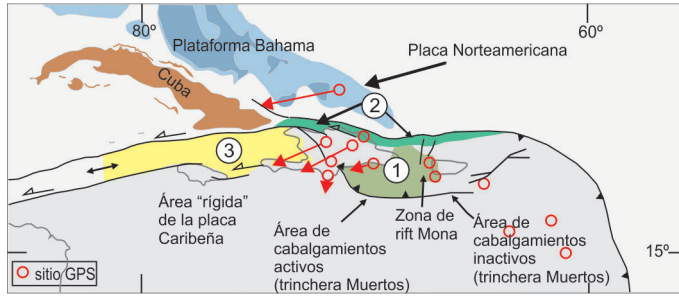


Fig. 3. Mapa del Caribe donde se destacan las placas y sus límites. 1- microplaca La Española 2- microplaca septentrional, 3- Microplaca de Gonave, . Modificado de: Mann *et al*, 2002.

la compresión genera exceso de presión de poros y licuefacción inmediata, produciéndose así los deslizamientos. 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.

Para el municipio Santiago de Cuba se han diferenciado los siguientes tipos de deslizamientos (Fig. 4):

Deslizamientos en forma de flujos: característicos en casi todo el municipio debido al relieve montañoso, la alta capacidad de evacuación y velocidad de traslación de líquidos de las cuencas hidrográficas, generando el riesgo de remoción de suelos por sobresaturación e incremento de la erosión fluvial y consecuentemente, la generación de varios deslizamientos.

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 la carretera Guamá – Granma o los producidos en el tramo Santiago- El Cristo de la autopista nacional.

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.

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.

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.

A partir de estas deducciones se hace necesario introducir una nueva formulación que resuelva las deficiencias encontradas a los estudios regionales precedentes de los deslizamientos en Santiago de Cuba.

Formulación para la modelación del peligro a deslizamientos

Con el uso de un SIG, 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 registrarán por la siguiente

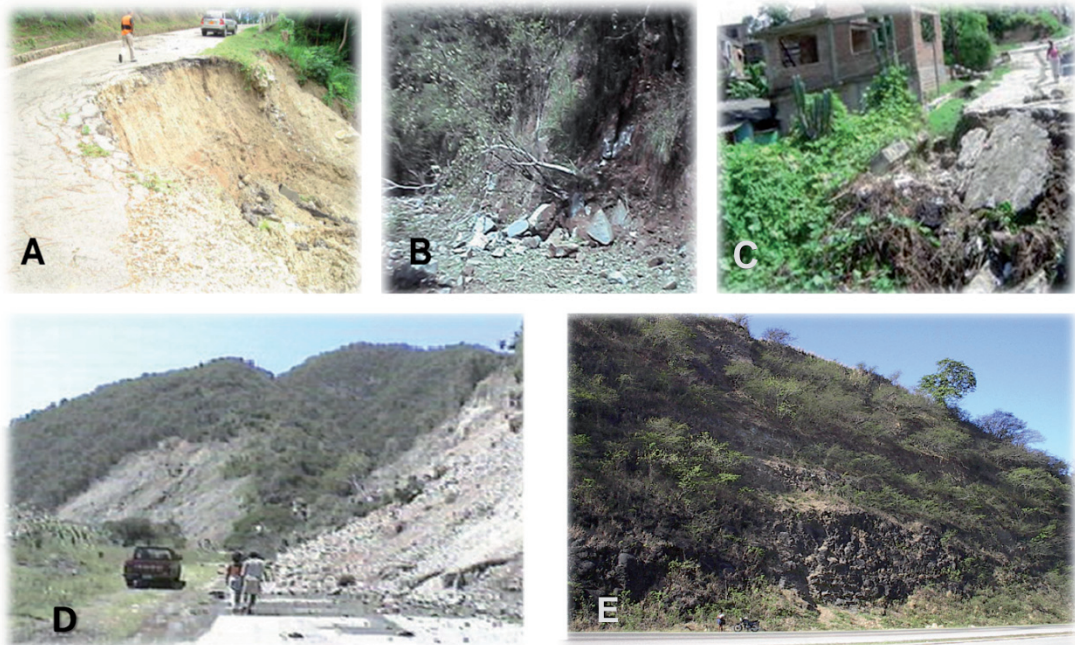


Fig. 4. A. Imágenes de deslizamientos en la carretera a la Gran Piedra, 2009 (Archivos CENAIS); B. Camino a la localidad de San José en Guamá, 1999 (Reyes *et al.*, 2000); C. localidad de Altamira en Santiago de Cuba, 2007 (Galbán, 2009); D. Carretera de El Cobre, 2003 (Chuy *et al.*, 2005); E. Autopista, 2002 (Chuy *et al.*, 2005).

Tabla 1. Reportes de deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba en el año 2012. Fuente: Villalón *et al.*, 2012.

Consejo popular	Localidad afectada dentro del consejo popular
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.

formulación matemática:

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

Donde:

P1 o Modelo de Deslizamientos por lluvias
=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)

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 *et al* (2012), de manera que tanto las variables involucradas, como los peligros o amenazas que de ellas resultan se clasifiquen en una escala de cero a uno (0 -1) siguiendo niveles de la siguiente manera: ver Tabla 2.

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.

En la formulación se introducen valores (que igualmente se corresponden con la escala de cero a uno antes mencionada) 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 y también se consideran en una escala donde los valores ponderados matemáticamente van de cero a uno. 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.

Elementos para la confección de los submodelos primarios

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:

Submodelo de vegetación. El nivel de desarrollo de la vegetación (expresado en el porcentaje

de cobertura vegetal promedio) 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 *et al* (2012) (Tabla 3).

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. 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 4.

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 5).

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 6.

Para esta metodología se tiene en cuenta la densidad del diaclasamiento y/o fallamiento se-

Tabla 2. Clasificación y valores para estandarización de PVR. (Galbán et al, 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)

Tabla 3. Consideraciones para la influencia de la vegetación y los niveles de peligro. Según Galbán et al (2012)

Variable	Grado de evaluación			
	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
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.

Tabla 4. Categorización de la influencia por profundidades de los niveles freáticos. Adaptado de: The Technical Committee for earthquake geotechnical engineering (1999).

Niveles Freáticos	
Profundidades (m)	Categorías
0 a 3	Muy alto
3 a 10	Alto
10 a 15	Moderado
Mayor de 15	Bajo

Tabla 5. Consideraciones para la influencia de la susceptibilidad cársica. Según Galbán et al (2012).

Tipo de carso	Índice de susceptibilidad cársica	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

Tabla 6. Consideraciones para la influencia de las fallas y los niveles de peligro. Según Galbán et al (2012).

Variable	Grado de evaluación			
	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
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

cundario del terreno en por ciento del área afectada, lo cual resulta conveniente de aplicar para evaluaciones regionales de los deslizamientos empleando los SIG, como es el caso; no tiene en cuenta el rumbo e inclinación de las mismas y su relación con los rumbos e inclinaciones de las pendientes, que tienen mayor correspondencia con evaluaciones locales de mayor detalle donde

previamente se hayan medido estos elementos.

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

Tabla 7. Consideraciones para la influencia de la pendiente y los niveles de peligro. Según Galbán *et al* (2012)

Variable	Grado de evaluación			
	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
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

Tabla 8. Valores considerados para el submodelo de precipitaciones, y los niveles de peligro según Galbán *et al* (2012)

Variable	Grado de evaluación			
	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
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

Tabla 9. Valores considerados para la aceleración sísmica según NC-46 (1999), y los niveles de peligro según Galbán *et al* (2012).

Variable	Grado de evaluación			
	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
aceleración sísmica (m/s ²)	Menor que 150	Entre 150 y 200	Entre 200 y 250	Mayor que 250

Tabla 10. Consideraciones para la influencia del uso del suelo y los niveles de peligro. Según Galbán *et al* (2012)

Variable	Grado de evaluación			
	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
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

los deslizamientos, entre ellos: la litología, estado de agrietamiento, humedad, etc. Para la consideración de este elemento se asume la proposición realizada por Galbán *et al* (2012) (Tabla 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 saturación o exceso de presión de poros en las rocas y consecuentemente el peso de la masa que se desliza (Tabla 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- 46 (1999) (Tabla 9).

Submodelo de susceptibilidad litológica.

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 litológica fue ofrecida por Galbán *et al.* (2012, tabla 5).

Tabla 11. Interpretación del mapa de peligro total por deslizamiento en el municipio Santiago de Cuba

GRADO	Interpretación
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 más 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 calcáreas en estratos vulcanógeno-sedimentarios y paisaje mesetiforme desarrollado sobre 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 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	La zona con el peligro más 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 cársicos. El área está 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 %.

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 *et al* (2012) (Tabla 10).

RESULTADOS

Siguiendo la metodología expuesta se obtuvieron los siguientes resultados:

Modelo de deslizamiento por lluvias

Para la determinación del modelo de deslizamiento por lluvias (P1), se consideró la realización de consultas al SIG a partir de los valores primarios de las variables, los cuales fueron obtenidos producto a la colaboración de diferentes instituciones del territorio santiaguero para con

la presente investigación; de manera que los resultados particulares de este modelo se expresan en la figura 5.

Modelo de deslizamientos por sismos

Para la determinación del modelo de peligro por deslizamientos (P2), de igual manera se consideró la realización de consultas al SIG, obteniéndose los resultados expresados en la figura 6.

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.

Una visión más amplia y acabada con la su-

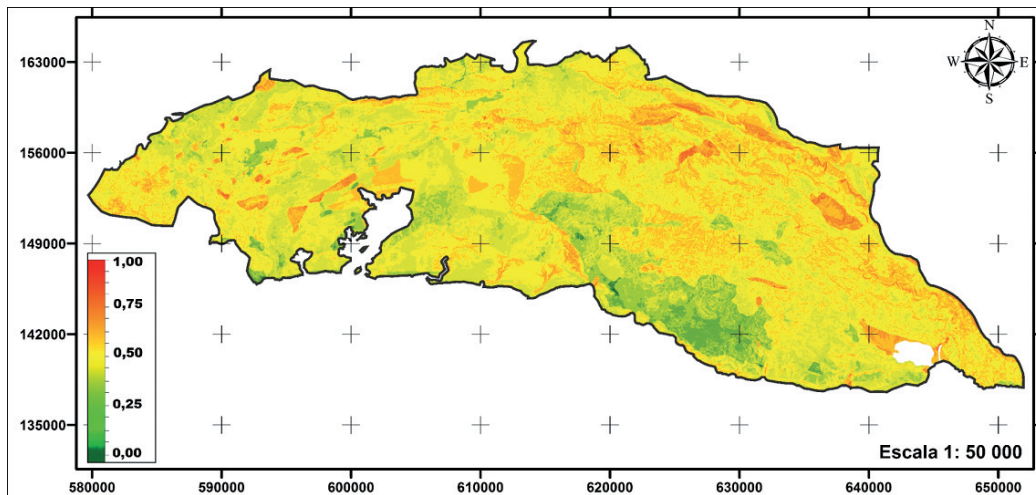


Fig. 5. Modelo de deslizamientos por lluvia en el municipio de Santiago de Cuba.

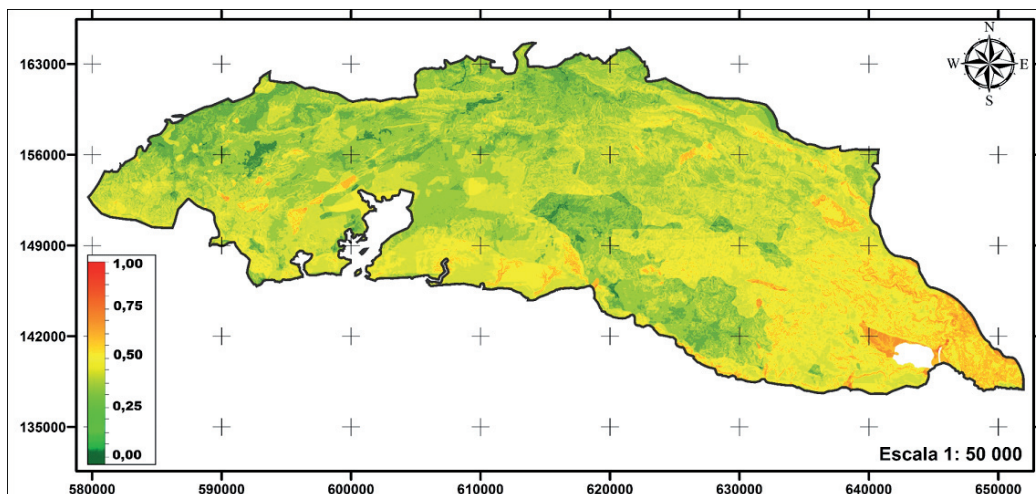


Fig. 6. Modelo de deslizamientos por sismos en el municipio de Santiago de Cuba.

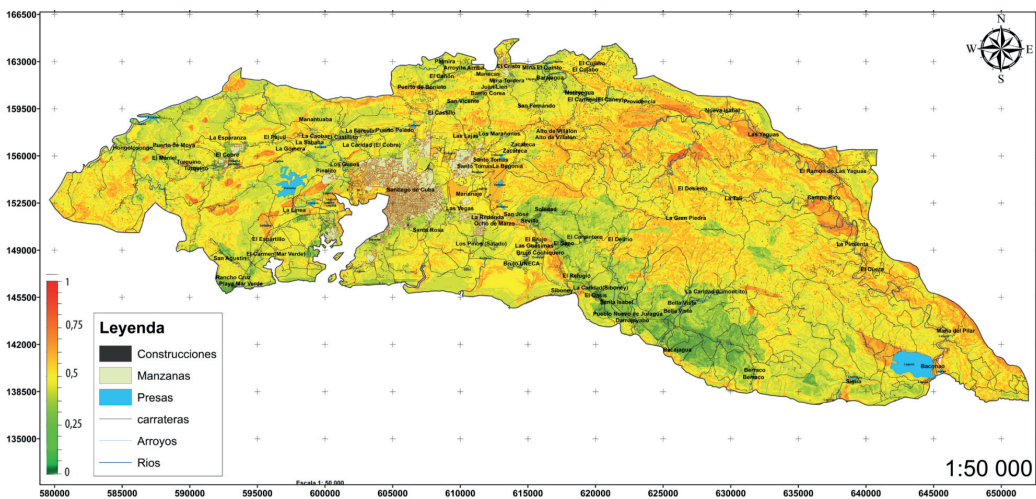


Fig. 7. Mapa de peligro por deslizamientos total en el municipio de Santiago de Cuba.

perposición 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 7; detallando además en la tabla 11, las zonas del municipio que se corresponden con los niveles de peligro a deslizamiento previstos y determinados (bajo, moderado, alto y muy alto).

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada para esta investigación, se pudo confirmar la coincidencia de los resultados obtenidos con los reportes de deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba realizados por distintos especialistas, entre ellos los reportados por Villalón *et al* (2012) expuestos con anterioridad; los cuales pueden ser comparados con las áreas detalladas en la tabla 11 para los valores de peligro alto y muy alto.

CONCLUSIONES

Los deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba constituyen uno de los peligros geológicos de mayor incidencia. Su estudio necesitó de una evaluación actualizada a partir de la consideración de nuevas variables que inciden en su manifestación en el territorio.

En la metodología propuesta 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 litológica, la susceptibilidad cársica, etc. 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.

A partir de la evaluación del mapa de peligro total por deslizamiento obtenido se considera que el municipio Santiago de Cuba posee un grado de peligro moderado.

BIBLIOGRAFÍA

- Carrillo, D., B. Echavarría, E. Castellanos, J. Triff, & K. Nuñez. 2009. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Archivos del Instituto de Geología y Paleontología (IGP), MINBAS.
- Castellanos Abella E.A. 2008. Riesgo por deslizamientos de terreno en Cuba. Estado actual y perspectivas. *Revista Defensa Civil de Cuba*: 20-23.
- Chuy, T.J. 1999. *Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica*. Tesis doctoral. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba. 178 p.
- Chuy, T. J. 2002. Precisión por zonas de la peligrosidad sísmica de Cuba con fines de su desarrollo económico sostenible. En: *Nuevas Investigaciones Sismológicas en Cuba*. Ed. Academia, La Habana, pp. 27-33.
- Chuy Rodríguez, T.J. 2010. Modelo de peligro sísmico de la provincia Santiago de Cuba. Archivos CENAI. (Inédito).
- Chuy Rodríguez, T.J., J. García, L. Álvarez, & E. Arango. 2005. Amenazas Municipio Santiago de Cuba. Proyecto caracterización e impacto de amenazas naturales extremas en Santiago de Cuba. Archivo CENAI.
- Colectivo de autores. 2010. SIG de la Base cartográfica de Santiago de Cuba a escala 1:100 000. Empresa Geocuba Oriente Sur. (Inédito).
- Galbán Rodríguez, L. 2009. Algunas reflexiones sobre las causas que generan el riesgo geológico en la provincia Santiago de Cuba. En: III Taller Internacional Nuestro Caribe en el Nuevo Milenio. CD ROM. ISBN: 978-959-207-357-9.
- Galbán Rodríguez, L. 2012. *Geología básica aplicada. Elementos básicos de la ingeniería geológica aplicados a la ingeniería civil e hidráulica*. Editorial Académica Española. Madrid, España. 304 pp.
- Galbán Rodríguez, L., Vidaud Quintana, I. N. & Chuy Rodríguez, T. J. 2012. Indicadores más comunes en la evaluación de riesgos geológicos. Indicadores cualitativos y cuantitativos para la evaluación de peligro, vulnerabilidad y riesgos geológicos. Editorial Académica Española. Madrid, España. 96 pp.
- García Peláez, J. A., T.J. Chuy Rodríguez, J. García, L. Álvarez, E. Arango & J.A. Zapata Balaqué. 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. Archivo CENAI.
- 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: 1- 69.
- NC-46. 1999 – “Construcciones sismoresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción”. Oficina Nacional de Normalización. Cuba. <http://moodle.uho.edu.cu/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=6315>.
- ONEI. 2013. “Anuario estadístico de Cuba 2013”. Oficina Nacional de Estadística e Información. <http://www.onei.cu/aec2012/20080618index.htm>
- Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering. 1999. Manual for zonation of seismic geotechnical hazards (Revised Version), Japan, 293pp.
- Villalón Semant M., S. Rosabal Domínguez, Y. Infante Gilart, T. J. Chuy Rodríguez & A. Zapata Balaqué. 2012. Riesgo por deslizamientos de tierra en la provincia Santiago de Cuba. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.