

## Susceptibilidad por deslizamientos en el sector Baracoa-Cajobabo, provincia Guantánamo, Cuba

Rosabal Domínguez Sandra y Ricardo Oliva Álvarez

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS).

Calle 17, No. 61 entre 4ta y 6ta. Vista Alegre, CP: 90400, Santiago de Cuba, Cuba.

sandra@cenais.cu, oliva@cenais.cu

### Resumen

En el sector Baracoa-Cajobabo ocurren deslizamientos que afectan principalmente al viaducto La Farola, carretera de primer orden en Cuba. El objetivo de este trabajo fue evaluar la susceptibilidad por deslizamientos, para contribuir con los estudios de prevención de desastres. Se aplicó el método de la zonación pasiva a través de tres variables condicionantes: geología, geomorfología e hidrología. Se utilizaron además métodos morfométricos como el trazado de la red fluvial, densidad de la red hidrográfica y análisis de las pendientes. Los resultados permitieron definir cuatro niveles de susceptibilidad en el área de estudio: nulo, bajo, moderado y alto. Las localidades La Carbonera, Alto de Cotilla, Cagneybaje, El Laurel, El Guayabo y Los Hoyos se localizan en el nivel alto de susceptibilidad.

Palabras Clave: Susceptibilidad, métodos morfométricos, deslizamientos, geología y geomorfología.

### Abstract

The occurrence of landslides in the Baracoa-Cajobabo sector affect the Cuban first order highway named the La Farola viaduct. The objective of this work was to evaluate the susceptibility to landslides, to contribute to the studies of disaster prevention. The passive zonation method was applied through three conditioning variables: geologic, geomorphologic and hydrologic. We also used morphometric parameters as the geometry of fluvial network, the hydrographic density and slope analysis. Four levels of susceptibility, from null to high, were defined in the study area. The localities of La Carbonera, Alto de Cotilla, Cagneybaje, El Laurel, El Guayabo and Los Hoyos are located in areas of high landslide susceptibility

Keywords: Susceptibility, morphometric methods, landslides, geology and geomorphology.

### Introducción

Diversos fenómenos naturales, tales como sismos, incendios forestales, huracanes, inundaciones, penetraciones del mar, lluvias intensas, sequías y deslizamientos, han afectado a la provincia de Guantánamo. Los tipos fundamentales de movimientos en masa que han ocurrido, considerando la clasificación de Costa y Baker (1981) son deslizamientos, flujos, volcamientos (Castellanos, 2008), deslizamientos rotacionales (Rosabal et al., 2009) y caídas de rocas (Ávila, 2015). Todos han afectado las vialidades. El

principal detonante de este fenómeno ha sido la intensa lluvia y por su ubicación geográfica en la zona de mayor peligrosidad sísmica del país (Figura 1), es posible que sismos de moderada a gran intensidad puedan inducir peligros geológicos secundarios como los deslizamientos. Según la Norma Sísmica Cubana (2017) se esperan valores de la aceleración pico ( $S_0$ ) para los municipios de Baracoa e Imías de 0.207g y 0.244g respectivamente, los mismos pueden emplearse para el diseño de las construcciones y para futuros análisis de estabilidad de taludes.

En la literatura internacional la cartografía de la susceptibilidad por deslizamientos se realiza a través de métodos estadísticos, heurísticos y determinísticos (Carrara et al., 1995; Van Westen et al., 1997; Van Westen et al., 1999; Guzzetti et al., 1999; Barredo et al., 2002).

En Cuba el estudio bibliográfico muestra, que aun cuando existen investigaciones detalladas y regionales, no se han aplicado los métodos morfométricos de forma integrada (Del Puerto y Ulloa, 2003; Almaguer, 2005; Reyes et al., 2005; Morejón et al., 2006; Rosabal et al., 2009; Villalón et al., 2012; Galbán y Guardado, 2016).

En la provincia Guantánamo se han llevado a cabo varias investigaciones para zonificar los deslizamientos (Castellanos, 2008; AMA-CIMTA, 2012 y Savón et al., 2017). La mayoría de ellos, realizados para los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos, consideraron en conjunto los elementos sísmicos y ambientales, así como sus catalizadores: lluvia y aceleración pico.

A escala detallada, los estudios se han enfocado en evaluar las características de ingeniería geológica y el nivel de peligrosidad sísmica de la zona (Rosabal et al., 2014). En esta área (en el viaducto La Farola desde la localidad de La Carbonera hasta Paso de Agua) se han desarrollado también algunos trabajos que incluyen el análisis de los factores pasivos (pendiente y su aspecto, litología, densidad de fallas, humedad del terreno) y desencadenantes (sismos y lluvia) (Ávila, 2015).

El peligro por deslizamientos es latente y afecta al viaducto La Farola. Sin embargo, hay pocas investigaciones en las cuales se tengan en cuenta la densidad de la red hidrográfica, como la abordan varios autores en diferentes partes del mundo (Vargas, 2002; y Aristizábal y Yokota, 2006).

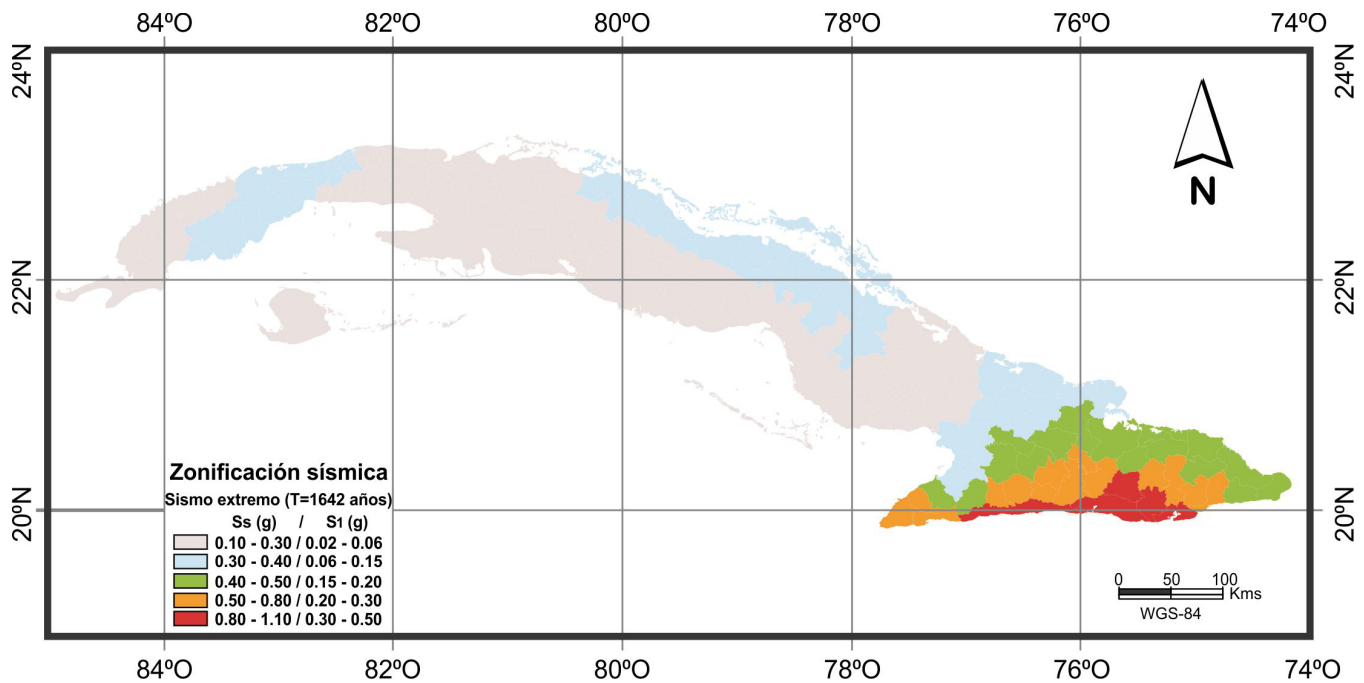


Figura 1. Zonificación sísmica de Cuba Oriental. Ss representa la aceleración espectral para período corto; S1 representa la aceleración espectral para período largo; Sismo extremo es el que tiene una probabilidad del 3% de ser excedido en un período de 50 años de vida útil correspondiente a un período de retorno de 1642 años; T representa el período. Tomado de la Norma Sísmica Cubana, 2017.

## Área de estudio

El sector Baracoa-Cajobabo se ubica en el oriente de Cuba (Figura 2a), al este de la provincia Guantánamo (Figura 2b). Limita al sur con las aguas del mar Caribe y al norte con el océano Atlántico. Se extiende desde las proximidades de la ciudad de Baracoa al oeste hasta el poblado de Barigua al noreste, desde las cercanías del pueblo de Trace al suroeste hasta Jauco al sureste (Figura 2c).

El área se encuentra en parte de los municipios de Maisí, Imías y Baracoa, los mismos se comunican a través del viaducto La Farola. Dicha carretera tiene un trazado relativamente suave en la vertiente del océano Atlántico y una forma sinuosa en la parte central de la Sierra de Baracoa y hacia la vertiente del mar Caribe. Tiene una longitud aproximada de 30 kilómetros, cruzando de sur a norte las sierras de Baracoa y Purial.

## Metodología

Para evaluar la susceptibilidad por deslizamientos se aplicó el método de la zonación pasiva (Mora et al., 1992) que considera que los deslizamientos ocurren cuando una ladera, compuesta por una litología determinada, con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, alcanza un grado de susceptibilidad. Se analizaron tres variables condicionantes: geología (con la valoración de aspectos de ingeniería geológica no considerados por este método), geomorfología e hidrología (en esta última se aplicaron métodos morfométricos, como la densidad de la red hidrográfica) para facilitar y precisar áreas susceptibles a deslizamientos y determinar formas del relieve.

A continuación se realiza una breve descripción de las variables condicionantes.

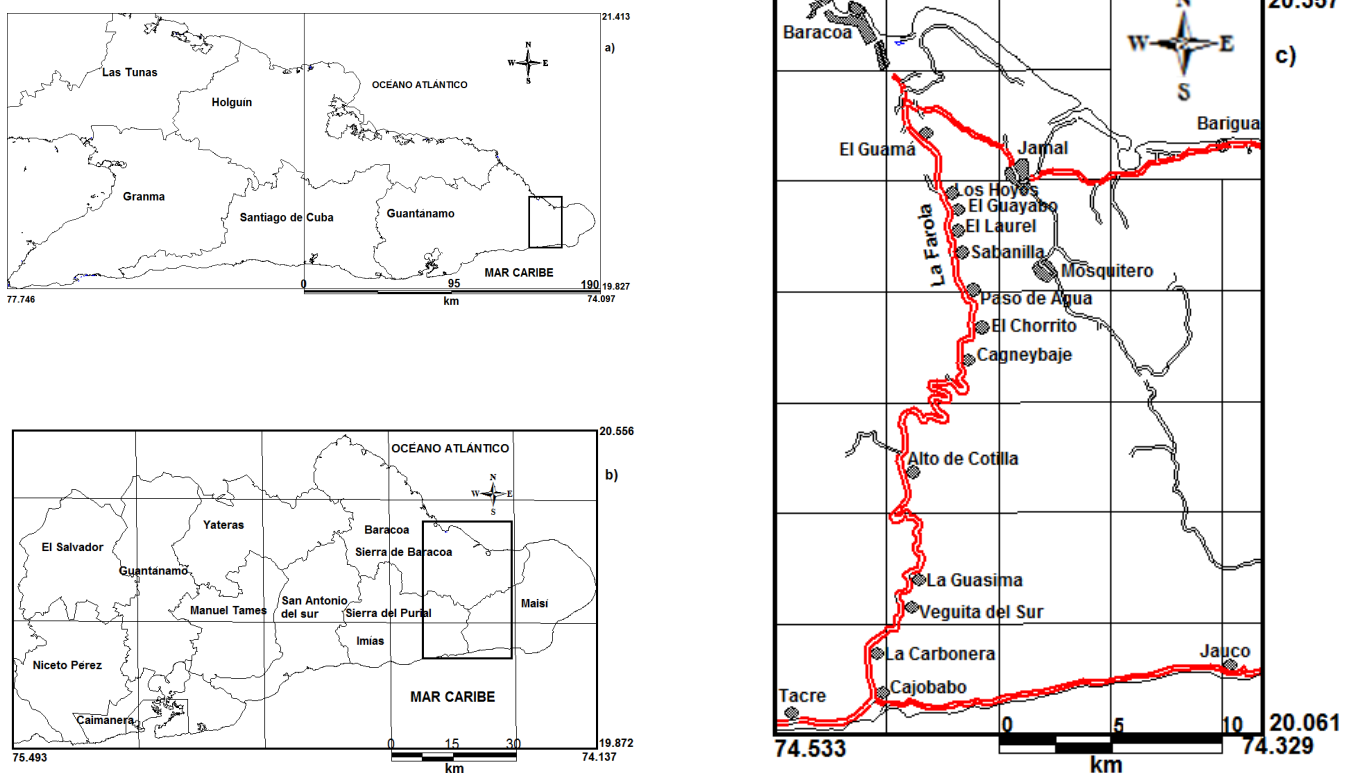


Figura 2. Ubicación geográfica del sector Baracoa-Cajobabo, en Cuba (a) y en la provincia de Guantánamo (b). En c) se muestra el viaducto La Farola que enlaza los municipios de Imías y Baracoa. Las líneas en rojo representan las carreteras del primer orden y las negras muestran el segundo orden.

## Geología

Se realizó la caracterización geológica del territorio a partir del mapa geológico de Cuba Oriental a escala 1:100,000 (IGP, 2003) y el léxico estratigráfico (Servicio Geológico de Cuba, 2013). Los aspectos de ingeniería geológica, fueron tomados de la descripción de Cuba Oriental (Pérez, 1976).

El sector Baracoa-Cajobabo se caracteriza por una alta variedad litológica donde afloran unidades desde el Cretácico Inferior hasta el Cuaternario, representado por las formaciones: Sierra del Purial, grupo El Cobre, Sabaneta, La Picota, San Ignacio, San Luis, Charco Redondo, Jaimanitas, Baracoa, Río Maya, Cabo Cruz, Cabacú, Yaguaneque, Yateras, Maquey, depósitos aluviales y el complejo magmático intrusivo (gabros, dioritas, ultrabasitas serpentinizadas, diabasas y otros (Figura 3).

A continuación se presenta un listado de las unidades litológicas aflorantes en la región de estudio:

1. Formación Sierra del Purial, compuesta según Lomtadze (1997) por andesitas basálticas, basaltos y lavas brechadas del Cretácico Inferior (Aptiano ?) - Cretácico Superior (Campaniano);
2. Grupo El Cobre compuesto por rocas volcánicas y volcanosedimentarias de edad Paleoceno-Eoceno Medio;
3. Formación Sabaneta compuesta por tobas vitroclásticas del Paleoceno Inferior-Eoceno Medio;
4. Formación Yateras constituida por alternancia de calizas biodetríticas y detríticas y calizas biógenas del Oligoceno Inferior-Mioceno Inferior;
5. Formación Jaimanitas compuesta por calizas biodetríticas masivas de edad Pleistoceno Superior;
6. Formación Charco Redondo compuesta por

- calizas compactas órgano-detríticas del Eoceno medio;
7. Formación San Luis constituida por areniscas, limolitas, margas, arcillas, calizas arcillosas y conglomerados del Eoceno Medio-Eoceno Superior;
8. Formación Yaguaneque compuesta por calizas arrecifales del Cretácico Superior;
9. Formación La Picota constituida por conglomerados polimícticos del Cretácico Superior;
10. Formación Baracoa compuesta por calizas biodetríticas arenáceas del Mioceno Superior;
11. Formación Cabo Cruz compuesta por calizas biodetríticas arcillosas del Mioceno Superior;
12. Formación Río Maya formada por calizas biohémicas algáceas de edad Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior.
13. Complejo magmático deformado tectónicamente (Pérez, 1976).

Las unidades mencionadas están cubiertas por depósitos aluviales, eluvio-coluviales y rocas friables incoherentes representadas por la Formación Maquey constituida por alternancias de areniscas, limolitas, arcillas calcáreas y margas del Oligoceno Inferior-Mioceno Inferior parte baja y por la Formación Cabacú compuesta por limolitas y areniscas del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (Servicio Geológico de Cuba, 2013).

## Geomorfología

Se realizó el análisis geomorfológico basado en la descripción morfológica del relieve (Moreno et al., 2017), que permite obtener las categorías de montañas, alturas y llanuras, determinadas a partir del MDT (Modelo Digital del Terreno de GEOCUBA, 2010) y la generación del mapa de pendientes con los intervalos de 0-15°, 15-25°, 25-35°, 35-45° y mayores de 45° (reclasificadas de Kamp et al., 2008), con la finalidad de identificar formas del relieve proclives a desarrollar deslizamientos.

En el sector están presentes las tres categorías del relieve (Moreno et al., 2017). Las zonas de llanuras se localizan próximas a la costa norte y sur, abarcando mayor área en la primera dirección asociada con la llanura fluvial de los ríos Miel, Sabanilla, Boma y Mata. En la costa sur las llanuras se vinculan espacialmente con los arroyos Tacre, Cañas, Yana y los ríos Jojo y Seco. Las pendientes en esta zona de llanura oscilan entre 0°-7°.

Las montañas y alturas están representadas por las sierras de Baracoa y sierra del Purial. Los máximos valores de cotas de alturas se distribuyen al oeste con 788, 706 msnm y al este con 602 msnm (Figura 4) formando montañas pequeñas. Las pendientes en la zona de montañas oscilan entre 25° a 45°, aunque se manifiestan valores más elevados en zonas específicas. En la zona costera sur de este a oeste se desarrollan las terrazas marinas escalonadas de Maisí, con pendientes mayores de 25°.

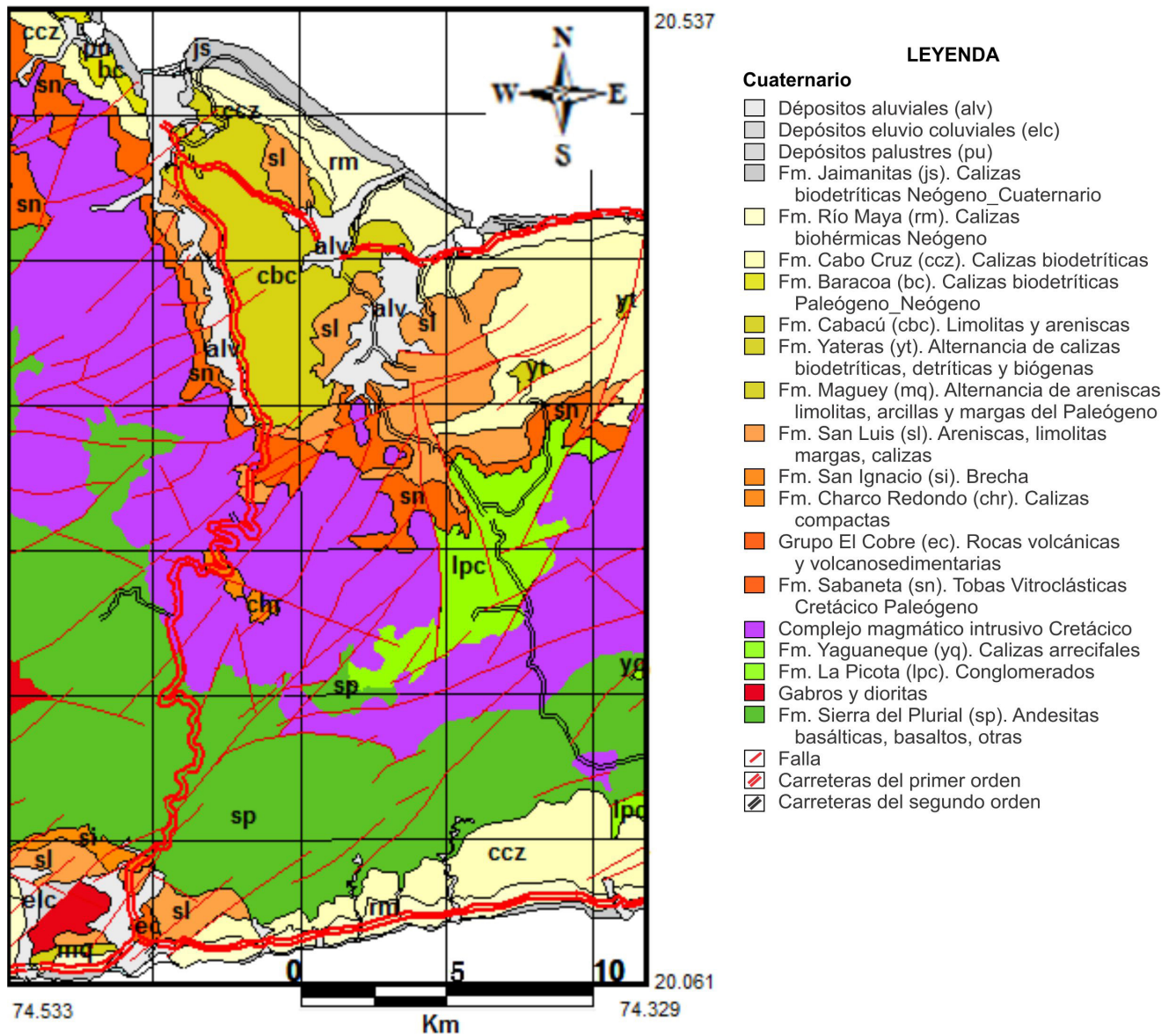


Figura 3. Esquema geológico del sector Baracoa-Cajobabo. Tomado de IGP, 2003.

## Hidrología

Según González de Vallejo et al. (2002), se debe valorar la red del drenaje, los efectos del agua en el terreno, los arrastres, la erosión de los materiales que integran el talud o la ladera, la circulación subsuperficial de agua, entre otros elementos.

Para valorar la hidrografía se aplicaron técnicas

morfométricas tales como el trazado de la red fluvial (GEOCUBA, 2010) y la densidad de la red hidrográfica. El trazado de la red se logra con la digitalización de los ríos y cañadas sobre el MDT del que se obtiene el mapa de red fluvial que identifica los órdenes de los ríos con mayor erosión. La densidad de la red se elaboró teniendo como referencia el número de intersecciones de la red fluvial por unidad de área.

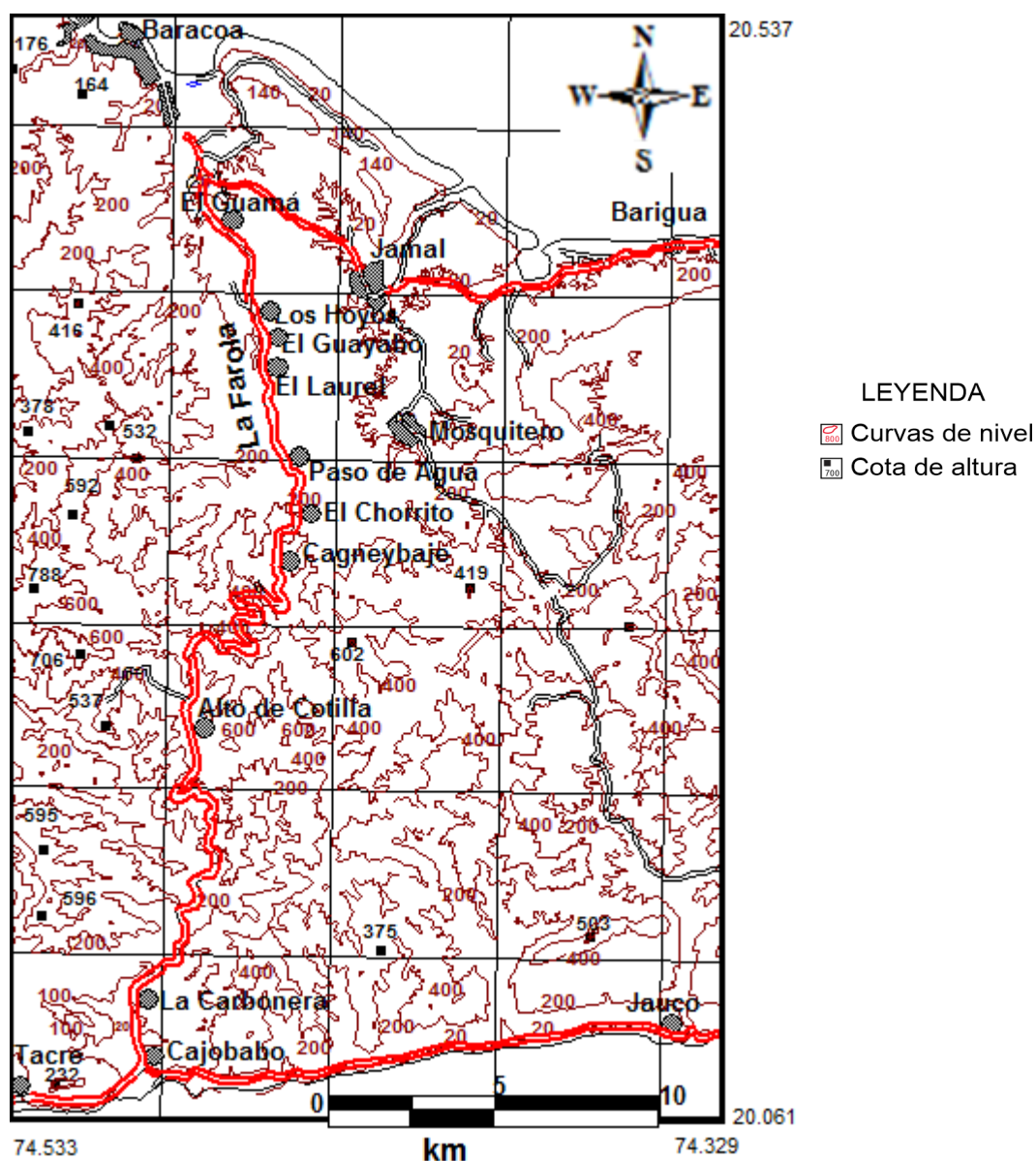


Figura 4. Mapa topográfico del sector Baracoa-Cajobabo.

La red del drenaje se caracteriza por ser paralela a subparalela en gran parte del sector (norte y sur) y dendrítica al centro del sector (Figura 5). Los principales ríos son: Jojo al Sur y Miel al Norte. La fuente de alimentación principal de estos ríos y arroyos, son las precipitaciones pluviales, los cuales influyen en el arrastre del material detrítico de las zonas de mayor pendiente hacia las zonas bajas.

La mayor densidad del drenaje ( $10.4 \text{ km/km}^2$ ) se obtuvo hacia el suroeste y los bajos valores ( $1.9 \text{ km/km}^2$ ) se distribuyen hacia el norte de este a oeste.

### Comprobación de campo

En el terreno se realizó la comprobación del mapa de susceptibilidad por deslizamientos tanto traslacionales como rotacionales, se

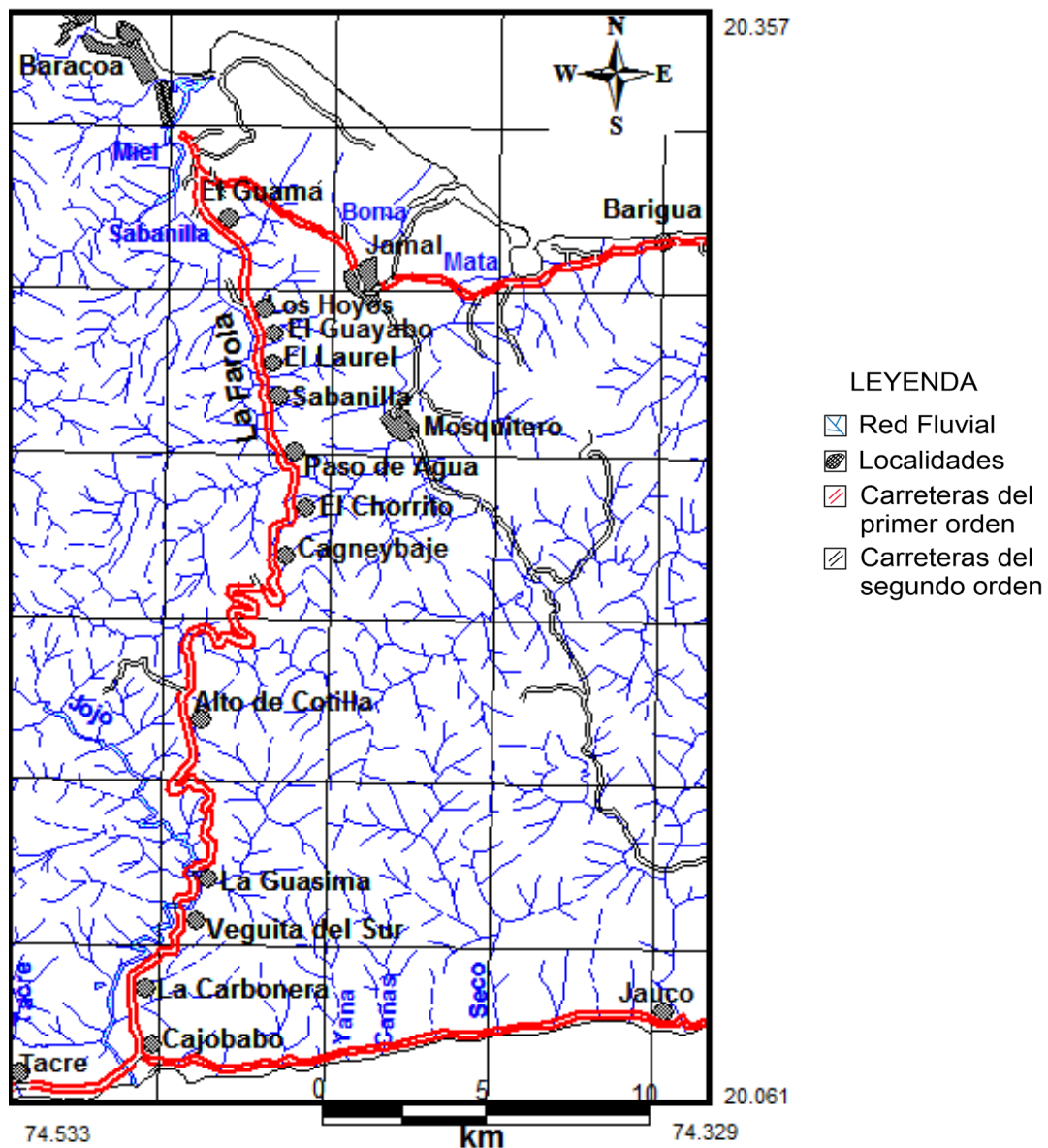


Figura 5. Trazado de la red fluvial del sector Baracoa-Cajobabo.

verificó su comportamiento, por lo que se prevén deslizamientos futuros en base a los indicios de inestabilidad. En este trabajo se anexan deslizamientos que no habían sido documentados.

### Procesamiento de los datos

Apoyados en un SIG (Sistema de Información Geográfica; gvSIG por sus siglas en inglés) se confecciona la base de datos con las variables condicionantes tales como geología, geomorfología e hidrología. Estas variables fueron tratadas cualitativamente e individualmente en el SIG, mediante clasificaciones, con cuatro clases que expresan su aporte a la susceptibilidad, y se realizó el procesamiento de los mapas temáticos

a través de consultas al SIG. La capa resultante es la que se intercepta y de ella se obtuvo el mapa de susceptibilidad a los deslizamientos con cuatro categorías que, como se muestra en la Tabla 1, emplearon:

- Las unidades del relieve dado por los valores topográficos, manteniéndose los valores clasificados por Galbán et al (2012) y Galbán, (2014).
- Los niveles de la susceptibilidad litológica basados en los aspectos de ingeniería geológica (Pérez, 1976; Flores, 2003; COSUDE/ALARN, 2006) (Tabla 2) y las rocas con sus propiedades físico-mecánicas (Tabla 3).
- Las pendientes reclasificadas.

Tabla 1. Niveles de susceptibilidad por deslizamientos para el sector Baracoa-Cajobabo.

Clasificación	Pendiente	Susceptibilidad litológica	Relieve	Hidrología	Resultados a esperar
Alta	Mayores de 45° y de 35° -45°	Alta (rocas duras-semiduras con carso, agrietamiento, estratificación, intemperismo, alternancia de rocas duras con débiles, tectonismo).	Montañas con elevaciones altas de más 500 m y entre 200 y 500 m sobre nivel medio del mar	Muy densa	Caídas, desprendimientos de rocas, desplomes, volcamientos, deslizamientos
Moderado	25° -35°	Moderada (rocas duras con presencia de intemperismo, agrietamiento entre otros aspectos de ingeniería-geológica.	Zonas con elevaciones medias entre 50 y 200 m de altura	Moderada densidad	Deslizamientos
Baja	15° -25°	Baja (rocas duras estables sin o muy poca afectación por meteorización y agrietamiento)	Zonas bajas, llanuras, o elevaciones bajas de hasta 50 m de altura	Baja densidad	-
Sin deslizamientos	0° - 15°	Baja (litologías carente de sistemas de fracturamiento e intemperismo)	Zonas bajas	Baja densidad	-

Tabla 2. Rocas duras firmes y relativamente duras-semiduras del sector Baracoa-Cajobabo y sus aspectos de ingeniería-geológica. Fuente: Lomtadze, 1977; Pérez, 1976.

Clasificación	Litología o Formación presente	Presencia de estratificación	Presencia de intemperismo	Alternancia o intercalaciones de rocas duras y débiles	Carso	Deformación	Nivel de Susceptibilidad
Rocas duras firmes	Sierra del Purial	-	-	Basaltos, entre otras rocas duras y areniscas	-	-	Baja
	Gabros, Gabrodioritas, Dioritas	-	Muy intemperizadas, forman cortezas de 10 a 100 m. Los gabros forman corteza de 10 a 15 m que puede ser mayor en zonas de fallas.	-	-	Muy agrietados	Moderado
Rocas relativamente duras-semiduras	Grupo El Cobre	Estratificación	Cortezas potentes	-	-	Intenso agrietamiento	Muy Alta
	Sabaneta	-	-	Tobas vitroclásticas con intercalaciones de tufita	-	-	Moderada
	Yaguaneque	-	-	-	-	-	Baja
	La Picota	-	-	Intercalaciones de areniscas y conglobrechas que se intercalan con argilitas	-	-	Moderada
	Ultrabasitas serpentinitas	-	Intemperismo arcilloso y de agrietamiento	-	-	Muy afectadas por el tectonismo	Alta
	Río Maya	-	-	Intercalaciones de clastos terrígenos	carso	-	Alta
	Yateras	Estratificación gruesa	Arcilloso y de agrietamiento	-	carso	-	Muy alta
	Jaimanitas	Estratificación fina	-	En ocasiones con margas	carso	-	Muy alta
	Charco Redondo	Estratificación fina y gruesa	-	-	carso	-	Alta
	San Luis	Se encuentra bien estratificada	Las margas se encuentran intemperizadas	-	-	-	Alta

Tabla 3. Rocas y sus propiedades físico-mecánicas. Tomado de González de Vallejo et al., 2002.

Rocas	Resistencia a la compresión (MPa)	Porosidad (%)	Velocidad de propagación (Vp) de las ondas longitudinales (m/s)
Gabro	147,09-274,58	0,1-0,2	4 500-6 500
Basaltos	196,13-392,26	0,1-2	4 500-6 500
Calizas	78,45-147,09	5,0-20	2 500-6 000
Conglomerados	137,29	-	2 500-5 000
Areniscas	7,84-196,13	5-25	1 400-4 200
Margas	3,43-193,19	-	1 800-3 200
Serpentinita	9,80-460,91	0,1-0,5	5 000-6 500

## RESULTADOS

La Figura 6 muestra la zonación de la susceptibilidad por deslizamientos translacionales y rotacionales en el sector Baracoa-Cajobabo.

En alta susceptibilidad se sitúan las rocas relativamente duras-semiduras con presencia de estratificación, carso, intemperismo, fracturas con apertura de 1-5 mm, rugosidad suave, relleno blando < 5 mm, alternancia de rocas duras con débiles y afectadas por tectonismo. Pendientes mayores de 35°, ubicadas en relieves de montañas donde la red hidrográfica es muy densa a moderadamente densa. Localidades como La Carbonera, Alto de Cotilla, Cagneybaje, El Laurel, El Guayabo y Los Hoyos se encuentran en este nivel de susceptibilidad. En estas zonas pueden ocurrir también las caídas de rocas, debido a la presencia de calizas y brecha monomíctica.

La clase de susceptibilidad moderada está representada por rocas duras (gabro,

gabrodioritas, gabrodiabasas, dolerita, diabasas, granodioritas y otros) con intemperismo y agrietadas, así como las rocas relativamente duras-semiduras con similares características ingeniero-geológicas y carso, alternancia de rocas, estratificación, afectación por procesos tectónicos con pendientes menores que las anteriores y red hidrográfica moderadamente densa. Las pendientes en esta clase son moderadas entre 25° y 35°. La localidad El Chorrito se ubica en este nivel de susceptibilidad.

La clase de susceptibilidad baja se vincula con rocas duras estables (andesitas, dacitas, basaltos) sin o muy poca afectación por meteorización y agrietamiento y una red hidrográfica muy densa. En este nivel de susceptibilidad se encuentran las localidades Veguita del Sur y La Guásima. Las zonas sin deslizamientos se caracterizan por pendientes muy suaves (0 grados-15 grados), con litología pobremente fracturada, baja alteración por intemperismo y carente de drenaje integrado.

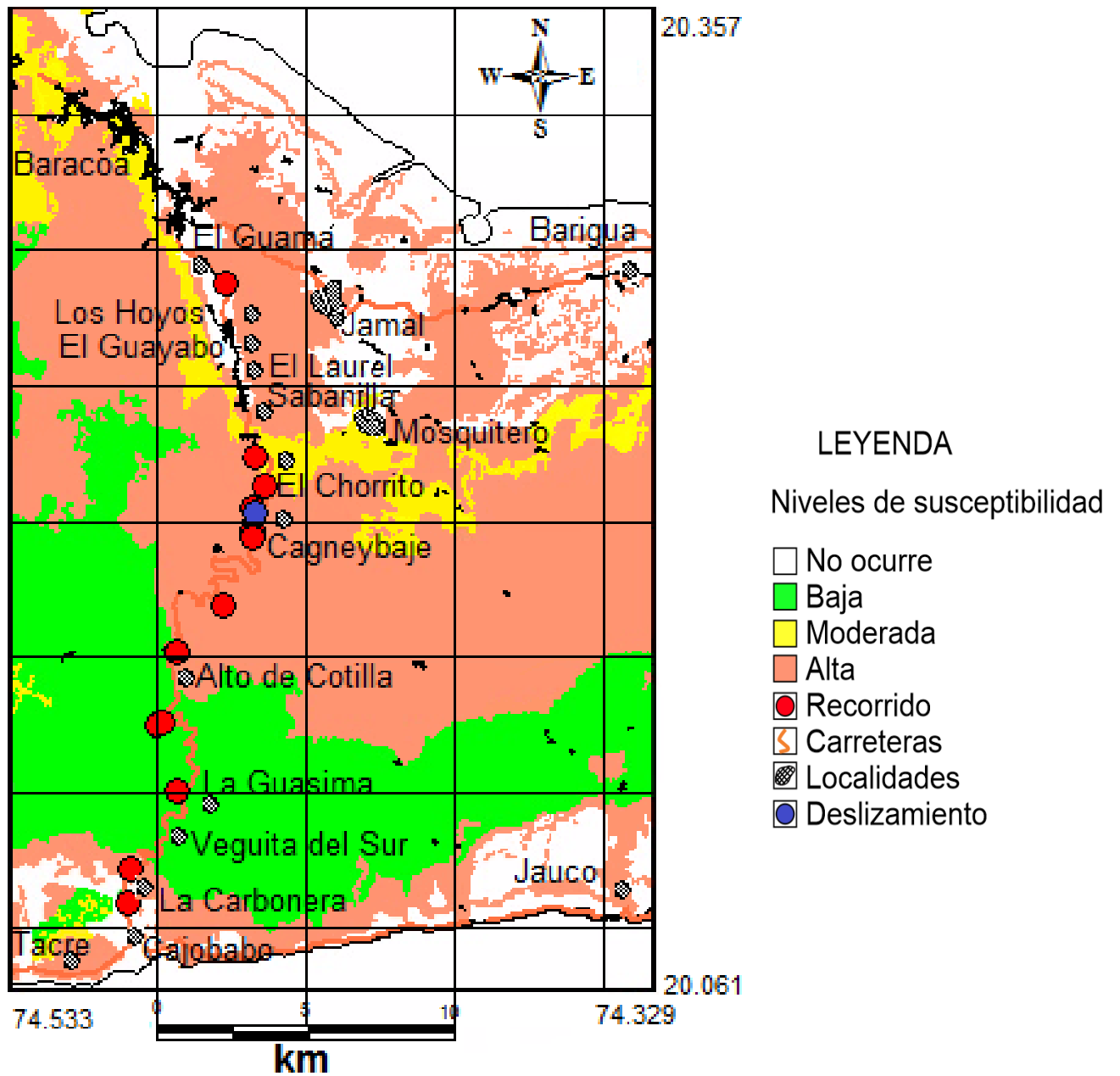


Figura 6. Zonación de la susceptibilidad por deslizamientos traslacionales y rotacionales en el sector Baracoa-Cajobabo, provincia Guantánamo, Cuba. El punto azul representa el deslizamiento rotacional observado durante la verificación.

La inspección de campo permitió la documentación de deslizamientos y caídas de rocas en el tramo Cajobabo-Baracoa del vial La Farola. En la zona de alta susceptibilidad por deslizamientos se observó un deslizamiento rotacional, con coordenadas geográficas 20.209 N y 74.457 W, con afectación al vial rumbo a Baracoa (Figura 7a y b) y una plantación de coco (Figura 7b).

Los vecinos de la localidad argumentan que estas manifestaciones comenzaron entre los años 2008 y 2010, asociadas con intensas lluvias. Como solución ingenieril aplicaron un relleno a la senda afectada con material serpentinitico en agosto de 2013. Este material de relleno, provocó una sobrecarga en la ladera, unido al flujo de agua superficial y subterránea, causando la reactivación del deslizamiento a través de su grieta principal.

### Conclusiones y Recomendaciones

Se obtuvo la zonación de la susceptibilidad por deslizamientos traslacionales y rotacionales del sector Baracoa-Cajobabo con cuatro niveles de susceptibilidad: alta, moderada, baja y sin deslizamientos. En alta se localizan los tramos del viaducto La Farola entre las localidades del Alto de Cotilla hasta Cagneybaje y desde Sabanilla a El Guamá. En moderada susceptibilidad se encuentra el sitio El Chorrito. En baja susceptibilidad se hallan las localidades Veguita del Sur y La Guásima.

Las áreas clasificadas con alta y moderada susceptibilidad deben ser evaluadas con detalle, con el objetivo de conocer las características de la litología, el agrietamiento, las fallas, el buzamiento, la inclinación, entre otros aspectos. Se recomienda realizar estudios de estabilidad de taludes desde la localidad del Alto de Cotilla a Cagneybaje donde predominan las serpentinitas alteradas, y en el tramo de La Farola desde



Figura 7a. Deslizamiento rotacional ubicado en Cagneybaje.



Figura 7b. Deslizamiento rotacional ubicado en Cagneybaje cerca del consultorio del médico de la familia.



Figura 7c. Afectación a plantación de coco y presencia de material arcilloso arenoso de color pardo rojizo.

Sabanilla a El Guamá donde se encuentran areniscas y limonitas polimícticas.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), al Centro de Vialidad de la provincia de Guantánamo y al Dr. Tomas Chuy Rodríguez, por la ayuda brindada. También agradecemos a los dos árbitros anónimos de la revista GEOS y a su editor Luis Alberto Delgado Argote.

### Referencias

- Almaguer, Y., 2005, Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento de Punta Gorda (Tesis doctoral). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Holguín, Cuba.
- AMA-CITMA, 2012, Guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos de terreno a nivel municipal.
- Aristizábal, E. y Yokota, Sh., 2006, Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el valle de Aburra. Dyna Rev. Fac. Nac. Minas, 73(149).
- Ávila, D., 2015, Susceptibilidad por inestabilidad de taludes y laderas en el vial "La Farola". Tesis en opción al título académico de Master en Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico. "Dr. Antonio Núñez Jiménez".
- Barredo, J., Benavidez, A., Hervh, J. & van Westen., 2002, Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. International J. Appl. Earth Observ. Geoinform., 2(1), 9-23.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. & Reichenbach, P., 1995, GIS technology mapping landslide hazard. En A. Carrara y F. Guzzetti (eds.), Geography information systems in assessing natural hazards (pp. 135-175). Kluwe, Dordrecht, T. Netherlands.
- Castellanos, E., 2008, Evaluación multi-escala de riesgo por deslizamientos de terreno en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands. ISBN no 978-90-6164-268-8. ITC dissertation no 154. Instituto de Geología y Paleontología. Cuba.
- Costa, J.E. and Baker, V.R., 1981, Surficial Geology, building with the Earth. John Willey and Sons, New York, USA, 498 pp.
- COSUDE/ALARN: Proyecto ALARN., 2006, Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales. Guía para el especialista. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Abril2006/CD1/pdf/spa/doc14894/doc14894-2c3.pdf>. Consultado mayo 2017.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización., 2017, Norma Cubana NC 46:2017: Construcciones Sismorresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción. La Habana.
- Del Puerto, J. y Ulloa, D., 2003, Identificación de los peligros geólogo-geomorfológicos de la cuenca de Santiago de Cuba. En Memorias del V Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. GEOMIN2003.

- Flores, M. A., 2003, Movimientos en masa: identificación, causas y alternativas de manejo en Medellín. Editorial Alcaldía, Medellín. Pág. 46.
- Galbán, L.; Chuy, T.; Vidaud, I., 2012, Indicadores más comunes en la evaluación de riesgos geológicos. Indicadores cualitativos y cuantitativos para la evaluación de peligro, vulnerabilidad y riesgos geológicos. Editorial Académica Española. ISBN: 978-3-659-02849-6.
- Galbán, L., 2014, Procedimiento para la gestión y reducción de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. ISMMM.
- 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.
- GEOCUBA, 2010, SIG de la Base cartográfica de Santiago de Cuba a escala 1:100 000.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. y Oteo, C., 2002, Ingeniería Geológica. ISBN 84-205-3104-9. Prentice Hall. Madrid.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & 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, 2003, Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000, Instituto de Geología y Paleontología.
- Kamp et al., 2008, en <http://www2.scielo.org.ve/pdf/rgv/v49n1/art02.pdf>. Consultado mayo 2017.
- Lomtadze, V.D., 1977, Geología aplicada a la ingeniería geodinámica aplicada a la ingeniería. La Habana. Editorial Pueblo y Educación.
- Mora, R., 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).
- Morejón, G., Candebat, D., Márquez, I., Ferrera, H., Arango, E., Zapata, J., Chuy, T. y Díaz, L., 2006, Evaluación de la vulnerabilidad ante la ocurrencia de eventos naturales de las carreteras de interés nacional de la provincia Santiago de Cuba: Autopista Nacional [Informe científico-técnico]. [Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais)]. Santiago de Cuba.
- Moreno, Y., Labrada, A., Rodríguez, A., Figueroa, Y., 2017, Metodología para la confección del mapa geomorfológico de la república de Cuba a escala 1:100000. Guía para su elaboración. (Geocuba, ISMM, IGP).
- Pérez, N., 1976, Aspectos ingeniero-geológicos del levantamiento geológico de Cuba Oriental. Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias. Editorial Científico - Técnica.
- Reyes, P., Ríos, Y., Vega, N. y Arango, E., 2005, Peligro geológico de la red vial de las provincias orientales para casos de sismos de gran intensidad. En Memorias de VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos.

- Rosabal, S., Zapata, J. y Gómez, J., 2009, Incidencia de la geomorfología en los deslizamientos de la carretera de Beltrán, Guantánamo, Cuba. *Revista GEOS. Unión Geofísica Mexicana*, 29 (2), 1-12.
- Rosabal, S.; Oliva, R.; Caballero, F.; Guilarte, M., 2014, Evaluación de las características ingeniero-geológicas y determinación del nivel de peligrosidad sísmica de las zonas de emplazamiento de las vías de interés nacional de la provincia Guantánamo. [Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI)]. Santiago de Cuba.
- Savón, Y., Mesa, A., Matos, L., Castillo, L., Odilio, M. y Delgado, R., 2017, Las precipitaciones como elemento disparador de movimientos gravitacionales en la provincia Guantánamo. En *Memorias de XII Congreso de Geología. VI Simposio de riesgos geológicos, procesos costeros. VII Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana*.
- Servicio Geológico de Cuba, 2013, *Léxico Estratigráfico de Cuba (Colectivo de autores)*. La Habana. Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. Ministerio de Energía y Minas.
- Van Westen, C., Rengers, N., Terlien, M. & Soeters, R., 1997, Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geologische Rundschau*, 86(2), 404-414.
- Van Westen, C, Seijmonsbergen, A. & Mantovani, F., 1999, Comparing landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 20(2-3), 137-158.
- Vargas, R., 2002, Evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos municipio de La Celia. Departamento de Risaralda. Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER).
- 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., Suarez, O., 2012, Informe sobre los estudios de PVR deslizamientos provincia Santiago de Cuba. [Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI)]. Santiago de Cuba.

Recibido: 6 de abril de 2018

Recibido corregido por el autor: 4 de octubre de 2018

Aceptación: 29 de noviembre de 2018