

INCIDENCIA DE LA GEOMORFOLOGÍA EN LOS DESLIZAMIENTOS DE LA CARRETERA DE BELTRÁN, GUANTÁNAMO, CUBA

Sandra Y. Rosabal Domínguez¹, José A. Zapata Balanque¹, Joel Gómez

sandra@cenais.cu

¹Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), Calle 17 # 61 entre 4ta y 6ta. Vista Alegre, CP: 90400,

Santiago de Cuba, Cuba.

²CITMA, Guantánamo, Cuba.

RESUMEN

Se realizó el estudio geomorfológico de los alrededores de la localidad de Beltrán, municipio Yateras, provincia Guantánamo, con el apoyo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica, utilizando las variables disección vertical, máximas alturas y clasificación del relieve. Se contrastaron los resultados con los materiales obtenidos de los recorridos de campo realizados en la zona, producto de los deslizamientos ocurridos después de periodos de intensas lluvias en Yateras. Se presentan los principales impactos causados por los deslizamientos en la carretera de Beltrán y se señalan aquellas zonas que, con similares parámetros, son proclives al fenómeno.

palabra clave: Geomorfología; deslizamientos; Beltrán, Guantánamo, Cuba

INTRODUCCIÓN

En la construcción de las carreteras se presentan una serie de dificultades que a veces encarecen el proceso; el costo puede ser mayor si no se elige correctamente el trazado, por lo que debe considerarse la geomorfología, relieve, geología, tectónica y parámetros de la ingeniería geológica. La metodología presentada por Mora y Vahrson (1993) referenciada en el TC-4 (ISSMGE, 1999), considera importante la determinación de las condiciones geomorfológicas y determina la susceptibilidad del relieve a partir del cálculo de la disección vertical.

El presente trabajo surge a partir de estudios preliminares, metodologías y propuestas de trabajos realizadas con anterioridad para el área

de Beltrán, que sugieren realizar una caracterización de las variables geomorfológicas que influyen en los deslizamientos. Escobar (2007) plantea en su informe técnico criterios sobre la determinación de la susceptibilidad geomorfológica basada en el cálculo de la pendiente, la disección vertical y creación de un modelo digital del terreno.

Rodríguez (1991) plantea que la consideración geomorfológica más importante en el pronóstico de los deslizamientos es la historia de éstos en un área determinada. Otros factores son la pendiente de una ladera en relación a la fuerza de los materiales que la forman y el aspecto de la ladera o la dirección hacia donde enfrenta la ladera su curvatura.

ANTECEDENTES

En propuesta realizado por Zapata et al. (2008) para caracterizar el sector de 20 km² entre las coordenadas X: 681 000 a 686 000 y Y: 178 000 a 182 000, se proponían las siguientes actividades:

1. Conocer los factores que catalizan los deslizamientos en la zona de interés.
2. Modelar las potenciales áreas de ocurrencia de futuros deslizamientos.
3. Tomar las medidas para la gestión y manejo del ordenamiento territorial ambiental y desarrollo de los ecosistemas existentes (asentamientos humanos y trazado definitivo de las carreteras y los viales).
4. Determinar las zonas y propuestas de procedimientos donde deben ejecutarse obras ingenieras de contención (Zoológico de Piedra).

Basados en estos criterios se exponen los pasos seguidos para determinar la caracterización geomorfológica del área y la susceptibilidad del área de Beltrán a los deslizamientos.

METODOLOGÍA

Para la caracterización geomorfológica del área fue necesario determinar las máximas altitudes; se digitalizaron las curvas de nivel y con el apoyo de un GIS (Sistemas de Información Geográfica por sus siglas en inglés; gvSIG), se obtuvo el modelo digital del terreno (MDT) en 3D y se clasificó el relieve.

Luego se confeccionó el mapa de disección vertical, calculando las diferencias de altura entre curvas de nivel dentro de una unidad de superficie (de 1 km²) a escala 1:50 000. Se realizó el mapa de red fluvial y se caracterizó el drenaje.

Por último, para determinar la susceptibilidad por deslizamiento utilizamos la Zonación de Grado 1, la aplicación del método presentado en el TC-4 (ISSMGE, 1999) denominado zonación por criterios activos, considerando como agentes catalizadores un sismo de mediana a gran intensidad y las intensas lluvias frecuentes en la zona.

Ubicación Geográfica

El área de Beltrán, de aproximadamente 16 km², se encuentra al noreste de la ciudad de Guantánamo, en el municipio de Yateras (Figura 1) en la provincia Guantánamo, con coordenadas geográficas: latitud N 20.255° - 20.291°, longitud W 75.091-75.053°

La Tabla 1 muestra las coordenadas de los sitios donde han ocurrido los principales deslizamientos del área de Beltrán; la vía era transitable hasta el momento de la ocurrencia de los deslizamientos, muchos ubicados en sectores muy cercanos al Zoológico de Piedra, un terreno privado (finca) y otros dos sitios en la carretera Beltrán que une a las comunidades La Güira y Boquerón (sectores (a) y (b)). Estos últimos deslizamientos fueron estudiados en el trabajo presentado por Escobar y otros (2006); se presentan las Fotos 1 a 4 de los deslizamientos.

Sitios	Lat. N	Long. W
Zoológico de Piedra	20.273°	-75.069°
Terreno Privado (Finca)	20.280°	-75.072°
Carretera Beltrán (a)	20.265°	-75.069°
Carretera Beltrán (b)	20.262°	-75.070°

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los sitios donde están localizados los deslizamientos estudiados.

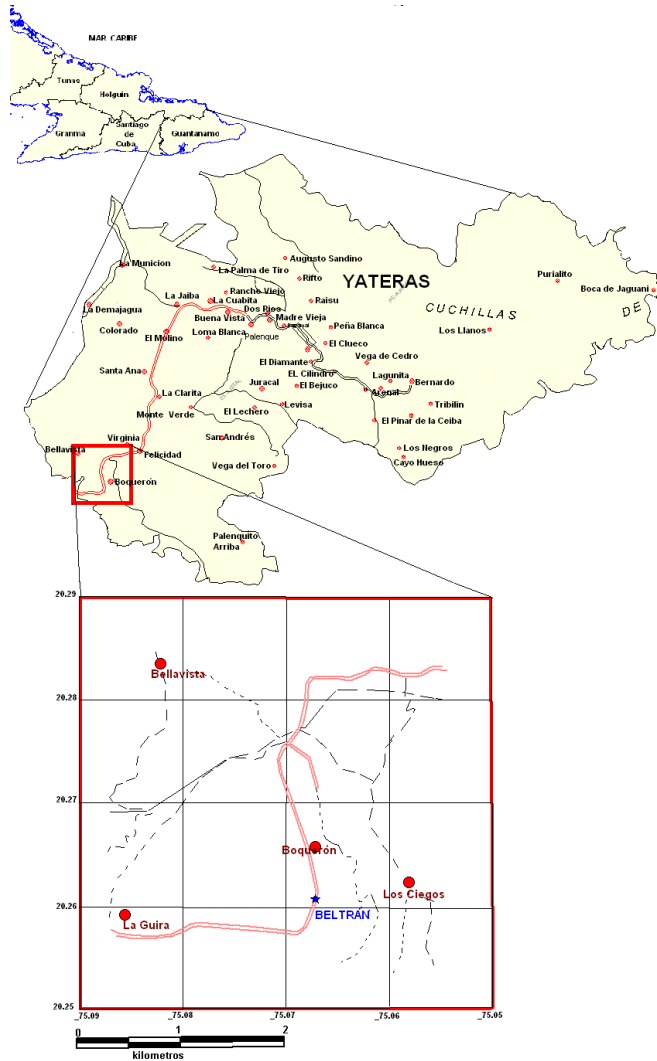


Figura 1. Ubicación geográfica de Beltrán (recuadro) en el municipio de Yateras y vista detallada del área (estrella en azul), en la carretera entre La Güira y Boquerón, principal vía de comunicación sus comunidades (círculos en rojo).

Agentes catalizadores

Los sismos y las intensas lluvias son considerados agentes catalizadores de los deslizamientos, siendo las lluvias el más importante agente catalizador.

Sin embargo, es importante considerar que el área puede ser afectada por terremotos de mediana a gran intensidad, generados en alguna de las zonas sismogeneradoras más próximas al sitio, tales como Oriente, Sabana 1 y Purial.

El municipio de Yateras se encuentra en la región Oriental de Cuba, considerada la de mayor sismicidad y peligro sísmico de Cuba, dada su ubicación cercana a la zona de contacto entre la Placa Norteamérica y la Microplaca de Gonave (Arango, 1996), en la que el sistema de fallas regional convierte a la zona en la principal zona sismogénica del país (Bartlett-Caimán u Oriente).

Por esa razón, en este municipio, los sismos son un factor activo, catalizador del fenómeno de deslizamientos. En esto se tiene en cuenta que en cualquiera de las zonas sismogénicas que lo afectan, se pueden generar sismos con magnitudes mayores de 5.0, a partir de la cual, considerando las distancias relativas y los valores que puede alcanzar la intensidad sísmica, puede inducirse este fenómeno. Debemos tomar en cuenta igualmente que sismos con epicentros en la parte norte de Haití y República Dominicana, han sido mayores de 7.0 o más grados en la escala MSK de intensidad sísmica en la provincia de Guantánamo.

En la Figura 2 se presenta el mapa de epicentros registrados en la región oriental de Cuba en el período 1998–2007 para terremotos de magnitud $M > 3.0$ Richter. Se observa en la zona del municipio Yateras, poca existencia de epicentros de cualquier rango de magnitud constituyendo los perceptibles históricos, antes de la implementación de registros instrumentales (Chuy, 1999), los de mayor valor de magnitud.

Históricamente los primeros reportes de deslizamientos en el área datan desde el huracán Flora, en 1963; luego en 1993 se reportaron deslizamientos de importancia en la zona del Zoológico de Piedra que se extendieron hasta Bellavista, (Escobar et al. 2006), después de intensas lluvias producto de la interacción de un frente frío con una onda tropical casi estacionaria sobre el oriente del país, que provocó acumulados superiores a los 200 mm en varios

puntos (periódico Granma del 25 de noviembre de 1993). Los últimos reportes asociados a intensas lluvias datan del 2006 y 2008.

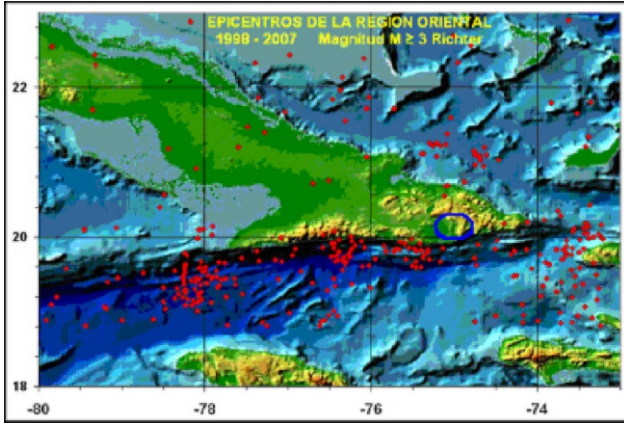


Figura 2: Epicentros registrados por el SSNC en la región oriental de Cuba en el período 1998-2007 con Magnitud $M > 3.0$ Richter. Con un círculo azul se indica el municipio Yateras (SSNC, 2007).

Para la zona de Boquerón las precipitaciones media anual es de 1,333.8 mm, pero 1 de cada 4 años acumula más de 1,600 mm y presenta en la serie de estudio un acumulado anual máximo de 1,744.9 mm en el 2006 y 1,729.5 mm en el 2005. (El acumulado histórico es de 1,881.1mm en 1963 según CMP Guantánamo, 2008).

Se determinaron las áreas donde predominan las máximas elevaciones (800 m), estando las máximas hacia el este y sureste del área, donde se localizan las comunidades de Boquerón y Los Ciegos. Las alturas mínimas (280 m) están ubicadas hacia el oeste donde se localiza la comunidad de La Güira. En la Figura 3 se muestran las máximas elevaciones del área, a través del modelo digital del terreno (MDT) en 3D que refleja las irregularidades del terreno de Beltrán. Con base en los rangos de altitudes más utilizadas en Cuba, presentados en la Tabla 2 (Díaz et al., 1986), se realizó una clasificación altimétrica de la zona que permitió definirla como de relieve ondulado que va desde alturas grandes ubicadas al oeste (280 m) hasta montañas pequeñas ubicadas al sureste (800 m).



Foto 1. Deslizamiento del tramo de la carretera de La Güira a Boquerón (Sector a).



Foto 2. Destrucción de la carretera de La Güira a Boquerón por un deslizamiento (Sector b).



Foto 4. Escarpe principal del deslizamiento en el Zoológico de Piedra.

CATEGORÍA DEL RELIEVE	PISO ALTITUDINAL	
	Montañas	2 000 - 1 500
1 500 - 1 000		Montañas bajas
1 000 - 500		Montañas pequeñas
500 - 300		Submontañas
Alturas	300 - 200	Alturas grandes
	200 - 120	Alturas medias
	Menores de 120	Alturas pequeñas
Llanuras	120 - 80	Llanuras altas
	80 - 20	Llanuras medias
	Menores de 20	Llanuras bajas

Tabla 2. Resumen de la clasificación altimétrica del relieve, en pisos altitudinales y sus categorías (tomada de Díaz et al., 1986).

Disección Vertical y Red Fluvial

Los máximos valores de disección vertical se localizan hacia el sureste con valores mayores que 300 m/km². Los mínimos valores de disección vertical (Figura 4) se localizan hacia el oeste y norte del área con valores muy bajos en el rango de (50 - 150 m/km²). En las zonas montañosas cuando ocurren las lluvias en las partes más altas, existe un fenómeno de escorrentía a través de la red fluvial hacia los lugares más bajos donde se acumulan las aguas en los valles de inundación. Los ríos que se encuentran dentro del área son el Hondo que corre en dirección W y el Yateras que corre en dirección E. La red del drenaje se clasifica como radial.

Zonación por criterios pasivos

Después de haber realizado el análisis geomorfológico del área y la clasificación del relieve, se realizó una zonación de acuerdo a los criterios pasivos, donde intervienen el relieve y las características geológicas existentes en el área. El relieve es factor que influye en la ocurrencia de los deslizamientos y desprendimientos; tienen importancia significativa su forma y los valores de las pendientes. En el primer caso la forma del relieve determina la ocurrencia o no del fenómeno, esto es, en un relieve llano o suavemente ondulado no se producen deslizamientos y se producen con mayor frecuencia en relieves premontañosos y montañosos. En relación con las pendientes, las suaves (0-10 grados) no favorecen su ocurrencia, siendo más susceptibles a partir de los 10 grados y alcanzan su máximo valor de susceptibilidad a partir de los 30 grados.

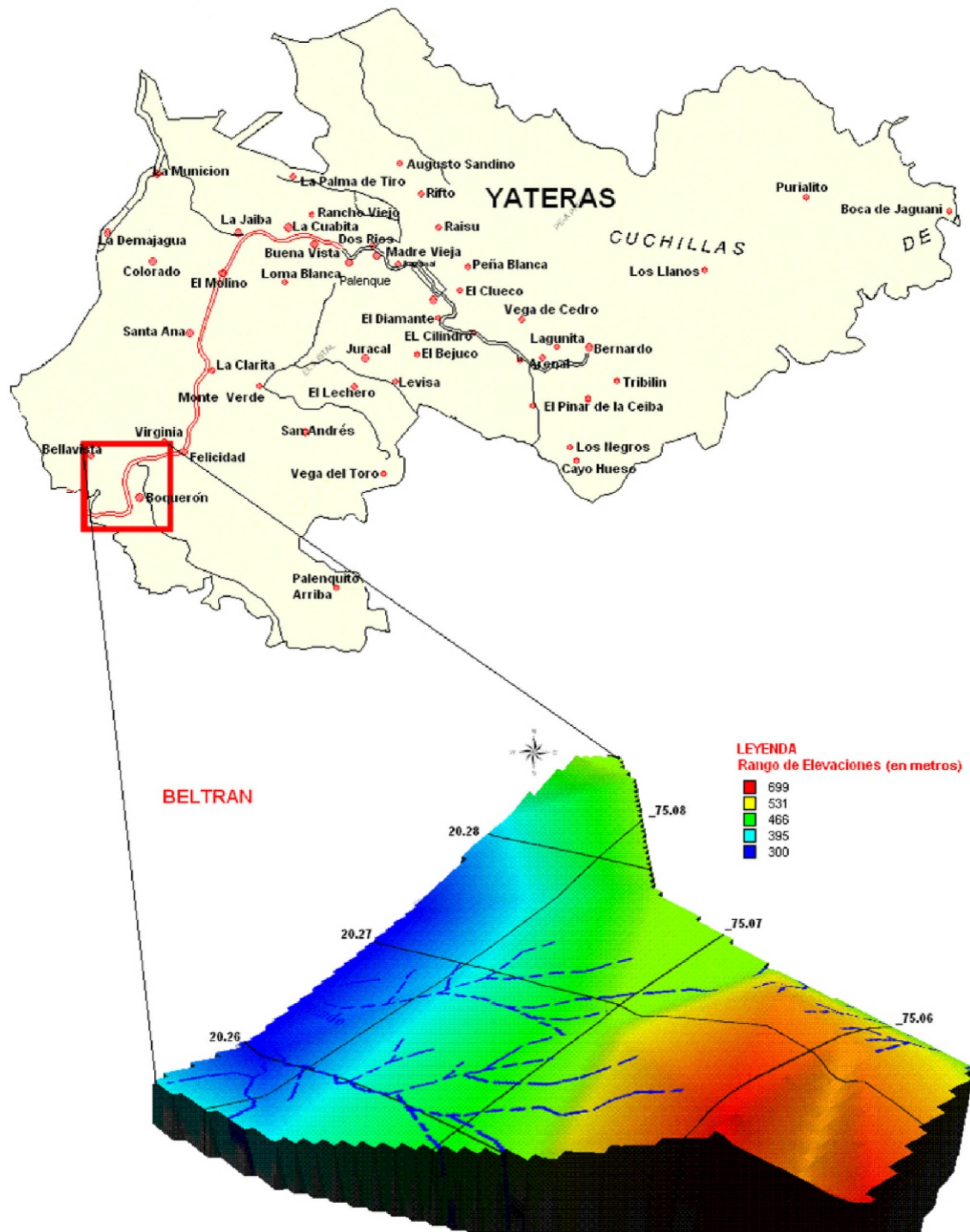


Figura3. Modelo Digital del Terreno (MDT) en 3D del área de Beltrán con el trazado de la red fluvial.

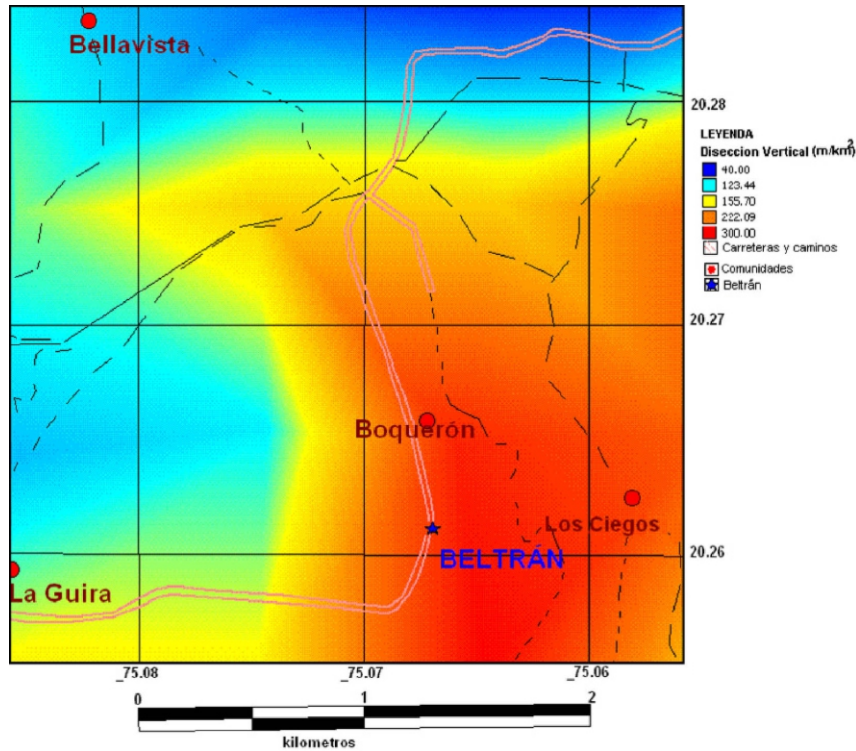


Figura 4. Mapa de disección vertical del área de estudio, con el trazado de las carreteras y vías secundarias de comunicación.

Geológicamente, la litología, el grado de alteración o de intemperismo, así como el agrietamiento, son los factores más importantes. Los planos de estratificación también son importantes en la ocurrencia de los deslizamientos, ya que constituyen discontinuidades en el macizo, que favorecen la ocurrencia de deslizamientos.

Para la zonación utilizamos la clasificación siguiente: Muy Favorable, Favorable, Poco Favorable.

BELTRÁN: Favorable. Caracterizado por un relieve montañoso de grandes elevaciones que varían entre los 280 y 800 metros sobre el nivel del mar. Aquí se calcularon las pendientes; los valores más bajos de pendiente se concentran hacia el W con valores que oscilan entre 6 y 9°; hacia el E los valores de las pendientes oscilan

entre los 10 y 30°; los máximos valores de disección vertical que se obtuvieron fueron de 300 m/km². La litología (Figura 5) es favorable para que se produzcan deslizamientos pues existen intercalaciones de areniscas, arcillas y margas con intercalaciones de calizas biodetríticas de la Formación Maquey (P3 -- N1) mq del Oligoceno-Mioceno Inferior.

Zonación por criterios activos

Para realizar la zonación por criterios activos utilizamos el método de "Criterio magnitud - distancia recomendado", propuesto por el TC-4 (ISSMGE, 1999); este método tiene en cuenta a los sismos y las precipitaciones como agentes catalizadores de los deslizamientos; consideramos que la precipitación es el agente más importante catalizador de este fenómeno geológico en el área de estudio (Figura 6)

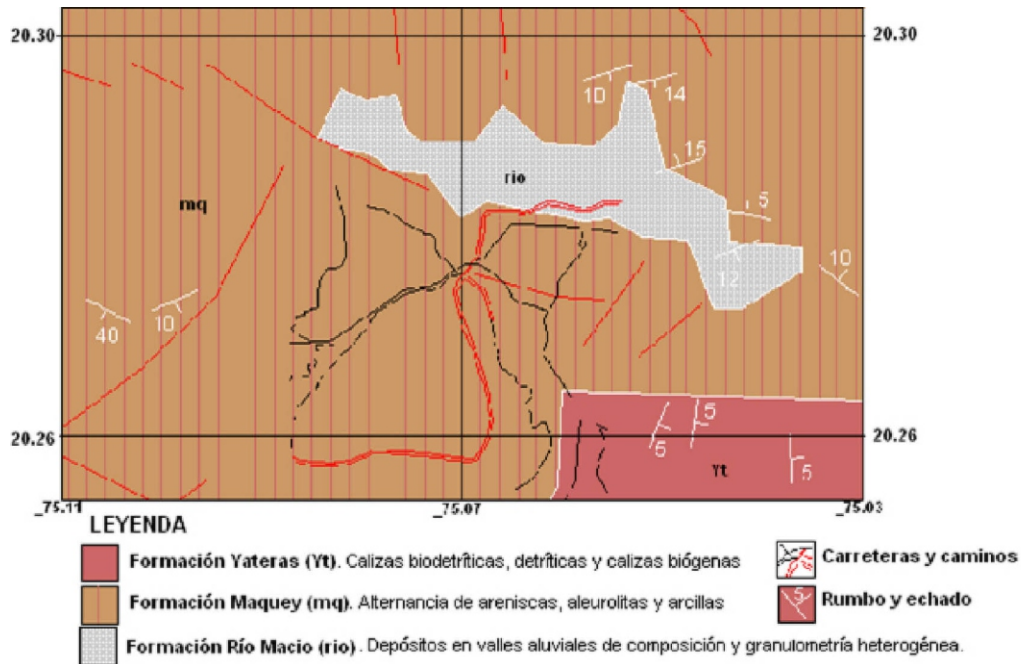


Figura 5. Esquema geológico del área de Beltrán. Tomado del IGP, 2003. Trazado de la carretera (doble línea en rojo) y vías secundarias de comunicación (líneas en negro).

Clase 1: Máxima distancia epicentral de fallo destructivo de taludes.

Clase 2: Máxima distancia epicentral de fallo de taludes.

En la Tabla 3 se presentan las principales Zonas Sismogeneradoras que afectan al municipio de Yateras y la máxima distancia de fallos de taludes según la magnitud máxima esperada (Ms). En el área existen otras zonas sismogeneradoras, pero no se evalúan porque su magnitud no influye en los deslizamientos, que ocurren cuando la magnitud es mayor que 5.

Aunque no se muestra un mapa de epicentros, la distancia epicentral al sitio Beltrán es 115 km a partir de la principal zona sismogeneradora.

Susceptibilidad del área a los deslizamientos

Para la clasificación de la susceptibilidad empleamos cuatro criterios: pasivo, activo, memoria histórica y el obtenido en los recorridos de campos efectuados en noviembre (2006) y enero (2008). Este último nos permitió conocer el estado actual del área, las rocas, el agrietamiento y la erosión, entre otros factores. Se observaron grandes grietas transversales localizadas en la zona que ocupara el escarpe principal, grietas de cizallamiento; la superficie de ruptura en el área de los deslizamientos, es un elemento fundamental que permite su clasificación; en este caso, las superficies son curvas, cóncavas, que corresponden a deslizamientos rotacionales.

ZS	M _{máx}	Clase 1	Clase 2
Sabana	7.0	18	120
Purial	6.5	11	78
Oriente 3	7.6	33	190

Tabla 3. Principales zonas sismogeneradoras y máximas distancias de fallo de taludes, las clases en km., la M_{máx} magnitud en (Ms) y ZS son las zonas sismogeneradoras.

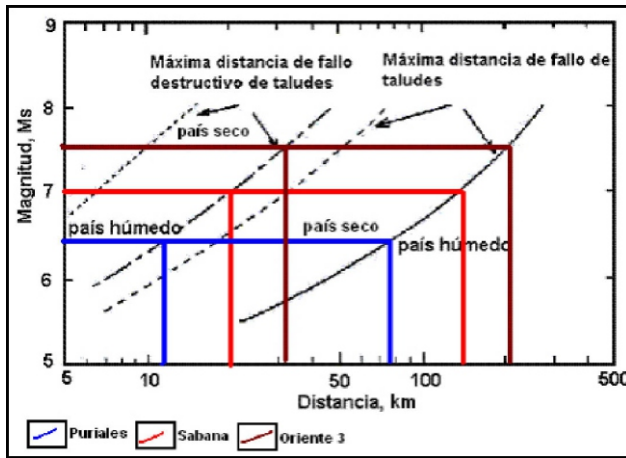


Figura 6 Curvas propuestas en el método criterio magnitud - distancia recomendado (tomado de TC-4, 1999).

Clasificación de la susceptibilidad a los Deslizamientos

- Susceptibilidad alta: Favorable, Clase 1 y condiciones malas de estabilidad.
- Susceptibilidad media: Favorable, Clase 1 y condiciones buenas de estabilidad.
- Susceptibilidad baja: Favorable, Clase 1 y condiciones muy buenas de estabilidad.

Beltrán presenta alta susceptibilidad a los deslizamientos por estar dentro de la categoría de Favorable por el criterio pasivo, tiene malas condiciones de estabilidad por su geología y se ubica en la clase 1 por los criterios activos.

Para la determinación del sector de mayor peligro geológico por deslizamientos, fue necesario realizar un análisis de todas las capas de información, auxiliándonos con la herramienta del GIS (Figura 7).

Se propone (Figura 8) el sector de mayor peligro geológico por deslizamiento, donde se encuentran los máximos valores de pendiente, de disección vertical y de altitudes.

Cuando se realizó el trazado de la carretera que une a las comunidades de La Güira con Boquerón no se tuvo en cuenta que el relieve predominante en este sector es montañoso. Se cortó la ladera, por consiguiente, se rompieron las condiciones de equilibrio existente, las condiciones del drenaje natural, la pendiente natural formada por los procesos denudativos de erosión, fundamentalmente producto de las altitudes del área. Bajo esas nuevas condiciones puede ocurrir un incremento en la frecuencia de los movimientos gravitacionales e incluso pueden reactivarse antiguos deslizamientos que habían alcanzado el estado de reposo.

La ocurrencia de estos deslizamientos en el área ha provocado impactos negativos:

- Deterioro paisajístico.
- Riesgos para el tránsito.
- Evacuación de pobladores hacia zonas más seguras.
- Vida útil corta de la carretera, lo que obligó a construir otras vías de acceso; el camino utilizado está afectado por la erosión, existe presencia de grandes surcos.
- Continúa el peligro por deslizamiento de tierra en las pendientes pronunciadas, con el consiguiente perjuicio para la infraestructura y la utilización de la tierra.

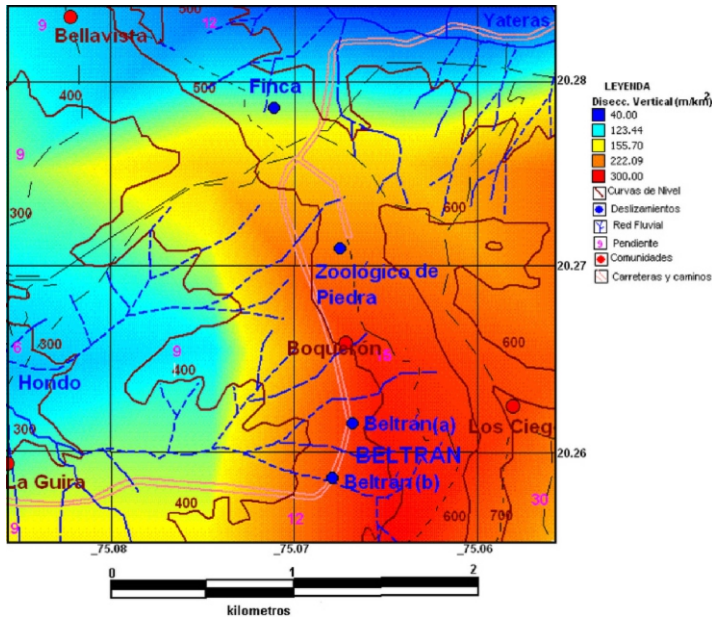


Figura 7. Múltiples capas de información sobre el área de Beltrán.

CONCLUSIONES

1. El relieve que caracteriza el área, de acuerdo con las altitudes, es ondulado, que va desde la categoría de alturas grandes ubicadas al oeste (280 m) hasta la categoría de montañas pequeñas ubicadas al sureste.
2. El área de Beltrán posee alta susceptibilidad a los deslizamientos.
3. El trazo y construcción de la carretera fueron realizados sin tener en cuenta las características del relieve.
4. Se identificó el sector de mayor peligro geológico por deslizamiento.
5. Los principales impactos detectados por la ocurrencia de los deslizamientos en el área están relacionados con el paisaje, con el riesgo para la circulación y con la evacuación de pobladores hacia zonas más seguras, además de acortar la vida útil de la carretera.

Recomendaciones

Se recomienda que el nuevo trazado del tramo de la carretera afectada, se realice sobre un área de menor susceptibilidad al deslizamiento. En la construcción de la nueva carretera consideramos importante proponer algunas medidas ingenieriles para mejorar la estabilidad del área:

- Teniendo en cuenta que el material de la zona es arcilloarenoso, es necesario sustituir, al construir la explanación, este material por suelos granulares, ya que cuando el contenido de arcilla es alto, estos suelos son menos estables en estado húmedo.
- Pueden construirse muros de contención cimentados sobre material con capacidad resistente para lo cual se recomienda realizar estudios detallados propios de la ingeniería geológica que permitan ubicar el estrato resistente.
- Eliminar la capa vegetal y construir mediante excavadora, buldózer o moto niveladora, escalones en la ladera, con el objetivo de sustituir la insuficiente resistencia contra el desplazamiento sobre la superficie de la ladera.
- Construir sistemas de drenaje adecuados para la evacuación de las aguas superficiales; dichas alcantarillas deben ser de tubos prefabricados que garanticen la unión entre las piezas, así como con la losa de asiento.

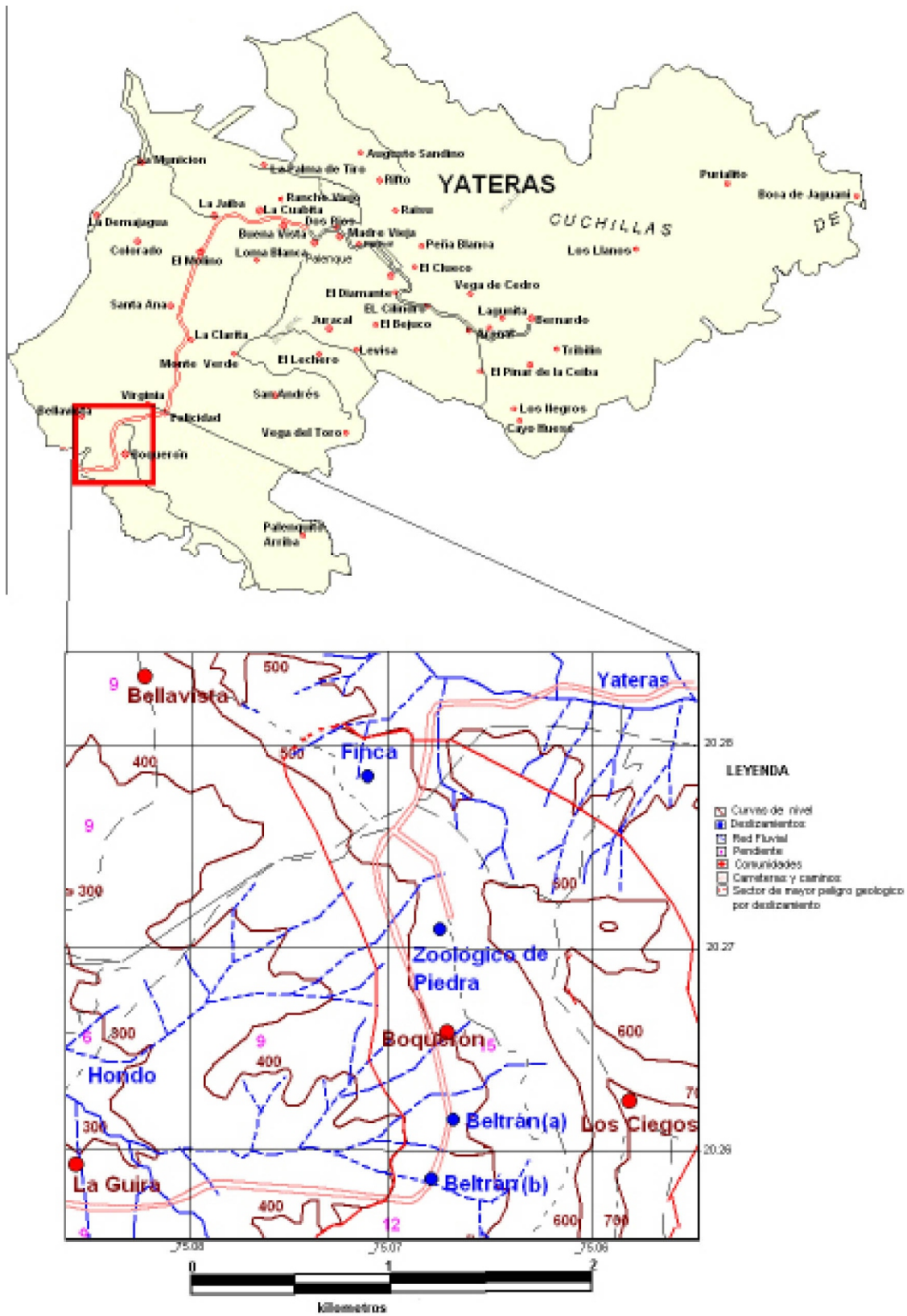


Figura 8. Sector (línea roja) interpretado como de mayor peligro geológico por desplazamiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI) y la Delegación Territorial del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA) de Guantánamo, para la realización de este trabajo. También a los dos árbitros y editor de la revista, por las oportunas sugerencias realizadas al artículo.

Bibliografía

- Arango, E., 1996. Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las Placas de Norteamérica y el Caribe. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
- CMP Guantánamo, 2008. Datos climáticos medios anuales de 3 sitios de la carretera Guantánamo - Yateras. Centro Meteorológico Provincial Guantánamo.
- Chuy, T. J., 1999. Macrosísmica de Cuba y su utilización en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica. Tesis de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del MES y CENAI.
- Díaz Díaz, J. L., J. R. Hernández Santana, A. H. Portela Peraza, A.R. Magaz García y P. Blanco, 1986. Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la región centro oriental de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Geografía, La Habana, 60 pp.
- Escobar, E., Guasch, F., Villalón, M., Bársana, A., Rosabal, S., Oliva, R., Gómez, J., Delgado, R., Mesa, A., 2006. Informe Preliminar sobre el deslizamiento de tierra ocurrido en la localidad de Beltrán, municipio Yateras, provincia Guantánamo en Noviembre del 2006. Reporte técnico en Fondos del CENAI y Delegación CITMA Guantánamo, 6pp.
- Escobar, E., 2007. Peligros por deslizamientos. II Convención Cubana de la Ciencias de la Tierra.
- IGP, 2003. Mapa geológico digital de la región Oriental de Cuba, escala 1:100 000. Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS.
- Mora, S. and Vahrson, W., 1994. Macrozonation methodology for landslide hazard determination, Bulletin International Association Engineering Geology. Vol. XXXI, No.1, p.49-58.
- Mora, S. y Vahrson, W., 1993. Mapa de amenazas de deslizamiento en la región central de Costa Rica, Escala 1:200000, CEPREDENAC – Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Periódico Granma, 1993. Información de la Defensa Civil sobre intensas lluvias en la Zona Oriental del país, 25 de Noviembre de 1993.
- Rodríguez, A., 1991. Manual de Geomorfología. Instituto Superior Minero Metalúrgico: 1987.
- SSNC, 2007. Base de Datos del Servicio Sismológico Nacional de Cuba. Fondos del CENAI – CITMA, Santiago de Cuba.
- TC-4, 1999. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering. The Japanese Geotechnical Society, 219pp.
- Zapata, J.A., Rosabal, S. Y., Escobar, E. y Gómez, J. F., 2008. Análisis de los principales factores naturales y antrópicos que catalizan e inciden en la ocurrencia de deslizamientos en la zona de Beltrán (municipio Yateras). Tarea técnica presentada por el CENAI a CITMA Guantánamo. Enero/2008. 3pp.

Recepción del manuscrito: 24 de febrero de 2009
Aceptación del manuscrito: 23 de septiembre de 2009