

Evaluación del peligro de ocurrencia de movimientos gravitacionales en la provincia Guantánamo, Cuba.

Evaluation of occurrence hazard of gravitational movements in the Guantánamo provinces, Cuba.

Autores: MSc. Yusmira Savón-Vaciano¹, MSc. Alfonso Mesa-Romero ², Lic. Leysi Castillo-Croissiert ², Lic. Marlo Ané-Odilio², Dr. C. José Manuel-Cordovéz².

Organismo: Centro Meteorológico Guantánamo, *Guantánamo*. Cuba¹. Órgano de Montaña Nipe – Sagua – Baracoa. Limonar de Monteruz, El Salvador. Guantánamo. Cuba².

E-mail: yusmira.savon@gtm.insmet.cu, amariok@orgmon.gtmo.inf.cu

Resumen.

Mediante este trabajo se realizó una evaluación del peligro que generan los movimientos gravitacionales en la provincia Guantánamo, se utilizó la metodología elaborada por el grupo de expertos, mediante el método de suma ponderada de factores; se empleó el mapa isoyético de lluvias máximas de 60 años para obtener un modelo digital de lluvias, se consideraron los factores geológicos, geomorfológicos, edafológicos, de uso de suelo y red vial. Como conclusión final se constató que la provincia de Guantánamo, muestra alta susceptibilidad a la ocurrencia de eventos gravitacionales que potencialmente pueden generar impactos importantes sobre las personas y la infraestructura. El peligro de ocurrencia está relacionado con la geografía compleja y por la complejidad litológica y estructural de su geología como factores condicionantes y a las precipitaciones como principal factor detonante. Los municipios San Antonio del Sur, Baracoa, Yateras y Maisí presentan los valores más altos de peligro.

Palabras clave: movimientos gravitacionales; evaluación de peligro.

Abstract.

In this work it realized an evaluation of hazard that generated the gravitational movements in the Guantánamo provinces, the methodology elaborated by expert group utilized the method of sum pondered of factors. We used the map of maximum rains of 60 years to get a digital model from rains used the map itself, they considered the geological factors, geomorphologic, edaphologic, of use of ground and highway system. As final conclusion became verified than the province of Guantánamo show elevated values of susceptibility to the incidence of gravitational events that potentially they can generate important impacts on people and the infrastructure. The hazard of occurrence is related to the complex geography and for complexity litológica and structural of his geology like contributing factors and to the precipitations like principal detonating factor. The San Antonio del Sur municipalities, Baracoa, Yateras and Maisí present the higher values of hazard.

Keywords: gravitational movements; evaluation of hazard.

Introducción.

Los fenómenos de movimientos gravitacionales, constituyen uno de los riesgos geológicos más relevantes relacionados con los procesos geodinámicos exógenos que ocurren en Guantánamo. Hay que entender a los procesos de movimientos en masa o gravitacionales como el desplazamiento de materiales en una ladera o talud impulsados por su propio peso (el principal factor es la fuerza de gravedad) así como por otros factores que favorecen el inicio del movimiento (Aristizábal y Gómez, 2007).

La provincia Guantánamo se ubica en la parte más Oriental de Cuba y limita al Norte con la provincia Holguín, al Sur con el Mar Caribe, al Oeste con la provincia Santiago de Cuba y el Este con el Paso de los Vientos.

La población en la provincia Guantánamo, según la ONE, es aproximadamente 507358 habitantes, distribuida en diez municipios: Guantánamo, Manuel Tames, Niceto Pérez, Imías, Yatera, El Salvador, Baracoa, Maisí, San Antonio del Sur y Caimanera.

Guantánamo se caracteriza por tener uno de los relieves más vigorosos del país y donde parte de su territorio lo conforma el macizo montañoso Nipe-Sagua Baracoa, el cual constituye uno de los paisajes más bellos e importantes de Cuba.

En la zona de estudio los principales mapas geológicos de la región son de tipo regional que solo permiten establecer pronósticos primarios. Debido a la evolución geológica de la zona de estudio (Provincia Guantánamo), se tiene que las rocas más antiguas han estado más expuestas a distintos procesos tectónicos que han afectado la calidad de los macizos rocosos. La zona de estudio es muy compleja desde el punto de vista estructural debido a la ocurrencia en el tiempo geológico de un conjunto de episodios tectónicos que se han superpuesto y han afectado considerablemente la distribución de los complejos rocosos que afectan las propiedades geotécnicas de las rocas presentes, como se muestra en la figura I.

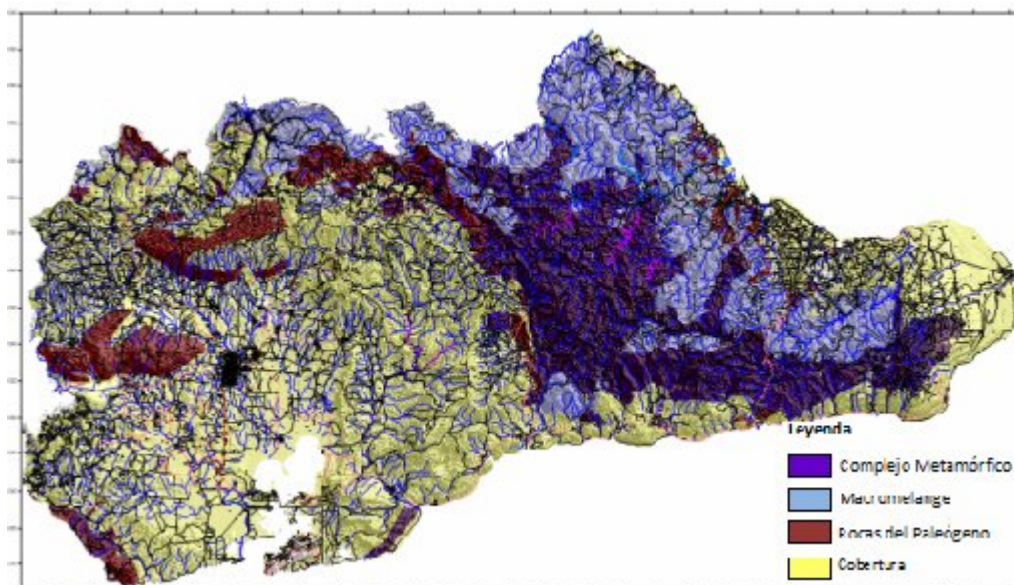


Figura I. Mapa de las rocas del Basamento y la Cobertura en la Provincia Guantánamo.

Los procesos de movimientos gravitacionales en el área de estudio, están relacionados con el factor precipitación, ya que la presencia de grandes cantidades de agua durante los períodos de elevada e intensa precipitación facilita la inestabilidad de las laderas y taludes. Otros factores que favorecen la susceptibilidad a la ocurrencia de estos fenómenos en la provincia son: las condiciones propias de la geología y el clima. Zona tropical con variedad de tipos litológicos y por tanto variabilidad en los tipos y espesores de suelos, una de las zonas de mayor precipitación de Cuba, Cordovéz, M., et al. (2012).

Lluvia máxima hiperanual (lluvias intensas)

Ocurren dos tipos principales de precipitaciones:

Precipitaciones de origen convectivo

Las precipitaciones convectivas son originadas debido al ascenso de las masas cálidas de aire a las capas altas de la atmósfera, y a su posterior condensación. Las precipitaciones convectivas son de carácter de aguaceros, y su intensidad puede ser muy variable. Estudios realizados en Cuba, (Kochiashvili 1972), han demostrado que durante los aguaceros de origen convectivo, la cantidad de precipitaciones caídas no deben sobrepasar los 200 mm.

Los aguaceros de mayor intensidad están relacionados con el paso de los ciclones sobre el territorio de Cuba o con las barreras orográficas, que aumentan la convección de las masas de aire de los ciclones que pasan cerca de Cuba.

Una de las particularidades de las lluvias torrenciales consiste en que su intensidad es variable en el tiempo, así entre la intensidad de las lluvias torrenciales y su duración existe una relación inversa; con el aumento de la duración de la lluvia disminuye su intensidad. Una característica interesante de estas lluvias es que pueden producirse estos acumulados de dos formas, una por lluvias muy intensas con una duración de varias horas, y otras por lluvias no tan intensas como las anteriores, pero de una mayor duración.

Precipitaciones de origen ciclónico

Las lluvias de mayor intensidad tienen lugar durante el paso de los ciclones tropicales. Estos abarcan territorios relativamente pequeños (sus diámetros oscilan generalmente de 80 a 500 Km) y son acompañados por huracanes y lluvias torrenciales muy fuertes.

La región Oriental ocupa uno de los últimos lugares en cantidad de ciclones. Sin embargo las mayores láminas diarias de precipitaciones fueron registradas, precisamente en esta región. La cantidad máxima de precipitaciones en Cuba se registró durante el ciclón Flora en la antigua provincia de Oriente. La cantidad total de precipitaciones durante 4 días sobrepasó notablemente la norma anual. Dentro de los datos recogidos los más fidedignos corresponden al pluviógrafo No 288 Macuba. Este pluviógrafo registró todo el paso de la lluvia durante el ciclón, En todo el período de lluvias (93 horas) cayeron 1840 mm, y durante 24 horas, 684 mm.

Los valores mayores de escurrimiento ocurren en el mes de junio y octubre. Luego del período seco de enero-marzo; las lluvias de mayo hacen aumentar la humedad del suelo gradualmente

lo que provoca que estos vayan perdiendo parte de su permeabilidad con un mínimo en junio; los escurrimientos son mayores aunque la lluvia es un tanto menor.

Movimientos gravitacionales de la provincia Guantánamo.

En la historia de los movimientos gravitacionales en la Provincia Guantánamo se recogen un conjunto de evidencias importantes que muestran las principales zonas donde estos eventos han tenido mayor incidencia. El deslizamiento más relevante en el territorio es el de Beltrán, municipio Yateras (**figura 2**), En la zona de Sabana del Soldado, del municipio El Salvador (figura 3), es frecuente la ocurrencia de deslizamientos y movimientos en masa principalmente en suelos y corteza de meteorización. En este caso ha ocurrido un deslizamiento en cuña, **Almaguer 2005**



Figura 2. Deslizamiento Beltrán 2011



Figura 3. Deslizamiento de Sabana del Soldado.

En la zona costera y en las terrazas marinas es frecuente la ocurrencia de movimientos gravitacionales (Castellanos, 2000). Aquí los procesos son provocados por la pérdida de estabilidad de las rocas carsificadas, el impacto del oleaje, la erosión del viento y la actividad de las precipitaciones. Todas estas condiciones provocan gran variedad de movimientos gravitacionales tales como: caída de bloques, flujos en los materiales friables, vuelcos y deslizamientos. Algunos tramos de carreteras cercanas a la costa pudieran ser afectadas por la caída de bloques. Deslizamientos importantes por el área afectada han ocurrido en el escarpe de Puriales de Caujerí. Otros movimientos también ha tenido impacto en la carretera La Farola, en vía Mulata.

Desarrollo.

Materiales y métodos

Para determinar la influencia de las precipitaciones en los movimientos gravitacionales, se utilizó una serie de datos meteorológicos de la red de estaciones meteorológicas en la provincia. Para caracterizar las precipitaciones se empleó el Mapa isoyético de 60 años, Fernández, N. y Maximova, O., (1992), con el que se realizó el Modelo digital de lluvia con paso 50 x 50 m. Desde el punto de vista temporal se realizó el análisis con el pluviómetro 340 en el periodo 1931-1999, por ser el de mayor registro continuo de la lluvia y ser representativo de la zona de mayor cantidad de precipitaciones.

Para el análisis de la susceptibilidad de las laderas y taludes ante la ocurrencia de movimientos gravitacionales se utilizó la metodología elaborada por el grupo de expertos convocados por AMA para determinar peligro utilizando el método de suma ponderada de factores, se tienen en cuenta un conjunto de factores que hacen factible la ocurrencia de este tipo de fenómeno y posteriormente se realizó la suma ponderada de factores mencionados, presenta la limitación que no incluye el tipo de fallo en el análisis, lo cual puede llevar a incertidumbres importantes. A continuación se relacionan brevemente los mismos:

Factores Geológicos: se definieron las principales formaciones geológicas que tienen un comportamiento geomecánico diferenciado y el referido a la utilización de la densidad de zonas de debilidad estructural.

Factores Geomorfológicos: se introdujo una corrección al uso solamente del mapa de dirección de máxima pendiente (Dirección de taludes y laderas)

Factores Edafológicos: se utilizó el mapa de suelos según la clasificación SUCS ya que se adapta de mejor a los criterios ingeniero-geológicos que la original de corte edafológico más útil en la agricultura.

Factor uso de la tierra: se procesaron las imágenes de los años 1985 y 2008 utilizando el índice de vegetación normalizado para ambos momentos y mediante resta de imágenes se obtuvo el modelo de cambio de uso para zonas de pendientes mayores de 10 grados que son las más susceptibles a que ocurran los fenómenos analizados.

Factor red vial: se utilizó la capa de viales principales entregados por vialidad de la provincia y en el caso de los caminos secundarios se utilizó la información de la red cartográfica de GEOCUBA.

El mapa de peligro se obtuvo utilizando la combinación de la información y considerando las precipitaciones como elemento fundamental de disparo y se analizó la exposición de este elemento de cada uno de los municipios. El resultado final obtenido fue la reclasificación con el objetivo de evaluar el grado de fiabilidad del modelo y determinar el umbral de zonas de peligros de bajo-moderado y de moderado-alto, de forma similar se realizó para el caso del modelo de susceptibilidad.

Resultados y discusión

Según el Mapa isoyético los mayores valores de precipitación, que superan los 3400 mm, ocurren en las zonas más elevadas del terreno y mínimas de 960 mm al Sur de la zona de estudio, presentando los valores más bajos en el Sur, en una extensa y fina faja que bordea la costa, con valores medios hiperanuales que pueden ser inferiores a los 400 mm.

En análisis pluviométrico, (figura 4), se aprecia que existen fluctuaciones en el régimen de precipitaciones en la zona; con máximos en los años (1940-1941) y (1966-1967) y mínimos en los años 1952 y 1999. Aunque se aprecian fluctuaciones con mayor frecuencia, en sentido general, existe una tendencia bien definida a la disminución de las lluvias a partir de 1966 sin evidencias sostenidas a que se invierta esta tendencia.

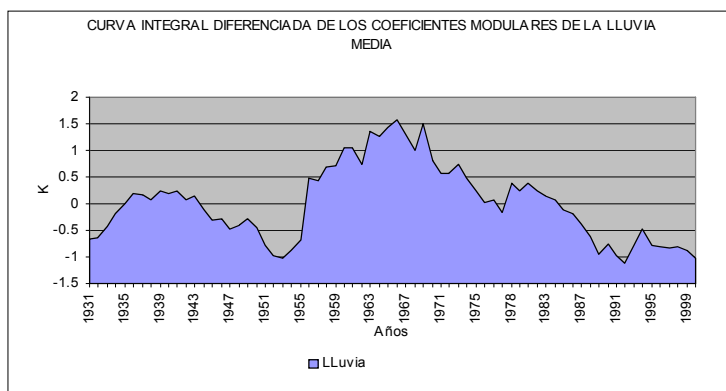


Figura 4. Curva integral de los coeficientes modulares de la lluvia media

Con el objetivo de evaluar la susceptibilidad a la ocurrencia de lluvias intensas se utilizó el mapa isoyético de las lluvias máximas diarias del 1% de probabilidad confeccionado en el año 1995 con series de observación entre 30 y 60 años. Para la actualización del mismo hasta 2015 para la zona de estudio.

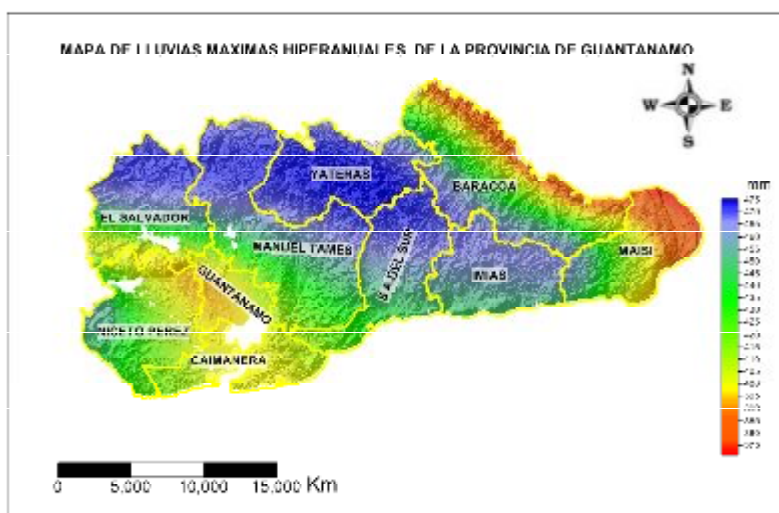


Figura 5. Mapa de lluvia máxima hiperanual 60 años

El análisis del mapa obtenido demuestra que en la provincia Guantánamo pueden ocurrir aguaceros de alta intensidad sobre todo en la zona norte, en los municipios Yateras, Imías, San Antonio de Sur sobretodo en la parte alta, El Salvador y Baracoa en la parte alta. Los aguaceros menos intensos se producen principalmente al sur de los municipios: Manuel Tames, Guantánamo, Niceto Pérez y El Salvador (Figura 5).

Los métodos más completos, efectivos y de uso mundial para la estimación de los umbrales de disparo por lluvias extremas se basan en información pluviográfica para la obtención de curvas de intensidad versus duración. En algunos otros casos, se utilizan umbrales de intensidad & duración en combinación con los umbrales de lluvia acumulada para 3 y 15 días, Baum and Godt, 2009. Invariablemente, los umbrales se estiman estadísticamente correlacionando la hora y fecha exacta de la ocurrencia de cada deslizamiento en el inventario histórico y los datos pluviográficos de la lluvia en el día de la ocurrencia y días precedentes. En la zona de estudio se

decidió realizar la combinación de la información de deslizamientos foto-identificados y los valores de precipitaciones máximas y medias hiperanuales.

Se parte de la hipótesis de que los movimientos de laderas ocurren generalmente después de lluvias intensas y/o de grandes acumulados (Lumb, 1975). Se realizó el análisis cruzando la información de deslizamientos conocidos (posición), con respecto a los valores de lluvias máximas hiperanuales y medias hiperanuales en líneas anteriores analizadas (**figura 6**). Los movimientos conocidos se evaluaron a partir de la interpretación de los paleo-deslizamientos interpretados en las imágenes aéreas. Se determinaron tres cluster fundamentales.

Cluster Azul: está relacionado para zonas con valores bajos de lluvia media y altos de lluvia máxima. Cuando ocurren aguaceros intensos se disparan estos eventos. Principalmente coincide con rocas de la cobertura o en zonas de suelo o corteza de meteorización potentes.

Cluster Marrón: ocurren eventos con valores medios de lluvia hiperanual de 2200mm y de lluvia máxima de 410 mm aproximadamente. Estos eventos ocurren en suelos más o menos potentes y con menos probabilidad en rocas. Es un cluster que muestra mayor variabilidad. En estas zonas es probable que el mecanismo esté relacionado con el aumento de la carga en el talud y ladera por lo que debe coincidir más con períodos más o menos prolongados de lluvia aunque no de tanta intensidad.

Cluster Magenta: ocurre con valores altos de precipitación media y máxima, está relacionada con los eventos extremos en la zona de estudio. Por lo general ocurren en zonas donde afloran las rocas y suelos o corteza de meteorización de menor potencia.

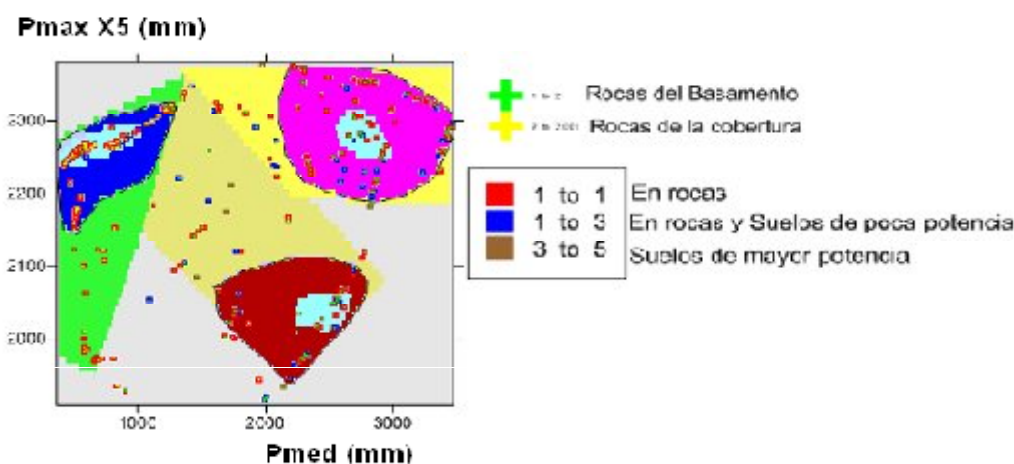


Figura 6. Análisis cluster que relaciona la lluvia máxima y media hiperanual con la ocurrencia de movimientos gravitacionales en la Provincia Guantánamo.

El mapa de susceptibilidad obtenido muestra las zonas donde existen las principales condiciones para que se generen este tipo de evento generador de amenaza. Los municipios Baracoa, San Antonio del Sur, Yateras, Imías, El Salvador y Maisí son los que presentan los valores mayores de susceptibilidad coincidiendo con las zonas más altas, donde las pendientes son mayores. Las características de los complejos rocosos, el desarrollo en algunos casos de potentes espesores

de suelo y corteza de meteorización; además de los factores hidrogeológicos y antrópicos (trazado de viales) son los principales responsables de estos valores de susceptibilidad.

La reclasificación del mapa de susceptibilidad obtenido, utilizando la información de deslizamientos históricos, permitió ajustar el umbral de susceptibilidad así como la fiabilidad del mapa obtenido. La potencia de este análisis estriba en que con aproximadamente el 5% del mapa en zonas de susceptibilidad alta, se han descrito más del 60 % de los deslizamientos conocidos. Con menos del 20% del mapa en zonas de susceptibilidad media se han descrito más del 80 % de los deslizamientos conocidos (**Figura 7**).

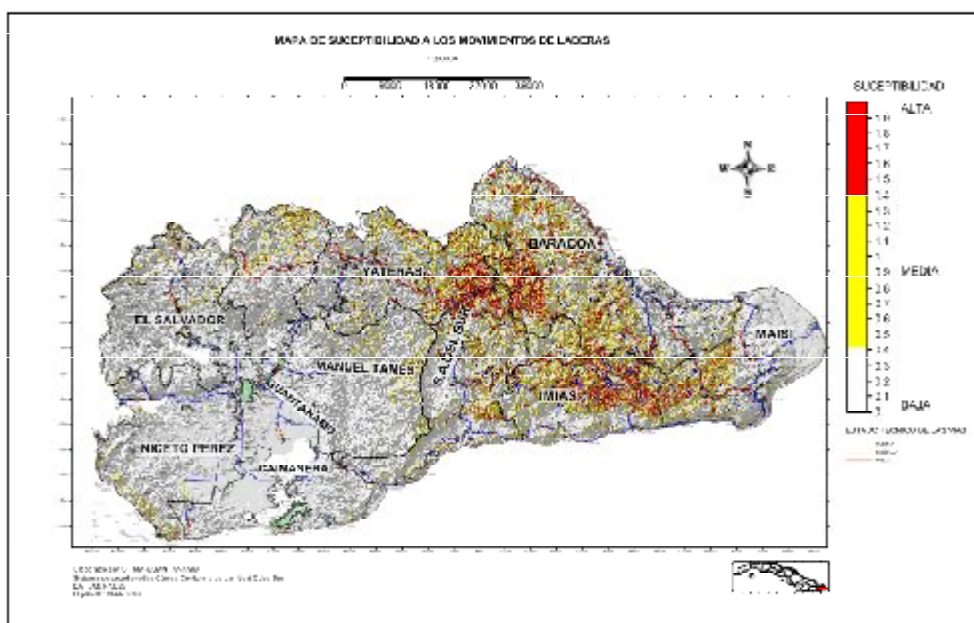


Figura 7. Mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera en Guantánamo.

Para poder transformar el mapa de susceptibilidad a un mapa de peligros es necesario incluir el factor tiempo y el factor exposición. Se analizaron dos elementos disparadores de los movimientos gravitacionales: las precipitaciones y los sismos. Se partió del conocimiento de este tipo de fenómeno en la región y al conocimiento que se tiene de otras zonas del mundo. Este análisis permitió considerar, aunque preliminarmente, el factor temporal en el análisis del peligro. Como resultado final se obtuvo un mapa integrado de las zonas donde el peligro es máximo por ambos tipos de eventos

En el **anexo 5**, se presenta el mapa de peligro a la ocurrencia de movimientos gravitacionales, se le ha superpuesto los principales elementos expuestos de viales e infraestructura construida.

Se determinó la densidad de peligro para cada municipio y consejo popular utilizando la información del área de cada uno de los consejos y el área en zona de peligro media y alto (**Figura 8**).

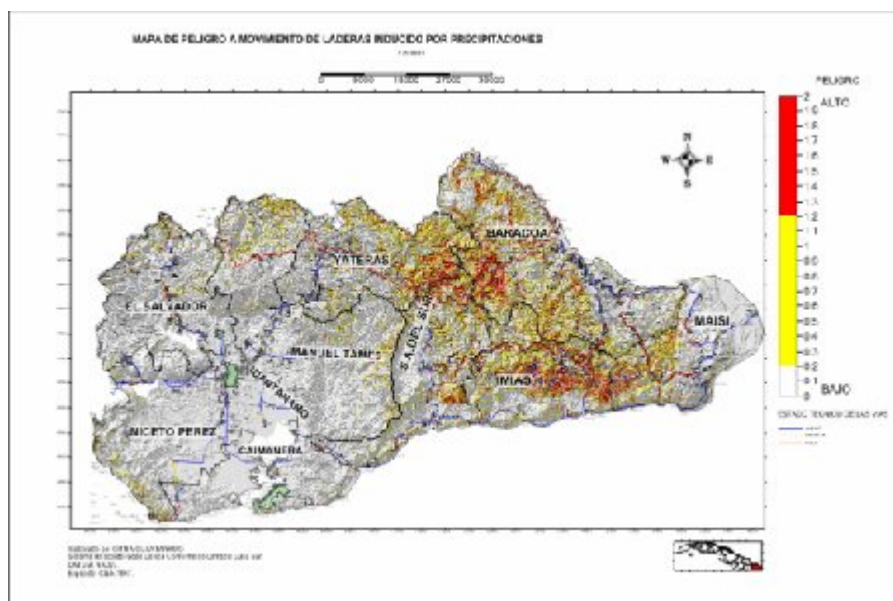


Figura 8. Mapa de peligro a los movimientos de laderas.

Los consejos populares con valores altos de densidad de Peligro son: Vega del Jobo, Viento Frío, Los Calderos, Quibiján, Bernardo y Cabacú. El relieve, la geología y factores como la precipitación son los elementos importantes en el aumento de la susceptibilidad en estas zonas. Hay que destacar que el nivel de exposición es relativamente bajo en casi todos los municipios en Guantánamo, pero con el desarrollo de la montaña, el aumento de la densidad de caminos, incremento del fondo habitacional y de la población, eventos con la misma magnitud e incluso menor de los que suceden hoy pueden producirse impactos mucho mayores; fundamentalmente si se realiza un desarrollo sin tener en cuenta la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos gravitacionales.

Conclusiones.

1. La zona Guantánamo muestra alta susceptibilidad a la ocurrencia de eventos gravitacionales que potencialmente pueden generar impactos importantes sobre las personas y la infraestructura.
2. La alta susceptibilidad está relacionada con la geografía compleja, con un relieve abrupto de grandes pendientes y por la complejidad litológica y estructural de su geología.
3. El principal factor iniciador del proceso en la zona de estudio son las precipitaciones.
4. Los municipios: San Antonio del Sur, Baracoa, Yateras y Maisí presentan los valores más altos de densidad de Peligro y los Consejos Populares: Vega del Jobo, Viento Frío, Los Calderos, Quibiján, Bernardo y Cabacú.

Bibliografía.

Aguilar, V. (2002). *Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos en masa en el eje cafetero*. Colombia. El Valle. Santiago de Cali.

Almaguer, C. (2005). *Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda*. Moa.

Borgas, M., et al. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 12.

- Castellano, E., et al. (2000). Design of a GIS-based System for Landslide Hazard Management San Antonio del Sur.
- Consejo de la Defensa Nacional. (2010). Directiva No. 1 del Vicepresidente del Consejo de la Defensa Nacional. para la planificación, organización y preparación del país para las situaciones de desastres.
- Cordovéz, M., Mesa, A., Savón, Y., Tamayo, L., & Ané, M. (2012). Estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por desastres ante la ocurrencia de movimientos gravitacionales en la provincia Guantánamo. *Órgano de Montaña*, 59.
- Glade, T. (2012). Landslide-triggering rainfall thresholds – a review of concepts and some examples. *Geomorphological Systems and Risk Research*.
- Graciano, S. (2015). *Estimación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en microcuencas de los corregimientos de Villa Restrepo y juntas de la cuenca Combeima Ibagué-Tolima*. Tolima, Colombia.
- Hidalgo, H., E. (2002). *Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa mediante geoprocésamiento con herramientas SIG en la cuenca del río Azufral*. IGAC, Bogotá.
- Huggel, C. (2012). Is climate change responsible for changing landslide activity in high mountains? *Earth Surf. Process. Landforms*, 37, 77–91.
- Massaro, E., & et al. (2011). Particle based method for shallow landslides: modeling sliding surface lubrication by rainfall. *Chaotic Modeling and Simulation*, (1), 147–158.
- Medina-Cetina, Z., & Cepeda, J. (2012). Clasificación probabilística de umbrales de lluvia para predecir deslizamientos de tierra. *Revista Internacional de Desastres Naturales Accidentes E Infraestructura Civil*, 12(1).
- Papa, M. (2013). Derivation of critical rainfall thresholds for shallow landslides as a tool for debris flow early warning systems. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4095–4107.
- Quintas, F. (1989). Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. ISMM. Moa. Holguín.

Fecha de recibido: 11 abr. 2016
Fecha de aprobado: 16 jun. 2016