

Evaluación y cartografiado del peligro por deslizamientos en el municipio de Moa

Yexenia Viltres-Milán
Rafael Guardado-Lacaba

Resumen

La ocurrencia de deslizamientos en el municipio de Moa genera situaciones de amenaza a la industria, las comunidades, las actividades socio-económicas y al medio ambiente. El presente trabajo tuvo el propósito de evaluar y cartografiar, aplicando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el peligro por deslizamiento en el municipio. Como basamento metodológico se utilizó la guía para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos del terreno, elaborada por el Grupo Nacional de Gestión de Riesgos, del año 2012. El resultado fue el mapa de peligrosidad total por deslizamiento del municipio de Moa, a escala 1: 100 000, el cual constituye una herramienta más de gestión y reducción del riesgo en el ordenamiento territorial.

Palabras clave: Gestión de riesgos; cartografía; peligro por deslizamiento; ordenamiento territorial; SIG; Moa.

Landslide risk assessment and mapping of moa

Abstract

The occurrence of landslides in Moa poses a serious threat to the industry, communities, socio-economic activities and the environment. The objective of this research is to assess and map the risks generated by the occurrence of landslides in the area by applying the Geographic Information Systems (GIS). For a methodological guidance, the guideline dated 2012 prepared by the National Risk Management Group was used to conduct the landslide hazard, vulnerability, risk analysis on the ground. As a result, this work produced a map indicating the overall landslide dangerousness in Moa on a 1:100 000 scale. This map is one more risk management and mitigation tool in the territorial organization.

Keywords: Risk management; cartography; landslide risk; territorial organization; GIS; Moa.

1. INTRODUCCIÓN

En Cuba, los Órganos de la Defensa Civil desarrollan programas para evaluar los peligros potenciales que originan los fenómenos naturales. Esta investigación se inserta dentro del programa nacional para la evaluación de riesgos por deslizamientos y tiene el objetivo de evaluar y cartografiar, aplicando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el peligro por deslizamiento en el municipio de Moa.

El municipio de Moa pertenece a la provincia de Holguín (Figura 1). Limita al este con Baracoa, al sur con Yateras, al oeste con los municipios Frank País y Sagua de Tánamo y al norte con el océano Atlántico. El sector de estudio abarca un área de 732,18 km² y forma parte del grupo montañoso Sagua-Moa-Baracoa.

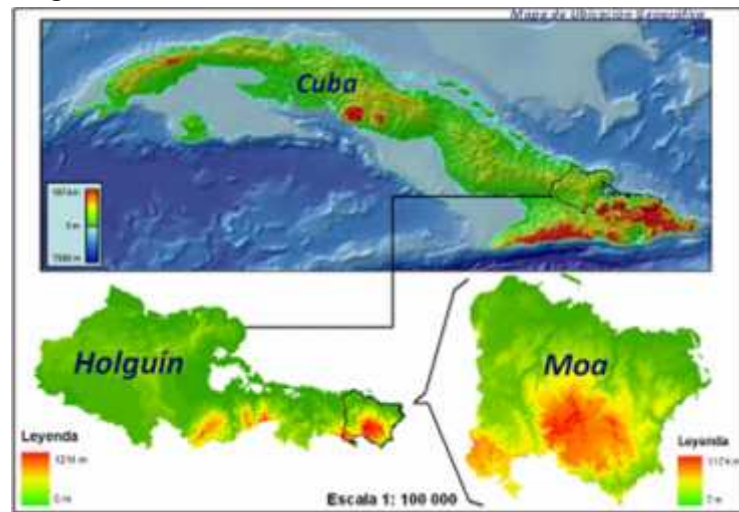


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del municipio de Moa.
Escala 1: 100 000.

Los deslizamientos son procesos geológicos que derriban laderas y taludes, cambiando las configuraciones de estos y dando lugar a la aparición de un relieve específico y a nuevas formas de estructura interior en las acumulaciones de la masa deslizada. Siempre ocurren por una o varias superficies de fallo o resbalamiento.

Las zonas montañosas del municipio de Moa son altamente susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos; factores como el relieve, el clima, las condiciones ingeniero-geológicas, hidrogeológicas, la sismicidad y la acción antrópica favorecen su origen y desarrollo.

El cartografiado de la peligrosidad es de gran valor ya que permite desarrollar proyectos que eviten, prevengan o mitiguen los riesgos de desastres. Esta investigación se centró en la cartografía de peligrosidad

por deslizamientos, tomando como base la valoración ingeniero geológica de áreas potenciales de deslizamiento.

Al diseñar, construir y explotar cualquier tipo de obra es necesario revelar el grado de estabilidad del terreno ante los fenómenos de deslizamiento. El mapa del peligro de deslizamientos identifica las áreas con diferentes grados de peligrosidad según el tipo de movimiento de masas, en laderas o taludes.

Resulta difícil pronosticar en términos absolutos el surgimiento del peligro por deslizamientos. Sin embargo, el suficiente conocimiento de los procesos de deslizamiento permite estimar su potencial de peligrosidad y riesgo. En los últimos 30 años los métodos de cartografiado de peligrosidad por deslizamientos se han desarrollado en diferentes contextos y aplicaciones.

La literatura especializada en el tema reporta dos sistemas de clasificación para los deslizamientos, uno propuesto por Varnes (1978) y otro por Hutchinson (1988). El primero, actualizado por Cruden y Varnes en el "Special Report 247" del Transportation Research Board de los Estados Unidos (1996), es el sistema que se emplea en el presente estudio.

A esta clasificación se han incorporado otros factores como la diferenciación entre los procesos ingeniero-geológicos, señalada por Lomtadze (1977) en su clasificación ingeniero-geológica de los deslizamientos. A pesar de que el término deslizamiento se utiliza para movimientos de ladera que se producen a lo largo de una superficie de deslizamiento bien definida, en la presente investigación se utiliza de forma genérica para cualquier tipo de fallo.

El primer paso en la evaluación del riesgo consiste en estimar la peligrosidad a roturas de laderas (Varnes 1984; Corominas 1987; Hartlén y Viberg 1988) y esta, a su vez, se evalúa por los siguientes aspectos:

1. La susceptibilidad de la ladera a las roturas por deslizamientos
2. El comportamiento del deslizamiento (movilidad y dimensiones del mismo)

La potencialidad del fenómeno (probabilidad de ocurrencia)

2. METODOLOGÍA

Se aplicó la metodología presentada en la Guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgos por deslizamientos de terreno

a nivel municipal del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, elaborada por el Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo, en su versión corregida de enero 2012. Esta metodología permite la interpretación de los distintos factores que inciden en la peligrosidad por deslizamiento y brinda una mejor evaluación de la influencia de la vulnerabilidad dentro de los sistemas de las unidades territoriales de riesgos.

2.1. Identificación de los escenarios de peligrosidad

Se utilizaron tres procedimientos en la evaluación y confección de mapas de peligrosidad del terreno: métodos heurísticos, probabilísticos y geomorfológicos. Los métodos heurísticos permitieron conocer a priori los factores que producen inestabilidad en el área de estudio. Esos factores fueron ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamientos (Carrara et al. 1995). El principal inconveniente radica en que en la mayor parte de los casos, el conocimiento disponible entre los factores ambientales que pueden causar inestabilidad y deslizamientos es inadecuado y subjetivo, dependiendo de la experiencia del experto. Un procedimiento de este tipo es el análisis cualitativo basado en combinación de mapas de factores (Lucini 1973; Bosi 1984; Stevenson 1997). Estos métodos permiten la regionalización o estudio a escala regional y son adecuados para aplicaciones en el campo de los sistemas expertos. El análisis heurístico introduce un grado de subjetividad que imposibilita comparar documentos producidos por diferentes autores.

Los métodos probabilísticos se fundamentaron en las relaciones observadas entre cada factor y la distribución de deslizamientos actuales y pasados (Carrara et al. 1995), aplicándose los modelos estadísticos univariantes y multivariantes. El principal inconveniente en esta investigación fue el costo de la adquisición de algunos factores relacionados con la inestabilidad de laderas. Dentro de este grupo se encuentran los métodos estadísticos y el análisis de frecuencia de deslizamientos. Son métodos indirectos cuyos resultados se pueden extrapolar a zonas distintas para estimar la peligrosidad, con condiciones geológicas y climáticas homogéneas.

Los métodos estadísticos univariantes se utilizaron en el análisis condicional. A partir de este análisis, se evaluó la relación probabilística entre diversos factores relevantes para las condiciones de inestabilidad y las ocurrencias de deslizamientos. Se basó en la superposición de uno o más factores con el mapa de distribución de deslizamientos, para obtener

una probabilidad condicionada de cada factor a la presencia o ausencia de deslizamientos (Chung & Fabbri 1993; Chung & Leclerc 1994). Los resultados se interpretaron en términos de probabilidad, según el teorema de Bayes (Morgan 1968; Chung & Leclerc 1994), certeza (Heckerman 1986), según conjuntos difusos (Zadeh 1965, 1978; MahdaviFar 2000) o según plausibilidad (Shafer 1976).

Los métodos estadísticos multivariantes se emplearon para estudiar la interacción y dependencia de un conjunto de factores que actúan simultáneamente en la ocurrencia de deslizamientos, para establecer la implicación que tienen cada uno de ellos. Las técnicas estadísticas más utilizadas fueron la regresión múltiple y el análisis discriminante (Jones et al. 1961; Neuland 1976; Carrara 1983a, 1983b; Mulder 1991; Mora y Vahrson 1994; Baeza 1994; Irigaray 1995; Chung et al. 1995; Dhakal et al. 2000). El resultado de ambos métodos son funciones basadas en la combinación lineal de los factores de mayor significación estadística, para definir las condiciones de inestabilidad, y están basadas en la presencia-ausencia de deslizamientos.

El análisis de frecuencia de deslizamientos (Van Westen 1993) evalúa la peligrosidad a los deslizamientos. La valoración de la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento en un cierto lugar y dentro de un período de tiempo, solo es posible cuando se puede hallar la relación entre la ocurrencia de deslizamientos y la frecuencia de factores desencadenantes, como lluvias intensas en el caso de esta investigación.

Los métodos geomorfológicos se basaron en la determinación de condiciones de inestabilidad de ladera mediante técnicas geomorfológicas, cartografía y zonificación. La principal ventaja fue la validez y detalle del análisis y mapa resultantes, realizadas por un buen experto. El inconveniente de estos métodos es el alto grado de subjetividad dependiente de la experiencia del autor. Son métodos directos que se basaron en la cartografía geomorfológica, a partir de la cual el autor identificó y localizó los deslizamientos y procesos asociados a estos directamente en el campo. Con las observaciones, se extrajeron los criterios para la determinación de áreas potencialmente inestables y para la confección del mapa de peligrosidad final. La elaboración de estos mapas (Hansen 1984; Hansen & Frank 1991) exige conocer la morfología y tipología de movimientos.

Para el cartografiado de la peligrosidad a deslizamientos se utilizaron cuatro escalas (IAEG 1976; Luzi 1995):

1. Escala regional (< 1:100 000)

2. Escala media (1:25 000 a 1:50 000)
3. Gran escala (1:5 000 a 1:10 000)
4. Escala detallada (> 1:5 000)

Los mapas a escala regional sirvieron para identificar, de forma genérica, las áreas con deslizamientos. Los métodos semicuantitativos se utilizaron para la superposición de mapas y las unidades del terreno basadas en las características morfológicas obtenidas de imágenes estereográficas a pequeña escala (1:60 000 a 1:50 000) (Rengers et al. 1992).

La escala media se utilizó para la planificación intermunicipal, empleando distintos métodos analíticos, principalmente estadísticos, así como modelos digitales de elevaciones detallados y otros mapas temáticos. Se usaron imágenes estereográficas a escalas 1:15 000 hasta 1:25 000 (Rengers et al. 1992). Los métodos estadísticos de análisis de peligrosidad usados corresponden a esta escala (Mulder 1991; Dhakal et al. 2000).

La cartografía a gran escala fue empleada en los mapas generados para estudiar problemas locales de inestabilidad (Luzi 1995). Los métodos de análisis estadístico multivariante y los modelos numéricos de estabilidad correspondieron a esta escala. La información cartográfica fue de muy buena calidad, así como imágenes estereográficas de 1:5 000 a 1:10 000 (Rengers et al. 1992) y las fotos aéreas del municipio de Moa realizadas por la Empresa GEOCUBA en el año 2007, con 8 líneas de vuelo.

La escala detallada se utilizó para evaluar la peligrosidad de áreas concretas y se utilizó en los métodos referenciados en la escala anterior (Luzi 1995).

2.2. Indicadores de peligros por deslizamientos

Los indicadores permanentes permitieron estimar el peligro por deslizamiento y su relación con factores que los inician (en este caso factor climático: intensas lluvias). Del diagnóstico de los deslizamientos existentes en un área fue posible reconocer los indicadores permanentes que contribuyeron a la falla de las laderas o taludes. Dentro de los indicadores variables se analizaron aquellos que cambian rápidamente como resultado de algún evento disparador. Un ejemplo, la mayor cantidad de humedad en el suelo debido a intensas precipitaciones.

Tabla 1. Componentes condicionantes e indicadores variables que se usaron para definir el peligro por deslizamiento

COMPONENTES	INDICADORES
GEOLÓGICOS	Litológicos, tipos de materiales, tectónica
GEOMORFOMÉTRICOS	Ángulo y orientación de la pendiente, red fluvial
CLIMÁTICOS	Precipitaciones media anuales
ANTRÓPICOS	Uso de suelo y red vial

Los mapas elaborados se dividieron, por su contenido, en:

- Mapas temáticos: son los mapas de información, que caracterizan al medio físico, la geodiversidad y se emplearon como datos de entrada para crear el mapa de susceptibilidad.
- Mapa de inventario: indica los principales y más probables tipos de movimientos de masa cartografiados en el área.
- Mapa de peligrosidad por deslizamiento: representa las probabilidades de ocurrencia de los distintos tipos de deslizamiento y cuál es el radio de alcance de los mismos, es decir, la zonificación del peligro en el área de estudio.

2.2.1. Análisis de los indicadores

El análisis de los indicadores fue el método usado para elaborar los mapas de zonificación de peligro de deslizamiento de un área. Cuatro pasos sirvieron para completar el análisis de factores y producir el mapa del peligro total del área de estudio:

1. Cartografiado de los deslizamientos existentes y representación en un mapa, combinando los indicadores permanentes (geológicos, geomorfométricos, antrópicos e indicadores hidrológicos) en unidades individuales del mapa.
2. Superposición del mapa de inventario de los deslizamientos sobre el mapa de factores combinados.
3. Preparación de un análisis para todas las combinaciones de los factores y las combinaciones de grupos de factores, hasta definir los cuatro grados de peligro de deslizamiento.
4. Generación del mapa, a partir de las combinaciones agrupadas, con cinco zonas de peligro por deslizamiento.

Mediante el Sistema de Información Geográfica se combinaron los indicadores de peligrosidad. El procedimiento metodológico empleado en la investigación para la obtención final del Mapa de Peligros por Deslizamiento del municipio de Moa se sintetiza en la Figura 2.



Figura 2. Metodología de evaluación del peligro por deslizamientos en el municipio de Moa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Inventario de deslizamientos

El mapa de los deslizamientos sirve como fuente básica de datos para entender las condiciones que contribuyen a la ocurrencia de los movimientos de laderas o taludes. Este fue preparado en base a la interpretación de fotos cósmicas y aéreas, el modelo digital del terreno MDT y del levantamiento ingeniero geológico en los lugares seleccionados.

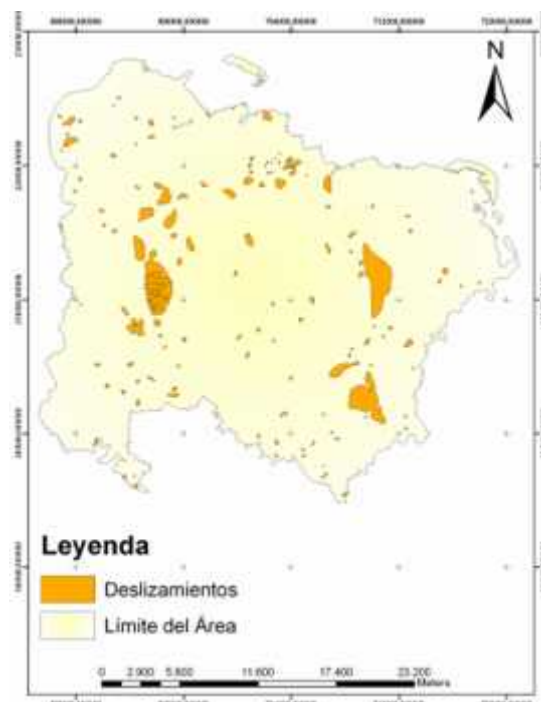


Figura 3. Mapa de inventario de los deslizamientos. Escala 1: 100 000.

La fotografía cósmica y aérea sirvió como fuente de los datos sobre deslizamientos existentes. Estas fotos permitieron una mejor representación a través del Modelo Digital del Terreno MDT: la cual es valiosa para la cartografía por medio de la información espacial, en particular los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El mapa se preparó a diferentes niveles de detalle con respecto a los deslizamientos. El diagnóstico a través del inventario identificó las áreas de los deslizamientos, nivel mínimo necesario para una evaluación del peligro por deslizamiento (Figura 3).

La Figura 4 muestra los distintos tipos de movimientos de masas que se dan en el municipio de Moa.



Figura 4. Tipología de los deslizamientos en el municipio de Moa.

3.2. Cartografiado de los factores de peligro

3.2.1. Factor geomorfométrico

La calidad del factor del terreno es un componente que asocia la efectividad de la acción de la gravedad sobre una pendiente con la susceptibilidad a deslizamientos de tierra. El mapa topográfico fue la base para elaborar el mapa de peligrosidad por ángulo de la pendiente y por la dirección de laderas; muestra los valores de la pendiente asociados con la mayoría de los deslizamientos existentes y se deriva de un mapa topográfico actualizado y del modelo digital del terreno. Las categorías de valores de la calidad de pendiente para uso en el análisis del peligro de deslizamiento se aproximaron a aquellos de las pendientes presentes en el área de estudio. En este factor también se analiza la influencia de la red fluvial (Figura 5).

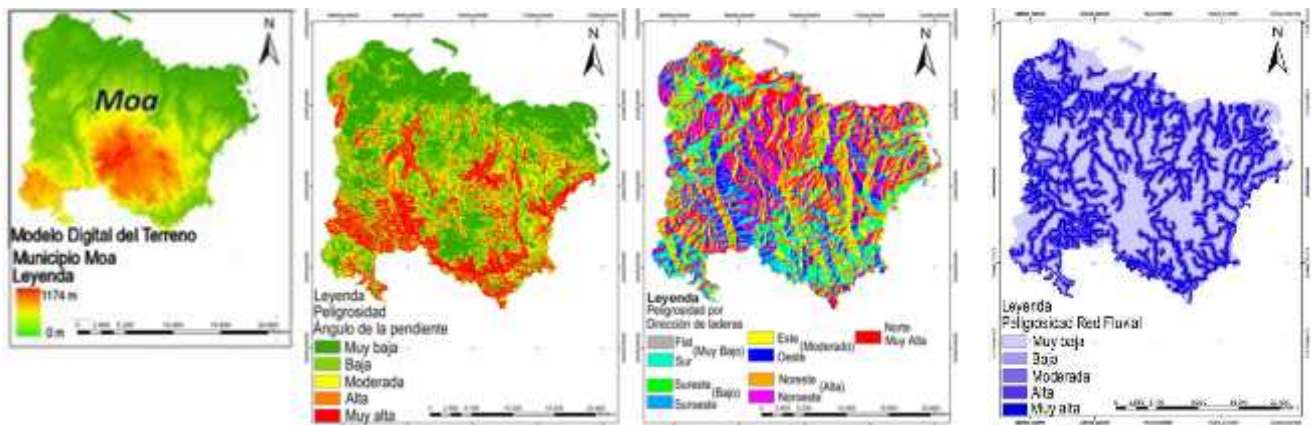


Figura 5. Mapas de elevaciones, de peligrosidad al deslizamiento por ángulo de la pendiente del terreno, la dirección de las laderas y la red fluvial del municipio de Moa. Escala 1:100 000.

3.2.2. Factor geológico

En el análisis litológico se tomó en consideración la clasificación propuesta por Mora Castro y Vahrson en 1993, teniendo en cuenta las características geológicas y geotécnicas de las formaciones (Figura 6), el área se clasificó en seis grupos litológicos: sedimentos costeros, sedimentos de ríos, carbonatada terrígena, vulcanógena sedimentaria, gabros del complejo ofiolítico, peridotitas y harzburgitas del complejo ofiolítico. El análisis tectónico fue realizado por la interpretación del mapa tectónico del municipio de Moa (Figura 6). La información se obtuvo del trabajo realizado por Rodríguez (1998) en su tesis doctoral; por alineamientos de los ríos, y a partir de la correlación con el MDT del área en estudio a escala 1:100 000.

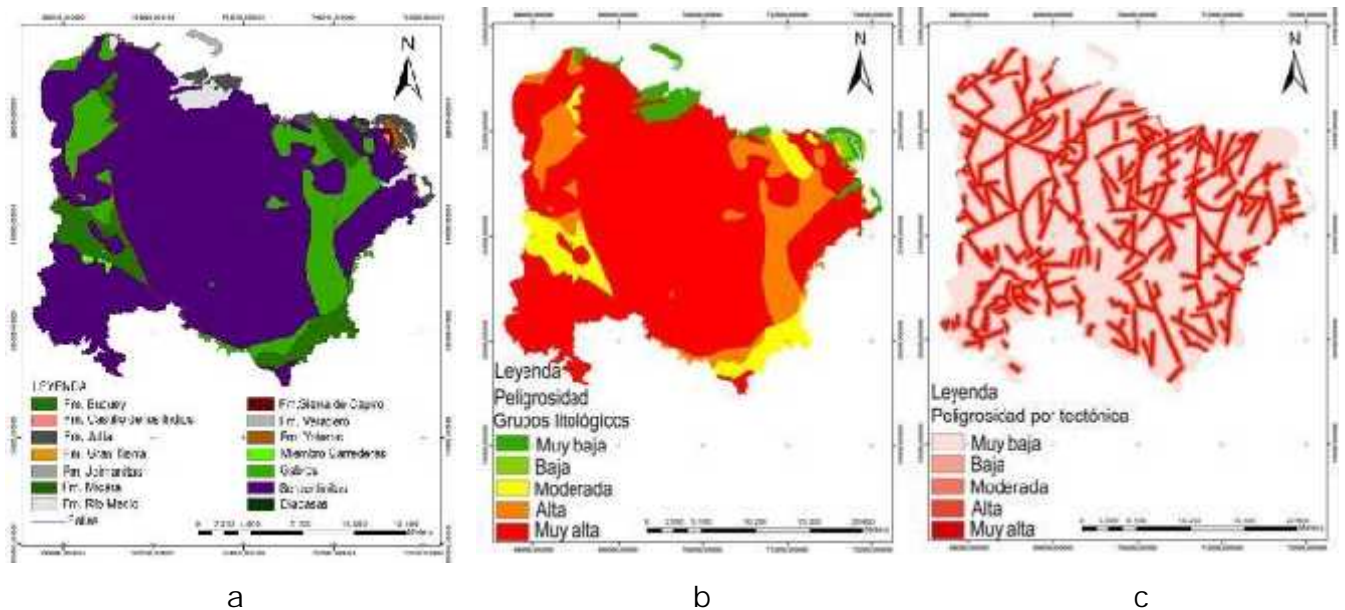


Figura 6. Mapa geológico (a) Mapas de peligrosidad al deslizamiento por grupos litológicos (b) y por la tectónica (c) del municipio de Moa. Escala 1:100 000.

3.2.3. Factor antrópico

Para evaluar este factor se investigó la influencia que tienen el uso actual del suelo y los trazados de la red vial en el municipio, para elaborar los respectivos mapas de peligrosidad (Figura 7), pues en ocasiones se construyen carreteras y caminos cortando laderas de altas pendientes y formando taludes abruptos que favorecen la ocurrencia de estos movimientos.

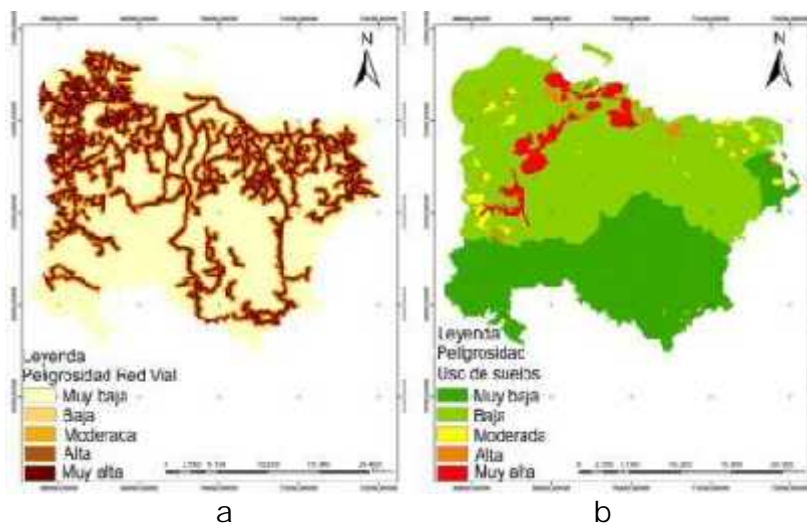


Figura 7. Mapas de peligrosidad al deslizamiento por la red vial (a) y por el uso de los suelos (b) del municipio de Moa. Escala 1:100 000.

3.2.4. Factor disparador

Se tomó en cuenta la intensidad de las lluvias como factor desencadenante de los deslizamientos en el área de estudio (Figura 8). Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, se considera como una zona de elevada complejidad hidrogeológica.

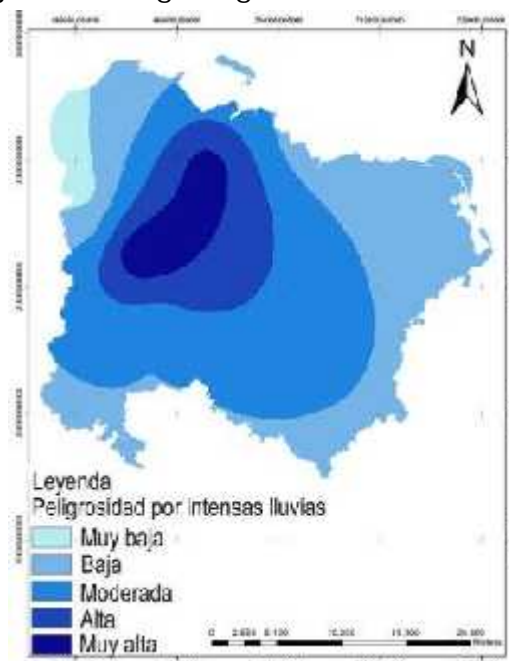


Figura 8. Mapa de peligrosidad al deslizamiento por lluvias. Escala 1:100 000.

3.3. Peligrosidad total por deslizamientos

El mapa de peligro por deslizamientos fue generado para identificar áreas vinculadas de diversos mecanismos de este fenómeno. Tal como lo sugiere el nombre, este mapa divide la totalidad del área de estudio en sub-zonas basadas en el grado del peligro potencial de deslizamiento. El mapa se obtuvo interpretando los datos presentados por los mapas de inventario de deslizamientos y los factores permanentes que influyen sobre la ocurrencia de deslizamientos (Figura 9).

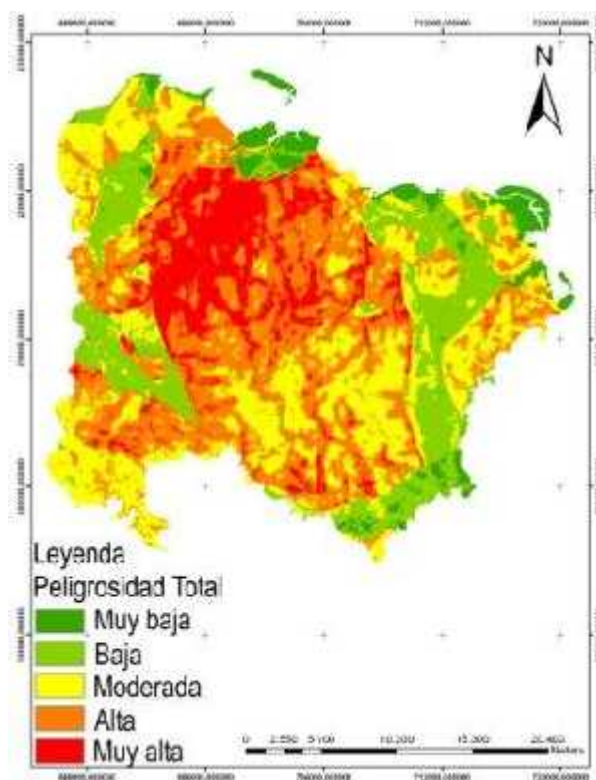


Figura 9. Mapa de peligrosidad total por deslizamiento del municipio de Moa. Escala 1: 100 000.

El mapa fue generado para mostrar la información necesaria para un determinado nivel de planificación. En el proceso cartográfico se identificaron cinco niveles de peligros relativos sobre el mapa de peligro por deslizamiento: (1) muy bajo; (2) bajo; (3) moderado; (4) alto; y (5) muy alto (Figura 8). Las zonas con peligrosidad alta y muy alta se relacionan generalmente con rocas ultrabásicas serpentinizadas y gabros, ambas con alto grado de agrietamiento e intemperismo. Los factores de susceptibilidad que mayor peso proporcionaron en el análisis de la peligrosidad fue el factor geológico el cual está relacionado con el factor disparador de intensas lluvias, que inducen el movimiento por hacer pasar la ladera de semi-estable a inestable. Este mapa posee un alto valor práctico desde el punto de vista geoambiental, porque delimita las áreas en las que puede existir la mayor probabilidad de ocurrencia de deslizamientos.

4. CONCLUSIONES

El cartografiado de la peligrosidad por inestabilidad de laderas y taludes proporciona una información sistematizada y de fácil comprensión para el público no experto en la materia, como una herramienta útil a los especialistas y directivos dedicados a la gestión y reducción del riesgo por deslizamiento y facilita información para una mejor planificación y

ordenamiento territorial. Las zonas con mayor peligrosidad se ubican en los sectores centrales del área de estudio, donde predominan rocas serpentinizadas y gabros meteorizados

5. REFERENCIAS

- BAEZA, C. 1994. Evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica ETSECCPB-UPC.
- BOSI, C. 1984. Considerazioni e proposte metodologiche sulla elaborazione di carte di stabilita. *Geol. Appl. Ed Idrogeol* 13: 246-281.
- CARRARA, A. 1983a. Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Math. Geology* 5: 403-426.
- CARRARA, A. 1983b. Geomathematical assessment of regional landslide hazard. In: 4th Int. Conf. Applic. Stat. Porbabil. In Soil and Estruct. Eng. Firenze. 3-27 p.
- CARRARA, A.; CARDINALI, M.; GUZZETTI, F. & REICHENBACH, P. 1995. GIS-based techniques for mapping landslide hazard. In: CARRARA, A. & GUZZETTI, F. (Eds.). *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publications, Dordrecht, p. 135–176.
- CHUNG, C. F. & FABBRI, A. G. 1993. The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources* 2(2): 122-139.
- CHUNG, C. F. & LECLERC, Y. 1994. A quantitative technique for zoning landslide hazard. In: *Int. Ass. Math. Gol. Annual Conf. Mont Tremblant, Quebec, Canada, 3-5, 87-93 p.*
- CHUNG, C. F.; FABBRI, A. G. & VAN WESTEN, C. J. 1995. Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation. In: CARRARA, A. & GUZZETTI, F. (Eds.). *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publishers, 107-133 p.
- COROMINAS, J. 1987. Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera. *Riesgos Geológicos. Serie Geología Ambiental*. IGME, Madrid, 193-201 p.
- CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. 1996. Landslide types and processes. In: TURNER, A. K. & SCHUSTER, R. L. (Eds.). *Landslides, Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, Special Report 247, Washington D.C., 36–75 p.
- DHAKAL, S.; AMADA, T. & ANIYA, M. 2000. Databases and Geographic Information Systems for Medium Scale Landslide Hazard Evaluation: an Example from Typical Mountain Watershed in Nepal. En: BROMHEAD, A. E.; DIXON, N. & IBSEN, M. L. (Eds.). *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford, London, 1: 457-462 p.
- GRUPO NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RIESGOS. 2012. Guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos de terreno a nivel municipal. Agencia Nacional de Medio Ambiente. CITMA. La Habana, p.31

- HANSEN, A. 1984. Landslide hazard analysis. In: BRUNDSSEN, D. & PRIOR, D. B. (Eds.). Slope Stability. John Wiley and Sons, 523-602 p.
- HANSEN, A. & FRANKS, C. A. M. 1991. Characterization and mapping of earthquake triggered landslides for seismic zonation. Proceeding of IV. Int. Conf. Seismic Zonation. Stanford, California, 149-195 p.
- HARTLÉN, J. & VIBERG, L. 1988. Evaluation of landslide hazard. In: BONNARD, CH. (Ed): Proceedings of 5th. International Congress on Landslides. Lausanne, 2: 1 037-1 057.
- HECKERMAN, D. 1986. Probabilistic interpretation of MYCIN's certainty factors. In: KANAL, L. N. & LEMMER, J. F. (eds.) Uncertainty in Artificial Intelligence. Elsevier, p. 167-196.
- HUTCHINSON, J. N. 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In: BONNARD, CH. (Ed.). Proceedings of 5th Int. Congr. on Landslides. Lausanne, 1: 3-35.
- IAEG. 1976. Engineering geological maps. A guide to their preparation. International Association of Engineering Geologists. The UNESCO Press, Paris, 79 p.
- IRIGARAY, C. 1995. Movimientos de ladera: inventario, análisis y cartografía de susceptibilidad mediante un Sistema de Información Geográfica. Aplicación a las zonas de Colmenar (Málaga), Rute (Córdoba) y Montefrío (Granada). Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- JONES, F.O.; EMBODY, D. R. & PETERSON, W.C. 1961. Landslides along the Columbia river valley, Northeastern Washington. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 367, 98.
- LOMTADZE, V. D. 1977. Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería. Pueblo y Educación, La Habana, 560 p.
- LUCINI, P. 1973. The potential landslides forecasting of the Argille Varicolori Scagliose complex in IGM 174 IV SE Map, Saviano di Puglia (Compania). Geol. Appl. Idrogeol. 8: 311-316.
- LUZI, L. & FABBRI, A. G. 1995. Application of Favourability Modelling to Zoning of Landslide Hazard in the Fabriano Area, Central Italy. In: 1st. Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information. The Hague, NL. 398-403 p.
- MAHDAVIFAR, M. R. 2000. Fuzzy information Processing in Landslide Hazard Zonation and Preparing the Computer System. In: BROMHEAD, A.E.; DIXON, N. & IBSEN, M. L. (Eds). Landslides in research, theory and practice. Tomas Telford, London, 2: 993-998.
- MORA, S. & VAHRSON, W. G. 1993. Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. Tecnología ICE 3: 32-42.
- MORA, S. & VAHRSON, W. G. 1994. Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Bull. Of the Assoc. Eng. Geology. XXXI(1): 49-58.
- MORGAN, B. W. 1968. An introduction to Bayesian statistical decision process. Prentice-Hall, New York, 116 p.
- MULDER, H. F. H. M. 1991. Assessment of landslide hazard. Nederlandse Geografische Studies PhD Thesis, University of Utrecht, 150 p.
- NEULAND, H. 1976. A prediction model for landslips. Catena 3: 215-230.

- RENGERS, N.; SOETERS, R. & VAN WESTEN, C. J. 1992. Remote sensing and GIS applied to mountain hazard mapping. *Episodes*. 15(1): 36-45.
- RODRÍGUEZ, A. 1998. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Cuba.
- SHAFER, G. 1976. *A Mathematical Theory of Evidence*. Princenton University Press, Princenton N. J., 297 p.
- STEVENSON, P. C. 1997. An empirical method for the evaluation of relative landslip risk. *Bul. AEG*. 16: 69-72.
- VAN WESTEN, C. J. 1993. Application of Geographic Information System to landslide hazard zonation. ITC-Publications n° 15, Enschede, 45 p.
- VARNES, D. J. 1978. Slope movement tyoes and processes. En: *Landslides analysis and control*. Special Report. 176: 11-33.
- VARNES, D. J. & IAEG. 1984. *Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Darantiere, 61 p.
- ZADEH, L. A. 1965. Fuzzy sets. *IEEE Information and Control* 8: 338-353.
- ZADEH, L. A. 1978. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems* 1: 3-28

Yexenia Viltres-Milán yvmilan@ismm.edu.cu

Ingeniera Geóloga, Profesora del Departamento de Geología.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba

Rafael Guardado-Lacaba rguardado@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Titular. Departamento de Geología.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba