

Evaluación de la susceptibilidad del terreno por deslizamientos en el territorio de Moa*

Yenisel Reyes Cedeño

Carrera: Ingeniería Geológica.

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: La investigación tiene como objetivo evaluar el nivel de susceptibilidad por desarrollo de deslizamientos en un sector del municipio Moa, que permita el análisis futuro de peligrosidad y riesgos debido a estos fenómenos de inestabilidad de laderas. La valoración de la susceptibilidad se obtiene aplicando el método de probabilidad condicional, utilizando como herramienta la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Como resultado se obtiene el mapa de susceptibilidad por deslizamientos.

Palabras clave: Deslizamiento; escarpe; susceptibilidad; Moa; vulnerabilidad.

Landslide susceptibility assessment in the region of Moa

Abstract: The objective of the investigation is to assess the level of landslide susceptibility in the region of Moa in order to determine the risks and landslide hazards based on soil instability. The susceptibility assessment is carried out by applying the conditional probability method in Geographic Information System (GIS) to create a map of landslide susceptibility.

Key words: Landslides; scarpment; susceptibility; Moa; vulnerability.

Introducción

Para evaluar el grado de susceptibilidad del terreno frente a los deslizamientos existen varias aproximaciones basadas en la determinación de los factores que condicionan las roturas. La combinación de estos factores define distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica mediante los mapas de susceptibilidad (Corominas, 1992; Carrara *et al.*, 1995).

Geográficamente el área de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Moa, extremo oriental de la provincia de Holguín; limitado al norte con el Océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio Baracoa y al oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País. Según el sistema de coordenadas Lambert se localiza entre los puntos: X: 692000–708000; Y: 212000–228000.

Descripción y cartografía de los deslizamientos

La identificación de los movimientos de masas presentes en el área de estudio se realizó mediante la fotointerpretación para ubicar y caracterizar los deslizamientos existentes y crear el mapa de inventario. Para ello se describieron 34 movimientos de laderas.

Para el análisis de la susceptibilidad del terreno se realizó el cartografiado de los principales deslizamientos ocurridos en el territorio moense y que aún se manifiestan en la superficie topográfica actual. Para cada uno de ellos se realizó la ubicación geográfica, medición de los parámetros técnicos-geológicos y se dibujaron los perfiles de afloramiento.

Análisis del factor geológico sobre el desarrollo de deslizamientos

Según estudios geológicos precedentes en el área de estudio, afloran por orden de importancia las rocas ultrabásicas serpentinizadas, que ocupan un 85,25 % del área total, distribuidas hacia la parte central y sur. Los sedimentos fluviales del Cuaternario afloran hacia la parte norte y representan el 7,27 % del área total. Los sedimentos parálicos del Cuaternario representan el 4,37 % de la superficie también hacia el norte. Los gabros ocupan el 2,84 % y están distribuidos hacia el este y el oeste asociados con la serpentinitas. La formación La Picota aflora hacia el suroeste en un sector que constituye sólo un 0,25 % del área de estudio, mientras que la formación Santo Domingo abarca el 0,004 %, localizada hacia la parte noroeste.

Tabla 1. Caracterización de las clases litológicas en relación al desarrollo de deslizamientos

Litología	Área (km ²)	% del área	Cantidad de píxel por deslizamientos	% de área ocupada por deslizamientos
Rocas ultrabásicas serpentinizadas	172,13	85,25	487287	98,91
Sedimentos fluviales del Cuaternario.	14,69	7,27	5306	1,07
Sedimentos parálicos del Cuaternario.	8,83	4,37	30	0,006
Gabros	5,74	2,84	0	0
Fm La Picota	0,51	0,25	0	0
Fm Santo Domingo	0,01	0,004	0	0

Como resultado del análisis realizado a cada una de las litologías y su comparación con el mapa de inventario de deslizamientos se puede concluir que estos fenómenos ocurren mayoritariamente en las rocas ultrabásicas serpentinizadas, existiendo deslizamientos en el 98,91 % del área total ocupada por estas. Sólo en el 1,07 % de los sedimentos fluviales del Cuaternario se localizan deslizamientos, lo que significa que los materiales arrastrados en los frentes de deslizamiento van a depositarse en los cauces fluviales (Figura 1).

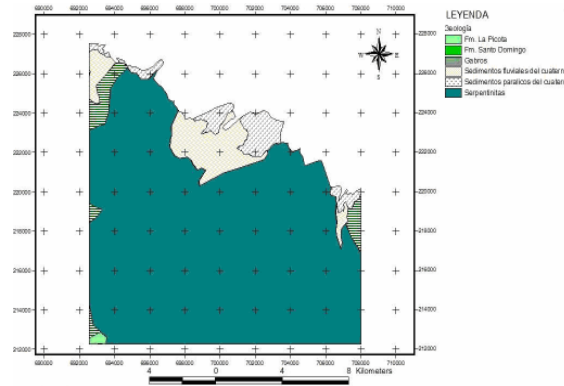


Figura 1. Mapa litológico del área de estudio. (Escala original 1:25 000)

Análisis del factor tectónico sobre el desarrollo de deslizamientos

El análisis del factor tectónico se realizó comparando el comportamiento de los deslizamientos en relación con la distancia de estos a las fallas presentes en el área. En los buffer realizados para el estudio de la influencia de la tectónica sobre la susceptibilidad del terreno se comparó la cantidad de deslizamientos existentes en cada intervalo. En el intervalo de 0,5 km, que ocupa un área de 144,64 km², para un 54,29 % del área total, se reporta un 84,76 % con movimientos de masas. En el intervalo de 1 km en el 45,70 % del área existen deslizamientos (Figura 2 y Tabla 2).

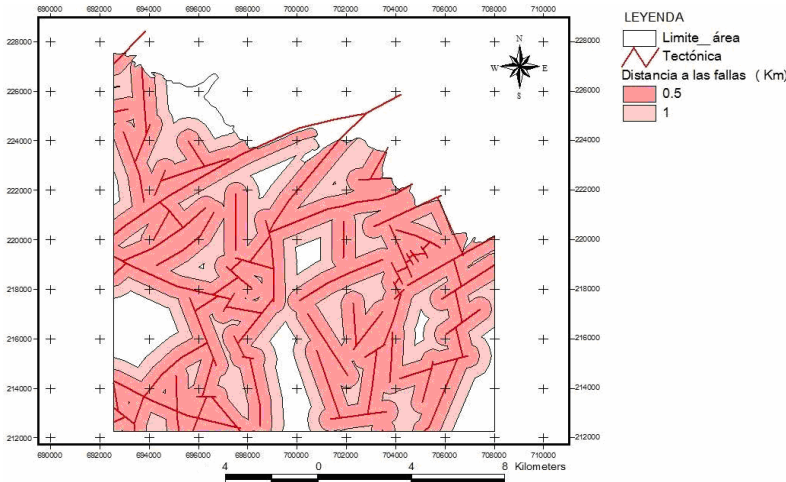


Figura 2. Mapa de distancia (buffer) a las fallas principales. (Escala original 1:25 000)

Tabla 2. Caracterización de los deslizamientos según sus distancias a las fallas

Distancia (Km)	Área(km ²)	% del área total	Píxeles ocupados por deslizamientos	% de área ocupada por deslizamiento
0,5	144,64	54,29	376031	84,76
1	121,76	45,70	67577	15,23

Análisis del factor morfotectónico sobre el desarrollo de deslizamientos

Para determinar la influencia de los movimientos tectónicos en el desarrollo de deslizamientos se analizó la correlación espacial entre estos con los bloques morfotectónicos propuestos por Rodríguez en 1998 (Tabla 3).

Tabla 3. Caracterización de los bloques morfotectónicos en relación a los deslizamientos

Bloques morfotectónicos	Área (Km²)	% del área	Cantidad de píxel por deslizamientos	% del área ocupada por deslizamientos
El Toldo	100,79	49,44	237185	48,27
Moa Aeropuerto	30,63	15,02	133291	27,12
Cabaña Norte	27,21	13,34	1673	0,34
Moa Caimanes	17,58	8,62	107595	21,89
Cayo Guam	16,4 5	8,06	11600	2,36
Moa La Vigía	7,12	3,49	0	0
Miraflores	2,89	1,41	0	0
Cabaña Sur	0,66	0,32	0	0
Moa Calentura	0,53	0,25	0	0

Análisis del factor geomorfológico sobre el desarrollo de deslizamientos

Para el análisis del factor geomorfológico se realizó la comparación con el inventario de los deslizamientos (Tabla 4).

La zona geomorfológica en la cual se originan más inestabilidades en las laderas es en las montañas bajas aplanadas, con un 62,62 % del área donde se producen deslizamientos y las premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas con un 28,02 %. Este resultado está condicionado a varios factores como el desarrollo de potentes cortezas lateríticas, presencia de laderas con altas inclinaciones, en ocasiones superiores a 30 grados y por su disposición espacial, asociada a fallas que en ocasiones limitan estas zonas geomorfológicas.

Tabla 4. Caracterización de las clases geomorfológicas en relación al desarrollo de deslizamientos

Geomorfología	Área (Km ²)	% del área total	Cantidad de píxeles ocupados por deslizamientos	% de área ocupada por deslizamiento
Montañas bajas aplanadas	116,70	56,81	307572	62,62
Premontañas aplanadas ligeramente disecionadas	31,09	15,13	137653	28,02
Ciudad de Moa	22,39	10,90	0	0
Llanuras fluviales erosivas acumulativas	14,99	7,29	19997	4,07
Llanuras acumulativas palustres	10,63	5,17	1664	0,33
Llanuras fluviales acumulativas	8,11	3,94	24258	4,93
Llanuras marinas	1,48	0,72	0	0

Análisis de las pendientes sobre el desarrollo de deslizamientos

Otro factor analizado es la inclinación de las laderas. Para el análisis del mapa de pendiente, obtenido a partir del procesamiento del modelo digital de elevaciones (MDE), se utilizaron 6 clases fundamentales: 0°-10°, 10°-20°, 20°-30°, 30°-40°, 40°-50° y 50°-60° (Tabla 5). Las pendientes predominantes están en el rango de 0°-10° y 10°-20°, siendo estas las más afectadas por los movimientos de laderas. Se debe prestar atención a los rangos de pendientes de 20°-30° que son afectadas en un 7,86 % por estos fenómenos.

Tabla 5. Caracterización de las clases dependiente en relación al desarrollo de deslizamientos

Pendiente (grados)	Cantidad de píxeles ocupados por deslizamientos	Por ciento del área ocupada por deslizamientos
0-10	553573	61,01
10-20	236429	26,05
20-30	71336	7,86
30-40	35542	3,91
40-50	9897	1,09
50-60	516	0,05

Valoración de los mapas de factores condicionantes

Partiendo del análisis de los factores condicionantes de los deslizamientos en el área de estudio se realizó la valoración de los mismos de acuerdo al análisis estadístico utilizado, teniendo en cuenta las áreas de cada clase y el área ocupada por deslizamientos.

Según las características litológicas, los mayores valores de probabilidad de ocurrencia de deslizamientos se encuentran en las rocas ultrabásicas serpentinizadas. El alto grado de agrietamiento que presentan estas rocas facilita la infiltración del agua superficial, aumentando la presión de poros en las zonas de debilidad y favoreciendo la ocurrencia de movimientos de laderas. El amplio desarrollo de movimientos dentro del área que ocupan estas litologías influye en este resultado. Los sedimentos fluviales del Cuaternario presentan los menores valores de probabilidad debido a que en este sitio es donde se depositan los materiales de las partes frontales de los movimientos.

La alta complejidad tectónica del sector influye notablemente en la ocurrencia de los deslizamientos, con los mayores valores de probabilidad hasta los 0,5 km de distancia de las zonas de fallas, donde el agrietamiento es más intenso así como la infiltración del agua, la meteorización y la erosión. El mapa del factor lito-estructural se redefinió en 4 clases de susceptibilidad: baja, media, alta y muy alta. La clase de baja susceptibilidad, se encuentra ubicada hacia la parte este-oeste del área de estudio. Corresponde con el área ocupada por la formación La Picota, Santo Domingo y rocas de gabros. Esta clase ocupa el 3,094 % del área total de trabajo.

La clase media de susceptibilidad se ubica en la parte norte, noreste y noroeste del área estudiada. Se corresponde con el área ocupada por sedimentos parálisis del Cuaternario. Ocupa el 437 % del área total. El área de susceptibilidad alta se ubica hacia el norte, noreste y noroeste del área y ocupa el 7,27 % y corresponde con los sedimentos fluviales del Cuaternario. El área de susceptibilidad muy alta se desarrolla hacia la parte central y sur del área de estudio. Se corresponde con el área ocupada por las rocas ultrabásicas serpentinizadas y ocupa el 85,25 % del área total.

El mapa de factor tectónico se clasificó en dos clases: media y alta. La clase de susceptibilidad media corresponde con la distancia de 500 km de las fallas. Ocupa el 54,29% del área total. La clase de susceptibilidad alta se corresponde con la distancia de 1 km y ocupa el 45,70 % del área total. El mapa que caracteriza los bloques morfotectónico se clasificó en cuatro clases de susceptibilidad: baja, media, alta y muy alta. La clase de susceptibilidad baja se relaciona con los bloques Cayo Guam, Moa, La Vigía, Miraflores, Cabaña Sur, Moa Calentura y ocupa el 13,53 % del área total. La clase media se relaciona con Cabaña Norte y ocupa el 13,34 %. La tercera clase, de susceptibilidad alta, está representada por el bloque El Toldo, ocupando un área de

49,44 %. En la clase muy alta de susceptibilidad se encuentran los bloques Moa Aeropuerto y Moa Caimanes, ocupando el 23,64 % del área total.

El mapa de factor geomorfológico se reclasificó en cuatro clases: baja, media, alta y muy alta. La clase baja, que es la de menor susceptibilidad se relaciona con las áreas ocupadas por las llanuras acumulativas palustres, llanura Moa y las llanuras marinas. La clase baja ocupa el 16,79 % del área de trabajo. La clase de susceptibilidad media está representada por las llanuras fluviales erosivas acumulativas y ocupa el 7,29 % del área. La clase alta, ocupa el 60,75 % del área total y está representada por montañas bajas aplanadas y por llanuras fluviales acumulativas. La clase de mayor susceptibilidad definida como muy alta, ocupa el 15,13 % del área total y está representada por premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.

Descripción del mapa de susceptibilidad

El mapa de susceptibilidad del terreno por deslizamientos se obtiene a partir de la combinación de los mapas temáticos. Este mapa se clasifica en cuatro clases: susceptibilidad baja, media, alta y muy alta.

Susceptibilidad baja: Representa un 37,69 % del área total. De forma espacial se distribuye en la parte norte y en algunas zonas al sur del área de estudio. En esta área se ubica la ciudad de Moa y las plantas procesadoras del níquel Empresa Ernesto Che Guevara y la Empresa Pedro Sotto Alba, con sus respectivas presas de cola. Además se relaciona con zonas de sedimentos aluviales de los ríos Moa, Los Lirios y Cabaña. En la misma se encuentran los menores valores de la pendiente y se desarrollan los bloques La Vigía, Moa Aeropuerto y Cabaña Norte.

Susceptibilidad media: Ocupa un 50,99 % del área total, lo que significa que existe un mayor predominio de esta susceptibilidad. De forma espacial se desarrolla hacia la parte central y sur del área. En esta zona se encuentran desarrolladas las mayores potencias de cortezas lateríticas de los yacimientos ferroniquelíferos. Además se encuentran zonas aisladas hacia la parte norte-noroeste, en la cuales se encuentran La Vigía, el reparto Miraflores y el Instituto Superior Minero Metalúrgico donde se manifiestan los desprendimientos de rocas serpentinizadas. Para esta susceptibilidad las pendientes predominantes son de 0°-20°.

Susceptibilidad alta: Representa un 9,79 % y se distribuye hacia la parte sur del área, relacionada con los cauces de los ríos Moa, Cayo Guam y en sitios aislados en el cauce del Yagrumaje. Estos altos índices de susceptibilidad se desarrollan en zonas de mesetas donde existe amplio desarrollo de movimientos y en montañas bajas aplanadas. En estas zonas se combinan altos valores de susceptibilidad de algunos mapas temáticos debido a la coincidencia del bloque El Toldo y la zona de montañas bajas aplanadas.

Susceptibilidad muy alta: Ocupa 1,51 % del área. De forma espacial se encuentra también en la parte sur del área relacionada con los cauces fluviales Moa y Cayo Guam.

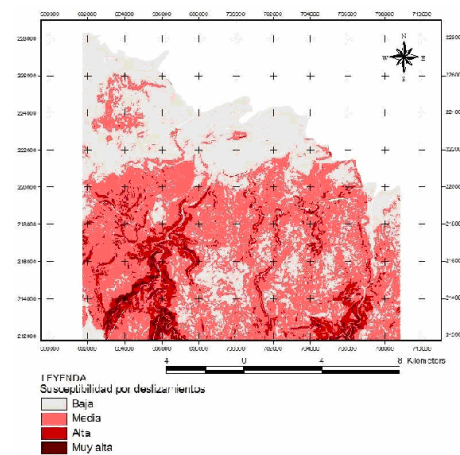


Figura 3. Mapa de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el área de estudio. (Escala original: 1:25 000. Formato raster, tamaño de píxel: 5x5 m)

Conclusiones

En el área investigada del municipio de Moa se reporta la existencia de 34 deslizamientos desarrollados espacialmente en la parte central, con dirección noreste principalmente. Estos movimientos están condicionados por diferentes mecanismos y en ellos se manifiesta especialmente la tipología rotacional con presencia de flujos en la parte frontal de los movimientos.

Analizando los factores que generan las inestabilidades, las condiciones geológicas se caracterizan por una alta complejidad, desarrollándose la mayor cantidad de movimientos sobre las cortezas lateríticas formadas sobre las rocas ultrabásicas serpentinizadas. En relación a la tectónica hay un predominio de movimientos sobre o cerca de estructuras de primer orden en el área estudiada; de acuerdo a la morfotectónica hay predominio de

movimientos en el bloque El Toldo, condicionado por los mayores valores de elevación del bloque en la región lo que acelera la acción de los agentes erosivos, provocando inestabilidades de las laderas.

La aplicación de la metodología de análisis de los factores condicionantes ha permitido valorar la influencia de cada una de sus clases sobre el desarrollo de los deslizamientos y la obtención de los mapas de susceptibilidades de factores.

Referencias bibliográficas

Carrara, A.; M. Cardinali; F. Guzzetti y P. Reichenbach. 1995: GIS technology in mapping landslide hazard en: Carrara A, Guzzetti F (Eds) Geographical information systems in assessing natural hazards, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. 135-175 p.

Corominas, J., 1992: Movimientos de ladera: predicción y medidas preventivas. Primer Congreso Iberoamericano sobre Técnicas aplicadas a la Gestión de emergencias para la Reducción de Desastres Naturales, Valencia. 55-77 p.

Rodríguez, A. 1998: Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 137p.

*Trabajo tutorado por el Dr. C. Yuri Almaguer Carmenates.