



Maestrías I

CIENCIAS FORESTALES

OBJETIVOS

Formar profesionales de alta calidad en las técnicas y procedimientos más avanzados en el manejo y aprovechamiento forestal de los bosques tropicales, haciendo compatible el aprovechamiento y la conservación.

REQUISITOS DE ADMISIÓN

- Ser graduado de Ingeniería Forestal u otra profesión que se vincule a la actividad forestal
- Poseer el nivel básico de idioma inglés que le permita acceder a la bibliografía con el auxilio del diccionario.
- Poseer conocimiento de computación en procesadores de textos y paquetes estadísticos.

TÍTULO

Master en Ciencias Forestales.

MENCIONES

- Aprovechamiento forestal
- Manejo del bosque.

DURACIÓN: un año.

COORDINADOR

Dr. Pedro Álvarez Olivera
Facultad de Agronomía y Forestal.
Telf.: (53)-(82) 5452
(53)-(82) 5479
Fax: (53)-(82) 5813

GEOLOGÍA

OBJETIVOS

Alcanzar mayores niveles de profundidad y dominio de los conocimientos y métodos de trabajo de la Geología, de acuerdo con el desarrollo científico y técnico actual de las Ciencias Geológicas, ramas afines y, a la vez, dar continuidad a la formación de profesionales de perfil amplio, del país, y del extranjero.

REQUISITOS DE ADMISIÓN

- Ser graduado universitario de alguna especialidad de la geociencia, o estar vinculado a una actividad afín.
- Presentar dominio del idioma inglés y del español.
- Dominar técnicas de computación.

TÍTULO

Master en Geología

MENCIONES

- Geología Regional
- Prospección de Yacimientos Minerales.

DURACIÓN: un año

COORDINADOR

Dr. Guillermo Casarreal Valdés
Facultad de Ciencias Técnicas
Telf.: (53)-(82) 5453
Fax: (53)-(82) 5813

ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS AGROPECUARIAS

OBJETIVOS

Desarrollar la capacidad analítica, gerencial y de investigación para afrontar los problemas que se presenten en las empresas agropecuarias y seleccionar e implementar las soluciones adecuadas.

REQUISITOS DE ADMISIÓN

- Ser graduado en Ciencias Agropecuarias o Económicas y desempeñarse como profesional en el campo de la administración agropecuaria.
- Aprobar curso introductorio o convalidar el sistema de conocimientos.

TÍTULO

Master en Administración de Empresas Agropecuarias.

DURACIÓN: un año

COORDINADORA

Dra. María E. Fernández Hernández
Facultad de Economía
Telf.: (53)-(82) 4289
Fax: (53)-(82) 5813

Zonificación de los fenómenos geológicos que generan peligros y riesgos en la ciudad de Moa

José Alejandro Carmenate Fernández¹
Amalia Beatriz Riverón Zaldívar²

¹Ingeniero geólogo. Empresa Constructora Integral # 3, Moa, Holguín.
²Ingeniera geóloga. Profesora asistente. Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN: El objetivo fundamental del trabajo es realizar la zonificación de los fenómenos geológicos de tipo exógeno que pueden generar peligros y riesgos en la ciudad de Moa así como las áreas susceptibles a la ocurrencia de estos fenómenos empleando para ello una metodología basada en la evaluación y clasificación de las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas. La prevención de estos fenómenos se realiza sobre la base del conocimiento existente sobre los procesos geológicos y el uso de las técnicas actuales de análisis de peligro y riesgo. Como resultado se obtiene el mapa de zonificación de los fenómenos geológicos exógenos que generan peligros y riesgos en la ciudad de Moa.

Palabras claves: peligros, riesgos, Moa.

ABSTRACT: The main objective of this article is to obtain the zoning of the exogenous processes, which to imperil to Moa City, as soon as the areas most susceptible to the occurrence of these geological phenomena. It is used a methodology, where it is included, the evaluation and classification of the physical-mechanical properties of soils and rocks present in the region and utilizing the knowledges about geological processes for its forecast, make using the modern analysis technics of hazard and risk.

Keywords: risk, hazards, Moa

INTRODUCCIÓN

La década del 90 ha sido declarada por la Organización de Naciones Unidas como el decenio para reducir los peligros y desastres naturales en todo el planeta. A través de la UNESCO esta organización realiza grandes esfuerzos para estudiar y mitigar la acción de fenómenos naturales exógenos sobre los asentamientos poblacionales y áreas rurales, a la vez que elabora normas y directivas para un mejor uso y aprovechamiento del terreno de forma tal que se reduzcan los desastres de origen antrópico. Este programa sobre riesgos naturales constituye el tercer bloque de actividades de la UNESCO en las ciencias geológicas y es de gran importancia enfocar las situaciones de desastres naturales desde un punto de vista social y económico.

A raíz del terremoto ocurrido en Moa el 20 de marzo de 1992 varias instituciones nacionales y del territorio han aunado esfuerzos y recursos para el estudio de la peligrosidad y los riesgos a que está sometida la región, lo cual ha implicado la investigación de los procesos exógenos generadores de peligros y riesgos en el territorio.

El objetivo fundamental de este trabajo es realizar la zonificación de los fenómenos geológicos de tipo exógeno que pueden generar peligros y riesgos en la ciudad de Moa y el mapeo de las áreas susceptibles a la ocurrencia de estos fenómenos. Para ello se emplea una metodología basada en la evaluación y clasificación de las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas.

Características generales de la región

Moa se encuentra ubicada en la parte noreste de la provincia Holguín, limitando al norte con el océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio Baracoa y al oeste con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País (Figura 1). El área de los trabajos se limita a la parte urbana del territorio y a la zona del puerto, extendiéndose según el Sistema de Coordenadas de Lambert:

X1: 695000 Y1: 221000
X2: 702000 Y2: 225000

La región está enclavada en el grupo Sagua-Baracoa, con un relieve predominantemente montañoso hacia su parte sur. Hacia el norte, y coincidiendo con el área de estudio, el relieve se hace más moderado, con cotas que oscilan entre los 40 y 50 metros como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa. En ello ha ejercido gran influencia la acción del hombre con la construcción de obras civiles y económicas que implican la realización de grandes movimientos de tierra.

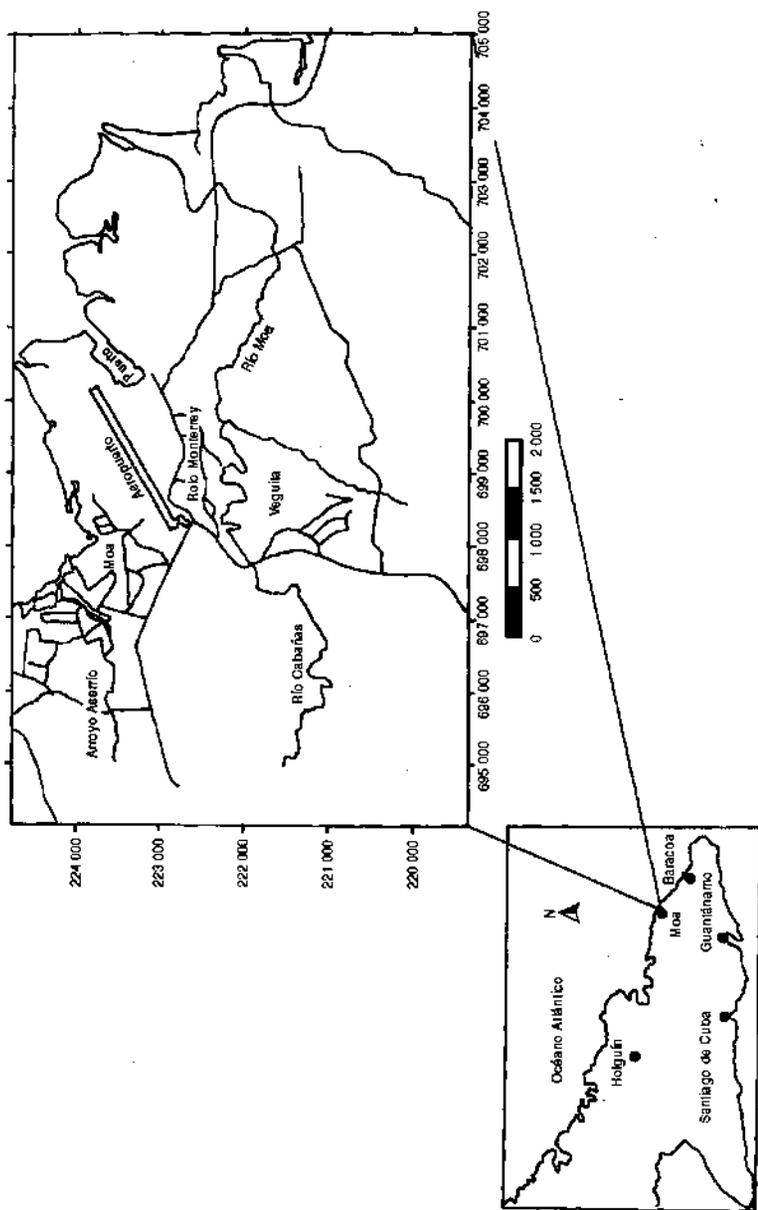


FIGURA 1. Mapa de ubicación geográfica.

La geología de la región es de gran complejidad, condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el decursar del tiempo geológico, lo que justifica los estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objeto de la investigación. Para este trabajo se asumió la clasificación de la geología regional, propuesta por Quintas (1989), según asociaciones estructuro-formacionales (AEF).

En el área estudiada existe un predominio manifiesto de las AEF de las rocas ofiolíticas y, en menor grado, de la AEF de neoplataforma, representada por los sedimentos más jóvenes.

La AEF de la asociación ofiolítica ocupa más del 90 % de la superficie del área, representada predominantemente por harzburgitas y, subordinadamente, se encuentran dunitas, ilherzolitas y piroxenitas. Las rocas de este complejo se caracterizan por presentar un color verde oscuro o gris verdoso y un alto grado de agrietamiento.

Los sedimentos de la AEF de neoplataforma en el área, representados por sedimentos aluviales y palustres, presentan una edad que va del Holoceno al Reciente. Estos sedimentos constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis continental sobre todas las secuencias de rocas más antiguas, con pocos cambios diagenéticos. Están constituidos por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos. También existen aleurólitas calcáreas, arenas margosas y arcillas.

La complejidad tectónica del área es evidente y se manifiesta en la superposición de eventos de edades y estilos diferentes que directa e indirectamente interfieren en la génesis, desarrollo y conservación de los yacimientos ferroniquelíferos, en el relieve y en la ocurrencia de fenómenos naturales de carácter geodinámico que afectan la actividad socioeconómica y alteran el medio ambiente.

El sistema de fallas más antiguo de la región tiene su origen asociado al cese de la subducción que generó la colisión entre el arco insular y el margen continental, lo que originó bajo estas condiciones de compresión el emplazamiento del complejo ofiolítico, por lo que las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo y de este con las secuencias más antiguas. Con esta dirección se manifiesta también un sistema principal de agrietamiento para las ofiolitas.

El segundo sistema —desde el punto de vista geodinámico contemporáneo el de mayor importancia en el territorio— está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre los sesenta y ochenta gra-

dos. Las fallas de este sistema constituyen las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques morfotectónicos.

El tercer sistema de fracturas que aparece desarrollado en el territorio corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área pero tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos arroyos, como el arroyo La Vaca.

Se desarrolla en el área un relieve de llanura, la formación de las cuales está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos. Las llanuras acumulativas marinas ocupan el área comprendida entre la barrera coralina y el litoral, por lo que llegan a formar parte en algunos sectores de la zona litoral. La actividad erosiva es prácticamente nula en esta zona debido a la protección contra el oleaje que ofrece la barrera arrecifal.

Las llanuras fluviales se clasifican en acumulativas y abrasivo-acumulativas, en dependencia del proceso que predomine en su morfogénesis. Las llanuras fluviales acumulativas se desarrollan en toda la franja norte del área, entre la línea litoral al norte hasta los 100-110 m de altura hacia el sur, correspondientes a la base del escalón inferior de las tierras emergidas y en las que se encuentran los cauces inferiores y desembocaduras de los ríos Moa, Cayo Guam, Cananova, Yamanigüey y Quesigua. En esta zona los procesos erosivos son escasos y solo se ponen de manifiesto a través de pequeños arrastres de suelos y acaravamiento, generalmente asociados a taludes locales, en su mayoría de carácter antrópico.

Asociadas genética y especialmente con las llanuras fluviales y marinas, y en la zona de intersección entre ambas, aparecen llanuras acumulativas palustres parálidas que ocupan zonas pendientes de cero a tres grados y valores nulos de isobasitas, donde predominan procesos acumulativos típicos de zonas pantanosas de color oscuro, anegadas y de olor fétido, siendo el mangle la vegetación más común.

Aparecen dos formas del paisaje de origen antrópico que deben constituir una preocupación constante para el hombre ante el peligro latente de las consecuencias que ellas puedan acarrear al medio ambiente. Una de ellas son las áreas minadas y escombreras que, con el crecimiento de la producción niquelífera, se agigantan y constituyen sectores descubiertos y desmembrados que aceleran el proceso de acaravamiento e intensifican el arrastre de los suelos con la ruptura del equilibrio fluvial y la acumulación anómala de sedimentos. La otra forma la constituyen las presas de colas que se

multiplican en el paisaje moense y degradan progresivamente el medio físico.

En la actualidad, aproximadamente 20 km² de la superficie del territorio moense están afectados por estos fenómenos, sin tener en cuenta las áreas descubiertas para la actividad constructiva social e industrial y las vías de acceso. Estas formas, además de alterar morfológicamente la superficie, constituyen sectores de pérdida de la cobertura vegetal, lo cual no solo altera el ciclo hidrológico, sino también facilita la acción de un agente erosivo intenso como el viento, lo que permite el riesgo de un proceso de desertificación artificial.

Clasificación de los suelos

En este trabajo se empleó la clasificación ingeniero-geológica de los suelos de Moa, propuesta por Miguel León (1978), en la cual se tienen en cuenta como parámetros fundamentales: composición granulométrica, índice plástico (IP) para los suelos finos, densidad seca (γ_d) e índice de poros (e), y de forma complementaria, el índice de liquidez (B) y el grado de saturación (S). Según esta clasificación, tomando como base la información

TABLA 1. Propiedades físico-mecánicas de los suelos de la Zona I

Zona	Sub Zona	Clasificación de los suelos	LL %	LP %	IP %	γ_s kn/m ³	γ_f kn/m ³	γ_d kn/m ³	W %	S %	e	C kn/m ²	ϕ (°)	B
I	I - a	Suelos lateríticos gruesos (arenas gravosas mezcladas con arcillas limosas, densidad media y saturados).	43,7	32	11,7	37,8	22,6	18,5	24,5	81,5	1,02	4	27	-0,63
		Suelos lateríticos gruesos (arenas mezcladas con arcilla limosa, densidad baja y saturados).	64,3	37,4	26,8	34,4	21,0	13,7	51,4	99,4	2,02	7,35	18	0,52
		Suelos serpentiniticos finos (arcillas muy plásticas mezclada con arena fina de densidad baja, consistencia firme plástica y saturados).	90,7	43,5	47,2	27,9	15,3	10,2	61,5	94	2,11	8	12	0,38
I	I - b	Arenas, gravas, arenas arcillosas, arcillas arenosas y cantos rodados.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Desconocido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	I - d	Suelos lateríticos gruesos (arenas gravosas mezcladas con arcillas limosas, densidad baja y saturados).	37,2	24,5	12,7	36,8	28,8	21,5	22,4	92,6	0,98	3,10	20,5	-0,16
		Suelos serpentiniticos finos (arcillas muy plásticas mezcladas con arenas finas de densidad baja, consistencia firme plástica y saturados).	90,7	43,5	47,2	27,9	15	9,2	61,5	85	2,11	10,8	6	0,3
I	I - e	Suelos lateríticos finos (arenas muy fina, mezclada con arcilla limosa, densidad baja, saturados, consistencia sólida)	67	53	14	3,88	2,16	1,65	30,7	88	1,3	6	27	-1,5
		Suelos serpentiniticos finos (arcillas plásticas mezclada con gravas de densidad baja, consistencia sólida plástica y saturados).	125	59	66	2,91	1,52	0,87	74	92	2,3	6,5	12,0	0,22

geotécnica de las diferentes obras investigadas por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas # 6 de Holguín, y considerando factores como el relieve, profundidad de yacencia de las aguas subterráneas, tipos de suelo y sus propiedades físico-mecánicas se realizó la zonificación ingeniero-geológica de las áreas urbanas y suburbanas de Moa, quedando conformada de la siguiente manera:

ZONA I	ZONA II	ZONA III
Subzonas	Subzonas	Subzonas
I - a	II - a	III - a
I - b	II - b	III - b
I - c	II - c	III - c
I - e		

La zona I comprende la parte sur y oeste del área de estudio y abarca los repartos Rolo Monterrey y Miraflores, presas de colas, Politécnico, Combinado Mecánico y el Instituto Superior Minero Metalúrgico. Aparecen suelos lateríticos de color que varía de rojo vino a carmelita verdoso, y serpentiniticos de coloración verde amarillenta. Se encuentra afectada, fundamentalmente, por la erosión en cárcavas (Tabla 1).

La zona II abarca los repartos Las Coloradas, Caribe, La Playa, Los Mangos, Joseillo, Haití Chiquito, Las Coloradas Viejas y el poblado de Moa (Tabla 2).

La zona III comprende las áreas que ocupan el aeropuerto, el puerto y la zona pantanosa que se encuentran en la parte NW del área de estudio (Tabla 3).

TABLA 2. Propiedades físico-mecánicas de los suelos de la Zona II

Zona	Sub Zona	Clasificación de los suelos	LL %	LP %	IP %	γ_s kn/m ³	γ_f kn/m ³	γ_d kn/m ³	W %	S %	C kn/m ²	ϕ (°)	B	
II	II - a	Suelos lateríticos gruesos (arenas gravosas mezcladas con arcillas limosas, densidad media y saturados).	43,8	44,6	14,9	35,8	22,4	18,2	22,5	0,96	77,1	3,2	20	-0,46
		Suelos lateríticos gruesos (arenas gravosas de densidad baja y saturados).	76,2	44,8	31,6	35,7	16,6	10,1	65,8	2,40	89,1	18,3	5,5	0,66
		Suelos lateríticos gruesos (arena fina mezcladas con arcillas de densidad muy baja y saturados).	82	52,4	39,6	36,2	15,3	8,9	42,5	2,17	92,8	20	4,6	-0,25
II	II - b	Suelos lateríticos finos (arcillas limosas mezclada con arenas, densidad media, húmedos y consistencia sólida)	40,6	33,9	16,3	37,2	21,2	16,2	38,0	1,28	83,9	23	6,1	0,16
		Suelos lateríticos gruesos (arenas mezclada con arcillas plásticas, de densidad baja y saturados).	65,5	35,2	30,3	35,9	18,1	13,4	45,7	1,43	91,1	16	3,9	0,34
		Suelos serpentiniticos gruesos (arenas gravosas, densidad muy baja y saturados).	95	45,7	47,5	33,2	19,6	7,5	89,5	3,36	92	8	18	0,88
II	II - c	Suelos lateríticos de color rojo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

TABLA 3. Propiedades físico-mecánicas de los suelos de la Zona III

Zona	Sub Zona	Clasificación de los suelos	LL %	LP %	IP %	γ_s kn/m ³	γ_f kn/m ³	γ_d kn/m ³	W %	S %	C kn/m ²	ϕ (°)	B	
III	III - a	Suelos típicos de pantano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Suelos lateríticos fino (arcilla limosa de densidad media, húmedos, consistencia sólida)	39	28	11	36,6	28	23	12,1	0,61	82	-	-	-1,37
		Suelos lateríticos fino (arcilla limosa de densidad alta, saturados, consistencia sólida) Cian de color oscuro de consistencia fluida plástica, densidad muy baja)	73,8	38,6	35,2	26,9	14,2	0,78	71,1	2,4	77	9	3	0,92

De manera general, la densidad seca de estos suelos disminuye con la profundidad, mientras que aumenta su índice de poros, haciéndose alto este último en aquellos suelos donde es baja la densidad seca y se manifiesta así para cada zona muestreada. Esta característica es el resultado de los fenómenos que han intervenido en la formación del suelo, pues como presenta un origen químico, debido a la descomposición de la roca serpentinitica donde son lixiviados la mayoría de los componentes, se producen muchos espacios, lo que trae como consecuencia un aumento del índice de poros (e) y una disminución de la densidad seca (γ_d) (León, 1978).

Metodología de investigación

Los trabajos se realizaron en tres etapas las cuales se detallan a continuación:

A) Revelamiento preliminar. Se realizó una recopilación bibliográfica en el Centro de Información Científico-Técnica del Instituto Superior Minero Metalúrgico y en el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, utilizando toda información geológica existente del área. Se analizaron 110 perforaciones realizadas por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas # 6 de Holguín de las cuales se tomaron las propiedades físico-mecánicas y la profundi-

dad del nivel freático para categorizar el suelo desde el punto de vista ingeniero-geológico y confeccionar el mapa ingeniero-geológico.

B) Investigación orientativa. Se identificaron los fenómenos que generan peligros y riesgos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa a través de un levantamiento ingeniero-geológico. Se tomaron 85 fotografías en diapositivas las cuales permitieron posteriormente zonificar y verificar la ocurrencia de estos procesos y dirigir los trabajos posteriores.

C) Trabajos de gabinete. Se analizaron y se procesaron los datos que permitieron confeccionar el mapa de zonificación de los procesos geológicos que generan peligros y riesgos para el territorio.

Conceptos básicos en la ingeniería de riesgos

El estudio de los riesgos geológicos utiliza el conocimiento de los procesos geológicos para su prevención haciendo uso de conceptos, métodos y técnicas de análisis para lograr un nivel de protección determinado en las personas y objetos económicos. Las técnicas básicas de análisis de esta rama son las siguientes:

- **Análisis del peligro:** técnica de predicción que identifica los tipos de eventos peligrosos, frecuencia de ocurrencia y sus condiciones espaciales y temporales.
- **Análisis del riesgo:** esta técnica cuantifica los daños y estudia la vulnerabilidad a partir del análisis de los peligros.

Por lo tanto, la ecuación básica de análisis de riesgos tiene en cuenta dos parámetros fundamentales que son: la probabilidad de ocurrencia del evento y las pérdidas socioeconómicas, relacionadas de forma tal que:

$$R = F \cdot C$$

Donde:

- R : Riesgo
- F : Frecuencia de ocurrencia
- C : Consecuencia

No obstante, en la actualidad se emplea una expresión más abarcadora que introduce el parámetro vulnerabilidad (Ayala Carcedo, 1987).

$$R = P \cdot v \cdot V$$

Donde:

- R : Nivel de riesgo
- P : Probabilidad
- v : vulnerabilidad
- V : Valor del bien vulnerable.

$$P = \frac{1}{T} \text{ donde } T : \text{Periodicidad o recurrencia del evento.}$$

Los riesgos geológicos son definidos por Ayala Carcedo como *todo proceso, situación u ocurrencia en*

el medio geológico, natural, inducida o mixta, que puede generar daño económico o social para alguna comunidad y en cuya previsión, prevención o corrección se emplean criterios geológicos, clasificándose los mismos de acuerdo con esta definición (Tabla 4).

TABLA 4. Clasificación de los Riesgos Geológicos

RIESGOS GEOLÓGICOS	EXÓGENOS	Naturales	Deslizamientos Subsidiencias Expansibilidad Dunas Inundaciones
		Mixtos	Erosión/Sedimentación Continental Costera
	ENDÓGENOS	Inducidos	Agotamiento y pérdidas de recursos Contaminación Subsidiencias inducidas Roturas de presas y escombreras
			Volcanes Terremotos Tsunamis Diapiros

Los procesos geológicos se manifiestan en la formación y destrucción de las rocas y suelos, la variación de su estado físico y condiciones de estratificación, en la formación y variación del relieve, construcción de la corteza terrestre y de la estructura interna de la tierra en total. Todos los procesos geológicos son de gran importancia en el aspecto ingenieril debido a su influencia en la estabilidad del terreno y en las obras de ingeniería existentes, proyectadas y construidas (Lomtadze, 1983).

Zonificación de los fenómenos exógenos

Los accidentes causados por condiciones geológicas o fenómenos como terremotos, deslizamientos o inundaciones, acontecen desde épocas remotas provocando pérdidas de vidas humanas y perjuicios materiales. Actualmente, a pesar de que existen condiciones técnicas para aumentar la seguridad de las personas y las obras civiles e industriales, muchas de estas y principalmente las zonas urbanas son vulnerables a situaciones de desastres (Tadashi, 1995).

Es de gran importancia enfocar los accidentes de naturaleza geológica desde el punto de vista socioeconómico. Estimados de la Agencia de Coordinación para el Socorro de Desastres de la ONU señalan que los ma-

yores daños se concentran en las últimas dos décadas, donde han perecido cerca de tres millones de personas, afectado a otros ochocientos millones y provocado daños por 23 mil millones de dólares (Agencia de Coordinación de las Naciones Unidas para el Socorro de Desastres, 1988). Este aumento de pérdidas de vidas humanas y daños materiales se relaciona directamente con la explosión demográfica mundial que se ha duplicado desde 1950 y que se concentra en áreas urbanas.

Del análisis de esta problemática en Moa, y tomando como referencia el informe sobre la política de desarrollo de planificación física, observamos que en la segunda mitad de la década del 70 comienza un vertiginoso movimiento constructivo en la rama minero-metalúrgica que provoca un aumento desproporcionado de la población respecto a la creación de la infraestructura social necesaria (viviendas y demás servicios) para asimilar una población de cerca de 78 mil habitantes con la consecuente degradación del medio por el mal uso y aprovechamiento del suelo y el surgimiento e intensificación de fenómenos de naturaleza geológica que han generado áreas vulnerables a la erosión, los deslizamientos y las inundaciones.

Al hacer un análisis de los procesos y fenómenos de tipo exógeno que generan peligros en zonas urbanas y suburbanas del territorio de Moa, encontramos lo siguiente:

1. Procesos relacionados con la actividad de las aguas superficiales (mares, embalses, ríos y corrientes provisionales de agua).
 - Erosión.
 - Fenómenos costeros. Acumulación de sedimentos.
 - Inundaciones
2. Procesos relacionados con las fuerzas gravitacionales.
 - Deslizamientos.

• Erosión

Como erosión se entiende todo proceso de destrucción y remoción de partículas de suelo o fragmentos de rocas por la combinación de la gravedad con el agua, el viento y organismos vivos, de forma tal que esta puede ser natural, manteniéndose en equilibrio con la formación del suelo, o acelerada en su intensidad por acciones antrópicas en estado de desequilibrio.

La ocupación del suelo, iniciada por el hombre en acción deforestadora y seguida por el cultivo de la tierra, construcción de caminos y expansión de pueblos y ciudades, constituye el factor decisivo del origen y aceleración de los procesos erosivos.

La erosión forma parte del ciclo geológico externo de erosión-transporte-sedimentación, manifestándose como procesos ligados a la dinámica evolutiva del planeta, rebajando y desgastando los materiales que aparecen en la superficie de las tierras emergidas. Dentro de los factores naturales que influyen en la erosión se des-

tafan la lluvia, la cobertura vegetal, la topografía y las propiedades de los suelos.

La lluvia provoca la erosión a través del impacto de las gotas de agua sobre la superficie del suelo y el posterior escurrimiento. Su acción está relacionada con la distribución en el espacio y el tiempo y con su intensidad. La cobertura vegetal constituye la defensa natural de los suelos contra la erosión pues los protege contra el impacto directo de la lluvia, aumenta la infiltración por la producción de poros a través de las raíces y la capacidad de retención de agua por la incorporación de materia orgánica.

La influencia de la topografía del terreno en la intensidad erosiva radica en su estrecha relación con el ángulo de inclinación y el largo de la ladera que aumenta la velocidad de los torrentes.

Las propiedades de los suelos, al variar, ejercen diferentes influencias en la erosión al otorgarle mayor o menor resistencia a la acción de las aguas; por ejemplo al aumentar la granulometría del suelo aumenta su capacidad de infiltración y adsorción.

El transporte de los materiales procedentes de la erosión a través de ríos, hielo de los glaciales o el viento, da lugar a la acumulación o sedimentación, ya sea a corto o mediano plazo, lo que origina graves consecuencias ecológicas y sociales como son atarramiento de embalses, agravamiento de inundaciones e incremento de sus frecuencias, deterioro de ecosistemas naturales, formación de arenas y pérdidas de suelos cultivables y de su fertilidad, pudiéndose manifestar este proceso de diferentes formas.

Cuando se produce una remoción más o menos uniforme del horizonte superficial del suelo, aparece una erosión laminar provocada por el escurrimiento superficial fundamentalmente en zonas de pendientes suaves, de forma tal que el agua destruye y transporta sucesivamente la capa superior del suelo en forma de láminas continuas y de poco espesor. Si el agua del escurrimiento superficial llega a concentrarse, se abren incisiones en el terreno que dan origen a la erosión con surcos o cárcavas que pueden llegar incluso a sobrepasar en profundidad la capa fértil en caso de terrenos cultivados. La erosión en cárcavas progresa en profundidad y anchura llegando a dimensiones métricas y decamétricas.

En Moa, este fenómeno se presenta tanto especialmente como en intensidad, siendo la erosión en cárcavas el tipo con mayor desarrollo y el que más peligro representa para la comunidad por el volumen de sedimentos que es capaz de remover y los daños que le ocasiona a la minería, redes de alcantarillados, obras marítimas y portuarias.

Según el levantamiento para la zonificación de los procesos que generan peligros y riesgos en el territorio de Moa, las áreas urbanas donde se presenta con mayor desarrollo la erosión en cárcavas son:

Reparto Rolo Monterrey: todo el borde del talud de la cadena de edificios multifamiliares de este reparto.

Aquí la erosión es provocada por la roturación y laboreo para el cultivo a favor de la pendiente. Esta área está concebida para jardines.

Salud de las cortinas de las presas de colas: la erosión es provocada por la no revegetación del talud que con una pendiente abrupta está expuesto al escurrimiento superficial y que, en algunos casos como en la presa de colas de la planta "Ernesto Che Guevara", ha logrado romper el dique provocando el derrame de las colas directamente al mar.

Zonas minadas o laboreadas para la construcción: dentro del área de estudio estas zonas están bien definidas como:

1. Mina de la planta "Ernesto Che Guevara"
2. El área que ocupa la Empresa Constructora y Reparadora de las Industrias del Níquel limitada al norte por el río Cabañas y al este por la carretera hacia la mina de la planta "Pedro Sotto Alba"
3. El área que abarca de sur a norte desde el río Cabañas hasta el reparto Costa Azul incluyendo el preuniversitario "Nico López", reparto Armando Mestre, base de transporte de la Unión del Níquel, Instituto Superior y reparto Miraflores.

• Fenómenos costeros. Acumulación de sedimentos

Las orillas y costas de los mares cambian constantemente su configuración bajo el efecto de las resacas, corrientes costeras, efecto físico-químico del agua sobre las rocas que las forman, al mismo tiempo que se acumula material friable producto de su propia destrucción suministrado por las corrientes marinas y los ríos lo que da lugar a formas acumulativas del relieve.

Siempre la acción y desarrollo de unos fenómenos crean condiciones para el surgimiento y desarrollo de otros por la ley de conservación de la materia, como por ejemplo: la destrucción de orillas y costas provocan derrumbes y deslizamientos. Todo estos fenómenos tienen gran importancia en la ingeniería geotécnica, pues en las zonas costeras se proyectan y construyen diferentes obras hidrotécnicas que pueden alterar su estabilidad y régimen de explotación.

En Moa el fenómeno costero que presenta mayor desarrollo es la sedimentación, provocada fundamentalmente por el aporte de sedimentos a la bahía que hacen los ríos Cabañas y Moa conjuntamente con algunos arroyos que si bien no altera en gran medida la línea de costa si aumenta los espesores de sedimentos en el fondo y puede observarse cómo en períodos de bajamar entre la Punta Cabagán y el extremo occidental de Cayo Moa Grande el fondo marino aflora a la superficie en una gran extensión existiendo algunos puntos donde comienza a desarrollarse el mangle, lo que constituye un peligro para la navegación interna en la bahía. También este fenómeno de acumulación de sedimentos tiene gran desarrollo en la dársena del puerto y su canal de entrada. Esto es notable por el aumento de la frecuencia de dragado (Tabla 5) durante el período de explotación

y constituye un peligro para la inspección, mantenimiento y operaciones del campo de boyas y su oleoducto submarino además de provocar cambios drásticos en el ecosistema marino.

TABLA 5. Frecuencia de dragado del puerto de Moa

1957 - 1959	Construcción del canal y la dársena	
1976 (18 años)	1er. Dragado	1 millón m ³ extraído
1986 (10 años)	2do. Dragado	1.08 millón m ³ extraído
1991 (5 años)	3er. Dragado	1.5 millón m ³ extraído

Investigaciones sobre esta problemática (Ulloa, 1994) proponen como medidas correctoras la construcción de un sedimentador en la desembocadura del río Moa y su desviación hacia la ensenada Los Cocos, que por su situación geográfica puede servir como trampa natural de sedimentos.

• Inundaciones

Las zonas de inundaciones en el territorio de Moa están asociadas a zonas bajas, los suelos presentes se caracterizan por una humedad excesiva que satura los horizontes superiores y provoca el estancamiento de las aguas en la superficie. Estas zonas están asociadas al Complejo Acuífero de los Sedimentos Costeros, donde en ocasiones el nivel freático aflora a la superficie, unido a la invasión del mar durante los períodos de pleamar. También estas zonas se asocian a las áreas de inundación de los ríos Cabañas y Moa y el arroyo Aserrio durante las crecidas en períodos de intensas lluvias.

Espacialmente estas zonas están bien definidas, desde la desembocadura del río Moa en el SW hasta las inmediaciones de la planta "Pedro Sotto Alba", hacia el oeste; limitados por la línea de costa ocupa las áreas aledañas al puerto, todo el aeropuerto, los repartos Joselillo, La Laguna, Haití Chiquito y una estrecha franja costera hasta Punta Cabagán que se encuentra totalmente inundada.

• Deslizamientos

La investigación de los deslizamientos está relacionada con varias ramas del conocimiento humano como son la Ingeniería civil, geología, mecánica de suelos. La importancia del análisis y control de los deslizamientos resulta de la demanda socioeconómica proveniente de accidentes y problemas de inestabilización de laderas (Augusto Filho, 1995).

Los procesos de transporte de materia sólida superficial de nuestro planeta pueden ser: gravitacionales de masa inducida por la aceleración gravitacional y de movimiento de transporte, donde el material que se mueve es transportado por el agua, hielo o aire (Hutchison, 1996)

Cruden (1990) propone una definición simple para deslizamientos: *es un movimiento de rocas, tierra y detritos laderas abajo.*

Aunque el término *ladera* puede ser definido como toda superficie natural inclinada que une otras dos su-

perfiles caracterizadas por diferentes energías potenciales gravitacionales (Stochalak, 1974), el término *talud* es más usado para definir laderas próximas a obras lineales, de minería, poseyendo un carácter más geotécnico y relacionado con áreas limitadas (Wolle, 1980). Existen

varias clasificaciones de movimientos gravitacionales de masa asociados a las laderas, pero la clasificación propuesta por Varnes (1978) es considerada por la International Association of Engineering Geology (IAEG) como la oficial (Tabla 6).

TABLA 6. Clasificación de los movimientos de laderas según Varnes (1978)

TIPO DE MOVIMIENTO		ROCAS	SUELOS GRAUESOS	SUELOS FINOS
Caidas		De rocas	De detritos	De tierra
Deslizamientos	Rotacional	Abatimiento de rocas	Abatimiento de detritos	Abatimiento de tierra
	Trestacional	De bloques rocosos y de rocas	De bloques de detritos y de detritos	De bloques de tierra y de tierra
Expansiones laterales		De rocas	De detritos	De tierra
Tormentas / Escurrimientos		De rocas	de detritos	de tierra
		Arrastre Profundo	arrastre de suelo	arrastre de suelo
Desmoronamientos		De rocas	De detritos	De tierra
Complejos : Combinación de dos o más de los principales tipos de movimientos.				

Según Augusto Filho, las características principales de los deslizamientos son las siguientes:

- Pocos planos externos de deslizamientos.
- Velocidades medias (m/h) a altas (m/s).
- Pequeños y grandes volúmenes de material.
- Geometría y materiales variables.

Planares: Suelos poco compactos, suelos y rocas con un plano de fragilidad.

Circulares: Suelos compactos homogéneos y rocas muy fracturadas.

En cuña: Suelos y rocas con dos planos de fragilidad.

El hombre constituye el principal agente modificador de la dinámica de las laderas. El avance de las diversas formas de uso y ocupación del suelo en áreas naturalmente susceptibles a los deslizamientos acelera y amplía los procesos de inestabilidad.

No obstante, en el análisis y control de los deslizamientos, principalmente en áreas urbanas, se debe reflexionar sobre las principales modificaciones en la dinámica de las laderas resultantes de las interferencias antrópicas, porque estas son muchas veces los responsables de la deflagración de los procesos de inestabilidad. De tal forma (Augusto Filho, 1995) las principales acciones antrópicas que inducen deslizamientos son:

- Remoción de la cubierta vegetal.
- Lanzamientos y concentración de aguas pluviales y servidas.
- Pérdidas en la red de abastecimientos, alcantarillado y presencia de pozos negros.

- Ejecución de cortes con geometría incorrecta según la relación Altura / Inclinación.
- Ejecución deficientes de rellenos.
- Acumulación de desechos en las laderas.

En el área estudiada los deslizamientos que han ocurrido en épocas recientes están caracterizados por la remoción de pequeños volúmenes de material asociado fundamentalmente a incorrectas acciones antrópicas como son la ejecución de cortes, mala proyección de actividades extractivas en la minería, conjugados con fenómenos erosivos.

Espacialmente, estos deslizamientos están distribuidos de la forma siguiente:

1. Zona de construcción de túneles para la defensa en la cercanía del preuniversitario "Nico López" causado por la no realización de investigaciones ingeniero-geológicas y la deficiente proyección de la obra.
2. Carretera a Sagua de Tánamo en el tramo salida de la ciudad-Centeno: la causa fundamental de este deslizamiento es la incorrecta geometría del talud y la deficiente actividad minera extractiva que se realiza allí para el tejar de la localidad.
3. Zona donde se ubica la ECRIN y áreas aledañas, provocada por la remoción de la cobertura vegetal que ha favorecido la erosión.
4. Nueva presa de colas de la planta «Pedro Soto Alba», causado por el deficiente estudio de los suelos de la base de la cortina.
5. Mina de la planta «Ernesto Che Guevara», ocurrido recientemente, causado presumiblemente por el incorrecto minado sobre una zona de fallamiento.

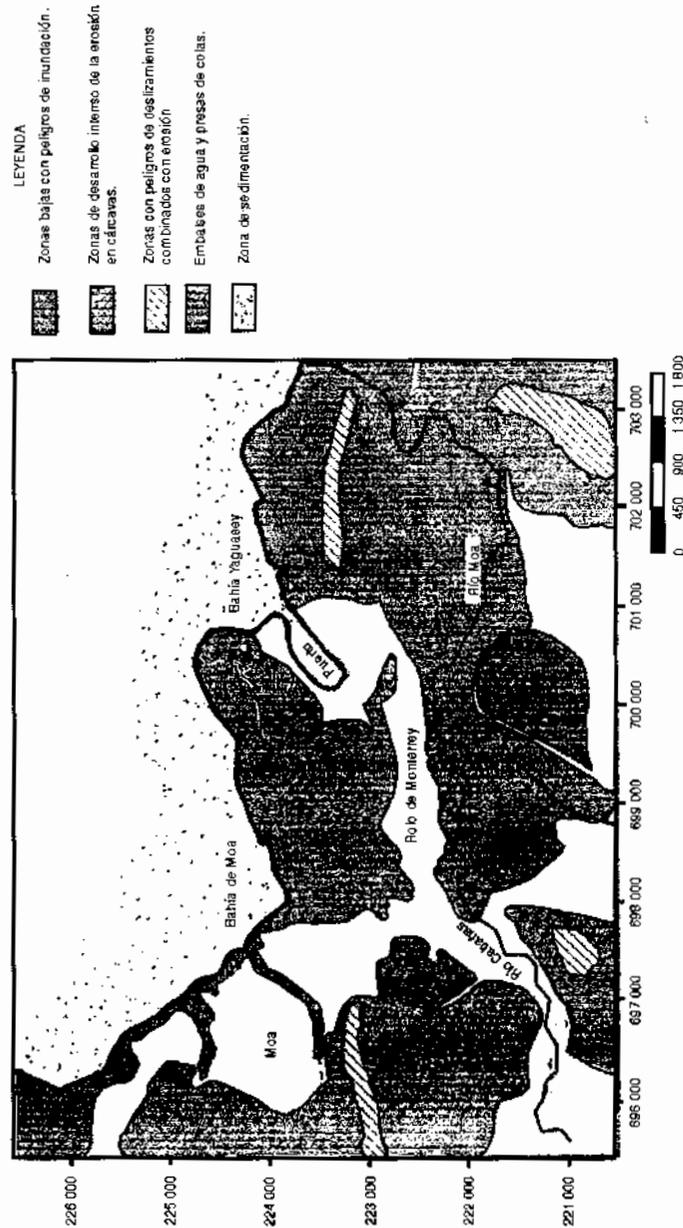


FIGURA 2. Mapa de zonificación de peligros y riesgos de Moa.

CONCLUSIONES

- Las causas fundamentales que provocan el surgimiento y desarrollo de la erosión, los deslizamientos y la acumulación de sedimentos tienen origen antrópico (laboreo minero a cielo abierto y construcciones de obras civiles e industriales).
- El fenómeno de las inundaciones tienen origen geoclimático (abundantes precipitaciones) y las áreas de distribución se asocian a las subzonas ingeniero-geológicas III-a y I-b que corresponden a las zonas bajas del litoral y las áreas de inundación de los ríos Cabañas y Moa.
- El proceso geológico que con mayor desarrollo e intensidad se presenta en Moa es la erosión en cárcavas y se distribuye principalmente en la zona ingeniero-geológica I, donde predomina un suelo laterítico constituido por arenas mezclada con arcillas.
- La acumulación de sedimentos en la bahía es causada por el acarreo de materiales desde las zonas minadas por los ríos Moa y Cabañas, principalmente.
- Los deslizamientos son de tipo traslacional y se caracterizan por el pequeño volumen de material que se remueve, provocado por las acciones incorrectas del hombre en la minería y las construcciones.
- Los deslizamientos espacialmente coinciden con aquellas áreas donde existe un desarrollo intenso de la erosión.

BIBLIOGRAFÍA

- AUGUSTO FILHO, O.: *Caracterización geólogo geotécnica de los deslizamientos y estabilización de laderas*, UNICAMP, Brasil, 1992.
- : *Deslizamientos Aspectos geológicos de protección ambiental*, vol. I. ORCYT, Montevideo, 1995.
- AYALA CARCEDO, F.J.: «Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y su aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos», en *Boletín geológico y minero* (Madrid), 101 (3): 108-118, 1990.
- : «Manual de ingeniería de taludes», ITGE, Madrid, 1991.
- : «Los peligros naturales en la evaluación del impacto ambiental en obras civiles», en *Boletín geológico y minero* (Madrid) 101 (6): 81-93, 1990.
- BAHR, B.A.: «The world land problem», en *Episodes* (Herndon) 14 (1): 52-61, 1988.
- CAMPOS DUEÑAS, M.: «Rasgos principales de la tectónica de las provincias Holguín y Guantánamo», en *Minería y Geología* (Moa) (2), 1983.
- CARMENATE FERNÁNDEZ, J.A. y L. KEY PÉREZ: «Evaluación preliminar de la estabilidad del macizo rocoso en obras para la defensa civil en la ciudad de Moa», Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, Departamento de Geología, 1992.
- CASTILLO GONZÁLEZ, J.L. y M. MUNDT: «Estudio geólogo-tectónico de la región de Moa», Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, Departamento de Geología, 1993.
- CRUJEN, D.M.: «Suggested Nomenclature for a Land Slide Summary», en *Boletín de la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica*, USA 1 (3): 40-41, 1991.
- Erosión y desertificación en España*, ITGE, 1989.
- HITCHCOCK, J.N.: Mass movement. *Encyclopedia of geomorphology*. New York, 1968.
- ITURRALDE-VINENT, M.: «Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba», en *Ciencias de la Tierra y el espacio* (La Habana) (17): 8-26, 1990.
- : «Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba», Project 364 Caribbean Ophiolites and Volcanic Arcs, Special Contribution No 1. USA, 1996.
- LEÓN, M.: «Propiedades físico-mecánicas de las lateritas de Moa en estado natural. Tesis doctoral», ISPJAE, Ciudad de La Habana, 1978.
- LONTAJE, V.D.: *Geología aplicada a la ingeniería geodinámica y a la ingeniería geológica*, Nedra, Moscú, 1983.
- QUINTAS, F.: «Análisis estratigráfico y paleogeográfico del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas», Tesis doctoral, ISMM, Moa, Departamento de Geología, 1989.
- STOCHALAK, I.: «The Classification of Slope Deposit from Engineering Geological Point of View», en *Resúmenes del Congreso Internacional de Ingeniería Geológica*, São Paulo, 1974.
- TAMAYO RAMOS, A.A. y R. GUARDADO LACABA: «Estudio de áreas con peligros y riesgos geológicos en el territorio de Moa», Trabajo de Diploma, ISMM (Moa), Departamento de Geología, 1995.
- ULLOA CARCASES, M.: «Medidas para evitar la sedimentación en el puerto y la bahía de Moa», IX Forum de Ciencia y Técnica, CICT, ISMM, Moa, 1994.
- VARGAS CUERVO, G.: «Metodología para la cartografía de zonas susceptibles a los deslizamientos a partir de sensores remotos y GIS», en *Boletín geológico*, Bogotá 34 (1), 1994.
- WOLLE, C.M.: *Taludes naturales: mecanismo de inestabilidad y criterios de seguridad*, EPUISP, São Paulo, 1980. □