

La tercera etapa consistió en el estudio estadístico de diferentes perfiles de temperatura, por turnos, según los reportes diarios del Taller de Preparación del Mineral, comprendidos entre los años 1991-1994 con el fin de corroborar un segundo efecto endotérmico obtenido por ATG, el cual fue encontrado también por especialistas en esta técnica del Laboratorio de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

De 265 turnos que esta planta cumplió al 100 % de eficiencia operativa, en 200 de éstos el perfil de temperatura se encontró por debajo de 120 °C y sólo en 65 por encima.

Estos resultados los consideramos de interés para los tecnólogos, ya que se contactó con los operadores de esta planta y ellos encontraron fenómenos de variación en la temperatura que no dependen del tonelaje alimentado, lo cual parece relacionarse con la composición mineralógica, aunque no se puede afirmar categóricamente debido a que en la muestra SM-4 no se incluye en los reportes diarios la composición de la sílice, magnesio y la alúmina. La presencia de ácido carbónico en el agua de lluvia transporta y lixivia el magnesio, la sílice y parte del níquel, que en este proceso son redepositados como compuestos eflorescentes, es decir, además de perder el agua higroscópica pierden el agua de cristalización (limonita), convirtiéndose en sustancias pulverulentas que son redepositadas a lo largo de la red microfisural de estos minerales durante el proceso de secado, haciendo desempeñar al material serpentinitico el papel de mineral retenedor y en consecuencia se reduce el extractable de los metales de interés: níquel y cobalto.

Las principales fases descompuestas durante el secado por encima de 120 °C del mineral laterítico son:

- Ferralitas (lateritas)
 

FeO(OH)	-----	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Goethita		Hematita
- Bauxitas
 

Al(OH) <sub>3</sub>	-----	AlO(OH)
Gibbsita		Bohemita

Uno de los problemas actuales de la empresa "Ernesto Guevara" es el fenómeno denominado dilución del mineral debido a las diferencias en la composición química de las muestras de referencia SM-2 y SM-8. Esto se debe a la existencia de diferentes criterios de secado, lo que trae consigo la destrucción de las fases en las muestras de referencia SM-2 (mineral de alimentación a secadero a 128 °C) contra el mineral SM-8 (mineral de entrada a molienda a 105 °C) impidiendo un correcto balance de masa entre la mina y la planta de preparación del mineral.

### CONCLUSIONES

- La presencia de altos contenidos de SiO<sub>2</sub> contribuye a la conservación de la capacidad de retención de los diferentes tipos de agua presente en los minerales.
- La conservación de la estructura cristalina durante el proceso de secado explica la conservación de la capacidad de retención del agua en las serpentinas.

- Se encontró que el proceso denominado actualmente de secado a temperaturas mayores de 120 °C es realmente más complejo y consiste en un proceso de secado más la descomposición de las fases (hidrogoethita-goethita-hematita y gibbsita-bohemita).
- El proceso de secado excesivo falsea los resultados del balance de masa del mineral entregado por la mina a la planta de preparación del mineral (proceso de dilución), debido a que grandes pérdidas de agua (higroscópica + constitución) se toman como pérdidas de mineral valioso.
- El método de reflexión de neutrones se ha ratificado como efectivo y rápido en la determinación de la humedad en los minerales lateríticos.
- Los resultados obtenidos en la determinación de los calores específicos de los minerales lateríticos, coincidieron con los resultados de la literatura especializada, permitiendo una mejor comprensión del proceso de transferencia de calor a través de estos minerales.
- El alto porcentaje de material serpentinitico provoca pérdidas de níquel que son producidas por la lixiviación y transportación del agua de lluvia, que en el proceso de secado se convierten en sustancias pulverulentas redepositadas a lo largo de la red microfisural de estos minerales, desempeñando así, el material serpentinitico, la función de mineral retenedor por excelencia.
- Existen diferencias significativas en las condiciones de secado de los minerales en los laboratorios analíticos, que provocan divergencias inadmisibles al determinar su composición química.

### BIBLIOGRAFÍA

- AIDAROV, I.P. y A.I. GOLOVANOV: *El riego*, Ed. Mir, Moscú, 1982.
- DESDIN, L. et al.: "Fundamentación científico-técnica y técnico-económica de la introducción del método de reflexión de neutrones en la medición de la humedad en los hornos de secado en la empresa Ernesto Guevara", CEADEN, C. Habana, 1992.
- : "Determinación de la humedad en el mineral laterítico por el método de reflexión de neutrones", Evento Internacional MINIMETAL-91, C. Habana, 1991.
- FISHER, B.R. and M.W. DREDELL: *The Nicaro (Cuba) nickel ore basic analysis in controlled atmospheres*. United States Department of the Interior, 1959.
- GONZÁLEZ ARIAS, A.: *Análisis térmico diferencial y otras técnicas termoanalíticas*, Ed. Científico-Técnica, La Habana, 1985.
- GRAN, M.F.: *Elementos de física general y experimental*, Tomo I. Instituto del Libro, La Habana, 1968.
- HERNÁNDEZ ESTRADA, S. et al.: *Metalurgia extractiva de los minerales oxidados de níquel*, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1974.
- JACKSON, A.: *Análisis químico de los suelos*, Ed. Mir, Moscú, 1970.
- MACKENZIE, R.C.: "Differential thermal investigation of clay", Society Mineralogical London, 1957.
- MJAILOV, L.: *Hidrogeología*, Ed. Mir, Moscú, 1985.
- QUINTANA PUCHOL, R.: "Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento Moa. Análisis físico-mineralógico", *Rev. Minería y Geología*, 1985.
- SMYKARZ-KLOSS, W.: "Differential thermal analysis application and results in Mineralogy", *Minerals and Rocks*, vol. II, Springer Verlag, Berlín, 1974.
- TRITE, F.A.: "DTA of natural hydrous ferric oxides", *Amer. Miner.*, 1951.

# EVALUACIÓN INGENIERO-GEOLOGICA DE LAS AREAS CON PELIGROS Y RIESGOS GEOAMBIENTALES DE LA CIUDAD DE MOA

Dr. Rafael Guardado Lacaba  
Ing. José Carmenate Fernández

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

### RESUMEN:

Se ofrece la evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas ante los problemas ambientales que el desarrollo genera, tomando en cuenta el notable crecimiento demográfico, industrial, minero-metalúrgico y urbano, de la ciudad de Moa. Se caracteriza el perfil ingeniero-geológico de los suelos del territorio de acuerdo a los principales parámetros que definen su estado físico, así como las propiedades mecánicas de ellos. Se confeccionan mapas ingeniero-geológicos y de regionalización, los cuales permiten una correcta evaluación del terreno y una mejor dirección del desarrollo de la ciudad.

### ABSTRACT:

An evaluation of ingenier-geological conditions in Moa city is done taking in account the environmental problems that the development generates. Soils engineer-geological profile is characterised according to principal parameters which defines its physical state and mechanical properties. A correct land-planning is reached throught ingenier-geological and regionalization maps.

En 1990 se inició el decenio internacional proclamado por la ONU para la reducción de los desastres naturales en el planeta. Este trabajo se inscribe con este espíritu y contribuirá a la solución en principio de estos problemas.

Moa es el municipio más oriental de la provincia de Holguín. La ciudad, incluyendo las áreas industriales y mineras, está asentada sobre una potente corteza de intemperismo de lateritas ferruginosas, sometidas a constantes cambios en sus condiciones geotécnicas y geodinámicas.

Las tareas de planeamiento regional en este territorio implican un racional empleo del terreno y mejor aprovechamiento de los recursos naturales y del geambiente. La planificación física o planeamiento regional en Moa no debe limitarse al entorno de la ciudad, el transporte, las industrias, las escuelas, la universidad, etc. Todos los recursos que afectan a la economía del territorio integralmente deben ser balanceados, incluyendo la explotación minera y el desarrollo industrial metalúrgico, ver Figura 1.

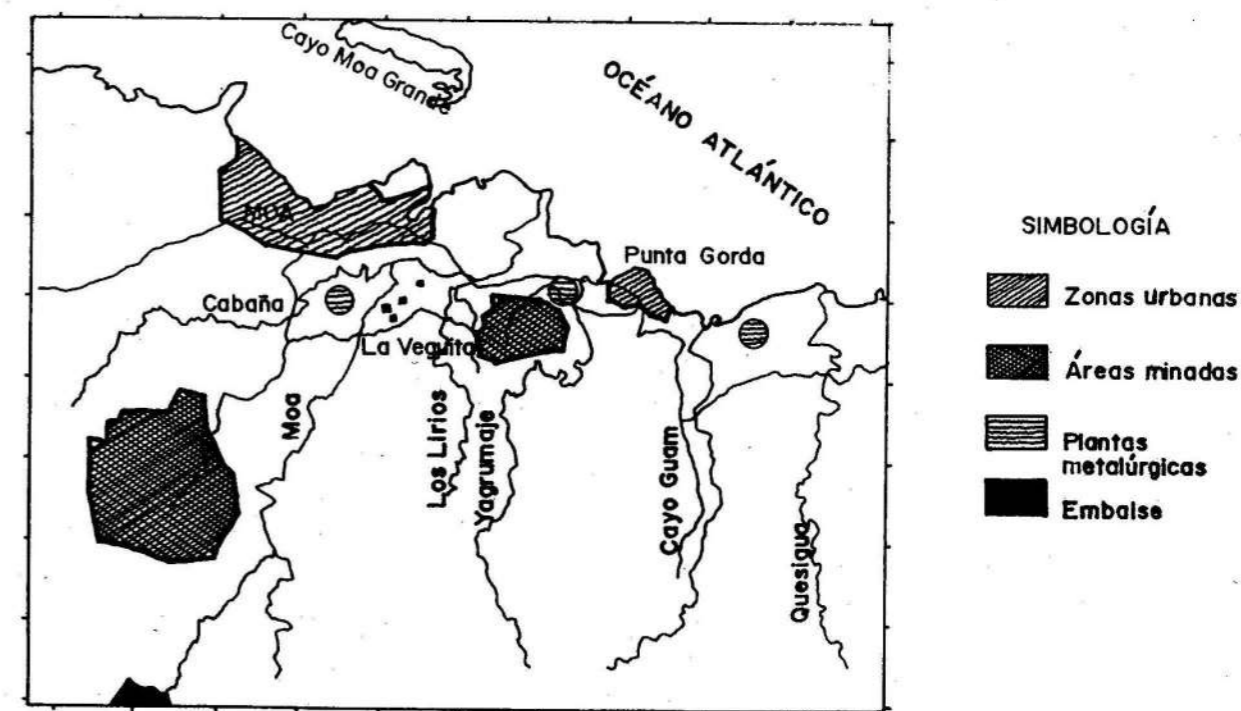


FIGURA 1. Plan director de Moa.



La ciudad de Moa ha experimentado un crecimiento demográfico de 19 000 habitantes en 1974 a más de 76 000 en 1993. La actividad del hombre como factor geológico se manifiesta, a través de las construcciones masivas ejecutadas a partir de la segunda mitad de los años setenta hasta la actualidad. El desplante de grandes extensiones de terreno para la construcción y la minería ha generado y acelerado los procesos erosivos. La construcción de presas de agua y colas provoca la inducción sísmica, la contaminación de los ríos y mares, la alteración del régimen hidrológico y el movimiento del terreno, que indudablemente, se ha hecho sentir. El desarrollo minero metalúrgico produce a diario grandes cambios en el paisaje debido a la explotación de las minas a cielo abierto y a la acumulación de residuales sólidos y líquidos.

La Ingeniería Geológica como ciencia aplicada que estudia los problemas geoambientales debe tratar de buscar soluciones adecuadas y no permanecer estática ante esta situación. La ejecución de un plan de desarrollo armónico y ordenado del territorio permitiría, no sólo contrarrestar el problema del impacto ambiental, sino también dirigirlo.

### Planeamiento regional y problemática ambiental

El 22 de diciembre de 1989 la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la Resolución 44/228, en la que se instaba a celebrar una reunión mundial sobre el tema Desarrollo y Medio Ambiente. Dos años y medio más tarde, y después de cinco reuniones preparatorias, se celebró en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992, la Conferencia Cumbre de la Tierra. A esta conferencia asistieron representantes de todos los países que integran la ONU con el objetivo de elaborar estrategias y medidas encaminadas a detener el deterioro medioambiental.

La Cumbre de la Tierra aprobó los siguientes documentos: Agenda 21, Declaración de Río, Convenio de los Cambios Climáticos, Convención sobre Biodiversidad y Declaración sobre la Protección de los Bosques.

En toda planificación es necesario partir de la base de poder organizar actividades humanas que incidan en el medio físico. De esta manera existen etapas obligadas que utilizan distintos tipos de criterios, enfrentándolos muchas veces de modo dialéctico, hasta llegar a una alternativa o jerarquía de valores de las distintas actividades posibles. Se han elaborado muchos esquemas de trabajo, pero por su esencia bastantes de ellos consideran una primera fase de planificación de las actividades en función del propio marco físico en que se desarrollan; una segunda, en la que toman parte los aspectos económicos y una tercera, en la que a partir de los datos anteriores y las directrices socio-políticas derivadas del modelo establecido, se definen las acciones posibles en el medio legal que sanciona a dichos usos. La importancia asignada a cada una de estas tres fases de planificación, depende de la propia naturaleza del proyecto y del espacio afectado. En este caso se trata de la *Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas del territorio de Moa*, lo que obliga a considerar como principales criterios, las características y condi-

ciones ingeniero-geológicas del medio geológico en esta ciudad. De ahí que los aspectos básicos de planificación serán, conocer los valores ingeniero-geoambientales existentes, su situación o grado de deterioro actual y los factores geodinámicos que actúan sobre ellos para elaborar alternativas ingeniero-geológicas que impidan la continuidad de la degradación geoambiental.

En los últimos años, en Moa y otras regiones del país, el modo de crecimiento demográfico ha contribuido al desgaste medioambiental. Ante esta problemática se confeccionaron los planes de ordenamiento ambiental del territorio. Se trabaja en tres direcciones principales:

- El plan regional, dirigido fundamentalmente al empleo racional de los recursos naturales para diez o quince años.
- Los planes de los complejos constructivos y minero-metalúrgicos dirigidos a solucionar los problemas ambientales y de los recursos naturales.
- Los planes detallados, confeccionados para determinar los aspectos del plan general integral del territorio.

La evaluación ingeniero-geológica de las condiciones del territorio de la ciudad de Moa es muy compleja, y está condicionada a la composición y constitución geológica, las variaciones del relieve, la heterogeneidad de los suelos lateríticos, las condiciones climáticas e hidrogeológicas y los procesos y fenómenos geológicos presentes. Todas estas condicionales determinan el grado de variabilidad de las distintas zonas y distritos.

Se realizaron estudios de las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geotectónicas de suelos y rocas, de los procesos y fenómenos geológicos y un análisis ingeniero-geológico, para la valoración integral del territorio.

### Características geológicas

Las cortezas de suelos lateríticos han sido estudiadas por muchos investigadores (Spencer, 1907; Cox, 1911; Haynes, 1911; Kemp, 1910-1915; DeVleter, 1915; McMillan, 1955; Adamovich y Chejovich, 1964-1966; Formel Cortina, 1968; Labau, 1986; Adis Rodríguez, 1988; Rojas Purón, 1994-1995) debido a la presencia en ellos de altas concentraciones industriales de níquel, cobalto y otros minerales útiles. En cuanto a la evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas de estas cortezas de intemperismo, el problema ha sido poco estudiado a pesar de los estudios geotectónicos realizados en el programa de desarrollo minero metalúrgico.

En la región de Cuba oriental se han elaborado varios esquemas de zonación estructurofacial para la secuencia Eoceno-Cuaternario, la misma se divide en cuatro zonas fundamentales. La que nos ocupa se ubica en el anticlinal oriental, y constituye una enorme estructura en forma de arco convexo hacia el norte que se extiende desde la Sierra de Nipe, al este a través de la Sierra Cristal, cuenca del río Sagua de Tánamo, Cuchillas del Toa, Baracoa y Sierra del Purial hasta la mitad occidental de la meseta de Maisí en el sureste, ver Figura 2.

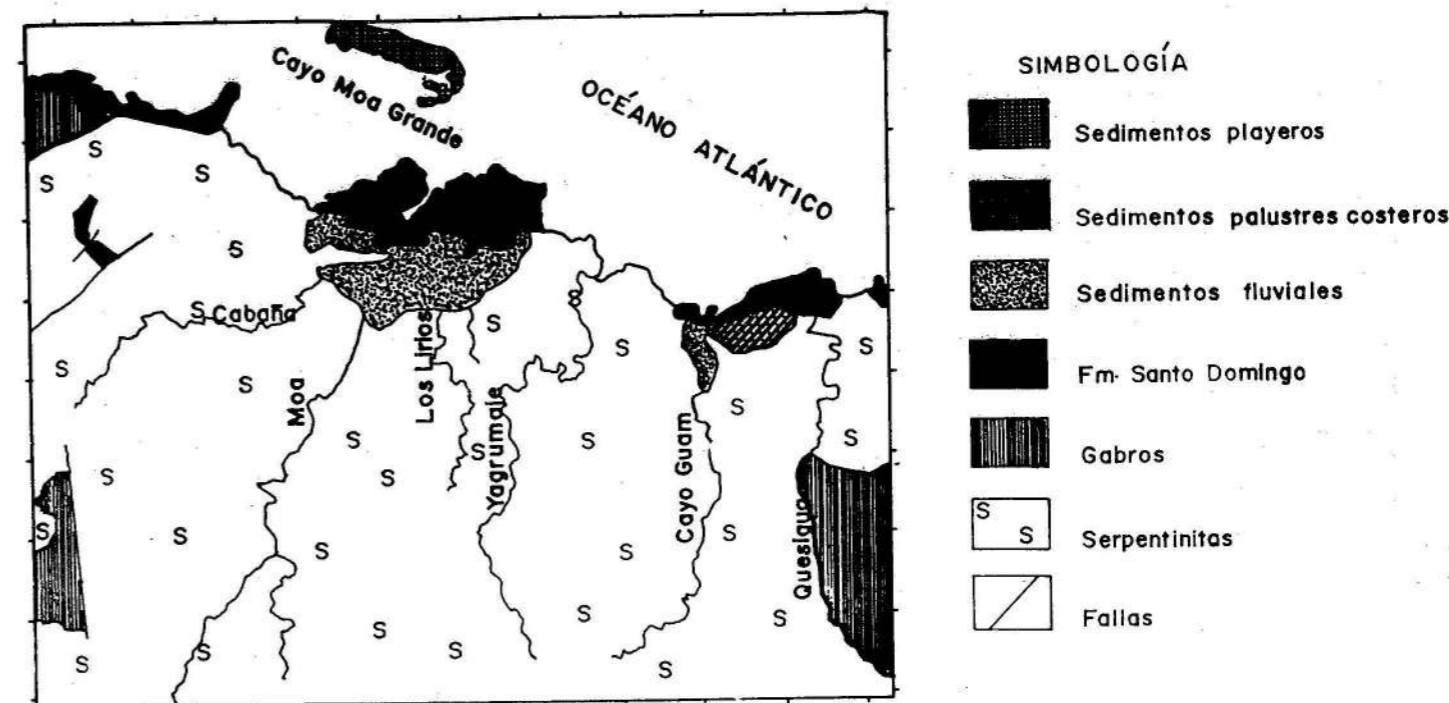


FIGURA 2. Mapa geológico regional.

El territorio se caracteriza, fundamentalmente, por la intensidad con que actúan los procesos de meteorización sobre las rocas peridotíticas serpentinizadas, dando como resultado la formación de potentes cortezas lateríticas que constituyen yacimientos de tipo residual. El área de estas cortezas supera los setecientos kilómetros cuadrados (alrededor de un 25 % del macizo ofiolítico).

Adamovich y Chejovich (1964) plantean "es evidente que las cortezas de intemperismo se formen siendo favorables los tres factores siguientes: a) la intensidad del intemperismo que depende de la temperatura, cantidad de agua y composición de las sustancias químicas disueltas en ellas; b) el espesor de la zona de posible intemperismo que depende de la profundidad de la posición de las aguas subterráneas y de las condiciones de drenaje; c) la intensidad de la erosión. En fin de cuentas, el relieve del lugar".

En nuestro criterio las condiciones de formación de las cortezas de suelos residuales lateríticos se deben a la existencia de un macizo ultrabásico serpentinizado, un clima cálido y húmedo, un relieve con superficies aplanadas de denudación, la acción de las aguas superficiales y subterráneas (en particular la acción predominante del intemperismo químico) y al tiempo de exposición.

Precisamente, la combinación de factores climáticos, geomorfológicos, litológicos, geologotectónicos e hidrogeológicos son los que contribuyen a la formación de estas potentes cortezas eluviales en las que se distinguen cuatro horizontes fundamentales:

- Zona de productos residuales de la meteorización de la hidrólisis final.
- Zona de meteorización inacabada durante la hidratación e hidrólisis.
- Zona de rocas desintegradas y semidescompuestas.
- Zona de roca madre inalterada.

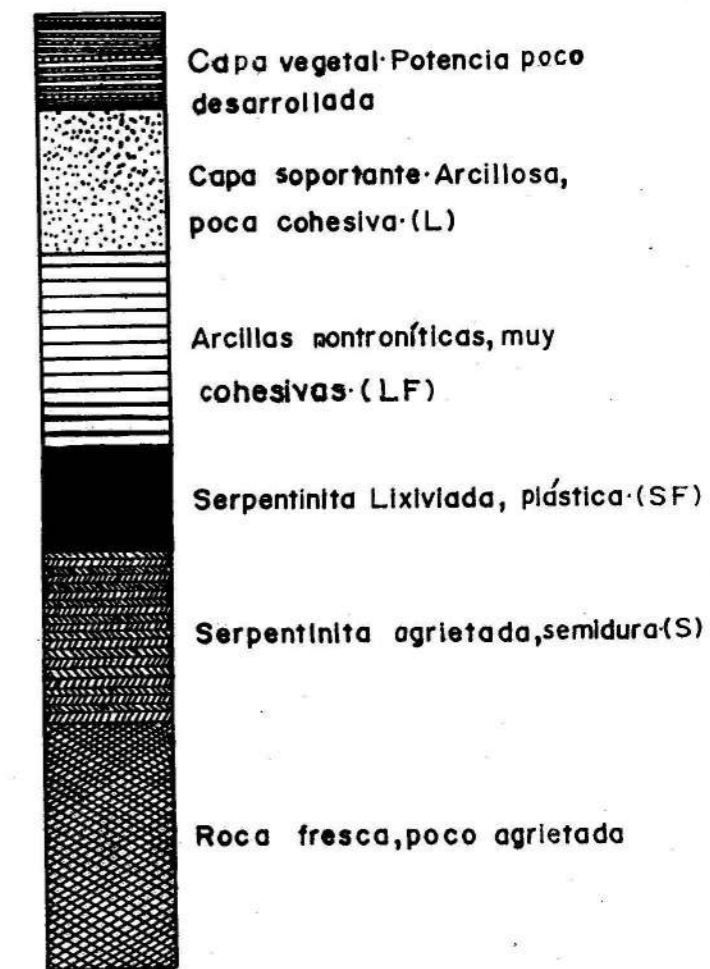


FIGURA 3. Perfil ingeniero-geológico.



## Propiedades geotectónicas de los suelos

Al evaluar las propiedades geotectónicas de las lateritas de Moa se observa que estos suelos están caracterizados por propiedades especiales y particulares.

Si analizamos la composición granulométrica observamos, que manifiesta una ley de variación con la profundidad similar a la densidad, aumentando en ambas las fracciones gruesas hacia la superficie, entremezclándose con perdigones y materiales finos arcillosos. Lo contrario ocurre con la relación de vacío y el índice plástico, los cuales tienen relación directa, y

**TABLA 1. Propiedades físico-mecánicas de los suelos lateríticos del territorio de Moa**

Índice de las propiedades	Unid.	N <sub>t</sub>	N <sub>u</sub>	$\bar{X}$	$\sigma$	K <sub>v</sub>	X <sub>máx</sub>	X <sub>mín</sub>
<b>Ocre inestructural</b>								
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	58	56	3,61	0,12	3,4	3,87	3,47
Densidad natural	g/cm <sup>3</sup>	43	41	2,31	0,13	5,9	2,53	2,04
Humedad	%	25	23	20	5,22	26	25	10
Grado de saturación	%	20	19	84	6,40	7,6	94	74
Límite líquido	%	18	18	39	5,80	14,9	51	30
Límite plástico	%	18	18	27	3,7	13,4	33	22
Ángulo de fricción	Grados	15	15	27	-	-	3,1	20
Cohesión	Kgf/cm <sup>2</sup>	14	14	0,48	1,34	12,5	0,81	0,25
Índice de porosidad	-	10	9	0,79	0,16	21	1,00	0,51
<b>Ocre estructural</b>								
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	76	71	3,50	0,28	3,09	3,96	2,80
Densidad natural	g/cm <sup>3</sup>	78	67	2,40	0,25	12,20	2,72	1,47
Humedad	%	82	73	36	16	43	73	11
Grado de saturación	%	44	41	85	8,09	9,4	98	66
Límite líquido	%	40	39	49	11,5	23,5	87	30
Límite plástico	%	40	38	31	6,4	20,6	47	21
Ángulo de fricción	Grados	25	21	20	-	-	27	17
Cohesión	Kgf/cm <sup>2</sup>	30	28	0,57	0,19	33,7	1,05	0,32
Índice de porosidad	-	38	36	1,24	0,41	33	1,86	0,50

El índice plástico complementa la evaluación para los suelos lateríticos y es fundamental en los finos. La densidad e índice de poros constituyen parámetros importantes para definir su comportamiento mecánico.

## Evaluación de las propiedades físicas

### Caracterización del grupo L

Granulométricamente está constituido por gravas finas, arenas gravosas, arenas finas muy mezcladas con arcillas y arcillas limosas, con densidades variables (alta, media y baja). La humedad varía entre 10 y 31 % constituyendo en el corte los valores más bajos. Su densidad seca alcanza los máximos valores entre 15,1 y 22,4 kN/m<sup>3</sup> en la medida en que la fracción es más gruesa, sin embargo, su relación de vacío es la más baja. El peso específico oscila entre 32,7 y 37,8 kN/m<sup>3</sup>, siendo los más altos. Su plasticidad varía desde 13 hasta 19 %.

### Caracterización del grupo S

La granulometría de estos suelos la constituyen gravas gruesas, arenas gravosas y arenas muy finas. Sus valores de humedad son relativamente altos de 57 a 92 %. Asimismo su grado de saturación es de 87 a 100 %. La densidad es muy baja, desde 8 a 9,6 kN/m<sup>3</sup> y pre-

con la profundidad manifiestan una tendencia en su incremento cuando la fracción es más fina.

Dada la necesidad de definir los límites de los estratos, por la variabilidad de las propiedades, hemos utilizado los métodos geoestadísticos comparando los valores entre los coeficientes de variación calculados, con los permisibles para cada propiedad, cuestión esta que se corresponde en todos los casos analizados.

Así fueron divididos estos suelos en dos grupos: gruesos (lateríticos -L- y serpentínicos -S-) y finos (lateríticos -Lf- y serpentínicos -Sf-) ver Tabla 1.

sentan relaciones de vacío desde 2,2 a 2,72. Su peso específico varía entre 29,7 y 33,5 kN/m<sup>3</sup>.

### Caracterización del grupo Lf

Son suelos de granulometría que oscila desde arcillas hasta arcillas limosas mezcladas o muy mezcladas con arenas de densidad media, baja y muy baja, y arcillas que van de plásticas a muy plásticas, de consistencia fluida hasta sólida. Su humedad varía entre 26 y 96 % rango relativamente grande para estos suelos. La saturación va de 90 a 100 %. El peso específico oscila entre 30 y 37 kN/m<sup>3</sup>, aproximándose al grupo L. Sin embargo, su densidad seca es relativamente baja, coincidiendo con relaciones de vacío que van desde 0,8 a 3,11 lo que es característico de una estructura poco sólida. Sus límites varían en amplio rango y su plasticidad va desde 14 a 68 %.

### Caracterización grupo Sf

Lo constituyen arcillas y arcillas plásticas mezcladas o muy mezcladas con arenas o gravas de consistencia sólida a fluida y densidades que transitan de media, baja a muy baja. La humedad es en general alta, de 44 a 114 %. Su peso específico es bajo, de 30,5 a 33,6 kN/m<sup>3</sup>. Presenta relación de vacío y densidad baja. Sus características plásticas alcanzan altos valores.

## Propiedades físico-mecánicas de las rocas peridotitas fracturadas

Las peridotitas han sido incluidas dentro del grupo II de la clasificación ingeniero-geológica de las rocas (rocas semiduras muy agrietadas). Poseen un coeficiente de agrietamiento entre 16 y 20. Su peso específico oscila entre 25,6 y 27,8 kN/m<sup>3</sup> y el coeficiente de variación es de 0,2. La densidad seca varía de 26,6 kN/m<sup>3</sup> a 24,5 kN/m<sup>3</sup>. La resistencia a la compresión simple es de 24 400 kPa como promedio.

## Peligros naturales en las evaluaciones del impacto ambiental en la ciudad de Moa

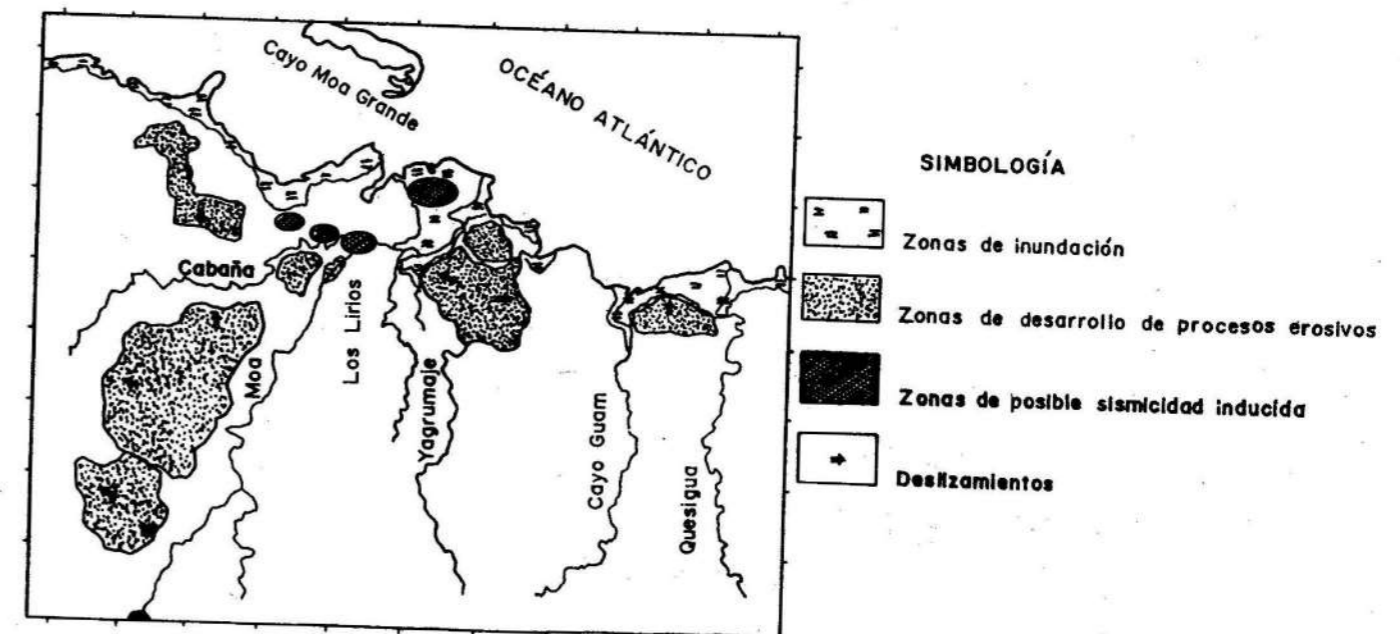
Se denomina peligros naturales, a los procesos y fenómenos activos que pueden generar situa-

ciones de riesgo, daños e incluso desastres. Se dividen en dos conceptos fundamentales: peligrosidad y riesgo.

La peligrosidad caracteriza el daño, su tipología, probabilidad de ocurrencia, causalidad, dimensión espacial, duración, dinámica y las cualidades de evaluación cualitativa y cuantitativa.

El riesgo viene dado por el daño potencial anualmente producible por un fenómeno potencialmente dañino, que puede ser cuantificado en términos económicos o evaluado cuantitativamente.

La forma en que los peligros naturales pueden ser impacto futuro en las obras civiles de la ciudad de Moa, fueron evaluados a través del mapa de peligrosidad (Figura 4). El tratamiento de los peligros naturales en la evaluación del impacto ambiental es un trabajo científico aplicado y tecnológico.



**FIGURA 4.** Mapa de peligrosidad ingeniero-geológica.

## Tipos fundamentales de peligros naturales para la ciudad de Moa

### Deslizamientos y desprendimientos

La realización de estudios geotectónicos y de peligrosidad por movimiento de laderas, permite tomar las siguientes consideraciones:

- que la estabilización de deslizamientos es cara y a menudo es preferible cambiar la construcción. Por ello la identificación es esencial;
- una vez que la obra esté en servicio y ocurra el fenómeno, las inestabilidades resultan mucho más peligrosas y costosas, por ello las actuaciones deben ser más activas.

Las inestabilidades de laderas pueden llegar a ser especialmente problemáticas en las boquillas de los túneles. El agua afecta la estabilidad de las laderas, generando deslizamientos en obras civiles, industrias, minas, viales.

### Terremotos

La ciudad de Moa se ha convertido en una zona sísmicamente activa. El llenado de la presa Nuevo Mundo, el complejo de derivación de las aguas del río Moa, la construcción de nuevas presas de colas y los grandes cambios del volumen de mineral extraído, producen sismos inducidos, los que están relacionados, además, a reajustes tectónicos. Generalmente, estos movimientos sísmicos inducidos deben hacernos re-



flexionar y estudiar con mayor lujo de detalle la problemática de los peligros y riesgos sísmicos ante la potencialidad industrial del territorio.

#### Agravación de las inundaciones

La morfología de las costas es fruto del equilibrio ecológico. En costas bajas como las de Moa el oleaje inducido produce sobre ellas un arrastre longitudinal de sedimentos por corriente a la deriva. En litorales donde se producen penetraciones del mar el problema es más complejo y desastroso. En zonas frágiles las situaciones ecológicas toman una gran importancia. Los sistemas playa-cabo son asimismo frágiles.

#### Problemas de erosión

Las actuaciones urbanísticas impactan a veces en forma de peligros naturales. Los principales peligros producidos por esta causa son:

1. Agravación de riadas aguas abajo.
2. Desencadenamiento de deslizamientos.

Las avenidas se desarrollan en el período lluvioso, provocando inundaciones y enlodamiento de casas, calles y obras de todo tipo. La urbanización de Moa ha producido cambios en el Coeficiente de Escorrentía, el cual aumenta al disminuir la infiltración del agua. Por otra parte introduce ésta en las alcantarillas descargando en forma más rápida que en la escorrentía

superficial. Ambos efectos contribuyen a aumentar el caudal de punta y disminuir el tiempo de concentración, es decir, a agravar las riadas aguas abajo. El efecto parece ser mayor para las pequeñas cuencas.

### Particularidades fundamentales de la valoración ingeniero-geológica de las condiciones constructivas en la región del yacimiento Moa

El aumento del potencial económico de cada región industrial está relacionado con el desarrollo de la extracción de los yacimientos de minerales útiles y el aumento de la productividad de las empresas encargadas de la transformación del mineral, por lo tanto este incremento trae consigo un amplio plan constructivo.

En los límites del yacimiento Moa la construcción de las obras civiles e industriales se ubica en aquellas zonas de pobre contenido de níquel.

El análisis de la construcción geológica en el territorio del yacimiento, permite dividir el mismo en cuatro regiones ingeniero-geológicas, donde en cada una de ellas el abastecimiento de la estabilidad y la normal explotación de la obra, exige de un estudio individual y no permite soluciones triviales (Figura 5).

debajo de las lateritas ferruginosas. En algunos casos, de aparecer esta capa con una potencia suficiente (en comparación con el tamaño del cimient) la estabilidad de la obra proyectada se puede determinar por la resistencia, y las deformaciones desiguales serán sólo en las partes superiores del estrato.

La particularidad específica de la segunda región ingeniero-geológica está en la ausencia de la capa rígida de lateritas ferruginosas. Naturalmente, en las bases de las obras en esta región puede existir la capa de ocre con alto contenido de material arcilloso muy activo y de arcilla nontronita. La baja densidad, alta humedad, capacidad hidrosférica, así como su poca baja capacidad soportante y su alta compresibilidad, hacen de estas rocas una base débil e inestable.

En algunas zonas del yacimiento las dos capas superiores están desintegradas por la erosión y sobre la superficie afloran las serpentinitas lixiviadas.

Desde el punto de vista de la ingeniería geológica estos sedimentos se representan como formaciones arcillosas, conteniendo los minerales del grupo de la montmorillonita, composición nontronítica y los restos de la roca madre serpentinitica dura. En dependencia de la humedad, resistencia y enlaces estructurales estos sedimentos pueden presentar propiedades expansivas. Además, como resultado del proceso de lixiviación puede observarse la formación de la macroporosa, que provoca la aparición de diferentes grados de hundimiento en distintos sectores donde las capas superiores no son muy potentes. Estas son las características de la tercera región ingeniero-geológica.

La cuarta región está ubicada en las zonas de taludes relativamente abruptos donde afloran las serpentinitas desintegradas. La estabilidad de la obra de este distrito está determinada por la presencia de los contactos de las capas de las serpentinitas, la resistencia de las rocas, el contacto y el grado de agrietamiento.

Estas cuatro regiones ingeniero-geológicas conforman la base para la confección del mapa de microregionalización sísmica del territorio.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El territorio de Moa se caracteriza fundamentalmente por la intensidad con que actúan los procesos de meteorización sobre las rocas peridotíticas serpentinizadas, dando como resultado la formación de potentes cortezas lateríticas que constituyen yacimientos de tipo residual. Estas cortezas representan alrededor del 25 % del macizo ofiolítico.

Los peligros naturales desencadenados o reactivados por la construcción y el minado son un impacto que debe ser evaluado. Se propone como sistema objetivo evaluar detalladamente el impacto ambiental, la cuantificación del riesgo en término de pérdidas potenciales económicas y sociales por año, y el análisis de costo beneficio.

En el área de estudio se presentan variados fenómenos geoambientales que inciden en la estabilidad de los suelos, obras, industrias y minas como son: la erosión, destrucción del ambiente costero, deslizamientos, fenómenos sísmicos y otros. Estos procesos y fenómenos geológicos, hasta no hace mucho tiempo, provocaban desastres naturales de consideración, que se veían con una resignación fatalista y hoy son enfrentados en cuanto al conocimiento de los riesgos, su predicción y prevención.

La evaluación ingeniero-geológica de las condiciones del territorio de la ciudad de Moa es muy compleja, y está condicionada a la composición y constitución geológica, variaciones del relieve, heterogeneidad de los suelos lateríticos y condiciones climáticas e hidrogeológicas, así como a los procesos y fenómenos geológicos presentes. Todo esto determina la diversidad de las zonas y distritos.

Se analizaron las condiciones geológicas, hidrogeológicas, geotécnicas de suelos y rocas, el análisis de los procesos y fenómenos geológicos, y el análisis para la regionalización ingeniero-geológica del territorio de Moa.

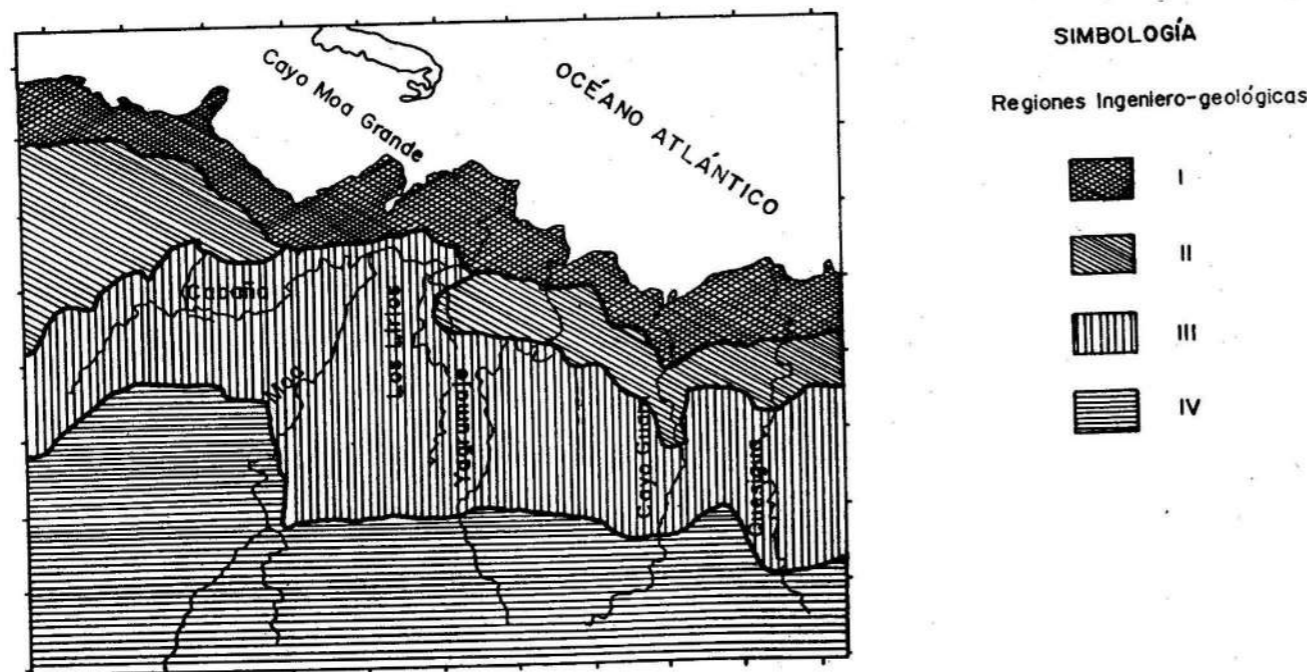
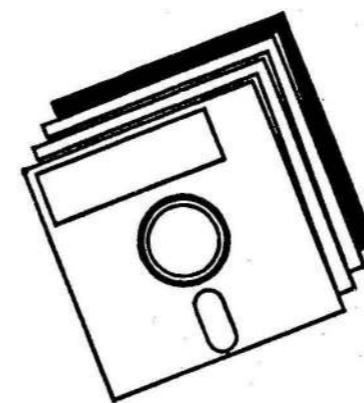


FIGURA 5. Esquema de regionalización ingeniero-geológica.

La primera región coincide con la zona de desarrollo de las lateritas ferruginosas, que se manifiestan en determinados casos como la capa soportante de las bases de las obras. Esta región presenta una constitución compleja donde pueden observarse rocas inter-

estratificadas de diversa composición, estado y propiedades físico-mecánicas. La importancia especial para la valoración de la estabilidad de las obras en esta región está en las condiciones de yacencia de una capa mineral ocre débil y de nontronita, las cuales aparecen



*Sistema  
computarizado*

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO**  
Las Coloradas, Moa, C.P. 83329, Moa,  
Holguín, Cuba  
Teléfono: 6-6234 Fax: (53) (24) 6-2290  
E-mail: ismm@reduniv.edu.cu