

Respuesta local del suelo ante la ocurrencia de sismos en el reparto Miraflores del municipio de Moa

Yunelvi Zuñiga Fuentes

yzfuentes@geologia.ismm.edu.cu

Liuska Fernández Diéguez

lfernandez@ismm.edu.cu

Universidad de Moa (Cuba).

Resumen: Se evaluó la respuesta local del suelo en el reparto Miraflores de Moa y su correlación con las condiciones ingeniero-geológicas, de forma tal que se pueda microzonificar la peligrosidad sísmica. El estudio se llevó a cabo mediante un sistema de indicadores que resumen las características más influyentes en la respuesta del suelo: geología, sismicidad, geomorfología, profundidad del nivel freático y condiciones ingeniero-geológicas. Los parámetros empleados en la microzonación sísmica están basados sobre un sistema de bases de datos y de información geográfica, que permitió la actualización constante del grado de estudio sísmico de la zona de estudio; por lo que la microzonación sísmica obtenida constituye una herramienta de consulta en el futuro ordenamiento urbano de Moa. El resultado obtenido es un esquema que ilustra los sectores norte y sur, donde el sector norte representa una de las zonas más débiles; compuesto por suelos algo blandos, por material de relleno con fragmentos de serpentina, muy meteorizada y agrietada, poco resistentes, semicompactados, suelo limoso-arenoso, suelto o deleznable, semisaturados y en parte saturados en gran proporción y algo compresibles.

Palabras clave: licuefacción; sismo; susceptibilidad sísmica; terremoto.

Local answer of the floor before the occurrence of earthquakes in the Miraflores district of the municipality of Moa

Abstract: The local response of the soil in the Miraflores de Moa distribution and its correlation with the geological-geological conditions were evaluated, so that the seismic hazard can be microzoned. The study was carried out using a system of indicators that summarize the most influential characteristics in soil response: geology, seismicity, geomorphology, water table depth, and engineering-geological conditions. The parameters used in the seismic microzone are based on a database and geographic information system, which allowed constant updating of the degree of seismic study in the study area; reason why the obtained seismic microzone constitutes a consultation tool in the future urban planning of Moa. The result obtained is a scheme that illustrates the north and south sectors, where the north sector represents one of the weakest areas; Composed of somewhat soft soils, filled with serpentine fragments, very weathered and cracked, not very resistant, semi-compacted, loamy-sandy, loose or brittle soil, semi-saturated and partly saturated in great proportion and somewhat compressible.

Key words: Liquefaction; earthquakes; seismic susceptibilit.

Introducción

Los estudios de microzonificación sísmica consisten en estudios multidisciplinarios, que en general abarcan pocos kilómetros, delimitados por la zona existente de una ciudad y su posible expansión. Se consideran los alcances que un sismo tendría en la zona, tomando en cuenta los efectos de sitio y las microzonas sísmicas (Tsige y García-Flores, 2006).

La presencia de sitios, considerados geotécnicamente como blandos, cercanos a la superficie del terreno produce un aumento considerable de los daños generados por terremotos en las infraestructuras situadas sobre ellos, al condicionar la amplificación de las ondas sísmicas en un rango de periodos de vibración (periodos altos) de los materiales, que coincide con el periodo de vibración de las estructuras.

La región nororiental de Holguín está caracterizada como una zona donde debe considerarse el peligro sísmico como una premisa de riesgo debido a la actividad sísmica que se ha registrado en sus alrededores. Por tal motivo ha sido objeto de varias investigaciones a partir de 2006, con vista a esclarecer la génesis de la sismicidad y el riesgo asociado a esta.

La información tectónica y sismológica de la región de estudio analizada por varios autores (Riverón, 1996; Rodríguez, 1998; Chuy *et al.*, 2006) valida la existencia al norte del extremo oriental de Cuba de una zona de origen de terremotos de primer orden que es la prolongación hacia el noroeste de la falla Norte de La Española.

En este trabajo se propone evaluar la respuesta local del suelo y su relación con las condiciones ingeniero-geológicas ante la ocurrencia de un sismo, de forma tal que se pueda microzonificar el potencial de licuefacción en el sector urbano del reparto Miraflores, municipio de Moa.

Materiales y métodos

Durante la realización y análisis de los trabajos realizados se llevaron a cabo ensayos físicos utilizados en los laboratorios:

- Determinación del peso específico de los suelos
- Análisis del tamaño de las partículas de los suelos
- Determinación de límite líquido

- Límite plástico e índice de plasticidad
- Determinación del peso específico natural
- Humedad
- Límite plástico
- Granulometría.

Se perforaron dos calas de 5,0 m cada una con una máquina Stratadrell, de fabricación inglesa, empleando la percusión y rotación con diámetro de 89 mm o 73 mm. Como métodos de penetración y presión hidráulicas se tomaron muestras inalteradas, semialteradas en pomos parafinados y alteradas. Como pruebas hidrogeológicas para la determinación del coeficiente de filtración del suelo se realizaron vertimientos de agua en calas, por el método de no equilibrio. Se realizaron ensayos físicos y mecánicos de los suelos que se rigen por las especificaciones de diferentes normas (peso específico, granulometría, límite de plasticidad, humedad natural, peso específico natural).

Se hicieron ensayos de pacometría, de carbonatación y pH, de velocidad de la onda ultrasónica (ultrasonido), índice de rebote (esclerómetro).

Sistema de indicadores para realizar la microzonación a partir de métodos indirectos:

- Geología
- Sismicidad
- Geomorfología
- Profundidad del nivel freático
- Condiciones ingeniero-geológicas.

Se determinaron las principales características de los suelos seleccionados, lo que permitió su evaluación:

- Densidad húmeda
- Densidad seca
- Límite líquido
- Espesor
- Saturación
- Nspt: número de golpes/30 cm
- Granulometría: (grava, arena, fino).

El análisis granulométrico del suelo permitió determinar el rango del tamaño de las partículas que forman parte de este y se expresa como un porcentaje de la masa total

del suelo seco. Para estipular la distribución de las partículas se utilizaron dos métodos, el primero por cribado con partículas mayores de 0,075 mm de diámetro y el segundo por análisis hidrométrico, para partículas menores de 0,0075 mm.

Evaluación de la respuesta local del suelo a partir de las condiciones ingeniero-geológicas

El reparto está ubicado en la parte noroccidental del área, teniendo como núcleo el Cerro de Miraflores y las laderas occidentales norte y nororientales. Se caracteriza por sufrir movimientos pulsantes, con tendencia al desplazamiento norte-noreste con un mayor levantamiento de su parte oriental. Se encuentra dividido en dos sub-bloques que mantienen esa tendencia general de los movimientos horizontales y verticales pero que, además, se mueven entre sí con un movimiento rotacional izquierdo-antihorario del sub-bloque norte respecto al sur.

El reparto está constituido por varias construcciones de edificios de cuatro a cinco pisos (tipología Gran panel), de cubierta ligera y pesada, biplantas y triplantas (tipología Sandino), calles principales, avenidas Hotel; una panadería-dulcería, consultorios, farmacia, parque infantil, secundaria básica, escuela primaria, la empresa Geocuba, un albergue contingente y una bodega.

Indicadores asociados con los efectos sísmicos en el reparto Miraflores

La geología del área de estudio está representada por rocas ultrabásicas y a su alrededor por depósitos de arenas, palustres o eluviales. El complejo ultramáfico ocupa la mayor porción del área, ubicadas al este, sur y sur-oeste, donde predomina como roca del basamento la peridotita serpentizada, en mayor o menor grado. Las peridotitas presentes son harzburgitas de color azul verdoso oscuro, con contenido variable de piroxenos rómbicos y olivino (Figura 1). En menor grado aparecen piroxenos monoclinicos. Tanto los piroxenos como el olivino han sido transformados a minerales del grupo de la serpentina, siendo ocasional la presencia de relictos de los minerales primarios (Almaguer, 2006).

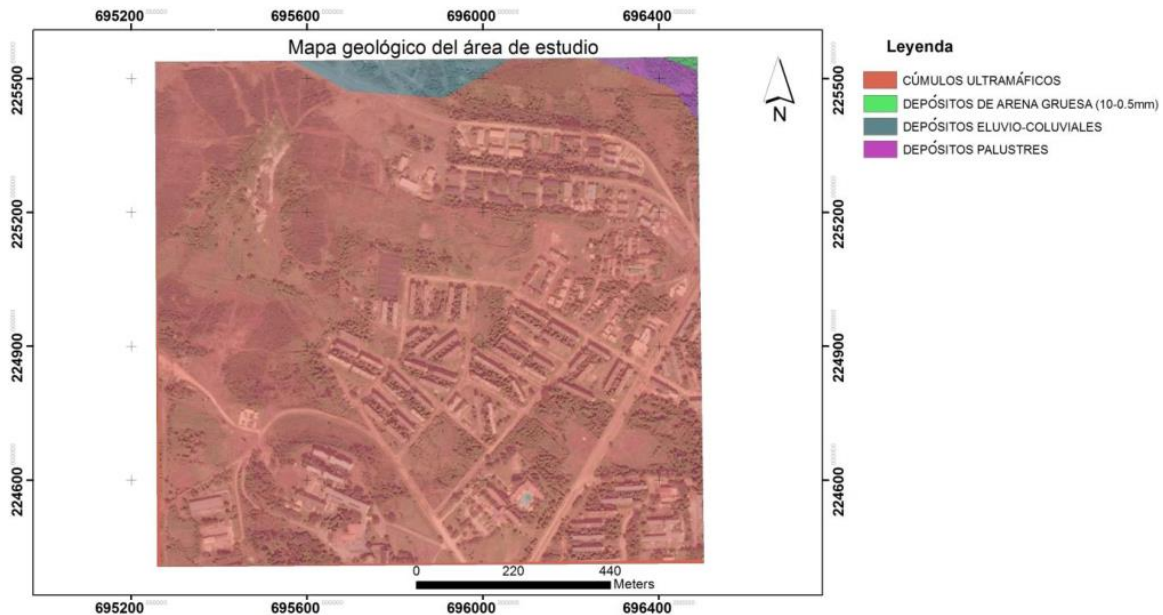


Figura 1. Esquema geológico de los suelos como base para la valoración del efecto de sitio del reparto Miraflores, Moa.

Se encuentran las serpentinas pertenecientes a la asociación ofiolítica, que limitan al noroeste con los gabros, con poca aflorabilidad. Hacia el noreste con edad Cuaternario (Holoceno) aparecen los sedimentos fluviales representados por cantos rodados, gravas, arenas, y arcillas derivadas de la erosión fluvial. Hacia el norte son cubiertas por depósitos palustres de edad Cuaternario (Holoceno), asociados al borde costero y representado por sedimentos no consolidados, friables y fragmentarios.

Sobre las serpentinitas y peridotitas de base aparecen sedimentos de la corteza de intemperismo o cobertura, formados por suelos lateríticos finos y gruesos con densidades y consistencias variables compuestos por arcillas, arcillas limosas, arcillas limo arenosas, arenas arcillosas, gravas arena arcillosas, entre otros. En puntos bajos del relieve, susceptibles a inundarse en tiempo de lluvia, las rocas aparecen cubiertas por sedimentos de origen fluvio-marino.

Sismicidad

Según Chuy y demás colaboradores (2006) los sismos registrados en el territorio los años anteriores muestran diferencias en los valores de velocidad de las ondas longitudinales y transversales. Estos dependen del tipo de suelo y de sus características. Mientras más densos son los suelos la velocidad de propagación de las ondas sísmicas es mayor; en este caso los suelos son menos densos y la propagación de las ondas sísmicas es menor. La multiplicación de la velocidad de propagación y la

densidad da como resultado la rigidez sísmica. La Tabla 1 muestra la clasificación de los suelos según el tipo de fuente sísmica.

Tabla 1. Clasificación del suelo según el tipo de fuente sísmica. NC 46-2017

Tipo de fuente	Descripción	Máxima magnitud	Tasa de corrimiento (mm por año)
A	Fallas geológicas capaz de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad	$M_o \geq 7,0$	$TC \geq 5$
B	Fallas geológicas que no son A o C	$M_o \geq 7,0$ $M_o < 7,0$ $M_o \geq 6,5$	$TC < 5$ $TC > 2$ $TC < 2$
C	Fallas geológicas capaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad	$M_o < 6,5$	$TC < 2$

Geomorfología

El relieve es montañoso, constituido por un macizo rocoso que, a su vez, es afectado intensamente en todo su espesor por dislocaciones tectónicas (grietas y fallas) y, por otra parte, por procesos de meteorización. En este el escurrimiento superficial y subterráneo está condicionado por la existencia de pequeñas vaguadas originadas por las mismas oscilaciones del terreno hacia las partes más bajas.

Profundidad del nivel freático

En la zona de estudio el nivel freático no fue cortado, la perforación de las calas fue menos de los 5 m, por lo que se muestra poca variación.

Se identificaron varios tipos de suelo a partir de la información de las calas realizadas. Las capas se clasificaron como:

- SC: arena arcillosa
- GM: grava limosa con arena
- MH: limo plástico con arena
- SM: arena limosa.

El reparto presenta diversos tipos de suelos, en varios casos material compuesto por fragmentos de hormigón y roca serpentinitica, suelo limoso-arenoso, suelto o deleznable, con presencia de gravas subangulares de serpentina de 2 cm a 3 cm, rocas semisaturadas, en algunos casos saturadas, serpentinita masiva, poco meteorizada; suelo laterítico de composición areno limosa de color pardo a pardo rojizo con presencia de perdigones ferrosos en ocasiones abundantes, con una capacidad floja a

media, y también escasos; con manchas de óxido de hierro, húmedo, poco compacto y de consistencia muy dura; en fin el reparto en su totalidad presenta un suelo laterítico con abundancia de serpentinita (roca más común en el área).

Al relacionar las condiciones ingeniero-geológicas de los suelos identificados en el reparto Miraflores con sus propiedades físicas se obtiene su posible comportamiento sísmico (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los suelos según su comportamiento sísmico

Perfil tipo	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s > 1\ 500\ \text{m/s}$
B	Perfil de roca de cualquier espesor	$760\ \text{m/s} < V_s \leq 1\ 500\ \text{m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda de cualquier espesor que cumpla con el criterio de velocidad de la onda cortante Perfiles de suelos muy densos o roca blanda de cualquier espesor que cumpla con cualquiera de los dos criterios	$360\ \text{m/s} < V_s \leq 760\ \text{m/s}$ $N > 50$ o $S_u \geq 100\ \text{kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos de cualquier espesor que cumpla con el criterio de velocidad de la onda cortante Perfiles de suelos rígidos de cualquier espesor que cumpla con cualquiera de los dos criterios	$180\ \text{m/s} \leq V_s \leq 360\ \text{m/s}$ $15\ \text{m/s} \leq N \leq 50$ o $50\ \text{kPa} \leq S_u \leq 100\ \text{kPa}$
E	Perfil de cualquier espesor que cumpla con el criterio de velocidad de la onda cortante Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$V_s < 180\ \text{m/s}$ $IP > 20$ $w \geq 40\ \%$ $S_u < 25\ \text{kPa}$
F	Los perfiles del suelo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotécnico. Se contemplan las siguientes subclases: F1: suelos vulnerables a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersos, o débilmente cementados, etc. F2: Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H mayor de 3m para turba, arcillas orgánicas y muy orgánicas. F3: acillas de muy alta plasticidad (H mayor que 7,5 m con índice de plasticidad IP mayor que 75). F4: perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H mayor que 36)	

A partir de la evaluación realizada explícitamente, y lo expuesto anteriormente en la Tabla 2, los suelos de esta área se clasifican según su comportamiento sísmico como perfil tipo E al poseer la arcilla con un contenido de humedad mayor del 40 %, el índice de plasticidad (IP) mayor del 20 % y el espesor de las capas de 1 m a 5 m.

De acuerdo con informes realizados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de Holguín, las calas que permitieron la identificación de estos suelos poseen una profundidad que varía entre 1 m y los 5 m.

Definido ya los suelos del reparto Miraflores, de forma general según su comportamiento sísmico, se puede estimar la variación de la intensidad tomando al granito como patrón referido, siguiendo el método de categorías por perfiles geológicos típicos de Popov (1959).

Al correlacionar los tipos de suelos identificados para el área de estudio, con el incremento de la intensidad sísmica para los principales tipos de rocas, el corte típico correspondiente al área es de tipo 8 y 10, lo que hace evidente que para los suelos en cuestión aumentará este factor de 1 a 2, debido a que se trata de suelos friables, sedimentos eluviales, rocosos, semirrocosos y en parte arcillosos, en estado seco o con presencia de humedad en algunos casos, con fragmentos angulosos o subangulares.

Esquema de la respuesta local del suelo ante la ocurrencia de sismos

La conjugación de estos indicadores da como resultado un esquema de microzonas sísmicas que muestra los sectores del reparto donde la señal sísmica puede verse amplificada a causa de los indicadores analizados. El reparto se dividió en dos zonas principales, determinadas por las condiciones ingeniero-geológicas de la región de estudio: sector norte y sector sur: Esquema de las microzonas del reparto Miraflores, municipio de Moa (dividido en dos sectores). Zona norte: en esta parte del reparto se encuentra plasmado el edificio 14 zona costa sur, el cual se localiza en la ciudad de Moa, específicamente hacia la zona noreste, con coordenadas Lambert aproximadas X: 696759,87 y Y: 225186,21.

Luego de interpretar y correlacionar los resultados obtenidos mediante las observaciones de campo, las descripciones tacto-visuales de los suelos durante la excavación de las calas realizadas complementando con los resultados del laboratorio, la columna litotipo de esta obra muestra en la primera capa un suelo limoso-arenoso de color rojo vino, suelto o deleznable, con presencia de gravas subangulares de serpentinita de 2 cm a 3 cm, algo semisaturada y en la segunda capa serpentinita de color verde, masiva, poco meteorizada.



Figura 2. Columna litotipo de los edificios en la zona Costa sur del reparto Miraflores, espesor de 2,20 m.

Zona norte: también se encuentran los llamados Viales o terraplenes para construir viviendas, presentan como características físicas y de compactación del material un suelo laterítico de color rojo vino de composición areno-limosa, con gravas y algo húmedo. Estos suelos lateríticos utilizados en la construcción de terraplenes clasifican por dicha norma, por ende, su comportamiento es de regular o malo como subrasante, suelos poco compactados, algo semisaturado, por lo que han sido afectados bruscamente por las lluvias.

Existen áreas aledañas del terraplén, cercanas a las aceras que han sido dañadas duramente por las precipitaciones, por lo que es necesario y obligatorio asfaltar el suelo, así se pueden evitar daños mayores, tanto en las viviendas como en otros sectores. De acuerdo con lo dicho anteriormente estos terrenos, aunque estén bien compactados, pueden colapsar ante las lluvias, sufren daños naturales, ante un fenómeno como estos (los sismos) pueden ser bien sentidos por la población debido a sus características geológicas. Zona norte: viviendas (La Veguita). Presentan un suelo de origen laterítico de color rojo intenso que clasifica como limo plástico con arena.

Se realizaron ensayos de humedad y densidad por el método de isotopos radioactivos del material compactado. Zona norte: las llamadas viviendas checas, fueron construidas en una ladera septentrional, la cual pertenece a un sistema montañoso. Esta altura se encuentra constituida por un macizo rocoso de serpentinita, afectado intensamente en todo su espesor por dislocaciones tectónicas (grietas y micro fallas) y hacia la parte superior por procesos de meteorización. La yacencia de las capas o estratos no es homogénea, presencia de rocas saturadas, por lo que las condiciones ingeniero-geológicas varían y la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas es menor que los 5 m, lo que implica que no ejercerán influencia sobre los cimientos.

Se define la capa 4 como el estrato resistente a donde debían ser apoyados los edificios, esta capa está conformada por serpentinita muy meteorizada de color gris verdoso, con tonos verdosos y manchas rojas de óxido de hierro, agrietada y fracturada, de resistencia baja a media.

El suelo de ambos edificios está representado por serpentinita muy meteorizada de color gris azulado, con tonos verdosos y manchas rojas de óxido de hierro, limosa, plástica agrietada, fracturada, de resistencia baja a media. Estos edificios, en correspondencia al tipo de suelo presente, se considera que en esta zona ocurrirán grandes riesgos ante la presencia de un sismo. Dadas las características de la zona es en esta área donde se pudiera ocasionar mayores estragos (Figura 3).



Figura 3. Columna litotipo de las viviendas checas construidas en el reparto Miraflores, espesor de 3,5 m.

Durante la excavación realizada por la retro se pudo observar que el material se encuentra semicompactado, por lo que se clasifica como GM: grava limosa con arena. Zona norte: 4 edificios triplantas (24 viviendas).

La columna litotipo en esta zona muestra una profundidad de no menos de 5 m, hay presencia de un suelo limoso arenoso color rojo vino a amarillento, en parte con perdigones de hierro hacia el final del intervalo, aparecen vetas verdosas y amarillentas que corresponden litológicamente a la saprolita húmeda de consistencia dura y serpentinita de color gris verdoso, muy meteorizada y agrietada, de resistencia muy baja. Por sus valores promedios clasifica como un MH: limo plástico con arena. El nivel de las aguas subterráneas no supera los 5 m.

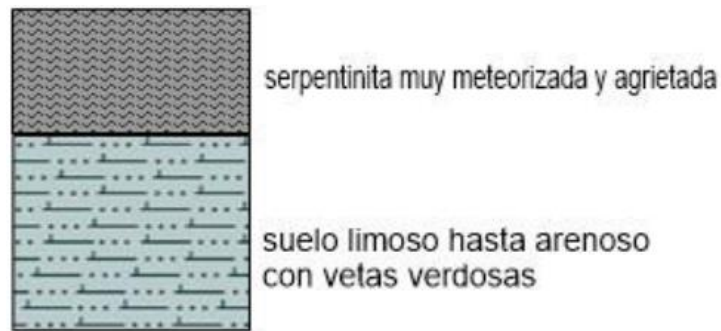


Figura 4. Columna litotipo de edificios triplantas en el reparto Miraflores, espesor de 1 m-2,30 m.

Zona sur: están presentes las llamadas viviendas médicas (Figura 26). En esta obra existe como cobertura la corteza laterítica que yace sobre el complejo magmático ultrabásico representado por las serpentinitas y peridotitas serpentinizadas. Esta cobertura la forman los suelos lateríticos finos y gruesos con densidades y resistencias variables, presenta perdigones ferrosos en ocasiones abundantes, con una capacidad floja a media, compuestos por arcillas, arcillas limosas, arcillas limo-arenosas, arenas arcillosas, gravas areno-arcillosas o arenosas, entre otros.

Estos suelos lateríticos sobreyacen a suelos serpentiniticos finos y gruesos similares granulométricamente y menos densos. Las serpentinitas y peridotitas serpentinizadas de base se caracterizan con tener un grado de meteorización variable y, generalmente, se encuentran muy agrietados y fracturados de color gris verde azulado debido a la actividad tectónica intensa a que estuvieron sometidos, se clasifica como SM: arena limosa.

Al correlacionar las descripciones tacto visual de los suelos cortados por la perforación, con los resultados de los ensayos de laboratorio se conoció que el corte litológico hasta la profundidad investigada es el siguiente:



Figura 5. Columna litotipo de las viviendas médicas en el reparto Miraflores, espesor de 3,3 m.

El nivel freático hasta la profundidad investigada es de 3 m, no fue cortado, por lo que no constituye un factor desfavorable para los trabajos de excavación. Zona sur: en

esta zona se encuentran suelos de tipo serpentínico, a esto se debe el Hotel Miraflores, que se localiza a unos 700 m de la línea de la costa de Océano Atlántico. El relieve del terreno es algo abrupto con elevaciones y cañadas. Suelos lateríticos y serpentínicos, por lo que se perforaron por el método de percusión. De acuerdo con la descripción tacto visual, se clasificaron las capas según el tipo de suelo:

Calas 3, 4, 5 y 7 un suelo laterítico (arcilla limosa, sin perdigones de hierro y de densidad baja, de color carmelita rojizo en vetas amarillentas), esta capa 1 tiene un espesor promedio de 1,10 m aproximadamente. En las calas 1 y 2, un suelo serpentínico, con plasticidad, con fragmentos de arena serpentínica muy fracturada de densidad baja, de color gris verdoso hasta gris-verde amarillento.

La capa 2 en las calas 4 y 5 lo constituye el suelo serpentínico antes descrito con un espesor promedio de 1,8 aproximadamente. En las calas 1; 2; 3, dicha capa la constituye la roca serpentínica fracturada y fragmentadas en distintos grados con fisuras rellenas de calcita de densidad y dureza de media a baja.

En la cala 6 se halla, desde el inicio hasta el final de la cala, roca serpentínica descrita anteriormente, suelo arenoso con algo de limo, de densidad media, de color gris-verde amarillento. Los espesores de las capas en el área investigada son variables y la estratigrafía es irregular.

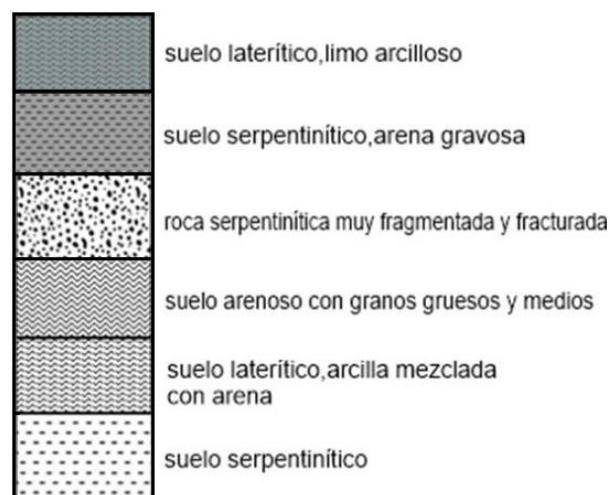


Figura 6. Columna litotipo del Hotel Miraflores construido en el reparto Miraflores, espesor de 1,10 m-4,35 m.

Zona sur: en la parte central de esta zona están las 72 viviendas o edificios de Gran Panel, reparto Miraflores, el área se enmarca aproximadamente en las coordenadas Lambert X: 6966400, Y: 224950. El relieve es suavemente ondulado y aunque se han llevado a cabo construcciones y algunos movimientos de tierra, no han variado la morfología original. En la zona que nos ocupa aparecen las rocas de la Asociación Ofiolítica Mesozoica, específicamente el complejo de rocas ultrabásicas, en este caso las serpentinitas.

El área que se estudió no pasa de los 5 m (profundidad alcanzada por la investigación), conformada fundamentalmente por suelos eluviales (lateritas) con poco contenido de perdigones de hierro y roca serpentinizadas muy meteorizada correspondiente a la corteza laterítica. La columna litotipo muestra en la primera capa un suelo laterítico de color rojo vino a rojo carmelitoso, de capacidad media. De acuerdo con la norma NC 59:2000 clasifica como SM: en arena limosa; luego un suelo de color carmelita-amarillento con escasos perdigones de hierro, con manchas de óxido de hierro húmedo poco compacto y de consistencia muy dura. Clasifica como MH: limo plástico con arena, y ya en la tercera capa se encuentra la roca serpentinitica de color verde-amarillento que se recupera en fragmentos.

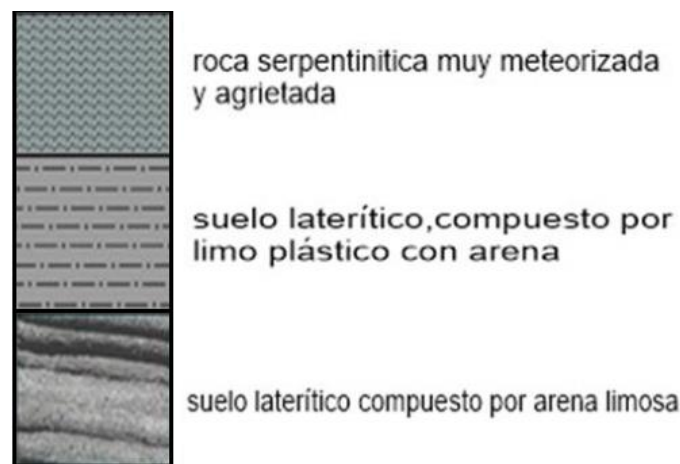


Figura 7. Columna litotipo de los edificios de Gran Panel en el reparto Miraflores, espesor de 3,25 m.

Se perforaron las calas hasta los 3,25 m por lo que no ejercerán ninguna influencia sobre los trabajos de excavación, ni los cimientos. Se realizó una prueba de permeabilidad, en este caso vertimiento de agua en la cala 1, la cual se clasificó como semipermeable a juzgar por el coeficiente de filtración.

A partir de las características expuestas, la zona norte se caracteriza como el área con mayor intensidad constituida por depósitos de arenas flojas, y por poseer suelos muy débiles, tipo arcillas y limos sueltos.

Aumento de la magnitud sísmica por el tipo de suelo y profundidad de yacencia de las aguas subterráneas

Partiendo de las características ingeniero-geológicas del área de estudio se definieron columnas generalizadas (situaciones ingeniero-geológicas típicas) para el área de su emplazamiento. Se tuvo en cuenta la composición litológica, la potencia de los suelos y la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas (Figura 8).

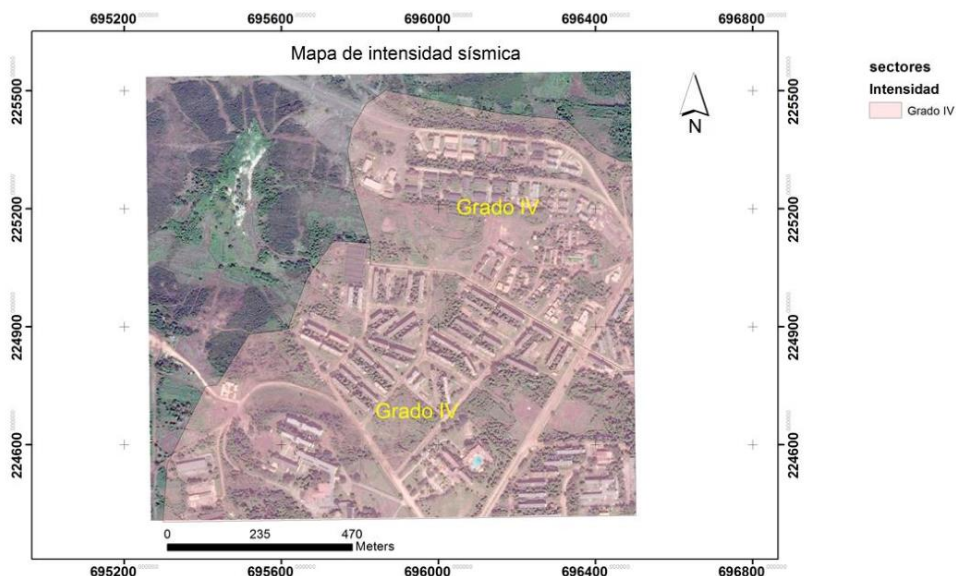


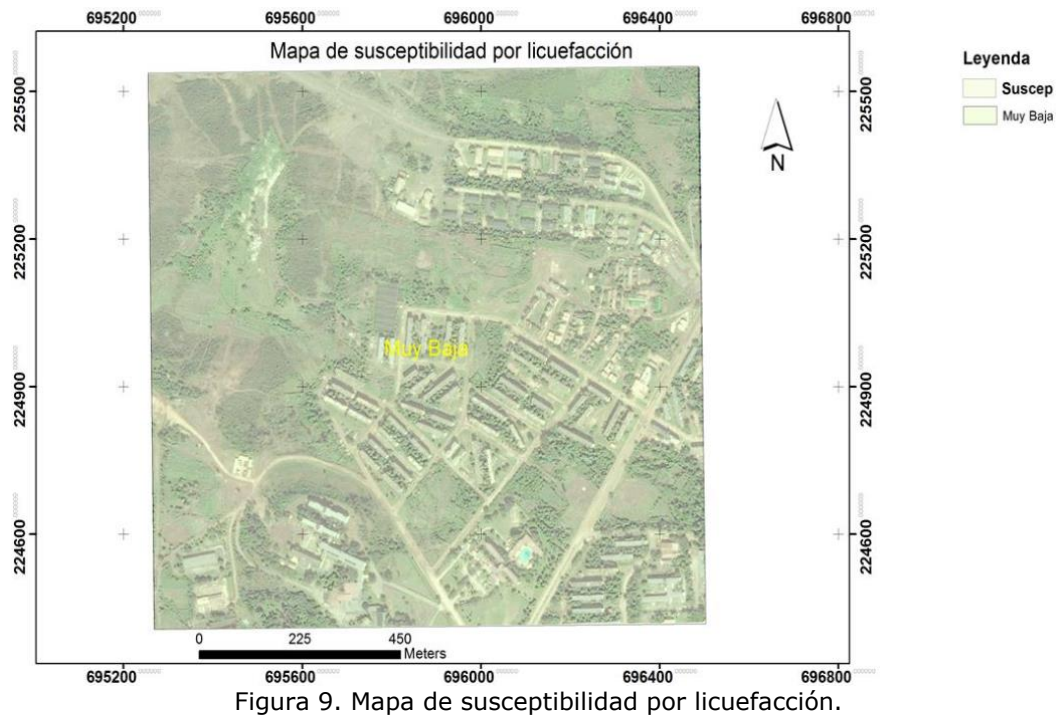
Figura 8. Mapa de intensidad sísmica según la escala MSK, para el reparto Miraflores, Moa.

La profundidad de yacencia de las aguas subterráneas influye en la magnitud del sismo. De acuerdo con Lomtadze (1977), cuando el nivel de profundidad de las aguas subterráneas se encuentra a una profundidad de 10 metros o más, prácticamente no influye en la magnitud del terremoto.

Evaluación del potencial de licuefacción

El estudio y aplicación en el área de estudio de los criterios de vulnerabilidad por licuefacción permitió definir para el reparto Miraflores dos zonas de susceptibilidad a la licuefacción, como se representa en el mapa de la Figura 9. Dichas zonas presentan

una susceptibilidad muy baja a licuar, teniendo en cuenta que estos suelos poseen solo algunas de las características propias para que un suelo sea licuable.



De acuerdo con la observación realizada en las zonas de estudio y lo expuesto por Wen-shao (1980) y Youd e Idriss (2001), se pudo señalar que los suelos del reparto Miraflores presentan una susceptibilidad muy baja a licuar.

Los suelos identificados representan el 50 % de la superficie del reparto, imponiendo así sus características propias: saturados en algunos casos o semisaturados, débiles o friables, poco compactos, de resistencia dura, de densidad media a baja, húmedos, lo que trae consigo mayor intensidad sísmica o la posible amplificación de las ondas sísmicas según el efecto de sitio.

Microzonación sísmica del reparto Miraflores. Integración de los resultados

La microzonación sísmica se obtuvo a partir de la combinación de los mapas de intensidad sísmica por el tipo de suelo y el de susceptibilidad por licuefacción. Todo el procesamiento se realizó utilizando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G), por lo que este análisis posee un alto valor práctico desde el punto de vista del ordenamiento territorial y el diseño sismo-resistente.

Al analizar toda la información obtenida, el reparto Miraflores en su totalidad obtuvo una moderada intensidad sísmica por la encuesta realizada y la escala MSK (grado IV), descrita ya anteriormente; pero al haber hecho el estudio propuesto en el sector norte existe o se produjo una mayor percepción que en el sector sur, ya que hay zonas más vulnerables, como es el caso de las viviendas checas, zona costa sur y los llamados viales.

Análisis general de los resultados

El reparto Miraflores fue dividido en dos sectores teniendo en cuenta las características geológicas, sísmicas, geomorfológicas, profundidad del nivel freático y condiciones ingeniero-geológicas. La zona norte del reparto se identificó como la zona donde la respuesta del suelo será mayor.

El sistema de indicadores que se empleó responde a las necesidades de la investigación y permitió determinar cuál será la respuesta del suelo en los sectores identificados ante la ocurrencia de un sismo.

Según la respuesta del suelo en los sectores delimitados y sus características ingeniero-geológicas se determinó que el sector norte es el área donde las ondas sísmicas se verán más amplificadas por presentar un suelo débil, desfavorable y por estar cerca del litoral costero.

Conclusiones

Se caracteriza la respuesta local del suelo utilizando un sistema de indicadores que comprende geología (gran parte del área está representada por grandes cúmulos ultramáficos o más bien por rocas ultrabásicas), una moderada sismicidad, la geomorfología (relieve bastante montañoso constituido por un macizo rocoso que a su vez es afectado intensamente por dislocaciones tectónicas), profundidad del nivel freático (no fue cortado) y las condiciones ingeniero-geológicas (suelo arenoso, laterítico, suelto o deleznable, roca serpentínica).

Los suelos identificados son clasificados fundamentalmente por arena limosa, limo-plástico con arena, y grava limosa con arena. De acuerdo con estas condiciones se dictamina que los suelos del reparto no favorecen la ocurrencia de licuefacción ya que no cumplen las condiciones necesarias para que el suelo pueda licuar.

Se obtiene la microzonificación sísmica reflejada en dos sectores: norte y sur, donde en el sector norte se identifican las áreas de mayor peligro y favorable para la amplificación de las ondas sísmicas.

Referencias bibliográficas

- ALMAGUER, Y. 2006. Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda. *Minería y Geología* 22(2): 1-45.
- CHUY, T. J.; ZAPATA, J. A.; MOREJÓN, G.; MÁRQUEZ, P. I.; SÁNCHEZ, D.; DIEZ, E. R.; PUENTE, G.; VÁZQUEZ, J. C.; TOLEDO, A. y GUERRA, G. 2006. Proyecto Territorial T-0225. Caracterización del riesgo sísmico de la ciudad de Guantánamo, provincia Guantánamo. Informe Final. Fondos del CENAIIS y del CITMA. 98 p.
- TSIGE, M. Y GARCÍA-FLORES, I. 2006. Propuesta de clasificación geotécnica del "Efecto Sitio" (Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la Región de Murcia. *Geogaceta* 40: 39-42.
- LOMTADZE, V. D. 1977. *Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería*. Pueblo y Educación, La Habana. 560 p.
- POPOV, V. V. 1959. Criterios Ingeniero-Geológicos de la zonación sísmica detallada. *Sismología Ingenieril* (2): 1-40.
- RIVERÓN, A. B. 1996. *Caracterización de la respuesta dinámica de los suelos en la ciudad de Moa*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- RODRÍGUEZ, A. 1998. Estilo tectónico y geodinámica de la región de Moa. *Minería y Geología* 15(2): 37-41.
- WEN-SHAO, W. 1980. Some findings in soil liquefaction. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering* 3(007).
- YOUND, T. L. e IDRIS, I. M. 2001. Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering* 127(4): 27-313.