

Ministerio de Educación Superior  
Universidad de Moa  
Dr. Antonio Núñez Jiménez  
Facultad de Geología – Minas  
Departamento de Geología

# *Trabajo de diploma*

## en opción al título de **Ingeniero Geólogo**

**Título:** Estudio de la respuesta local del suelo en el  
Reparto Miraflores del municipio Moa, ante la ocurrencia de sismos.

Autora: Yunelvi Zuñiga Fuentes.  
Tutor: Ms.C Liuska Fernández Diéguez

Curso 2018-2019

Año 61 de la Revolución



## **DEDICATORIA**

- ✓ A LA REVOLUCIÓN CUBANA Y A SU LÍDER INDISCUTIBLE POR DARME LA OPORTUNIDAD DE FORMARME COMO UNA PROFESIONAL COMPETENTE.
- ✓ A LOS AMIGOS DE LA UNIVERSIDAD POR COMPARTIR CINCO AÑOS INOLVIDABLES EN ESPECIAL A MIS COMPAÑERAS: LIANE ABREU, ANA SILVIA, MILENA GUILARTE, DAYANA LEYVA, EN FIN A TODOS MIS COMPAÑEROS QUE ME BRINDARON SU AYUDA SIN MIRAR ATRÁS.
- ✓ A TODOS LOS PROFESORES QUE CONTRIBUYERON EN MI FORMACIÓN, EN ESPECIAL A MI TUTORA LIUSKA FERNÁNDEZ DIÉGUEZ POR SU ENTREGA Y DEDICACIÓN EN ESTE TRABAJO Y A LA MS. RAQUEL VINARDELL PEÑA QUE TAMBIEN CONTRIBUYÓ DANDOME APOYO EN LO QUE ME HICIERA FALTA.
- ✓ A MI FAMILIA QUE HA ESTADO PRESENTE EN TODO MOMENTO, LOS CUALES HAN SIDO EL MAYOR INCENTIVO PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN, EN ESPECIAL A MI HERMANO ERNESTO Y A MIS PADRES EIDENIA Y ALFREDO, POR SU ENTREGA Y CARÍÑO DESDE QUE EMPEZÉ MIS ESTUDIOS HASTA AHORA MI ÚLTIMO AÑO DE LA CARRERA.

## **AGRADECIMIENTOS**

- ✓ DOY GRACIAS DE TODO CORAZÓN A TODOS AQUELLOS QUE HAN FORMADO PARTE DE MI VIDA: MI FAMILIA AMIGOS, COMPAÑEROS, A ESAS PERSONAS QUE UN DÍA CONOCÍ, A LAS QUE CONOCERÉ E INCLUSO AQUELLAS QUE YA OLVIDÉ.
- ✓ LES DOY GRACIAS EN ESPECIAL A MIS PADRES POR QUERERME, POR ESTAR CONMIGO EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS, Y SOBRE TODO POR SER RESPONSABLES DE LA PERSONA QUE SOY.
- ✓ A LOS QUE DE UNA FORMA U OTRA CONTRIBUYERON EN LA REALIZACIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN.
- ✓ DOY GRACIAS A LA VIDA POR PERMITIRME COMPLETAR ESTA OBRA.
- ✓ Y SOBRE TODO ME LLENA DE SATISFACCIÓN QUE GRACIAS A DIOS Y DESPUÉS DE TODA UNA SERIE DE INVESTIGACIONES SE LLEGUE FELIZMENTE A LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

## **PENSAMIENTO**

**NUESTRO COMANDANTE EXPRESÓ:**

**“ VIVIMOS EN UN MUNDO INTERESANTE, EXCEPCIONAL, (...) UN MUNDO EN PLENA FASE DE GLOBALIZACIÓN QUE TRAE PROBLEMAS TREMENDOS Y DESAFÍOS INMENSOS(...) NUESTRO MAYOR INTERÉS ES QUE NUESTRO PUEBLO, EN SUS CONOCIMIENTOS, EN SU CULTURA Y, SOBRE TODO EN SU CONCIENCIA POLÍTICA Y CIENTÍFICA, SE ENCUENTRE PREPARADO PARA ESE MUNDO QUE NOS VIENE ENCIMA Y QUE MARCHA A PASOS DE GIGANTES.”**

**Fidel Castro Ruz.**



## **RESUMEN**

Los terremotos son fenómenos geológicos que provocan un costoso impacto económico, social y ambiental. Su efecto devastador puede ser influenciado por las condiciones ingeniero geológicas particulares de los suelos sobre los que se asientan los emplazamientos poblacionales. Para el caso particular del sector urbano de Moa no existen estudios de microzonación sísmica de los suelos. La investigación se hizo con el objetivo de evaluar la respuesta local del suelo y su correlación con las condiciones ingeniero geológicas, de forma tal que se pueda microzonificar la peligrosidad sísmica en el sector urbano del municipio Moa, reparto Miraflores. El estudio se llevó a cabo mediante un sistema de indicadores que resumen las características más influyentes en la respuesta del suelo; como: 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 permite 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 dos sectores: el sector norte y el 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.

**ABSTRACT**

Earthquakes are geological phenomena that cause a costly economic, social and environmental impact. Its devastating effect can be influenced by the particular geological engineer conditions of the soils on which the population sites are based. For the particular case of the urban sector of Moa there are no studies of seismic microzonation of soils. The investigation was made with the objective of evaluating the local response of the soil and its correlation with the geological engineer conditions, in such a way that the seismic hazard can be microzonated in the urban sector of the municipality of Moa, Miraflores district. The study was carried out through a system of indicators that summarize the most influential characteristics in soil response; as: geology, seismicity, geomorphology, depth of the water table and engineer-geological conditions. The parameters used in the seismic microzonation are based on a system of databases and geographic information, which allows the constant update of the seismic study degree of the study area. Therefore, the seismic microzonation obtained is a reference tool in the future urban planning of Moa. The result obtained is a scheme that illustrates two sectors: the northern and southern sectors; where the northern sector represents one of the weakest areas; composed of somewhat soft soils, by filler material with serpentine fragments, very weathered and cracked, not very resistant, semi-compact, sandy loamy soil, loose or deleterious, semi-saturated and partly saturated in a large proportion and somewhat compressible.

## **Índice**

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
PENSAMIENTO .....	III
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	V
Introducción.....	1
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL.....	5
1.1 Conceptos básicos .....	7
1.2 Rasgos físico-geográficos y geológicos de la región de estudio .....	15
1.2.1 Características geológicas del área de estudio.....	15
1.2.2 Características hidrogeológicas .....	17
1.2.3 Suelos .....	19
1.2.4 Tectónica.....	21
1.2.5 Sismicidad .....	26
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLÚMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS. ....	32
2.1 Introducción.....	32
2.2 Búsqueda de información.....	33
2.3 Metodología para la respuesta sísmica local .....	33
2.3.1 Clasificación de los suelos .....	35
2.3.2 Potencial de licuefacción .....	35
2.3.3 Materiales y métodos utilizados .....	38
2.3.4 Determinación de la granulometría del suelo. ....	41
2.4 Procesamiento de la información. ....	42
CAPITULO III.EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA LOCAL DEL SUELO A PARTIR DE LAS CONDICIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS.....	43
3.1 Introducción.....	43

---

---

*Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

3.2 Ubicación geográfica .....	43
3.2.1 Características de Reparto Miraflores .....	44
3.3 Indicadores asociados con los efectos sísmicos en el Reparto Miraflores, municipio Moa. .....	46
3.3.1 Geología .....	46
3.3.2 Sismicidad .....	47
3.3.3 Geomorfología .....	49
3.3.4 Profundidad del nivel freático .....	49
3.3.5 Condiciones ingeniero-geológicas .....	50
3.4 Esquema de la respuesta local del suelo ante la ocurrencia de sismos .....	55
3.5 Evaluación de la percepción sísmica en el Reparto Miraflores del Municipio de Moa. .....	72
3.6 Aumento de la magnitud sísmica por el tipo de suelo y profundidad de yacencia de las aguas subterráneas .....	78
3.7 Evaluación del potencial de licuefacción .....	80
3.8 Microzonación sísmica del Reparto Miraflores, municipio Moa. Integración de los resultados .....	83
CONCLUSIONES .....	86
RECOMENDACIONES .....	87
BIBLIOGRAFÍA .....	88
ANEXOS .....	



## **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 efectos que un sismo tendría en la zona, tomando en cuenta los efectos de sitio y las microzonas sísmicas (Flores, I., 2006).

Los sismos o terremotos forman parte de los fenómenos naturales que más han preocupado a la humanidad a través de los siglos, pues a pesar de los incalculables avances de la ciencia aún no han podido disponer de un mecanismo predictivo capaz de alertarnos ante la ocurrencia de un terremoto y siguen ocurriendo destrucciones de grandes ciudades, innumerables pérdidas de vidas humanas y pérdidas en la economía de los países afectados. Dichos terremotos son fenómenos naturales de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas.

Durante los terremotos el movimiento del terreno puede causar una pérdida de la firmeza o rigidez del suelo provocando resultados como el desplome de edificaciones, deslizamientos de tierra, daños en las tuberías, entre otros. Este fenómeno está principalmente, asociado con suelos saturados poco cohesivos.

Las variaciones de efectos de sitio de los territorios urbanos representan una necesidad de estudio con el fin de conocer el movimiento del terreno ante sismos de gran envergadura y prever las medidas para evitar cualquier tipo de desastre por un sismo. Un estudio completo del efecto de sitio requiere considerar todos los aspectos además de las características de la señal sísmica (composición, dirección de la radiación incidente etc.). Dicho de otra forma, los efectos de sitio son las modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie, y depende en gran medida, de las condiciones geológicas y geomorfológicas presentes en la zona que experimenta una sacudida o temblor (Flores, I., 2006).

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Las afectaciones más comunes productos de este fenómeno son:

- agrietamiento y deslizamientos de laderas y terrazas que originaron en sectores embaucamiento en los cauces de los ríos.
- deslizamientos y grietas del terreno que generaron asentamiento y/o agrietamiento de edificios, casas e infraestructura vial, con destrucción total o parcial de las mismas.
- expulsión de agua y sedimentos a través de grietas y orificios, principalmente en rellenos antrópicos sobre humedales (Fernández, L., 2015). Dentro de los efectos sísmicos locales distinguimos los debidos al suelo y a la topografía y los efectos indirectos como la licuefacción y los deslizamientos de ladera (Fernández, L., 2015).

En nuestro municipio esta temática no es amplia, pues son muy pocos los trabajos realizados, siendo los estudios de Amalia Beatriz Riberón Zaldívar, (1996); Luís Felipe Caballero Cornier, (Julio/1995) y Raquel Vinardell Peña, (2018); algunos de los que tratan sobre el estudio de la respuesta dinámica de los suelos del sector Playa la Vaca, y se realiza una microzonación sísmica de nuestro territorio.

Otras investigaciones sismológicas han sido realizadas por. Zapata, J. A.; Rosabal, S. Y. y Cutié, M.; Reporte de investigación a GAMMA S.A. Junio/2013, Zapata, J. A y Rosabal, S. Y. (2010): Zapata, J. A y Rosabal, S. Y. (2010). Zapata, J. A.; Rubio, M. F.; Vega, N. M. y Ramos, K. (2009): Zapata, J. A.; Rubio, M. F.; Arango, E. D.; Cutié, M.: Chuy, T. J. y Batista, R. (2009): Zapata, J. A.; Rubio, M. F. y Montenegro, C. (2007): Zapata, J. A. (2007): Zapata, J. A.; Chuy, T. J.; Montenegro, C. y Marisy, J. (2006): Zapata, J. A.; Chuy, J. T.; Cutié, M.; Montenegro, C. y Marisy, J. (2006): Zapata, J. A. et al (1999): Zapata, J. A. et al (1994): Todas estas investigaciones están relacionada con la industria del níquel en la región.

Es por ello que las características sismo-tectónicas de nuestro país, y en particular de la región oriental, nos alertan a no tomar a la ligera las condiciones sismológicas como una premisa de desastre, lo que convierte el presente tema de investigación en relevante para la

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Seguridad Nacional y por tanto contribuye en la investigación donde se pretende evaluar las condiciones que favorecen esta diferenciación en el área de estudio.

**Problema:** necesidad de evaluar la respuesta local del suelo ante un sismo y su relación con las condiciones ingeniero geológicas en el Reparto Miraflores del municipio Moa.

**Objeto:** los suelos del Reparto Miraflores, municipio Moa.

**Campo de acción:** la respuesta local de los suelos del Reparto Miraflores, municipio Moa.

**Objetivo general:** 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 Moa.

### **Objetivos específicos:**

- Caracterizar las condiciones ingeniero geológicas que presentan los suelos del Reparto Miraflores, municipio Moa.
- Identificar los suelos donde las propiedades físico- mecánicas favorecen la ocurrencia de la licuefacción.
- Zonificar la respuesta local del suelo y el potencial de licuefacción de acuerdo con las condiciones ingeniero geológicas de cada sitio.

**Hipótesis:** si se conoce la respuesta local del suelo ante un sismo, teniendo en cuenta las condiciones ingeniero geológicas entonces se obtendrá la microzonificación sísmica y el potencial de licuefacción del Reparto Miraflores, municipio Moa.

### **Resultados esperados**

---

### *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

- Caracterización de los suelos a partir de las condiciones ingeniero geológicas y el efecto de sitio, que favorecen la amplificación de las ondas sísmicas y la licuefacción de los suelos.
- La obtención de un esquema que ilustre las zonas que son más favorables para la amplificación de las ondas sísmicas y la licuefacción de los suelos.

## **CAPITULO I. MARCO TÉORICO CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL**

La microzonación (o microzonificación) sísmica es una disciplina conocida desde los años 60 del pasado siglo. Surgida en la antigua Unión Soviética, tenía como objetivo cartografiar las variaciones de la intensidad sísmica esperada a nivel regional en una escala más detallada (para ciudades) en función de las características de los suelos que la componían, la base fundamental de tales trabajos la constituían la geología de los estratos superficiales y sus propiedades fundamentales, lo que era apoyado por mediciones instrumentales (microsismos y terremotos débiles) (Álvarez, L., 2015). Son estudios multidisciplinarios, que en general abarcan pocos kilómetros, delimitados por la zona existente de una ciudad y su posible expansión. Se considera además los efectos que un sismo tendría en una zona, tomando en cuenta los efectos de sitio y las microzonas sísmicas (Flores, I., 2016).

La base fundamental de tales trabajos la constituían la geología de los estratos superficiales y sus propiedades fundamentales, lo que era apoyado por mediciones instrumentales (microsismos y terremotos débiles). Diversas técnicas se han desarrollado desde entonces, todas ellas con el objetivo de representar en el mapa de una ciudad o de cualquier zona de desarrollo, distintas zonas que tienen un comportamiento similar ante los terremotos, y que por lo general se aparta del esperado de acuerdo a los estudios de peligro sísmico regional (Vinardell, R., 2018).

Los efectos de sitio han contribuido enormemente a las muertes humanas y a los daños en las construcciones en los terremotos durante años atrás, debido a que son modificaciones en amplitud y duración que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie, lo que provoca que al ocurrir un sismo las mismas se propaguen por el medio generando el movimiento de la roca o el suelo, el cual puede ser amplificado o atenuado según las condiciones geólogo-tectónicas, hidrogeológicas, geotécnicas y topográficas del terreno (Ordaz, M., 1994).

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 como se muestra en la Figura 1.

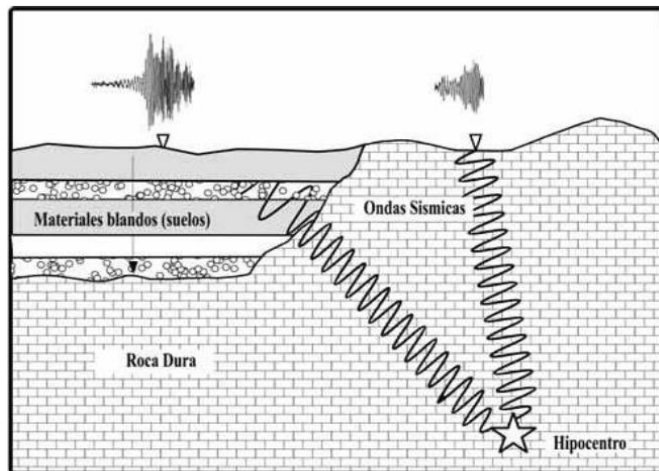


Figura 1. Esquema del paso de las ondas sísmicas para distintos suelos.

La propagación de las ondas a través de la capa más superficial del terreno, produce durante su ocurrencia distintos fenómenos físicos que dan lugar a una composición final del movimiento formado por: ondas directas y reflejadas (P y S), un grupo de ondas que son el producto de la dispersión y difracción de las anteriores donde se incluye la coda, y, las ondas superficiales (Álvarez, S., 2001).

Con base en estos resultados es posible determinar zonas con comportamiento sísmico “homogéneo” en las cuales se pueda establecer recomendaciones específicas para el diseño y construcción de edificaciones. La respuesta sísmica local o respuesta de sitio ha sido reconocida internacionalmente como un aspecto fundamental en los estudios de microzonificación sísmica de ciudades. Las metodologías propuestas en la actualidad para la evaluación de estos efectos de sitio pueden ser empíricas o teóricas, cada una de las cuales tiene ventajas y desventajas. (Ordaz, M., 1994).

### **1.1 Conceptos básicos**

**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 efectos que un sismo tendría en la zona tomando en cuenta los efectos de sitio y las microzonas sísmicas. Los resultados quedan representados en un mapa, donde el área de estudio queda dividida en sectores de diferente peligro potencial, también llamado zona de riesgo sísmico (Contreras, O., 2018).

**Intensidad Sísmica:** es un parámetro que describe los daños ocasionados en edificios y estructuras, sus consecuencias sobre el terreno y los efectos sobre las personas, por lo que su utilización en la evaluación de daños está muy extendida. Es una medida no instrumental de los efectos que produce el movimiento del suelo en las personas, en los objetos, en las construcciones y en la naturaleza. Es el nivel de fuerza con que se expresa una magnitud, una propiedad, un fenómeno. En los sismos perceptibles, es el valor que representa las características de los efectos producidos en la superficie sobre las personas, edificaciones o el medio circundante. Ese valor en Cuba se da en Intensidad MSK, escala M.S.K. Propuesta en 1964 por Medvedev, Sponhever y Kamik (Contreras, O., 2018).

**Efecto de sitio:** modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie.

**Riesgo Sísmico:** causado por uno o varios peligros que inciden simultáneamente sobre uno o más elementos vulnerables en un tiempo, lugar y condiciones determinadas. Son las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por un terremoto. (Hernández, A., 2012).

**Licuefacción de los suelos:** es el proceso de pérdida de resistencia de ciertos tipos de suelos, que están saturados en agua y cuando son sometidos a la sacudida de un terremoto fluyen como un líquido a causa de un aumento de la presión.

**Sismo o Terremoto:** movimiento brusco de la tierra causado por la liberación de energía acumulada durante un largo tiempo. Son temblores producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. El punto en que se origina el terremoto se llama foco o hipocentro; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 km hacia el interior terrestre. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto (Hernández, A., 2012).

**Escala de Richter:** escala de magnitud local (ML), es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar la energía liberada en un terremoto, denominada así en honor del sismólogo estadounidense Charles Richter (1900-1985). No tiene cota máxima, pero hasta 1979 se creía que el sismo más poderoso posible tendría magnitud 8,5. Sin embargo, desde entonces, los progresos en las técnicas de medidas sísmicas han permitido a los sismólogos redefinir la escala; hoy se considera 9,5 el límite práctico (Hernández, A., 2012).

**Epicentro:** punto o zona superficial donde emerge el movimiento vibratorio, y por lo tanto, donde mayor intensidad adquiere el fenómeno; también es llamada zona epicentral. Es la proyección del hipocentro en la superficie terrestre; por lo tanto, el lugar donde el sismo se siente con mayor intensidad corresponde al punto en la superficie de la tierra ubicado directamente sobre el hipocentro (Hernández, A., 2012).

**Hipocentro:** es la zona o punto donde ha tenido origen un terremoto y que por lo general es reducida, también es llamada zona hipocentral. El foco es la región del campo de esfuerzos donde se inicia la liberación de energía. El foco o hipocentro es llamado algunas veces foco o epifoco. La ubicación del foco se logra a partir del análisis de los sismogramas, estos son registros que dejan en los sismógrafos las ondas de esfuerzos al desplazarse por la tierra (Hernández, A., 2012).



### **1.1.1 Acontecimientos sísmológicos en Cuba**

#### **Origen de la sismología cubana:**

El origen de la Sismología en Cuba es posterior a la llegada de los españoles. No obstante, el autor ha podido intuir, de una forma preliminar, a partir de algunas conversaciones con especialistas en arqueología de la filial pinareña de la entonces Academia de Ciencias de Cuba que los aborígenes (más de 5.000 años de asentamiento) conocían de la sismicidad de algunas zonas. También a partir de los tres mapas que indican los asentamientos aborígenes que aparecen en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba es factible comprender nuestra posición.

#### **Terremotos más significativos en Cuba desde la antigüedad hasta la actualidad:**

En Cuba, a pesar de que muchos cronistas han hecho referencia a terremotos ocurridos desde el siglo XVI, no es hasta 1855 con los trabajos de Andrés Poey, que se da el primer paso en Investigaciones Macro sísmica al aparecer por primera vez un Catálogo de sismos históricos de nuestro país. El principal mérito de estos trabajos es que presentan la cronología de los sismos con una reseña muy breve de los principales efectos reportados y a pesar de que no hace una evaluación cuantitativa de la intensidad, si mostró sin lugar a dudas, que el archipiélago cubano está sometido a un potencial peligro sísmico.

A mediados de la década del 80, se realizaron dos nuevos trabajos de estimación de la Peligrosidad Sísmica para todo el archipiélago cubano, que mejoraban cualitativamente los resultados obtenidos hasta ese momento y en los que por primera vez se utilizan metodologías más rigurosas y cuantitativas (Chuy,2000).

Del primer terremoto de que se tiene información que afectó Cuba es uno del año 1528.Ese evento provocó en la población de la primera villa fundada en 1511 por los españoles. La villa de Nuestra Señora de la Asunción de Baracoa (hoy Baracoa) está ubicada en la costa norte de la región oriental y se caracteriza por un relieve energético y joven (Cotilla et .al, 1991). Se pudo determinar en el año 1990 a partir de un informe conservado

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

«milagrosamente» en la propia localidad, que luego de los estremecimientos sísmicos de 1528 la población se lanzó a las calles en procesión. Se ha supuesto que el epicentro está en la parte marina norte (Rodríguez, 1999) específicamente en la zona de fallas norte cubana que es un límite exterior del bloque Cuba. Se le asignó una intensidad de VI grados (MSK) (Rodríguez, 1999).

Otro terremoto de importancia para Cuba fue el del año 1551 en la villa de San Salvador de Bayamo (hoy Bayamo y fundada en 1513), también en la región oriental (Poey, 1855, 1857). La zona donde está situado Bayamo se caracteriza por importantes espesores de sedimentos de la cuenca Cauto-Nipe (Cotilla, 1991), lo cual evidentemente favorece la amplificación de las oscilaciones. El evento de marras destruyó el templo y algo más (viviendas), la intensidad sísmica se estimó en 8 grados (MSK) y el epicentro se asumió en la misma cuenca. Sin embargo, el autor considera que el hipocentro pudo estar en la parte marina del sur, en particular en las inmediaciones de Cabo Cruz. Esta suposición se fundamenta principalmente en las características geodinámicas de la región, las condiciones ingeniero-geológicas de la zona de Bayamo y en la probable distorsión de la información de base (Rodríguez, 1999).

El día 12 de junio de 1766 a las 05:14, se produjo un fuerte sismo en las inmediaciones de la zona marítima del sur de la región oriental, la zona de fallas activas Bartlett-Caimán en Oriente. La intensidad fue estimada en IX grados (MSK) y se produjeron 120 muertos y más de 600 heridos en la ciudad de Santiago de Cuba. También en esa misma zona ocurrió otro sismo el 20 de agosto de 1852 a las 14:05 que ocasionó afectaciones similares en la ciudad de Santiago de Cuba, aunque sólo hubo dos víctimas mortales (Rodríguez, 1999).

Así, el 23 de enero de 1880 (04:39 U.T.) en las inmediaciones de San Cristóbal de los Pinos (hoy San Cristóbal y fundada en 1743) se produjo un terremoto (X y VIII grados MSK) que afectó una extensa área (Chuy y González, 1980) e incluso se dice fue percibido en los cayos de la Florida. El terremoto de San Cristóbal en la provincia más occidental de Cuba, Pinar del Río, fue el primer evento sísmico del país estudiado sobre el terreno por especialistas en la temática. Esa investigación apunta no sólo los lugares de las afectaciones y la ruina económica de la región, sino también algunas interesantes

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

observaciones ingeniero-geológicas y oírás sugerencias acerca del posible origen del terremoto. Los autores del trabajo fueron dos españoles que aplicaron sus conocimientos en Cuba, el padre Benito Viñas, S.J. y el ingeniero don Pedro Salterain (Rodríguez, 1999)

El primer terremoto de Cuba registrado por una estación del país (la del Colegio de Belén, en La Habana) fue el del 28 de febrero de 1914. Su epicentro se ubicó en la parte marina del norte, específicamente en la zona de fallas Norte cubana. Lamentablemente, el sismograma se destruyó con la intervención gubernamental de la institución en 1961. Se le confeccionaron isosistas y tuvo una intensidad máxima de VII grados MSK con  $M_s=6,2$  (Chuy, 1988) (Rodríguez, 1999).

Otro evento sísmico fuerte del sur de Cuba oriental es el ocurrido el 7 de agosto de 1947 (19,75 N, -75,25 O,  $h=50$  km, 00:40:20.0 U.T.) (Monteulieu, 1968). Este terremoto alcanzó la intensidad de VII grados (MSK) y la magnitud registrada fue de 6,75 y la macrosísmica 6,3. Tuvo 15 réplicas y dos premonitores.

La localidad de Esmeralda, ubicada en la provincia de Camagüey, sufrió los efectos de un sismo de intensidad igual a VI grados (MSK) el día 8 de abril de 1974 a las 03 .18:19,3 G.M. La magnitud estimada por datos macrosísmicos fue de 3,7. Se confeccionaron isosistas (Chuy. 1988). La importancia de este evento radicó en que su epicentro se localizó en la parte emergida de Cuba occidental y tuvo premonitores y réplicas (Cotilla ,1991) lo asociaron a la zona sismogénicas Chuhitas (Chuy, 1988) (Rodríguez, 1999).

El terremoto del 19 de febrero de 1976 (1,86 N, -76,87 O, 13:59:59,0,  $M_s=5,7$ ,  $h=15$  km, de intensidad igual a VIII grados (MSK) fue sentido en una amplia área de la región oriental y en la vecina isla de Jamaica (al otro lado de la fosa de Oriente o Bartlett-Caimán). Se le conoce como «el terremoto de Pílon» y causó dos víctimas mortales. Se estimó que la zona de ruptura del foco fue de 30 km a partir del epicentro y hacia las réplicas (al oeste). Las intensidades mayores fueron reportadas en las inmediaciones de la zona de réplicas, por lo que las isosistas están deformadas. El mecanismo focal del sismo es transcurrente y el mecanismo compuesto de las dos réplicas más fuertes ocurrió entre los (días 23 y 24).

El día 26 de agosto de 1990 se produjo un terremoto a las 07:53:41,69 en las coordenadas 19,592 N y -77,8740.  $h=10$  km. y  $m_b=5,9$  ( $M_s=5$ , I). Esta zona está al oeste de Cabo Cruz,

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

región suroriental de Cuba, y produjo intensidades de VIII grados (MSK). Se confeccionaron isosistas (Departamento de Sismología 1990) y se obtuvo su mecanismo focal (NEIS).

El 16 de diciembre de 1982 (20:20 U.T., 220 37' N, ~JO 14' 0) se produjo un terremoto ( $M_s = 5,0$ ,  $l_i = 30$  km, intensidad igual a VI grados (MSK) en las localidades matanceras de Torriente-Jagüey Grande consideradas de sismicidad desconocida pero muy baja y sin ninguna complicación tectónica (Chuy 1983). Este evento atrajo la atención de los especialistas debido a la particularidad de la propagación de las ondas y a la alarma provocada en la población. Se propuso un mecanismo de intersección de fallas o nudo sismo activo. Para este evento se aplicó por primera vez en Cuba la técnica de la percepción remota. El epicentro también se determinó en la parte emergida de Cuba occidental.

El evento sísmico más fuerte registrado para Cuba es el del 25 de mayo de 1992 también en las cercanías de Cabo Cruz <16:55:04, 17: 19,613 N y -77,872 0:  $h = 23$  km;  $m_b = 6.3$ ;  $M_s = 6,9$ ). Este ha sido estudiado por el NEIS, el CMT (Universidad de Harvard), los que obtuvieron mecanismos focales. La intensidad máxima reportada es VII grados (MSK) y le confeccionaron isosistas (Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 1992). El terremoto tuvo 14 réplicas en dos días. La zona de ruptura alcanzó 30 km desde el epicentro al área de réplicas (19,475 N. 77,4300;  $m_b = 4.4$ ) y el sentido de la ruptura fue hacia el este (Cotilla y Udías. 1997). Luego, los eventos de 1976 y 1992 tienden a romper en sentido contrario pero convergiendo hacia la misma zona de Cabo Cruz (Cotilla y Udías. 1997).

De esta forma, el incremento del nivel de conocimiento de la sismicidad del archipiélago cubano, el establecimiento de hipótesis de trabajo que permitieron calcular los parámetros del régimen sísmico con mayor precisión sobre la base de un catálogo más completo, el mayor conocimiento del comportamiento de la atenuación sísmica en la región y la posibilidad de diferenciar sectores en las estructuras con una mayor potencialidad relativa de generación de terremotos, hacen que los resultados que se obtuvieron de forma regional (Occidente, 1990; Oriente, 1992 y Centro, 1994); se consideren concluyentes para esa etapa de trabajo. Consecuentemente y tomando como partida los criterios planteados por Chuy y Álvarez en 1995, estos propusieron la integración de todos estos trabajos en un

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Mapa de Peligrosidad Sísmica de Cuba (con fines de la Norma Sismo resistente cubana) (Chuy, 2000).

Las investigaciones sismológicas de Cuba sitúan a la provincia Santiago de Cuba como la de mayor peligro sísmico del territorio nacional. Más del 60% de los sismos perceptibles y fuertes reportados en el país han tenido su epicentro en Santiago de Cuba siendo sacudida por más de 1000 sismos perceptibles desde el año 1528 hasta la fecha (Chuy, 2000).

Para Cuba, hasta el momento actual, es la región oriental y en particular el borde suroriental, adyacente al límite de placas litosféricas Caribe-Norte -américa la zona más peligrosa (Cotilla et. al., 1991). En ella la frecuencia y la magnitud de los eventos sísmicos son también las mayores. Sin embargo, en otras zonas del territorio se han producido significativas afectaciones por sismos propios (Cotilla et. al., 1991).

### **Terremotos ocurridos en el mundo**

El 12 de enero de 2010 en Haití, un terremoto de magnitud 7.0 en la escala de Richter, con epicentro a unos 15 kilómetros al suroeste del centro de Puerto Príncipe y con hipocentro a unos 10 kilómetros de profundidad, sacudió la capital de Haití, destruyendo una parte importante de las zonas sur y suroeste de la capital haitiana, incluyendo a Leogane y Jacmel, y provocando cerca de 250,000 muertos, unos 300,000 heridos, 250,000 viviendas destruidas, 30,000 comercios colapsados y más de un millón de damnificados, siendo esta la mayor sacudida sísmica desde el año 1770. El terremoto de Puerto Príncipe, localizado en el extremo suroeste fue devastador. La razón fundamental es que la ciudad de Puerto Príncipe ha sido levantada sobre los suelos arcillosos flexibles, de muy mala calidad y bajas velocidades de ondas de corte, depositados en la llanura occidental remanente del antiguo canal marino de Enriquillo, y sobre sedimentos margosos y gravas gruesas y sueltas del pie de monte existente en la franja sur de la ciudad capital, lo que provocó un incremento extraordinario de la aceleración del suelo, haciendo que casi todas las columnas fallaran por esfuerzos cortantes y que las edificaciones se desplomaran verticalmente matando a cientos de miles de haitianos que no tuvieron tiempo para salir, ni para protegerse (Fernández, L ., 2015).

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

El día 7 de septiembre del año 2017 a las 23:49 horas se sintió el sismo más fuerte registrado en los últimos 100 años que alcanzó una magnitud de 8.2 y afectó principalmente a comunidades en los estados de Oaxaca y Chiapas. Si bien este sismo se percibió también en la Ciudad de México, su efecto no fue tan devastador como el registrado el día 19 del mismo mes que tuvo una magnitud menor, de 7.1. Un elemento que seguramente tuvo que ver en este impacto fue el sitio de su epicentro, “El sismo sucedió a sólo 120 kilómetros de la Ciudad de México, en Axochiapan, Morelos”. La cercanía con el epicentro hizo que su efecto fuera mucho más intenso que, si hubiese pasado en las costas del Pacífico mexicano, tal y como ocurrió el 7 de septiembre con el temblor con epicentro en las costas de Chiapas a más de 700 kilómetros de la Ciudad de México. El suelo sobre el que descansa un área importante de la ciudad de México tiene una vocación fundamentalmente lacustre, que amplifica y alarga las ondas de los sismos; los hace más intensos y los vuelve más peligrosos, que los que se presentan en zonas de suelo firme. Así, el efecto local del sismo19s, no fue el mismo en la zona asentada sobre los lagos, que en aquellas porciones que descansan sobre las partes altas. (Disponible en <http://www.ecured.cu/>).

En nuestro país los estudios de microzonificación sísmica se han realizado en las zonas donde la ocurrencia de sismos es más evidente y con mayor intensidad de acuerdo con las características tectónicas de la región, siendo la región oriental una de las más estudiadas en el territorio nacional en cuanto a este tema. (CENAIIS)

El Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), es el encargado de realizar los estudios sísmicos, en aras de mitigar los daños de los terremotos ha llevado a cabo estudios como; Mapa de Riesgo Sísmico de la Ciudad Santiago de Cuba, y Caracterización de Riesgo Sísmico en la Ciudad de Guantánamo.

En el caso del municipio Moa, se han realizado encuestas por parte del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS) y la Universidad de Moa para precisar el nivel de intensidad tras los sismos ocurridos los días 6 y 7 de octubre del 2018 de diferente magnitud y evaluar la percepción de la población a partir de los diferentes tipos de estructuras de sus viviendas.

## **1.2 Rasgos físico-geográficos y geológicos de la región de estudio**

En el presente capítulo se exponen las características ingeniero geológicas del municipio de Moa, provincia de Holguín, de forma tal que se pueda microzonificar el potencial de licuefacción y el efecto de sitio en cada sector.

### **1.2.1 Características geológicas del área de estudio**

El municipio de Moa se encuentra ubicado en el extremo oriental de la provincia de Holguín; limitado al norte por el Océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio Baracoa y al oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País. (Ver figura 2). Se enmarca dentro de la región oriental de Cuba, la cual desde el punto de vista geológico se caracteriza por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del “neoautóctono” (Iturralde-Vinent, 1996; Proenza, 1998) citado de (Vinardell Peña, 2018).

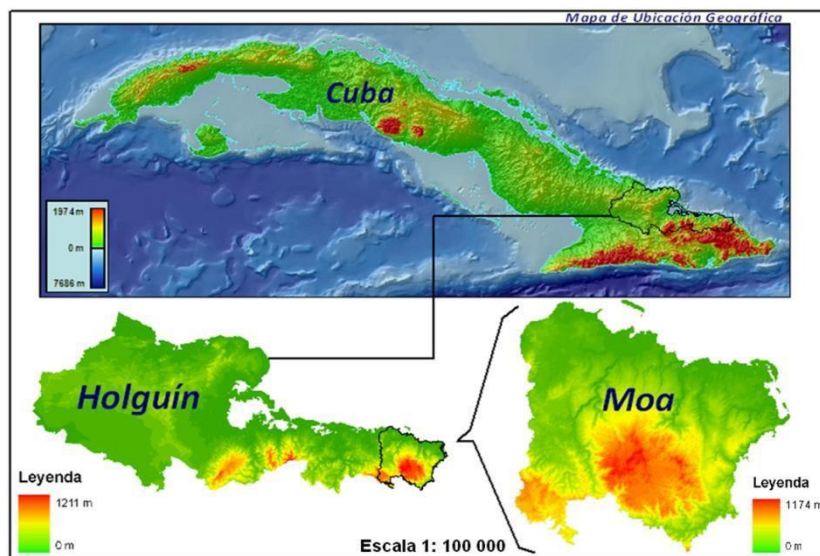


Figura 2. Esquema de ubicación geográfica. (Vitres, Y., 2011).

En los macizos rocosos de Mayarí y Sagua-Moa-Baracoa afloran fundamentalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales, y a los arcos de islas volcánicos del Cretácico y del Paleógeno (Cobiella, 2000; Iturralde-Vinent, 1996; Proenza,



1998). Las ofiolitas septentrionales en la región de estudio están enmarcadas dentro de la llamada faja ofiolítica Mayarí-Baracoa. Sus principales afloramientos están representados por los Macizo Mayarí-Cristal y Moa-Baracoa.

Dentro de las rocas correspondientes a las unidades oceánicas, las ofiolitas septentrionales ocupan la mayor parte del área de investigación y van a estar representadas por el complejo ultramáfico, el complejo máfico y la secuencia efusiva-sedimentaria (Rodríguez, 1998; Proenza, 1998). El complejo ultramáfico está representado por rocas ultrabásicas serpentinizadas que afloran en toda la porción central y meridional y están constituidas predominantemente por harzburgitas y subordinadamente dunitas, herzolitas y piroxenitas, que se caracterizan por presentar un color verde oscuro o gris verdoso y por un alto grado de agrietamiento (Rodríguez, 1998; Proenza, 1997). Estas rocas presentan un grado de serpentización variable, haciéndose más intensa hacia los bordes de los macizos (Rodríguez, 1998).

Las rocas básicas están representadas por gabro olivínico, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques que se disponen preferentemente en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. En la región el más común es el gabro normal de color oscuro algo verdoso con textura masiva o fluidal y afloran siempre asociados a las serpentinitas, apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua-Cayo Guam-Mercedita, y Farallones, Caimanes (Rodríguez, 1998).

Los depósitos cuaternarios constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis continental sobre todas las secuencias de rocas más antiguas, presentando pocos cambios diagenéticos y espesor. Los depósitos ubicados en las desembocaduras, cauces y márgenes fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial como se muestra en la Figura 3.

Desde el punto de vista tectónico la región se va a caracterizar por la abundancia de estructuras disyuntivas agrupadas en sistemas correspondientes a los diferentes estadios



## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

de la evolución geotectónica regional y que mantienen diferentes grados de actividad y reflejo en los rasgos morfológicos y que, de una u otra forma, han determinado la variabilidad de la serpentinización de las rocas del complejo ofiolítico y su disposición superficial actual (Vinardell, R., 2018).

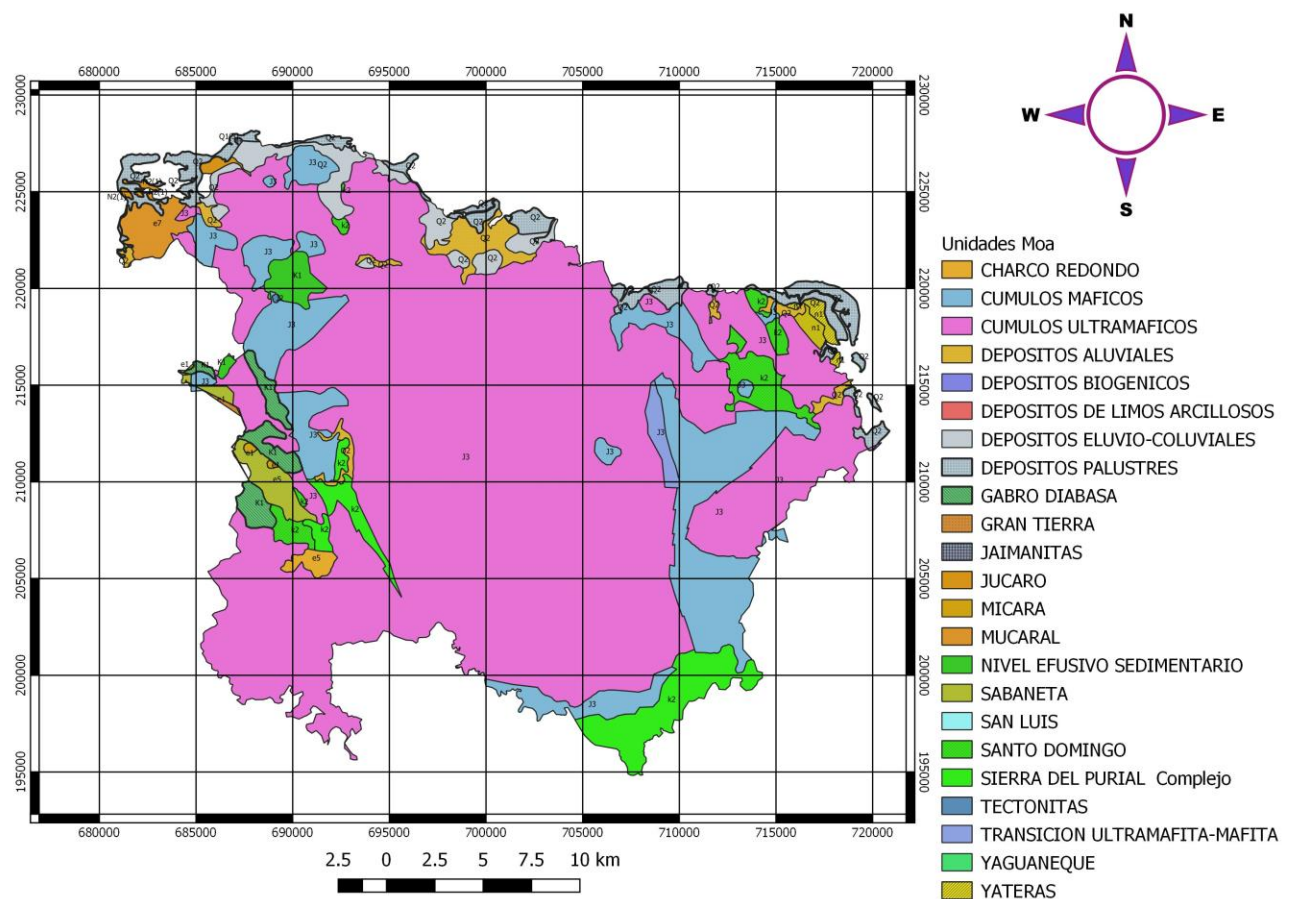


Figura 3. Mapa geológico del municipio Moa. Escala original 1:200 000. (Vitres, Y., 2011).

### 1.2.2 Características hidrogeológicas

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

territorio, se considera como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. Se ha establecido la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes y de su capacidad para el almacenamiento de aguas subterráneas (Sidimohamed, 2002) los mismos son descritos a continuación:

Complejo acuífero de las ofiolitas: se extiende en dirección noroeste-sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 L/s.

Complejo acuífero de los sedimentos costeros: se extiende por casi todo el norte del municipio, formando una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 Km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el Cuaternario. Su composición litológica integrada por depósitos arcillosos contiene fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo-arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársticas y de grietas, y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar. A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268.4 m/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/seg (Sidimohamed, 2002).

Complejo acuífero de los sedimentos aluviales: se extiende en dirección norte-sur formando una franja ancha en su parte inferior, y estrecha en la superior, ocupando prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como, los valles de sus afluentes. Constituido por gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas, con 15 m de potencia aproximadamente, estos sedimentos son de edad cuaternaria y se caracterizan por su alta capacidad para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 - 290

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) oscila entre 2 - 57 L/seg. Estas aguas yacen a una profundidad comprendida entre los 1 - 5m (Sidimohamed, 2002).

Complejo acuífero de las lateritas: se extiende por casi toda la zona ocupando gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, representando a un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de estas aguas, tal como se muestra en la Figura 4.

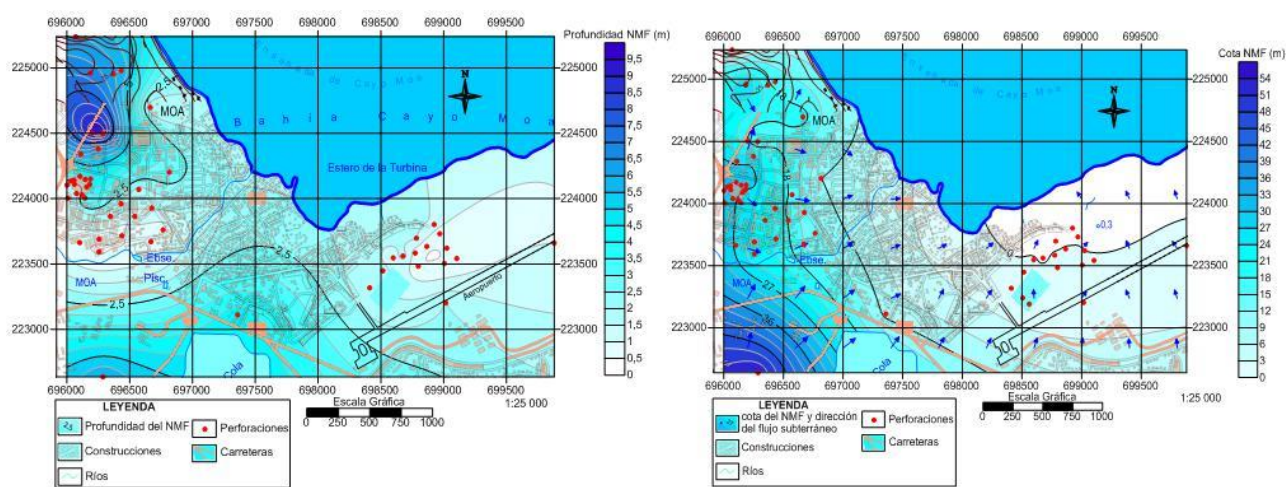


Figura 4. a) Mapa de profundidad de yacencia del nivel freático y b) Mapa de hidroisohipsas (Vinardell, R., 2018).

### 1.2.3 Suelos

Definido como un agregado de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en agua. Los suelos de Moa están compuestos por los de la serie nipe sobre rocas serpentinitas que son un material rojizo con alto contenido de hierro en niveles superiores al 50 por ciento, además de otros metales como magnesio, cromo, cobre, níquel y cobalto, composiciones que

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

también abundan en este tipo de rocas. Estas últimas y el suelo son explotados para la extracción selectiva de níquel y cobalto en minas a cielo abierto y sobre la región costera existe cromo refractario en minas subterráneas.

Por su bajo contenido de material orgánico los suelos rojos lateríticos de Moa, son muy ineficientes, o más bien levemente eficientes, en términos de producción agrícola.

Las particularidades de los suelos y las rocas de Moa hacen que las plantas sean muy especializadas, incluso algunas logran hasta acumular importantes cantidades de níquel, lo cual es de gran interés biológico e incluso hasta de posible aplicación, puesto que pueden servir de indicadores de la presencia de estos minerales. Resultan interesantes las características del suelo no sólo porque atesora importantes minerales, también por su manto freático, pues a escasos centímetros de la superficie ofrece agua, que aún en las proximidades del mar no se contamina con las aguas salobres. (Almaguer et.al, 2005).

En la región se encuentra una gran variedad de suelos producto al clima, la vegetación y la morfología. Según (Almaguer et.al, 2005) Estos suelos son:

Suelos Ferríticos: posee características físico-químicas como presencia de nódulos ferruginosos que representan menos del 20% del volumen de la masa del suelo, tiene más de 50% de sesquióxidos de hierro, la composición de minerales secundarios está representada por hematita, goethita, gibbsita y trazas de minerales arcillosos y es de 10 cm de espesor si descansa directamente sobre la roca madre.

Estos suelos poseen muy baja fertilidad natural.

Suelos Esqueléticos (Lithosoles): suelos poco profundos, con alto contenido de gravas y fragmentos de la roca madre en superficie, donde hay poca alteración de los minerales primarios. Aparecen en niveles fuertes de pendientes (15° a 35°), rodeando las superficies interfluviales de los ríos Moa y Cabaña.

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Suelos aluviales (no carbonatado): se relacionan espacialmente con las áreas de la llanura de inundación del río Cabaña. Se caracterizan por la ausencia de horizontes genéticos bien diferenciados. El pH, la saturación, la capacidad de cambio son variables en relación con los materiales de origen y las condiciones de sedimentación en el valle. Se diferencia el horizonte húmico que contiene no menos del 3% de materia orgánica, con una profundidad mayor o igual a 15 cm.

Suelos cenagosos: se encuentran gran parte del año sumergidos o con el manto freático a pocos centímetros de la superficie. Ocupan las áreas del litoral del área, ubicadas al oeste y norte de la presa de cola de la empresa niquelífera Ernesto Guevara. Reciben la influencia de las aguas del mar, por lo que se encuentran salinizados. En el perfil del suelo aparecen materiales areno-arcillosos color pardo negro e intercalaciones de materiales carbonizados.

### **1.2.4 Tectónica**

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 del 2006 con vista a esclarecer la génesis de la sismicidad y el riesgo asociado a la misma.

En la región se han establecido cuatro sistemas de fallas principales (Rodríguez-Infante, 1995). El sistema más antiguo para la región tiene su origen asociado al cese de la subducción e inicio del proceso compresivo de sur a norte del arco volcánico cretácico y que culminó con la presumible colisión entre el arco insular y la margen pasiva de la Plataforma de Bahamas.

El segundo sistema y de mayor importancia en el territorio está constituido por fallas de dos direcciones: NE y NW, constituyendo las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región. Estas estructuras afectan indistintamente a todas las litologías presentes y son, a su vez, los límites principales de los bloques morfotectónicos. Su origen

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

se considera asociado a los procesos de colisión y obducción del arco volcánico cretácico sobre el margen de Bahamas. Las principales estructuras de este sistema son:

Falla Los Indios: se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, atravesando hacia el norte la Bahía de Cananova y reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

Falla Cayo Guam: su dirección es N15°W y se extiende desde la parte alta del río Cayo Guam hasta Punta Yagrumaje, al igual que la falla Los Indios esta aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

Falla Cabaña: se extiende desde el extremo centro occidental del área, al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande. En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña.

Falla Moa: la falla Moa es la estructura de mayor extensión dentro del territorio, y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W. Hacia su parte septentrional, la falla Moa se bifurca en dos tramos.

Falla Quesigua: se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto, un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní.



---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Falla Miraflores: se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E.

Falla Maquey: limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, asumiendo un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

El tercer sistema está constituido por dos fallas de deslizamiento por el rumbo - Strike-Slip determinadas durante las recientes investigaciones y que no habían sido reportadas con anterioridad, las cuales se denominaron Cananova y El Medio (Rodríguez-Infante, 1995). Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos, no presentan similitud con las fallas antes descritas.

Falla Cananova: presenta rumbo predominante N53°W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta.

Falla El Medio: con un rumbo aproximado de N40°E. Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo. (Rodríguez-Infante, 1995).

El cuarto 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 tributarios como el arroyo La Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado al oeste del Cerro Miraflores y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes, (ver Figura 5). (Vinardell, R., 2018).

La falla Oriente (de primer orden) aparece en el borde sur de Oriente, con carácter rumbo-deslizante (transformante) y constituye el límite entre las placas de Norteamérica y

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

del Caribe, por lo que representa el mayor peligro para la región oriental de Cuba, incluyendo el área de estudio. En ella se señalan 22 reportes de terremotos fuertes (Intensidad  $\geq 7.0$  MSK-EMS) de un total de 28 que se han producido en toda la historia sísmica de nuestro país. Dos de estos eventos alcanzaron intensidad de IX ,MSK-EMS en la ciudad de Santiago de Cuba y considerables afectaciones en toda la región (Chuy 2000).

Los estudios realizados indican que en ella pueden generarse sismos de hasta magnitud 8.0.

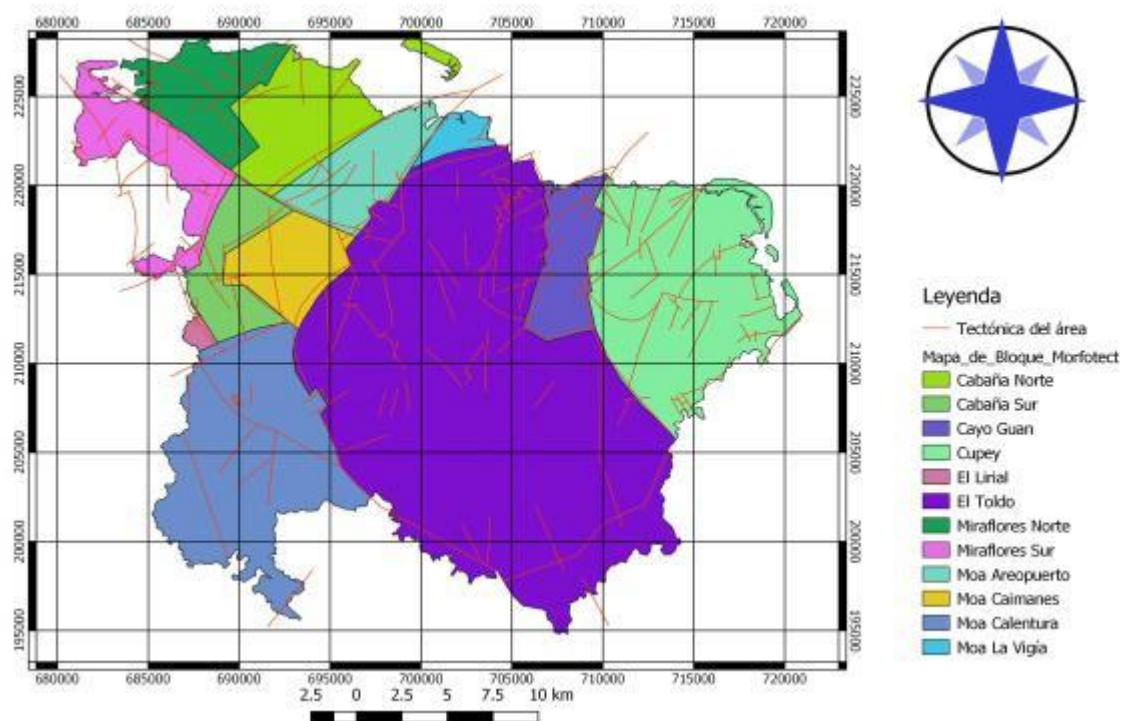


Figura 5. Mapa morfo-tectónico del municipio de Moa. (Arango, et .al, 2017) a escala 1:200 000.

La falla Norte de la Española es una falla inversa activa en la cual la placa de Norteamérica penetra por debajo de las microplacas que conforman a la isla de La Española con una velocidad promedio anual aproximada de 20 mm/año (Mann, 1995). A partir del análisis de la información tectónica y sísmológica de la región de Moa, al noreste de la región de estudio,( Arango, et .al ,2017), llegaron a la conclusión de que al norte de la región oriental



---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

de Cuba, específicamente al este de la Bahía de Nipe, a pocos kilómetros de la costa, se evidencia la existencia de la continuidad de la falla Norte de la Española (ver Figura 6) y no la denominada por estudios anteriores como falla Sabana o Norte Cubana.

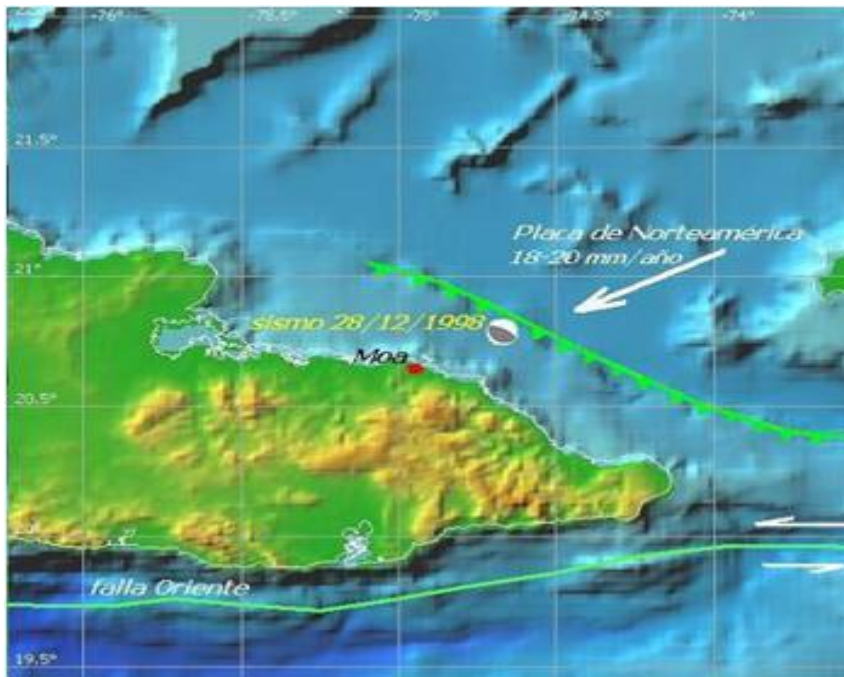


Figura 6. Posible trazado de la falla Norte de la Española por la porción noreste del extremo oriental de Cuba (Arango, et. al, 2017)

Su ubicación en esta posición permite dar una explicación consecuente con las características geodinámicas regionales a la ocurrencia de terremotos al norte de la región de estudio, como por ejemplo la serie de terremotos del 28 de diciembre de 1998(Arango, et. al ,2017).

Las características descritas anteriormente permiten suponer una génesis asociada a procesos de descompresión o expansión de bloques, al disminuir las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales y permite además afirmar que el territorio de Moa es tectónicamente activo. (Ver figura 7).

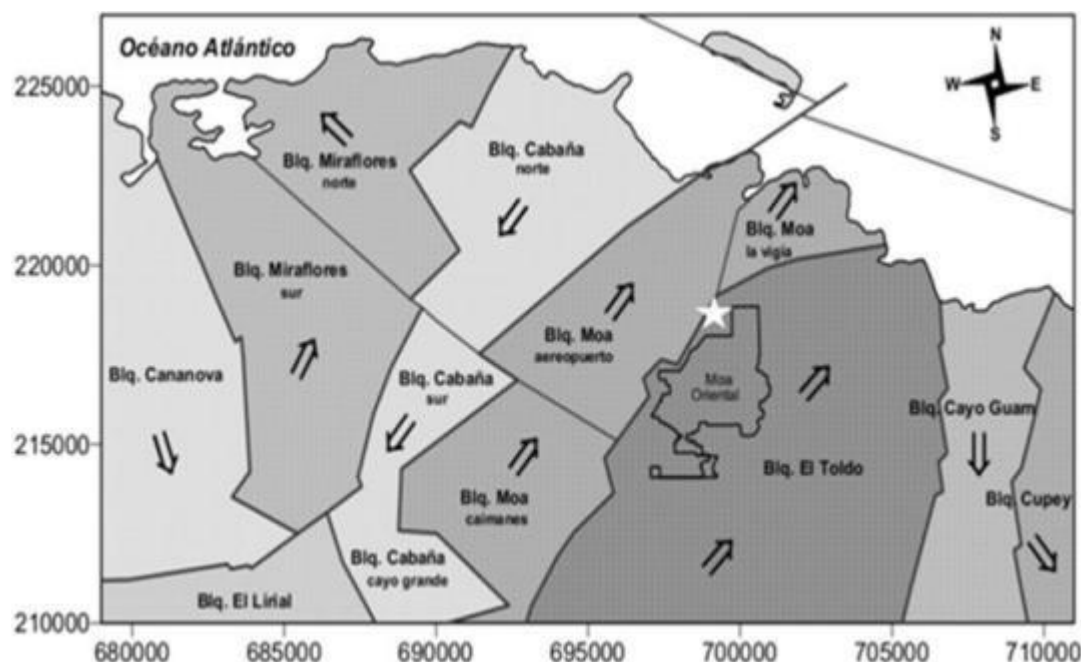


Figura 7. Mapa tectónico de Moa escala original 1: 50 000. Tomado de Rodríguez 1998. Generalidades sobre los sismos – fuentes sísmicas.

### 1.2.5 Sismicidad

La mayor parte de todos los sismos terrestres, y todos aquellos capaces de producir daños notables, son generados por rupturas relacionadas con el régimen presente de esfuerzos tectónicos, es decir, tienen un origen tectónico. Conociendo el estado actual de esfuerzos en una región – a partir de estudios de neotectónica, mediciones geodésicas, e información sismológica – se pueden hacer inferencias acerca de la orientación y el estilo de ruptura de las fallas. Estas características de las fallas revisten importancia en el momento de considerar el peligro en un sitio. Cuando el comportamiento de una falla es bien conocido (está —bien caracterizado) y su actividad es significativa, se la puede considerar una fuente sismogénica por sí sola en el estudio de peligro sísmico.

La sismicidad en la región de Moa comenzó a manifestarse de manera significativa a partir del 28 de diciembre de 1998 con un sismo de magnitud 5.4 en la escala de Richter, con una intensidad de VI grados MSK en Moa y áreas aledañas que produjo agrietamientos de

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

paredes en viviendas de mampostería y edificios multifamiliares, siendo sentido por toda la población como una sacudida fuerte del terreno. Desde el 28 de diciembre de 1998 hasta diciembre de 1999 se registraron 24 eventos perceptibles y un total de más de 1200 réplicas. (Arango, 2017).

Entre la serie de diciembre del 1998 y Julio del 1999 se registraron 1777 sismos, de ellos 37 perceptibles por la población de Moa. Lo anterior, demuestra la presencia de un proceso tectónico significativo relacionado con la dinámica de la corteza y el basamento en los primeros 30 Km de profundidad, teniendo en cuenta la energía liberada, la profundidad y la amplitud de la zona de ruptura, determinadas por las características del terremoto principal y las réplicas, siendo esta la serie de terremotos más energética ocurrida en Cuba después de la serie de terremotos de Cabo Cruz de 19928. (Arango, 2017).

Como antecedente a este sismo, en el período de registro sísmico instrumental se tiene el registro del terremoto ocurrido el 20 de marzo de 1992 con una magnitud de 4.3 en la escala de Richter y una intensidad de VI en la escala MSK a 15 Km de la costa al este de la ciudad de Moa, en los 20° 48' de Latitud Norte y los 74° 48' de longitud oeste, frente a la localidad de Cupey, a una profundidad de 5 km. El mismo produjo agrietamientos de paredes en escuelas y edificios de viviendas de esta ciudad; siendo perceptible en toda la provincia Guantánamo y algunos municipios de las provincias de Holguín, Santiago de Cuba y Granma. Este es el primer terremoto de estas características que se registra en las cercanías de Moa.

La magnitud máxima de los sismos que pueden generarse en esta falla está en el orden de los 7,5 a 8.0 de magnitud Richter teniendo en cuenta la velocidad de choque de la placa de Norteamérica y el proceso tectónico predominante. En el norte de La Española esta misma zona de fallas ha generado sismos de magnitudes máximas de 7.5 a 8.1 Richter (Mann, 2002).

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

En la Figura 8 se muestra un mapa con los epicentros de los terremotos registrados por más de 3 estaciones en la región de Moa desde 1965 hasta la actualidad, clasificados por rangos de magnitudes.

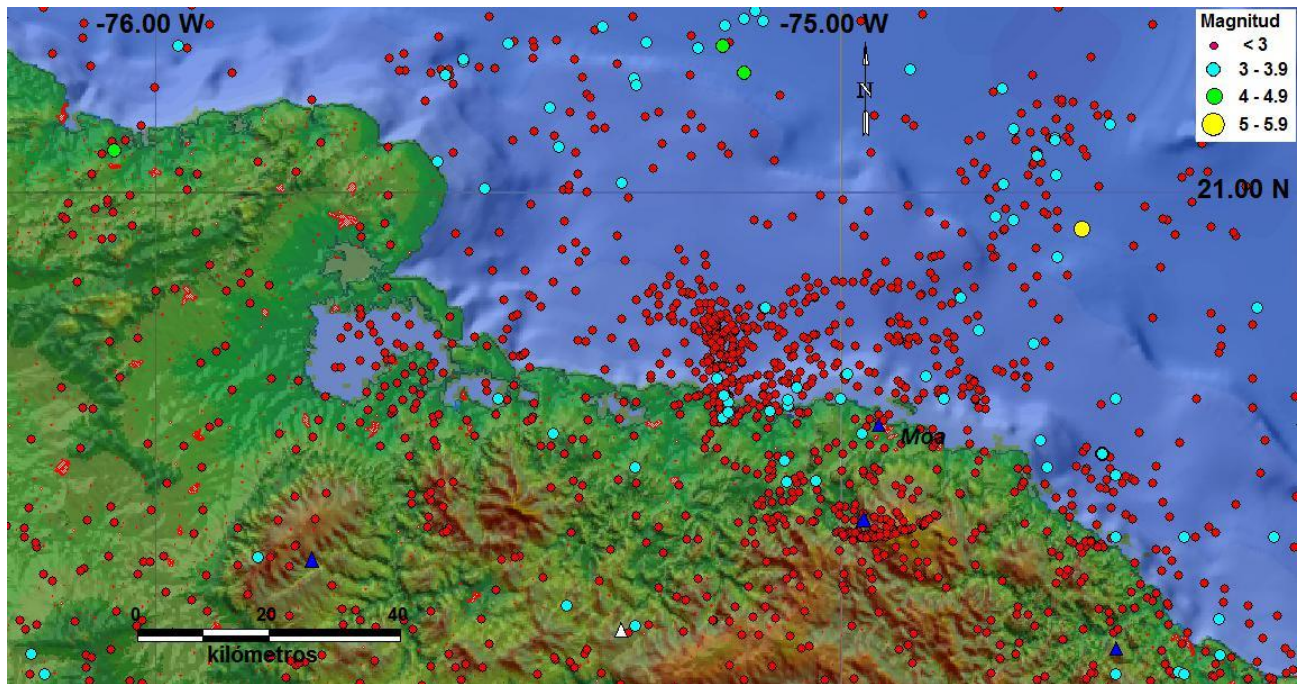


Figura 8. Sismicidad registrada por más de 3 estaciones desde 1965 hasta la actualidad en la región de Moa. Se representan con triángulos azules las estaciones sismológicas situadas en esta región. (Arango, et. al, 2017)

La Figura 9 muestra el resultado del análisis de la imagen de satélite ASTER y el Modelo Digital del Terreno (MDT) realizado por Arango, et .al, 2017, a través del cual se obtuvo varias direcciones de lineamientos que pueden representar fracturas y/o segmentos de fallas que dan una explicación mucho más coherente con la sismicidad que se registra en este territorio. Se destacan direcciones de alineamientos característicos para cada zona, que corresponden con los elementos estructurales y tectónicos principales. A esta imagen se le ha superpuesto un mapa con los epicentros de los terremotos registrados por más de 3 estaciones en la región de Moa desde 1965 hasta 2016, se observa una buena correspondencia entre ambos. Este mapa de fracturas y fallas explica las características tectónicas relacionadas con la liberación de energía en la actualidad. (Mann, 2002).



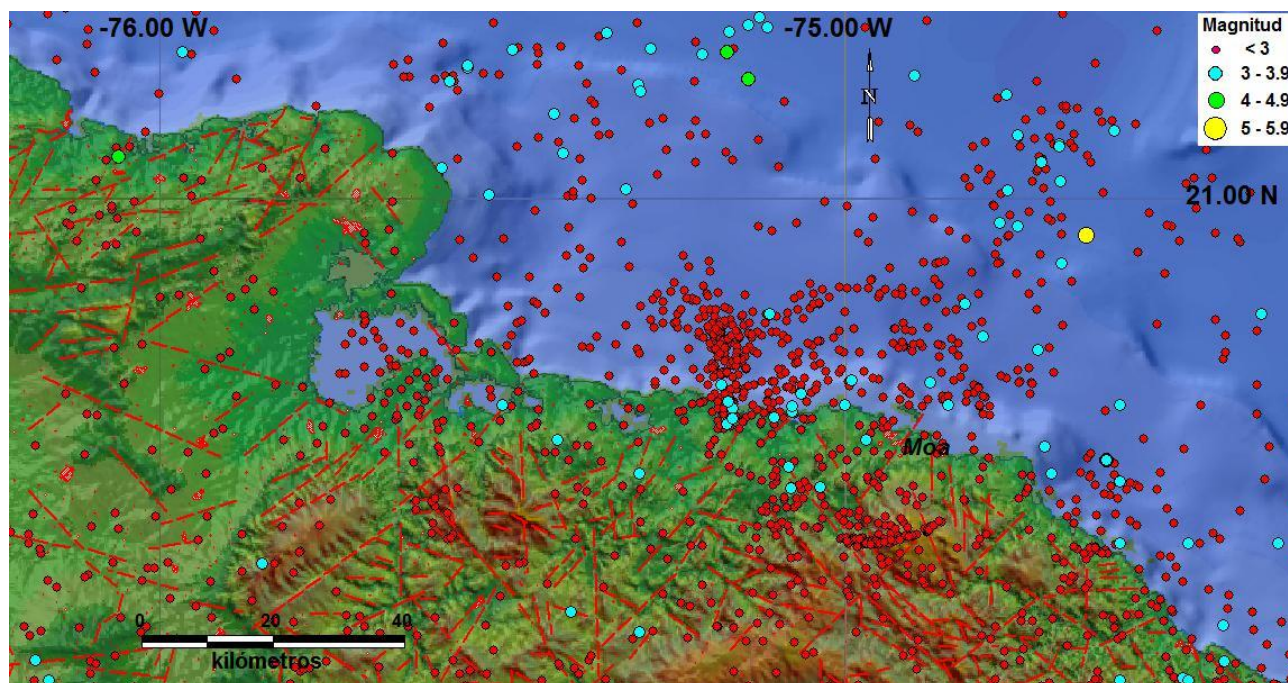


Figura 9. Lineamientos trazados a partir de la imagen ASTER con el modelo digital del terreno en el territorio emergido y los epicentros de los terremotos de magnitud mayor a 3. Arango et. al. 2017

Teniendo en cuenta las características geodinámicas de la región de estudio se puede considerar que desde el punto de vista sismotectónico el mecanismo de infracorrimiento a través de la falla Norte de La Española provocó, inicialmente, la ocurrencia de la serie de terremotos de diciembre de 1998 al 1999 al NE de Moa y posteriormente esta deformación se trasladó al territorio emergido provocando la ocurrencia de la serie de terremotos iniciada en julio de 1999 al oeste de Moa. (Mann, 2002).

El modelo sismotectónico (ver Figura 10) confirma que en la falla Norte de la Española pueden ocurrir los sismos de mayor magnitud en la región de estudio y dadas sus características, de ser una falla cuyo plano de buzamiento se inclina hacia el territorio que ocupa el extremo nororiental de Cuba, los sismos pueden estar situados tanto en la parte marina como terrestre y los hipocentros estar situados a diferentes profundidades. Los mayores esfuerzos que se ejercen en toda la región están vinculados a esta falla, los mismos se reflejan en la acumulación y liberación de tensiones de manera lenta, con

*Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

movimientos verticales y horizontales, registrados en las mediciones geodésicas. La acumulación y liberación de tensiones de manera rápida se expresan por medio de la ocurrencia de pequeños o moderados sismos.

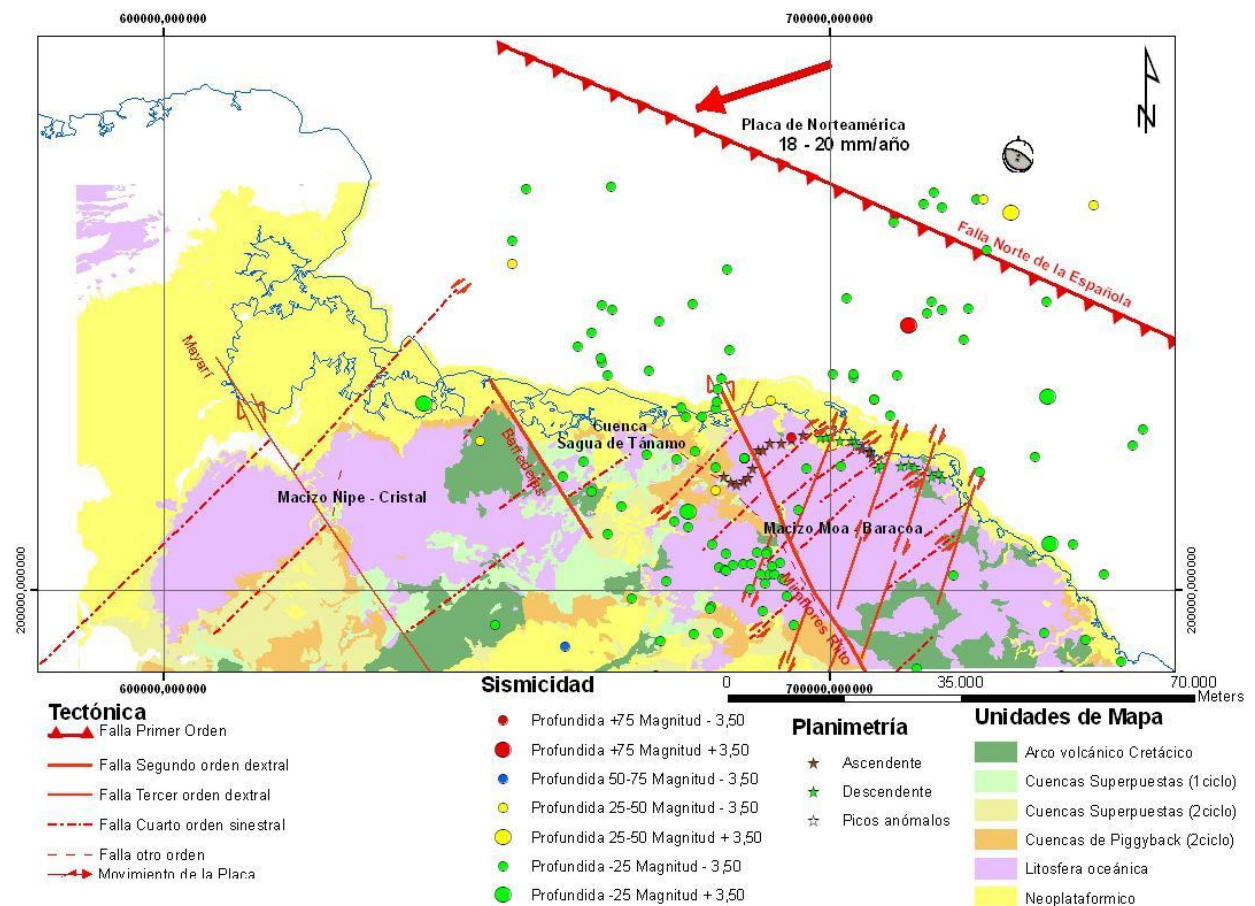


Figura 10. Modelo sismotectónico. (Arango et. al, 2017).

La parte oeste de Moa, situada desde las inmediaciones de Yaguaneque y Cananova, hasta el suroeste, en la Sierra del Maquey es el área donde se manifiesta con mayor intensidad la dinámica de la corteza en el territorio estudiado (Arango, et. al, 2017) citado de (Vinardell, R., 2018).

La zona de debilidad tectónica principal coincide con el trazado en superficie de la falla denominada Miraflores – Riito, que es la principal zona de fallas en el territorio emergido en

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

el sector de Moa. Asociada a la misma existe un patrón de fallas activas llamadas de plumaje que cortan toda la región de Moa con diferentes sentidos de desplazamientos y diferente orden jerárquico.

La información tectónica y sismológica de la región de estudio analizada por especialistas del CENAIIS (Arango, 2017) válida la existencia al norte del extremo oriental de Cuba de una zona de origen de terremotos de 1er orden que es la prolongación hacia el noroeste de la falla Norte de la Española.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.**

### **2.1 Introducción**

En el presente capítulo, se exponen los métodos empleados en el caso particular del Reparto Miraflores, municipio de Moa; con el fin de evaluar la respuesta local del mismo y su relación con las condiciones ingeniero geológicas de forma tal que se pueda microzonificar el potencial de licuefacción en dicho sector.

Para facilitar el trabajo, este se dividió en tres etapas, cada una con sus propias características, pero todas con la misma importancia como se puede observar en el siguiente esquema:

### **2.2 Búsqueda de información**

### **2.3 Metodología para microzonificación sísmica**

### **2.4 Procesamiento de la información**

#### **Metodología de la Investigación**





## **2.2 Búsqueda de información**

En esta etapa se realiza una búsqueda bibliográfica mediante la revisión de una serie de artículos científicos, trabajos de diploma, tesis de maestría, doctorados, informes ingeniero geológicos de obras ingenieriles ubicados en los archivos de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de la provincia de Holguín, además de revisar artículos de internet, libros y todo tipo de documento sobre el tema a desarrollar. Se elaboró el diseño de la investigación definiendo el problema y la metodología a emplear para solucionarlo, se concibió el marco teórico conceptual y el estado del arte del tema en cuestión. En un segundo momento se analizaron las metodologías utilizadas para la microzonificación sísmica derivada de la información revisada, determinando un sistema de indicadores que responde al objetivo de la investigación. Luego la validación del procedimiento propuesto y la confección de un mapa que ilustre la microzonificación sísmica local del Reparto Miraflores, municipio de Moa.

## **2.3 Metodología para la respuesta sísmica local**

En la actualidad es ampliamente conocido que las condiciones locales de sitio son uno de los principales factores responsables de los daños sufridos por las edificaciones durante la ocurrencia de sismos severos. La amplificación sísmica es un efecto de las condiciones locales del sitio y es fuertemente dependiente de las condiciones sísmicas, geológicas, geomorfológicas y geotectónicas de las zonas de estudio. Un estudio completo del efecto de sitio requiere considerar todos los aspectos además de las características de la señal sísmica (composición, dirección de la radiación incidente etc.). Sin embargo, dada la complejidad del fenómeno, en muchas ocasiones los estudios se realizan asumiendo simplificaciones y considerando solamente alguno de los aspectos anteriormente mencionados. Los aspectos más significativos a estudiar en los estudios de microzonación son los siguientes: Propiedades geotécnicas de los suelos, espesor, densidad, velocidad de ondas transversales, módulo de rigidez, resistencia, SPT, CPT, profundidad del nivel freático, etc. Susceptibilidad frente a la licuefacción, deslizamiento y roturas superficiales por fallas condiciones topográficas que puedan amplificar la respuesta sísmica. La estimación

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

de los efectos de amplificación debido a las condiciones ingeniero geológicas (litológicas), utiliza generalmente varios métodos tanto empíricos, como de modelización numérica (en casos en los que se conoce con gran detalle los comportamientos dinámicos, el espesor de los suelos y la profundidad de la roca dura, además del espectro inicial).

Antes de la aplicación de los efectos de la amplificación a los estudios empíricos y de modelización numérica de los efectos del suelo en las señales sísmicas, es necesario la realización de una clasificación o agrupación de los materiales geológicos superficiales en categorías de respuesta sísmica similar.

Las metodologías empleadas en la actualidad para la realización de la microzonificación sísmica, dependen de las condiciones del área de estudio y responden a los intereses de cada investigación (Vinardell, R., 2018).

**Zonificación Sísmica Geotectónica Distrito Santa María, Lima:** plantean que; realizar estudios de microzonificación sísmica es una de las herramientas más importantes para minimizar los daños producidos por sismos, teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmica varía considerablemente a distancias muy cortas y en áreas pequeñas. Esto ha llevado a pensar que el factor esencial para la evaluación del daño en las estructuras son las condiciones locales del suelo; es decir efectos de sitio en áreas urbanas, zonas de expansión urbanas, complejos industriales y otros.

Entre las técnicas para realizar una aproximación de los efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad se encuentra:

- La razón espectral de registro de sismos fuertes (obtiene de forma simultánea registros de una estación ubicada sobre suelo blando), y otra de referencia, ubicada en suelo firme, asumiendo a esta última libre de efecto de sitio.
- La dificultad se presenta en que obtener un registro de sismo fuerte implica la prolongación del tiempo de espera para la evaluación.

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Algunos sismólogos plantean que la zonificación puede realizarse mediante métodos directos e indirectos:

- ✓ Los métodos directos consisten en el registro mediante una red de sismógrafos de los terremotos producidos en un área; hay que tener en cuenta factores de amplificación local y asignar un área de influencia a cada estación. El problema de estos métodos es que son caros y normalmente no se registra un terremoto destructivo, con la cual no se conocerá la respuesta del terreno a un evento fuerte.
- ✓ Los métodos indirectos se basan en la modelización de los factores que intervienen en la peligrosidad sísmica. Los datos se extraen de ensayos in situ o en laboratorio sobre las características dinámicas del suelo. Estos datos pueden también ser extraídos del comportamiento del suelo en zonas donde se han producido terremotos de gran magnitud. (Zonificación Sísmica -Geotécnica del Distrito Santa María, Lima, en Perú) citado de (Contreras, O., 2017).

### **2.3.1 Clasificación de los suelos**

Con el objeto de dividir los suelos en grupos con propiedades geotécnicas similares, surgen las denominadas clasificaciones de suelos. La clasificación de los suelos consiste en incluir un suelo en un grupo que presenta similares características.

La mayoría de las clasificaciones de suelos utilizan ensayos muy sencillos, para obtener las características del suelo necesarias para poderlo asignar a un determinado grupo. Las propiedades ingenieriles básicas que suelen emplear las distintas clasificaciones son la granulométrica, los Límites de Atterberg, el contenido de materia orgánica, etc.

### **2.3.2 Potencial de licuefacción**

Esta primera fase consiste en una evaluación preliminar de las condiciones ingeniero geológicas, a partir de los datos que ofrecen los ensayos de campo, laboratorio o informes ingenieros geológicos realizados.

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Los estudios que se han realizado durante sismos de mediana y alta magnitud han proporcionado importante información para la evaluación del potencial de licuación de suelos; las investigaciones posteriores a la ocurrencia de estos sismos, han revelado donde la licuación se ha dado. Los cortes en depósitos aluviales revelan la ocurrencia de licuación cuando se encuentran ductos por donde ascendió la arena licuada a la superficie; el análisis de la granulometría de la arena del ducto en relación con la del medio revela características típicas de arena licuable como: uniformidad y ausencia de finos (citado de Vinardell, R., 2018).

Los procesos geológicos que dieron origen al suelo tienen una gran influencia en la susceptibilidad de un suelo a la licuación. Los suelos producto de la sedimentación en ríos y lagos (depósitos fluviales y aluviales), de la deposición de detritos o material erosionado (depósitos coluviales) o depósitos formados por la acción del viento son los más susceptibles. El fenómeno de licuación ocurre solamente en suelos saturados, por tal motivo, la profundidad del nivel freático influye en la susceptibilidad del suelo a colapsar. Conforme disminuye la profundidad de las aguas subterráneas, la susceptibilidad a licuación es menor. En aquellos sitios en donde el nivel freático oscila, la ocurrencia de licuación también fluctúa.

La evaluación del medio geotécnico incluye las valoraciones del perfil del suelo en cuanto a parámetros geotécnicos y hidrológicos como lo son: las propiedades físico – mecánicas del mismo: cohesión (C), ángulo de fricción interna ( $\phi$ ), contenido de humedad ( $w\%$ ) y profundidad de yacencia de las aguas subterráneas, así como también la clasificación del suelo atendiendo a las normas SUCS o AASHTO. Se define el tipo de suelo: arena suelta, suelo cohesivo, índice de compresibilidad.

Seguidamente, con los datos obtenidos de la valoración anterior, se realiza la evaluación del potencial de licuefacción partir de los parámetros que a continuación se exponen:

- Criterios geológicos: los suelos de depósitos fluviales y eólicos, cuando se encuentran saturados tienen una alta probabilidad de ser susceptibles.

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

- Los suelos no cohesivos o granulares generalmente potencian el fenómeno de la licuefacción. Ocurre también en suelos sueltos, saturados, granulares, uniformemente graduados y con bajo contenido de finos. Los suelos no cohesivos con resistencia a la penetración estándar corregido por profundidad  $(N_1)_{60} > 30$ , se consideran de densidad suficiente y no presenta riesgo de licuarse (citado de Vinardell, R., 2018) .

Para suelos con presencia de finos se puede asumir los criterios que se muestran a continuación:

- A. La fracción de arcilla (finos menores de 0,005mm)  $\leq 15\%$
- B. Límite líquido,  $LL \leq 35\%$
- C. Contenido de humedad natural,  $w \geq 0,9 LL$
- D. Índice de liquidez,  $LI \leq 0,75$

### **Condición de un suelo para que ocurra la licuefacción:**

Para que ocurra el fenómeno de licuefacción de los suelos, particularmente, en aquellos suelos de grano fino, deben cumplir con ciertas condiciones granulométrica propuesta por Wang en el año 1979. Las mismas son:

- Porcentaje de finos de 0,005 mm  $< 15\%$ .
- Límite líquido,  $LL < 35\%$ .
- Natural contenido de agua  $> 0,9 W_n$ .
- Índice de liquidez  $< 0,75$ .
- Forma de las partículas redondeadas.

Por otra parte, Seed and Idriss (1982) consideran que un suelo puede licuar si:

- El porcentaje en peso de partículas  $< 0,005$  mm es menor del 15%.
- Humedad natural/ Límite líquido  $w/LL > 0,9$ .

A este criterio se le conoce como el criterio chino.

De igual manera, se señalan otros factores que influyen en que la susceptibilidad del suelo a la licuefacción aumente, entre estos la presión de confinamiento, la densidad relativa, y el esfuerzo cortante inicial, planteamiento corroborados por (Castro, 1969) y (Semillas, 1988).

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Según el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS), arenas clasificadas como CL-ML, SM-SC, o GM-GC son potencialmente licuables (Youd, 2001). Por otra parte, (Wang, 1979) considera que si un material granular tiene menos del 15 % de finos (arcillosos) y el límite líquido (LL) es mayor que 35% y el contenido natural de agua es menor de 90 %, estos materiales también se consideran no licuables.

(Vallejo, 2002) planteo: Otras de las condiciones necesarias para que tenga lugar este modo de comportamiento del suelo son que el nivel freático esté alto, cerca de superficie, que el grado de compactación sea bajo, equivalentes a valores N de SPT inferior a 20 golpes.

### **2.3.3 Materiales y métodos utilizados**

Durante la realización y análisis de los trabajos realizados se llevaron a cabo varios ensayos físicos utilizados en los laboratorios, que se ponen vigentes en diferentes normas cubanas.

#### **Ensayos físicos utilizados:**

- ✓ 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 2 calas de 5.0m cada una, para un total de 10.0m con una máquina Stratadrell, de fabricación inglesa empleando la percusión y rotación con diámetro de 89 o 73mm; como métodos de penetración y presión hidráulicas 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

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

calas, por el método de no equilibrio (express). 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 (ENIA).

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

Se excavaron dos calas de forma mecanizada, para la realización de estos trabajos se aplicó la siguiente norma:

NC 14:1998.Geotécnia.Método de conservación transportación de muestras de suelo y roca, por lo que se tomaron muestras semienterradas en pomos parafinadas en sacos de nylon.

Se realizaron ensayos físicos y mecánicos de los suelos por las que se rigieron por las especificaciones de las normas siguientes:

NC 19:1999.Geotécnia. Determinación del peso específico de los suelos.

NC 20:2000. Geotécnia. Determinación de la granulometría.

NC 58:1999.Geotécnia. Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

NC 67:2000.Geotécnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio.

NC 10:1998. Geotécnia. Preparación de las muestras del suelo.

NC 14:1998.Geotécnia.Método de conservación y transportación de muestras de suelos y rocas.

Lo cierto es que muchas son las técnicas y metodologías empleadas en la actualidad para el estudio de microzonificación sísmica, pero hay determinados parámetros que son esenciales a la hora de llevar a cabo un estudio de este tipo. Teniendo en cuenta estas premisas se ha elaborado un sistema de indicadores que permita evaluar la peligrosidad sísmica y la respuesta local del subsuelo en el Reparto Miraflores, municipio de Moa de tal

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

manera que a partir de ella se obtengan los parámetros específicos que debe cumplir el diseño estructural ante un sismo.

Después de una detallada revisión de la bibliografía consultada se decidió conjugar los factores y criterios más empleados para realizar la microzonación a partir de métodos indirectos, resultando en el siguiente sistema de indicadores:

### **Geología**

Desde el punto de vista geológico se evaluará la edad del área de estudio, se identificarán las principales características geológicas del suelo y se determinará aquellos que poseen mayor susceptibilidad litológica y representan mayores riesgos ante fenómenos como la licuefacción, el cual provoca daños irreversibles a las edificaciones y está identificado dentro de los efectos indirectos del sitio. Para determinar dichas zonas utilizaremos un mapa geológico y seleccionaremos aquellas áreas que sean más susceptibles o que presenten riesgos ante un sismo resistente.

### **Sismicidad**

Se analiza la cercanía con una zona sísmica generadora capaz de generar sismos fuertes o magnitud mayor de 5,5 y las aceleraciones de las partículas lleguen a ser iguales o superior 0,2g/cm<sup>2</sup>. En este caso evidenciar en un mapa las fallas presentes en el municipio, las zonas con mayor peligro sísmico y susceptible a la licuación.

### **Geomorfología**

En tal sentido se evalúan las principales formas del relieve presentes en el área de estudio ya que existen algunas, dado el caso, que pueden amplificar la señal sísmica, siendo así para la corona de los taludes, laderas y morfologías con determinada pendiente, suelos residuales de poca potencia y mayor densidad, en algunos casos deluviales, rocosos, semioccosos, con profundidad no mayor de los 5m, en casos aislados de tipo relleno, lo que puede amplificar y alargar las ondas de los sismos, los que los hace más intensos y los vuelve más peligrosos. Con este propósito se utilizó el Mapa Digital del Terreno donde se evidencian las zonas más elevadas y los rasgos de la geomorfología que pueden modificar la señal sísmica.



### **Profundidad del nivel freático**

Es importante evaluar también la profundidad del nivel freático, dado que, cuando este se encuentra cercano a la superficie implica la saturación de las rocas, en este caso no se cortó el nivel en ninguna de las áreas estudiadas, pues la profundidad de las calas no pasa de los 5m.

### **Condiciones ingeniero-geológicas**

La caracterización ingeniero-geológica propuesta se realizó tomando como base la información de trabajos geotécnicos procedente especialmente de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de la provincia de Holguín, información geotécnica almacenada, en algo más de 50 años. Se utilizaron informes sobre obras ubicadas en el Reparto Miraflores, municipio de Moa. Se determinaron las principales características de los suelos seleccionados lo que nos permitió hacer una buena evaluación del mismo, para el presente estudio son los siguientes:

- ✓ Densidad húmeda.
- ✓ Densidad seca.
- ✓ Límite líquido.
- ✓ Espesor.
- ✓ Saturación.
- ✓ Nspt: número de golpes/ 30 cm
- ✓ Granulometría: (Grava; Arena; Fino)

### **2.3.4 Determinación de la granulometría del suelo**

El análisis granulométrico del suelo permite 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 determinar la distribución de las partículas es posible realizarlo por dos métodos que dependen del tamaño de ellas, el primero por cribado o tamizado con partículas mayores de

0.075mm de diámetro y el segundo por medio de un análisis hidrométrico, para partículas menores de 0.0075mm.

## **2.4 Procesamiento de la información**

En la tercera y última etapa se realizó el procesamiento de la información por medio de programas informáticos tales como Microsoft Word, Microsoft Power Point y Microsoft Excel, permitiendo la comparación de cada uno de los parámetros para luego ser interpretados por medio de tablas y gráficos que forman parte de la memoria escrita. Se consultó con expertos y se analizó la importancia práctica de cada uno de los indicadores propuestos, evaluando la utilidad de los mismos a la hora de decidir los parámetros para la construcción ante un fenómeno de gran magnitud.

### **CAPITULO III.EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA LOCAL DEL SUELO A PARTIR DE LAS CONDICIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS.**

#### **3.1 Introducción**

Luego de culminada la etapa de trabajo de gabinete, ya se puede presentar información actualizada de los lugares visitados durante los distintos itinerarios, es importante tener presente que, gracias a los resultados obtenidos de esta investigación, es posible evaluar la respuesta local del suelo ante un sismo fuerte en áreas del Reparto Miraflores en el sector urbano del municipio Moa.

#### **3.2 Ubicación geográfica**

Ubicado en la parte noroccidental del área teniendo como núcleo el Cerro de Miraflores y las laderas occidentales norte y nororientales del mismo. Se caracteriza por sufrir movimientos pulsantes, con tendencia al desplazamiento norte- noreste con un mayor levantamiento de su parte oriental y que a su vez 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 - anti horario del sub-bloque norte respecto al sur. Al este de este reparto se encuentra el poblado Cabaña, con orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande, y en su porción meridional, en la zona Cayo Grande-Caimanes Abajo, mantiene una dirección noroeste (ver Figura 11).

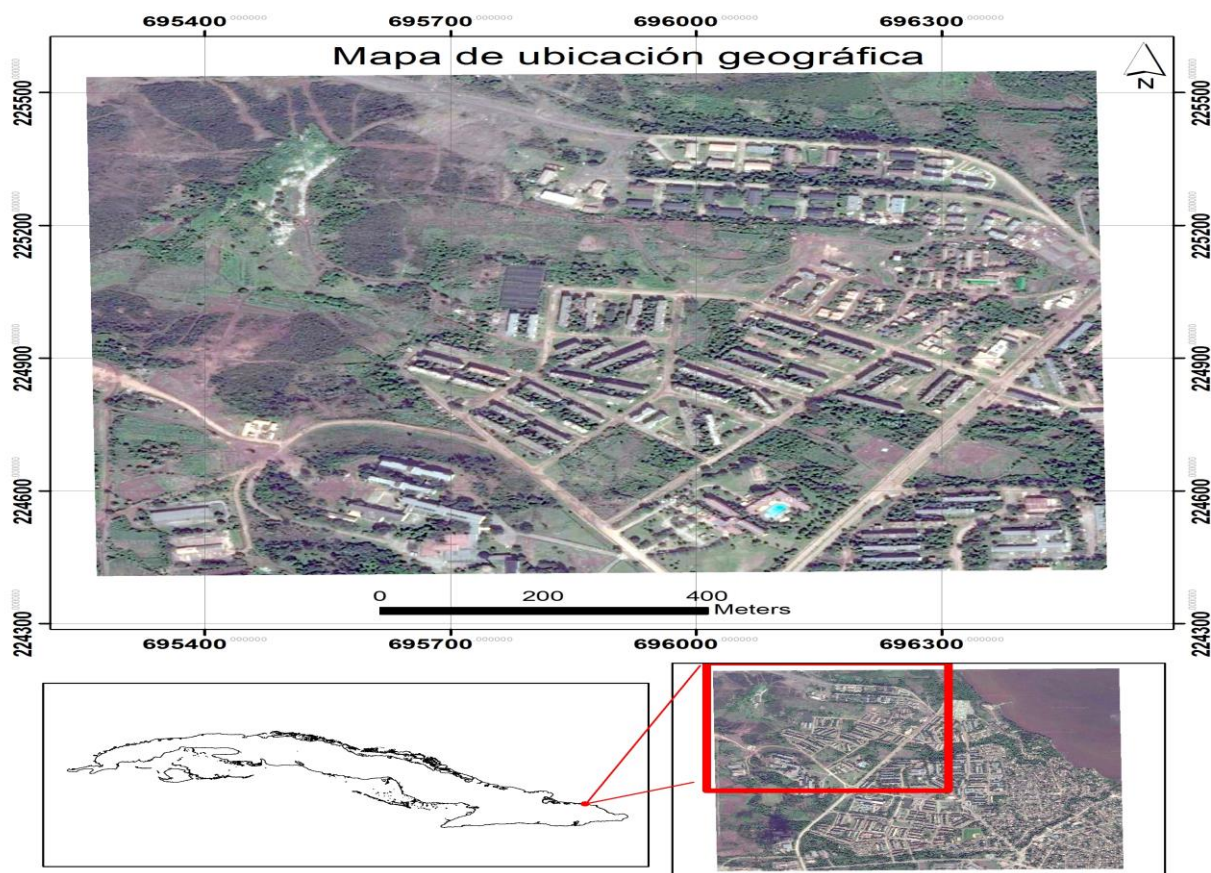


Figura 11. Mapa de ubicación del Reparto Miraflores, municipio Moa. Imagen satelital

### **3.2.1 Características de Reparto Miraflores**

Dicho reparto está constituido por varias construcciones (edificios de cuatro a cinco pisos, o más bien edificios de Gran Panel (de cubierta ligera y pesada), biplantas y triplantas (de tipo Sandino), mampostería (placa), adobe, presenta calles principales (Ismaelillo, Amistad, Banderas, etc.), algunas avenidas (Pedro Agustín Pérez; av. 1ro de enero; av. 7 de diciembre; av. 24 de febrero; av. Flor Crombet; etc.), un Hotel "Islazul Miraflores"; una panadería-dulcería, un consultorio, una farmacia, un parque infantil, una secundaria básica "Carlos Baliño"; una escuela primaria "Julio Antonio Mella"; una empresa "Geocuba"; ya para la parte más alejada del área se encuentra un albergue contingente "Granma" y una bodega "La Mambisa", etc.

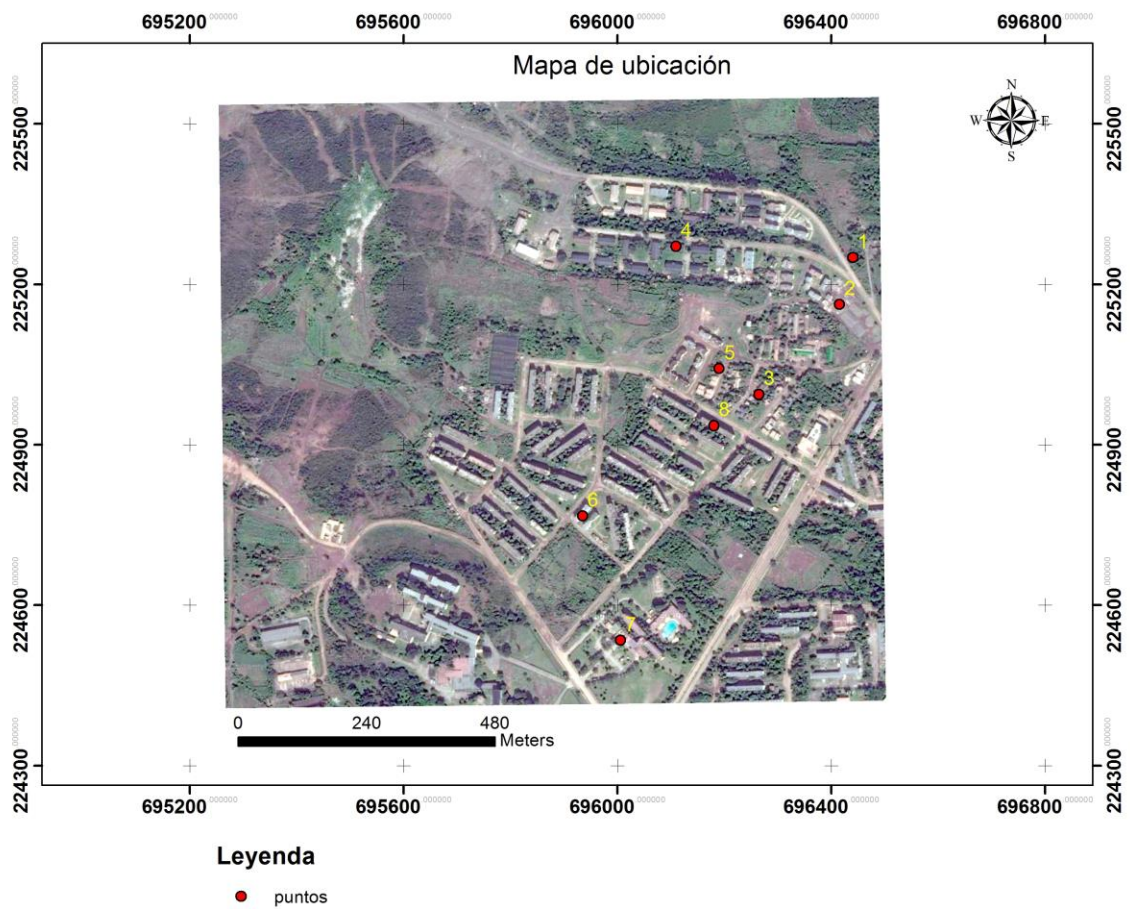


Figura 12. Mapa de puntos estudiados en el Reparto Miraflores, municipio Moa.



### 3.3 Indicadores asociados con los efectos sísmicos en el Reparto Miraflores, municipio Moa.

#### 3.3.1 Geología

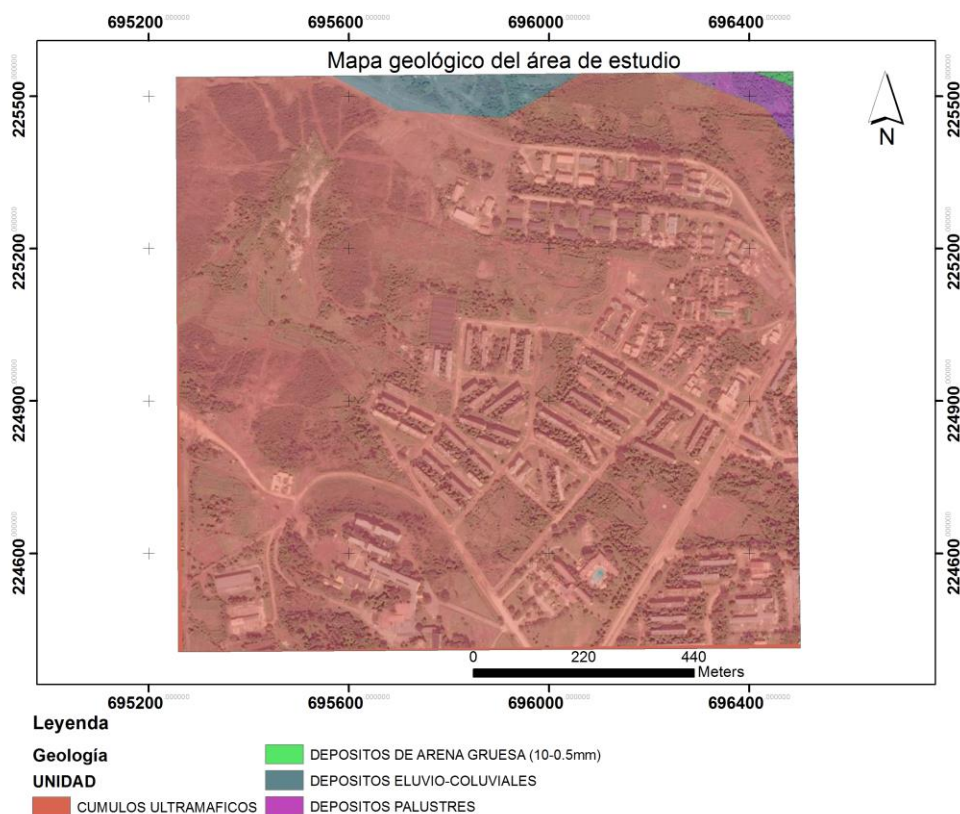


Figura 13. Esquema geológico de los suelos como base para la valoración del efecto de sitio del Reparto Miraflores, municipio Moa.

Como se evidencia en la Figura 13 la geología del área de estudio está representada por grandes cúmulos ultramáficos o más bien por rocas ultrabásicas en toda su amplitud y a su alrededor por depósitos de arenas, palustres o eluviales. El complejo ultramáfico ocupa la mayor porción del área de investigada, ubicadas al este, sur y sur-oeste, donde predomina como roca del basamento la peridotita serpentizada en mayor o menor grado. De acuerdo a estudios anteriores y a las observaciones de campo, las peridotitas presentes son harzburgitas de color azul verdoso oscuro, con contenido variable de piroxenos rómbicos y olivino. 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, 2005).

Se encuentran las serpentinas pertenecientes a la asociación ofiolítica, que limitan al noroeste con los gabros, con poca aflorabilidad en el área de estudio, 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 los 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 areno arcillosas entre otros.

En algunas partes del área, las rocas aparecen cubiertas por sedimentos de origen fluvio marino, específicamente en puntos bajos del relieve, susceptibles a inundarse en tiempo de lluvia. (ENIA)Holguín.

### **3.3.2 Sismicidad**

Según la información del CENAIIS, 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 las características del mismo, dígame densidad, 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 información tectónica y sismológica de la región de estudio analizada por especialistas del CENAIIS, valida la ocurrencia de un sismo registrado en el año 2000 que comparados con los demás sismos ocurridos hasta el 2015 es el de mayor magnitud, de 5.4 en la escala de Richter con una distancia epicentral de 5,0km; por lo

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

que de acuerdo a la NC 46:2017 se registra como una zona probable a la ocurrencia a la licuefacción.

Esto se puede ver en nuestro país como La falla Norte de la Española que es una falla inversa activa penetra por debajo de las microplacas que conforman a la isla de La Española por lo que se evidencia la existencia de la continuidad de la misma y no la denominada por estudios anteriores como falla Sabana o Norte Cubana. A continuación se da a conocer la clasificación de los suelos según el tipo de fuente sísmica (ver Tabla 2).

Tabla 2. 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	$M_o < 6,5$	$TC < 2$

De acuerdo a la tabla anterior, según la NC 46-2017, los suelos de este sector se clasifican como fuente de tipo B, se encuentran fallas geológicas que no son ni A ni C, además la magnitud máxima relacionada es mayor que 6 y menor que 7.



### 3.3.3 Geomorfología

El relieve es bastante 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 el mismo, 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. (ENIA ) Holguín.

### 3.3.4 Profundidad del nivel freático

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

Tabla 3. Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas en correspondencia con el tipo de suelo de cada estructura.

Estructuras estudiadas	Profundidad del nivel freático	Tipo de suelo
Edificio 14 zona costa sur	No se cortó ya que la profundidad investigada fue menos que los 5m.	<b>Capa 1:</b> suelo limoso arenoso, suelto o deleznable con presencia de gravas subangulares de serpentina de 2 a 3m. <b>Capa 2:</b> serpentina poco meteorizada
Viviendas construidas en terraplenes	No se cortó	Suelo laterítico de composición areno limosa y algo húmedo, bien compactado.
Viviendas La Veguita	No se cortó	Suelo laterítico, clasifica como (Limo plástico con arena: MH).
Viviendas checas	No se cortó	Serpentinita muy meteorizada, agrietada y fracturada. <b>Capa 1:</b> capa vegetal con potencia de 2 a 5 m. <b>Capa 2:</b> relleno compuesto por fragmentos de serpentina de diversos diámetros en matriz laterítica, limosa plástica. El suelo esta semicompactado. (Grava limosa con arena: GM).
4 edificios triplantas	No se cortó	<b>Capa 1:</b> suelo limoso desde plástico hasta arenoso, en parte con perdigones de hierro (Limo plástico con arena). <b>Capa 2:</b> serpentinita muy meteorizada y agrietada, de resistencia baja a media.

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Viviendas médicas	No se cortó	<p><b>Capa 1:</b> suelo laterítico areno limoso con perdigones de hierro, en ocasiones abundantes.</p> <p><b>Capa 2:</b> serpentinita muy meteorizada, agrietada, por lo que se recupera en fragmentos. Cobertura laterítica compuesta por arcillas, arcillas limosas, arenosas, arcillas limo arenosas y gravas.</p>
Hotel Miraflores	No se cortó	<p><b>Capa 1:</b> suelo laterítico, limo arcilloso mezclado con arena, de densidad media, de consistencia sólida y saturada</p> <p><b>Capa 2:</b> suelo serpentinitico, arena gravosa mezclada con limo, de densidad baja, saturada.</p> <p><b>Capa 3:</b> roca serpentinitica muy fracturada y fragmentada, de densidad y dureza baja.</p> <p><b>Capa 4:</b> suelo arenoso con granos gruesos y medios, con algo de limo, de densidad media.</p> <p><b>Capa 5:</b> suelo laterítico, arcilla mezclada con arena, densidad media, resistencia relativa, sólida y saturada.</p> <p><b>Capa 6:</b> suelo serpentinitico mezclada con arena, de densidad media, sólida y saturada.</p>
72 Viviendas(edificios de Gran Panel)	No se cortó	<p><b>Capa 1:</b> suelo laterítico compuesto por arena limosa con escasa grava (perdigones de hierro y fragmentos de serpentina) (Arena limosa: SM).</p> <p><b>Capa 2:</b> suelo laterítico compuesto por limo plástico con arena, con perdigones de hierro, húmedo, poco compacto (Limo plástico con arena: MH)</p> <p><b>Capa3:</b> roca serpentinitica muy meteorizada, agrietada.</p>

### 3.3.5 Condiciones ingeniero-geológicas

De acuerdo con los estudios realizados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de la provincia Holguín, en el Reparto Miraflores, municipio Moa, para realizar obras constructivas se dieron como resultado los principales tipos de suelos que se encuentran en el área. Se identificaron varios tipos de suelo a partir de la información de las

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

calas realizadas. En la mayoría varias capas fueron clasificadas como:

SC: arena arcillosa

GM: grava limosa con arena

MH: limo plástico con arena

SM: arena limosa

El reparto en toda su amplitud 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 a 3cm, 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 los mismos 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 obtenemos su posible comportamiento sísmico (véase Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de los suelos según su comportamiento sísmico. NC 46-2017.

Perfil tipo	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s > 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de cualquier espesor	$760 \text{ m/s} < V_s \leq 1500 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda de cualquier espesor que cumpla con el criterio de velocidad de la onda cortante	$360 \text{ m/s} < V_s \leq 760 \text{ m/s}$

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda de cualquier espesor que cumpla con cualquiera de los dos criterios	$N > 50$ 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	$180 \text{ m/s} \leq V_s \leq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos de cualquier espesor que cumpla con cualquiera de los dos criterios	$15 \text{ m/s} \leq N \leq 50$ 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	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3m de arcillas blandas.	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 25 \text{ kPa}$
F	<p>Los perfiles del suelo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotécnico. se contemplan las siguientes subclases:</p> <p>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.</p> <p>F2: Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H mayor de 3m para turba, arcillas orgánicas y muy orgánicas.</p> <p>F3: acillas de muy alta plasticidad (H mayor que 7,5m con índice de plasticidad IP mayor que 75).</p> <p>F4: perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H mayor que 36).</p>	

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Según la evaluación realizada explícitamente, y lo expuesto anteriormente en la tabla 4, 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 a 5 m.

De acuerdo a 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 metro y los 5 metros.

Definido ya los suelos del Reparto Miraflores, de forma general según su comportamiento sísmico, podemos estimar la variación de la intensidad tomando al granito como patrón referido así en la Tabla 5.

Tabla 5. Método de categorías por perfiles geológicos típicos (Popov 1959) descrito por Zapata (1997). Resumen con la descripción de algunos perfiles.

Corte típico	Descripción	Variación de intensidad	Granito como patrón
1	Formaciones rocosas y semirocosos, macizos cristalinos formando capas potentes compactas, no intemperizadas y no agrietadas, estructuras magmáticas cristalinas densas, formaciones sedimentarias de capas gruesas, metamórficas.	Disminuye 1 o 2	0
2	Formaciones constituidas por capas menos compactas de rocas y semirocas de gran potencia con yacencia normal o ligeramente plegadas, sin dislocaciones disyuntivas, no intemperizadas y no	Disminuye 1	0,7–1,1

*Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

	agrietadas.		
3	Estratos potentes (no menos de 10 m) de suelo arcilloso seco con yacencia normal o plegada.	No varia	1.2 a 1.6
4	Estratos potentes (no menos de 10 m) de suelos densos granulares y compactos secos.	No varia	1.2 a 1.8
5	Capas de suelos rocosos y semirocosos de escasa potencia (entre 1 y 2 m) que alternan con capas finas de sedimentos friables.	No varía o aumenta 1 en capas estratificadas	1.0 a 2.0
6	Capas alternas de suelos rocosos y semirocosos con espesor inferior a 1 m, homogéneos, formando capas no muy potentes (entre 5 y 10 m). También suelos con variaciones faciales bruscas	No varía o aumenta 1 en capas estratificada	1.0 a 2.0
7	Suelos friables de potencia considerable inundados con nivel freático mayor a 5 m.	No varía o aumenta 1 en capas húmedas	2.0 a 2.5
8	Suelos friables de potencia considerable inundados con niveles freáticos menores que 5m o casi en la misma superficie (entre 1 y 3 m)	Aumenta en 1	1.6 a 2.4
9	Suelos friables de menor potencia (entre 5 y 10m) inundados casi hasta la superficie (entre 1 y 3 m).	Aumenta de 1 a 2	1.6 a 2.0
10	Sedimentos eluviales, rocosos, semirocosos y arcillosos, semirocosos en estado seco e inundados,	Aumenta de 1 a 2	1,6–2,9

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

	convertidos en fragmentos angulosos. Formaciones friables areno arcillosas.		
11	Suelos friables de escasa potencia (menos de 5m) de capas finas (aluviales y diluviales), yacen sobre la superficie de formaciones compactas, se incluyen los contactos diluviales, aluviales y otros tipos.	Aumenta de 1 a 2	2,3–3,0
12	Suelos arcillosos pantanosos o muy húmedos (lechos de ríos, turberas), inundados de agua hasta la superficie.	Aumenta de 1 a 2	2,3–3,9

Al correlacionar entonces 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 investigada es de tipo 8 y 10, lo que se 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, semirocosos y en parte arcillosos, en estado seco o con presencia de humedad en algunos casos, con fragmentos angulosos o subangulares.

### **3.4 Esquema de la respuesta local del suelo ante la ocurrencia de sismos**

La conjugación de todos estos indicadores da como resultado un esquema de microzonas sísmicas, (ver Figura 14) que muestra los sectores del reparto donde la señal sísmica puede verse amplificada a causa de los indicadores analizados anteriormente. El reparto se dividió en dos zonas principales, determinadas por las condiciones ingeniero geológicas de la región de estudio: sector norte y sector sur:

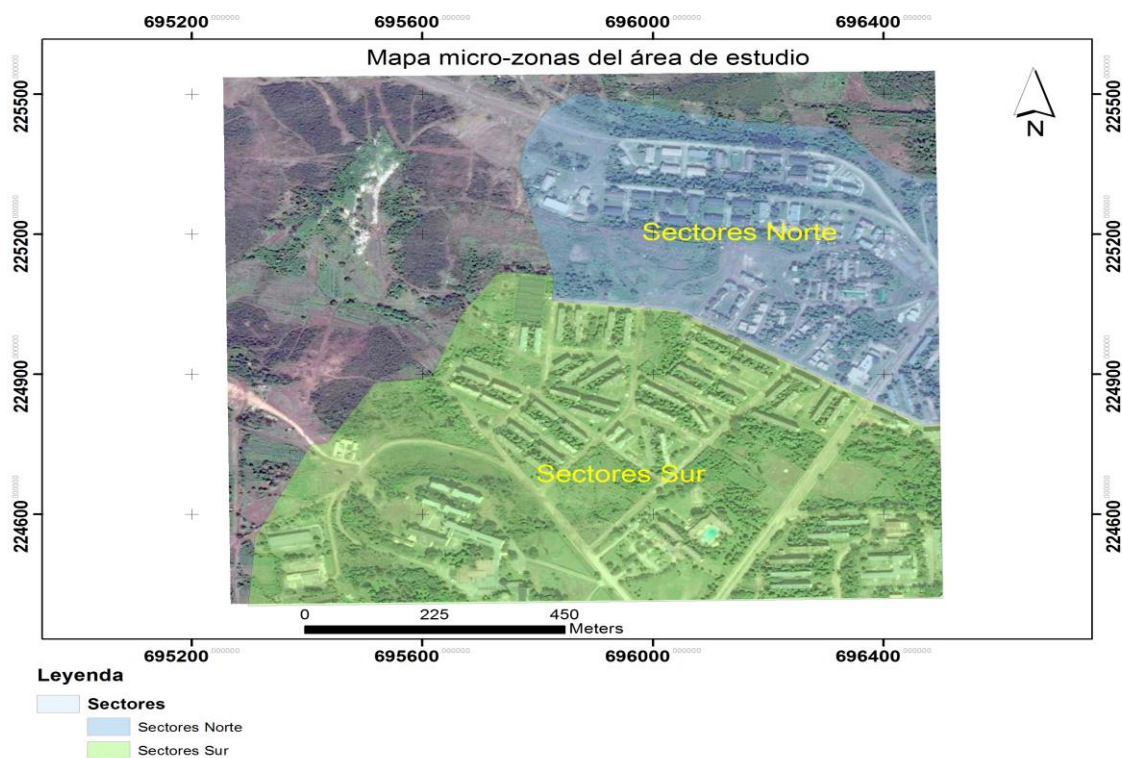


Figura 14. Esquema de las microzonas del Reparto Miraflores, municipio de Moa (dividido en dos sectores).

**Zona norte** :en esta parte del reparto se encuentra plasmado el edificio 14 zona costa sur, el mismo se encuentra en la ciudad de Moa específicamente hacia la zona noreste de la misma con coordenadas Lambert aproximadas X: 696759,87 y Y: 225186,21 (ver Figura 16 y 17).

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 a 3cm, algo semisaturada y en la segunda capa serpentinita de color verde, masiva, poco meteorizada.





Figura 15. Columna litotipo de los edificios en la zona costa sur del Reparto Miraflores, espesor de 2,20 m.

Las condiciones ingeniero- geológicas e hidrogeológicas son favorables para construir pero hay que tenerla en cuenta ante la presencia de un desastre geológico como son los sismos (ENIA) Holguín.



Figura 16. Área donde se encuentra el edificio, zona costa sur, Reparto Miraflores, municipio Moa.



Figura 17. Área donde se encuentra el edificio, zona costa sur, Reparto Miraflores, municipio Moa.

**Zona norte:** también se encuentran los llamados Viales o más bien ,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, por la norma NC 63:2000.Estos suelos lateríticos utilizado en la construcción de terraplenes clasifican por dicha norma por lo que su comportamiento es de regular o malo como subrasante, suelos poco compactados, algo semisaturado, por lo que han sido afectados bruscamente por las lluvias.

Dichos terraplenes al estar compuesto por un suelo laterítico no es el idóneo, pues existen áreas aledañas del terraplén, cercanas a las aceras que han sido afectadas bruscamente por las lluvias, por lo que necesario y obligatorio asfaltar el suelo, así podemos evitar daños mayores, tanto en las viviendas como otros sectores (Figura 18). De acuerdo a 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 (ENIA) Holguín.



Figura 18. Viviendas construidas en los terraplenes de zona costa sur, Reparto Miraflores, municipio Moa.

**Zona norte:** viviendas (La Veguita), llamadas así ya que pobladores de esa zona fueron trasladados para proporcionarles nuevas viviendas debido a que las propias han sufrido daños colaterales y estaban en mal estado. Presentan un suelo de origen laterítico de color rojo intenso que clasifica como limo plástico con arena (Figura 19).

Se realizaron ensayos de humedad y densidad por el método de isotopos radioactivos del material compactado (ENIA) Holguín.





Figura 19. Viviendas La Veguita, (tipo Sandino) Reparto Miraflores, municipio Moa

**Zona norte:** las llamadas viviendas checas, las mismas fueron construidas en una ladera septentrional de una altura del relieve, la cual pertenece a su vez a un sistema montañoso, esta altura se encuentra constituida por un macizo rocoso de serpentinita, el cual se halla afectado intensamente en todo su espesor por dislocaciones tectónicas (grietas y micro fallas) y hacia la parte superior del mismo por procesos de meteorización es característico de este tipo de macizo rocoso en el territorio de Moa, que la cota del techo de las rocas sea

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

bastante irregular, con bolsones de sedimentos eluviales (sectores donde la roca se encuentra con mayor profundidad de la superficie natural del terreno y que normalmente están formados por roca descompuesta (ver Figura 21 y 22).

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 5m esto implica que no ejercerán ninguna 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. De acuerdo a las investigaciones llevadas a cabo por la ENIA, estos edificios en correspondencia al tipo de suelo presente se considera que en esta zona ocurrirán grandes riesgos ante la presencia de un sismo. Dada a las características de la zona, es en esta área donde se pudiera ocasionar mayores estragos.

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

En todas las calas el corte litológico esta dado de la siguiente manera:



Figura 20. 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 por la NC 59:2000 se clasifica como GM: grava limosa con arena (ENIA) Holguín.



Figura 21. Área de estudio, viviendas checas, Reparto Miraflores, municipio Moa.





Figura 22. Área de estudio, Viviendas Checas, Reparto Miraflores, municipio Moa.

**Zona norte:** 4 Edificios triplantas (24 viviendas)

La columna litotipo en esta zona muestra una profundidad no menos de 5m, 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. Según la NC 59:2000 y por sus valores promedios clasifica como un MH: limo plástico con arena. El nivel de las aguas subterráneas según las investigaciones realizadas no pasa de los 5m (ver Figura 24). (ENIA) Holguín.



---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

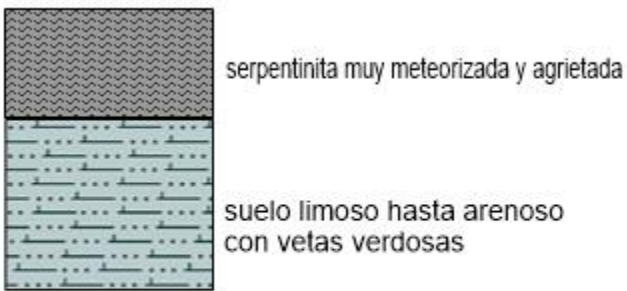


Figura 23. Columna litotipo de los edificios triplantas en el Reparto Miraflores, espesor de 1 a 2,30 m.



Figura 24. Área de estudio, viviendas construidas en la zona Miramar, en el Reparto Miraflores, municipio Moa.

**Zona sur:** en esta zona 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

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

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 sobre yacen 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. Según la NC 59:2000 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 25. Columna litotipo de las Viviendas Médicas en el Reparto Miraflores, espesor de 3,3 m.

El nivel freático hasta la profundidad investigada es de 3m, no fue cortado, por lo que no constituye un factor desfavorable para los trabajos de excavación (ENIA) Holguín.



Figura 26. Viviendas Médicas, Reparto Miraflores, municipio Moa.

**Zona sur:** en esta zona se encuentran suelos de tipo serpentinitico, a esto se debe el Hotel Miraflores, el mismo se encuentra a unos 700m de la línea de la costa de Océano Atlántico, el relieve del terreno es algo abrupto con elevaciones y cañadas (Figura 28). Suelos lateríticos y serpentiniticos, por lo que se perforaron por el método de percusión. De acuerdo a 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 1.10m aproximadamente. En las calas 1 y 2, un suelo serpentinitico, con plasticidad, con fragmentos de arena serpentinitica muy fracturada de densidad baja, de color gris verdoso hasta gris-verde amarillento.

La capa 2 en las calas 4 y5 lo constituye el suelo serpentinitico antes descrito con un espesor promedio de 1.8 aproximadamente.

---

### *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

En las calas 1; 2; 3, dicha capa la constituye la roca serpentinitica fracturada y fragmentadas en distintos grados con fisuras rellenas de calcita de densidad y dureza de media a baja.

En la cala 6 encontramos desde el inicio hasta el final de la cala roca serpentinitica 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.

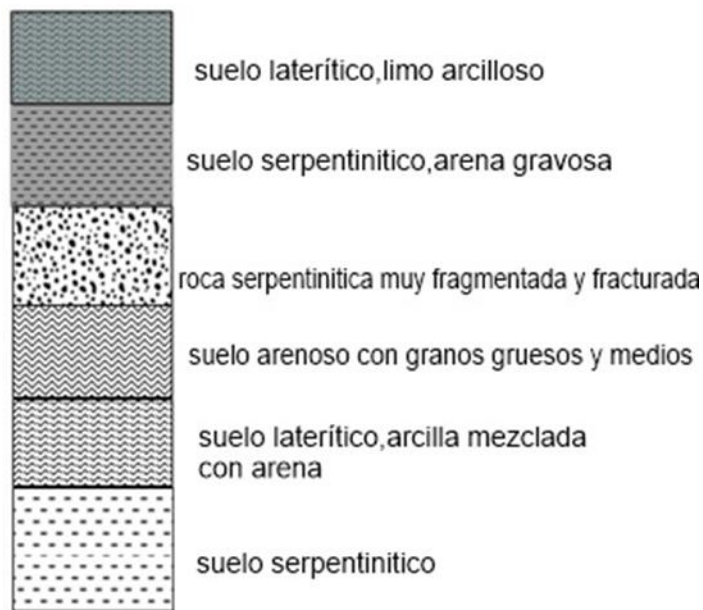


Figura 27. Columna litotipo del Hotel Miraflores construido en el Reparto Miraflores, espesor de 1,10 a 4,35 m.





Figura 28. Suelo donde está construido dicho Hotel, Reparto Miraflores, municipio Moa.

**Zona sur:** en la parte central de esta zona están las 72 viviendas o edificios de Gran Panel, Reparto Miraflores (están cerca de la oficina Geocuba), el área se enmarca aproximadamente en las coordenadas Lambert X: 6966400, Y: 224950 a escala 1:25 000 (Figura 30) .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 5m (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 a la norma NC 59:2000. Geotécnica. Clasificación geotécnica de los suelos, 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. Según la NC 59:2000, clasifica

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

como MH: limo plástico con arena, y ya en la tercera capa encontramos roca serpentinitica de color verde-amarillento que se recupera en fragmentos.

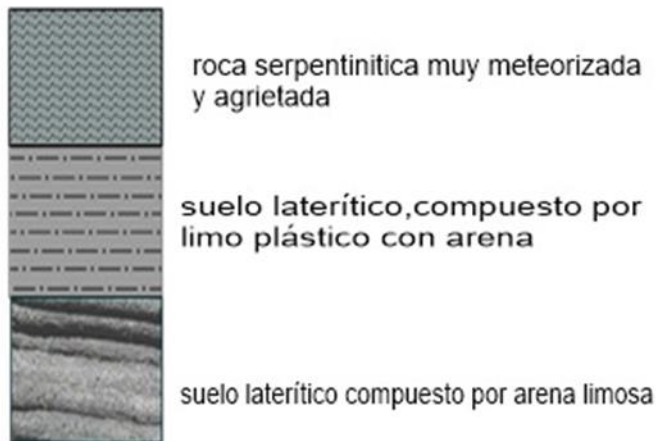


Figura 29. Columna litotipo de los edificios de Gran Panel en el Reparto Miraflores, espesor de 3,25 m.

Se perforaron las calas hasta los 3,25m 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 de acuerdo al coeficiente de filtración (ENIA) Holguín.

De acuerdo a las características expuestas anteriormente e informes expuestos por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de la provincia Holguín, 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.



Figura 30. Zona cercana, edificios de Gran Panel, Reparto Miraflores, municipio Moa.



## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Tabla 6. Propiedades físicas de cada tipo de estructura estudiada.

Estructuras estudiadas	Granulometría(arena, grava, fino)	Límite Líquido(LL)	Humedad (W)	Densidad	Saturación	Límite Plástico(LP)	Índice de poros(e)	Nspt	PNF	Tipo de suelo	Licuabl e
Edificio 14 zona costera	(60% ,45% ,50% )	26%	85 %	-	25%	30%	2.2	No fue analizado	No se corto	Arena bien graduada con limo y grava	Si puede
Terraplenes(viviendas construidas)	(70% ,55% ,45% )	30%	70 %	-	30%	56%	-	-	-	Arena limosa(SM)	Si puede
Viviendas La Vegetalia	-		46 %	baja	semisaturada	45%	-	-	-	Limo plástico con arena (MH)	no
Viviendas checas	(70% ,45% ,50% )	16%	70 %	-	Aprox. 35%	32%	2,4	-	-	Grava limosa con arena (GM)	Si puede
4 edificios triplantes	(30% ,25% ,50% )	17%	-	-	semisaturada	58%	-	-	-	Limo plástico con arena (MH)	no

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Vivien das medic as	(32%, 45%, 63%)	-	-	media	semisa turada	43%	-	-	-	Arena limos a(SM)	no
Hotel Miraflo res	(55%, 33%, 28%)	35%	-	Baja a media	semisa turada	42%	-	-	-	Limo plástico con arena (MH)	no
Edifici os de Gran Panel( 72 viviend as)	(53%, 7%, 40%)	14%	22, 9%	-	semisa turada	32%	1,15	-	-	Limo plástico con arena (MH) y Arena limos a(SM)	no

PFN: profundidad del nivel freático

Nspt: número de golpes/ 30 cm

### **3.5 Evaluación de la percepción sísmica en el Reparto Miraflores del Municipio de Moa.**

Luego de haber realizado el levantamiento y de haber caracterizado los suelos del sector, se aplicó una encuesta, de diferentes interrogantes a la población del reparto para dar a conocer el grado de conocimiento ante un sismo lo que permitió a su vez evaluar la percepción del mismo ante los sismos ocurridos los días 6 y 7 de octubre 2018 y por ser esta una zona de alta exposición al estar cercana al litoral costero.

Un grupo de ingenieros del CENAI, elaboraron una encuesta, para encuestar a la población, teniendo en cuenta la tipología de la vivienda, el estado técnico de la misma, la posición del encuestado, su percepción y la de quienes lo rodeaban en el entonces, corroborando, desde el sentir de la población las deferencias de velocidad de las ondas sísmicas. Dicha encuesta arrojó los resultados siguientes (ver Tabla7).

### 3.5.1 Resultados de la encuesta:

Tabla 7. Resultados de la encuesta

Sismo, día, hora, y magnitud	Estructuras	Ubicación	Tipología	Estado técnico	Posición	Compañía	Movimiento/alarmo o susto	Mayor percepción
6 de octubre del 2018, 8:00 a 8:30pm, de 5.9km	Edificio 14 zona costal sur	En áreas apartadas del Reparto Miraflores	Sandino, mampostería	85 %buena y el 15 %regular	estaban despiertos, sentados, de pie, caminando, dormidos	Acompañados	un 36 % se asustó y un 64 % se alarmó, mesas, sillas, cuadros, etc.	Mayormente
	Viviendas construidas en terraplenes	En áreas apartadas del Reparto Miraflores	Sandino y mampostería	90 %buena y el 10 %regular	Dormidos y despiertos	Acompañados y algunos solos	un 60 % se asustó y un 40 % se alarmó; vasos, sillas, mesas, cuadros, etc.	Los pobladores de esta zona lo sintieron al máximo debido a que se encuentra cerca del litoral costero)
	Viviendas	En áreas La	Adobe, mampost	un 85 %	Despiertos	Acompa	un 50 % se asustó	Al igual lo sintieron

*Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

	checas	Checa	ería y cartón	están en estado bueno, un 10 % en estado regular , y el 5 % en mal estado		ñados	y un 50 % se alarmó; un 50 % percibieron otros movimientos, un 50 % no; además de sentir vibraciones de búcaros, flores silla, mesas y taquillas;	con mayor percepción, además que una de estas viviendas ha producido asentamiento.
	4 edificios triplantas	Reparto Miraflores	Sandino y mampostería	Estado bueno	Despiertos, sentados, acostados, caminando	Acompañados y solos	un 50 % se asustó y un 50 % se alarmó; un 30 % percibieron otros movimientos, un 70 % no; además de sentir vibraciones de	

*Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

							búcaros, flores silla, mesas y taquillas;	
	Viviendas médicas	Reparto Miraflores	Mampostería con cubierta ligera (MCL), mampostería con cubierta pesada (MCP),	Un 80 % buena, y el 20 % regular	Despiertos, sentados, acostados	Solos en casa	un 60 % se asustó y un 40 % se alarmó; un 80 % percibieron otros movimientos, un 15 % no, y un 5 % no tiene respuestas; además de sentir vibraciones de búcaros, flores sillas y mesas;	
	Hotel Miraflores	Se encuentra en el Reparto Miraflores	Tipología Girón	100 % bueno	Despiertos, durmiendo	Solos en su habitación	el 50 % se alarmó y el otro 50 % se asustaron	

*Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

		es, cerca de la Universi dad de Moa					pero no hicieron nada; se percibiero n otros movimien tos, se sintieron vibracion es de objetos, como sillas, mesas, camas y algunos equipos	
	Edificios de Gran Panel	En el centro del Reparto Miraflor es	Mampost ería con cubierta ligera (MCL), mampost ería con cubierta pesada (MCP),	Un 80%bu ena,el 20%re gular	Despiertos, sentados	Acompa ñados	un 50 % se asustó y un 50 % se alarmó; un 90 % percibiero n otros movimien tos, un 10 % no; además de sentir vibracion es de	

---

*Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

							búcaros, flores silla, mesas	
7 de octubre del 2018,en horas de la tarde; de 5.4km								Se sintió con mayor fuerza en la zona Checa y en el edificio 14 zona costa sur, todo el personal lo percibió totalment e

De forma general en el reparto se sintió el sismo con moderada intensidad, pero de acuerdo al estudio realizado las zonas más afectadas o las que lo sintieron aún más serían las llamadas viviendas checas y la zona costa sur pertenecientes al sector norte según la división del mapa de microzonas, esto se debe a que se encuentran cercanas a la zona costera y el tipo de suelo está conformado rocas bastante irregular, con bolsones de sedimentos eluviales(sectores donde la roca se encuentra con mayor profundidad de la superficie natural del terreno y que normalmente están formados por roca descompuesta, compuesta por una capa vegetal con potencia entre 2 y 5m y relleno por fragmentos de serpentinita de diversos diámetros, en matriz laterítica, limosa ,plástica, de color carmelita rojizo; además de un suelo limoso-arenoso de color rojo vino, suelto o deleznable, con



presencia de gravas subangulares y en parte saturadas; lo que a provocado asentamientos en los mismos y que las personas sientan el sismo fuertemente.

Al relacionar lo dicho en las encuestas es evidente que el sismo del 6 de octubre de 2018 fue más sentido en el reparto comparado con el del día siguiente, tanto en las viviendas checas, en la zona costa sur, y en gran parte en algunos otros edificios más, situados en el centro del área, así como en los más bajos debido a la distancia y a la poca profundidad a la que se produjo el mismo, independientemente de que la magnitud fue menor. Por otro lado, este sismo con intensidad de 5.9 fue sentido principalmente por edificios de 4 plantas ubicados en la parte norte del reparto, la cual posee características del suelo tipo relleno en algunas partes, mientras que el sismo del día siguiente de 5.4 de intensidad, ocurrido aproximadamente a las 3:30pm, fue de muy poca percepción.

Dicho de otra forma, sería, los edificios bajos son susceptibles a daños por ondas sísmicas de alta frecuencia, de sismos relativamente cercanos o poco profundos. Mientras que, los edificios altos son susceptibles a daños por ondas sísmicas de baja frecuencia los cuales se originan a mayores distancias o grandes profundidades (Suárez, J., 2009).

Esto se explica a través del término resonancia, que no es más que el acoplamiento del período natural de un edificio con el del suelo, causando una amplificación en la respuesta.

### **3.6 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 (ver Figura 31).

De acuerdo a la encuesta realizada a cada sector, se puede declarar que el sector norte sintió en sismo con mayor intensidad que el sector sur, influyendo también el tipo de suelo. Según la escala MSK el reparto se clasifica de grado IV pero se aumentó un grado (IV Moderadamente) muchas personas lo perciben en el interior y exterior de sus viviendas, se

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

despiertan pero no se asustan, los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado, vibran las ventanas, puertas u otros objetos, se mueven mesas, sillas, objetos colgantes, vasos en alto, etc.

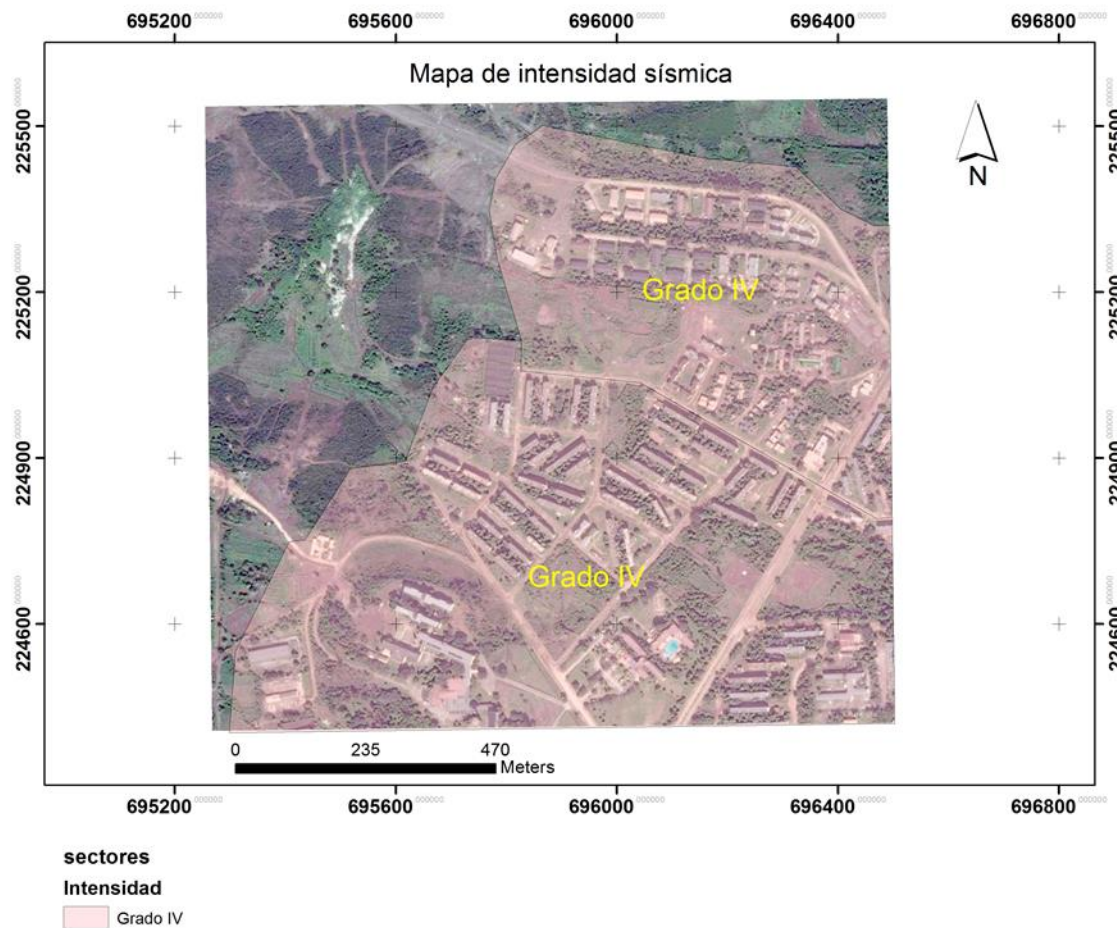


Figura 31. Mapa de intensidad sísmica según la escala MSK, para el Reparto Miraflores, municipio Moa.

La profundidad de yacencia de las aguas subterráneas influye en la magnitud del sismo. De acuerdo a (Lomtadze, V., 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.

### **3.7 Evaluación del potencial de licuefacción**

El estudio y aplicación en el área de estudio de los criterios de vulnerabilidad por licuefacción explicados en el epígrafe 2.3.2 del capítulo II, permitió definir para el Reparto Miraflores dos zonas de susceptibilidad a la licuefacción como se representa en el mapa de la Figura 32. Dichas zonas presentan una susceptibilidad muy baja a licuar de acuerdo a que estos suelos presentan solo algunas de las características propias para que un suelo sea licuable.

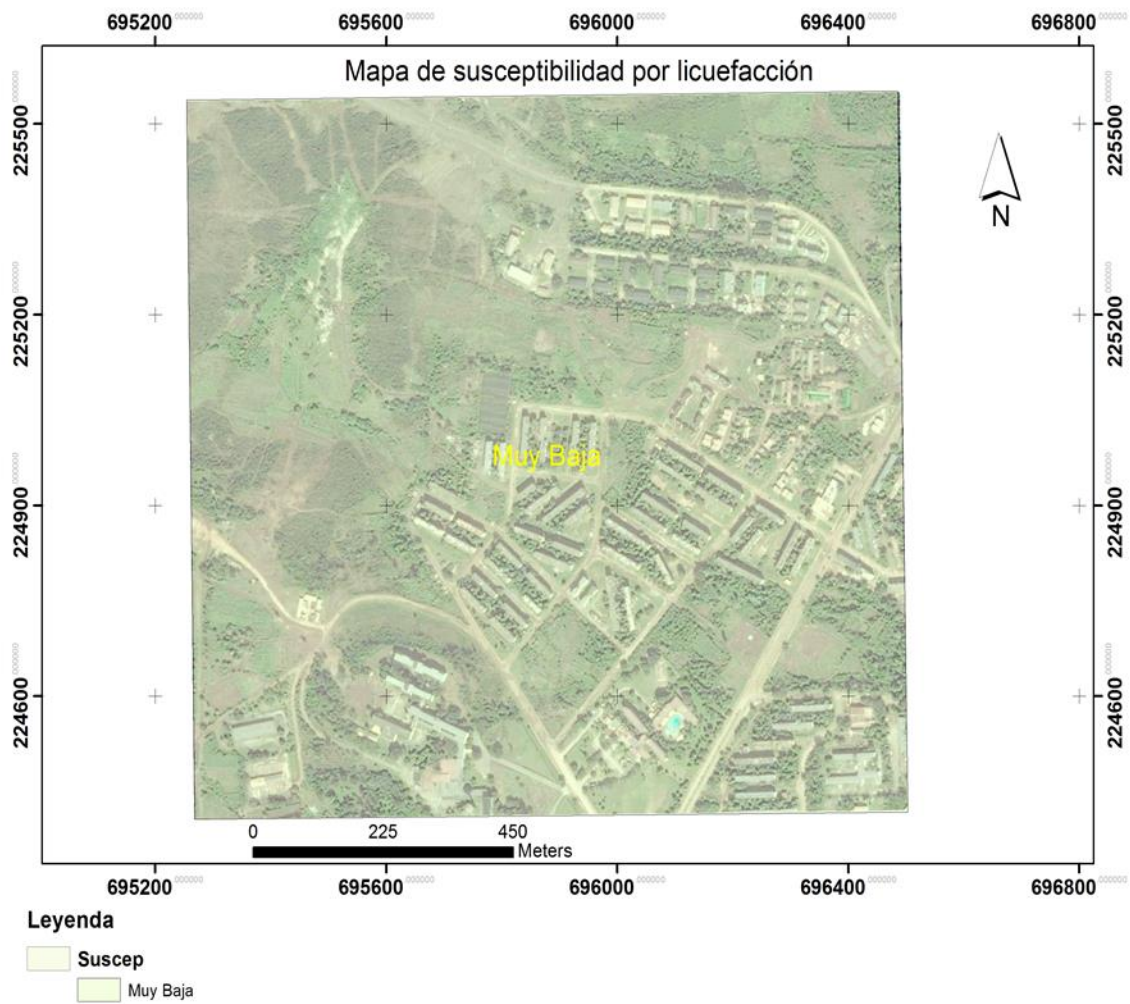


Figura 32. Mapa de susceptibilidad por licuefacción.

Tabla 7. Comparación de los suelos del Reparto Miraflores de acuerdo a las condiciones necesarias a licuar.

*Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

Estructuras	Finos	Límite líquido(L <sub>L</sub> )	Índice de liquidez	Forma de las partículas	Saturación	PNF	Nspt	Humedad
Edificio 14 zona costera sur	50%	26%	-	subangulares	25%	No fue cortado	No fue analizado	85%
Viales para viviendas	45%	30%	-	-	30%	-	-	70%
Viviendas La Veguita	-	-	-	-	semisaturada	-	-	46%
Viviendas Checas	50%	16%	-	subangulares	Aproxm. 35%	-	-	70%
Edificios triplantes	50%	17%	-	-	semisaturada	-	-	-
Viviendas Medicas	63%	-	-	-	semisaturada	-	-	-
Hotel Miraflores	28%	35%	-	-	semisaturada	-	-	-
Edificios de Gran Panel	40%	14%	-	-	semisaturada	-	-	22,9%

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

De acuerdo con la observación realizada en las zonas de estudio, a lo expuesto por Wang en 1979, Youd en el 2001, Vallejo en el 2002 y a lo mostrado en la Tabla 7; se relacionaron ambas características lo que se pudo señalar que los suelos del Reparto Miraflores presentan una susceptibilidad muy baja a licuar.

Los suelos identificados representan aproximadamente el 50 % de los que aparecen en la superficie del reparto, imponiendo así, las características propias de los mismos, 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 teniendo en cuenta el efecto de sitio.

De forma general este estudio se ha realizado teniendo en cuenta sismos de cierta intensidad, pero si tomamos de ejemplo lo ocurrido en México el 19 de septiembre de 2017, donde las características propias del suelo, blando, compresible, poco apto para sostener grandes estructuras y de vocación fundamentalmente poco compacto, resulta evidente la amplificación y alargamiento de las ondas sísmicas, convirtiendo a los terremotos en más intensos y peligrosos. Los suelos del Reparto Miraflores poseen algunas de estas características, esto, unido a su ubicación sismo tectónica y a los sismos que se han registrado en los últimos años nos hacen un llamado de atención debemos estar informados sobre las acciones que podemos tomar a fin de mitigar los efectos de los temblores, prestar especial atención a las informaciones de la Defensa Civil y conocer qué hacer en caso de un sismo.

### **3.8 Microzonación sísmica del Reparto Miraflores, municipio Moa. Integración de los resultados.**

La microzonación sísmica de este reparto, 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 todo este análisis posee un alto valor práctico desde el punto de vista del ordenamiento territorial y el diseño sismo resistente, porque nos permite reflejar la

---

### *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

información más detallada de aquellas zonas en las que puede existir mayor probabilidad de intensidad sísmica o amplificación de la señal sísmica.

De acuerdo a toda la información obtenida el Reparto Miraflores en su totalidad obtuvo una moderada intensidad sísmica de acuerdo a la encuesta realizada y a 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 en la misma existen 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 de acuerdo con 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.

Teniendo en cuenta la respuesta del suelo en los sectores delimitados, sus características ingeniero-geológicas y la encuesta realizada a la población, existe una buena correlación de acuerdo a como reaccionó la población en correspondencia al tipo constructivo de la vivienda. Por lo 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**

1. Se caracterizó 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 serpentinitica).
2. Los suelos identificados son: clasificados fundamentalmente por arena limosa, limo plástico con arena, y grava limosa con arena. De acuerdo a estas condiciones se evaluó que los suelos del reparto no favorece la ocurrencia de licuefacción en esta zona, ya que no cumple todas de las condiciones necesarias para que en un suelo pueda licuar, pues se determinó que en dicho reparto existe una susceptibilidad muy baja.
3. Se obtuvo la microzonificación sísmica reflejada en dos sectores: norte y sur, donde en el sector norte se identificaron las áreas de mayor peligro y favorable para la amplificación de las ondas sísmicas (viviendas checas y zona costa sur). Por lo que se hace corresponder el tipo de suelo a cómo reaccionó la población en estas áreas.

## **RECOMENDACIONES**

- ❖ Realizar una mayor cantidad de perforaciones en el área de estudio, lo que nos permita obtener una mejor información para efectuar una microzonación sísmica en el territorio.
- ❖ Aplicar la norma sismo resistente a todas las construcciones que se realicen en el municipio de Moa.
- ❖ Socializar la información mediante visitas a los diferentes centros de Gestión para la Reducción del Riesgo y Consejo Asamblea Municipal y Provincial.
- ❖ Vincular el ordenamiento territorial y el diseño de las construcciones existentes y de nuevos proyectos, con las características dinámicas del terreno, definidas según el esquema de microzonación sísmica obtenida en este trabajo.
- ❖ Implementar medidas que mitiguen los posibles efectos ante este tipo de fenómeno de gran intensidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Almaguer, H., (2005). Primary health care strategies for the prevention of end-stage renal disease in Cuba. *Kidney International*, vol. 68, pp. S4--S10. .
2. Álvarez, L., (2015). Microzonación sísmica partiendo de sismogramas sintéticos. Aplicación en peligrosidad sísmica determinística y probabilística.
3. Álvarez, S., (2001). Cuantificación del efecto local en el registro sísmico mediante la aplicación del método de elementos de contorno. Tesis de doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 1-199.
4. Arango *et. al.*, (2017). Estudio de la sismicidad de la localidad de Moa para la construcción de puente de empresa del Niquel “Pedro Sotto Alba-Moa Niquel s.a.”
5. Arone, P., (2017). “Análisis de estabilidad de los deslizamientos de tierras con substratos pizarrosos” Caso localidad de Kelcaybamba-Ocobamba, provincia de La Convención, región Cusco. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo,
6. Astroza, M. y Monge, J., (1991). “Regional Seismic Zonation en Central Chile”. In 4th Internacional Conference on Seismic Zonation, California, 487-494.
7. Barbat, A.H., (1995).Diseño sísmico de edificios de hormigón armado. Monografías de ingeniería sísmica.
8. Castro., (1969). Metodología y técnicas para la cuantificación del potencial de licuación en suelos sujetos a sollicitaciones dinámicas. Ejemplos de casos.
9. Chuy, T.J., (2000).Estimados de peligrosidad y microzonación sísmica de Cuba utilizando terremotos susceptibles. Sismos perceptibles, peligro y vulnerabilidad sísmica en Cuba. Editorial América. La Habana, pp 7-50.
10. Chuy, T.J., (2004). “Terremotos fuertes y peligrosidad sísmica de Cuba”. En memorias de la 12 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura (III TIARD) ISPJAE, La Habana, 1-10.
11. Chuy, T.J., Orbera, L., Hernández, J.R., Magaz, A., Sánchez, F., Pérez, C., González, E., Fundora, M., Rubio, M., Álvarez, J.L., Cotilla, M., Arango, D., Iturralde, M., Rodríguez, J., Marquetti, M.C. y Ramírez, R., (1997). “Dictamen Conclusivo.

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

- Comisión Ad-hoc para la determinación de las Zonas Sismogénicas de la región Oriental de Cuba y zonas aledañas” Revista Electrónica Ciencia en su PC. 2(2) 1-15.
12. 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., Informe Final. (2006). Proyecto Territorial T-0225. Caracterización del riesgo sísmico de la ciudad de Guantánamo, provincia Guantánamo. Fondos del CENAIIS y del CITMA, 1-98.
13. Cobiella J. y Rodríguez J., (1978). Algunos rasgos de la geología de Cuba oriental. Ciencias Técnicas, Serie Geodesia y Geofísica No.3.
14. Cobiella, J.L., Gil, S., Hernández, A. y Díaz, N., (2000). “Estratigrafía y tectónica de la Sierra del Rosario, Cordillera de Guaniguanico, Cuba Occidental”. Revista Minería y Geología. 17(1) 5-15.
15. Contreras, O, S., (2017). Estudio de la respuesta local del suelo en el municipio urbano del sector de Caimanera, provincial Guantánamo ante la ocurrencia de sismos.
16. Cotilla EJ, McCandless JM, y Savitz, P., (1991). Deep Ocean recoverable acoustic sensor vehicle.
17. Cotilla, EJ y Udías, B., (1997). Geodinámica del límite Caribe-Norteamérica.
18. Cotilla, R., (1999). Apuntes necesarios acerca de los acontecimientos sismológicos en Cuba.
19. Fernández, L., (2015). Licuefacción de los suelos generada por sismos de gran magnitud. Caso de estudio Caimanera y Santiago de Cuba,
20. Fernández, A.I., Fernández, B.C., Zapata, J.A., Marisy, J., (2000). Efectos sísmicos en la ciudad de Baracoa. Editorial Academia, La Habana 67 -71.
21. Fernández, B.C., (2000). Posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuación en la cuenca de Santiago de Cuba catalizado por terremotos fuertes. Tesis de Maestría, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Cuba, 1-70.
22. Flores, I., (2006). Propuesta de clasificación geotécnica del efecto de sitio (Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la región de Murcia.

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

23. Frometa Anfaró, M. Percepción del riesgo sísmico en la ciudad de Moa: Reparto Caribe.
24. González, B., 1980. Catálogo macrosísmico de la región occidental de Cuba.
25. González de Vallejo, L.I., (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación, 1-744.
26. Gutiérrez, A. y Franco, A., (2010). Análisis de efecto de sitio en Ciudad Guzmán, Jalisco, México. Informe técnico, Centro Nacional de Prevención de desastres, 1-19.
27. Hernández, A., (2012). Estudio de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico del sector Atlántico, Miraflores y Vivienda Checa.
28. Informes Ingeniero geológicos expuestos por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, (ENIA). (1980). Unidad de investigaciones para la construcción de Holguín.
29. Iturralde-Vinent, M.A. (1996). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. I.G.C.P. Project 364, Special Contribution No. 1.
30. Lomtadze, V. D., (1977). Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería. Ed. Pueblo y Educación, 560 p.
31. Mann P., (2002): Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations. Tectonics. Vol. 21, No 6.
32. Monteulieu, E., (1968). Notas y apuntes acerca de terremotos ocurridos en Cuba.
33. Ordaz, M., (1994). Bases de datos para la estimación de riesgo sísmico en la ciudad de México.
34. Popov, V.V., (1959). "Criterios Ingeniero-Geológicos de la zonación sísmica detallada". Revista: Sismología Ingenieril. (2)1-40.
35. Proenza, J., (1998). Mineralización de cromitas en la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). El ejemplo del Yacimiento Mercedita. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 227 p.
36. Riverón, A.B., (1996). Caracterización de la respuesta dinámica de los suelos en la ciudad de Moa. (Tesis de Maestría), ISMM, Dpto. de Geología. Moa.
37. Rodríguez- Infante, A. (1998). Estilo tectónico y geodinámica de la región de Moa. Minería y Geología, vol 15, no 2, pp 37-41.

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

38. Rodríguez- Infante, A., (1998). Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica". ISMM.
39. Sidimohamed, O., (2002). Caracterización hídrica e hidroquímica del río Cayo Guam. ISMMM.
40. Suárez, J., 2009. Visión geotécnica de la amenaza sísmica con énfasis en el nororiente de Colombia y la ciudad de Bucaramanga.
41. Viltres, Y., (2011). Evaluación de riesgo por deslizamiento en taludes y laderas del sector este del municipio de Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
42. Vinardell, R., (2018). Microzonación sísmica del sector urbano de Moa. S.I. Tesis en opción al Título de Master en Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
43. Wang, W., (1979). Some findings in soil liquefaction. Earthquake Engineering Department, Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute.
44. Youd, T.L. y I.M. Idriss., (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.



## **ANEXOS**

### **Anexo 1: Encuesta realizada por estudiantes a los pobladores del Reparto Miraflores, municipio Moa.**

Estimados colegas o amigos:

Por favor, esta encuesta es para solicitar su apoyo sobre información o reportes de perceptibilidad del sismo, de Uds., familiares, amigos o conocidos.

**-SISMO**

**-DIA**

**-MAGNITUD**

Necesitamos el mayor nivel de detalle posible y sobre todo la dirección con precisión.

**Las preguntas son las siguientes:**

- Sintió el **SISMO** del cual le solicitamos información.
- **HORA** aproximada en que lo sintió.
- **DIRECCIÓN** completa de la vivienda o del sitio en el cual se encontraba.

Aclare pueblo, municipio, provincia.

- Tipología de la vivienda: **MADERA / ADOBE / MAMPOSTERÍA / EDIFICIO**

-Diga el tipo de **TECHO** de la vivienda o del lugar donde se encontraba.

- Desde su punto de vista cuál es el estado técnico de la edificación: **BUENA / REGULAR / MALA.**
- Estaba Usted: **DORMIDO / DESPIERTO ACOSTADO / SENTADO / DE PIE / CAMINANDO.**
- Estaba **SOLO / CON OTRAS PERSONAS** – Cuántas y cómo estaban. **LO SINTIERON TODOS.**
- ¿En sus alrededores, **OTROS** lo sintieron?
- Sintió **ALARMA** o se **ASUSTO** con las sacudidas del sismo. ¿Qué hizo?
- Percibió **OTROS MOVIMIENTOS** / ruidos de puertas, ventanas, techo, paredes u otros.

---

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

- Percibió o notó objetos **VIBRAR / DESPLAZARSE / VOLCARSE**, ¿cuáles?, es capaz de decir que objeto y cuánto se movió?
- ¿Ha encontrado **NUEVAS** fisuras o grietas en paredes, columnas, arquivates u otros elementos estructurales?
- Los animales **LO PERCIBIERON** (inquietud o ladrido de perros al menos) –antes o después
- Diga si ha sentido otros sismos junto con el principal

La información nos permitirá realizar los **MAPAS DE PERCEPTIBILIDAD DEL SISMO** para la ciudad, la provincia y la región, así como complementar las informaciones a los organismos competentes.

Gracias anticipadas

## *Tesis en opción al Título de Ingeniero Geólogo*

### Anexo2: **Escala M. S.K.**

Grado	Descripción
<b>I. Muy débil</b>	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
<b>II. Débil</b>	Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
<b>III. Leve</b>	Se percibe en los interiores de los edificios y casas.
<b>IV. Moderado</b>	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
<b>V. fuerte</b>	La mayoría de las personas lo percibe aun en el exterior. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y pueden llegar a derramarse. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.
<b>VI. Bastante Fuerte</b>	Lo perciben todas las personas. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se hace visible el movimiento de los árboles, o bien, se les oye crujir.
<b>VII. Muy fuerte</b>	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Se dañan los muebles. Caen trozos de mampostería, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Se producen ondas en los lagos.
<b>VIII. Destructivo</b>	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aun el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos.
<b>IX. Ruinoso</b>	Pánico generalizado. Todos los edificios sufren grandes daños. Las casas sin cimentación se desplazan. Se quiebran algunas canalizaciones subterráneas, la tierra se fisura.
<b>X. Desastroso</b>	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. El agua de canales, ríos y lagos sale proyectada a las riberas.
<b>XI. Muy desastroso</b>	Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las cañerías subterráneas quedan totalmente fuera de servicio.
<b>XII. Catastrófico</b>	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.