



REPÚBLICA DE CUBA

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Geólogo

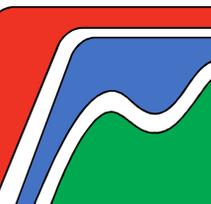
Título: Estudio de la respuesta local del suelo en el sector urbano del municipio Caimanera, provincia Guantánamo ante la ocurrencia de sismos

Autor: Olga Stéfani Contreras Endi

Tutor: Ms.C Liuska Fernández Diéguez

Ctte: Dr.C. Tomás J. Chuy Rodríguez

Moa, 2018



DEDICATORIA

A mi madre, por su paciencia, su entrega, su cariño, y porque sin ella, nada sería posible.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a toda mi familia, por cada uno de sus consejos, siempre tan oportunos; a mis tías por su comprensión, a mis tíos gracias por estar, a mis primos por recordarme que aun soy una niña, a mi hermana porque a su lado soy la persona más cuerda del mundo, a mi padre porque a todo le saca la parte más graciosa, a mi abuelo por su ejemplo, a mis abuelas por ser siempre ellas, y a mi mamá gracias por todo.

Mis más sinceros agradecimientos a la familia de mi amor; a sus abuelos gracias por ser también los míos, a su tía por sus consejos especiales, a su madre porque más que una suegra, es otra madre para mí, y a mi amor, por soportar mi estrés, por secar las lágrimas en mi depresión, por ser él tal y como es, especial.

A mis compañeras de cuarto, Leisa, Yari, Milagros, Adita, Dayana, Lisi, gracias por compartir conmigo cada momento, por seguirme la corriente en cada una de mis locuras.

PENSAMIENTO

“Porque el socialismo no se ha hecho simplemente para tener hermosas fábricas, sino se ha hecho para el hombre integral.” En un discurso en la clausura del seminario, **La juventud y la Revolución**, en 1964.

“En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana.”

“Seamos la pesadilla de quienes pretenden arrebatarnos los sueños.”

“La arcilla fundamental de nuestra obra es la juventud, en ella depositamos nuestra esperanza y la preparamos para tomar de nuestras manos la bandera.”

“Solo puede ser intrépido quien conoce el miedo, pero lo supera; quien ve el abismo con orgullo. Quien ve el abismo con ojos de águila; quien con garras de águila se aferra al abismo; ése tiene valor.”

Ernesto “Che” Guevara

RESUMEN

Se realizó un estudio de la respuesta del suelo debido a la percepción de los sismos de los últimos años, y de los principales daños registrados en las edificaciones. La investigación estuvo dada por la necesidad de conocer la respuesta local del suelo a partir de las condiciones ingeniero geológicas, para evaluar los sectores de diferente riesgo sísmico en el sector urbano del municipio Caimanera. 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 Caimanera. 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. El resultado obtenido es un esquema que ilustra tres zonas: Norte, Central y Sur; siendo la de mayor peligro la Zona Central, esta está compuesta por suelos blandos, poco compactos, de baja resistencia, saturados, compresibles, de abundante materia orgánica.

ABSTRACT

Himself I accomplish an study of evaluation about the answer of the ground and the engineer geological conditions due to the perception of the seisms of the last few years, and of the principal damages registered at the edifications. The investigation was given for the need to know the local answer of the ground as from the engineer geological conditions to evaluate the sectors of different seismic risk at the municipality of Caimanera and suggesting measures of the sismoresistente construction for this type of ground. It had been done to evaluate the local answer of the ground, as well as the relation with the engineer geological conditions, of form such that the seismic dangerousness at the municipality's urban sector of Caimanera may divide into zones itself. The study himself take to end trough a system of indicators that summarizes the most influentials characteristics in the answer of the ground, say to oneself, geology, seismicity, geomorphology, depth of the underground water level and engineer geological conditions. The obtained result is a map that illustrates the three zones that were delimited for the Caimanera's municipality. It is concluded that the zone with bigger potential danger is the heartland.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
PENSAMIENTO.....	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
INTRODUCCION	1
Marco teórico conceptual.....	4
-Conceptos generales.....	5
Antecedentes de la investigación	6
-Cuba, rasgos sísmicos y tectónicos	13
CAPITULO I. RASGOS FISICO-GEOGRAFICOS Y GEOLOGICOS DE LA REGION DE ESTUDIO.....	15
1.1 Ubicación geográfica	15
1.2 Geología regional y local	15
1.3 Geomorfología regional	18
1.4 Características hidrogeológicas.....	18
1.5 Características ingeniero – geológicas de la región	19
1.6 Zona sísmica	20
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLÚMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	22
2.1. Etapa de búsqueda y análisis de bibliografía	23
2.2. Metodología para microzonificación sísmica.....	23

2.3. Etapa de procesamiento de la información	29
CAPITULO III. EVALUACION DE LA RESPUESTA LOCAL DEL SUELO A PARTIR DE LAS CONDICIONES INGENIERO-GEOLOGICAS.....	31
3.1. Condiciones ingeniero-geológicas del área de estudio.....	31
3.2. Indicadores asociados con los efectos sísmicos en el municipio Caimanera	39
3.2.1 Geología	39
3.2.2 Sismicidad	40
3.2.3 Geomorfología	47
3.2.4 Profundidad del nivel freático	48
3.2.5 Esquema de la respuesta local del suelo ante la ocurrencia de sismos	49
3.3. Medidas para mitigar los posibles daños ocasionados por un sismo en el sector urbano del municipio Caimanera.....	56
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	63
ANEXOS.....	67

INTRODUCCION

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. 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, que se ordenan, de acuerdo con su peligrosidad, en orden ascendente. Con esto se tendrá la información necesaria para inferir los efectos de un terremoto en las edificaciones dentro de una ciudad y poder sugerir así, las medidas apropiadas para la construcción.

Además de la respuesta dinámica de los suelos por sismos, en un estudio de microzonificación se incluyen los efectos inducidos por fallas, licuación y otros, y se valora su peligrosidad, esta respuesta de los suelos es conocida como efectos de sitio, y están definidos por las características geomorfológicas y litológicas de la región.

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.

Cuando se produce una sacudida sísmica se libera una gran energía de deformación almacenada. Esta energía se transmite por el interior de la tierra (rocas) en forma de ondas sísmicas que normalmente se atenúan con la distancia al foco emisor y con el tiempo. (Tsige y García, 2006)

Sin embargo, cuando las ondas atraviesan determinados tipos de terrenos ocurre lo contrario, se amplifican, apreciándose así una gran diversidad en la intensidad y distribución de daños.

Las afectaciones más comunes productos de este fenómeno son:

- agrietamiento y deslizamientos de laderas y terrazas que originaron en sectores embancamiento 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, 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, 2015).

Una predicción cuantitativa del movimiento sísmico del terreno es un elemento clave para evaluar y mitigar los desastres sísmicos. El examen de terremotos destructores como los de Nigata (1964), México (1985), Loma Prieta, (1989), Kobe (1995), Taiwan 1999, etc. reveló una estrecha relación entre la distribución de los daños y la de contrastes de impedancia cerca de la superficie. Los efectos geológicos, de rigidez del suelo y de la topografía pueden afectar significativamente el contenido de frecuencia- amplitud y la duración del movimiento en un sitio respecto al de la roca subyacente. Estas alteraciones indican la necesidad de identificarlas y valorarlas en la estimación de la peligrosidad sísmica local, especialmente en áreas urbanas.

La concentración de la actividad humana en núcleos de población implica una concentración de los elementos en riesgo, para los que resultan totalmente insuficientes los estudios generales de peligrosidad sísmica, por lo que son imprescindibles y urgentes estudios específicos que tengan en cuenta los efectos locales, y los peligros inducidos por los terremotos.

En nuestro país los estudios de este tipo están encaminados a realizar un pronóstico de los daños a esperar ante la ocurrencia de un sismo fuerte con el fin de sugerir las normas apropiadas para la construcción, y de esta forma mitigar el impacto que un sismo tendría en el territorio nacional.

El presente caso de estudio se encuentra muy cerca de la zona sismogeneradora Bartlett-Caimán capaz de generar sismos fuertes. Ubicada en la bahía de Guantánamo en la parte que corresponde a tierras bajas donde los suelos son relleno sobre pantano en algunas partes y en otras ocasiones en tierras bajas y por lo tanto con bajos valores del nivel freático. Tales

características dotan al municipio Caimanera, provincia Guantánamo de condiciones favorables para la amplificación de la señal sísmica.

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 del municipio Caimanera como una premisa de desastre, lo que convierte el presente tema de investigación en relevante para la Seguridad Nacional.

De la información recopilada para la investigación sabemos que en Caimanera los sismos de 2010 en Haití, la secuencia de sismos de 2016, 2017 y algunos de 2018 fueron sentidos con mayor o menor intensidad en diferentes puntos del municipio. En la investigación se pretende evaluar las condiciones que favorecen esta diferenciación en el área de estudio.

Problema: insuficiente conocimiento sobre la respuesta local del suelo ante un sismo para evaluar los sectores de diferente riesgo sísmico en el sector urbano del municipio Caimanera.

Objetivo general: evaluar la respuesta local del suelo y su relación con las condiciones ingeniero geológico de forma tal que se pueda microzonificar la peligrosidad sísmica en el sector urbano del municipio Caimanera.

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 del sector urbano del Municipio Caimanera.

Objetivos específicos

- Aplicar un sistema de indicadores que permita estimar la respuesta local del suelo ante un sismo.
- Identificar los problemas asociados con los efectos sísmicos en la zona.
- Evaluar la respuesta local del suelo de acuerdo con las condiciones ingeniero geológicas de cada sitio.
- Obtener un esquema de microzonificación sísmica del sector urbano del municipio Caimanera.

Objeto: los suelos de la zona urbana en el municipio Caimanera, Provincia Guantánamo.

Campo de acción: la respuesta local de los suelos ubicados en el sector urbano del municipio Caimanera, provincia Guantánamo.

Resultados esperados

Caracterización de los suelos a partir de las condiciones ingeniero geológicas y el efecto de sitio, que favorecen la amplificación de las ondas sísmicas.

La evaluación de los efectos de sitio y la obtención de un esquema de microzonificación sísmica, que ilustre las zonas que son más favorables para la amplificación de las ondas sísmicas.

Marco teórico conceptual

Tan antigua como la ocurrencia de los sismos, es la preocupación del hombre por estimar la fuerza destructiva de los mismos. Para ello ha establecido distintos referentes que han variado con el tiempo, algunos para identificarlos de forma cualitativa y otros con fines cuantitativos.

La intensidad sísmica 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.

Desde la segunda mitad del siglo XIX se han usado diferentes escalas, en las cuales los grados de intensidad se determinan de acuerdo con una descripción de los efectos observados en los cuatro referentes mencionados.

Hasta la primera mitad del siglo XX, la intensidad sísmica era la única medida de campo cercano de los efectos de un terremoto debido a la falta de redes de instrumentos. Esta situación no ha cambiado mayormente en los países en desarrollo ubicados en regiones de alta sismicidad como los latinoamericanos. Hoy se conoce que el nivel de percepción sísmica puede variar debido a características geológicas y topográficas en varios órdenes de magnitud, lo que se conoce como efecto de sitio y está condicionado, tanto por características geológicas, como físico - mecánicas del suelo.

-Conceptos generales

Amortiguamiento: se define como la capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética en otro tipo de energía. Típicamente los amortiguados disipan la energía cinética en energía térmica y/o en energía plástica.

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

Epicentro: 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. Como indican los correspondientes prefijos griegos, el hipocentro es un punto del interior de la litosfera, mientras que el epicentro está en la superficie de ésta.

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).

Geotecnia: parte de la geología aplicada que estudia la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, para el asiento de todo tipo de construcciones y obras públicas.

Hipocentro: es el punto del interior de la Tierra, donde se inicia un movimiento sísmico. También corresponde al punto en el cual se produce la fractura de la corteza terrestre, que genera un terremoto. En él se produce también la liberación de energía (es decir de donde se inicia el terremoto).

Intensidad: 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 Medveder, Sponhever y Kamik).

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.

Magnitud: valor proporcional a la energía liberada y se obtiene midiendo en los registros de las estaciones.

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.

Peligro: es un probable evento extraordinario o extremo, de origen natural o tecnológico, que puede producirse en un momento y lugar determinado que puede afectar desfavorablemente la vida humana, la economía y las actividades de la sociedad.

Riesgo: causado por uno o varios peligros que inciden simultáneamente sobre uno o más elementos vulnerables en un tiempo, lugar y condiciones determinadas.

Rigidez: es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

Sismógrafo: aparato que sirve para registrar la amplitud de las oscilaciones de un temblor de tierra o sismo. Los terremotos pueden producir oscilaciones del terreno en sentido vertical y horizontal, por tal motivo hay que registrar las oscilaciones en ambas direcciones.

Sismología: es una rama de la Geofísica que se encarga del estudio de los terremotos y la propagación de las ondas elásticas (sísmicas) que se generan en el interior y la superficie de la Tierra.

Terremoto: movimiento brusco de la tierra causado por la liberación de energía acumulada durante un largo tiempo.

Vulnerabilidad: es la susceptibilidad de un sujeto o elemento expuesto a sufrir pérdidas o daños.

Antecedentes de la investigación

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). 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. (Álvarez, 2015)

Los efectos de sitio han contribuido enormemente a las muertes humanas y a los daños en las construcciones en los terremotos durante más de 70 años.

En todo el mundo surgen como una interrogante a develar con el fin de minimizar los daños ocurridos en consecuencia a esta modificación de la señal sísmica influenciada por condiciones geológicas y topográficas.

En la actualidad se dispone de un gran número de procedimientos numéricos para estimar la respuesta dinámica del subsuelo. Estos procedimientos consideran en mayor o menor medida la complejidad del comportamiento dinámico de los suelos, en los cuales se evidencia un claro comportamiento no lineal. De todas las metodologías disponibles la que ha sido utilizada con mayor frecuencia es la propagación unidimensional de onda cortante utilizando un modelo lineal equivalente. Este procedimiento se basa en el concepto de la matriz propagadora planteado por Haskell en 1953. (Ordaz, 1994)

En particular la utilización de nuevas metodologías en el análisis de la respuesta dinámica del suelo ha arrojado resultados más cercanos a lo registrado en eventos sísmicos ocurridos en los últimos años.

La metodología de análisis implementada en el estudio de Microzonificación Sísmica de los municipios de Palmira, Tuluá y Buga (Ordaz, 1994) permite estimar intensidades sísmicas (aceleración espectral, aceleración máxima, velocidad máxima o desplazamiento máximo del terreno, etc.) con una tasa de ocurrencia dada, teniendo en cuenta no solo las características de las fuentes sísmicas (geométricas y de sismicidad) sino también los efectos que induce

sobre las ondas sísmicas la propagación en un perfil de suelo. 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, 1994)

En nuestro continente dos sismos que han sido cruciales para entender la incidencia de las condiciones de sitio en la respuesta sísmica local son el sismo de México (Michoacán) de 1985 y el sismo de Lomaprieta de 1989.

En los años de ocurrencia de estos sismos se aprecia un cambio en el entendimiento de la respuesta sísmica. Una primera aproximación a la respuesta puede darse en términos de un mejor conocimiento por parte de los ingenieros del comportamiento dinámico de los suelos de alta plasticidad, tales como las arcillas de México.

El sismo de México y el de Lomaprieta sirven para ilustrar los dos tipos principales de respuesta de sitio. El de México ilustra el tipo de respuesta en el que el suelo modifica el contenido frecuencial y la amplitud del sismo, haciéndolo más destructivo. Por otro lado, el sismo de Lomaprieta ilustra el tipo de respuesta en el que el suelo mismo falla y se fisura, moviéndose horizontal y verticalmente, generando complementariamente problemas de licuefacción. (Disponible en

www.palmira.gov.co/.../RESPUESTA%20DINÁMICA%20DEL%20SUBSUELO%20... (s.f.))

El sismo de Lomaprieta se originó en la ruptura de un segmento de 40 km de longitud de la falla San Andrés bajo las montañas de Santa Cruz. Los efectos de sitio más notorios del sismo fueron los siguientes, licuefacción de suelos en la zona epicentral y en el distrito de Marina en la Ciudad de San Francisco. Deslizamiento de laderas y caída de rocas en las montañas de Santa Cruz cerca de la región epicentral. Amplificaciones de los movimientos sísmicos en

los suelos blandos lo que causó daños importantes a las construcciones de las poblaciones cercanas a la zona epicentral y especialmente en la bahía de San Francisco, en donde las características del suelo (rellenos hidráulicos de arena y estratos profundos de arcilla) magnificaron enormemente los movimientos sísmicos. (Disponible en. www.palmira.gov.co/.../RESPUESTA%20DINÁMICA%20DEL%20SUBSUELO%20... (s.f.))

Más recientemente, los sismos de Haití y México, constituyen una experiencia debastadora, ambos dejaron un gran saldo fallecidos y destrucción a su paso. Al mismo tiempo que han servido como material de estudio, para comprender mejor las condiciones del sitio ante la respuesta sísmica.

El estudio de la respuesta sísmica del suelo es un campo de interés en el análisis de riesgo sísmico y en el diseño sismorresistente y está siendo objeto de numerosos trabajos sobre todo tras los desastres de terremotos clasificados como de muy destructivos (Northrig, 1994, Kobe, 1995, Turquía, 1999, El Salvador, 2001 entre otras).

Los efectos observados en los sismos mencionados llaman la atención hacia la posibilidad de que en otros sitios se generen efectos de amplificación equivalentes. Los sismos de Armenia (1999) y Pizarro (2004) son una demostración de que estos efectos ocurren en las ciudades colombianas (eje cafetero y departamento del Valle del Cauca correspondientemente), no solo en los depósitos compuestos por suelos volcánicos superficiales sino en las zonas de rellenos antrópicos o zona con suelos arcillosos blandos. (Disponible en, www.palmira.gov.co/.../RESPUESTA%20DINÁMICA%20DEL%20SUBSUELO%20... (s.f.))

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.

El 27 de febrero del 2010, un sismo de magnitud 8,8 grados en la escala de momento sísmico sacudió la zona centro sur de Chile. En la ciudad de San Pedro de la Paz, localizada 80 km al suroeste del epicentro, la intensidad estimada para el sismo alcanzó de VIII a X grados en la escala de Mercalli modificada. La diversidad en la intensidad y distribución de daños es una manifestación de los efectos de sitio, esto se debe a las características físicas del terreno.

El sismo de Lorca el día 11 de mayo de 2011 tuvo $M_w = 5.1$. Se observó que el sector más afectado fue el barrio de la Viña (suelo blando), situado al sur de la ciudad, y por tanto más alejado del epicentro.

También se observó que los edificios situados en el llano, construidos sobre suelo blando, habían sufrido más daños que los de la parte alta, construidos sobre terreno firme (roca) independientemente de su edad y de sus características constructivas.

Las diferencias en la distribución de daños observadas en Lorca junto con la geología particular de la ciudad, sugieren la presencia de efectos de suelo durante el sismo. (Fernández, 2015)

El día 7 a las 23:49 horas se suscitó 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 sintió 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.

La Ciudad de México —antes México Tenochtitlan— se estableció y se ha expandido en una cuenca cerrada (agua que no tiene salida natural), en la que originalmente existían cinco lagos: Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco. Esta condición, ha impuesto diversos retos a la ciudad y sus habitantes para aprovechar el agua y deshacerse de ella. “La ciudad convirtió un lago, en un suelo blando y compresible poco apto para sostener eficazmente el peso de los palacios que ha creado.”

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 sismo 19s, no fue el mismo en la zona asentada sobre los lagos, que en aquellas porciones que descansan sobre las partes altas. (Disponible en <https://agua.org.mx/wp.../ComunicadoPrensa-04-Ondas-sismicas-y-tipos-de-suelo.pdf>)

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 Macrosísmicas 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. (Chuy, 2000)

Los primeros trabajos sobre peligrosidad sísmica en Cuba fueron iniciados en la década del 60, y tuvieron como resultado final el mapa de "Sismicidad de Cuba" publicado en el Atlas Nacional de Cuba (Álvarez, 1970), basado en datos macrosísmicos, cuya recopilación y evaluación se comenzaba a realizar sistemáticamente en esos momentos. (Chuy, 2000)

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)

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 Mapa de Peligrosidad Sísmica de Cuba (con fines de la Norma Sismorresistente 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 (Chuy, 2002), siendo sacudida por más de 1000 sismos perceptibles desde el año 1528 hasta la fecha (Chuy, 2010).

A tales efectos se recuerdan en el municipio Santiago de Cuba y más específicamente en su ciudad cabecera, los grandes terremotos ocurridos el 3 de febrero de 1932, magnitud 6.75 en la escala Richter, intensidad sísmica de VIII MSK provocó la licuefacción de la calle La Alameda (Chuy, 1999) y el 8 de

agosto de 1947, donde se reportaron serios daños en la ciudad de Santiago de Cuba, fundamentalmente en los alrededores de la bahía (Chuy, 2002).

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 las provincias de Santiago de Cuba y Guantánamo, algunas de las más estudiadas en el territorio nacional.

El Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), 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 Caimanera, provincia Guantánamo, se han realizado encuestas (ANEXO 1) por parte del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI) y el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa ISMMM para precisar el nivel de intensidad tras sismos de diferente magnitud y de la percepción de la población a partir de los diferentes tipos de estructuras de sus viviendas.

-Cuba, rasgos sísmicos y tectónicos

Cuba se encuentra ubicada en una verdadera encrucijada geotectónica. En la región en la cual se encuentra el archipiélago cubano, interactúan todo un conjunto de placas tectónicas generando en la región una intensa actividad sísmica y que, en el caso particular, encuentra su máxima expresión en la región sur oriental del país. Estas características llevan a plantearse el problema práctico de la relación que tiene la tectónica de placas en la región Caribe-antillana con la frecuencia de la sismicidad en el territorio cubano.

La unidad tectónica oriental, es la de menor extensión y ocupa el sur de la región oriental del país incluyendo territorio de las provincias de Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo. La región de referencia en este caso es la ubicada en el territorio de la Sierra Maestra y la Sierra de La Gran Piedra y es de hecho una región de contacto con el sistema de fallas de Bartlett-Caimán.

Esa estructura tectónica es activa y tiene un potencial sísmico capaz de generar fenómenos geológicos de hasta una magnitud de ocho, razón por la cual movimientos telúricos en el orden de cuatro y cinco sencillamente nos expresan un incremento de la actividad sísmica; pero prácticamente no son determinante en el potencial de peligro de esa estructura. (Tomado de ecured)

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 fuertes reportados en el país han tenido su epicentro en Santiago de Cuba. Existen reportes en el municipio Santiago de Cuba, específicamente en su ciudad cabecera, el terremoto ocurrido el 3 de febrero de 1932 donde se reportaron serios daños en la ciudad de Santiago de Cuba, fundamentalmente en los alrededores de la bahía.

CAPITULO I. RASGOS FISICO-GEOGRAFICOS Y GEOLOGICOS DE LA REGION DE ESTUDIO

1.1 Ubicación geográfica

Caimanera es uno de los 10 municipios que componen la actual provincia de Guantánamo, se encuentra ubicada a 17 km del mismo, limitando al norte con él y con el municipio Manuel Tamez, al este con el municipio de San Antonio del sur, al sur con el Mar Caribe y al oeste con el municipio de Niceto Pérez. Al estar ubicada en la franja costera del sur de Cuba forma parte del llamado semidesierto cubano. Presenta suelos aluviales de arcillas sobre calizas y areniscas. El litoral está rodeado de un área cenagosa y manglares que han ido desapareciendo con el paso del tiempo. (Véase Figura 1.1)

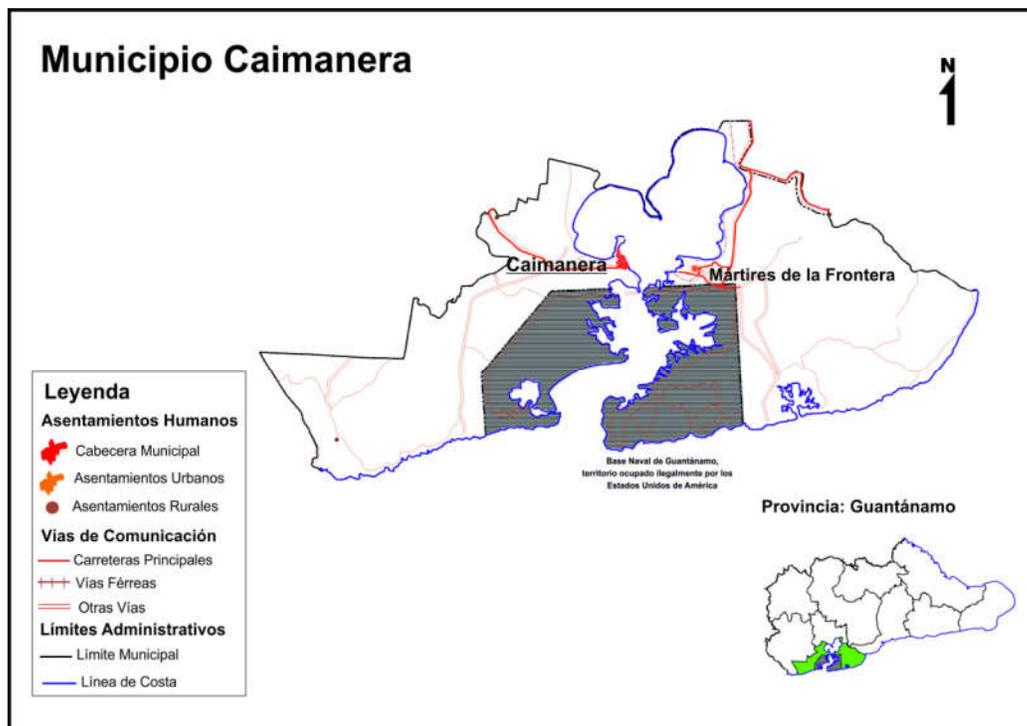


Figura 1.1. Mapa de ubicación geográfica del municipio Caimanera. Tomado del Instituto de planificación Física (IPF).

1.2 Geología regional y local

El municipio Caimanera se encuentra en el delta del río Guantánamo, está representado por las formaciones que aparecen en la Figura 1.2.

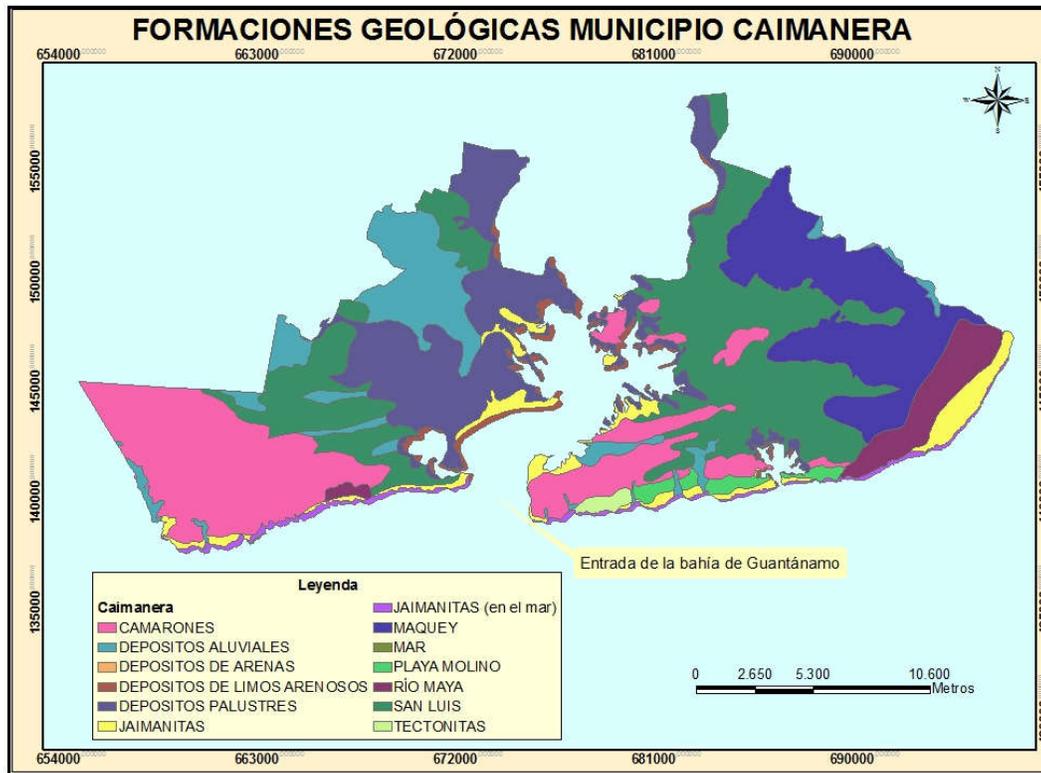


Figura 1.2 Formaciones geológicas del municipio Caimanera.

Formación Camarones: está constituida por conglomerados polimícticos, de cantos subredondeados y redondeados, y areniscas polimétricas, de grano grueso. La matriz del conglomerado es de composición arenosa y polimíctica. Estas litologías gruesas transicionan hasta areniscas de grano medio, pero mantienen su composición.

Formación Jaimanitas: calizas biotrácticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas, con contenido principalmente de conchas bien preservadas, corales de especies actuales y, ocasionalmente, biohermos. Los bolsones cársicos se encuentran en ocasiones rellenos por una fina mezcla carbonatico-arcillosa-ferruginosa, de color rojo ladrillo. Pasan a biocalcarenitas, de granulometría y estratificación variables o masivas. En mayor o menor cantidad, contienen fragmentos de sedimentos terrígenos, que incluyen calizas preexistentes. Es frecuente encontrar variaciones litofaciales y biofaciales. En general, la cementación es variable y en su superficie presenta un casquete recristalizado de evaporita y caliche combinados, de 1 m a 2 m de espesor, por debajo del cual, en ocasiones, la roca aparece

desintegrada, convertida en un material terroso. La coloración predominante es blancuzca, rosácea o amarillenta.

Formación Maquey: alternancia de areniscas, limolitas y arcillas calcáreas de color gris y margas de color blanco a crema, que contienen intercalaciones de espesor variable de calizas biodetríticas, arenáceas y gravelíticas de colores blanco amarillo y crema, ocasionalmente amarillo grisáceo. La estratificación es fina a media, menos frecuentemente gruesa o masiva. Algunos horizontes, particularmente de limolitas y calizas biodetríticas, son fosilíferos, en los que abundan grandes lepidocyclinas. Otros horizontes contienen yeso, lignito y restos vegetales lignitizados.

Formación Rio Maya: calizas biohémicas algáceas, coralinas y micríticas, muy duras, de matriz micrítica, frecuentemente aporcelanadas. Contiene corales en posición de crecimiento y fragmentarios, así como, subordinadamente, moldes y valvas de moluscos, todos recristalizados, entre los que hay abundancia del coral *Acropora prolifera*. Las calizas se encuentran frecuentemente dolomitizadas. El contenido de arcilla es muy variable. Hay abundantes clastos de material terrígeno, provenientes de las rocas de las zonas vecinas emergidas; su granulometría varía entre arenas y cantos. En ocasiones existen intercalaciones de conglomerados polimícticos de granulometría variable y cemento calcáreo. El color es blanco, amarillento, rosado o grisáceo.

Formación San Luis: está compuesta por una secuencia terrígena flyschoides, finamente estratificada, de rocas clásticas y terrígeno-carbonatadas, de granulometría variada desde arcillas hasta conglomerados. También contiene areniscas polimícticas de grano medio a fino, de color gris, que en ocasiones aparecen en capas gruesas; limolitas de color marrón-pardusco; limolitas calcáreas de color crema; lutitas calcáreas de color marrón, masivas; calizas micríticas arcillosas, de color beige; calizas biodetríticas, con abundantes foraminíferos bentónicos grandes; margas de color crema-blancuecino, que pueden pasar lateralmente a calizas. Las calizas presentan aspecto masivo, son laminadas y, en ocasiones, deleznales, con predominio de colores pardo y crema; están constituidas por calcita cripto a microcristalina, con contenido

de material arcilloso y de óxidos e hidróxidos de hierro. En algunos casos incluyen formas bentónicas, indicadoras de aguas someras de la zona sublitoral; en otras ocasiones sólo contienen formas planctónicas indicadoras de ambientes profundos. Esto último se aprecia principalmente hacia la parte más oriental del territorio. Asimismo, en las calizas se aprecian granos de plagioclasas, cuarzo, metálico, clorita y rocas efusivas.

Las secuencias terrígenas están constituidas por areniscas de grano fino y grueso, que transicionan a areniscas calcáreas por el aumento de material carbonatado. Éste se encuentra representado por fragmentos de calizas, de organismos y por un cemento del tipo de contacto, de calcita, generalmente recristalizada. El material terrígeno es muy variado, caracterizado por rocas efusivas básicas, medias y ácidas, rocas intrusivas, rocas arcillosas y granos de plagioclasas de diferente composición, clinopiroxenos, cuarzo y granos de metálico. Los organismos presentes son fragmentos de algas, foraminíferos planctónicos y bentónicos, raramente silíceos, y aisladamente se observan algunos formados por minerales fosfáticos. El cemento de estas rocas es de calcita, material criptocristalino no definido y zeolitas. (Léxico Estratigráfico).

1.3 Geomorfología regional

La provincia está formada por dos grandes regiones naturales: el Valle de Guantánamo, con relieve llano y una extensa Bahía de Bolsa catalogada como la tercera en superficie a nivel mundial. Presenta importantes ríos que conforman la tercera cuenca hidrográfica priorizada a nivel nacional, llamada Guantánamo - Guaso donde se concentra el 80 % de la población del territorio.

La zona de estudio presenta un relieve bastante llano, con alturas o restos de montañas, que alcanzan cotas de 25 m.s.n.m, en algunos lugares llegan hasta los 40 m. Su relieve suave y ondulado está formado por llanuras marinas cenagosas y algunas zonas premontañosas. El área que ocupa el poblado cabecero y sus alrededores es sumamente baja, con valores hasta 1 metro sobre el nivel del mar. (Fernández, 2015).

1.4 Características hidrogeológicas

El río Yateritas constituye un importante suministro de agua, desde aquí se bombea a la población para suplir las necesidades de la misma.

La estructura del complejo acuífero al que pertenece nuestra zona (Cuaternario Superior y Actual) tiene una potencia predominante que varía de 5-15 m y dirigiéndose al sur, hacia el mar se incrementa hasta 25 m.

La profundidad de yacencia de las aguas dentro de los límites de la región varía desde 0.5 y 1-3 m en la parte sur (hacia la bahía), y hasta 3-5 m y más al avanzar hacia el norte.

Generalmente por las particularidades hidráulicas de este complejo acuífero predominan las aguas subterráneas freáticas.

Se consideran los valores promedios de los gastos entre 3-5 l/s.

Los valores del nivel freático fluctúan desde 0,5 metros de profundidad hasta 3 metros en casos aislados, lo que nos indica que hay poca variación. (Vidal, 2010)

1.5 Características ingeniero – geológicas de la región

Dentro de los límites del territorio estudiado se distinguen dos capas: la primera capa está representada por los sedimentos actuales marinos (aQIV), están desarrollados a lo largo de la línea litoral, hasta la cota absoluta actual de 2 m, están representados por arcillas cienosas y cienos, presentan gran cantidad de restos orgánicos, su espesor es de 1.0-1.5 m, yacen principalmente sobre los sedimentos aluviales marinos. La segunda capa corresponde a los sedimentos aluviales marinos (am Q III), están extendidos en el área hasta las cotas absolutas actuales de 20-25 m. Se encuentran en el valle llano litoral- marino, en el curso inferior de los ríos. Yacen sobre la superficie accidentada horadada de las rocas de la Formación San Luis. Están representados por arcillas pesadas y limosas, laminares, a veces con intercalaciones de cienos, en la parte baja del perfil a menudo son arenosas, con intercalaciones de gravas, arenas, guijarros en el agregado arcilloso, en los sedimentos se encuentran restos de conchas, la potencia puede llegar en algunos lugares entre 4-6 m. (Plá, M y Arencibia, G, 2005).

1.6 Zona sísmica

De acuerdo con la Norma Sismorresistente cubana, aprobada en el 2017, Caimanera corresponde a la zona 5: riesgo sísmico muy alto en el territorio nacional que puede ocasionar daños graves en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima del terreno para el cálculo S_a estarán entre 0,80 - 1,00 g para periodos cortos (S_s) y entre 0,30 - 0,50 g para periodos largos (S_l).

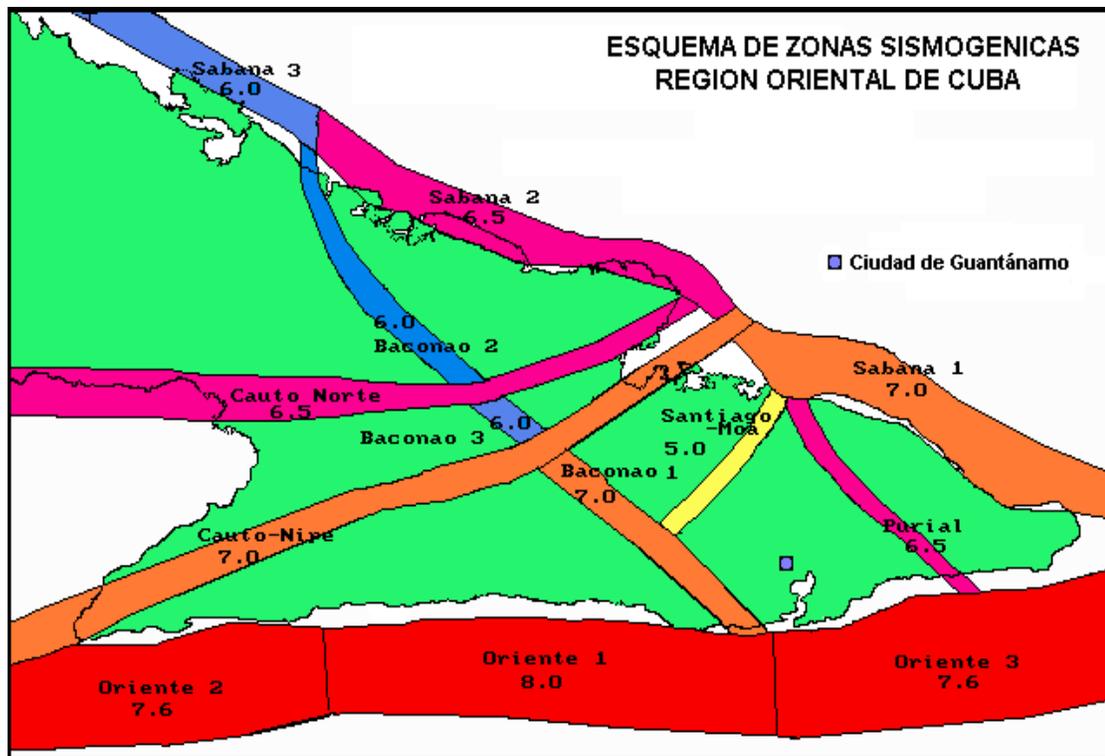


Figura 1.3 Zonas de origen de terremotos empleadas para evaluar la mayor influencia sobre la ciudad de Guantánamo (Chuy et al, 1997).

En la Figura 1.3 se valoran cuales zonas pueden generar magnitudes capaces de provocar efectos de sitio, licuefacción de los suelos, etc. Caimanera por su posición geográfica, también se ve influenciada por las zonas ORIENTE 1, ORIENTE 3, BACONAO 1, SANTIAGO-MOA y PURIAL. Siendo la zona de

mayores efectos ORIENTE 1, como se aprecia en la Tabla 1 según la magnitud y la intensidad.

Tabla 1: Valores de R – distancia en km, M – magnitud Richter, I intensidad en MSK, para el Terremoto Máximo de Cálculo TMC y el Terremoto de Proyecto TP. Fuente: Proyecto Caracterización del riesgo sísmico de la ciudad de Guantánamo, provincia Guantánamo.

Sismo	ZONAS	R	M	I
TMC	Oriente 1	59.0	7.5	8.5
	Oriente 3	58.0	6.2	7.0
	Baconao 1	37.2	5.2	7.0
	Santiago Moa	34.0	3.7	6.0
	Purial	40.9	5.2	6.5
TP	Oriente 1	59.0	6.9	8
	Oriente 3	58.0	4.6	6.0
	Baconao 1	37.2	5.0	7.0
	Santiago Moa	34.0	2.0	4.0
	Purial	40.9	5.0	6.0

De acuerdo con la magnitud correspondiente a la zona sismoactiva ORIENTE 1 $M=7,5$ y $6,9$ (según Tabla 1) se suponen daños en edificios, muros, derrumbes parciales, descontrol en personas que guían vehículos motorizados, etc. ya que se trata de un terremoto importante. Al valorar, por otro lado, la intensidad $I= 8,5$ y $8,0$ corresponde con construcciones especialmente diseñadas dañadas ligeramente, las que no se derrumban, pueden aparecer grietas en el suelo y daños en los cimientos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLÚMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

En este capítulo se expondrá la metodología aplicada en la investigación realizada para la microzonificación sísmica en el sector urbano del municipio Caimanera, provincia Guantánamo. 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 la Figura 2.1.

2.1. Búsqueda y análisis de bibliografía.

2.2. Metodología para la microzonificación sísmica.

2.3. Procesamiento de la información.

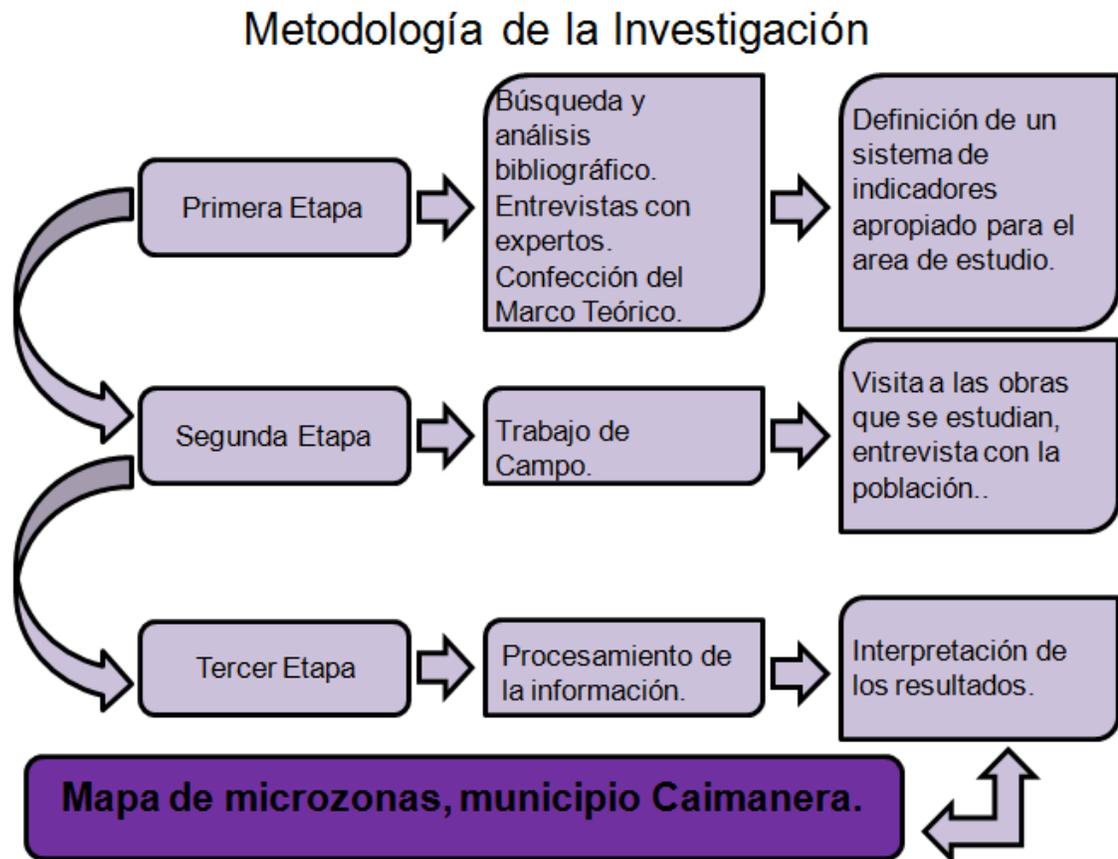


Figura 2.1. Metodología de la investigación.

2.1. Etapa de búsqueda y análisis de bibliografía

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) en Santiago de Cuba, 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 para el municipio.

2.2. Metodología para microzonificación sísmica

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.

En **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 de 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.

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. Para el estudio de **Zonificación Sísmico -Geotécnica del Distrito Santa María, Lima**, en Perú se utilizaron dos metodologías:

- Metodología en sísmica-registros de vibración ambiental, empleado para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo en la zona de estudio, utilizándose registros de vibración ambiental (micro trepidaciones) producido tanto por fuentes naturales como artificiales y la técnica de razones espectrales (H/V) propuesta por Nakamura en (1980). La información recolectada y su interpretación permiten conocer el periodo natural del suelo y el factor de amplificación, parámetros que definen el comportamiento dinámico del suelo ante la ocurrencia de un evento sísmico.
- Metodología en geotecnia, para el análisis geotécnico del área de estudio se hizo necesario realizar el cartografiado geológico y geomorfológico teniendo como base la información de estudios anteriores.

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.

En el caso del proyecto **“Mapa de Riesgo Sísmico de la Ciudad de Santiago de Cuba”** los diferentes resultados obtenidos en las diferentes etapas del proyecto fueron planificados y ejecutados de acuerdo al siguiente esquema (Véase Figura 2.2).

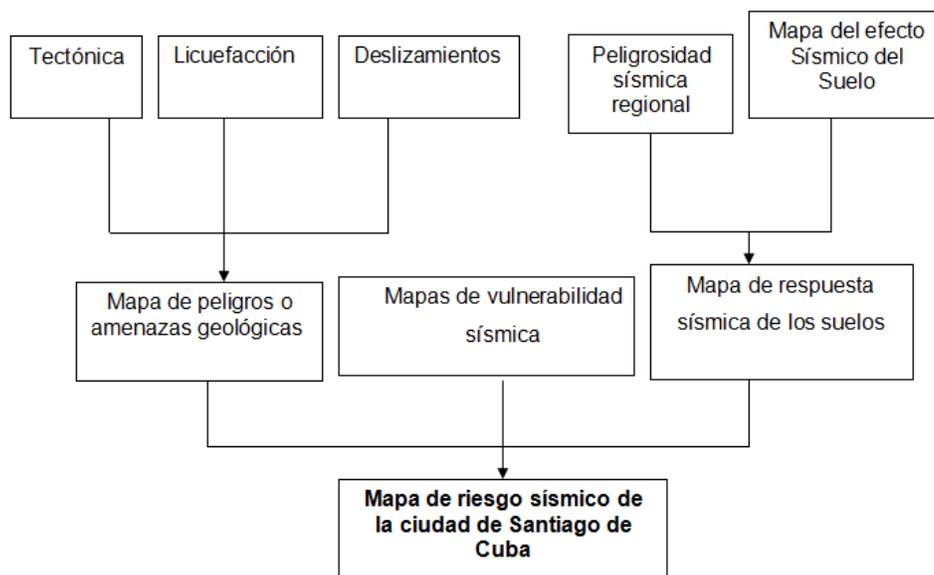


Figura 2.2 Esquema de planificación de las etapas de trabajo para el proyecto “Mapa de Riesgo Sísmico de la Ciudad de Santiago de Cuba”

De acuerdo con el interés de cada etapa de trabajo se utilizaron diferentes metodologías.

Desde el punto de vista metodológico, la evaluación de la licuefacción y los deslizamientos se realizó a partir de las metodologías más actuales, utilizadas en países con similares condiciones geológicas y sísmicas. En este sentido, se utilizó fundamentalmente el “Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards”, junto al cual se consideraron las experiencias obtenidas por el CENAIIS en la evaluación de estos fenómenos físico geológicos. Todo el procesamiento fue realizado de forma automatizada y su representación gráfica está georeferenciada, de manera que pueda ser compatible con un Sistema de Información Geográfica.

Para el proyecto se realizaron mediciones instrumentales de microsismos en la zona urbanizada de la ciudad de Santiago de Cuba.

Durante estas mediciones se utilizó un equipo de medición de microsismos de fabricación japonesa que consta de tres sensores de alta sensibilidad, uno vertical (Z) y dos horizontales (NS y EW) con período fundamental de 1 seg., un panel de amplificación con ganancia variable y un sistema de adquisición y procesamiento de datos y un software para la transformación de la información de formato analógico digital. Esto hace posible la realización del procesamiento preliminar en el dominio de la frecuencia durante las observaciones de campo, y el procesamiento definitivo en la fase de gabinete (cálculo de espectros de Fourier y de Potencia para diferentes ventanas temporales), para la estimación de los parámetros de la respuesta dinámica del terreno (amplitudes y períodos predominantes de las oscilaciones). Estas estimaciones resultan de gran importancia para realizar predicciones sobre los daños en los diferentes tipos de edificaciones según el período propio de oscilaciones y las condiciones geológicas del sitio de construcción de las mismas.

Por otra parte, el objetivo del proyecto **“Caracterización del riesgo sísmico de la ciudad de Guantánamo, provincia Guantánamo”**, estuvo orientado a lograr, con una red lo más regular posible, un cubrimiento de los diferentes sectores de la ciudad con las mediciones de microsismos de corto período,

que permitiera posteriormente cartografiar los resultados del análisis de los registros y correlacionarlos con los suelos existentes, la tectónica reciente y otros parámetros del subsuelo que tienen incidencia en los efectos sísmicos. Además, esta red regular posibilita durante los trabajos de evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico, comparar la respuesta de los suelos con la de las viviendas y otras edificaciones existentes en la ciudad, con un bajo nivel de error.

Para ello proponen la siguiente metodología:

1. Evaluación de la información ingeniero geológica de la ciudad compilada por Seisdedos et al (1984).
2. Valoración de la actividad sísmica de la provincia Guantánamo determinada por Chuy y Despaigne (2004).
3. Validación de la zona sismoactiva de mayor influencia sobre la ciudad determinada por Zapata et al (1996).
4. Generación de los acelerogramas sintéticos para la ciudad de Guantánamo tomando como zona sismoactiva principal la ORIENTE 1, descrita por Chuy et al (1997).

Realización y procesamiento de 198 puntos de mediciones instrumentales en tres componentes (N-S, E-W, Z), tomando como base los resultados obtenidos durante investigaciones realizadas por Zapata (1995) y posteriormente reevaluadas dentro del proyecto **“Caracterización e Impacto de las Amenazas Geodinámicas e Hidrometeorológicas en comunidades del municipio Guantánamo”** por (Zapata y Chuy, 2003).

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 sector urbano del municipio Caimanera, de

tal manera que a partir de ella se obtengan los parámetros específicos que debe cumplir el diseño estructural sísmo resistente.

Después de una detallada revisión de la bibliografía consultada se decidió conjugar los factores y criterios más empleados por los autores antes mencionados 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, ya que zonas más jóvenes (Cuaternario) 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 formaciones que pertenecen al Cuaternario principalmente al Holoceno, que son las representadas por el color amarillo en sus diferentes variantes.

-Sismicidad

Se analiza la cercanía con una zona sismogeneradora capaz de generar sismos fuertes o magnitud mayor de 5,5 y las aceleraciones de las partículas lleguen a ser iguales o superior $0,2g/cm^2$. En tal sentido se precisó de la norma: **Construcciones Sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción de Cuba de 2013**, en específico del mapa con la zonación de las aceleraciones esperadas para cada municipio de nuestro país, además de la tabla de peligro sísmico en las diferentes zonas del territorio nacional donde se muestra el periodo de recurrencia esperado, la aceleración sísmica y la zona sísmica a la que pertenece cada región.

-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 de origen lacustre que amplifica y alarga las ondas de los sismos, los hace más intensos y los vuelve más peligrosos; aluviales y deluviales, suelos tipo relleno y valles planos. Con este propósito se utilizó el Mapa Digital del Terreno donde se precisaron 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 o semisaturación de las rocas, lo que provoca un incremento en la amplificación de las ondas sísmicas. Para esto se precisó del mapa elaborado por (Fernández, 2015) y del informe final de proyecto **“Mapa de Riesgo Sísmico de la Ciudad de Santiago de Cuba”**.

-Condiciones ingeniero-geológicas

Para la valoración de este indicador se utilizaron los informes de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de las obras ubicadas en el sector urbano del municipio Caimanera. Se determinaron las principales características de los suelos que condicionan la amplificación sísmica, seleccionando para el presente estudio los siguientes:

- ✓ Densidad húmeda.
- ✓ Densidad seca.
- ✓ Límite líquido.
- ✓ Espesor.
- ✓ Saturación.
- ✓ Cohesión.
- ✓ Módulo de deformación
- ✓ Nspt: número de golpes/ 30 cm
- ✓ Granulometría.
 - Grava
 - Arena
 - Fino

2.3. Etapa de 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 sismorresistente.

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

En este capítulo se validarán los indicadores propuestos para la evaluación de la respuesta local del suelo, así como la relación con las condiciones ingeniero geológicas y se obtendrá un mapa que ilustra las zonas donde la respuesta del suelo supone un peligro para los pobladores y los diferentes sectores socioeconómicos del municipio Caimanera.

3.1. Condiciones ingeniero-geológicas del área de estudio

De acuerdo con los estudios realizados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de la provincia Santiago de Cuba en Caimanera para realizar obras constructivas dieron como resultado los principales tipos de suelos que se encuentran en el área. Se identificaron siete tipos de suelo a partir de la información de las calas realizadas. En la mayoría tres estratos. Fueron clasificados como:

SC: Arena arcillosa

CL: Arcilla de baja plasticidad

SM: Arena limosa

OL: Orgánico de baja plasticidad

GC: Grava arcillosa

GP: Grava limpia, mal graduada

CH: Arcilla de alta plasticidad

Teniendo en cuenta los suelos identificados se determinaron la representatividad de los mismos por capas y el porciento que representan de los suelos del municipio Caimanera.

Tabla 1: Principales suelos identificados en el municipio Caimanera.

Tipo de suelo	Capa 1	Capa 2	Capa 3	Total
SC	18.51	3.70	3.70	8.63
SM	7.40	3.70	40.74	17.28
GC	3.70	3.70	3.70	2.46
CL	59.25	40.74	3.70	34.56
OL	-	37.03	3.70	13.57
CH	-	3.70	3.70	2.46
GP	-	3.70	3.70	1.23

Las calas que permitieron la identificación de estos suelos poseen una profundidad que varía entre 1 metro y 8 metros.

Los 7 tipos de suelos identificados representan un 80,19 por ciento de los que aparecen en la superficie de Caimanera, imponiendo así, las características propias de los mismos, saturados o semisaturados, blandos, compresibles, lo que propicia la amplificación de las ondas sísmicas teniendo en cuenta el efecto de sitio.

Tabla 2: Velocidad de propagación de las ondas elásticas y la rigidez sísmicas de los suelos del territorio de Caimanera. Correlación a partir del libro Geología Aplicada a la ingeniería geodinámica aplicada a ingeniería de V. D. Lomtadze. Tomado de Fernández, 2015.

Tipo de suelos	Densidad, g/cm^3 γ	Velocidad de las ondas sísmicas, Km/s		Rigidez sísmica:	
		Longitudinales, V_p	Transversales V_s	$\gamma_p V$	$\gamma_s V$
SC. Depósito arenoso arcillosos con gravas y humedad natural	1.8 - 2.3	0.12 – 0.75	0.36 – 0.5	0.23 - 0.7	0.1 - 1.1
SM: Arena limosa no consolidado con algo de material orgánico	1.4 - 1.6	0.2 -1.0	0.1 - 0.7	0.3 - 1.6	0.2 – 1.1
CL. Arcilla limosa, con bolsones de $CaCO_3$ y pequeñas	1.45 - 1.9	0.3 - 0.7	0.1- 0.35	0.44-1.3	0.1 – 0.7

gravas, húmeda baja plasticidad					
CH: Arcilla de alta plasticidad	1.3-2.0	0.85-1.4	0.2-0.7	1.4-2.8	0.3-1.4
OL: Cieno Marino. Orgánico de baja plasticidad	1.16-1.7 5	0.3-1.0	0.1-0.7	0.5-1.7	0.2-1.2
GC: Grava arcillosa	1.8 - 2.3	0.12-0.75	0.36-0.5	0.23-1.7	0.3-0.8
GP: Grava limpia, mal graduada	1.8-2.2	0.8-1.0	0.3-0.6	1.4-1.6	0.5-1.3

Como se aprecia en la Tabla 2 los niveles de rigidez en las arcillas son bajos, lo que en la práctica representa un mayor movimiento del suelo. Por otro lado, la velocidad de propagación de las ondas en estos tipos de suelo es menor.

Al relacionar las condiciones ingeniero geológicas de los suelos identificados en el municipio Caimanera con sus propiedades físicas obtenemos su posible comportamiento sísmico. (Véase Tabla 3)

Tabla 3: Clasificación de los suelos según su comportamiento sísmico. NC 46-1999

Perfil tipo	Descripción
S1	Roca de cualquier tipo, sedimentaria o cristalina. Puede caracterizarse por una velocidad de propagación de la onda cortante mayor de 800 m/s.
	Suelos rígidos de un espesor menor de 60 m hasta la base rocosa, siempre y cuando los estratos superiores estén compuestos por

	depósitos estables de arenas, gravas o arcillas duras. Puede caracterizarse por una velocidad de propagación de la onda cortante entre 450 m/s y 750 m/s.
S2	Depósitos estables de suelos no cohesivos o arcillas duras. Los estratos superiores están compuestos por arenas, gravas o arcillas duras. Puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda de cortante entre 240 m/s y 450 m/s.
S3	Depósitos de arcillas blandas o medias y arenas con espesores de 10 m o más con o sin presencia de capas intermedias de arenas u otra clase de suelos no cohesivos. Puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda de cortante menor de 240 m/s.
S4	Depósitos de arcilla blanda con espesores mayores de 12 m. Puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda cortante menor que 150 m/s.

Los suelos que se identificaron para el municipio Caimanera se pueden asociar con los suelos S3 y S4 de la tabla anterior.

Habiendo definido los suelos del asentamiento poblacional del municipio Caimanera según su comportamiento sísmico, podemos estimar la variación de la intensidad tomando al granito como patrón referido así en la Tabla 4.

Tabla 4. 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 semirrocosas, macizos cristalinos formando capas potentes compactas, no intemperizadas y no agrietadas, estructuras magmáticas cristalinas	Disminuye 1 ó 2	0

	densas, formaciones sedimentarias de capas gruesas, metamórficas.		
2	Formaciones constituidas por capas menos compactas de rocas y semirrocas de gran potencia con yacencia normal o ligeramente plegadas, sin dislocaciones disyuntivas, no intemperizadas y no agrietadas.	Disminuye 1	0,7–1,1
3	Estratos potentes (no menos de 10 m) de suelo arcilloso seco con yacencia normal o plegada.	No varía	1,2–1,6
4	Estratos potentes (no menos de 10 m) de suelos densos granulares y compactos secos.	No varía	1,2–1,8
5	Capas de suelos rocosos y semirrocosos de escasa potencia (entre 1 y 2 m) que alternan con capas finas de sedimentos friables.	No varía o aumenta 1 en capas estratificadas	1,0–2,0
6	Capas alternas de suelos rocosos y semirrocosos con espesor inferior a 1 m, homogéneos, formando capas no muy potentes (entre 5 y 10 m). También	No varía o aumenta 1 en capas estratificadas	1,0–2,0

	suelos con variaciones faciales bruscas.		
7	Suelos friables de potencia considerable inundados con nivel freático mayor a 5 m.	No varía o aumenta 1 en capas húmedas.	2,0–2,5
8	Suelos friables de potencia considerable inundados con niveles freáticos menores que 5 m o casi en la misma superficie (entre 1 y 3 m).	Aumenta 1	1,6–2,4
9	Suelos friables de menor potencia (entre 5 y 10 m) inundados casi hasta la superficie (entre 1 y 3 m).	Aumenta 1 a 2	1,6–2,0
10	Sedimentos eluviales, rocosos, semirrocosos y arcillosos, semirrocosos en estado seco e inundados, convertidos en fragmentos angulosos. Formaciones friables areno arcillosas.	Aumenta 1 a 2	1,6–2,9
11	Suelos friables de escasa potencia (menos de 5 m) de capas finas (aluviales y deluviales), yacen sobre la superficie de formaciones compactas, se incluyen los contactos deluviales,	Aumenta 1 a 2	2,3–3,0

	aluviales y otros tipos.		
12	Suelos arcillosos pantanosos o muy húmedos (lechos de ríos, turberas), inundados de agua hasta la superficie.	Aumenta 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, se hace evidente que para los suelos en cuestión aumentará este factor de 1 a 2 debido, a que se trata de suelos saturados, con un nivel freático muy superficial.

Siendo CL (arcilla de baja plasticidad) el tipo de suelo predominante en las dos primeras capas supone una amplificación dinámica producto del contraste de la velocidad superficial del suelo con respecto a los depósitos más profundos. Entre mayor sea este contraste, mayor será la amplificación.

La Figura 3.1 muestra la distribución de los suelos identificados en la primera capa.

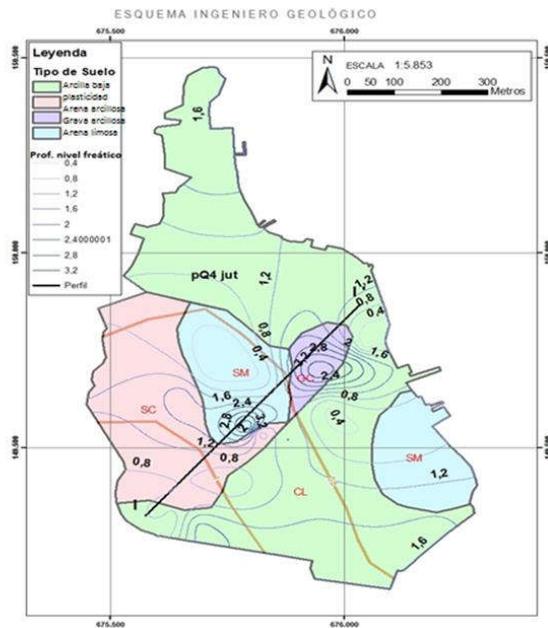


Figura 3.1 Esquema ingeniero geológico a partir del tipo de suelo. Tomado de Fernández, 2015.

El esquema muestra la distribución de los suelos encontrados en la capa 1. En el centro de la ciudad, se identificaron los suelos: SC (arena arcillosa), y SM (arena limosa); siendo la predominante, en esta parte de la ciudad, la SC, este tipo de suelo junto al SM se clasifican como peligrosidad media dado el contenido de arcilla. Los suelos clasificados como CL (arcilla de baja plasticidad) tienen los menores valores de densidad, la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y la rigidez sísmica. Por último, la menor peligrosidad está dada por el suelo tipo GC (grava arcillosa).

La capa 2 fue cortada entre los 2.45 m y 5,35 m aproximadamente, está representada en su mayoría por sedimentos no consolidados, arcillas compresibles arenosas de baja plasticidad, color carmelita oscuro, saturada con abundante materia orgánica, cieno de consistencia muy blanda identificado como CL (arcilla de baja plasticidad), y cieno orgánico, saturado, no consolidado de color gris azulado con olor putrefacto y abundantes fósiles marinos, identificados como OL (orgánico de baja plasticidad).

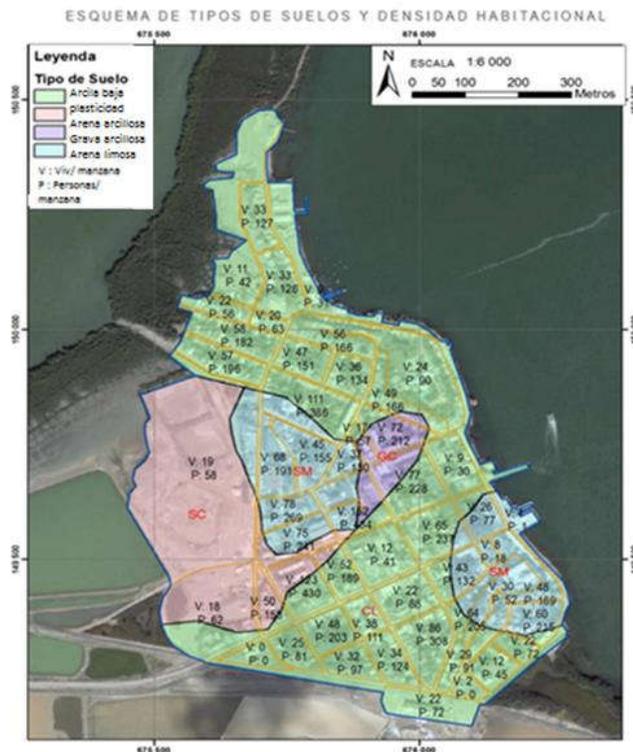


Figura 3.2 Esquema de tipos de suelos y densidad habitacional de la ciudad de Caimanera. Tomado de Fernández, 2015.

Si conjugamos la distribución de los suelos, con la densidad poblacional obtenemos la Figura 3.2, que muestra donde existe más asentamiento poblacional para cada tipo de suelo. Sobre CL (arcilla limosa o arcilla de baja plasticidad) es donde aparecen más construcciones, lo que le confiere mayor afectación por amplificación de las ondas sísmicas durante la ocurrencia de un sismo fuerte.

De acuerdo con los informes de la ENIA en la zona de estudio no existen tantas edificaciones, sino viviendas, lo que es más favorable si se tiene en cuenta que en los edificios es donde se reportó la mayor perceptibilidad, los mismos presentan asentamientos diferenciales y malas condiciones por falta de mantenimiento, tal es el caso de los edificios 15 y 28.

3.2. Indicadores asociados con los efectos sísmicos en el municipio Caimanera

3.2.1 Geología

El municipio Caimanera se encuentra en el delta del río Guantánamo, está representada por sedimentos Cuaternarios donde se destacan suelos cohesivos, poco friables y órgano detrítico con alto grado de saturación. Son suelos arcillosos de granulometría fina, además de abundantes depósitos aluviales.

El ***Léxico Estratigráfico de Cuba*** sugiere los siguientes ambientes de sedimentación:

-La base de la formación sugiere una deposición en un ambiente sublitoral de moderada energía, con desarrollo coralino limitado que no llegó a formar barreras arrecifales. Marginalmente parece haber existido un ambiente lagunar con carácter muy local. La parte alta de la formación refleja oscilaciones marinas desde sublitoral a lagunar con influencia fluvial y áreas de pantano.

-Inicialmente la sedimentación ocurrió en aguas marinas profundas, finalizando en aguas de mediana a poca profundidad.

3.2.2 Sismicidad

Los sismos que han sido registrados en el territorio 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, dígase 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 (Tabla 3). La multiplicación de la velocidad de propagación y la densidad da como resultado la rigidez sísmica. En las gravas existen altos niveles de rigidez, mientras que en las arcillas son bajos lo que sugiere que el movimiento del suelo será mayor. Las características de los suelos de Caimanera, blandos, compresibles, saturados, suponen; la intensidad sísmica aumenta en terrenos blandos, amplificación al transmitirse hacia la superficie a través de los estratos de arcillas sumamente compresibles, la amplificación en arcillas blandas puede ser el doble que en gravas o en arenas compactas, rocas saturadas y semisaturadas amplifican la señal sísmica, al llegar la onda sísmica a un suelo blando aumenta la aceleración y el periodo, los materiales más blandos tienen velocidades de propagación de las ondas menores.

Según los datos de la Norma de Construcciones Sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción. Cuba, propuesta en 2013 y aprobada en 2017, en el municipio Caimanera puede ocurrir aceleraciones de 0,261g para una probabilidad del 10%, en un período de retorno de 475 años.

No.	Provincia	Municipio	c_mun	S ₀ (g)	S _s (g)	S ₁ (g)	TL(s)	Zona
150	Santiago de Cuba	Contramaestre	1301	0.280	0.538	0.214	8.0	4
151	Santiago de Cuba	Mella	1302	0.277	0.514	0.203	8.0	4
152	Santiago de Cuba	San Luis	1303	0.316	0.619	0.257	7.0	4
153	Santiago de Cuba	Il Frente	1304	0.241	0.472	0.200	8.0	3
154	Santiago de Cuba	Songo-La Maya	1305	0.352	0.806	0.321	7.0	5
155	Santiago de Cuba	Santiago de Cuba	1306	0.513	1.035	0.428	6.0	5
156	Santiago de Cuba	Palma	1307	0.335	0.662	0.267	7.0	4
157	Santiago de Cuba	III Frente	1308	0.324	0.634	0.248	7.0	4
158	Santiago de Cuba	Guamá	1309	0.376	0.867	0.328	7.0	5
159	Guantánamo	El Salvador	1401	0.273	0.533	0.228	8.0	4
160	Guantánamo	Guantánamo	1402	0.267	0.529	0.213	8.0	4
161	Guantánamo	Yateras	1403	0.228	0.408	0.176	9.0	3
162	Guantánamo	Baracoa	1404	0.207	0.406	0.151	10.0	3
163	Guantánamo	Maisí	1405	0.234	0.450	0.187	10.0	3
164	Guantánamo	Imías	1406	0.244	0.453	0.189	10.0	3
165	Guantánamo	San Antonio del Sur	1407	0.243	0.590	0.210	9.0	4
166	Guantánamo	Manuel Tames	1408	0.257	0.551	0.218	9.0	4
167	Guantánamo	Caimanera	1409	0.396	0.801	0.326	8.0	5
168	Guantánamo	Niceto Pérez	1410	0.433	0.875	0.359	7.0	5
170	Isla de la Juventud	Isla de la Juventud (Mun. Esp.)	1501	0.044	0.096	0.023	3.0	1

Figura 3.3 Recorte de la Tabla de principales localidades ubicadas en las diferentes zonas sísmicas del territorio nacional. NC 46- 2017 Norma sísmica.

En enero de 2016, tras el enjambre sísmico que sacudió a Santiago de Cuba y a sus alrededores, Caimanera fue uno de los municipios que reportó la percepción de algunos de los sismos. Un grupo de ingenieros del ISMMM en conjunto con el CENAIIS, quien elaboró la encuesta, se dieron la tarea de 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. (Tabla 5)

Tabla 5: Resultados de la encuesta.

Fecha y Hora Sismo	Observación	Estructuras estudiadas	Mayor percepción	Ubicación
17-01-16 (1.37 am)	Perceptibles 4 sismos (4.8, 4.6, 4.7, 4.0), sentidos por el 80 % de la	Gran panel Soviético –IV, los E-14, biplanta de mampostería,	Edificios GP-IV, los mismos se encuentran en mal estado	Centro de caimanera desde el parque hasta los límites de la salina.

	<p>población, despertados por el movimiento de la cama y el ruido sordo como de camión a lo lejos, movimiento de los cables de la corriente y de teléfono, los asientos, cómodas y objetos encima y de autos en estado de reposo.</p>	<p>Sandino, casas de mampostería con cubierta ligera (zinc y fibro cemento), casas de mampostería con cubierta de placa y casa de madera.</p>	<p>constructivo por falta de mantenimiento . De los edificios hay dos que presentan problemas de asentamiento diferencial: edificio 12 y 15 y el 28 de estructura. También se sintió en casas de cubierta ligera.</p>	
<p>18-01-16 (10.10 pm)</p>	<p>Sismo (4.0) el mismo fue sentido por el 70 % de la población. Se sintió un ruido sordo como de camión a lo lejos. Se sintió el movimiento de las camas y de los asientos.</p>	<p>Gran panel Soviético –IV, los E-14, biplanta de mampostería, Sandino, casas de mampostería con cubierta ligera (zinc y fibro cemento), casas de</p>	<p>Edificios GP-IV, los mismos se encuentran en mal estado constructivo por falta de mantenimiento . De los edificios hay dos que presentan problemas de</p>	<p>Centro de Caimanera desde el parque hasta los límites de la salina.</p>

		mampostería con cubierta de placa y casa de madera.	asentamiento diferencial: edificio 12 y 15 y el 28 de estructura. También se sintió en casas de cubierta ligera.	
20-01-16 (10.10 pm)	Movimiento de muebles y objetos encima de las mesas.	Edificios gran panel Soviético –IV, edificios E-14, biplanta de mampostería, construcción Sandino, casas de mampostería con cubierta ligera (zinc y fibro cemento), casas de mampostería con cubierta de placa y casa de madera.	Edificios GP-IV, los mismos se encuentran en mal estado constructivo por falta de mantenimiento .	Centro de la ciudad.
21-01.16 (3.12 pm)	Se sintió en la universidad de Guantánamo por personas	Se sintió en la universidad de Guantánamo	Edificios GP-IV, los mismos se encuentran en	Centro de la ciudad.

	que se encontraban de pie. Se pudo apreciar el movimiento de muebles, mesas, floreros y TV.	por personas que se encontraban de pie. Se pudo apreciar el movimiento de muebles, mesas, floreros y TV.	mal estado constructivo por falta de mantenimiento	
24-01-16 (8.10 am)	Sismo de magnitud 3.7 con epicentro a 35 Km de Playa Berraco. El mismo fue sentido por gran parte de la población cerca de un 80 %. Movimiento de varios objetos.	Se sintió en la universidad de Guantánamo por personas que se encontraban de pie. Se pudo apreciar el movimiento de muebles, mesas, floreros y TV.	Se sintió desde Loma Norte hasta Loma Sur, los sectores de mayor estabilidad por el tipo de suelo donde se encuentran emplazados. Se puede decir que se sintió en todo el municipio Caimanera y áreas aledañas como los poblados de La Glorieta, Cayamo y Mártires de la Frontera.	Casi toda la ciudad.

De forma general las zonas de mayor percepción se ubican en el centro de la ciudad más hacia el suroeste, siendo los edificios GP- IV donde más se sintieron los efectos de los sismos.

La Figura 3.4 muestra los sismos registrados por las estaciones sismológicas cubanas entre los años 1998 y 2016.

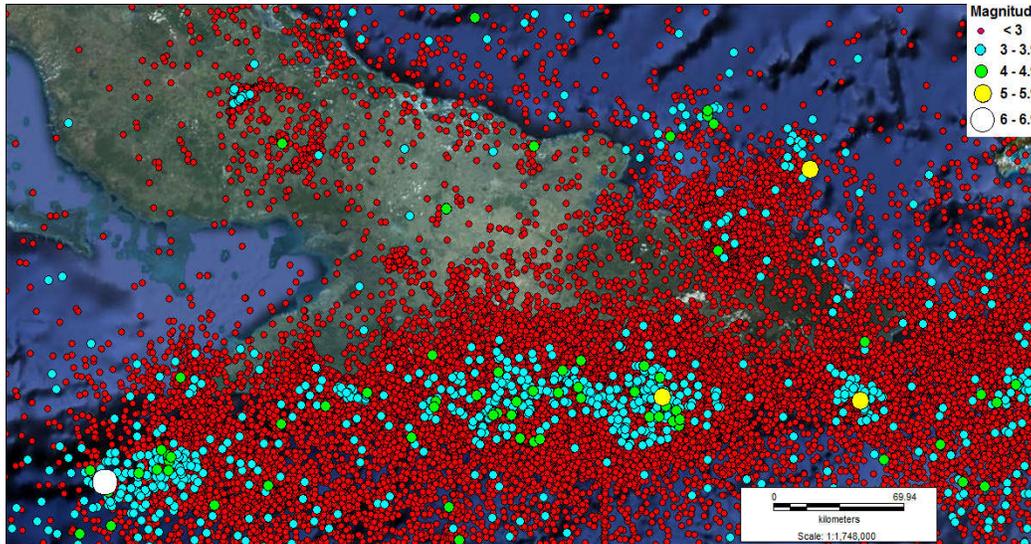


Figura 3.4 Sismos registrados desde 1998-2016. Fuente Informe del CENAIIS

Durante el 2016 el municipio Caimanera reportó la perceptibilidad de varios eventos sismológicos, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6: Sismos perceptibles en Caimanera en 2016.

Fecha	Profundidad	Magnitud (escala Richter)	Ubicación
20 de enero de 2016	5 km	4.0	42 km al SW de Santiago de Cuba
21 de enero de 2016	5 km	4.3	40 km al SW de Santiago de Cuba.
23 de enero de 2016	5 km	4.1	

24 de enero de 2016	5 km	3.7	28 km al SW de Caimanera
25 de enero de 2016	5 km	4.7 y 4.3	40 km al SW de Santiago de Cuba
14 de septiembre de 2016	20 km	3.9	

La percepción de la población fue, un ruido sordo como de camión a lo lejos, movimiento de las camas y de los asientos, movimiento de los cables de la corriente y de teléfono, los asientos, cómodas y objetos encima y de autos en estado de reposo. La intensidad determinada para estos sismos fue de III (percibida por algunas personas en el interior de los edificios, similar al paso de un camión ligero), y IV (percibido por muchos en el interior de los edificios, no atemoriza, vibran ventanas, muebles y vajillas, similar al paso de un camión pesado) en la escala MSK (Anexo 6).

Al relacionar las Tablas 5 y 6 es evidente que el sismo del 24 de enero de 2016 fue sentido por toda la ciudad, tanto en edificios gran panel IV, 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, los sismos que ocurrieron a mayor distancia fueron sentidos principalmente por edificios de 4 plantas ubicados en la parte central del municipio, la cual posee las características de suelo tipo relleno.

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 Díaz, 2009)

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

La resonancia causa, aumento de la oscilación o balanceo de la estructura, y si el sismo tiene suficiente duración la amplificación de movimiento del terreno puede resultar en daños graves o destrucción de la edificación. (Suárez Díaz, 2009)

Otro factor importante es la frecuencia, los edificios más altos tienden a ser más flexibles y por lo tanto tienden a tener frecuencias naturales de vibración menores.

La regla general para el cálculo de la frecuencia natural de un edificio es:

$$F_n = 10/n$$

donde n, es el número de pisos.

La Tabla 7 presenta algunas estructuras y su respectiva frecuencia natural.

Tabla 7: Relación entre la cantidad de pisos de una estructura y su frecuencia. Tomado de (Suárez Díaz, 2009)

Estructura	Frecuencia natural (Fn)
Edificios de un piso	10
Edificios de 3 y 4 pisos	2
Edificios altos	0.5 y 1.0
Edificios muy altos	0.17

3.2.3 Geomorfología

Caimanera posee un relieve mayormente llano con pendientes moderadas hacia el sur, un suelo pantanoso de arenisca y arcillas, un clima semidesértico con temperaturas altas y escaso régimen de lluvias.

Se ubican en Caimanera Loma Norte y Loma Sur, con pendientes moderadas, no poseen las condiciones ingeniero geológicas más favorable para la amplificación de las ondas sísmicas, dentro del municipio, pero pudieran suceder deslizamientos asociados a la propia ocurrencia de un terremoto, lo que representaría daños a la población, ya que existen construcciones, dígame,

viviendas, muros, tanques de agua y corrales de animales, muy cercanos a la pendiente de ambas morfologías.

3.2.4 Profundidad del nivel freático



Figura 3.5 Esquema de profundidad del nivel freático en el municipio Caimanera, provincia Guantánamo. Tomado de Fernández, 2015.

En la zona de estudio la profundidad del nivel freático varía desde 0,5 metros de profundidad hasta 3 metros en casos aislados, mostrando poca variación. (Véase Figura 3.5) Esto indica que nos encontramos en presencia de rocas saturadas y semisaturadas lo que provoca la amplificación de las ondas

sísmicas y una disminución en la velocidad de propagación de las mismas lo que representa una mayor peligrosidad.

3.2.5 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 3.6) que muestra los sectores del municipio Caimanera donde la señal sísmica puede verse amplificada a causa de los indicadores analizados anteriormente.

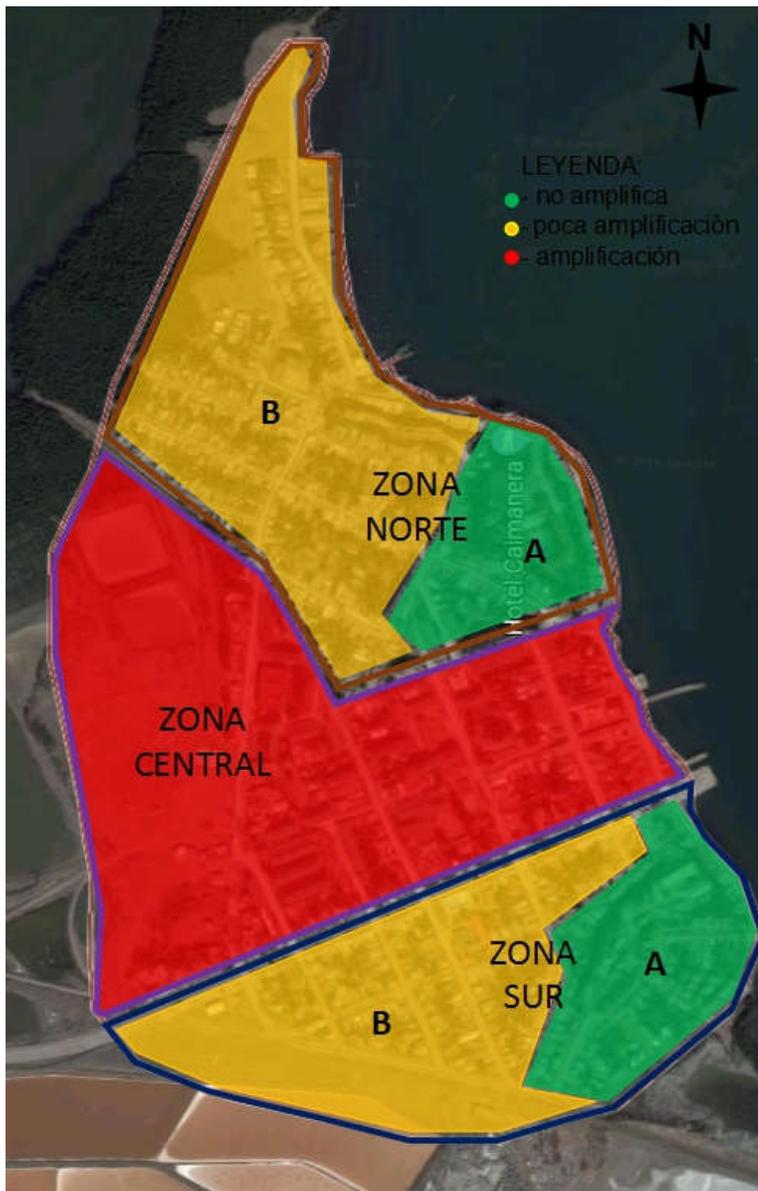


Figura 3.6 Esquema de las microzonas para el municipio Caimanera.

Este esquema presenta tres zonas principales, determinadas por las condiciones ingeniero geológicas de la región de estudio: zona norte, zona central y zona sur:

Zona Norte: las formaciones más representativas de esta zona, de acuerdo con los informes ingeniero-geológicos de la ENIA para la construcción de obras en esta parte del municipio son: Maquey, que presenta aquí más distribución que en otras zonas, está constituido por potentes alternancias de areniscas y aureolitas polimícticas de cemento calcáreo, a veces arcillosas. La formación San Luis posee sedimentos del Paleógeno, entre los que se destaca una gran variedad de rocas, clásticas, terrígenas, carbonatadas, de granulometría variada, desde las arcillas hasta los conglomerados. En esta zona predomina mayormente un relleno heterogéneo, color carmelita, constituidos por una mezcla de arcillas de baja plasticidad CL (arcilla de baja plasticidad), que es sobre el que más asentamiento poblacional existe, con arena y algunos fragmentos de rocas, arcilla muy plástica CH (arcilla de alta plasticidad).

Las observaciones realizadas en esta zona sugieren una subdivisión A y B, para ilustrar mejor cada una de ellas se realizó una columna estratigráfica litotipo que muestra las diferencias entre las dos subdivisiones.

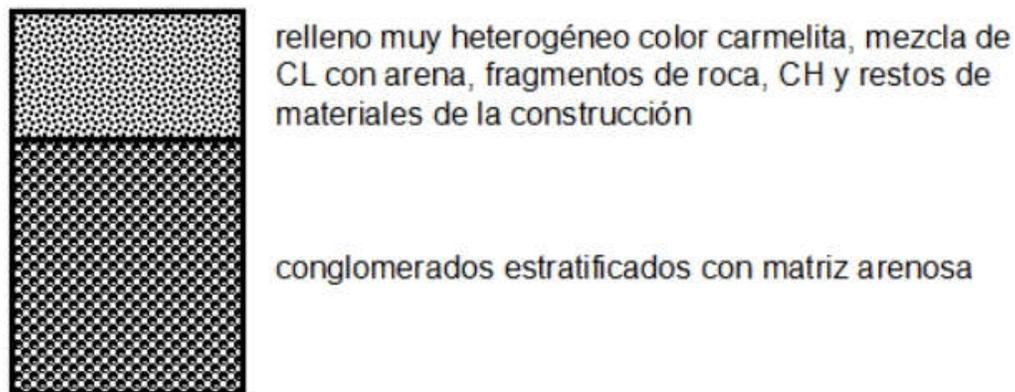


Figura 3.7 Columna litotipo del Hotel Caimanera, espesor 1,00 a 1,20 m.

A: el Hotel Caimanera (Figura 3.7) es el mejor ejemplo para ilustrar la Zona Norte A, la columna litotipo de esta obra muestra en la primera capa un relleno muy heterogéneo, constituido por una mezcla de arcilla de baja plasticidad CL,

con arena y algunos fragmentos de rocas, arcillas muy plásticas CH y restos de materiales de la construcción, dicha capa posee un espesor promedio de 0,46 m. La segunda capa está representada por conglomerados estratificados de matriz arenosa que alcanzan profundidades de 10 m. El por ciento de grava supera en este caso al de arena y al de fino. No se cortó el nivel freático.

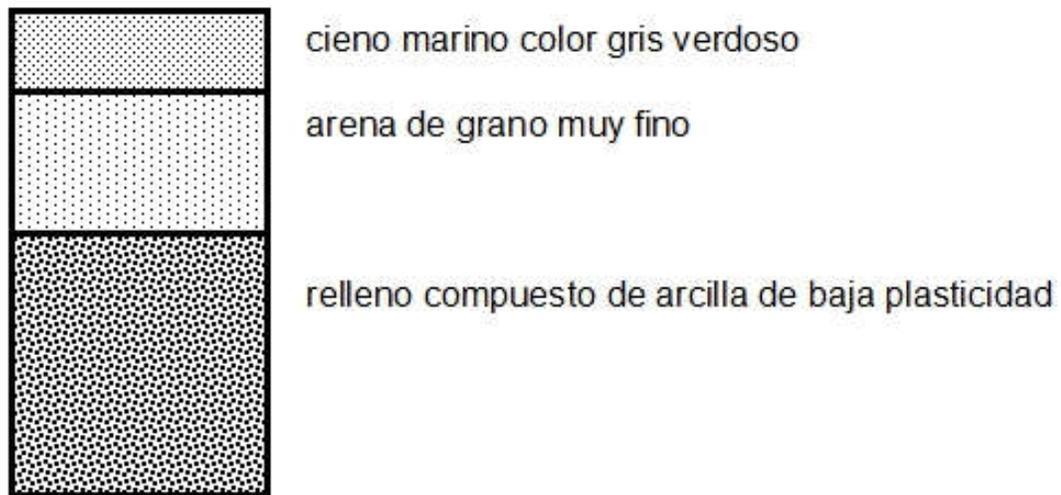


Figura 3.8 Columna litotipo del Círculo Infantil, espesor 25,00 m.

B: el Círculo Infantil (Figura 3.8) representa las características de la Zona Norte B, la columna litotipo para esta obra está compuesta primeramente por un cieno marino muy húmedo con restos de conchas y caracoles, seguido por una arena de granos muy finos con contenido arcilloso y húmeda, y por último, un relleno compuesto de arcilla de baja plasticidad. La saturación de estas rocas es de 94 por ciento, este valor tan alto de va a influir positivamente en la amplificación de las ondas sísmicas.

Una de las diferencias más notables entre las dos subzonas es el porcentaje de finos, en la subzona B estos valores son mayores, mientras que en la A varían alrededor del 3 por ciento. El porcentaje de arcilla o finos va a determinar en cierta medida la peligrosidad del suelo. Esto indica que la Zona Norte B presenta características más favorables para la amplificación de las ondas sísmicas que la Zona Norte A representada en la Figura 3.9.



Figura 3.9 Fotos de la Zona Norte A, donde se encuentra emplazado el Hotel Caimanera.

Zona Central: En esta zona se identificaron suelos tipo relleno de arenas arcillosas SC (arena arcillosa) poca compacta, muy húmeda, de baja resistencia debido a las cercanías del nivel de las aguas subterráneas, también, sedimentos no consolidados representados por arcillas compresibles, saturadas con abundante materia orgánica, cienos orgánicos de consistencia muy blanda, saturados de origen marino, y sedimentos no consolidados, arcillas compresibles arenosas de baja plasticidad CL (arcilla de baja plasticidad) saturadas. Estas características suponen un incremento en la intensidad entre 1 y 2. Entre las obras que pudieran verse más afectadas están: Terreno de Beisbol, Viviendas en la Zona Deportiva, Servicentro y Sede Universitaria, así como los edificios Gran Panel IV que no poseen un diseño adecuado para estar localizados en una zona con tales características sísmicas. Los mismos reportaron fuerte perceptibilidad, principalmente los ubicados al centro de la ciudad, estos son de 4 plantas y fueron construidos con longitudes que corresponden con 2 y 3 cajas de escaleras. Este sistema constructivo no tiene un diseño adecuado para ser emplazados en zonas con las características sísmicas de esta región. La zona de emplazamiento es llana con un subsuelo formado con una gruesa capa de cieno marino con intercalaciones de estratos de arenas finas y de otros materiales, teniendo pésimas cualidades para cementar sobre él.

De acuerdo con investigaciones llevadas a cabo por la ENIA, resulta evidente que algunos de los edificios Gran Panel IV han sufrido asentamientos totales y

diferenciales notables. Además, se observan paneles agrietados (Figura 3.10), juntas entre paneles abiertas y deterioro por corrosión del refuerzo de algunos elementos. Junto a los efectos de los asentamientos dichos edificios se ven afectados por la ausencia de una adecuada solución de drenaje del área exterior circundante y los defectos acumulados del sistema de instalaciones hidráulica y sanitaria, lo que está produciendo una abundante acumulación de agua alrededor de los mismos.



Figura 3.10 Grietas observadas en las edificaciones en la zona central del municipio.

Los tipos de suelos identificados poseen condiciones para licuar ante la ocurrencia de sismos fuertes. En esta parte de la ciudad fue donde se registró mayor perceptibilidad. Dada las características de esta zona, considero es, donde la respuesta del suelo pudiera causar mayores estragos.

Zona Sur: según los informes de la ENIA en esta zona fueron identificadas calizas órgano - detríticas masivas, cavernosas, duras pertenecientes a la formación Jaimanitas. La geología de está representada mayormente por potentes alternancias de arenas, arcillas y cienos arenosos, suelos friables de

granos de distintos tamaños de color gris y castaño. El tipo de suelo predominante es el CL (arcilla de baja plasticidad). Este suelo fue identificado como probable para licuar. La conjugación de todas las características de la zona permite plantear que no será la más afectada por la respuesta del suelo ante un sismo de gran magnitud. (Figura 3.11) (Anexos 4 y 5)



Figura 3.11 Fotos de la Zona Sur, escuela Wilfredo Gonce y construcciones próximas al talud.

Las características propias de la zona precisaron subdividirla en Zona Sur A y Zona Sur B.

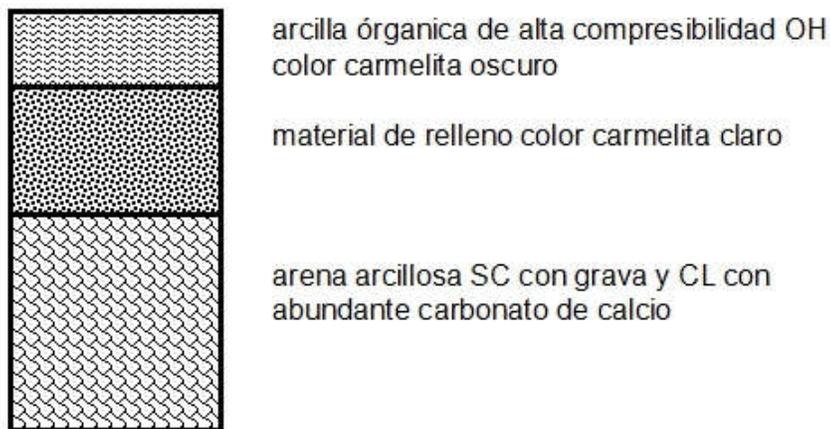


Figura 3.12 Columna litotipo de la ampliación de la escuela Wilfredo Gonce, espesor de 4,95 m.

A: la columna litotipo de la ampliación de la escuela Wilfredo Gonze (Figura 3.12) (Anexo 3) resume las características de la Zona Sur A, la capa uno posee cobertura vegetal, está constituida por una arcilla orgánica de alta compresibilidad, color carmelita oscuro de aproximadamente 0.20 m. Le sigue un material de relleno formado por CL de color carmelita oscuro con abundante carbón vegetal y un espesor de 0.44 m. El último estrato cortado por la cala está representado por arena arcillosa SC con grava y CL con abundante carbonato de calcio. El valor de N_{spt} es de 36 lo que determina la compactación del estrato, a mayor valor de N_{spt} , estrato más compacto, y a menor valor estrato menos compactos y más sueltos, en este caso el estrato es compacto. El de saturación es de 62 por ciento.

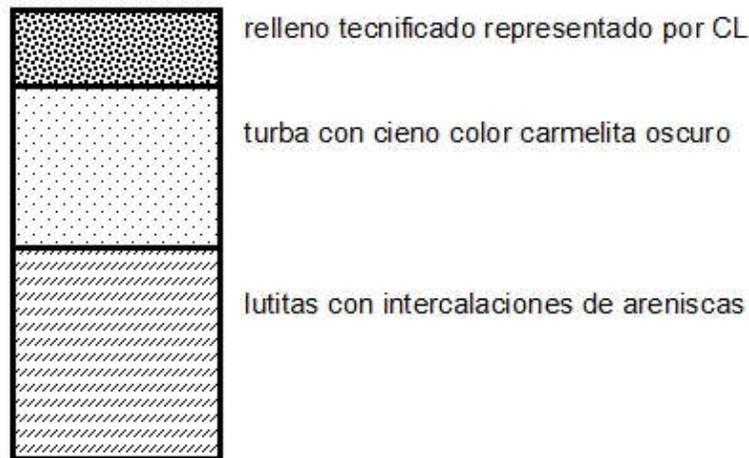


Figura 3.13 Columna litotipo de la obra Viviendas El Cañito, espesor de 3,15 a 5,10 m.

B: la primera capa de esta zona, representada en la Figura 3.13, relleno tecnificado representado por CL, posee un espesor de 1.84 m, una saturación del 50 por ciento, un N_{spt} de 19, y un porcentaje de fino de 51, la segunda capa, turba con cieno color carmelita oscuro y abundante materia orgánica en descomposición, presenta un espesor que varía entre 5.20 m y 1.10 m, una saturación del 99 por ciento, un N_{spt} de 3, y un 87 por ciento de fino, contando solo con un 1 por ciento de grava. La última capa que fue cortada por la cala está representada por lutitas con intercalaciones de areniscas. En esta subzona el porcentaje de fino varía entre 51 y 87, la cohesión aumenta entre

los estratos, lo que significa una mayor representación de las arcillas convirtiendo la Zona Sur B, en peligrosa ante la ocurrencia de un sismo.

La diferencia entre ambas subzonas radica en los cambios de las propiedades físico mecánicas, para el caso de la subzona A estos valores están en función de suelos con mayor por ciento de grava, menos saturados, más densos, con menores valores del módulo de deformación y más compactos. Por el contrario, para la subzona B, los valores de densidad son menores lo que disminuye la velocidad de las ondas sísmicas, los suelos de esta división llegan a alcanzar un 99 por ciento de saturación, parámetro positivo para la amplificación de las ondas de un sismo. El módulo de deformación es mayor, con respecto a la subzona A, posee N_{spt} alrededor de 3 golpes/cm, significando la poca compactación de los suelos aquí, el por ciento de fino supera a los de grava con valores de hasta 87. Por estos motivos es fácil suponer que de ambas subzonas la B presenta mayores posibilidades de amplificación de las ondas sísmicas.

De forma general este estudio se ha realizado teniendo en cuenta sismos moderados, 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 lacustre, resulta evidente la amplificación y alargamiento de las ondas sísmicas, convirtiendo a los terremotos en más intensos y peligrosos. Los suelos de Caimanera poseen gran parte de estas características, esto, unido a su ubicación sísmo 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.

3.3. Medidas para mitigar los posibles daños ocasionados por un sismo en el sector urbano del municipio Caimanera

No todas las construcciones reaccionan de la misma forma ante un sismo, su comportamiento puede variar significativamente de un sitio a otro debido a cambios específicos en las condiciones del suelo; razón que explica de cierta

forma por qué, luego de la ocurrencia de un terremoto se pueden observar estructuras seriamente dañadas próximas a otras que no sufrieron daños tan graves. Esto ocurre debido al efecto de sitio y a que su respuesta va a depender de la magnitud de las fuerzas sísmicas inducidas.

Si bien son importantes las características de los suelos a la hora de decidir dónde y cómo se va a construir, también lo es el tipo de estructura que se emprenderá en dicho sitio. Un buen trabajo ingeniero geológico debe ir seguido de una buena propuesta de diseño estructural sismoresistente.

Primeramente, para ubicar cualquier construcción es necesario elegir los terrenos con las condiciones ingeniero geológicas menos favorables para la amplificación de las ondas sísmicas, dígase: relieve predominantemente llano, constituido por suelos rocosos, semirrocosos y detríticos gruesos. El nivel de las aguas subterráneas debe de estar a una profundidad considerable, al menos por debajo de las 20 m. Los terrenos más desfavorables serían aquellos con características de suelos tipo relleno, que se inundan, suelos no consolidados, suelos de origen lacustre.

Luego de haber seleccionado el terreno con mejores condiciones para la construcción, las consideraciones para el diseño sísmico serán:

- ✓ Los edificios y cada una de sus partes deberán ser diseñadas y construidas para resistir las solicitaciones sísmicas de cálculo, de acuerdo con el peligro sísmico de la zona, el tipo de perfil del suelo Tabla 3 donde están ubicados y con el tipo, uso e importancia de la obra.
- ✓ Los edificios deberán tener forma simple, regular y simétrica, tanto en planta como en elevación.
- ✓ No deberán exceder los 7 m de altura en estructuras de madera y los 10 m en estructuras de mampostería, ya que resulta más beneficioso la construcción de edificios bajos, que de edificaciones de varios pisos que pudieran provocar mayores daños durante la ocurrencia de un sismo, debido a los tipos de suelo identificados en la zona, compresibles, saturados y blandos.

A continuación, algunas consideraciones a tener en cuenta antes de la construcción de nuevas obras en el área de estudio.

Altura. Evidentemente la altura del edificio es uno de los factores esenciales en la resistencia a los terremotos. De hecho, en ciertas ciudades los reglamentos limitaban la altura de los edificios, aunque en la actualidad se tiende más a valorar su altura en función de la calidad del diseño arquitectónico.

Simetría. Un edificio es simétrico respecto a dos ejes en planta si su geometría es idéntica en cualquiera de los lados de los ejes. Que un edificio no sea simétrico aumenta la posibilidad de que se produzca una torsión en su planta, haciéndolo más vulnerable ante un terremoto.

Distribución de masas. Los especialistas recomiendan la uniforme distribución de las masas que conforman el edificio tanto en planta como en altura, cambiando en función de las distintas zonas y alturas en base a la rigidez.

Estructuras rígidas en planta. Aunque pueda parecer una afirmación de Perogrullo, es evidente que la mayor cantidad de muros estructurales en la base, mejora también la estabilidad y resistencia frente a un movimiento sísmico.

Distribución de puertas y ventanas. La simétrica distribución de los elementos de apertura de las viviendas es esencial para aumentar la resistencia del edificio al colapso, así como un tamaño acorde al resto de la estructura, no debiendo superar más de la mitad del muro.

Calidad de los materiales. Otro de los factores esenciales a la hora de medir la resistencia al derrumbe de los edificios es la calidad de los materiales. La buena calidad de la construcción mejora la capacidad de absorción de energía en el movimiento sísmico. Los expertos

coinciden en la importancia del hormigón armado y el acero para que el edificio se pueda balancear sin llegar a caerse.

Cimentación. Los cimientos son clave en la flexibilidad y aguante de los edificios. Cada suelo tiene una cimentación específica tanto en profundidad, forma y tamaño, por lo que es esencial un estudio del terreno previo a la construcción del inmueble. Una correcta actuación en este aspecto permite reducir las deformaciones y esfuerzos que sufrirá el edificio durante el sismo.



Figura 3.14 Esquema de vulnerabilidad en las estructuras.

La Figura 3.14 nos llama la atención acerca de vulnerabilidades que no podemos permitirnos, con el fin de proteger la vida y los bienes materiales durante la ocurrencia de un sismo.

Análisis general de los resultados

El municipio Caimanera fue dividido en tres zonas y 4 subzonas de acuerdo con las características geológicas, sísmicas, geomorfológicas, profundidad del nivel freático y condiciones ingeniero-geológicas. La zona central del municipio Caimanera 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 las zonas identificadas ante un sismo fuerte.

Teniendo en cuenta la respuesta del suelo en las zonas delimitadas, se propone construir edificios de dos plantas y aprovechar al máximo las zonas donde las condiciones ingeniero-geológicas no son tan favorables para la amplificación de la señal sísmica.

CONCLUSIONES

1. Se caracterizó la respuesta local del suelo utilizando un sistema de indicadores que comprende geología, sismicidad, geomorfología, profundidad del nivel freático y condiciones ingeniero geológicas.
2. Los problemas más evidentes identificados son el asentamiento total o diferencial principalmente en edificios del tipo Gran Panel IV, agrietamiento de paredes de las estructuras, empantanamiento por el mal drenaje, deslizamientos y posible licuación de los suelos.
3. La respuesta local del suelo a partir de las condiciones ingeniero geológicas en el sector urbano son favorables para la amplificación de las ondas sísmicas, dado que los suelos se caracterizan por ser material de relleno de arenas arcillosas, arcillas de baja plasticidad con presencia de materia orgánica poco compactos, de baja resistencia, saturados y compresibles.
4. Se obtuvo la microzonificación sísmica reflejada en tres zonas: Norte, Central y Sur donde la Zona Central es la de mayor peligro y favorable para la amplificación de las ondas sísmicas; la misma está compuesta por material de relleno de arena arcillosa y arcilla de baja plasticidad con abundante materia orgánica, poco compacto, de baja resistencia, saturado y compresible.

RECOMENDACIONES

-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.

-Llevar a cabo un programa de preparación comunitaria para evitar el daño a personas y estructuras civiles, mediante la incorporación de estos resultados.

-Dar a conocer los resultados de la investigación al Consejo de la Administración Municipal (CAM) y Provincial (CAP).

BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ, Leonardo. Microzonación sísmica partiendo de sismogramas sintéticos. Aplicación en peligrosidad sísmica determinística y probabilística. 2015.

ARIAS, M., & VEGA, R. "Construcción de viviendas para médicos El Cañito". Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba. 2006.

Comunicado de prensa disponible en:

<https://agua.org.mx/wp.../ComunicadoPrensa-04-Ondas-sismicas-y-tipos-de-suelo.pdf> (s.f.).

CARRILLO, D. Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. 2009.

CHUY, T.J., Orbera, L., Hernández, J.R., Magaz, A., Sánchez, F., Pérez, C., González, E., Fundora, M., Rubio, M., Alvarez, J.L., Cotilla, M., Arango, D., Iturralde, M., Rodríguez, J., Marquetti, M.C. y Ramírez, R., "Dictamen Conclusivo. 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, 1997.

CHUY, T.J., Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica. Tesis de doctorado. Centro Nacional de Investigaciones sismológicas, Santiago de Cuba, 1-178, 1999.

CHUY, R. "Modelo del peligro sísmico de la provincia de Santiago de Cuba". CENAI. 2010.

CHUY, T.J. y ÁLVAREZ, J.L., "Peligrosidad sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana". Memorias del X Forum Nacional de Ciencia y Técnica, La Habana, 1-24, 1995.

CHUY, T.J., Precisión por zona de la peligrosidad sísmica de Cuba con fines de su desarrollo económico sostenible. La Habana: Academia, 2002.

Ecured. (2016). <http://www.ecured.cu/>

FERNÁNDEZ - DIEGUEZ, L. Licuefacción de los suelos generada por sismos de gran magnitud. Caso de estudio Caimanera y Santiago de Cuba, 2015.

FIGUERAS, C. "Caracterización de efectos sísmicos locales en la ciudad de Lorca", Física de la Tierra Vol. 24 (2012).

GONZÁLEZ, L. *Ingeniería Geológica*. PEARSON EDUCACION. (2002 Madrid.744p

MONTOYA, J. "Construcción de la oficina Sede de los Trabajadores Sociales". Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba. 2005.

NAVARRO, N., & MARÍN, E."Evaluación de los edificios 12, 15 y 28". Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba. 2004.

ORDAZ-HERNÁNDEZ, Alexis. Evaluación de las condiciones para el pronóstico de la respuesta dinámica de los suelos: caso de estudio: ciudad de San Cristobal, Cuba Occidental, 2015.

ORDAZ-HERNÁNDEZ, Alexis, et al. Evaluación geomorfológica y del efecto de sitio como contribución a los estudios de peligrosidad sísmica a escala local: ciudad de San Cristóbal, Cuba occidental. *Minería y Geología*, 2015, vol. 31, no 4.

PASCUAL, W. "Construcción del policlínico tipo G modificado". Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba. 1984.

PASCUAL, W. "Construcción del Servicentro de Caimanera". Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba. 1986.

PLÁ DUPERTÉ, M., & ARENCIVIA, E. "Drenaje pluvial Caimanera". Investigación ingeniero geológica. Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba. 2005.

POPOV, V. V. Criterios ingeniero-geológicos de la zonación sísmica detallada. *Sismología Ingenieril*, 1959, vol. 2, p. 1-40.

Respuesta dinámica del subsuelo y efecto de sitio, disponible en:

www.palmira.gov.co/.../RESPUESTA%20DINÁMICA%20DEL%20SUBSUELO%20... (s.f.).

RILL, F. "Ampliación de la escuela primaria "Wilfredo Gonce" en Caimanera". Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.

ROBIRA, M. "Construcción de la Sucursal de Bandec en Caimanera". Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba. 2008.

SUÁREZ- DÍAZ, J. Visión geotécnica de la amenaza sísmica con énfasis en el nororiente de Colombia y la ciudad de Bucaramanga. 2009.

THOMPSON, O. "Ampliación de policlínico de Caimanera". Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba. 2004.

TSIGE & GARCÍA. "Propuesta de clasificación geotécnica del "Efecto Sitio" (Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la Región de Murcia" Geogaceta, 40, 2006.

VIDAL, Eugenio. Cálculo de la conductividad hidráulica de los acuíferos a partir de su resistividad eléctrica. Validación práctica. Moa. 2010.

Wikipedia. (2016). Holguín. 2016, from <http://es.wikipedia.org>

ZAPATA, J.A., Chuy, T.J., Diez, E.R. Caracterización del riesgo sísmico de la ciudad de Guantánamo, provincia Guantánamo. Microzonación Sísmica de la ciudad de Guantánamo y sus alrededores, 2005.

ZAPATA, J.A., Chuy, T.J., Caracterización e Impacto de las Amenazas Geodinámicas e Hidrometeorológicas en comunidades del municipio Guantánamo, 2003.

ZAPATA, J.A., Fernández, A.I. y Fernández, B.C., Reporte de Investigación: Investigaciones Complejas para el Complejo Industrial de Moa. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 1-32, 1995.

ZAPATA, J.A, et al. Mapa De Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba, 2002.

ZAPATA, J.A., "Microzonación sísmica y respuesta dinámica de suelos de la ciudad de Guantánamo y sus alrededores para planeamiento urbano". En memorias del V Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. Geomin´2003, La Habana, 1-9, 2003.

ZAPATA, J.A. Utilización de variantes Metodológicas de microzonificación Sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba, 1997.

ANEXOS

Anexo 1: Encuesta realizada por ingenieros del CENAI, en conjunto con profesores del ISMM, a pobladores de Caimanera.

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.

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.

DIRECCION 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

Percibió o notó objetos **VIBRAR / DESPLAZARCE / 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

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

Anexo 2: Tipos de suelos por obras estudiadas.

	x	y	Capa1	Capa2	Capa3	Cant. Cal	Prof. (m)
Terraple repto 19 D	676100	149250	CL				
Vivienda a la entrada	675600	149400	SC	CL	SM	6	7,25 - 5,35
Vivienda zona deportiva	675640	149700	SC			11	6,00 - 7,00
Ampliación escuela Wilfredo Gonzo	676100	149440	CL/SC			2	4,95
Sede UJC	675800	149600	SC/CL	CL	CL	6	4,60 - 5,40
Ampliación Policlínico	675750	149520	CL	OL		6	5,10
Terrano de beisbol	675600	149700	SC	CL	SM		
Sede universitaria	675610	149330	SC/CL		OL	3	5,40
Vivienda médica el Cañito	676200	149300	CL		OL	7	3,15 - 5,10
Sucursal BANDEC	675610	149330	CL	CL	OL	2	5,00
Servisentro Caimanera	675620	149320	GC	CL	OL	4	5,70 - 8,10
Hotel Caimanera	675980	149960	CL	GP			25,00
Sede de Trabajadores	676000	149790	CL	OL		5	5,00

Sociales							
Edificios socio administrativo	678690	148930				2	3,00
Fisioterapia y rehabilitación	675900	149700	SC	CL	CL	5	5,00
Policlínico tipo G modificado		149675	CL	OL	SM	9	9,60 -20,20
Seminternado		149675	CL/SC	OL		3	13,60-20,40
Consultorio con viviendas			CL/SC	OL		8	16,20-20,20
Minimercado 2			CL/SC	OL		2	25,00
Círculo Infantil			CL/SC	OL		3	25,00
Acueducto (tanque de agua)			SM			4	15,00
Almacén Gastronomía			OL	SM			
Casa de abuelos			OL	SM/SC		2	10,00

Anexo 3: Imágenes de la escuela Wilfredo Gonce.



Vista frontal y lateral de la Esc: Wilfredo Gonce.



Loma Sur, arriba la Esc: Wilfredo Gonce.



Construcción de corrales pegados a la pendiente de Loma Sur.

Anexo 4: Construcciones muy cercanas a la pendiente de la escuela Wilfredo Gonce.



Construcciones de corrales cercanos a la pendiente de Loma Sur.



Corrales en las inmediaciones de loma Sur.



Palas tratando de evitar daños por desprendimiento de material correspondiente a Loma Sur.



Construcciones en mal estado próximas a Loma Sur.



Vivienda construida al lado de Loma Norte.



Se utiliza la pendiente de Loma Sur como muro o pared.



Moro divisor apoyado en Loma Sur.



Corrales donde se usa como pared el talud de Loma Sur.



Viviendas cercanas a Loma Sur.

Anexo 5: Viviendas en la Zona Sur de Caimanera.



Mal estado de los techos de las viviendas cercanas a Loma Sur.



Mal estado de las viviendas de La Zona Sur, falta de viales.



Viviendas muy próximas al mar.

Anexo 6: Escala M.S.K.

ESCALA DE INTENSIDAD SÍSMICA MSK	
Intensidad	Significado
I	No apreciable. La intensidad de las vibraciones esta bajo el nivel del limite de la sensibilidad; solo puede ser detectado por sismógrafos.
II	Escasamente apreciable. Las vibraciones solo la sienten personas individuales en descanso y en casa, especialmente en pisos superiores de edificios.
III	Débil. Sólo se percibe parcialmente. En los interiores lo perciben algunas personas. En el exterior se percibe sólo en circunstancias favorables. Las vibraciones se parecen al paso de un camión pequeño. Algunas personas pueden observar un balanceo de objetos.
IV	Observado fuertemente. El sismo se siente en el interior por mucha gente y en el exterior por algunos. Las personas se despiertan pero no se asustan. Las vibraciones son parecidas al paso de un camión grande. Las ventanas, puertas y platos se sacuden. Los pisos y muros crujen. Los muebles empiezan a moverse. Los objetos que cuelgan se balancean ligeramente. En los autos con motor apagado es posible percibirlo.
V	Despertarse. El sismo se siente en el interior por todos y en el exterior por muchos. Mucha gente se despierta. Los animales se ponen intranquilos. Los objetos que cuelgan se balancean considerablemente. Los cuadros chocan contra la pared. Los líquidos salpican. La sensación del movimiento es como si cayera un objeto pesado. Los edificios del tipo A, sufre un daño de grado 1. Algunas veces las corrientes cambian de flujo.
VI	Aterrador. Todas las personas lo perciben en los interiores y exteriores. Mucha gente se asusta y sale del edificio. Algunas personas pierden el equilibrio. Los animales huyen de los establos. Algunas veces los platos y cristales se rompen y los libros se caen. Muebles pesados pueden moverse. Los campanarios pueden llegar a sonar. Algunos edificios aislados del tipo B y muchos edificios del tipo A, pueden sufrir un daño de grado 1. En algunos casos el grosor de las grietas en suelo húmedo pueden superar el centímetro.
VII	Daño en edificios. Mucha gente se asusta y sale de los edificios. Mucha gente tiene dificultades para mantenerse en pie. Muchos edificios del tipo C sufre un daño de grado 1, muchos edificios del tipo B sufre un daño de grado 2. Muchos edificios de tipo A sufren un grado de daño 3 y algunos de grado 4. Grietas en los caminos y las tuberías se dañan en las uniones. Grietas en los muros de piedra. Se forman ondas en el agua y se enturbia el agua con la tierra del fondo.
VIII	Dstrucción de los edificios. Se produce terror y pánico en toda la gente. Las personas conduciendo un auto, pueden perder el control. Los muebles pesados pueden llegar a caerse. Las lamparas con el balanceo pueden llegar a dañarse. Muchos edificios del tipo C sufren un daño de grado 2, algunos de grado 3. Muchos de los edificios del tipo B, sufren daño de grado 3 y muchos del tipo A sufren daño de grado 4. Algunos monumentos se mueven e inclinan. Se producen grietas de varios centímetros en las carreteras. El agua de los lagos se enturbia. En muchos casos cambia el flujo del los rios.
IX	Daño general en los edificios. Pánico general, considerable daño en los muebles. Los animales huyen desorientados. Muchos edificios del tipo C sufren daño de grado 3 y algunos de grado 4. Muchos de los edificios del tipo B muestran daño de grado 4 y algunos de grado 5. Muchos de los edificios de tipo A sufren daño de grado 5. Los monumentos y las columnas se caen. Se producen daños considerables en las presas. Los tuberías se dañan considerablemente. Las líneas de ferrocarril se pueden doblan. El agua se enturbia totalmente, observándose la tierra y fango del fondo de los lagos. Grietas superiores a 10 cm en las carreteras. Se caen rocas y se producen grandes deslizamientos.

Intensidad	Significado
X	Dstrucción general de los edificios. Muchos de los edificios de tipo C sufren un daño de grado 4, algunos de grado 5. Muchos edificios del tipo B sufren daño de grado 5; la mayoría de los edificios del tipo A, sufren destrucción total. Daño critico en presas y diques, y daño severo en puentes. Las líneas de los ferrocarriles se doblan. Las líneas enterradas se dañan y rompen. El asfalto y pavimentos muestran ondas. En el terreno, se producen grietas considerables en algunos casos hasta de 1 m. Los deslizamientos son considerables. El agua de los canales, ríos, lagos, se agitan hasta mojar la tierra.
XI	Catástrofe. Severo daño en edificio bien construidos, puentes, presas y líneas de ferrocarril; las autopistas pueden quedar inservibles, las tuberías enterradas se destruyen completamente. El terreno cambia considerablemente, con grietas y fisuras muy grandes.
XII	Cambios en el paisaje. Prácticamente todas las estructuras enterradas y en la superficie se dañan o destruyen. La superficie de la tierra cambia radicalmente. Se observan grietas considerables con extensiones vertical y horizontal. Los ríos pueden llegar a embalsarse, los ríos cambian completamente el curso o trayectoria.