



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO

METALÚRGICO DE MOA

DR. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ

FACULTAD: GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo de Diploma

En opción al Título de
“Ingeniero Geólogo”

*Tema: Evaluación ingeniero – geológica de
la ciudad de Caimanera.*

Autora: Irayaselis Bandera Cuñat

Tutora: Ing. Liuska Fernández Diéguez

Moa, 2015

“Año 57 de la Revolución”



Pensamiento

“El ingeniero que trabaja en suelos debe proyectar su estructura no sólo para las propiedades del suelo existentes al comienzo de la obra, sino también para toda la vida del proyecto de la estructura. Necesita conocer las propiedades del terreno al comienzo de la obra y la forma en que éstas variarán a lo largo del tiempo. Tanto el tamaño y la forma de un depósito determinado como las propiedades mecánicas del suelo que los componen pueden variar de forma significativa. Muchas de estas variaciones se producen independientemente de la actividad humana, mientras que otras se deben a la propia obra”.

W. Lambe - R. Whitman (1984)

“No des vueltas al pasado, pues no lo puedes cambiar. Que no te agobie el futuro, no sabes si llegará. Disfruta y vive el momento, no lo dejes escapar, porque una vez que se vaya ya nunca más volverá”.

Anónimo

Agradecimiento

Me llena de satisfacción que después de toda una serie de investigaciones se ha llegado felizmente a la culminación de este trabajo.

Una estancia de trabajos en la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) situada en la provincia de Santiago de Cuba y una cooperación fructífera y permanente con el personal técnico de dicha empresa hizo posible llevar a cabo este trabajo y se espera que el mismo en un estilo científico aporte información e ideas útiles.

*Mi mayor agradecimiento va dirigida a mi tutora la **Ing. Liuska Fernández Diéguez** cuyo esfuerzo iniciativo, su conocimiento sobre la materia, su interés y disposición mostrada en la labor de la orientación supe salir adelante en esta investigación; expreso además mis más grato afecto a todos los profesores que integran el departamento de la Facultad de Geología del ISMM los cuales contribuyeron a mi preparación profesional.*

*También a mi familia y en especial a mi mami **Inés María Cuñat Dobarro**, a mi papá **Oscar Santana Infante** y a mi hermana **Virgen María Santana Cuñat** por su amor y confianza durante toda mi vida.*

Dedicatoria

A la Revolución Cubana y a su líder indiscutible Fidel Castro Ruz, por darme la oportunidad de formarme como una profesional competente.

A mi mami, quien no solo me ha dado la vida, sino también por ser ella muy consecuente en su papel de formación y educación para mi vida futura como profesional.

En fin a mis seres queridos, que han estado presentes en todos los momentos de mi vida universitaria y que han sido el mayor incentivo para la realización de esta investigación.

Resumen

La presente investigación titulada: “Evaluación ingeniero - geológica de la ciudad de Caimanera” se realizó con el objetivo de evaluar las condiciones ingeniero – geológicas de los suelos de Caimanera, provincia Guantánamo y determinar las zonas de mayor riesgo sísmico dado el factor expuesto, partiendo de la sismicidad asociada a la interacción con la placa norteamericana y micro placa de Gonave. Se analizaron las condiciones ingeniero geológicas, la amplificación de las ondas sísmicas teniendo en cuenta el efecto de sitio, a partir de las propiedades físico mecánicas del suelo en el área de estudio. Se caracterizaron los sectores que presentan condiciones favorables y desfavorables para la construcción de obras ingenieriles. Para cumplir con el objetivo trazado se revisaron varias metodologías propuestas por diferentes autores para dar solución a una tarea similar. Se decidió trabajar por la propuesta por Rodríguez Pardo en 1981 que propone dividir el área en zonas ingeniero geológicas y homogeneizarlas para así obtener resultados más detallados para la investigación y llegar a la confección del mapa ingeniero geológico. Se revisaron informes ingeniero geológicos de estudios realizados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) donde se obtuvo información para confeccionar la base de datos que serviría de base al mapa ingeniero geológico con fines de riesgo sísmico y determinar la zona de mayor riesgo.

Concluimos que el área de mayor riesgo sísmico es hacia el litoral donde se encuentra el mayor asentamiento poblacional de la ciudad de Caimanera dado que está constituido por arcilla de baja plasticidad.

Abstract

The present titled investigation: "Evaluation engineer - geologic of the city of Caimanera she was carried out with the objective of evaluating the conditions engineer - geologic of the floors of Caimanera, county Guantánamo and to determine the areas of more given seismic risk the exposed factor, leaving of the sismicity associated to the interaction with the North American badge and micro badge of Gonave. The geologic conditions engineer were analyzed, the amplification of the seismic waves keeping in mind the place effect, starting from the properties physique mechanics of the floor in the study area. The sectors were characterized that present favorable and unfavorable conditions for the construction of ingenieriles work. To fulfill the objective layout several methodologies they were revised proposed by different authors to give solution to a similar task. She decided to work for the proposal for Pardo Rodríguez in 1981 that intends to divide the area in geologic areas engineer and to homogenize them she stops this way to obtain detailed results for the investigation and to arrive to the making of the map geologic engineer. Geologic formless engineer of studies carried out by the National Company of Applied Investigations were revised (ENIA) where information was obtained to make the database that would serve from base to the map geologic engineer with ends of seismic risk and to determine the area of more risk.

Finally the area of more seismic risk is where is the biggest populational establishment in the city of Caimanera since it is in the floor type constituted by clay of low plasticity.

Índice

Resumen.....	VI
Abstract.....	VI
Índice.....	VI
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO - GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	16
1.1 Extensión territorial.....	16
1.1.1 Ubicación Geográfica	16
1.1.2 Bahía	17
1.1.3 Características socioeconómicas	17
1.1.4 Particularidades climáticas de la región	18
1.1.5 Geomorfología regional.....	18
1.2 Características hidrogeológicas	19
1.2.1 Geología regional	20
1.2.2 Geología local	22
1.2.3 Fenómenos físico geológicos	22
1.2.4 Características ingeniero – geológicas de la región	24
1.2.5 Sismicidad y régimen sísmico	25
Conclusiones del Capítulo I.....	26
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
2.1 Volumen de los trabajos realizados.....	28
2.2 Metodología propuesta por diversos autores.....	30
2.2.1 Metodología a utilizar	35
2.2.2 Primera etapa: Revisión bibliográfica	29

2.2.3 Segunda Etapa: Trabajo de campo	31
2.2.4 Tercera Etapa: Trabajo de gabinete	34
Conclusiones del Capítulo II	36
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	37
3.1 Distribución de los diferentes tipos de suelo en las calas	39
3.2 Discusión de los Resultados	55
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	60

Introducción

Los terremotos están entre los eventos geológicos más conocidos, por ello existen registros y mapas de las zonas de mayor o menor frecuencia de ocurrencia de estos fenómenos. Los mapas de ocurrencia de terremotos muestran que en Centroamérica, el Caribe y Suramérica hay franjas alargadas, donde son muy comunes los terremotos potencialmente destructivos.

Se definen como fenómenos naturales de origen súbito, causado por la rápida liberación de la energía acumulada como consecuencia de las deformaciones en la corteza terrestre. Estos fenómenos naturales constituyen una amenaza severa, a causa de las irregularidades de los intervalos temporales en que se manifiestan y la imposibilidad de predecir con exactitud el momento de su ocurrencia. Algunos pronósticos de sismos severos están basados en las observaciones sobre efectos premonitorios sismológicos y no sismológicos previos a la ocurrencia de terremotos, aunque no tengan con estos una relación directa de causalidad. Entre estos fenómenos figuran los cambios bruscos de la actividad microsísmica, las deformaciones de la superficie de la tierra, las variaciones de los campos magnéticos y eléctricos, la elevación o disminución súbita del nivel del agua en los pozos, los cambios el campo gravitatorio, o el comportamiento anómalo de los animales.

El peligro sísmico en Cuba presenta una particularidad interesante y que al mismo tiempo hace que su estudio sea para algunas áreas de carácter complejo. Esta consiste en el hecho de que en el Archipiélago cubano se presentan dos génesis de sismos dadas por la ubicación espacial y origen de los terremotos: de entre placas y de interior de placas.

Esto significa que en nuestro territorio no existe el mismo nivel de potencialidad sísmica en todas sus partes, destacándose el primer tipo de sismicidad la Región Sur Oriental por la frecuencia con que históricamente ocurren en ella terremotos de alta magnitud e intensidad, lo que implica que sea considerada como la de mayor peligrosidad sísmica del país y se corresponde con la Zona Sismogénica de Bartlett-Caimán, donde se han reportado 22 terremotos

fuerentes, de ellos 20 en la provincia de Santiago de Cuba y 2, los más recientes en la provincia de Granma (Chuy, T. J. 1999).

La sismicidad de Cuba representa la posibilidad de ocurrencia de terremotos en el territorio nacional. Se vincula con los mecanismos generadores de sismos que en Cuba son los desplazamientos del terreno a lo largo de fallas. Al respecto se puede señalar que en el territorio cubano ocurren terremotos en las dos condiciones generales siguientes:

1. La primera está relacionada con la interacción entre las placas de Norteamérica y del Caribe, siendo la de mayor significado en el país, por su capacidad para generar sismos de 8,0 grados de magnitud Richter y haber sido responsable de 22 de los 28 terremotos de gran intensidad reportados en Cuba (Chuy 2003).

2. La segunda, asociada a fallas activas de tipo regional y local, se caracteriza por su baja frecuencia, focos someros y una magnitud de moderada a débil. Sin embargo, reportes históricos e instrumentales registrados entre el año 1528 y el presente, tanto en el occidente como en el centro de Cuba, evidencian la ocurrencia, asociada a este tipo de sismicidad, de seis sismos de gran intensidad, entre los que se encuentra el terremoto de 8 grados de intensidad MSK en San Cristóbal, actual provincia de Artemisa, en el año 1880 (Chuy 2003; Cotilla & Córdoba 2011).

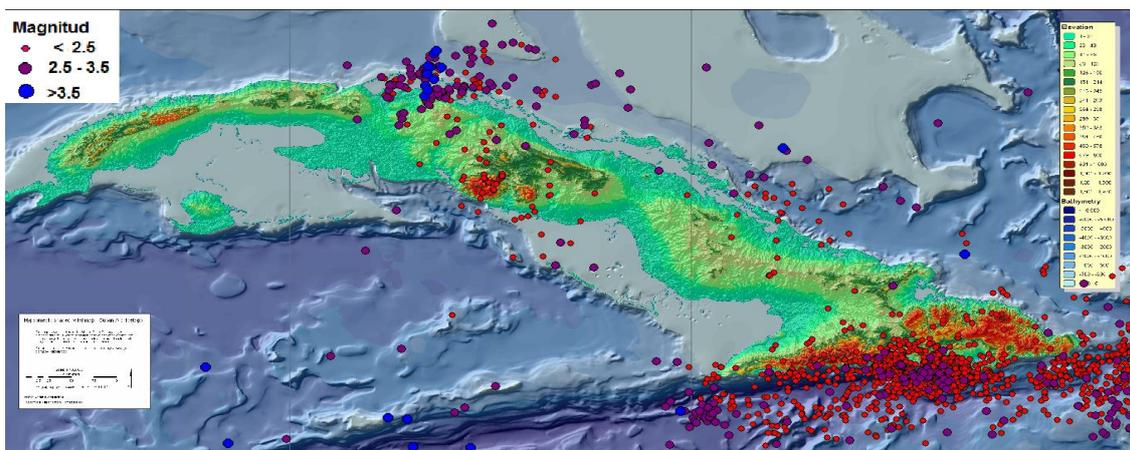


Figura 1: Mapa de la actividad sísmica reportada en el 2014 por el Servicio Sismológico Nacional

Sismicidad de la región oriental de Cuba

Considerando que la región oriental es la de mayor peligro sísmico del territorio cubano, se presenta en detalle la sismicidad registrada en esta porción del país. La falla Oriente y la falla Norte de la Española constituyen las principales fallas activas de primer orden donde pueden ocurrir sismos fuertes que afecten el territorio oriental de Cuba. A estas estructuras se relaciona la principal actividad sísmica registrada en esta región, tanto en magnitud como en frecuencia. En la figura 2 se representa la sismicidad registrada instrumentalmente de 1967 a Agosto de 2014 por 3 o más estaciones para la región oriental de Cuba. (Guasch Echavarría, 2014).

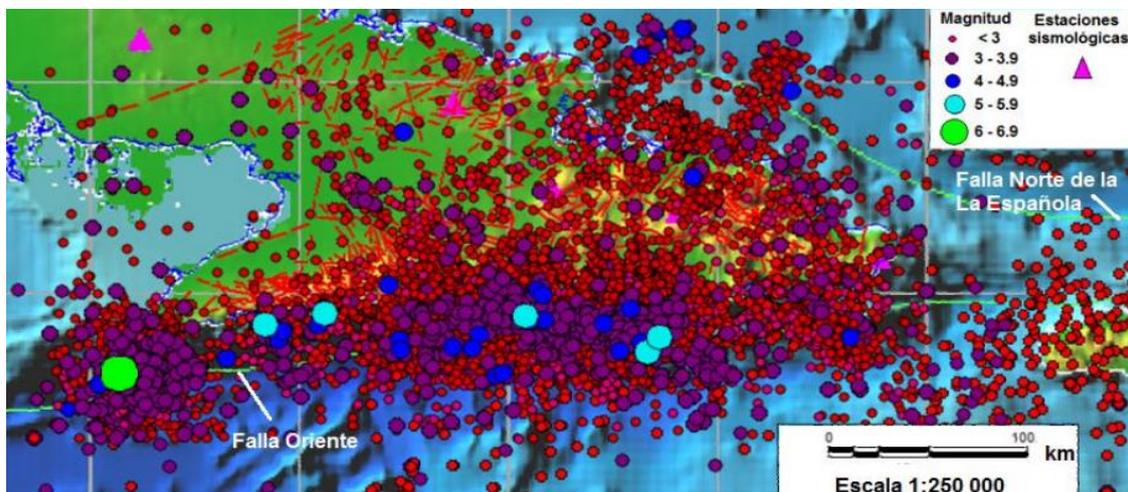


Figura 2: Terremotos registrados por el Servicio Sismológico Nacional de Cuba de 1967 a Agosto del 2014 en la región oriental de Cuba.

Esto significa que un sismo fuerte que afecte a esta parte del país puede ocurrir en cualquier momento, debido a la energía acumulada desde los últimos sismos ocurridos en la primera mitad del siglo pasado (Guasch Echavarría, 2014).

El mismo hecho de saber que puede ocurrir un terremoto de determinada magnitud en un intervalo de tiempo (definidos en los mapas de ocurrencia de terremotos), es suficiente para que se tomen medidas de prevención con carácter obligatorio.

Sin embargo es poco lo que se haga con vista a reducir la vulnerabilidad de las comunidades enclavadas en zonas amenazadas por estos eventos, tanto en términos de educación, como de prevención, que casi siempre dependen del cumplimiento estricto de las regulaciones existentes. Hoy día se trabaja en la creación de sistemas de alarmas tempranas, pero falta mucho por avanzar en este sentido; por ello, la mejor solución es la prevención.

La figura 4 representa las Zonas de Origen de Terremotos (ZOT) para la Región Oriental, (Comisión Ad-hoc, 1991) las cuales influyen directamente en la ocurrencia de terremotos en la región Oriental. A cada zona se le asocia una magnitud determinada y en dependencia del valor que se le asocia se categorizan.

Al Sur con Categoría 1 tenemos la zona Bartlett–Caimán; con Categoría 2 tenemos a la zona Cauto-Nipe y Baconao, y con Categoría 3 tenemos a Cauto Norte, Bayamo y Purial.

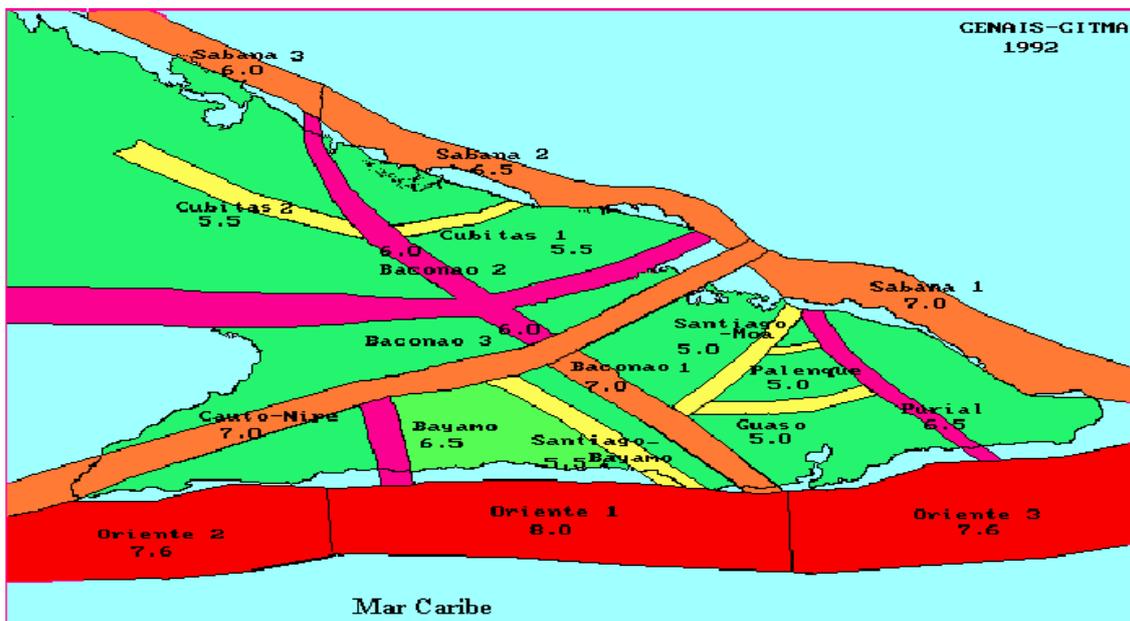


Figura 3. Esquema de zonas de origen de terremotos de la región oriental. (Tomado de Rodríguez, 2000)

Para definir la Peligrosidad Sísmica (Chuy, T. J. 1999) de una región determinada se toman en cuenta tres aspectos fundamentales:

- El modelo estadístico de la ocurrencia de terremotos y sus efectos.
- Las Zonas Sismogénicas localizadas en la región y sus zonas cercanas con sus correspondientes parámetros del Régimen Sísmico.
- La Ley de Atenuación de la intensidad sísmica, para cuantificar los efectos y afectaciones de los terremotos con sus características regionales, transformando luego sus valores en términos de la intensidad sísmica y de la aceleración horizontal.

Al valorar el peligro sísmico, deben tomarse en consideración no solo el ambiente tectónico general, la intensidad de los movimientos actuales etc., sino también las condiciones locales del terreno, las peculiaridades del terreno, las características del suelo, la profundidad de las aguas subterráneas, todos estos factores inciden en el efecto exterior del choque sísmico, reforzándolo o amortiguándolo.

Teniendo en cuenta las experiencias acumuladas y los resultados alcanzados mediante las investigaciones realizadas en los últimos años destacando el impulso a la conceptualización científica de la prevención y al desarrollo de investigaciones sobre riesgos de desastres en Escenarios Complejos, propone desarrollar líneas de investigación que respondan a la prioridad del país fortaleciendo el sistema de defensa y la capacidad de respuesta para prevenir y mitigar desastres.

La peligrosidad de un lugar implica analizar todos aquellos fenómenos o procesos que representen un peligro para la vida de los hombres o para sus pertenencias, en un determinado espacio de la superficie terrestre. Si bien es más frecuente encontrar estudios sobre los peligros naturales de un territorio, se debe tener en cuenta que los peligros antrópicos o sociales provocan tantos o más daños que los naturales, según las características de cada caso. De modo que, al plantear la peligrosidad de un lugar, debe hacerse con sentido integral, teniendo en cuenta tanto los peligros naturales como los peligros

sociales. El no considerarlos juntos, especialmente en el estudio de problemas ambientales, es solo una abstracción metodológica.

La dificultad de encontrar un criterio único para valorar todos los peligros, se debe a que entre ellos suelen existir grandes diferencias de todo orden, por ello se propone adoptar un concepto genérico que los contenga a todos, (Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales Universidad de Barcelona) considerando que:

Peligro: es todo fenómeno o acontecimiento de cierta magnitud que afecte, con valoración social negativa, a un gran número de población. La magnitud del acontecimiento estaría dada por la cuantía de daños provocados, ya sea sobre las propiedades, las personas, o sobre ambas a la vez.

Dado que el peligro y la vulnerabilidad representan una dupla inseparable en el análisis de riesgos, al investigar estos en un área se impone un paralelismo en la investigación, puesto que tan necesario es conocer los peligros que la acechan como la vulnerabilidad de sus habitantes, por lo tanto:

Vulnerabilidad (V): es el conjunto de características comunes o básicas que le impiden a dicha población evitar los daños ocasionados por cualquier peligro, es decir, es el grado de pérdida de un elemento en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada en la escala de 0 (no daño) a 1 (daño total). (UNDRO 1991)

La cuantía de daños que puede provocar un fenómeno peligroso está directamente relacionada con el grado de vulnerabilidad de la población, pero esta no depende de aquel, sino más bien de la situación socioeconómica y cultural previa del grupo humano. La catástrofe pone en evidencia tanto la peligrosidad de un fenómeno como la vulnerabilidad de su población. Por ello, tan importante es identificar los peligros ambientales como la capacidad de los individuos para enfrentarlos y defenderse de ellos.

Se define las amenazas naturales como "aquellos elementos del medio ambiente que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él". En este documento el término "amenazas naturales" se refiere específicamente, a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos). Dentro de los fenómenos naturales potencialmente peligrosos se encuentra la licuación de los suelos.

Durante los terremotos el movimiento del terreno puede causar una pérdida de la firmeza o rigidez del suelo que da como resultados el desplome de edificaciones, deslizamientos de tierra, daños en las tuberías, entre otros. El proceso que conduce a esta pérdida de firmeza o rigidez es conocido como ***licuación del suelo***.

La licuación es uno de los fenómenos más importantes, interesantes y controversiales temas de la ingeniería geotécnica. Sus efectos devastadores provocaron la atención de los ingenieros geotécnicos desde los terremotos de Alaska (USA) y Niigata (Japón), ambos ocurridos en 1964 y Haití 2010 todos con magnitudes superiores a 7.5.

Cabe señalar que en los últimos años no se han producido evidencia de casos de licuación en Cuba aunque existen antecedentes históricos al respecto, por lo cual es aconsejable tomar en cuenta este fenómeno en diversos lugares donde se verifique la existencia de suelos arenolimosos sueltos por debajo del nivel freático, unidos a intensidades notables en los terremotos previsibles. Además, es un problema que siempre se debe tener presente en el ámbito de obras portuarias, con rellenos ganados al mar, compuestos por materiales granulares depositados con densidad baja a media.

Es por eso que se analiza este fenómeno inducido por terremotos como un riesgo para la ciudad de Caimanera, definiéndose como:

Riesgo (R): es la probabilidad de consecuencias dañinas o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedades, infraestructuras, interrupción actividad económica, o daño ambiental) resultante de las interacciones de las amenazas

(naturales o inducidas o hechas por el hombre) y condiciones de vulnerabilidad. Matemáticamente el $R=H*V$ (Cees van Westen, 2009).

Elemento en riesgo: pueden ser objetos, personas, animales, actividades que pueden ser afectados negativamente por las amenazas, directa o indirectamente en una zona determinada. Esto incluye a la población, propiedades, edificios, obras de infraestructura, actividades económicas, servicios públicos y medio ambiente, en el área potencialmente en riesgo. (Van Westen, 2009).

Precisamente, con esta investigación nos proponemos determinar el riesgo sísmico de la ciudad de Caimanera, provincia Guantánamo, partiendo de las condiciones ingeniero geológicas que pueden propiciar la amplificación de las ondas sísmicas teniendo en cuenta el efecto de sitio.

Los efectos de sitio son las alteraciones que sufren las ondas sísmicas debido a cambios en la geología local, es decir, en la geometría y composición de la superficie, incluyendo la presencia de depósitos superficiales compuestos por arcillas o arenas. Las modificaciones producto de estos factores se dan en la duración, amplitud y contenido de frecuencia de los movimientos. La correcta cuantificación de los efectos de sitio es indispensable para la elaboración de atlas de riesgos, estimación de pérdidas y diseño de construcciones.

Riesgo Sísmico: medida que combina el peligro sísmico, con la vulnerabilidad y la posibilidad de que se produzcan en ella daños por movimientos sísmicos en un período determinado. En el riesgo sísmico influyen la probabilidad de que se produzca un evento sísmico o terremoto, los posibles efectos locales de amplificación de las ondas sísmicas, directividad, etc., la vulnerabilidad de las construcciones e instituciones y la existencia de habitantes y bienes que puedan ser perjudicados.

(http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Riesgo_sísmico&oldid=82160505).

Problema científico:

Necesidad de realizar una evaluación ingeniero – geológica con fines de riesgo sísmico en la ciudad de Caimanera, provincia Guantánamo.

Objetivo General:

Evaluar las condiciones ingeniero – geológicas de los suelos de Caimanera y determinar las zonas de mayor riesgo dado el factor expuesto.

Objetivos Específicos:

- ✓ Determinar las condiciones geológicas y propiedades físico-mecánicas en la zona de estudio.
- ✓ Caracterizar los sectores que presentan condiciones favorables y desfavorables para la construcción de obras ingenieriles.
- ✓ Confeccionar mapa ingeniero geológico con fines de riesgo sísmico.

Objeto de Estudio:

Los suelos de la ciudad de Caimanera.

Hipótesis:

Si se identifican las condiciones geológicas y se caracterizan los suelos atendiendo a las propiedades físico-mecánicas, se puede evaluar de forma ingeniero – geológica la ciudad de Caimanera y con ello delimitar las zonas de mayor riesgo sísmico.

Acerca de la investigación

Esta investigación se enmarca en el ámbito de la Geotecnia y los Riesgos Geológicos específicamente en el ámbito sismológico a partir de datos generales empíricos, pues se tuvo en cuenta los informes de los terremotos ocurridos en Cuba y en el mundo.

Para dar cumplimiento a la investigación se tendrá en cuenta datos de investigaciones e informes ingeniero geológicos realizados por la ENIA y otras empresas que permitan la caracterización ingeniero geológica y geológica del área de estudio.

Se aplicó el método de análisis y síntesis a partir de la revisión de tesis y artículos de otros autores que hablan del tema de estudio aplicando diversas metodologías.

Se puede aplicar una metodología teniendo en cuenta el objeto que se investiga y la finalidad de la obra que se pretende construir o simplemente evitar un desastre.

Estado del arte

La Ingeniería Geológica es la ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas de la ingeniería y del medio ambiente producidos como consecuencia de la interacción de las actividades humanas y el medio geológico. El fin de la ingeniería geológica es asegurar que los factores geológicos condicionantes de las obras de ingeniería sean tenidos en cuenta e interpretados adecuadamente, así como evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos.

Surge con el desarrollo de las grandes obras públicas y el crecimiento urbano, diferenciándose como especialidad de la geología a mediados del siglo xx. La rotura de algunas presas por causas geológicas y sus graves consecuencias, incluyendo la pérdida de cientos de vidas humanas, como la presa de San Francisco (California, 1928), la de Vajont (Italia, 1963) y la de Malpasset (Francia, 1959), los deslizamientos durante la construcción del Canal de Panamá en las primeras décadas del siglo, o las roturas de taludes en los ferrocarriles suecos en 1912, fueron algunos hitos que marcaron la necesidad de llevar a cabo estudios geológicos aplicados a la ingeniería. (González de Vallejo, 2002)

Existen diversos trabajos realizados en Cuba en vista a esta rama entre los que se pueden citar:

En 1934, S. Taber publicó algunos datos de interés sobre esta región, pero basados fundamentalmente en los informes de los autores antes mencionados.

Otro trabajo realizado corresponde a (Kosary, 1955) (Reconocimiento geológico de la cuenca de Guantánamo) el mismo recoge la geología del valle de Guantánamo y un área relativamente extensa de sus alrededores.

Entre los años 1973 y 1974 se realizó el levantamiento geológico a escala 1: 550 000 por parte de la Academia de Ciencias de Cuba en colaboración con la Academia de Ciencias de Holguín.

Desde el punto de vista ingeniero geológico solo existen algunos informes de complejos Hidráulicos: La Yaya, Jaibo, Clotilde y Esquema Guantánamo, siendo las primeras de este tipo realizadas por (Stoev, 1967) en el cual el autor realiza estudios en diferentes zonas con vista a la construcción de obras hidráulicas.

Específicamente en la zona de estudio, en este caso Caimanera, se ha trabajado con informes provenientes de trabajos realizados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de Santiago de Cuba al suelo de Caimanera para proyectar obras ingenieriles. Es por ello que esta investigación se enmarca en el ámbito de la Geotecnia y los Riesgos Geológicos.

(Reynaldo, 1975) dio a conocer la división en grupos ingeniero geológico del área de estudio, hecha en base a las características litológicas, tecnológicas, hidrogeológicas, geomorfológicas e ingeniero – geológicas (fenómenos físicos – geológicos propiedades físico – mecánicas) de las rocas que afloran en el área con la finalidad de obtener visión general de las zonas favorables, poco favorables y desfavorables de la cuenca con vista a la construcción de futuras obras.

(Sánchez Torres, 1978) hace un estudio de acuerdo a las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas, procesos y fenómenos geológicos y propiedades físico mecánica de los suelos y rocas de los territorios que circulan la bahía de Cienfuegos; realiza en base a esos estudios un esquema de regionalización ingeniero geológico donde hace una valoración general de la favorabilidad para la construcción de los distintos territorios comprendidos en el área de estudio.

(Rodríguez Prado, 1981) hace una valoración ingeniero geológico del área, mediante la aplicación de los métodos de tipificación ingeniero geológica.

Se hizo mediante criterios, el primero fue dividir el área en zonas ingeniero geológicas donde cada zona presenta la misma litología; un segundo era propiedades físicas de los suelos (Ll, Lp, Ip, humedad natural, etc.); un tercer criterio parámetros y propiedades mecánicas como cohesión, ángulo de fricción interna etc. Un cuarto criterio división ingeniero geológica para el relieve y condiciones geomorfológicas y un quinto criterio nivel freático de las aguas.

(Vidal M. & del Campo G, 1982) recoge un estudio más o menos detallado de la zona de Moa. Aquí se muestran los distintos tipos de suelos de la región, así como todas aquellas características ingeniero - geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, etc. Los cuales permiten establecer aquellas regiones desde el punto de vista constructivo, y así facilitar a los proyectistas y constructores un material que les permita valorar aquellas zonas donde se proyectan los diferentes objetos de obras.

(Rodríguez Infante, 1983) tiene como principal objetivo realizar una correlación de las propiedades físico – mecánicas del suelo de la zona de estudio teniendo en cuenta las características geológicas e hidrogeológicas.

(De la Rosa Aroche, 1983) recoge los resultados obtenidos del estudio de las propiedades físico mecánicas de las rocas carbonatadas de la provincia y se da a conocer las características geotécnicas y las características litológicas e hidrogeológicas de estas rocas carbonatadas para llegar a la conclusión de cuáles de los suelos o rocas presentan mayor favorabilidad y cuáles son los más desfavorables para su utilización con fines constructivos.

(Alfaro, 1987) a partir de los datos de las calas de perforación de la ENIA. Con estos datos confeccionó el mapa ingeniero-geológico de la ciudad y estableció una caracterización ingeniero-geológica de la misma para fines constructivos. El mismo tuvo como limitante que por la poca densidad de las perforaciones no se cubrió toda el área de la ciudad.

Numerosos trabajos se han realizado para determinar el riesgo sísmico variando las metodologías o los datos pero todos con un fin la prevención de desastres.

(Oliva, 1989) estableciendo un análisis de la vulnerabilidad de las viviendas a nivel de manzanas, valorando el riesgo sísmico de las mismas, además de un estudio de las obras educacionales y de la salud.

Vega, I. et al (1997), partiendo de los datos de la DAU y la Microzonificación Sísmica de la ciudad de Bayamo, Rivera, Z. et al (1997), realiza la Valoración del Riesgo Sísmico de la ciudad de Bayamo a partir del cálculo de la vulnerabilidad sísmica y susceptibilidad, referidos a las pérdidas esperadas en la ciudad a causa de la amenaza sísmica que actúa sobre la población y la infraestructura socioeconómica de la misma. Los resultados son presentados por niveles de los repartos en que está dividida la ciudad. Este trabajo realmente es un estudio de vulnerabilidad y tiene como limitante que no llega a dar parámetros de riesgo. (Rodríguez, Z. 2000)

En la región de Guantánamo, provincia donde está enmarcada la zona de estudio (según Rodríguez Prado, 1981), las primeras observaciones geológicas provienen de (Darton & Meinzer, 1926). En este informe se describe de forma bastante general las características de las formaciones geológicas presentes.

Sobre la licuación de los suelos se ha escrito mucho en el mundo tras los daños que ha provocado a la economía y a los seres humanos. Se ha podido comprobar que está relacionado con la ocurrencia de terremotos fuertes que provocan la inestabilidad del suelo. Para saber si un suelo es o no licuable hay que tener en cuenta una serie de condiciones entre las que se encuentran:

Factores que condicionan la ocurrencia de licuefacción

1. **Distribución del tamaño de los granos:** La arena uniformemente graduada, con granos muy gruesos tiene mayor probabilidad de licuarse,

mientras que las arenas limosas y gravas lo hacen bajo cargas cíclicas muy severas.

2. **Profundidad de las aguas subterráneas:** Mientras menor sea el nivel de las aguas subterráneas, mayor será la probabilidad de que ocurra licuefacción.

3. **Densidad:** El suelo puede densificarse cuando está sujeto a una carga cíclica, reduciendo su volumen de suelo- agua e incrementando la presión intersticial si los poros intergranulares se llenan de agua. Cuando esto ocurre habrá menor posibilidad de que se produzca su licuefacción.

4. **Peso del recubrimiento y profundidad del suelo:** Las tensiones entre partículas aumentan a medida que aumenta la presión del recubrimiento y mientras mayor sea dicha tensión menor será la probabilidad que ocurra licuefacción. Por lo general, ocurre a profundidades menores de 9 metros; rara vez a mayores de 15 metros.

5. **Amplitud y duración de la vibración del terreno:** La licuefacción de suelos bajo condiciones de tensión provocadas por un terremoto puede ocurrir ya sea: cerca del epicentro si son pequeños o moderados, o a cierta distancia si son moderados a severos.

6. **Edad del depósito.** Los suelos jóvenes (menos de 3.000 años) son débiles y no cohesivos, de modo que tienen mayor probabilidad de licuarse que aquellos más antiguos donde actuaron procesos como compactación y cementación que incrementaron su resistencia.

7. **Origen del suelo.** El suelo depositado por procesos fluviales se sedimenta fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse, de modo que se licuarán con facilidad. Los depositados glacialmente, generalmente ya son bastante densos y tienen menor probabilidad de licuarse. Tomado del artículo en línea de internet Shadenet. (1990). Factores que condicionan la ocurrencia de licuacion.

Todos estos factores son los que nos motivó a realizar el estudio de los suelos de Caimanera y hacer una evaluación de sus condiciones ingeniero geológicas dado que la licuación de los suelos es uno de los riesgos que se corre y ni el país, ni la provincia, ni los pobladores están claros de su vulnerabilidad ante un fenómeno natural como lo son los terremotos.

Por otro lado, una vez confirmada la probabilidad de ocurrencia de licuación en una determinada zona, sus efectos se pueden mitigar de dos puntos de vista distintos. Por un lado, se pueden modificar las condiciones del terreno de tal manera que se evite su ocurrencia, mientras que por otro, se pueden atacar las consecuencias originada por la misma.

Debido a la dificultad a la hora de poder predecir los daños potenciales que podría causar la licuación, es preferible mitigarla con los métodos orientados a evitar su ocurrencia.

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO - GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo destacar las características físico – geográficas y geológicas de la región de estudio. Además, obtener una información general de las condiciones climatológicas y socio – económicas existentes en la región.

1.1 Extensión territorial

En el interior de la bahía de Guantánamo y en ambas márgenes se desarrollan las comunidades integrantes del municipio Caimanera, con 362.9 km² (incluyendo 115 km² ocupados por una Base Naval estadounidense) siendo el más pequeño del país. Tiene una población de 10 937 habitantes. La densidad poblacional es de 29.5 hab/km², de ella el 56% es económicamente activa y los ocupados en la economía ascienden a 5 891.

Su nombre original fue "La Caimanera", inspirada en la gran cantidad de caimanes existentes en los numerosos pantanos sobre todo, cerca de las desembocaduras de los ríos Guantánamo y Guaso, cuyas aguas vierten en la bahía.

1.1.1 Ubicación Geográfica

Es uno de los 10 municipios que componen la actual Provincia de Guantánamo. Limita al Norte con los municipios Guantánamo y Manuel Tames, 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. Está situada a 17 km de la ciudad de Guantánamo.

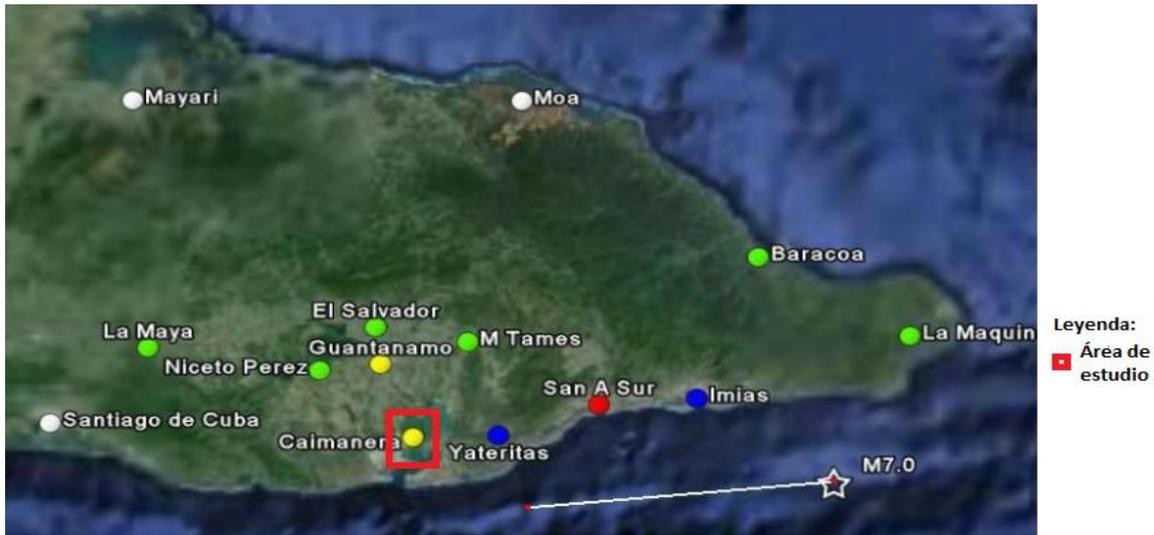


Figura 1.1: Ubicación geográfica de la zona de estudio

Por su posición meridional, Caimanera forma parte de las regiones de Cuba más próximas al Ecuador donde los rayos del sol inciden con mayor perpendicularidad, variable que unida a la influencia del mar, del relieve y otros factores de carácter local y regional ha devenido en las particularidades de su clima, el que se caracteriza por la salinidad, la alta evaporación solar y la escasez de lluvia. Se puede considerar que ubicada en las franjas costeras del sur de Cuba, forma parte del llamado semidesierto cubano. (Arencibia, 2002).

1.1.2 Bahía de Caimanera

La bahía de Caimanera, con sus 19 km de longitud representa la tercera bahía de bolsa más extensa del mundo, sólo superada por la de Hudson en Canadá y la de Nipe en el norte oriental cubano. Es el principal receptor de mercancías para la Provincia de Guantánamo. (Arencibia, 2002).

1.1.3 Características socioeconómicas

La economía está basada fundamentalmente en la producción de sal, que es la principal fuente económica del municipio, aunque existen producciones agrícolas. La vía de comunicación principal es la carretera que enlaza la ciudad de Guantánamo con dicho poblado. (Arencibia, E. 2002).

1.1.4 Particularidades climáticas de la región

Caimanera está regida por un clima con características semidesérticas. Está sometida a la influencia de los vientos de acción permanente, con una dirección predominante de los mismos: Noreste en invierno y Este - Noreste en verano.

El curso anual de la temperatura es el típico para los trópicos, o sea son poco variables en el tiempo, el mes más frío es Enero con cerca de 20 °C, como promedio y los más calurosos Julio- Agosto que alcanzan una media de 29 °C. La evaporación promedio hiperanual, según datos tomados de la estación La Juanita es de 2300 mm. Forma parte de la zona más seca de Cuba. (Arencibia, 2002).

1.1.5 Geomorfología regional

La zona 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 cabecera y sus alrededores es sumamente baja, con sólo 0,4 metros sobre el nivel del mar.

Presenta suelos aluviales de arcillas sobre calizas y areniscas, muy escabrosos y de uso agrícola bastante limitado. Los elementos geográficos de esta parte de la provincia, le confieren características sui géneris, tanto en la flora, en la fauna y en las actividades del hombre. La fauna que habita la zona son la jutía, la iguana y diferentes tipos de aves, todos endémicos del área, el litoral está rodeado de área cenagosa y manglares que han ido desapareciendo con el paso del tiempo (Plá Duperté & Arencivia G. , 2005)

1.1.6 Características hidrográficas

La red hidrográfica está poco desarrollada, solamente corre el río Guantánamo a unos 3 Km al oeste, aunque existe una red de canales, debido al sistema deltaico presente en el territorio (Figura 1.2). En la foto cósmica se puede

observar el sistema deltaico, en el que aparecen ubicados diferentes obras importantes como son la Salina y el poblado de Caimanera.

Los sedimentos deltaicos son areniscas finas a muy finas, estratificadas y en ocasiones formando lentes.



Figura 1.2: Red hidrográfica de Caimanera

1.2 Características hidrogeológicas de la región

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. (Arencibia, E. 2002).

1.2.1 Geología regional

En la región de forma general se encuentran desarrolladas las formaciones geológicas San Luis, Río Macío, Jutía, Maquey, Jamaica y Boquerón.

En la estructura geológica del área, están desarrollados los sedimentos del Pleistoceno Actual, (mQ IV), estos sedimentos se extienden a lo largo de la línea litoral, hasta la cota absoluta actual de 2 m, yacen principalmente sobre los sedimentos antiguos aluviales – marinos, raramente sobre las rocas de la Formación San Luis. Están representados principalmente por arcillas cienosas y cienos azulados oscuros, y fuertemente salinizados. Las arcillas tienen gran cantidad de restos orgánicos y conchas marinas actuales. El espesor es de 1.0-1.5 m. En algunos casos los sedimentos están destruidos por la abrasión actual y las rocas que se extienden debajo afloran sobre la superficie. Además de los sedimentos descritos anteriormente hay que mencionar la presencia de una capa de poco espesor (0.2-0.5) m sobre las rocas originarias que afloran sobre la superficie antigua, esta capa está representada por el aluvio transformado en suelo. (Plá Duporté M; Arencibia G. E ,2005).

- **Formación Río Macío (alQ₄ río):** Está constituido por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas derivadas de la erosión fluvial y regional. Se caracteriza por distintos tipos de sorteos, yacencia y redondeo de los fragmentos. La estratificación generalmente es cruzada y lenticular, típica de las terrazas y el acarreo fluvial. La potencia de la formación generalmente es de 1 m a 2 m, a veces alcanza de 10 a 20 m.

- **Formación Jutía (pQ₄ jut):** Está constituida por sedimentos no consolidados, friables y fragmentarios, como aleurolitas calcáreas y órgano - detríticas, arena margosa y arcillosa, a veces con gravas pequeñas de color castaño grisáceo. En las partes lagunares, se observan capas y lentes de turba. El espesor probable de los sedimentos es 1 a 5 m.

- **Formación San Luis (P₂²- P₂³sl):** Está representada por una gran variedad de rocas clásticas, terrígenas, carbonatadas, de granulometría variada desde las arcillas hasta los conglomerados; además contiene calizas laminares o de capas gruesas. Esta formación se caracteriza por el predominio de areniscas de grano fino, medio y de aleurolitas carbonatadas, las cuales, en conjunto constituyen más del 90 % de la formación.

Las areniscas generalmente son de color gris, gris pardusco y pardo (intemperizadas). Están bien estratificadas y el espesor de las capas varía desde algunos centímetros hasta 20 – 40 cm. Generalmente son de grano fino a medio, a veces grueso.

Las aleurolitas en general son calcáreas y arcillosas, en algunas partes arenosas. El color de la roca fresca es gris y el de las meteorizadas, beige o castaño. Las calizas aparecen en distintos niveles, son laminares, margosas, de color blanco y se hallan por lo general en la parte basal de la formación. La formación está ligeramente plegada, y su espesor se estima en unos 700 m.

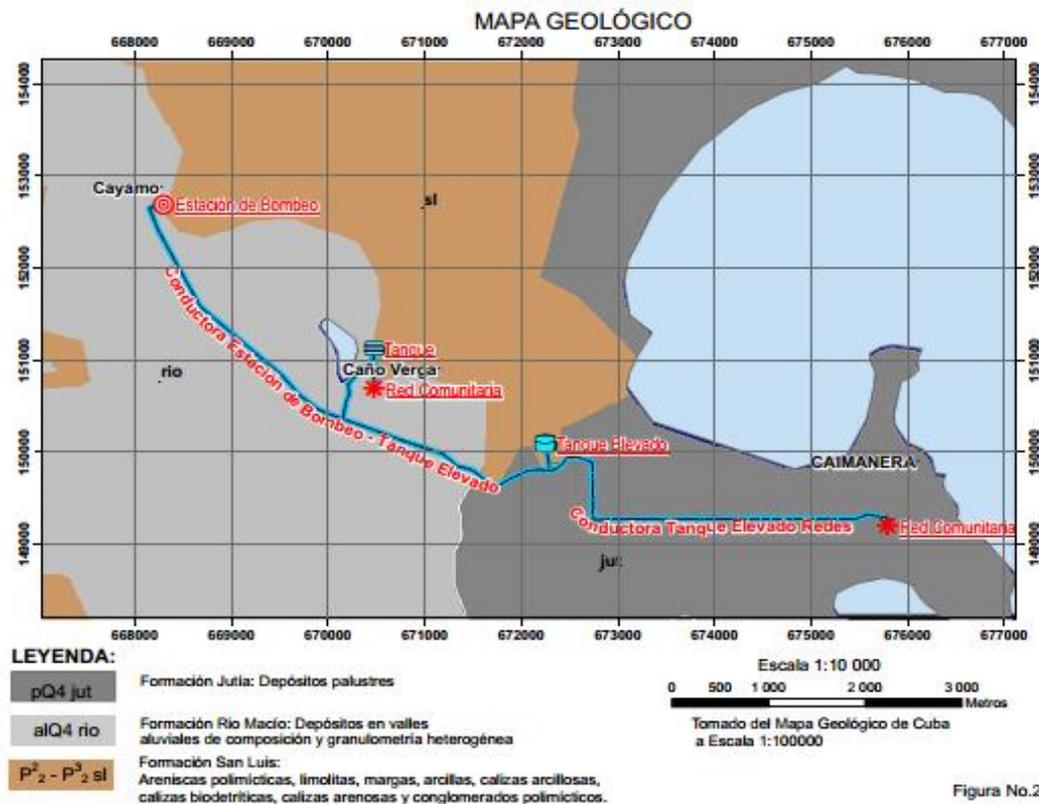


Figura 1.3: Esquema geológico de la región. Suministrado por INRH de Guantánamo

1.2.2 Geología local

La ciudad de Caimanera, objeto de estudio de la presente investigación, se encuentra enmarcada y bien representada en la Formación Jutía (pQ₄ jut) la cual fue descrita anteriormente.

1.2.3 Fenómenos geológicos

En la zona de estudio existen fenómenos y proceso geológicos que de cierta manera afectan a las construcciones y al ambiente como:

1. Erosión de sedimentos y erosión costera
2. Sismicidad – licuación de suelos
3. Salinización de los suelos
4. Meteorización

Erosión de sedimentos y erosión costera: Se produce a lo largo del sector costero y en el valle del río Guantánamo. Los mayores efectos tienen lugar en épocas de intensas lluvias donde ocurren grandes inundaciones y generan una erosión del valle en el medio costero. Un efecto protector lo provocan los manglares presentes en el territorio que funcionan como termómetros ambientales debido a su capacidad para adaptarse a los cambios ocurridos en el hábitat costero. Además de proteger contra la erosión costera y servir de escudo natural contra las inundaciones, los manglares suministran agua, comida y medicina, al tiempo que albergan una gran variedad de animales.



Figura 1.4: Foto de los manglares de Caimanera

Sismicidad – Licuación: Caimanera está ubicada en una zona sísmicamente activa, varios sismos han tenido lugar en el territorio. El terremoto de Haití del 12 de Enero del 2010 generó grandes percepciones negativas en la población. Luego el sábado 20 de marzo a las 2h y 38 min, ocurrió un evento ubicado en Baconao de Magnitud 5.6 que generó intensidades de VI grados en Santiago de Cuba, Guantánamo y Caimanera. En esa localidad, ocurrió un hecho desagradable, cayó una pared que hirió a un niño fracturándole la clavícula. En zona de estudio, desde 1987 se reportan efectos de sitio que han generado los asentamientos diferenciales de los edificios Gran Panel Soviéticos GPS IV, incluso uno de ellos fue demolido y otro se redujo a 2 niveles.



Figura 1.5: Foto de Biplanta y Edificio Gran Panel Soviético IV, de izquierda a derecha

La posición del nivel freático cercano a la superficie, el tipo de suelos y los movimientos sísmicos ocurridos dan lugar a estos fenómenos los que tiene gran repercusión en las obras y viviendas en la ciudad de Caimanera. (Ver tabla. 1.1).

Salinización de los suelos: Se ha podido comprobar por los estudios geotécnicos realizados demostraron la alta salinidad de los suelos presentes en la región de Caimanera, ello se deba la intrusión salina debido a la cercanía a la bahía y bajos valores del nivel freático, a las altas temperaturas y la evaporación del agua existente.

Meteorización intensa de los sedimentos: Debido a las altas temperaturas reinantes en la zona.

1.2.4 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 Duporté M; Arencibia G. E).

1.2.5 Sismicidad y régimen sísmico

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	II 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

Tabla 1.1: Principales localidades ubicadas en las diferentes zonas sísmicas del territorio nacional. NC 46- 2014 Norma sísmica.

Según la Norma sísmica NC 46- 2014 el área de estudio se encuentra en la zona 5 de riesgo sísmico (Tabla 1.1) muy alto, es decir, es fuertemente sentido por la mayoría de la población con daños leves en edificaciones de mampostería (grietas finas en las paredes). El índice de susceptibilidad a la licuefacción es alto por lo que el grado de intensidad podría incrementarse en +2 grados pues podrían reportarse intensidades de VII grados.

Esto significa daños muy severos a estructura de mampostería relacionados con fallo estructural parcial de techos y muros.

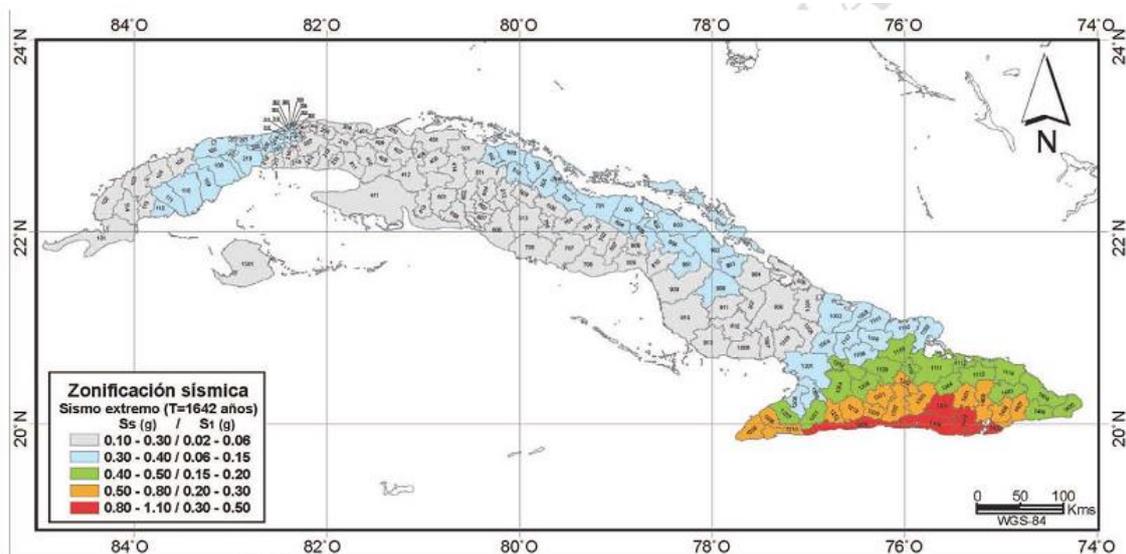


Figura 1.6: Zonificación sísmica para la República de Cuba NC 46- 2013

1.2.6 Condiciones Sísmica de la Región

Se le asignan sismos de intensidad de 8 grados en la escala MSK y aceleraciones entre 50 y 100 cm/s^2 . Debido a la composición ingeniero geológica y composición del cieno, los altos niveles de agua, grado de humedad y por ciento de saturación, sobre el grado base de sismicidad pueden esperarse incrementos de la intensidad sísmica en el orden de hasta 1,5 grados sobre el valor inicia

Conclusiones del Capítulo I

El área de estudio comprendida por la ciudad de Caimanera se encuentra ubicada al sur de la provincia de Guantánamo, tiene una extensión territorial de 36 058 km^2 . La zona presenta un relieve bastante llano, con alturas o restos de montañas. Está formado principalmente por llanuras marinas cenagosas. Existen diferentes especies como son la jutía, la iguana y diferentes tipos de aves, todos endémicos del área.

La red hidrográfica está poco desarrollada. Se encuentra enmarcada y bien representada en la Formación Jutía (pQ₄ jut) constituida por depósitos palustres la cual fue descrita anteriormente. Según la Norma Sísmica NC 46- 2014 esta área se encuentra en la zona 5 de alto riesgo sísmico.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capítulo tiene como fin elaborar la metodología para realizar el estudio al área de interés a partir de las etapas de investigación (búsqueda bibliográfica, análisis de la información, trabajos de campo y trabajos de gabinete).

- Volumen de los trabajos realizados.
- Metodología para la confección del mapa ingeniero geológico.

2.1 Volumen de los trabajos realizados

Recopilación de la información

Para llevar a cabo la evaluación ingeniero geológica de la ciudad de Caimanera se realizó un análisis detallado al material del archivo proveniente de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de la provincia de Santiago de Cuba, el cual estuvo constituido por un total de 97 informes de obras realizadas en el área de trabajo desde la década del 70, 80 hasta el 2000, así como la recopilación de datos haciendo uso de bibliografías de diferentes autores.

Análisis de la información

Haciendo un estudio detallado de toda la información recopilada se ha podido llegar a dividir el área en una zona ingeniero geológica.

Hay que hacer énfasis que algunos suelos estudiados en los informes antes mencionados, adolecen de dificultades; ya que los mismos son netamente geotécnicos, entre estas dificultades podemos señalar que:

- En algunas obras no se realizaron ensayos de importancia tales como ensayo de humedad, peso específico, límite líquido, límite plástico etc.
- Poco estudio sobre la sismicidad del área, solo se menciona de forma regional.

Generalización de la información

Se realizó un estudio minucioso y detallado a cada uno de los informes que acompañan las obras. Se hizo una valoración de las propiedades físico mecánicas y condiciones naturales del área.

Los valores de las propiedades físico mecánicas fueron generalizadas y promediadas de manera sencilla.

A partir de lo antes expuesto, para la ejecución de esta investigación se siguieron tres etapas fundamentales, las cuales se describen a continuación:



Figura 2.1: Organigrama que representa la Metodología de la Investigación.

2.2 Primera etapa: Revisión bibliográfica

En esta etapa se realizó una recopilación de la información recogidas en trabajos de diplomas que abordan el tema, artículos publicados en Internet u otros sitios Web de interés, en revistas y libros, etc. Todas estas informaciones permiten un buen desarrollo del trabajo.

Metodología propuesta por diversos autores

Se revisaron diferentes metodologías y procedimientos utilizados por otros autores que trabajaron el tema. Teniendo en cuenta la información con la que se cuenta utilizaremos la planteada por Rodríguez Prado (1981) y la que plantea la Norma Cubana NC 51-24-1984 para la confección de mapas ingeniero geológicos.

Sánchez Torres (1978) propone que:

Para efectuar la regionalización ingeniero geológica el área se debe dividir en grupos y subgrupos ingeniero geológicas, atendiendo a las semejanzas en las propiedades físicas mecánicas, condiciones hidrogeológicas, condiciones geomorfológicas, tipos de fenómenos físico geológicos existentes y magnitud del desarrollo de estos. Su área de estudio, en este caso Cienfuegos, quedó dividida en cuatro grupos ingeniero geológico, dos de los cuales se dividieron en tres subgrupos.

Degournay Toussaint (1979) propone que:

En base a la similitud en los valores de las propiedades físico mecánicas y condiciones naturales se subdivide el área en las diferentes zonas ingeniero geológicas valiéndose del método de tipificación ingeniero geológica. Su área de estudio, en este caso Camagüey, quedó dividida en doce zonas.

Rodríguez Prado (1981) propone que:

Se divida el área en zonas ingeniero geológicas donde cada zona presente la misma litología, en dependencia de las propiedades físicas de los suelos (LI, Lp, humedad natural, índice de liquidez, % de finos etc.) tomadas por zonas; parámetros y propiedades mecánicas (cohesión, ángulo de fricción interna, módulo de deformación etc.); división ingeniero geológica para el relieve, condiciones geomorfológicas y nivel freático de las aguas.

Mfula Chola (1988) propone que:

La regionalización ingeniero geológica, se realiza en base a la homogeneidad de las propiedades físico mecánica de los suelos, semisuelos y rocas, así como sus características geológicas.

En su trabajo de diploma “Esquema ingeniero geológico de la ciudad de Holguín” logró dividir el área en dos zonas ingeniero geológicas.

2.2.3 Segunda Etapa: Trabajo de campo

Se realizaron tres visitas al municipio Caimanera con el objetivo de ver las condiciones reales de los suelos, los cimientos y formas constructivas de las viviendas. Se realizó en forma de perfil, siguiendo toda la bahía hasta llegar al mangle el que impedía continuar el paso. Gran parte del mangle ha sido desplazado producto a rellenos para la construcción de terraplenes y cimientos para construcciones.



Figura 2.2: Foto del terraplén construido en área que estaba cubierta por mangle. Actualmente relleno en la Bahía de Guantánamo ubicado en reparto Tokio municipio Caimanera.

Las casas en ocasiones se encuentran a pocos metros de la bahía (2- 5mts) y por lo tanto sobre el nivel del mar.



Figura 2.3: Fotos de antiguos pilotes de las casas dentro de la bahía de Guantánamo.

Otra salida se realizó por los límites del municipio con la Base Naval de Guantánamo, donde nos pudimos percatar de la mala distribución de las aguas albañales, partiendo del poco flujo de las mismas producto al bajo nivel freático, la mala planificación de la construcción de las viviendas y la mala construcción de algunas de la viviendas por esfuerzo propio que además se rigen por el plan de las llamadas Viviendas Económicas que se conocen por ser de menos recursos; algo que consideramos muy mal pensado para Caimanera dada las condiciones de los suelos donde se cimentaron y por las características propias del municipio.



Figura 2.4: Fotos que muestran la corrosión de las columnas portantes producto a la cercanía con la Bahía y falta de mantenimiento.

Un tercer recorrido se realizó por el centro del municipio donde no se puede observar el suelo por las calles, pero si nos percatamos de la forma constructiva y al preguntar a los vecinos nos informaron del mal drenaje de las

aguas y el poco movimiento de las mismas producto a la proximidad a la superficie.



Figura 2.5: Fotos que muestran el poco flujo de las aguas albañales

A partir de los informes provenientes de trabajos realizados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de Santiago de Cuba al suelo de Caimanera para proyectar obras ingenieriles, se confeccionó una base de datos con los parámetros a tener en cuenta para evaluación ingeniero geológica de la zona de estudio dentro de los que se encuentran: condiciones geológicas, propiedades físico mecánicas, tipo de suelo, profundidad del nivel freático y límite de Atterberg.

El trabajo de campo solo consistió en el reconocimiento de la zona pues las obras fueron construidas hace varios años atrás y en estos momentos no hay proyección de obras propuestas por el estado en las que podamos ver la perforación de calas actuales.

2.2.4 Tercera Etapa: Trabajo de gabinete

En esta etapa se procesaron los datos obtenidos de la revisión bibliográfica para así confeccionar un esquema de profundidad del nivel freático, esquema de densidad habitacional, esquema de tipos de suelos, esquema de tipos de suelos y densidad habitacional. Se interpretaron los resultados obtenidos a partir de los trabajos realizados en esa zona para llegar a la confección del mapa ingeniero geológico con fines de riesgo sísmico y determinar la zona de mayor riesgo sísmico.

En cuanto a la probabilidad de ocurrencia de la licuación de los suelos se analizará la propuesta por Seed and Idriss (1982)

El porcentaje en peso de partículas $<0,005$ mm es menor del 15%

- $LL < 35$
- $w/LL > 0,9$

A este criterio se le conoció como criterio chino.

Hay que resaltar que de los 97 informes existentes en el archivo de la ENIA en Santiago de Cuba solo se pudieron revisar 88 que eran los existentes en ese momento en el archivo. La principal dificultad está dada por la antigüedad de los informes y a la vez la carencia de información clara como lo es la ubicación geográfica, lo que impidió que se utilizaran todas las calas de los informes disponibles. Se verificaron las obras existentes en la actualidad y las de la época que se realizaron los informes y tienen toda la información necesaria. Solo coinciden en coordenadas e información a partir de los datos del censo de población y vivienda del año 2012 un total de 27 obras que será la muestra a utilizar para la confección del mapa ingeniero geológico de la ciudad de Caimanera.

Se realizó un análisis exhaustivo de las columnas lito estratigráficas a partir de las calas, esta información se utilizó para saber cómo se comportan los diferentes tipos de suelo en profundidad y en toda el área.

2.3 Metodología a utilizar para la confección del mapa ingeniero geológico con fines de riesgo sísmico

De acuerdo a lo planteado por los diversos autores anteriormente, se utilizará la metodología propuesta Rodríguez Prado (1981), pues se tendrá en cuenta los factores o criterios siguientes:

1. Litología: Dividir el área por zonas ingeniero geológicas donde presente la misma litología. En ninguna de ellas habrá dos litologías porque significaría un contacto tectónico lo cual complicaría los estudios geológicos a realizar para efectuar las construcciones, e implicaría una incorrecta regionalización. En el área de estudio solo existe una sola litología constituida por la Fm. Jutía.
2. Propiedades físicas de los suelos: constituyen un parámetro de clasificación como son el límite líquido, límite plástico, % de finos etc.
3. Propiedades mecánicas de los suelos: como son la cohesión, ángulo de fricción interna, módulo de deformación, los cuales son prácticamente invariables correspondiéndose a una zona ingeniero geológica etc.
4. Relieve: en toda el área es completamente llano por lo tanto las condiciones geomorfológicas no sufren grandes variaciones. Es por esto que el relieve no es un factor diferenciable en esta zona.
5. Nivel freático de las aguas: En esta zona este factor se encuentra muy superficial las que deben someterse a serios estudios hidrogeológicos.

Luego de tener en cuenta estas propiedades físico mecánicas y condiciones naturales de toda el área, podemos afirmar que la ciudad de Caimanera se localiza en una sola zona ingeniero geológica, con subzonas que muestran los diferentes tipos de suelos caracterizadas por la plasticidad y granulometría según la clasificación dada por el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS). Específicamente se encuentra en la zona ingeniero geológica I, dentro de la subzona ingeniero geológica IB, según la descripción dada por (Rodríguez Prado, 1981).

Conclusiones del Capítulo II

Se utilizó la metodología propuesta por Rodríguez Prado, 1981 la que propone una tipificación del área teniendo en cuenta factores como: litología, propiedades físicas, propiedades mecánicas, relieve y nivel freático; dando como resultado solo una zona ingeniero geológica.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Objetivo: Validar la metodología propuesta, a partir de la evaluación de los resultados obtenidos.

Se trabajó con la metodología propuesta por Rodríguez Prado, 1981 como base para la confección del mapa ingeniero geológico y el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos.

Consideramos que la ciudad de Caimanera se localiza dentro de una sola zona ingeniero geológica. Geológicamente está ubicada en una sola litología: la Fm. Jutía de edad Cuaternario. Las rocas presentes son sedimentos de pantano, representados por arcilla arenosa plástica y arenas finas arcillosas, con poca materia orgánica. Las cotas son muy estables entre los primeros metros y el relieve es casi llano por lo que se considera otro factor para decir que es una misma zona ingeniero geológica. Los valores del nivel freático fluctúan desde 0,5 mts de profundidad hasta 3mts en casos aislados, lo que nos indica que hay poca variación. Los valores de Límite líquido, Índice de Plasticidad, Índice de liquidez y porcentaje de finos son poco variables, coincidiendo los valores al tipo de suelo según la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es la razón principal por la cual se hizo la división teniendo en cuenta el tipo de suelo solamente y no otros factores.

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 suelo que se encuentran en el área. Se identificaron siete tipos de suelo a partir de la información de las calas realizadas. En las calas perforadas cortó en la mayoría tres estratos. Fueron clasificados como SC, CL, SM, OL, GC, GP, CH.

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

El suelo tipo CL se puede encontrar descrito como:

Arcilla limosa o Limo arenosa de color carmelita claro a oscuro con tonalidades grises, amarillentas o verdosas, con bolsones de CaCO_3 y pequeñas gravas, de poco a muy húmeda y semicompacta de consistencia muy blanda a muy dura según contenido de arena o gravas en pequeñas ocasiones. Rocas lutitas muy severamente intemperizadas reducida a estado de suelo duro, fragmentada, color gris verdoso con nódulos y vetas de CaCO_3 . En ocasiones con restos de fósiles marinos. También puede ser de origen aluvial, de baja a mediana plasticidad, poco compacto y saturada.

El suelo tipo OL se describe como:

Cieno orgánico o marino, de carácter arcillo-limo arenoso. Saturado de consistencia blanda, no consolidado de color gris, gris verdoso o gris azulado, olor putrefacto con abundantes fósiles marinos. En ocasiones presenta arena de granos finos redondeados y subredondeados. Presenta restos de conchas de caracoles de carácter limoso, con algo de arena de grano muy fino con materia orgánica, blando.

El suelo tipo SC se puede clasificar como:

Material de relleno heterogéneo sin compactar a ligeramente compactado representado por arena arcillosa en ocasiones con gravas angulosas y subangulosas que pueden ser de lutitas calcáreas con restos de conchas y caracoles pueden ser de color carmelita claro a verdoso muy húmedo de baja resistencia y baja plasticidad.

El suelo tipo GC está formado por:

Material de relleno compuesto de arena de granos medios a gruesos, limosa de gravas pequeñas y medianas de distintos orígenes, grava arcillosa cantos rodados, areniscas, arena de granos finos a medios. Conglomerado

subanguloso y subredondeado, poco húmedo, color carmelita verdoso a gris parduzco con tonos verdosos, semicompacto a compacto de baja plasticidad.

El suelo tipo GP está constituido por:

Conglomerado polimíctico, estratificado con matriz arenosa, que al ser extraído de su estado natural se comporta como grava mal graduada con arena, mezcla de gravas, arenas y arcillas finas, bastante plástica y dan un carácter cohesivo al suelo fino.

El suelo tipo CH se puede encontrar descrito como:

Lutita calcárea muy severamente intemperizada, de color amarillento, con estructura relictas de la roca. Densidad media, plasticidad media, consistencia media, saturada. Arcilla limosa fisurada con puntos calizos, húmeda, color gris claro con tonos carmelitas, de consistencia blanda a dura. Arcilla calcárea plástica, color gris claro con tonos verdosos, fisurada, húmeda con algunas pequeñas gravas, carbonato de calcio, de consistencia media a dura.

El suelo tipo SM está formado por:

Sedimentos no consolidados, arcilla compresible de color carmelita oscuro, saturadas con abundante material orgánica, cieno orgánico de consistencia muy blanda con abundantes restos de fósiles marinos. Arena Limosa con restos fósiles de origen Marino.

3.1 Distribución de los diferentes tipos de suelo en las calas

La superficie de Caimanera es muy heterogénea, está representada por la capa o estrato número 1 distribuida en toda el área por cuatro tipos de suelos principalmente: CL, GC, SC y SM.

El que más abunda es CL ocupando un 59.25 % del área total; con un espesor que varía desde 0,46 hasta 3,3mts en toda el área. Este es el tipo de suelo donde se encuentran asentadas la mayoría de las edificaciones y viviendas.

En segundo lugar se aprecia al suelo clasificado como SC, el cual ocupa un 18.51% del área. Tiene un espesor que oscila entre 1.21 a 1.6m.

En un tercer lugar aparece el suelo clasificado como SM ocupando el 7.4% del área total. Su espesor promedio es de 1.4m.

Por último encontramos a GC ocupando un 3.70% del área total, con espesor promedio de 0.4m.

A continuación se muestran las tablas con los valores de las propiedades que se tuvieron en cuenta.

Tabla 3.1 Propiedades físico mecánica del suelo tipo CL de la capa 1

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
33	19	21	18
35	21	16	51
35	21	22	51

Tabla 3.1.1 Propiedades físico mecánica del suelo tipo SC de la capa 1

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
34.4	22.6	11	43
37	23	12	46
41	23	16	28

Tabla 3.1.2 Propiedades físico mecánica del suelo tipo SM de la capa 1

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

Tabla 3.1.3 Propiedades físico mecánica del suelo tipo GC de la capa 1

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
38.2	24.5	50	22

En la capa 2 se puede encontrar hasta ocho tipos de suelos distribuidos por toda el área, entre los que se encuentran: CH, CL, CL/ML, GP, OL, SM, GC, SC.

El 40.74% del área está representado por el suelo tipo CL con espesor que oscila entre 0.6 a 10.5m; siendo cortado y descrito en 11 obras. Además por un 37.03% de OL con espesor que varía de 0.8 a 19.2m, siendo cortado y descrito en 10 obras. También hay presencia de un 3.70% de CH con espesor de 1.9m aproximadamente; solo se reportó en 1 obra. Además de un 3.70% de los suelos CL/ML, GP, SM, GC y SC con espesor que varían entre 0.6 a 2.45m en toda el área y solo se reportaron en 1 obra.

Tabla 3.2 Propiedades físico mecánica del suelo tipo CL de la capa 2

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
45	27	3	87
33	23	6	78
34	23	4	46
33	23	13	28
38.8	36.9	2	78
	19.8	24.6	68

Tabla 3.2.1 Propiedades físico mecánica del suelo tipo OL de la capa 2

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
44.7	26.3	3.1	51
37.6	24.3	3.1	
44.7	24.3	3.1	
36	26.6	3.1	
36	23.4	2.5	
36	23.4	2.5	

Tabla 3.2.2 Propiedades físico mecánica del suelo tipo CL/ML de la capa 2

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
28	22	3	80

Tabla 3.2.3 Propiedades físico mecánica del suelo tipo GP de la capa 2

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
	26.9		

Tabla 3.2.4 Propiedades físico mecánica del suelo tipo GC de la capa 2

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

Tabla 3.2.5 Propiedades físico mecánica del suelo tipo SC de la capa 2

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

Tabla 3.2.6 Propiedades físico mecánica del suelo tipo SM de la capa 2

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
44	23.4	9	31

Tabla 3.2.7 Propiedades físico mecánica del suelo tipo CH de la capa 2

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
52	34	5	90

La capa 3 está conformada por diez tipos de suelos, estos son: CH, CL, Margas, MH/CH, OL, PT, SC, SC/CL, SM y SM/SC.

SM está representado en un 40.74%. Su espesor varía de 1.8 a 14.6m, fue cortado y descrito en 11 obras. Encontramos además CH en un 3.70% de los suelos, CL, Margas, MH/CH, OL, PT, SC, SC/CL y SM/SC presentan un espesor que varía de 1.6 a 9m, fue cortado y reportado en 1 obra.

Tabla 3.3. Propiedades físico mecánica del suelo tipo SM de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
44	24	8.7	13
0	0	8.7	87
0	23	8.7	78
	0	13	18
		16	13
		4	

Tabla 3.3.1 Propiedades físico mecánica del suelo tipo CH de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

Tabla 3.3.2 Propiedades físico mecánica del suelo tipo CL de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
33			78

Tabla 3.3.3 Propiedades físico mecánica del suelo tipo Margas de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

Tabla 3.3.4 Propiedades físico mecánica del suelo tipo MH/CH de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
46.4	23.3		

Tabla 3.3.5 Propiedades físico mecánica del suelo tipo OL de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
33	23	2	78

Tabla 3.3.6 Propiedades físico mecánica del suelo tipo PT de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

Tabla 3.3.7 Propiedades físico mecánica del suelo tipo SC de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
45	29	78	

Tabla 3.3.8 Propiedades físico mecánica del suelo tipo SC/CL de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
	25		22

Tabla 3.3.9 Propiedades físico mecánica del suelo tipo SM/SC de la capa 3

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

La capa 4 está compuesta por cuatro tipos de suelos, estos son GC, Margas, SM y SM/SC. GC está representado en un 14.81% con un espesor que varía de 2.5 hasta 11.5m, fue cortada y descrita en 4 obras. Además por un 3.70% de Marga, SM y SM/SC con espesores que varían de 5.1 5m, fueron cortada y documentadas en 1 obra.

Tabla 3.4 Propiedades físico mecánica del suelo tipo GC de la capa 4

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

Tabla 3.4.1 Propiedades físico mecánica del suelo tipo Margas de la capa 4

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

Tabla 3.4.2 Propiedades físico mecánica del suelo tipo SM de la capa 4

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
NP	NP		

Tabla 3.4.3 Propiedades físico mecánica del suelo tipo MH/CH de la capa 4

Límite líquido %	Límite plástico %	N de SPT	% de finos
28	18		

El estrato o capa 5 está representado en un 3.70% de GC.

Al analizar las columnas litoestratigráficas a partir de calas se pudo determinar que predomina el corte formado por CL, como estrato 1; CL y OL en el estrato 2 y en un estrato número 3 encontramos CH, CL/ML, CP, SM, GC y SC distribuidas de forma regular en todas las calas.

Por lo tanto podemos afirmar que el tipo de suelo que predomina es la arcilla limosa o limo arenoso lo que propicia que se amplifiquen las ondas sísmicas teniendo en cuenta el efecto de sitio en el cual se presenta una amplificación dinámica debido al contraste de la velocidad del suelo superficial con respecto a los depósitos más profundos. Entre mayor sea el contraste, mayor será la amplificación.

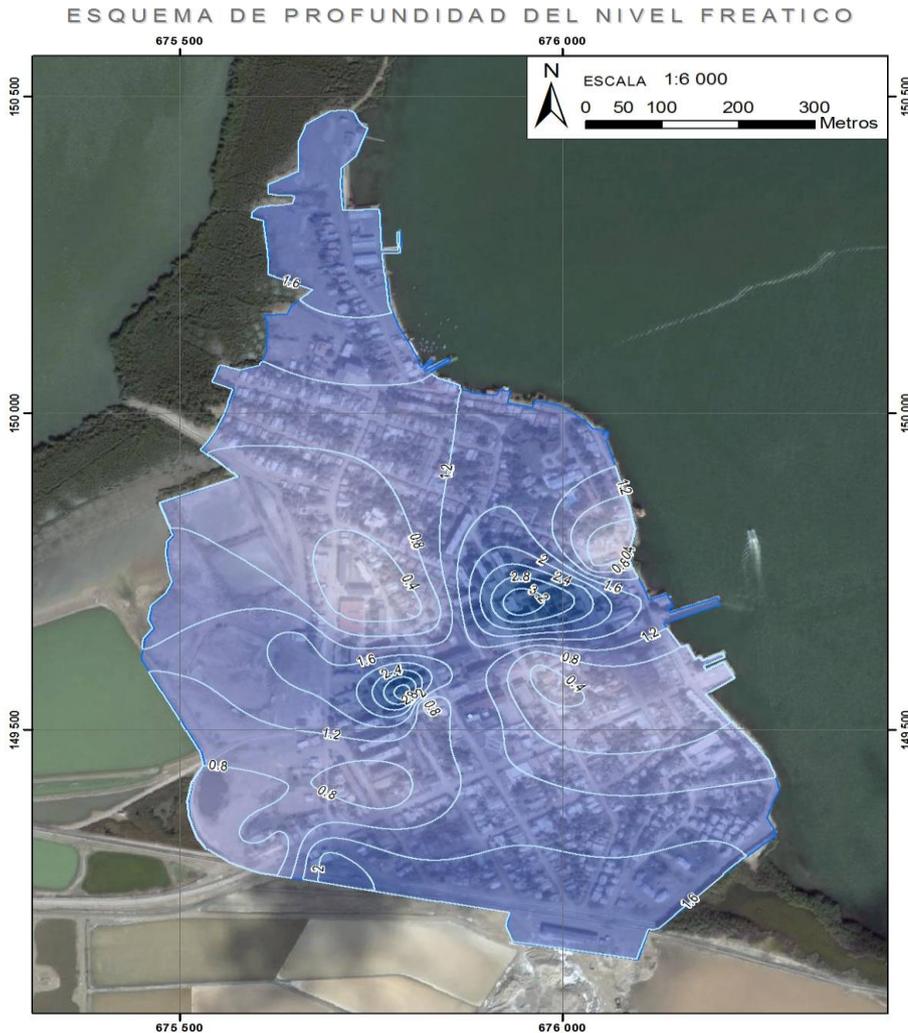


Figura 3.1: Esquema de profundidad del nivel freático

El mapa anterior figura 3.1 muestra la distribución de la profundidad del nivel freático de las aguas en la zona de estudio. La profundidad de yacencia de las aguas dentro de los límites de la región varía desde 0.5- 3.2m. Al encontrarse muy superficial debe someterse a serios estudios hidrogeológico. Nos encontramos en presencia de rocas saturadas y semisaturadas lo que provoca un incremento de la amplificación de las ondas sísmicas y una disminución en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas así como los daños a las obras.

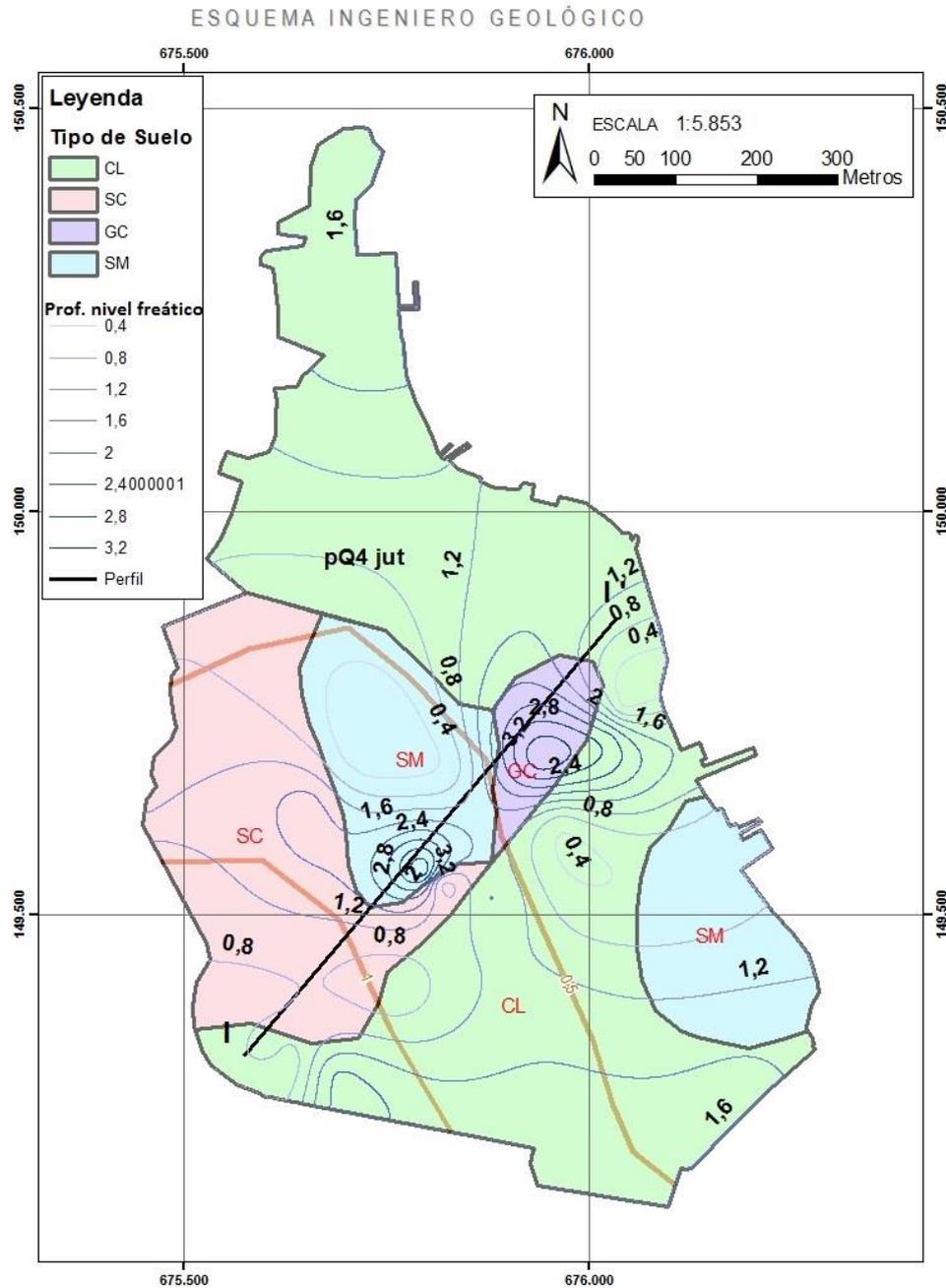
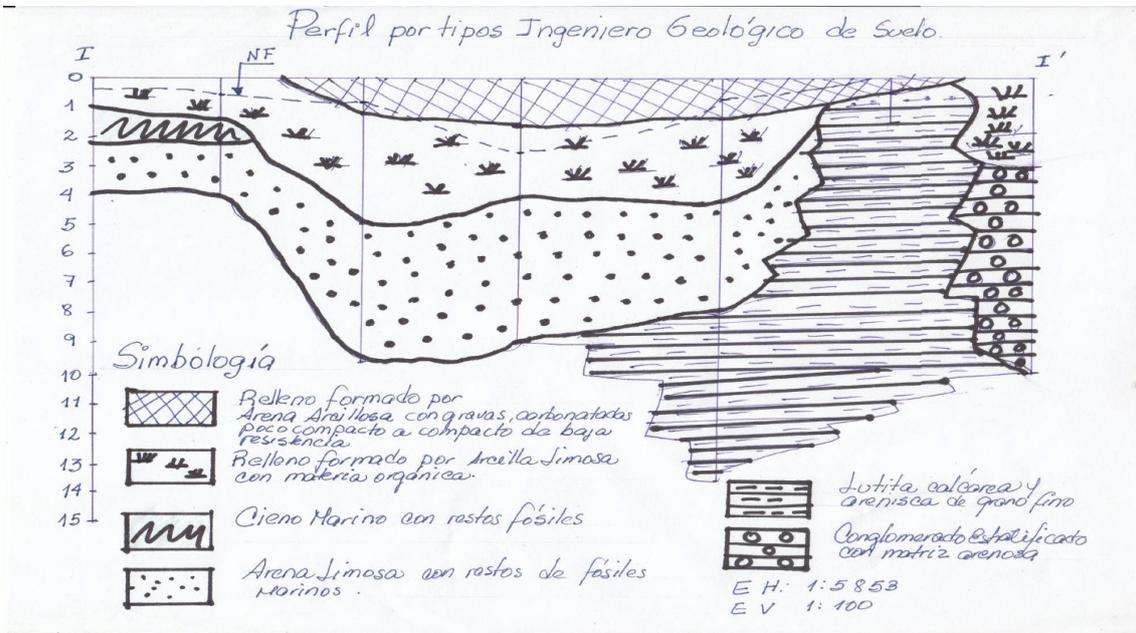


Figura 3.2: Esquema del mapa ingeniero geológico a partir del tipo de suelo

Este mapa muestra los tipos de suelos existentes en la zona de estudio evidenciándose así cuatro tipos de suelos los cuales son: SC (arcillosa arenosa), SM (arena limosa), CL (arcilla limosa de baja plasticidad) y GC (grava arcillosa) de acuerdo a la clasificación dada por el Sistema Unificado de

Clasificación de Suelos (SUCS). Como se puede observar la mayor área ocupada es el suelo tipo CL.

Perfil Ingeniero Geológico I - I'



La confección del perfil ingeniero geológico se hizo por tipos ingeniero geológicos de suelos, en estos se agruparon por su clasificación sin tener en cuenta la granulometría, sino teniendo en cuenta el origen. Se clasificó por subgrupos ingeniero geológicos como lo fue la clasificación por la SUCS para estudiar el comportamiento ante un sismo fuerte, solo que se representará como mencionamos anteriormente. No se pudo tener en cuenta la cota pues los informes y por ende las calas perforadas, carecen de esta información. Se trabajó en la confección del perfil como si fuera llano y se comenzó a perforar a partir del punto 0, por eso en algún lugar no aparece representado el nivel freático, dando la cala seca. Intentamos ajustarlo a la realidad del municipio. Se representó en dirección SW- NE para que pasara por todos los tipos de suelos que se encuentran en la superficie y poder ver su desplazamiento y comportamiento en profundidad. Está respaldado por las obras a las que se les realizaron varias calas. De estas se tomó la información y se promedió el

espesor y la profundidad del nivel freático para representarlo en un punto como un todo, sin afectar la veracidad de la investigación. Con el perfil se pudo comprobar la existencia de los tipos de suelo descritos anteriormente, los cuales pueden ser afectados por el grado de saturación y la cantidad de partículas finas (arcillas- limos), lo cual ayuda a que se amplifiquen las ondas sísmicas y con ello el riesgo de ser destruidas las viviendas y ser afectada gran parte de la población y la economía. Los suelos areno arcillosos son los de mejores condiciones para licuar ante sismos mayores de 7 por lo que recomendamos calcular el factor de seguridad para estas magnitudes y descartar el riesgo.

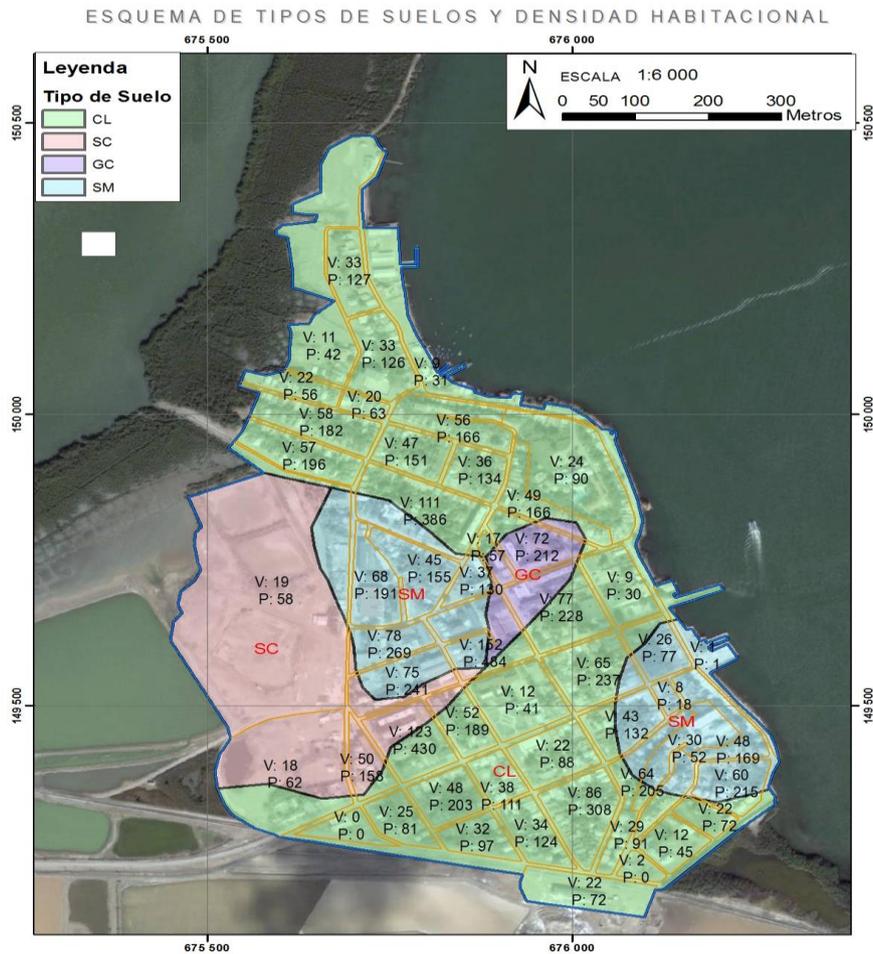


Figura 3.3: Esquema de tipos de suelos y densidad habitacional

Este mapa muestra la densidad habitacional por manzana y la distribución de acuerdo al tipo de suelo presente en la zona de estudio. Se puede decir que en el suelo constituido por arena limosa (SC) existen un total de 148 viviendas con la capacidad de habitantes de 493. El suelo formado por arena limosa (SM) presenta un total de 633 viviendas con la capacidad de habitantes de 2038, el suelo formado por arcilla de baja plasticidad (CL) tiene un total de 1175 viviendas con capacidad de habitantes de 4008 y el suelo representado por grava arcillosa (GC) tiene un total de 160 viviendas con 476 habitantes. Como el suelo CL es el que más área ocupa (Fig.3.1), es donde más asentamiento habitacional existe por lo que están más propenso a la amplificación de las ondas sísmicas y con ello afectaciones a las obras construidas ante un sismo fuerte. Este ocupa toda la parte del litoral.

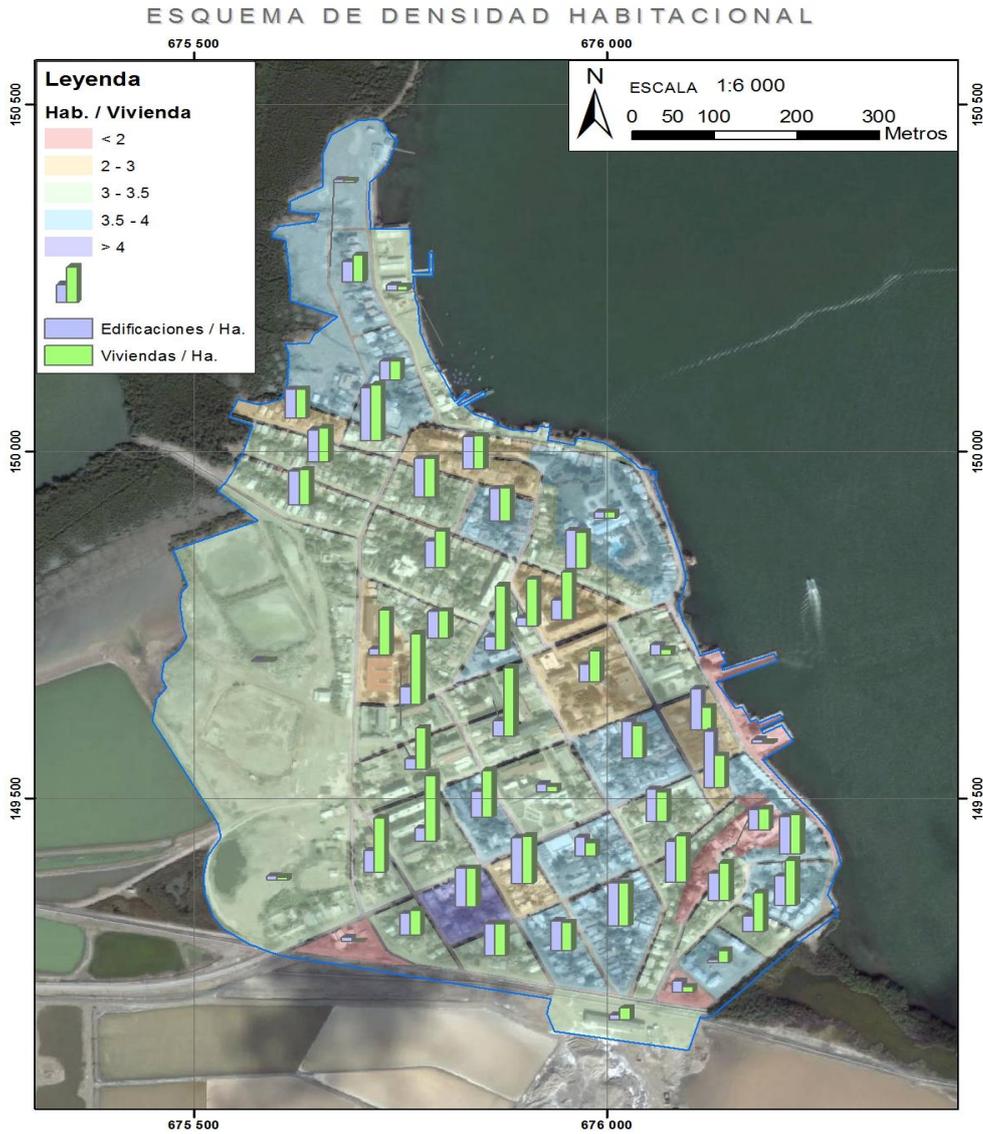


Figura 3.4: Esquema de densidad habitacional

Este mapa muestra la densidad habitacional de la zona de estudio, es decir, para reconocer como están distribuidas las edificaciones y viviendas en el área se dividió por manzanas llegando a la conclusión de que hay más viviendas que edificaciones distribuidas en el área lo que es gratificante dada las condiciones de los edificios y el asentamiento diferencial que están sufriendo el cual se puede aumentar frente un sismo de gran intensidad.

Tabla 3.5 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.

Tipo de suelos	Densidad, g/cm ³ γ	Velocidad de las ondas sísmicas, Km/s		Rigidez sísmica:	
		Longitudinales, Vp	Transversales Vs	pV γ	sV γ
SC. Deposito areno 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 Suelo no con solidado 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 gravas, húmeda baja plasticidad	1.45 - 1.9	0.3 - 0.7	0.1- 0.35	0.44-1.3	0.1 – 0.7
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	1.16-1.75	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

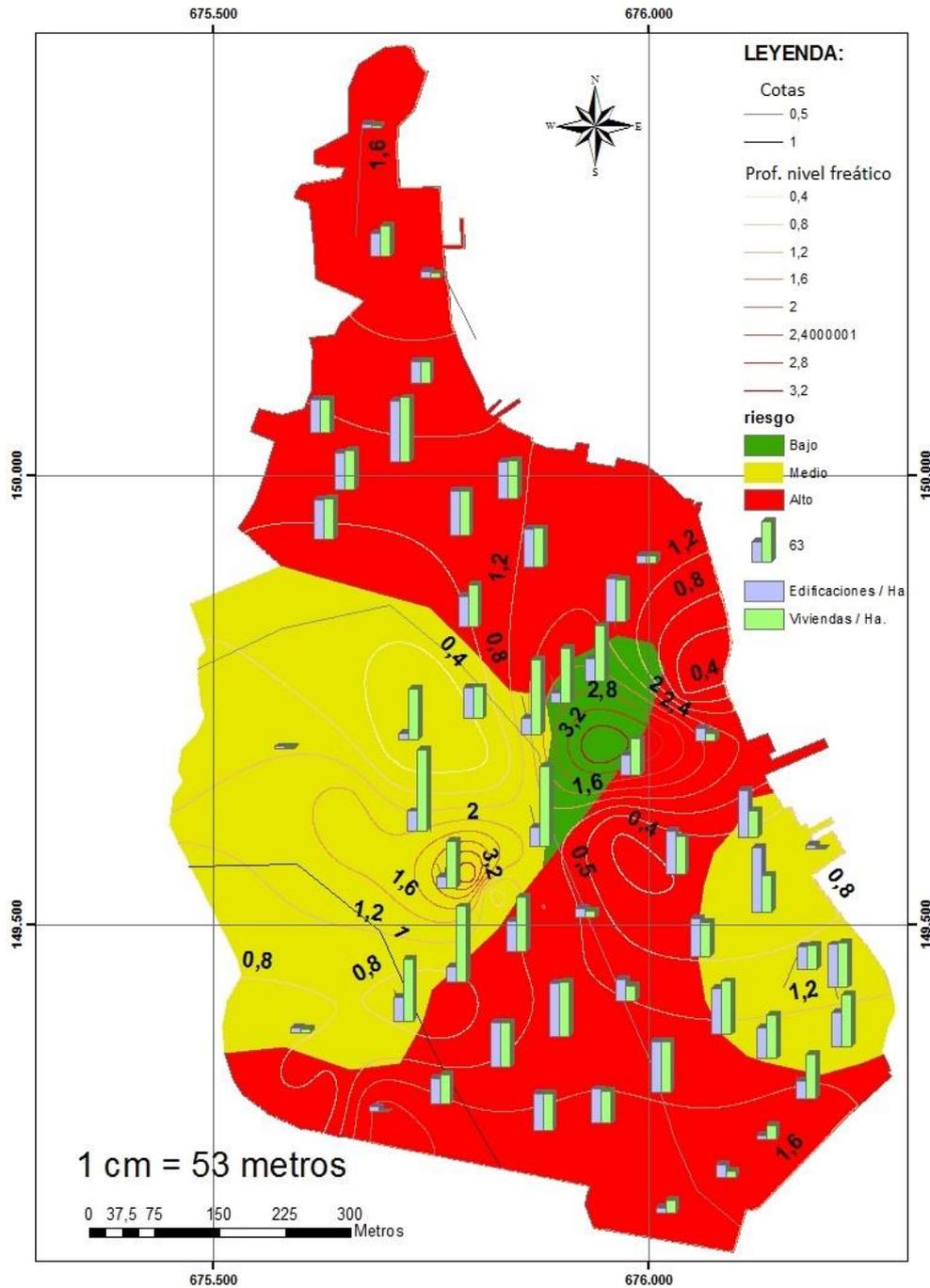


Figura 3.5: Esquema de riesgo sísmico a partir de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y tipo de suelos según la SUCS

Los fenómenos sísmicos registrados en el territorio indican diferencias en los valores de velocidades de ondas longitudinales y transversales. Estos valores se representan en la tabla 3.5 y como se aprecia los mismos están en dependencia del tipo de suelo influyendo en ello su densidad. Mientras más densos son los suelos la velocidad de propagación de las ondas sísmicas será mayor. La multiplicación de la velocidad de propagación y la densidad da como resultado la rigidez sísmica la que varía en dependencia del tipo de suelo. En las gravas hay valores altos de rigidez sísmica sin embargo en suelos arcillosos los valores son pequeños lo que quiere decir que el movimiento del suelo en estos casos será mayor. De ahí que estos suelos sean más peligrosos su construcción de obras como viviendas y edificaciones. A ello se le suma la profundidad del nivel freático, donde alcance valores de 0,5 y más al terreno puede provocar incrementos de un grado de magnitud.

A mayor contenido de arcilla y saturación de poros será mayor la peligrosidad sísmica dado que se incrementa el efecto de sitio en la zona según los tipos de suelo. En la figura 3. 5 el mapa de riesgo sísmico a partir de la correlación de los datos de la tabla 3.1 y la información de los informes de la ENIA se puede apreciar la peligrosidad de la ciudad de Caimanera ante un sismo. Los suelos clasificados como CL (Arcilla limosa) tienen los menores valores de densidad, la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y la rigidez sísmica. Los suelos tipo SM y SC (Arcilla Arenosa y Arena Limosa) se clasifican como peligrosidad media dado al contenido de arcilla. Por último, la menor peligrosidad está dada por el suelo tipo GC (Grava Arcillosa).

Discusión de los Resultados

En áreas de alto riesgo, el desarrollo sustentable sólo es posible en la medida en que las decisiones sobre planificación de desarrollo, tanto en el sector público como en el privado, tengan en cuenta el potencial destructivo de las amenazas naturales. Este enfoque es importante en situaciones post-desastre cuando los organismos locales, nacionales e internacionales se ven

presionados a reemplazar, con frecuencia en el mismo sitio, las instalaciones que han sido destruidas. Es en estos momentos que se torna más evidente la necesidad de contar con información sobre amenazas naturales e incorporarla al proceso de planificación del desarrollo.

Para tratar el manejo de amenazas deben incorporarse acciones específicas dentro de varias etapas del estudio de planificación del desarrollo integrado: primero, evaluar la presencia de los eventos naturales y su efecto en los bienes y servicios brindados por los recursos naturales en el área a desarrollar; segundo, obtener un estimativo del impacto potencial de los eventos naturales en las actividades de desarrollo; y tercero, incluir medidas para reducir la vulnerabilidad de las actividades de desarrollo propuestas. Dentro de este contexto se deben identificar los elementos de la infraestructura vital: aquellos componentes o segmentos críticos de los medios productivos, infraestructura y sistemas de apoyo que deben tener la menor vulnerabilidad posible y ser considerados como prioritarios en las actividades de respuesta a un desastre.

Las condiciones ingeniero geológicas de los suelos de Caimanera cumplen algunas de las condiciones para que el suelo sea licuable, algo que no podemos predecir cuándo sucederá pero sí podemos evitar que afecte a gran parte de la población.

Primero, con una zonación del potencial de licuación podríamos cuantificar el peligro si conocemos previamente el fondo habitacional que puede afectar. Segundo, si la población conoce lo vulnerable que es, y a qué se expone puede prepararse y evitar un desastre. Si los dirigentes de los diferentes escalones de mando conocen el fenómeno y sus consecuencias es mucho más fácil tomar decisiones correctas, como es el caso de los edificios de cuatro pisos construidos desde la década de los ochenta que presentan un asentamiento diferencial visible. Varios informes de la época recomendaron eliminar los últimos pisos o no habitarlos, a lo que se le hizo caso omiso. Actualmente se

habitan todos los pisos y están en mal estado. Lo que nos da una idea que no se tiene percepción del peligro, tanto por los habitantes como por sus decisores que tienen la potestad para tomar las decisiones correctas en el momento preciso. Actualmente se construye por esfuerzo propio bajo una norma de viviendas económicas algo que no está en correspondencia con las condiciones climatológicas ni las necesidades de la población, esto sucede por no conocer las particularidades del municipio y construir por una norma estándar para todo el país aunque no cumplan las mismas condiciones.

El principal problema que se puede apreciar es que la población en general no conoce los fenómenos geológicos inducidos y sus consecuencias.

Podemos concluir que el suelo tipo CL es el que cumple con las condiciones para que se amplifiquen las ondas sísmicas y con ello los daños que puede causar. Es el que cumple además con parámetros como: Límite líquido, profundidad del nivel freático, espesor de la capa. En otros parámetros es mayor que lo planteado, como es el por ciento de partículas finas pero consideramos que debe hacerse el cálculo del factor de seguridad para corroborar la información y descartar la licuación de los suelos como un peligro para las personas y obras de la ciudad de Caimanera.

CONCLUSIONES

El área de estudio se encuentra en el delta del río Guantánamo, está representada por sedimentos cuaternarios de la Fm. Jutía donde se destacan suelos cohesivos, friables y órgano detríticos con alto grado de saturación. Teniendo en cuenta la granulometría y la plasticidad se clasifican como Arcilla limosa, Arena arcillosa, Arena limosa y Grava con arcilla. Son suelos arcillosos de granulometría fina los que se ven influenciados por sismos de 8 grados de intensidad en la escala MSK y aceleraciones entre 50 y 100 cm/s².

Las condiciones ingeniero geológicas de Caimanera se comprobó que los suelos de tipo Arcilla limosa no son favorables para la construcción de edificaciones con más de tres pisos ni viviendas económicas, producto a la humedad, la cercanía del nivel freático a la superficie, los bajos valores de velocidad de propagación de las ondas sísmicas lo que hace que el efecto de sitio y la resistencia sísmica sea baja. Este suelo se ubica hacia el litoral y en la parte central.

En el esquema de riesgo sísmico a partir de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y tipo de suelos donde se reflejan las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales dio como resultado la rigidez sísmica. La peligrosidad de la zona está dada en alto medio y bajo según el contenido de arcilla lo que facilita un mejor ordenamiento territorial a los proyectistas y a los decisores.

Los sectores con suelo de tipo arcilla limosa (CL) es el que presenta mayor riesgo sísmico dado el alto contenido de arcilla lo que provoca la amplificación de las ondas sísmicas y con ello el peligro para las construcciones, en este suelo se encuentra el mayor asentamiento poblacional.

RECOMENDACIONES

Realizar la localización de las obras antiguas existentes y de las actuales con GPS para poder utilizar la información de los informes y calas en futuros trabajos de investigación como este.

Realizar el estudio para todos los parámetros de la vulnerabilidad en la ciudad de Caimanera.

Calcular el factor de seguridad para determinar si puede ocurrir la licuación de los suelos en los diferentes tipos de suelo de la ciudad de Caimanera.

No continuar con la construcción de viviendas de bajo recurso en el área.

Evitar la construcción de edificaciones en suelos de tipo (CL) arcilla con limo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, R. 1987: Esquema ingeniero-geológico de la ciudad de Bayamo. Tesis de Maestría. ISMM. 72p
- Arencivia, E. 2002: Ingeniería de detalle Abasto Caimanera. UEBPI. Guantánamo. Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.
- Arias Méndez, M., & Vega Cutiño, R. 2006: Construcción de viviendas para médicos El Cañito. Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.
- Darton, & Meinzer. 1926: Geology of the Guantanamo Basin Cuban. Guantanamo.
- De la Rosa Aroche, S. 1983: Estudio de las propiedades físico mecánicas de las rocas y suelos de la provincia de Holguín. Holguín. Tesis de Diploma. ISMM. 60p
- Durán González, E. 1982: Construcción de la laguna de oxidación de la pasteurizadora. Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.
- González de Vallejo, . 2002: Ingeniería Geológica. PEARSON EDUCACION. Madrid. 744
- Guasch Echavarría, F. 2014: Apreciación de la amenaza sísmica de Cuba Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas CENAI, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Inciarte Febies, E. 2009: Construcción del dormitorio UM 2431. Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.
- Inciarte Febies, E. 2009: Estudio cantera material arcillosa (MINFAR). Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.
- Kosary, M. 1955: Geological Reconnaissance of the Guantanamo Basin Area. Guantanamo.
- Mancevo Lavin, V. 2009: Construcción del edificio Socio – Administrativo del puerto de Boquerón. Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.
- Montoya, J. 2005: Construcción de la oficina Sede de los Trabajadores Sociales. Informe Ingeniero Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.

- Navarro Campos, N., & Marín Antún, E. 2004: Evaluación de los edificios 12, 15 y 28. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Oliva, R. 1989: Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba. CENAIS.Santiago de Cuba
- Pascual P, W. 1984: Construcción del policlínico tipo G modificado. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Pascual P. , W. 1985: Evaluación ingeniero geológica del área donde se proyecta la construcción del edificio G.P. IV. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Pascual P. , W. 1982: Construcción de la funeraria del municipio de Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Pascual P. , W. 1985: Construcción del consultorio con vivienda en Boquerón. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Pascual P. , W. 1985: Construcción del seminternado 300 alumnos. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Pascual P. , W. 1986: Construcción de la escuela especial en Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Pascual P. , W. 1986: Construcción de los edificios multifamiliares. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Pascual P. , W. 1986: Construcción del Servicentro de Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Pascual P., W. 1986: Construcción de la ferretería de Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Pascual P., W. 1986: Construcción de las viviendas económicas en Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Plá Duperté, M., & Arencivia G. , E. 2005: Drenaje pluvial Caimanera. Investigación ingeniero geológica. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Reinaldo, E. 1975: Condiciones ingeniero geologicas preliminares de la cuenca de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba. Tesis de Diploma.ISMM. 59p

Rill Martínez, F. 2004: 15. Rill Martínez Fernando, 2004. Ampliación de la escuela primaria “Wilfredo Gonce” en Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.

Riesgo Sísmico disponible en:

http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Riesgo_sísmico&oldid=82160505». (s.f.). Recuperado el 5 de mayo de 2015, de wikipedia.

Robira Barzagas, M. 2008: Construcción de la Sucursal de Bandec en Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.

Robira Barzagas, M.2008: Estudio del suelo al área seleccionada para el cambio de los tanques metálicos de combustibles del Servicentro de Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.

Rodriguez Infante, M. I.1983: “Propiedades físico – mecánicas de los suelos de la provincia de Holguín”. Holguín.Tesis de Diploma.ISMM.71p

Rodriguez Prado, S.1981: Esquema ingeniero geológico del valle de Guantánamo. Guantánamo.Tesis de Diploma.ISMM.65p

Rubio Batista, F., & Frómata Founier, R, 2011: Reconstrucción de la cerca perimetral del Hotel Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.

Rubio Batista, F., & Inciarte Febies, E. 2009: Rubio Batista Francisco y Inciarte Febies Eunices Estudio de cantera BON del Este. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.

Sanchez Torres, G.1978: Esquema ingeniero geológico de Cienfuegos y los alrededores de la bahía. Cienfuegos. Tesis de Diploma. ISMM.61p

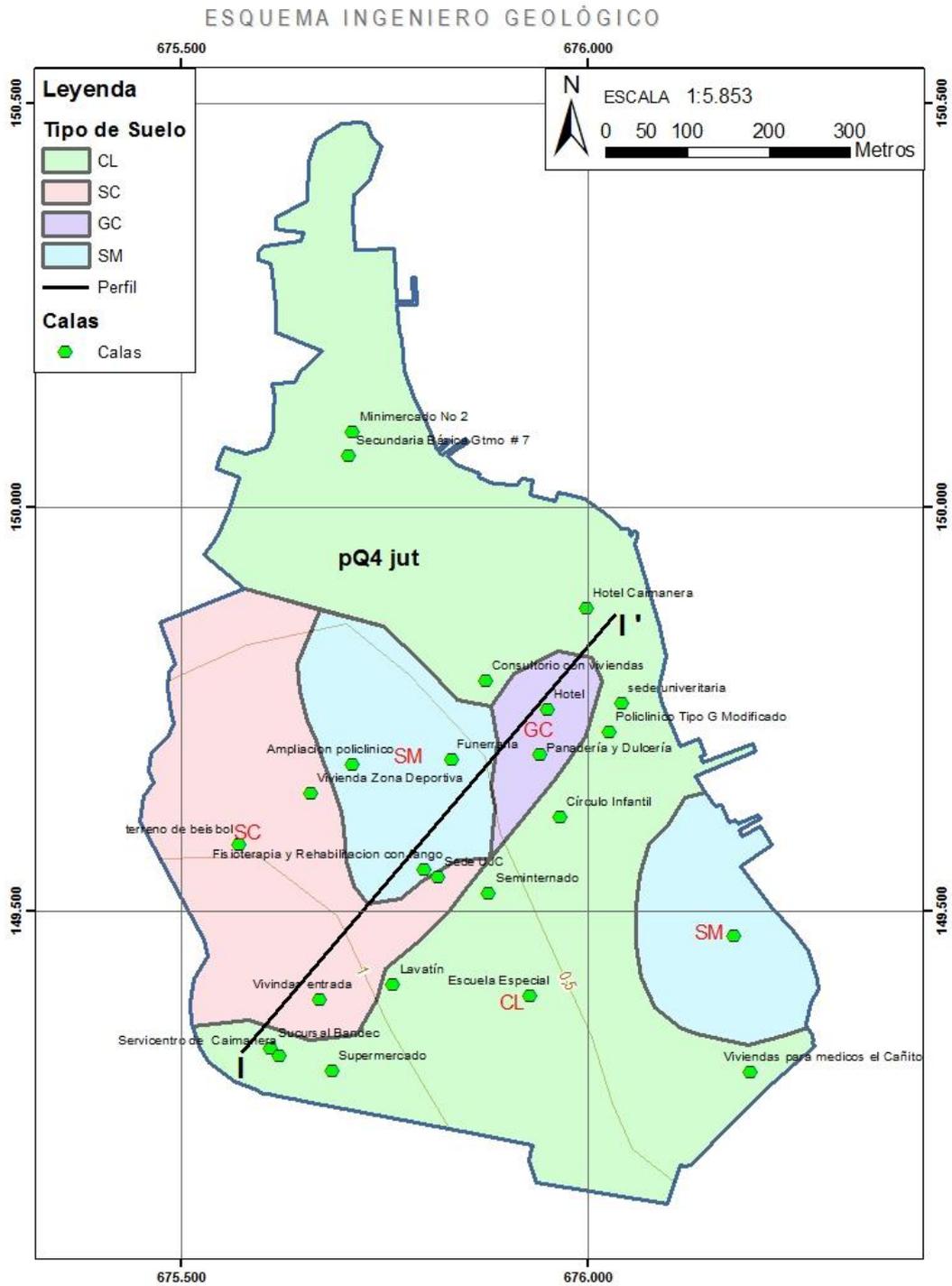
Sayoux Chivas, R.2001: Investigación técnico ejecutiva del área seleccionada para la construcción de 16 viviendas por el Sistema Constructivo Sandino de uno y dos niveles. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.

Seed, H. B., & Idriss, I. M. 1982: “Ground motions and soils liquefaction during Earthquakes”,Technical report, Earthquake Engineering Research Institute.

Shadenet. 1990: Factores que condicionan la ocurrencia de licuacion.

- Sosa , J. A., & Vega Cutiño, R. 2001: Análisis del terraplén para la construcción de 52 viviendas en el reparto 19 de diciembre El Cañito. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Stoev, S.1967:Esquema de Guantánamo. Guantánamo.Tesis de Diploma.ISMM.60p
- Thompson Wint , O. 2004: Ampliación de policlínico de Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Thompson Wint , O. 2005: Estudio del suelo correspondiente al área seleccionada para la construcción de la Sede Universitaria en Caimanera. Informe Ingeniero Geológico.ENIA. Santiago de Cuba.
- Vidal M., E., & del Campo G, L. 1982: Esquema Ingeniero - geológico de Moa. Moa.Tesis de Diploma.ISMM.63p

Anexo 1: Esquema ingeniero geológico con la ubicación de las obras.



Anexo 2: Perfil por tipos Ingeniero Geológicos de suelos

