



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Facultad: Geología y Minería

Departamento de Geología

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Geólogo

Título: Delimitación de escenarios susceptibles a la licuefacción inducido por terremotos de gran magnitud en el consejo popular Guillermon Moncada del municipio de Santiago de Cuba.

Autor: Isabel Herrera Delfín

Tutor: Ing Liuska Fernández Diéguez

Ing Pedro Díaz Santos

Ing. Ricardo Oliva Álvarez.

Moa 2015

“Año 57 de la Revolución”





DEDICATORIA

*A mi madre querida **Marlenis Delfín Reyes**, por su amor y confianza durante toda mi vida.*

*A mi querido padre **Ernesto Azahares Leyva**, por el apoyo brindado durante mis años de vida.*

A toda mi familia por ser el reino de mi mundo.

*A mis hermanos **Ernesto Daniel e Iliana**.*

*A mis tutores de Santiago en especial **Oliva y Pedrito**.*

*A **Yosmany Leyva Trotman** por ser el compañero que me enseñó a creer en mí y ser mejor persona.*

*A mis amigos y hermanos de la universidad, en especial a **Yosmani, Dayana, Marlen Tito, Leyanis, Alenny, Dari, Susell, Mario, José, Irayaselis, Marlen Torres, Iliana, Yoennis, Danay, Miritá, Margelis, Dariana, Jadier**.*

*A **Yulian Miguel Alemán Driggs** por ser la persona que me dio ese aliento de fuerza en los momentos que creía todo perdido.*



AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme regalado este tiempo de vida

A mi mamá por haber hecho suyo también este proyecto,

A todos los que de una forma u otra me han apoyado y ayudado en la culminación de mi tesis.

A Yosmany Leyva Trotman por ser el compañero que me enseñó a creer en mí y ser mejor persona

A mis amigos y amigas de la universidad, en especial a Yosmani, Dayana, Marlen Tito, Leyanis, Alenny, Dari Susell, Mario, José, Irayaselis, Marlen Torres, Iliana, Yoennis, Danay, Miritá, Margelis, Dariana, Jadier.

A Yulian Miguel Alemán Driggs por ser la persona que me dio ese aliento de fuerza en los momentos que creía todo perdido.

A Marlo Leyva Tarafa por ayudarme en la realización de este proyecto.

Gracias



Pensamiento

A los revolucionarios más jóvenes, especialmente, recomiendo exigencia máxima disciplina férrea, sin ambición de poder, autosuficiencias ni vanaglorias. Cuidarse de métodos y mecanismos burocráticos. No caer en simples consignas, ver en los procedimientos burocráticos el peor obstáculo. Usar la ciencia y la computación son caer en lenguaje tecnicista e ininteligible de élites especializadas. Sed de saber, constancia, ejercicios físicos y también mentales.

Fidel Castro Ruz

Reflexiones, 14 de enero de 20



Resumen

En el presente trabajo encaminado a la delimitación de escenarios susceptibles a la licuefacción inducido por terremotos de gran magnitud en el Consejo popular Guillermo Moncada, surge por la necesidad de conocer las condiciones ingeniero geológicas de los suelos de dicho consejo en el cual se aspira a determinar y evaluar las condiciones ingeniero geológicas y las particularidades sísmicas del Consejo Popular. Se utilizaron un conjunto de métodos que resolvieran la necesidad de la investigación como el cálculo del factor de seguridad corregido, la determinación de intensidades máximas que se pueden obtener a partir de magnitudes sísmicas que provoquen licuefacción en el área de estudio. Se obtuvo como resultado un mapa de susceptibilidad a la licuefacción en el área de estudio donde pudimos apreciar que desde el punto de vista de clasificación de suelos que los mismos varían espacialmente de forma aleatoria, contienen un alto grado de materia orgánica y un alto porcentaje de saturación, en estado blandos, con restos de fósiles marinos, color gris y se encuentran en casi toda el área con diferentes espesores y composición, extendiéndose como media hasta los (5 - 10.35) m de profundidad al norte de la bahía y desde (5.95 a 7.75)m al este, predominando los suelos arcillosos muy plásticos (CH) en dirección norte, hacia el centro este los suelos arenosos arcillosos con grava (SC) y en sentido sur arcillas y limos orgánicos (OL – OH) son los sectores con probabilidades entre altas a media a la susceptibilidad a la ocurrencia de licuefacción lo que permitirá lograr una mejor ubicación y planificación de obras ingenieriles en el área.



Abstract

Presently work guided to the delimitation of susceptible scenarios to the liquefaction induced by earthquakes of great magnitude in the popular Council Guillermon Moncada, arises for the necessity of knowing the geologic conditions engineer of the floors of this advice in which is aspired to determine and to evaluate the geologic conditions engineer and the seismic particularities of the Popular Council. They were used a group of methods that you/they solved the necessity of the investigation like the calculation of the corrected factor of security, the determination of maximum intensities that you/they can be obtained starting from seismic magnitudes that cause liquefaction in the study area. It was obtained a map of susceptibility as a result to the liquefaction in the study area where we could appreciate that from the point of view of classification of floors that the same ones vary spacely in an aleatory way, they contain a high degree of organic matter and a high saturation percent, in soft state, with remains of marine fossils, gray color and they are in almost the whole area with different thickness and composition, extending like he/she mediates until those (5 - 10.35) m of depth to the north of the bay and from (5.95 at 7.75)m to the east, prevailing the very plastic loamy floors (CH) in north address, toward the center this the loamy sandy floors with gravel (SC) and in sense south clays and organic slimes (OL - OH) they are the sectors with probabilities among high to stocking to the susceptibility to the occurrence of liquefaction what will allow to achieve a better location and planning of works engineering in the area.



INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I. CARACTERISTICAS FISICO -GEOGRAFICAS Y GEOLOGICAS DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE CUBA.....	18
Introducción	18
1.1 Características Físico-Geográficas del municipio Santiago de Cuba	18
1.2 Particularidades climáticas de la región	19
1.3 Geodinámica de la región de estudio.	20
1.4 Condiciones geológicas	24
1.5 Estratigrafía.....	28
1.6 Características geomorfológicas	35
1.7 Hidrografía.....	35
1.8 Condiciones geotécnicas	36
1.9 Características sismológicas de la región oriental de Cuba y de la región de estudio.	36
CAPITULO II: METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUEFACCION GENERADA POR TERREMOTOS DE GRAN MAGNITUD EN EL CONCSEJO POPULAR GUILLERMON MONCADA.	42
Introducción	42
2.1 Metodologías para determinar los escenarios susceptibles a la licuefacción:	42
2.2 Metodologías a aplicar en el área de estudio para determinar los escenarios susceptibles a la licuefacción:	43
2.2.1 Análisis del comportamiento del nivel freático en el área de estudio	44
2.2.2 Confección del esquema ingeniero geológico del área de estudio	44
2.2.3 Cálculo del factor de seguridad corregido ante la licuefacción	44
2.2.4 Metodología propuesta para determinar la susceptibilidad a la licuefacción en el área de estudio apoyándonos en las propiedades geotécnicas del suelo.....	48
CAPITULO III: ANALISIS Y DISCUION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL AREA DE ESTUDIO	50
Introducción	50



3.1 Análisis ingeniero geológico del área de estudio	51
3.1.1 Clasificación ingeniero geológica del suelo del área de estudio.....	52
3.1.2 Esquema ingeniero geológico de los suelos presentes en el área de estudio .	54
3.1.3 Perfiles Ingeniero Geológicos del área de estudio.....	56
3.2 Análisis del nivel freático en el área de estudio.....	60
3.3 Resultados del Cálculo del Factor de Seguridad.....	61
3.4 Esquema de susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en el área de estudio .	
.....	63
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
Referencias bibliográficas	69
Anexos	73



INTRODUCCION

Para el diseño o revisión del planeamiento territorial y urbano se precisa de la realización de estudios de riesgo de desastres o de peligro vulnerabilidad y riesgo; que permitan proyectar las acciones de construcción o intervención en el medio físico construido previendo medidas de protección sobre bases científicamente argumentadas.

El riesgo sísmico, al igual que todos los riesgos de desastres, debe ser minuciosamente estudiado, teniendo en cuenta el comportamiento del terreno ante los efectos destructivos del desastre; en este caso las sacudidas verticales y horizontales que inciden sobre las edificaciones y las obras de infraestructura en el territorio y que no llegan con igual intensidad a cada sitio de análisis.

Los terremotos son fenómenos debidos a la brusca liberación de la energía de deformación acumulada durante largos periodos de tiempo en la zona superficial de la tierra. Los sismos producen ondas de varios tipos, que se propagan desde su foco en todas las direcciones a través de la tierra. Este movimiento del suelo tiene una característica importante y es que es muy irregular, por lo cual las construcciones pueden verse afectada por fuerzas sísmicas actuando en cualquier dirección. La sismicidad es uno de los fenómenos naturales que más ha preocupado a la humanidad a través de los tiempos, pues los extraordinarios y rápidos avances de la ciencia ni antes ni ahora se han podido disponer de un mecanismo predictivo capaz de alertarnos ante la inminencia de un terremoto y siguen ocurriendo la destrucción de grandes ciudades, las incalculables pérdidas de vidas humanas y `perdidas en la economía de los países afectados. Durante los terremotos el movimiento del terreno puede causar una pérdida de la firmeza o rigidez del suelo provocando resultados como el desplome de edificaciones, deslizamientos de tierra, daños en las tuberías, entre otros. Este fenómeno está principalmente, más no exclusivamente, asociado con suelos saturados poco cohesivos. El término licuefacción, incluye entonces todos los fenómenos donde se dan excesivas deformaciones o movimientos como resultado de transitorias o repetidas perturbaciones de suelos saturados poco cohesivos.



En general, la licuefacción del terreno se produce cuando determinados tipos de suelos afectados por terremotos desarrollan elevadas presiones intersticiales de forma rápida (sin drenaje), dando lugar a una pérdida de la resistencia al corte y a la rotura del suelo, que se comporta como si fuera un líquido.

Las investigaciones sismológicas de Cuba sitúan a la provincia Santiago de Cuba como la de mayor peligro sísmico del territorio nacional. Más del 60% de los sismos perceptibles y fuertes reportados en el país han tenido su epicentro en Santiago de Cuba (Chuy & otros, 2002), siendo sacudida por más de 1000 sismos perceptibles desde el año 1528 hasta la fecha (Chuy, 2010). A tales efectos se recuerdan en el municipio Santiago de Cuba y más específicamente en su ciudad cabecera, los grandes terremotos ocurridos el 3 de febrero de 1932 y el 8 de agosto de 1947, donde se reportaron serios daños en la ciudad de Santiago de Cuba, fundamentalmente en los alrededores de la bahía (Chuy & otros, 2002) por esta razón la autora se propone realizar la delimitación de escenarios susceptibles a la licuefacción inducido por terremotos de gran magnitud en el consejo popular Guillermon Moncada en la provincia de Santiago de Cuba.

Problema científico: necesidad de realizar la delimitación de escenarios susceptibles a la licuación inducido por terremotos de gran magnitud en el consejo popular Guillermon Moncada.

Objeto de Estudio:

Los suelos del consejo popular Guillermon Moncada

Objetivo General: Delimitación de los escenario susceptible a la ocurrencia de licuefacción en el consejo popular Guillermon Moncada



Objetivos específicos:

- ❖ Realización un esquema ingeniero geológico del consejo popular Guillermon Moncada en Santiago de Cuba.
- ❖ Evaluación del nivel freático en el área de estudio.
- ❖ Determinación del factor de seguridad ante la licuefacción.

Hipótesis:

Si se realiza un esquema ingeniero geológico, se analiza el comportamiento del nivel freático y se determina el factor de seguridad ante la licuefacción, se podrán delimitar los escenarios susceptibles a la licuefacción en el área de estudio

Novedad de la investigación:

Por primera vez:

- ❖ Se hace un análisis de la licuefacción como fenómeno geológico inducido a partir de la conjugación de un sistema de indicadores geotécnicos y la ocurrencia de terremotos de gran magnitud en el área de estudio.

Resultados Esperados:

- ❖ Esquema ingeniero geológico.
- ❖ Cálculo del factor de seguridad en el área de estudio.
- ❖ Análisis del nivel freático en la región de estudio
- ❖ Esquema de susceptibilidad a la licuefacción del consejo popular Guillermon Moncada



ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEORICO

Introducción

La licuefacción del suelo es uno de los temas más interesantes y complejos inducidos por terremotos. Normalmente se presenta en los suelos granulares finos sueltos, en los que el espacio entre partículas individuales es rellenado con agua. Como consecuencia de los poros cubiertos totalmente con agua, se ejerce una presión sobre las partículas del suelo circundante. Cuando un terremoto afecta al suelo, las partículas de la superficie tienden a reagruparse hacia un estado compacto causando que el agua ejerza una fuerte presión para empujar afuera los espacios vacíos que estaban ocupados. Debido a que el promedio de movimientos es, por lo general, rápido así como el promedio por el cual el agua puede salir o escapar del suelo, la presión del agua en los espacios se incrementa (exceso de presión de agua) tendiendo a empujar las partículas del suelo unas con otras. Debido a que las partículas ya no se encuentran en estrecho contacto unas con otras, la resistencia del suelo decrece, produciéndose una falla en el caso que el suelo no pueda soportar más la carga impuesta. Bajo tal tensión en las fallas y el tiempo para disipar este exceso de presión de agua, las partículas colapsan al interior de una formación compacta mientras que el exceso de agua fluye por un camino hacia la superficie. Esto sucede en simultáneo con el asentamiento que logra el depósito por el estado de densidad luego de la falla.

Conceptos de licuefacción.

- ❖ Vallejo, 2002, define suelos licuables, aquellos suelos con contenido areno-limoso, en estado saturado, al experimentar esfuerzos cortantes anómalos y rápidos, permiten un aumento de las presiones intersticiales (por falta de drenaje), en que la resistencia al corte desaparece y el material se comporta como líquido, dando lugar a movimientos verticales y horizontales de su masa, que se traducen en deslizamientos, o en grandes asentamientos.



- ❖ Rodríguez, Audemard, & Rodríguez, Departamento de Ciencias de la Tierra, Fundación Venezolana de Investigaciones sismológicas comenta que la licuefacción de sedimentos es la transformación a estado líquido de materiales granulares, saturados como consecuencia del incremento de la presión de poros.
- ❖ Colectivo de Autores de la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica, Geología. San Pedro, Costa Rica expresa que la licuefacción de los suelos es un fenómeno en el cual los terrenos saturados de agua, particularmente sedimentos recientes como arena o grava pueden perder mucha de su fuerza o firmeza y fluyen ante la acción de esfuerzos provocados por temblores. Esto aumenta significativamente el daño a estructuras como casas y edificios, las cuales pueden ser desplazadas, hundidas o volcadas, aun cuando permanezcan intactas estructuralmente.
- ❖ La licuefacción de sedimentos es la “disminución de la resistencia al corte en un suelo no cohesivo saturado, debido al aumento de la presión intersticial durante un terremoto, pudiendo llegar a producirse la anulación de la presión efectiva entre sus partículas” lo que hace que el terreno fluya como si fuera un líquido. (Colectivo de Autores, 2012)
- ❖ Tanasijevic, 2011 define licuefacción como la transformación del material granular del estado sólido al licuado, como la consecuencia del incremento de las presiones de poro y de la reducción de presiones efectivas.

Factores que influyen en la licuefacción

Los estudios de la licuefacción sísmica de (Seed, 1966) llevaron a postular las siguientes condiciones:

- ❖ Si la presión de poros inducida por la acción dinámica o cíclica del terremoto alcanza el valor de la presión de confinamiento, el suelo alcanzará el estado de licuefacción inicial
- ❖ Si la arena sometida a acción cíclica alcanza el 20% de deformación se alcanzará la licuefacción total.

El conocimiento del proceso y sus efectos se ha basado en tres diferentes principios:

- ❖ Observaciones de campo antes y después de los terremotos.
- ❖ Experimentos en el laboratorio en muestras de suelos saturados, y en modelos de fundaciones y estructuras.
- ❖ Estudios teóricos.

Factores que condicionan la ocurrencia de licuefacción. (Shadenet, 1990)

- ❖ Distribución del tamaño de los granos.
- ❖ Profundidad de las aguas subterráneas
- ❖ Densidad.
- ❖ Peso
- ❖ Amplitud y duración de la vibración del terreno.
- ❖ Edad del depósito.
- ❖ Origen del suelo.
- ❖ **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.
- ❖ **Profundidad de las aguas subterráneas.** Mientras menor sea el nivel de las aguas subterráneas, mayor será la probabilidad de que ocurra licuefacción.
- ❖ **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.
- ❖ **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.

- ❖ **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.
- ❖ **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.
- ❖ **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.

La ocurrencia de licuefacción proviene de la combinación de dos factores:

- ❖ Uno interno, caracterizado por la tendencia de un suelo dado o sitio a licuar, el cual es llamado susceptibilidad de licuefacción.
- ❖ Otro externo, caracterizado por la acción de carga en relación con la tierra en movimiento; esto es frecuentemente referido como Oportunidad de Licuefacción y representa la capacidad del terreno a causar la licuefacción a una distancia dada de la fuente. La combinación de estos factores conlleva al Riesgo de Licuefacción, lo cual es frecuentemente llamado Potencial de Licuefacción.

La susceptibilidad a la licuefacción de los suelos depende de varios parámetros como son, (Carrillo,2007):

- ❖ Densidad relativa.
- ❖ Radio de sobre consolidación.
- ❖ Curva granulométrica / cohesión.



Estudios estadísticos sobre licuefacción y no licuefacción de los suelos han sido abandonados para ampliar la caracterización de susceptibilidad de estos a partir de investigaciones más engorrosas y de mayor detalle. En estos casos se realizan muestreos los cuales permitirán proponer las zonas susceptibles a licuefacción; para esto se tienen en cuenta los siguientes parámetros, obtenidos a partir de muestreos ingeniero - geológicos en zonas importantes.

Son susceptibles a licuefacción bajo determinadas condiciones:

- ❖ Sedimentos arenosos y arenas.
- ❖ Suelos arcillosos (Dependiendo del tamaño de los granos).

No son susceptibles a licuefacción bajo ningún caso:

- ❖ Suelos gravosos con D_{10} mayor que 2 mm.
- ❖ Suelos arcillosos (Dependiendo del tamaño de los granos).

**Sismos Históricos donde ha ocurrido el fenómeno de licuefacción****Tabla 1** Sismos históricos donde ha ocurrido el fenómeno de licuefacción.

México	19 de septiembre de 1985	Un terremoto golpeó la capital mexicana en 1985 y dejó un saldo de al menos 9,500 personas muertas
Armenia	7 de diciembre de 1988	Un terremoto de 6,9 grados arrasa el noroeste de Armenia, matando a 25,000 personas
Irán	21 de junio de 1990	Unas 40,000 personas mueren a consecuencia de un sismo que sacude la provincia de Gilan, en el norte de Irán
India	30 de septiembre de 1993	Unas 10,000 personas mueren en el oeste y sur de la India
Japón	17 de enero de 1995	Un temblor devasta la ciudad japonesa de Kobe, dejando casi 6,500 muertos
Isla Sakhalin (Rusia)	27 de mayo de 1995	La isla de Sakhalin es sacudida por un gran terremoto de 7,5 grados, que se cobra la vida de casi 2,000 rusos
Irán	mayo de 1997	Más de 1,600 personas mueren en Birjand, al este de Irán, a causa de un temblor de magnitud 7,1 en la escala Richter
Afganistán	30 de mayo de 1998	El norte del país es sacudido por un fuerte sismo que mata a unas 4,000 personas
Turquía	17 de agosto de 1999	Un terremoto de 7,4 grados sacudió las ciudades turcas de Izmit e Istanbul, dejando más de 17,000 muertos y muchos más heridos
Taiwán	21 de septiembre de 1999	Un temblor de 7,6 grados mata a casi 2,500 personas y causa daños en todas las localidades de la isla
India	26 de enero de	Un terremoto de magnitud 7,9 en la escala Richter,



	2001	devasta el estado de Gujarat, al noroeste de la India. Al menos 20,000 personas murieron y más de un millón perdieron sus hogares
Afganistán	26 de marzo de 2002	Un fuerte terremoto de siete grados en la escala Richter sacude una remota región del norte de Afganistán, causando más de mil muertos y varios miles de heridos
China	24 de febrero de 2003	Un temblor en la región de Xinjiang, al oeste de China, deja más de 260 muertos y destroza casi 10,000 casas
Turquía	1 de mayo de 2003	Más de 160 personas, incluidos 83 niños, mueren a causa de un sismo en el sureste de Turquía
Argelia	21 de mayo de 2003	Argelia sufre su peor terremoto en más de dos décadas. Al menos 2,000 personas murieron y unas 8,000 resultaron heridas en el temblor, que se dejó sentir también en España
Irán	6 de diciembre de 2003	Un fuerte temblor destruye la histórica ciudad de Bam, en el sur de Irán, dejando a su paso más de 26,000 muertos
Marruecos	24 de febrero de 2004	Al menos 500 personas murieron a consecuencia de un sismo que sacudió la costa mediterránea de Marruecos
Indonesia	26 de diciembre de 2004	Un terremoto de 8,9 grados agrieta el suelo del fondo del mar de la costa del noroeste de Sumatra, Indonesia, desencadenado un tsunami que viaja miles de kilómetros a través del Océano Índico. Se trata del segundo mayor terremoto registrado en la historia, que dejó más de 200,000 muertos y miles de desaparecidos
Irán	22 de febrero de 2005	Cientos de personas mueren en un sismo de magnitud 6,6 con epicentro en una zona remota cerca de Zarand, en la provincia iraní de Kerman



Islas Nias	28 de marzo de 2005	Alrededor de 1,300 personas mueren en un temblor de 8,7 grados en la escala Richter, en la costa de las islas indonesias de Nias, al oeste de Sumatra
Pakistán	8 de octubre de 2005	Un terremoto de 7,6 grados en el norte del país y la región de Cachemira mata a unas 75,000 personas y deja millones de damnificados
Irán	1 de abril de 2006	Un terremoto de 6,0 grados deja unas 70 víctimas mortales y cerca de 1,200 heridos en una región remota del oeste de Irán
Java, Indonesia	27 de mayo de 2006	Unas 5,000 personas mueren cuando un terremoto de 6,2 grados azota Java y provoca una gran devastación en la ciudad de Yogyakarta y sus alrededores
Java, Indonesia	17 de julio de 2006	Un terremoto submarino de 7,7 grados causa un tsunami que golpea a un segmento de unos 200 kilómetros de la costa sur de la isla de Java y mata a más de 650 personas
Perú	15 de agosto de 2007	Un terremoto de 7,9 grados cuyo epicentro se situó en la costa central del país, a unos 45 kilómetros de Chíncha Alta, causó la muerte de 595 personas
Haití	12 de enero de 2010	Terremoto de una magnitud de 7,0 destruye su capital, Puerto Príncipe en donde fallecieron 316,000 personas, 350,000 más quedaron heridas, y más de 1,5 millones de personas quedaron sin hogar
Chile	27 de febrero de 2010	Terremoto de magnitud de 8,8 destruye el centro y sur de ese país con un total de 486 víctimas fatales oficialmente reconocidas, 79 personas desaparecidas y un importante daño en infraestructura.



Fenómenos Asociados a la licuefacción

Cuando la licuefacción es acompañada por algún tipo de desplazamiento o falla del terreno, los efectos destructivos de la licuefacción pueden tomar muchas formas como: falla de flujo, desplazamiento lateral, oscilación del terreno, pérdida de capacidad portante, asentamientos, e incrementos en las presiones laterales sobre muros de contención y pilotes. A continuación amplían los conceptos relacionados con algunas de las formas destructivas en las que se manifiesta el fenómeno de licuefacción.

❖ Falla de flujo

Es el tipo de falla más catastrófica causado por la licuefacción, ya que por lo general desplaza grandes masas de suelo por decenas de metros. Los flujos pueden estar compuestos de suelo completamente licuado o por bloques intactos de material flotando sobre la capa de suelos licuados. Los flujos se presentan en arenas, limos sueltos y saturados, y en taludes con pendientes superiores a los 3 grados, (Youd, 1992) figura 1 a

❖ Desplazamiento lateral

El corrimiento lateral involucra el desplazamiento de grandes bloques de suelo como resultado de la licuefacción. El desplazamiento ocurre en respuesta a la combinación de las fuerzas de la gravedad y las inerciales generadas por el sismo. Los desplazamientos laterales se presentan por lo general en pendientes suaves (comúnmente menores a los 3 grados) y se incrementan en las cercanías a un canal o un río, tal como lo indican las flechas de la figura 1 b Youd (1992).

La magnitud de los desplazamientos horizontales generalmente es del orden de los metros. Las capas de suelos desplazados en general presentan fisuras, fracturas, escarpes y hundimientos de bloques.



❖ **Oscilaciones del terreno**

Donde el terreno es plano o la pendiente demasiado suave para permitir desplazamientos laterales, la licuefacción de estratos subyacentes puede causar oscilaciones que no dependen de capas superficiales, la cual se manifiesta hacia los lados, arriba y abajo en la forma de ondas de terreno. En general, dichas oscilaciones son acompañadas por la apertura y cerramiento de fisuras en el suelo, y la fractura de estructuras rígidas como los pavimentos y tuberías, Youd (1992), figura 1 c.

❖ **Pérdida de la resistencia del suelo de soporte**

Cuando el suelo que soporta un edificio u otra estructura se licua y pierde su resistencia, se pueden presentar grandes deformaciones en su interior, las cuales hacen que las estructuras superficiales se asienten y se inclinen. Las fallas más espectaculares que se conocen por este fenómeno ocurrieron en el sismo de Niigata, Japón, en 1964, Youd (1992), figura 1 d.

❖ **Volcanes de arena**

Al presentarse la licuefacción de arenas, se generan presiones de poro muy altas, las cuales obligan a que el agua fluya rápidamente a la superficie, formando pequeños volcanes de arena. Este flujo ascendente de agua puede ocurrir durante o después de un sismo. Los volcanes de arena indican también zonas de posibles asentamientos, ver figura 1 e.

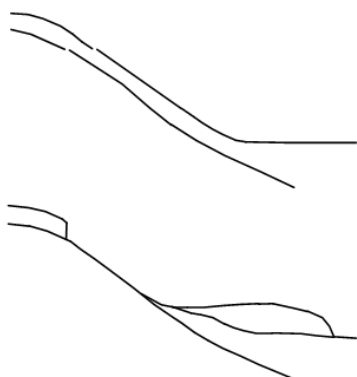
❖ **Asentamientos**

En muchos casos el peso de la estructura puede ser insuficiente para causar los grandes asentamientos asociados con las pérdidas de capacidad portante descritas anteriormente. Sin embargo, pueden ocurrir pequeños asentamientos cuando la presión de poro se disipa después de un sismo. Estos asentamientos pueden causar daños aunque menores a los producidos por fallas de flujo, desplazamientos laterales o pérdidas de capacidad portante.

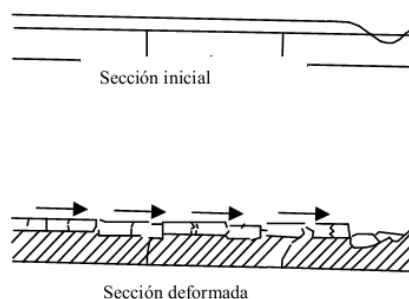
❖

❖ Incrementos de la presión lateral sobre muros de contención

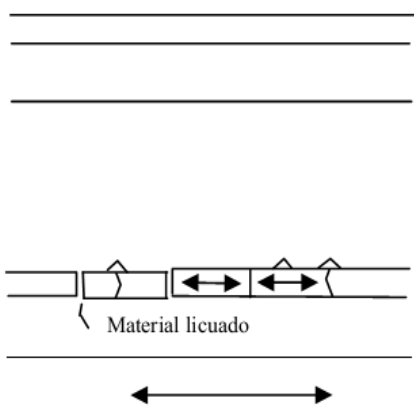
Si el suelo de relleno de un muro de retención se licua, las presiones laterales sobre dicho muro se pueden incrementar enormemente. Como un resultado de esto, el muro puede desplazarse en el sentido lateral, cabecear o fallar estructuralmente, como se ha observado en un gran número de rompeolas e islas artificiales durante varios sismos.



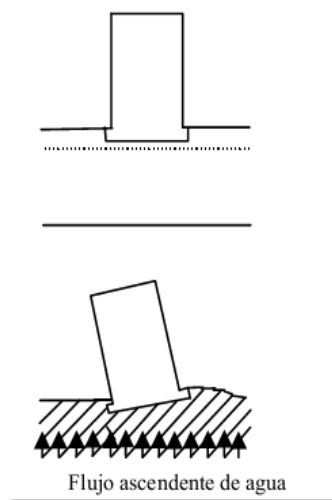
a) Falla de flujo



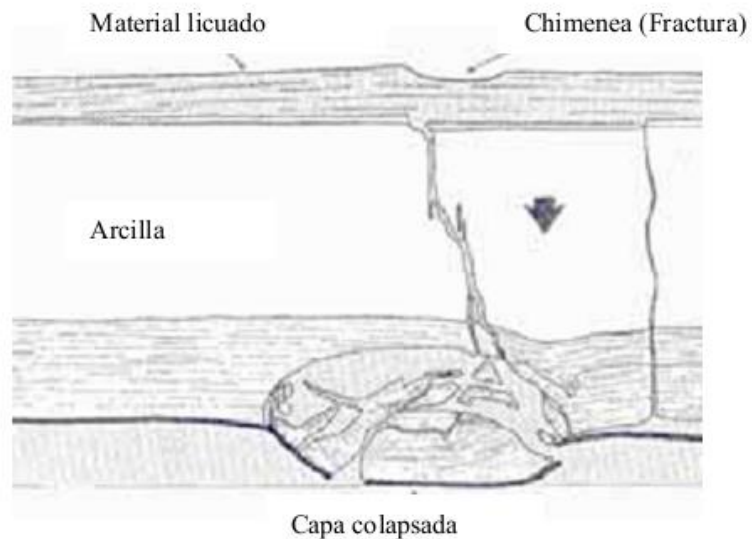
b) Desplazamiento lateral



c) Oscilación horizontal del terreno



d) Pérdida de la resistencia del suelo de soporte



e) Volcán de arena

Figura 1. Esquemas de fenómenos asociados a la licuefacción, Youd (1992)

Metodologías usadas para la determinación del potencial de licuefacción

En la actualidad se presentan en publicaciones científicas diversas metodologías internacionales (Seed & Idriss, 1971), (Alcocer, 1994) (Alcocer, 1994) (Youd & Idriss, 2001), (Yegian & Whitman, 1978) (Tokimatsu & Yoshimi, 1983) (Taiping & otros, 1984); para cuantificar la licuación de los suelos resultantes de acciones dinámicas (sísmicas), entre estos se destacan:

- ❖ Métodos de (Kishida y Ohsaki, 1969 y 1970)
- ❖ Método de (Seed, 1983)

Hay que destacar, dos enfoques importantes para evaluar el potencial de licuefacción de suelos granulares sujeto a movimientos sísmicos, planteamiento corroborado por (Seed, 1979)

❖ **Métodos empíricos.** Basado en observaciones in situ del comportamiento de depósitos tipo arena durante movimientos sísmicos anteriores y correlaciones entre predios que no se han licuado, y densidad relativa del número de golpes de ensayos SPT.

❖ **Métodos analíticos.** Basados en la determinación en laboratorio de las características de resistencia a la licuefacción de muestras no alteradas y el uso de análisis de respuestas dinámica del predio para determinar la magnitud de las tensiones de corte inducidas por los movimientos sísmicos.

No obstante, ambas metodologías solicitan definir el nivel de aceleración del terreno como prerrequisito para evaluar el potencial de licuefacción. A menudo este nivel se establece a partir de relaciones entre la magnitud del sismo, la distancia al epicentro y la aceleración pico.

Conjuntamente diversos métodos saltan a la luz para evaluar la resistencia de los suelos a la licuefacción, tal como se explican a continuación:

❖ **Modelos Físicos**

Estos métodos requieren del uso de centrífugas o tablas vibratoras para simular la carga sísmica bajo condiciones de contorno bien definidas. El suelo utilizado en el modelo es remoldado para representar diferentes densidades y condiciones geométricas. A causa de las dificultades en conseguir un modelo con las mismas condiciones del sitio, los modelos físicos rara vez se utilizan para estudiar la resistencia a la licuefacción de un sitio específico. Sin embargo, los modelos físicos son valiosos para analizar y entender el comportamiento generalizado del suelo y para evaluar la validez de modelos constitutivos bajo condiciones de contorno bien definidas, como se indica en los comentarios relativos a los métodos analíticos.

❖ Técnicas Empíricas

Entre ellas, uno de mayor difusión y aplicación, el Procedimiento Simplificado, en que se calculan dos variables sísmicas primarias tales como: a) la excitación sísmica de la capa de suelo, expresada en términos de la relación de esfuerzos cíclicos promedios ($CSR = (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo})$); y b) la capacidad de la capa de suelo para resistir la licuefacción, en términos de la relación de resistencia a la licuefacción. En la mayoría de las técnicas empíricas, el valor promedio de la relación de esfuerzos cortantes cíclicos (CSR) inducidos por el sismo se obtiene de los análisis de la respuesta dinámica del subsuelo.

$$CSR = 0.65 (a_{max} / g) (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) r_d$$

Dónde: a_{max} es la máxima aceleración que se espera en el lugar según las leyes de atenuación, amplificada por el efecto de sitio, considerando que los suelos no se licúan y que las presiones de poros no se incrementan en el proceso; g es la aceleración de la gravedad; σ_{vo} y σ'_{vo} , son los esfuerzos verticales total y efectivo; y r_d es el factor de reducción de esfuerzos, el cual varía ampliamente con la profundidad dependiendo del perfil de suelos tal como sigue:

(Liao y Whitman, 1986), para la práctica de ingeniería rutinaria, en proyectos no críticos, proponen las siguientes ecuaciones para estimar el r_d utilizando la profundidad por debajo de la superficie del suelo en m. (Z)

$$\text{Para } z \leq 9,15 \text{ m} \quad r_d = 1,0 - 0,00765z$$

$$\text{Para } 9,15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \quad r_d = 1,174 - 0,0267z$$

CAPITULO I. CARACTERISTICAS FISICO -GEOGRAFICAS Y GEOLOGICAS DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE CUBA .

Introducción

El municipio de Santiago de Cuba presenta diversidad en cuanto a sus características físico geográfico y geológico convirtiéndolo en un municipio con probabilidad de ocurrencia de fenómenos inducidos por sismos como la licuefacción, el cual influye en el planeamiento territorial y la urbanización.

1.1 Características Físico-Geográficas del municipio Santiago de Cuba

El municipio Santiago de Cuba se encuentra situado al sur de la provincia de igual nombre y colinda por el norte con los municipios San Luis y Songo La Maya; por el sur con el Mar Caribe; por el este con la provincia Guantánamo y por el oeste con los municipios Guamá y Palma Soriano (figura 1.1) siendo sus Coordenadas Lambert aproximadas (tabla 1.1) de:

Tabla 1.1 Coordenadas del municipio Santiago. Fuente (ONEI, 2012).

	Min	Max
X	579 319,500 Metros	651 778,500 Metros
Y	137 356,000 Metros	164 642,000 Metros

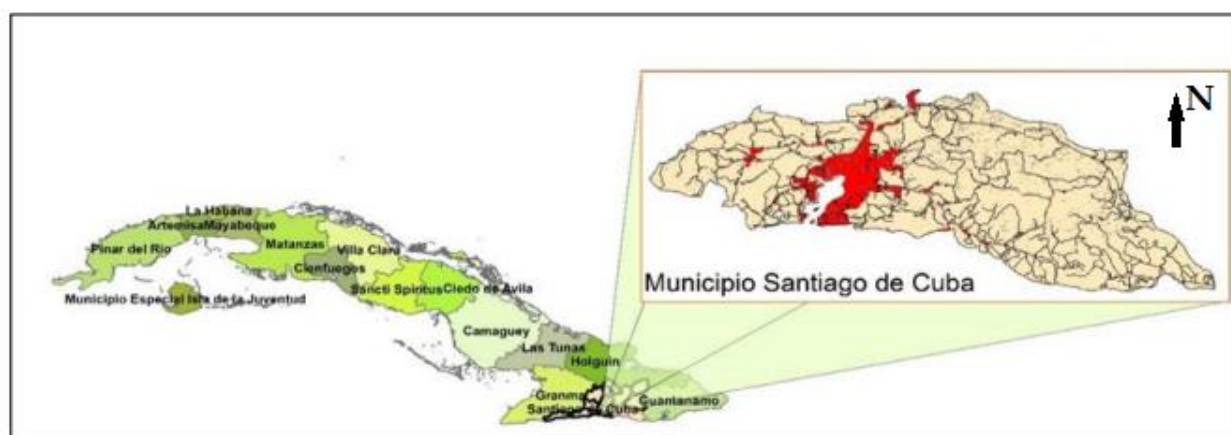


Figura 1.1 Ubicación geográfica del municipio Santiago de Cuba en el contexto provincial y nacional.

1.2 Particularidades climáticas de la región

Desde el punto de vista climático el municipio Santiago de Cuba es uno de los municipios más calurosos del país, al menos al nivel del mar, con una temperatura máxima media de 32.2°C y una mínima media de 22.1°C en la ciudad, la lluvia media anual el año 2012 fue de 1175 mm. (I.N.R.H., 2012)

El clima es subtropical cálido; con un período lluvioso de mayo a octubre donde se registran de un 80 a un 100 % de los totales anuales; los meses de septiembre y octubre son los de mayor ocurrencia, seguidos de agosto y noviembre. El período seco va de noviembre a abril, con el 20 % y los meses de menor ocurrencia son mayo, junio y julio (figura 1.2)

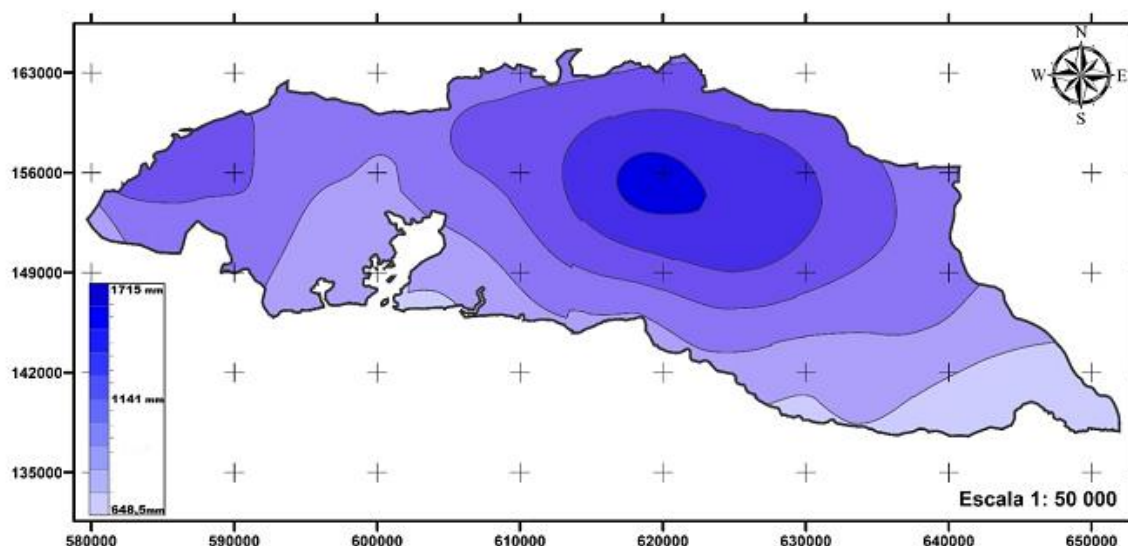


Figura 1.2 Mapa de Precipitaciones medias anuales del municipio Santiago de Cuba.

Fuente: (I.N.R.H., 2012).

1.3 Geodinámica de la región de estudio.

El sistema de fallas de Mar Verde a El Cristo, en la línea Boniato - Quintero, el punto 011 ha llegado a tomar valores de -40 mm en el período de 1983-1990, lo cual indica, además, una secuencia de esfuerzos de distensión en el intervalo de tiempo señalado, observado a lo largo de toda esta estructura. Sin embargo, la estructura que se encuentra al Norte de este sistema de fallas, se define en toda su longitud por la presencia de deformaciones de componente compresiva, y una tercera estructura, localizada al Norte se comporta de forma distensiva, a lo largo de toda esta zona de fallas, se evidencia la presencia de movimientos horizontales a partir de los desplazamientos del cauce de los diferentes arroyos que la atraviesan, y de las pequeñas colinas que forman el relieve al Norte de la bahía de Santiago de Cuba, constituidas por rocas vulcanógenas sedimentarias del grupo El Cobre de edad Eoceno - medio; las cuales están muy deformadas tectónicamente. (Figura 1.3)

Es contradictorio el hecho de que la falla Boniato, no refleje valores anómalos de las deformaciones de los movimientos verticales, que permitan definirla en la actualidad como una falla activa de importancia en la región. Se trata de una estructura expresada muy bien en el relieve con una dirección Este - Oeste, que limita al Norte la cuenca de Santiago de Cuba con la meseta monoclinual de Boniato, la cual ha sido señalada por varios autores como una estructura activa, e incluso sismogeneradora.

Otra zona de fallas importante parte de la bahía de Cabañas y sigue por el borde Este de la bahía de Santiago de Cuba en forma de arco, va del SW al Norte del área, donde marca el límite Oeste de las rocas Neógenas de la Formación La Cruz y el espectro de terrazas, (o más bien fallas escalonadas) sobre las que está asentada la ciudad.

Al parecer, este sistema forma un patrón de deformaciones con una componente predominantemente distensiva, que se manifiesta también en las características de la costa, al Este y Oeste de la bahía de Santiago de Cuba; al Sureste del área toma una dirección definida SW -NE. Entre las fallas sobresalen la que va de Sardinero - Sevilla que, en el punto 442, manifiesta una marcada inestabilidad con movimientos descendentes, lo mismo ocurre en el punto 467.

El relieve en esta parte de la cuenca se caracteriza por la presencia de una meseta, con superficies de nivelación de 100 m de altura sobre el nivel del mar, donde los levantamientos neotectónicos se manifiestan muy bien, sobre todo a partir de los diferentes niveles de terrazas marinas que se observan en la costa y de las características antecedentes de las corrientes fluviales que la atraviesan.

En sentido general, los dos patrones de fallas activas definidos anteriormente, delimitan una estructura similar a un PULL APART BASIN, situada en dirección SW -NE, en cuyo centro se encuentra la bahía de Santiago de Cuba, notablemente rotada en sentido horario y basculada hacia su margen derecha, en correspondencia con la dinámica de las estructuras que la delimitan.

En el extremo NE de la cuenca de Santiago de Cuba, donde se interceptan los dos principales sistemas de fallas, el cuadro geodinámico se complica considerablemente, al reflejarse esto directamente en los valores anómalos de los desplazamientos verticales de todos los puntos del Polígono Geodinámico en esta zona.

En consecuencia con esto y si se tiene en cuenta además, que las direcciones principales de esfuerzos son horizontales de compresión, su resultado debe traducirse en movimientos de rotación y levantamientos de bloques perpendicularmente a la dirección de los esfuerzos principales, así como de hundimiento de los bloques orientados en la dirección de los esfuerzos. (Chuy, Despaigne, & González, , 2000)

Para la evaluación del peligro y la estimación del riesgo se considera que las principales afectaciones relacionadas con la fallas activas en la ciudad de Santiago de Cuba ante la ocurrencia de un sismo fuerte están dadas sobre todo en el hecho de que éstas constituyen zonas débiles en superficie donde se producen incrementos de la intensidad sísmica, son zonas también donde se pueden producir movimientos diferenciales por constituir límites de bloques con diferente dinámica, así como por servir las mismas como guía de ondas desde el foco sísmico o hipocentro.

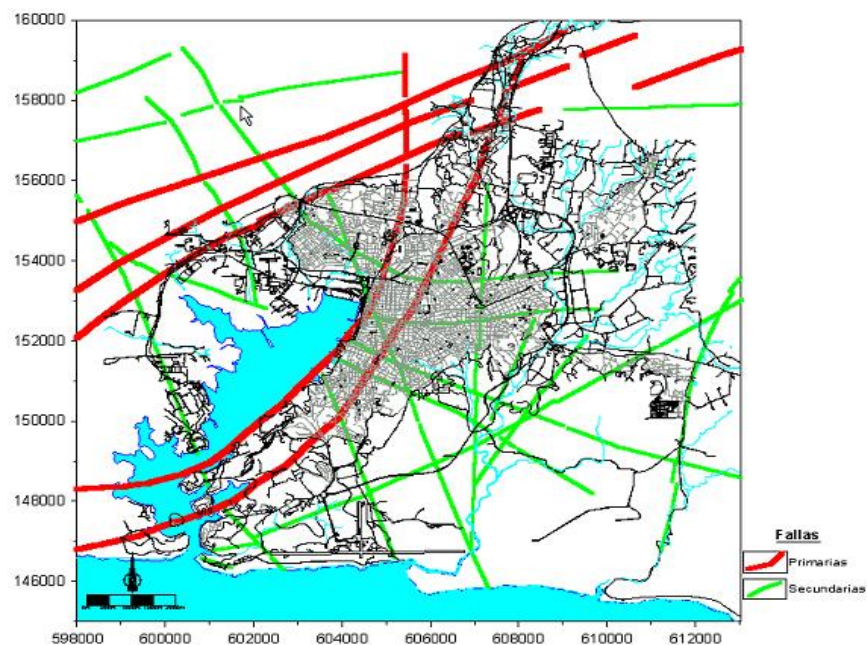


Figura 1.3 Esquema de fallas activas del área de estudio. Fuente CENAI S

También se presenta un Mapa de Inestabilidad tectónica, (Figura. 1.4) donde se tomó un ancho de afectaciones para las fallas principales de 200 metros y para las secundarias de 100 metros. (Chuy, Despaigne, & González, 2000)

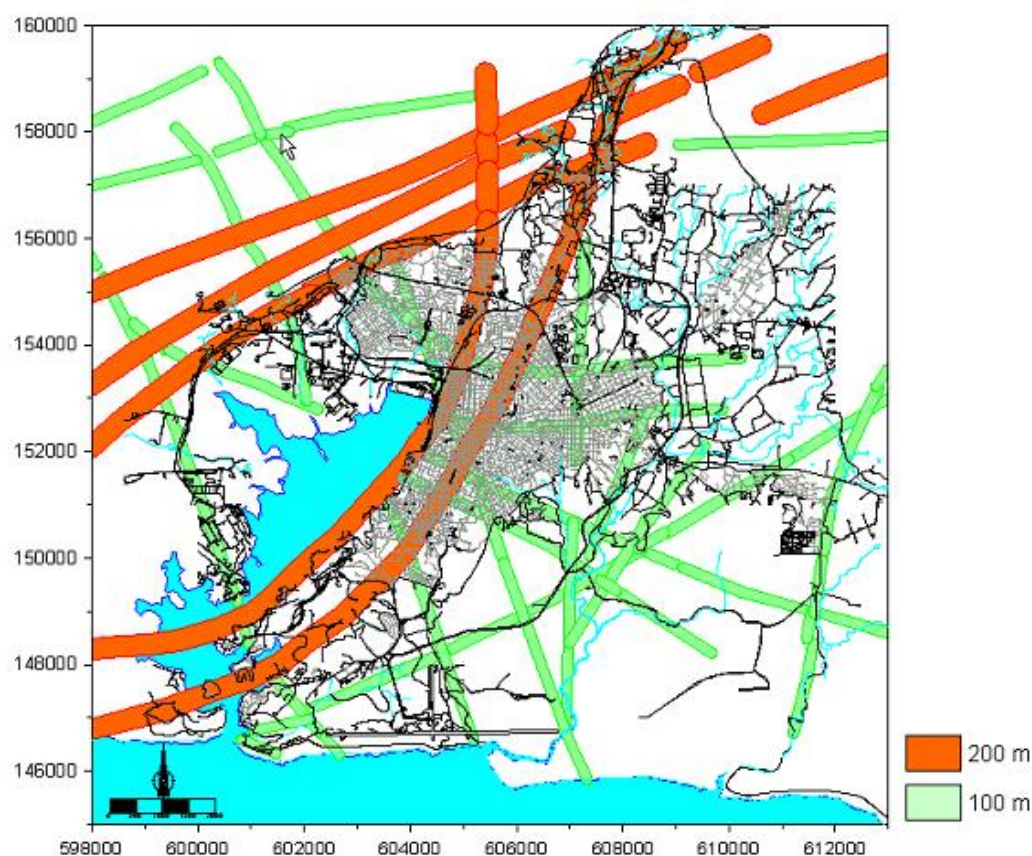


Figura 1.4 Esquema de inestabilidad tectónica del área de estudio. Fuente CENAI S

Debido al análisis tectónico de la cuenca realizaron una interpretación de su posible génesis y su reflejo en la dinámica actual, en este sentido considerando que:

- Los rasgos estructurales de la Sierra de La Gran Piedra están orientados en dirección SE-NW, con un grado de tectonismo mucho mayor que el resto de la Sierra Maestra.
- El giro de los cuerpos intrusivos dioríticos de la costa son en sentido horario con relación a los demás cuerpos alineados en la costa de La Sierra Maestra.
- Los rasgos de movimientos tectónicos horizontales se observaron en los trabajos de reconocimiento realizados para este estudio.
- Los elementos morfológicos que indican movimientos horizontales a través de la zona de fallas, manifiestan más actividad tectónica contemporánea.

Por lo tanto según (Chuy, Despaigne, & González 2000) Santiago de Cuba se formó a partir de una rotación del bloque que forma la Sierra de La Gran Piedra en sentido horario, probablemente como resultado de los procesos orogénicos ocurridos a finales del Oligoceno. Posteriormente, y como resultado de la apertura de la fosa de Bartlett y el comienzo del movimiento lateral izquierdo de la placa de Norteamérica, este bloque rotado choca con la placa del Caribe, originándose una zona caracterizada por grandes esfuerzos compresivos que da lugar más tarde al proceso transgresivo descrito anteriormente. (Vincent, 1984)

Por otro lado, la Formación La Cruz y las formaciones calcáreas arrecifales, que forman el litoral costero de la cuenca de Santiago de Cuba (Maya -Plio-Cuaternario y Jaimanitas-Holoceno), presentan un desarrollo considerable de terrazas marinas que llegan hasta 8 niveles con una altura total de 110 metros sobre el nivel del mar. Si se considera de 1.64 millones de años la edad del límite Plio-Pleistoceno, se obtiene una velocidad de ascenso promedio hasta la actualidad de aproximadamente 0.06 mm/año, la cual es muy inferior en comparación con la velocidad promedio del movimiento relativo de ambas placas que es de 17 mm/año. Lo anterior confirma el predominio e importancia de los movimientos horizontales que rigen la dinámica actual en la zona límite de Placas, sobre los verticales relacionados con la etapa de desarrollo neotectónico de la plataforma cubana.

1.4 Condiciones geológicas

Geológicamente, en los macizos montañosos del sur del municipio predominan las rocas ígneas del tipo granítico hacia el sureste, máficas alrededor de la cuenca Santiago, del tipo vulcanógenas y vulcanógenas-sedimentarias hacia el suroeste en distintas correlaciones, combinaciones alternantes y muy variables, tanto en sentido vertical como lateral. Las rocas del tipo sedimentarias predominan sobre todo en la Cuenca Santiago (centro sur) y en su parte meridional, observándose una alternancia de calizas biotriticas, calizas limosas y limoso-arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas, conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas;



aunque también es posible encontrarlas metamorfizadas hacia el sureste principalmente. (Carrillo, 2009).

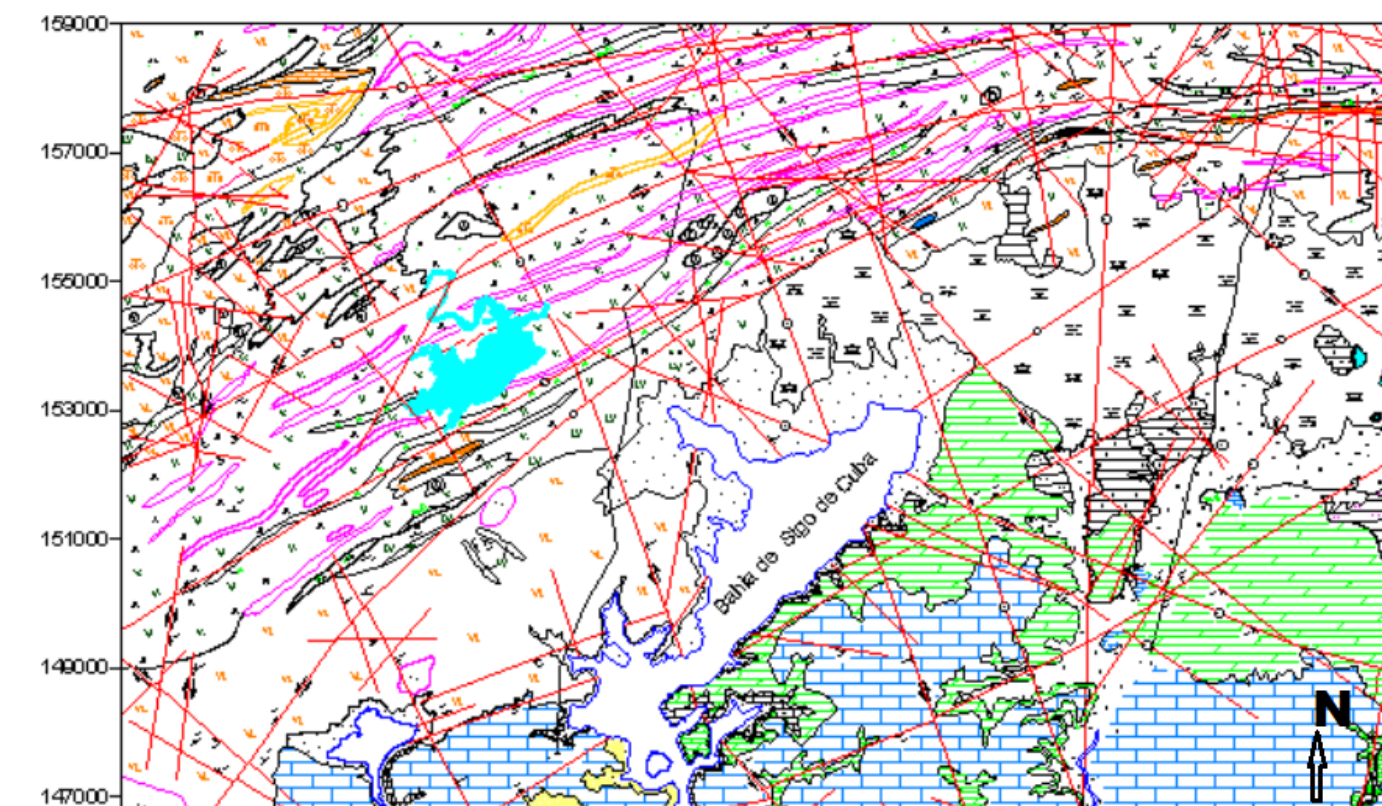
Estratigráficamente, las formaciones más antiguas provienen del período Cretácico Superior, donde predominan las rocas sedimentarias, vulcanógenas y vulcanógeno sedimentarias, aunque se revelan algunas del tipo metamórficas en los contactos con los macizos de origen vulcanógeno y vulcanógeno sedimentarios hacia la parte sureste (Mármoles Jurásico: (Kozary, 1970), (Carrillo, 2009).

Se representan además formaciones del Paleógeno representadas abundantemente por formaciones pertenecientes al grupo El Cobre, ampliamente distribuidas a lo largo de la Sierra Maestra; las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidacítica y dacítica, raramente riolítica, riodacítica y basáltica. Con estas rocas se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian a este complejo vulcanógeno- sedimentario cuerpos hipoabisales y diques de diversa composición. En su constitución también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas, vulcanomícticas y grauvacas.

En el Paleógeno también se desarrollan formaciones sedimentarias de origen terrígeno y de ambientes marinos, entre las que se destacan la Formación Jaimanitas en la faja costera, Formación Cauto, terrígena ubicada hacia la parte centro oeste, y otras formaciones tales como Punta Imías, Bitirí, etc. (Carrillo, 2009).

Dentro de la evolución geológica del Neógeno se encuentran un grupo de formaciones sedimentarias fundamentalmente carbonatadas representadas por Formación La Cruz (periferia de la bahía de Santiago de Cuba), Formación San Luis, Formación Camarones y además, otras predominantemente terrígenas como la Formación Puerto Boniato. Las formaciones más recientes, predominantemente sedimentarias, pertenecen al Cuaternario y se desarrollan en forma discontinua en pequeñas áreas de la cuenca de Santiago de Cuba; representadas en las formaciones Camaroncito y Maya, desarrollándose depósitos arrecifales que alternan con episodios de intenso aporte de materiales clásticos terrígenos (Carrillo, 2009).

El entorno geológico local donde se encuentra el municipio Santiago de Cuba es favorable para la ocurrencia de deslizamientos en dependencia de las condiciones puntuales en combinación con factores externos como la lluvia y la aceleración sísmica. Es preciso destacar que en el territorio se encuentran muy expandidas las rocas vulcanógeno-sedimentarias con textura arcillosa en potencias que en algunos casos sobrepasan los 30 metros de espesor, las que igualmente favorecen la consecución de deslizamientos en zonas de pendiente elevada. (Figura 1.5)



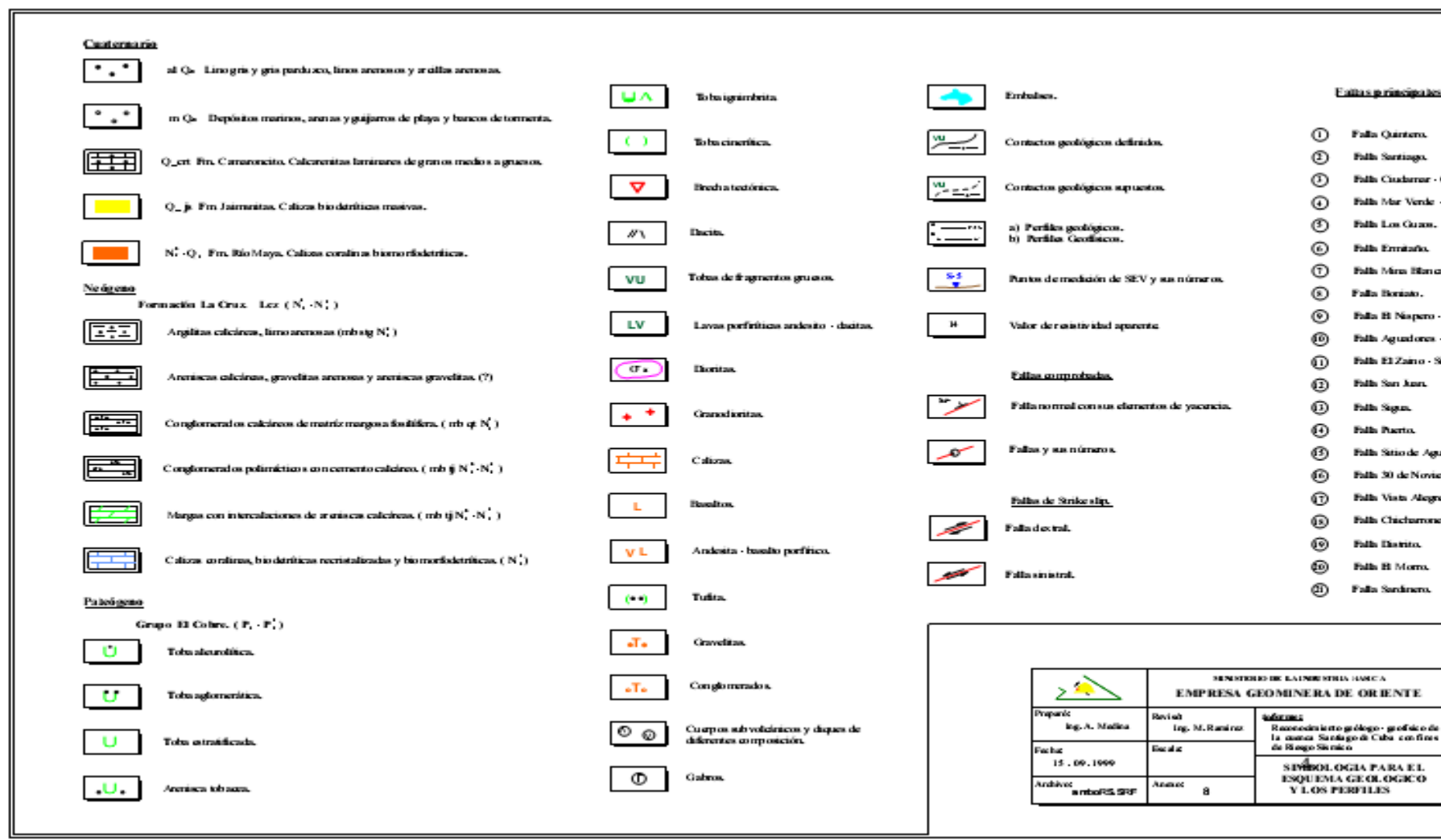


Figura 1.5 Esquema Geológico de la cuenca de Santiago de Cuba Fuente (Molina, 1999) escala 1: 25000.



1.5 Estratigrafía.

Desde el punto de vista estratigráfico, según el reconocimiento geólogo - geofísico del Grupo de Especialistas de la Empresa Geomínera de Oriente (Medina, 1999) el área de estudio presenta las siguientes características:

Paleógeno.

Grupo El Cobre (P_1-P_2). Compuesto por las Formaciones Pílon y Caney; mientras que el volumen mayor de rocas que lo componen, se ha subdividido en tres secuencias: inferior, media y superior (Pérez, 1994).

En esta área se desarrollan las tres secuencias del grupo El Cobre. La secuencia inferior (P_1) con un espesor variable entre 250 y 800 metros, se extiende hacia el Sur del bloque El Cobre y la pendiente meridional del bloque Gran Piedra. Está constituida por diferentes tipos de rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias en distintas correlaciones y combinaciones alternantes, muy variables, tanto en sentido vertical como lateral. Las transiciones entre ellas a veces son bruscas y otras graduales y en muchos casos es prácticamente imposible establecer delimitaciones entre ellas. Las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidácica y dacítica, raramente riolítica, riodácica y basáltica. Con estas rocas se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian a este complejo vulcanógeno-sedimentario cuerpos hipabisales y diques de diversa composición. En su composición también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas y grauvacas.

El vulcanismo, de composición fundamentalmente andesito-basáltico y carácter tholeítico, fue intenso y explosivo en condiciones submarinas.

La secuencia media (P_2): tiene un espesor de 3500-4400 metros y está compuesta predominantemente por tobas pefito-aglomeráticas y aglomeráticas de composición andesítica con intercalaciones de tobas finas, así como por clasto-lavas y aglomerados, rocas sedimentarias y efusivas, desde basaltos hasta riodacitas. Se debe destacar que



aunque proporcionalmente, los efusivos están subordinados y representan un volumen mucho mayor que el de las secuencias inferior y superior.

La secuencia superior (P_2^1 - P_2^2): tiene un espesor máximo de 3150 metros y está compuesta por tobas de andesitas y andesito - basaltos, lavas y rocas sedimentarias subordinadas. En la parte superior ocurren localmente tobas ácidas. En la región de El Cobre y La Gran Piedra, la composición general de las rocas es más ácida que en el resto de la Sierra Maestra culminando el corte vulcanógeno y vulcanógeno - sedimentario, en esta área se desarrolla la Fm. Caney una secuencia Flyshoide compuesta por conglomerados, areniscas tobáceas, gravelitas, tobas, tufitas y calizas con escasos mantos de lava andesito-basáltica. Las tobas varían su composición desde media hasta ácida. La edad de esta formación es (P_2^2) y su espesor es de unos 1000 metros.

Más arriba sobreyaciendo a la Fm. Caney del área se presenta la Fm. Puerto Boniato.

Su espesor es reducido (no más de 20 m en el área) y su edad (P_2^2) parte media. Su litología más característica son calizas blancasaporcelanadas finamente estratificadas con intercalaciones de silicitas negro - parduscas y calizas biotriticas subordinadas.

Neógeno.

Formación La Cruz (N_1^1 - N_2^{1-b}). Se distribuye alrededor de la bahía de Santiago de Cuba, extendiéndose al Oeste en la zona de la Socapa y Ensenada de Cabañas, hasta las proximidades de Mar Verde, formando una franja estrecha y sinuosa. Estos sedimentos parecen haberse depositado en una cuenca muy local, formada por la subsidencia de un bloque durante un intervalo que se inicia en algún momento del Mioceno que dio lugar a la Bahía de Santiago de Cuba.

Esta formación sobreyace a las secuencias del Grupo El Cobre en la cuenca de Santiago de Cuba, cubriendo la mayor parte del área de ésta. Su espesor no debe sobrepasar los 100 metros y está conformada por tres miembros:

Miembro Quintero (qt) N_1^2 . (Campos, 1972). Se desarrolla solamente en los alrededores de la ciudad de Santiago de Cuba y está formado por conglomerados polimícticos de calizas y vulcanitas, con matriz margosa o arenítica con cemento calcáreo más o menos desarrollado. De acuerdo con el Léxico Estratigráfico, el miembro Quintero está cubierto concordantemente por el miembro Tejar que yace discordantemente sobre el Grupo El Cobre, cuestión ésta última que no compartimos.

Miembro Tejar (tj) N_1^3 - N_2^{1a} . Se desarrolla en los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba (Figura 1.6), prolongándose en forma discontinua hacia ella. Se observa una alternancia de calizas biodetríticas, calizas limosas y limoso-arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas. Colores crema en los carbonatos, y gris verdoso y parduzco abigarrado en los sedimentos terrígenos. Yace concordantemente sobre el miembro Quintero. Es cubierta concordantemente por el miembro Santiago.

Parece haberse depositado en condiciones de bahía, con un rosario de lagunas costeras con manglares. Las alternancias de materiales carbonáticos y terrígenos parece estar relacionada con períodos alternos de emersión y subsidencia. Se espesor no ha sido determinado con exactitud. Es probable que no alcance los 100 m.

Miembro Santiago (stg) N_1^2 . Se desarrolla muy localmente en la provincia de Santiago de Cuba, son depósitos regresivos compuesta por argilitas calcáreas, limoso-arenáceas plásticas con interestratificaciones de aleurolitas polimícticas areno-arcillosas que contienen Ostrea y otros moluscos y calcilutitas laminares, a veces nodulosas. Yace concordantemente sobre el miembro Quintero y discordantemente sobre el Grupo El Cobre. Es cubierto discordantemente por suelos pardos y aluvios del Cuaternario. Parece sobrepasar los 10 m.



Figura 1.6 Foto de Secuencias terrígenas carbonatadas del miembro Tejar de la Formación La Cruz atravesadas por la falla denominada Vista Alegre (Medina, 1999).

Las formaciones Cuaternarias presentes en el área fueron las siguientes:

1. Formación Maya (Rm) N²-Q¹. Sus depósitos corresponden a episodios de desarrollo arrecifal que alternan con episodios de intenso aporte de materiales clásticos terrígenos, predominando los de desarrollo arrecifal (Foto 1.7). Está compuesta fundamentalmente por calizas biohérticas algáceas y coralinas muy duras de matriz micrítica, frecuentemente aporcelanadas conteniendo corales en posición de crecimiento y fragmentarios, así como subordinadamente moldes y valvas de moluscos, todos muy recristalizados, siendo abundante el coral *Acropora prolifera*.

Las calizas se encuentran frecuentemente dolomitizadas. El contenido de arcilla es muy variable. Contiene intercalaciones de clastos terrígenos de variada granulometría. El color es blanco, amarillento, rosado o grisáceo. Su espesor oscila entre 30 y 80 m. Yace

discordantemente sobre la formación La Cruz. Es cubierta discordantemente por la Formación Jaimanitas.

2. Formación Jaimanitas (Js) Q 111. La formación bordea todo el territorio insular cubano, constituida por calizas biotriticas, masivas, cársicas y fosilíferas, calcarenitas y a veces margas. Yace discordantemente sobre la formación Río maya. El espesor medio de esta formación parece ser de 8 a 10 m, aunque es probable que sea mayor. Su posición estratigráfica sobre sedimentos pliocénicos o pleistocénicos y el alto grado de preservación de su fauna equivalente a la actual, apoyan una edad Pleistoceno superior, presenta marcadas formas de carso superficial de tipo lapieés. Sobreyace discordantemente a la formación Maya y la Cruz es sobreyacida discordantemente por la formación Camaroncito en la zona de Aguadores.



Figura 1.7 Foto Terrazas arrecifales en la zona costera de la cuenca de Santiago de Cuba, donde la Formación Maya ocupa las partes más elevadas y la Formación Jaimanitas la parte más baja y próxima a la costa (Medina et al, 1999).

3. Formación Camaroncito (Crt) Q 111. Se desarrolla en forma discontinua, en pequeñas áreas, en la Santiago de Cuba. Compuesta por calcarenitas laminares de grano medio a grueso, bien cementadas, con diseminaciones de gravas polimícticas predominantemente finas. La coloración es abigarrada. Su subyacente no se ha observado. Es cubierta por la Formación Jaimanitas, aunque no se conoce el carácter del contacto. Su espesor oscila entre 3 y 4 m aunque en ocasiones puede ser mayor. Es posible que esta unidad forme parte de la Formación Río Maya, aunque su definitiva ubicación requiere estudios. Tiene la misma edad que la Formación Jaimanitas.

Por último aparecen en las formaciones más recientes los depósitos marinos, arenas, guijarros de playas y bancos de tormenta (m Q 1v) y otros depósitos de tipo aluvial (al Q 1v) compuestos por lino gris y pardusco, línos arenosos y arcillas arenosas.

Miembro Tejar (tj) $N_1^3 - N_2^{1a}$. Se desarrolla en los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba (Foto 1.6), prolongándose en forma discontinua hacia ella. Se observa una alternancia de calizas biotriticas, calizas limosas y limoso-arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas. Colores crema en los carbonatos, y gris verdoso y pardusco abigarrado en los sedimentos terrígenos. Yace concordantemente sobre el miembro Quintero. Es cubierta concordantemente por el miembro Santiago.

En la Figura 1.8 se presenta el Esquema Geológico de la cuenca de Santiago de Cuba tomado del Reconocimiento Geológico-Geofísico con fines de Riesgo Sísmico (Medina et al, 1999), realizado como apoyo a las investigaciones de Peligro Geológico de Santiago de Cuba.

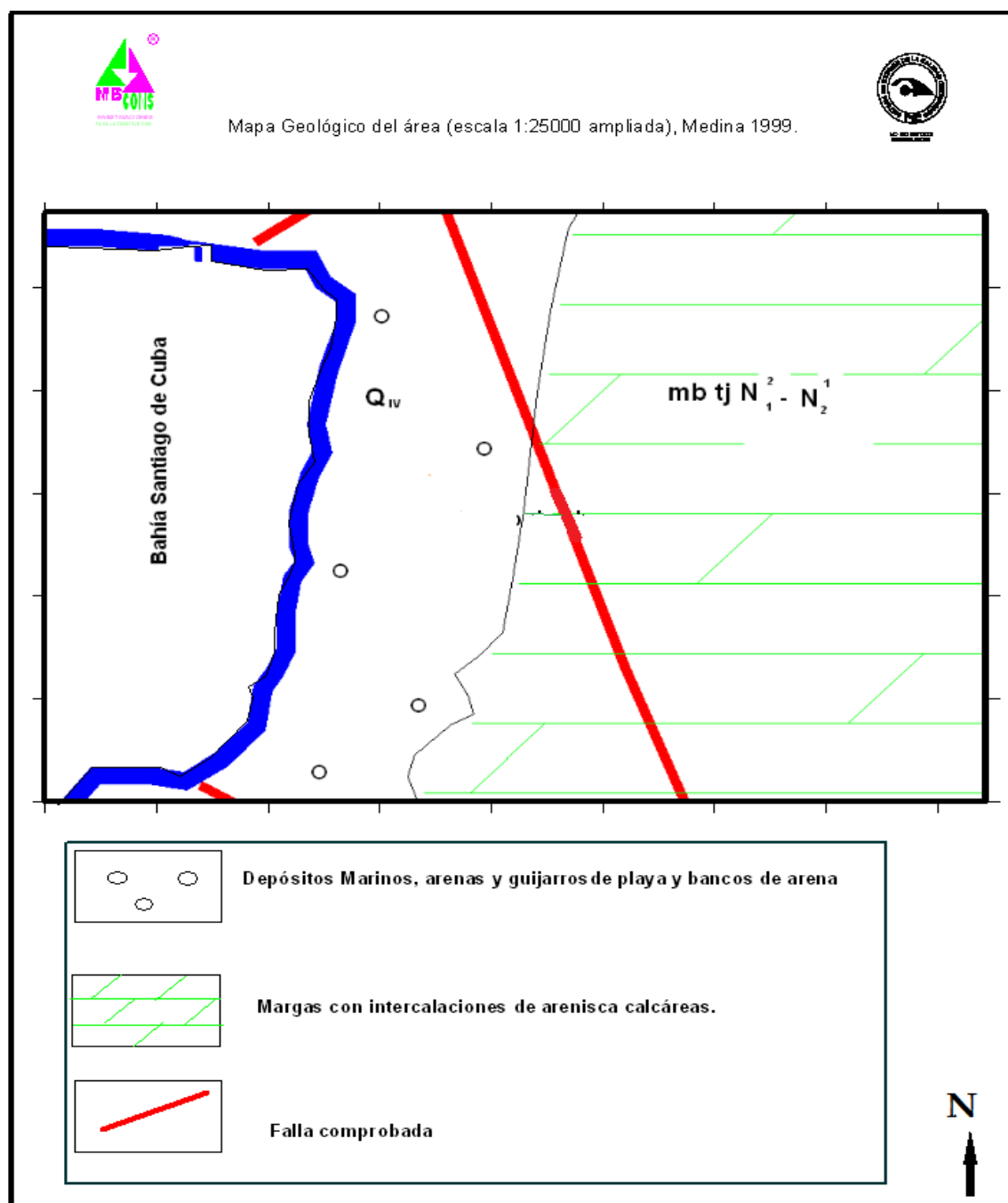


Figura 1.8 Esquema Geológico del Área de Estudio Fuente: Medina, 1999 escala 1:25000 ampliada

1.6 Características geomorfológicas

En el municipio de Santiago de Cuba el relieve es accidentado y variado siendo hacia el norte semimontañoso, constituido por elevaciones jóvenes y alargadas, las cuales forman un arco bordeando la cuenca de pendientes medianamente abruptas y cimas en forma de crestas separadas por pequeños valles. Este sistema montañoso forma parte de la Sierra Maestra aunque con menores alturas (la Sierra del Cobre, la Sierra de Boniato y la Sierra de la Gran Piedra), con pendientes que en varios casos sobrepasan el 45%, un factor favorable para la ocurrencia de deslizamientos.

Al sur el relieve es llano a ondulado constituido por escasas elevaciones de pendientes suaves predominando las costeras en forma de mesetas alargadas formando hacia la cercanía de las costas varias terrazas escalonadas. En la bahía la costa es escarpada y se desarrollan elevaciones de aspecto terraciforme. (Figura 1.9)

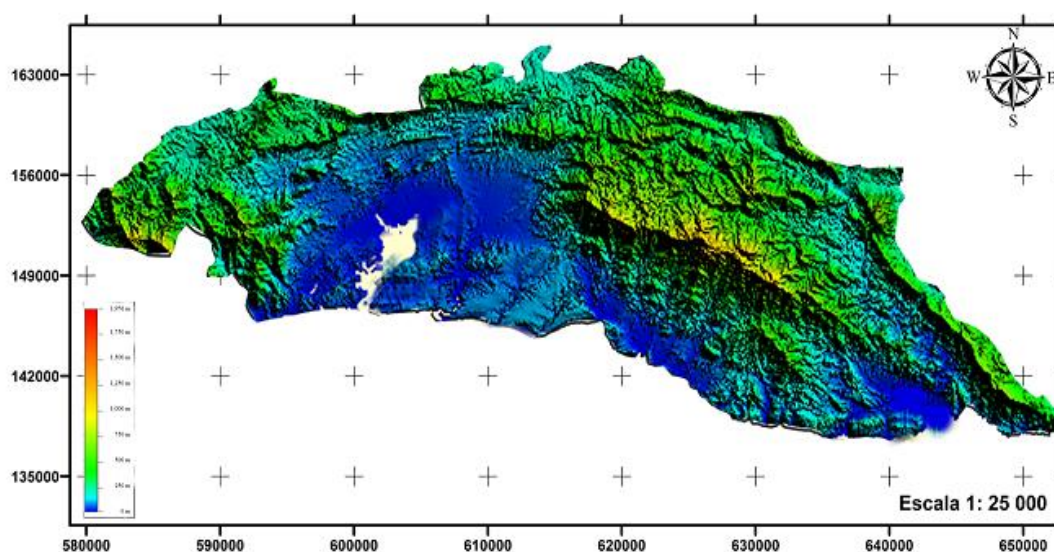


Figura 1.9 Modelo digital del terreno del municipio Santiago de Cuba.
Fuente: (Geocuba, 2010).

1.7 Hidrografía.

En el municipio la red hidrográfica se encuentra poco desarrollada donde tienen un papel importante el régimen de las lluvias dentro de los factores climáticos, observándose escasas corrientes fluviales con carácter intermitente que atraviesan el



municipio y que desaparecen en períodos secos. Los ríos por lo general corren con dirección norte – sur, entre los más importantes del municipio se encuentran: el Cobre (que alimenta la Presa Paradas), San Juan, Juraguá, Daiquirí y Baconao; además existen otros con menor desarrollo en sus cuencas: Sardinero, Los Guaos, Yarayó, que corren al oeste y vierten sus aguas en la bahía de Santiago de Cuba. A nivel regional sus ríos de mayor importancia son el Contramaestre y el Baconao. La provincia está atravesada por la Sierra Maestra y su principal elevación es Pico Real del Turquino con 1.974 metros de altura,¹ la mayor de Cuba, en cuya zona se encuentra el Parque Nacional Turquino.

1.8 Condiciones geotécnicas

La sobresaturación de suelos es un fenómeno común en algunas zonas. En esta situación influyen las corrientes de agua subterránea que existen, por ejemplo, en los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba, en las cercanías de los valles aluviales de los ríos del municipio Santiago de Cuba. Este es un factor que junto al tipo de litología que presentan estas áreas (depósitos aluviales, palustres y rocas sedimentarias de baja cohesión) incrementa los efectos de los deslizamientos sobre las infraestructuras ubicadas en estas locaciones.

Por otro lado, muchas construcciones se elevan sobre suelos susceptibles al incremento de la velocidad de las ondas sísmicas, situación exacerbada por la necesidad de vivienda que presenta la población del territorio, la cual realiza una serie de acciones constructivas (autoconstrucción), sin dominio previo de las medidas de reducción ante el peligro (Galbán, 2009).

1.9 Características sísmológicas de la región oriental de Cuba y de la región de estudio.

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 1.10 se representa la sismicidad registrada instrumentalmente de 1967 a Agosto de 2014 por 3 o más estaciones para la región Oriental de Cuba.

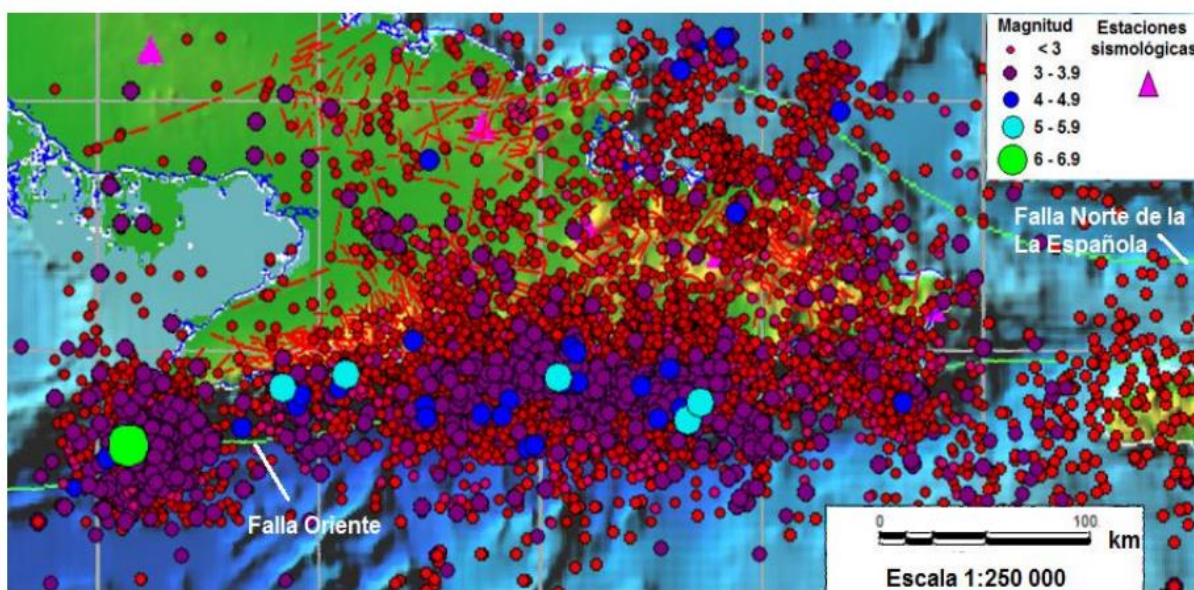


Figura 1.10 Terremotos registrados por el Servicio Sismológico Nacional de Cuba de 1967 a Agosto del 2014 en la región oriental de Cuba. Fuente CENAI S

El comportamiento de la ocurrencia de terremotos de magnitud mayor a 5 en la escala Richter desde el año 1900 hasta la fecha en función del tiempo se puede observar en la figura 1.11, donde se señalan los sismos significativos. En el mismo se aprecia que desde los años 1932 y 1947 no ocurre en Santiago de Cuba un sismo de magnitud superior a 6. Para los sismos que ocurren en esta parte del país se ha establecido un ciclo sísmico de terremotos fuertes de entre 80 y 100 años aproximadamente. 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 & Oliva, 2014)

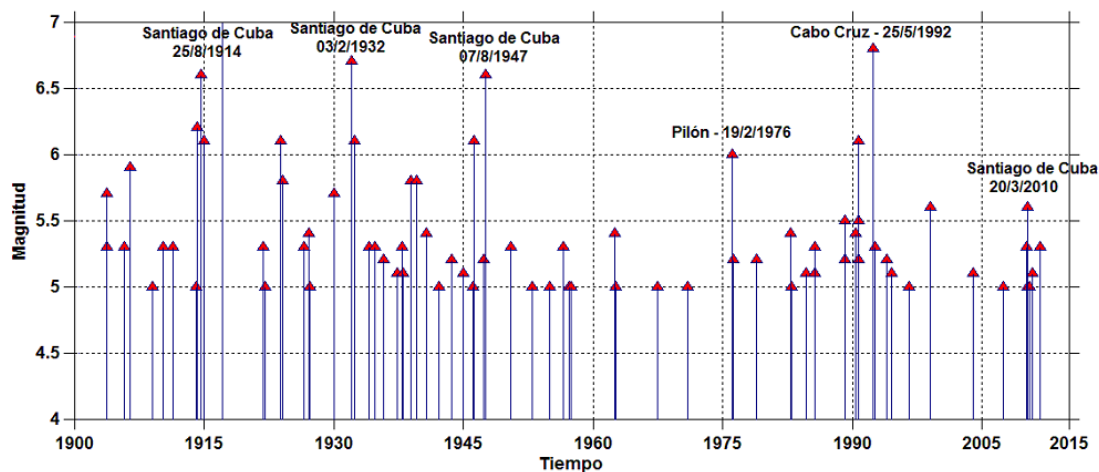


Figura 1.11 Ocurrencia de los terremotos de magnitud mayor a 5 reportados en la región suroriental de Cuba desde 1900. Fuente CENAI S

En particular, para la provincia de Santiago de Cuba se destaca el tipo de Sismicidad conocida como de Entre Placas, vinculada a la estructura de Bartlett - Caimán (Zona Sismogénica Oriente), por la frecuencia de los terremotos que ocurren y los valores altos de magnitud e intensidad alcanzados históricamente. Más del 60 % de los sismos perceptibles y fuertes reportados en el territorio nacional han tenido su epicentro en esta provincia (Tabla 1.3). Por estas razones, este territorio es considerado el de mayor Peligrosidad Sísmica del país; señalándose en él 20 reportes de terremotos fuertes (Intensidad $I \geq 7.0$ MSK) en el sector comprendido entre las localidades de Chivirico a Baconao

Tabla 1.3 Cantidad de reportes de Sismos Perceptibles de la provincia Santiago de Cuba por periodos de 100 años. Fuente (Chuy, 1999).

No.	FECHA	INTENSIDAD (escala MSK)							Total
		3	4	5	6	7	8	9	
1	1571-1640					1	1		2
2	1641-1740	1				2	1		4
3	1741-1840	6	2	1	4	3	1	1	18
4	1841-1940	76	80	40	13	6	2	1	218
5	1941-1990	161	96	27	10	1			295
TOTALES		244	178	68	27	13	5	2	537

Nota: En Intensidad $I = 3$ (MSK) se incluyen los de $I = ?$ y 3.5, en los de $I = 4$ los de $I = 4.5$, en los de $I = 5$ los de $I = 5.5$ y así sucesivamente.

Es de especial interés significar que de estos sismos fuertes ocurridos en Santiago de Cuba, 2 de ellos produjeron intensidad $I = 9.0$ MSK en 1766 y 1852, reportándose de ambos considerables daños en toda la región oriental. Así también, que los más recientes que han afectado a esta ciudad se reportan en 1932 ($M_s = 6.75$; $I = 8.0$) y 1947 ($M_s = 6.75$; $I = 7.0$). El primero de estos últimos produjo grandes afectaciones en esta ciudad.

Con independencia del equipamiento que se ha utilizado en diferentes períodos por la Red de Estaciones Sismológicas del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, es en la región de Santiago de Cuba, por la potencialidad sismotectónica de la estructura de Bartlett - Caimán, donde se han registrado con mayor frecuencia terremotos con mayores rangos energéticos.

En las Figuras 1.12; 1.13; 1.14 se presentan los Mapas de Epicentros de terremotos registrados en la región Oriental desde 1968 hasta el 2000, en la región $19.50 - 21.50$ de Latitud Norte y $74.00 - 78.00$ de Longitud Oeste con magnitud $M \geq 2, 3$ y 4 Richter respectivamente.

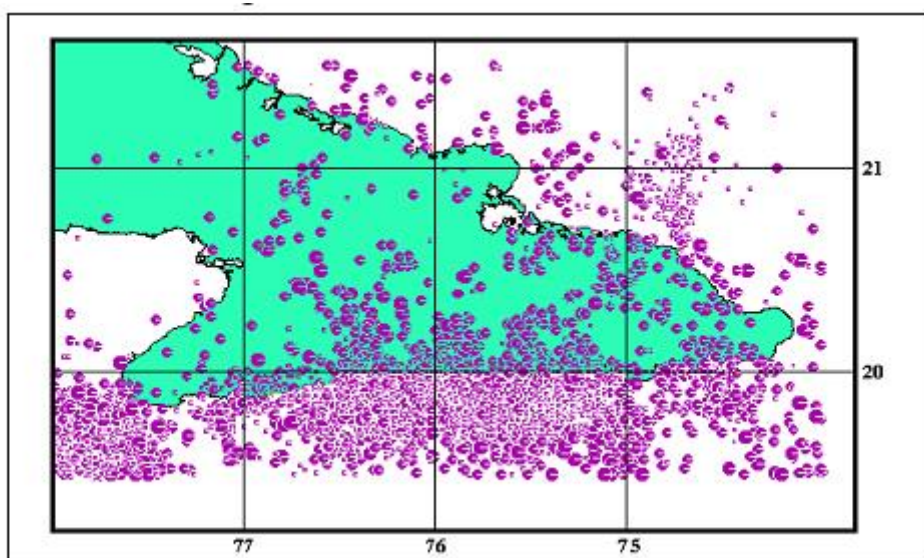


Figura 1.15 Mapa de Epicentros de Terremotos de $M > 2$ del período 1968 -2000. Región Oriental. Fuente CENAI S

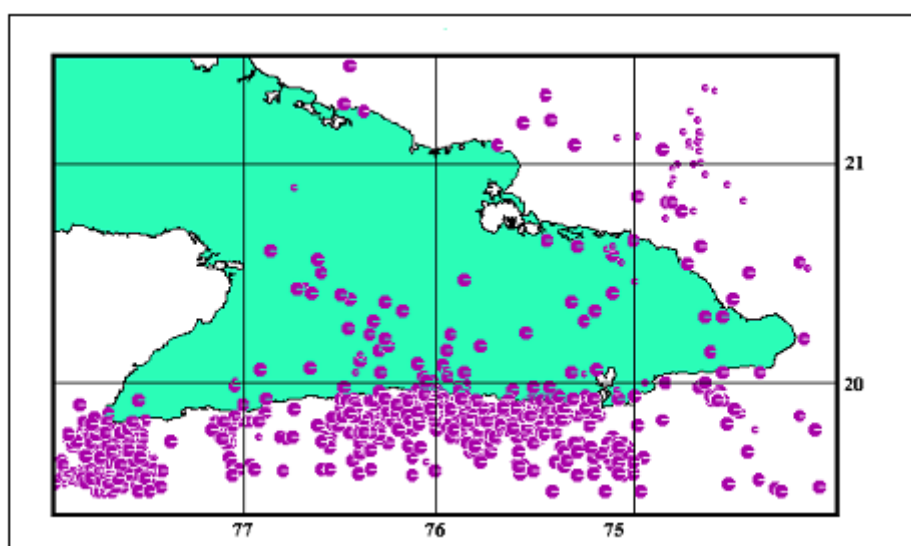


Figura 1.16 Mapa de Epicentros de Terremotos de $M > 3$ del período 1968 -2000. Región Oriental. Fuente CENAI S

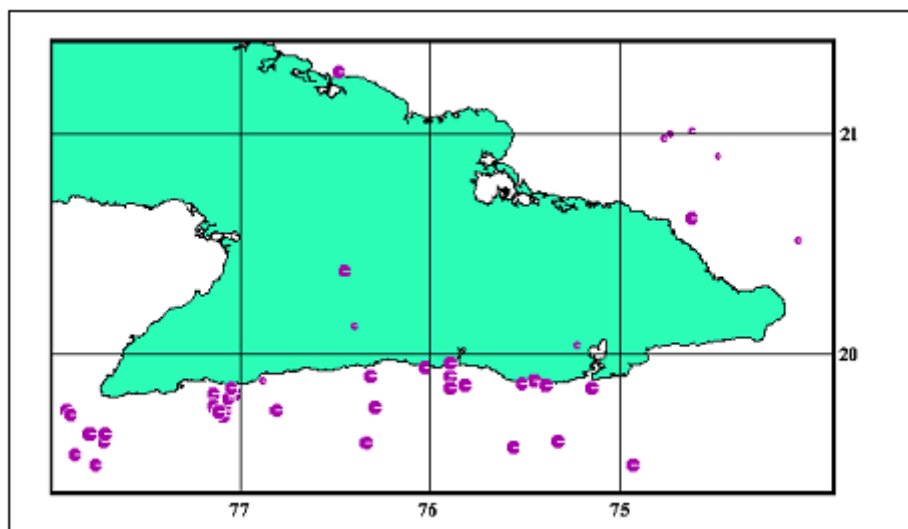


Figura 1.17 Mapa de Epicentros de Terremotos de $M > 4$ del período 1968 - 2000.

Región Oriental. Fuente CENAIIS

Se evidencia en estas figuras que las mayores concentraciones de sismos, incluyendo los de mayor magnitud, se localizan siempre en la región Suroriental y tiene una connotación particular, el sector vinculado con la provincia y ciudad de Santiago de Cuba. No obstante, por razón del terremoto de Cabo Cruz de 1992 hay un pico de actividad en esa región también, como consecuencia del registro de las réplicas de ese sismo de magnitud 7.0 Richter.



CAPITULO II: METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUEFACCON GENERADA POR TERREMOTOS DE GRAN MAGNITUD EN EL CONCSEJO POPULAR GUILLERMON MONCADA.

Introducción

El nivel de estudio alcanzado en la cuenca de Santiago de Cuba hace posible realizar evaluaciones sobre la licuefacción como fenómeno geológico secundario. Casi toda la zona baja de los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba se encuentra altamente expuesta a las afectaciones por este fenómeno. Esta área está compuesta por sedimentos aluviales poco consolidados donde además, el nivel freático se encuentra a unos pocos centímetros de profundidad (García, 2002); esto significa que las construcciones y obras de infraestructura situadas en el entorno tienen un alto grado de vulnerabilidad ante la ocurrencia de la licuefacción del terreno.

En este capítulo se dará a conocer los trabajos realizados y la metodología a aplicar para la determinar los escenarios susceptibles a la licuefacción.

2.1 Metodologías para determinar los escenarios susceptibles a la licuefacción:

Primera Etapa: Revisión bibliográfica

En esta etapa se realizó la recopilación de la información recogida en trabajos de diplomas que abordan el tema, artículos publicados en Internet u otros sitios Web de interés, en revistas y libros, etc. Además la utilización de informes en el archivo de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de Santiago de Cuba permitió una comprensión mejor de las condiciones del área de estudio. Toda esta información permitió un buen desarrollo del trabajo. El método seguido fue el Método Histórico lógico y síntesis.

Segunda Etapa: Trabajo de campo

Las perforaciones se realizaron años atrás, es por ello que no pudimos presenciar las perforaciones de las calas no obstante podemos describir los trabajos realizados después de un profundo estudio. En esta etapa se realizaron perforaciones para la construcción de La mini Fábrica de Cerveza, El Mesón del Puerto, Urbanización Martí y



Gallo por parte de la ENIA e INVESCONS Santiago de Cuba. Las calas se perforaron con máquina tipo Mark V de fabricación Inglesa, por el método de perforación vertical a percusión con selección de testigos mediante la cuchara cubana o tubo dividido de 73 mm de diámetro y 460 cm de longitud lo que conllevó a la obtención de datos reales en cuanto a las propiedades geotécnicas del suelo, el conocimiento del nivel freático y la litología presente, además se fotografió las parte más vulnerables del área (ver anexo 1) pues la misma se encuentra muy antropizada, por parte del CENAI se garantizaron datos como las magnitudes y aceleraciones máximas de los sismos ocurridos en los últimos años en Santiago de Cuba, (ver anexo 2), también bibliografías para la realización del cálculo del factor de seguridad contra la licuefacción.

Tercera Etapa: Trabajo de gabinete

Todos los datos primarios obtenidos en los trabajos de campo (perforaciones, reconocimiento geológico en y los alrededores del área, descripción y muestreo, pruebas hidrogeológicas y observaciones sistemáticas) y de laboratorios (realización de ensayos de granulometría límites de atterberg,) son expresados mediante el análisis del nivel freático, elaboración del esquema ingeniero geológico a partir de las propiedades físico mecánicas del suelo, realización del cálculo del factor de seguridad y la confección del esquema de susceptibilidad a la licuefacción

2.2 Metodologías a aplicar en el área de estudio para determinar los escenarios susceptibles a la licuefacción:

Hoy en día, muchos estudiosos en la materia, consideran que en suelos clasificados de manera uniforme es más susceptible a la licuefacción que un suelo bien clasificado, esto se debe a la tendencia a la reducción volumétrica del suelo bien clasificado, en que el exceso de la presión de poros facilita condiciones drenadas. Para la ocurrencia de la licuefacción de los suelos, particularmente, en aquellos suelos de grano fino para que licuen deben cumplir con ciertas condiciones granulométricas

2.2.1 Análisis del comportamiento del nivel freático en el área de estudio

En la cuenca, de manera general, aparecen los litotipos siguientes: arenas, arcillas, limos, areniscas, aleurolitas, margas, calizas, conglomerados y rocas volcánicas lo que permite la determinación del nivel freático con más facilidad partiendo de la observación del mismo cuando se realizaron las perforaciones en el área de estudio, Se ejecutaron 4 calas, directamente para un total de 20.70 m de perforación. Las mismas fueron ejecutadas con una máquina perforadora MARK V de fabricación británica por los métodos a percusión y rotario. Las demás se obtuvieron partir de los antecedentes de investigación de las obras emplazadas en el área.

2.2.2 Confección del esquema ingeniero geológico del área de estudio

Para la confección del esquema ingeniero geológico nos apoyamos en las características físico mecánicas de los suelos y su distribución en el área de estudio, clasificando los mismos en arcillas muy plásticas (CH), arena arcillosa con grava (SC) y en limo y arcilla orgánica (OL-OH), utilizando además el programa surfer 9, en el mismo se ubicaron las obras de referencia utilizando de ellas datos de calas como profundidad, espesor de las capas encontradas, etc.

2.2.3 Cálculo del factor de seguridad corregido ante la licuefacción (Ishihara, 1990)

La licuefacción de los depósitos de arena siempre va seguida por un cierto asentamiento del terreno, lo cual se produce como resultado de la disipación del exceso de presión de poros. De acuerdo con (Ishihara, 1990), tales asentamientos pueden alcanzar normalmente entre 10 a 20 centímetros. Los efectos de una deformación tan significativa se agravan si ocurren de manera diferencial. Más aún, si la superficie del suelo está algo inclinada, la reducción de la resistencia al corte puede causar grandes deformaciones horizontales, conocidas como falla por flujo. El estudio de estos efectos es de gran importancia para las estructuras de gran longitud. Por lo tanto, la evaluación del potencial de licuefacción, y la formulación de las correspondientes medidas de mitigación, son un factor muy importante en la evaluación del riesgo sísmico del área de estudio.

El análisis del potencial de licuefacción en este estudio sigue procedimientos basados en la determinación de la razón de esfuerzos cíclicos (CSR). Esta razón CSR depende directamente de la máxima aceleración horizontal en el sitio; lo cual motivó un análisis de microzonificación sísmica del área, a fin de obtener un mejor estimado de este parámetro. Como resultado de este análisis se espera definir los estratos que son potencialmente licuables y se presentan perfiles geotécnicos mostrando los espesores máximos esperados de estratos en los cuales puede ocurrir licuefacción en dicho consejo popular.

Enfoque de resistencia cíclica (CRR)

Para ello, científicos destacados como (Youd 2001) (Semillas, 1985), Y otros, han elaborado a partir de datos obtenidos en campo a través de ensayos SPT gráficas sobre la relación entre dos parámetros físicos que participan en la licuefacción de los suelos, estos son el Coeficiente Resistencia Cíclica (CRR, siglas en inglés) y $(N_1)_{60}$, es decir el número de golpes suministrado al terreno, representado también por la letra N.

$(N_1)_{60} = (N_1)_{60}$ = El número de golpes de la prueba SPT normalizada a un esfuerzo geostático de 100 KPa y a la energía del martillo de 60 por ciento.

CRR = La relación de resistencia cíclica para un sismo de diseño.

$$CRR = \frac{1}{34 - N} + \frac{N}{13.5} + \frac{50}{[10N + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

Esta ecuación es válida para los $(N_1)_{60} < 30$. Para $(N_1)_{60} \geq 30$, los suelos granulares limpios tienen el grado de compacidad demasiado alto para sufrir la licuefacción.

Enfoque de esfuerzo cíclico (CSR)

Es un principio generalmente aceptado que el potencial de licuefacción de estratos arenosos puede evaluarse utilizando correlaciones entre datos de resistencia a la penetración tales como ensayos de penetración estándar (SPT) y ensayos de

penetración con cono (CPT) y la resistencia cíclica del material movilizado durante una fuerte excitación vibratoria.

En este enfoque, la resistencia cíclica es caracterizada por la relación de esfuerzo cíclico (CSR). Básicamente, la CSR se define como el esfuerzo cortante promedio (τ_{avg}) actuante en un estrato, normalizado por el esfuerzo efectivo de sobrecarga (σ'_{vo}).

El estudio de licuefacción aplicado en el área de investigación se basa en la correlación de esfuerzos desarrollada originalmente por Seed & Idris (1971 & 1987) y modificada por Robertson & White, (1997). De acuerdo con estos autores, la CSR es una función de la duración del terremoto (representada por la magnitud del momento M_w), la aceleración horizontal máxima (representada por la aceleración pico del suelo normalizada por la aceleración de la gravedad, a_{max}/g), la profundidad del depósito granular (representada por el coeficiente de reducción del esfuerzo, r_d) y el esfuerzo vertical total normalizado (la relación entre el esfuerzo efectivo total actuando sobre el estrato, σ_{vo}/σ'_{vo}). El CSR se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CSR = 0.65 (a_{max}/g) (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) r_d$$

Dónde:

CSR: esfuerzos cíclicos y depende directamente de la máxima aceleración horizontal en el sitio.

a_{max} : aceleraciones máximas generadas por un sismo de diseño.

σ_{vo} : esfuerzo normal vertical total, referido a la superficie del suelo.

σ'_{vo} : esfuerzo normal vertical efectivo, referido a la superficie del suelo.

r_d : coeficiente de reducción del suelo, que toma en cuenta la deformabilidad del perfil de subsuelo. Liao & Witman, (1986) plantea que para la práctica de ingeniería rutinaria, en proyectos no críticos, utilizar las siguientes ecuaciones para estimar el r_d :

z : profundidad por debajo de la superficie del suelo en m.

Para $z \leq 9.15 \text{ m}$ $r_d = 1.0 - 0.00765z$

Para $9.15\text{m} < z \leq 23\text{m}$ $r_d = 1.174 - 0.0267z$

El factor de Seguridad corregido se calcula por la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}^{MSF}$$

Dónde:

MSF: Factor de escala de acuerdo con la magnitud de sismo y se calcula por la siguiente ecuación $MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$.

M_w : Magnitud del sismo de diseño.

La mayoría de los datos (casos conocidos donde se sabe si hubo o no licuefacción) utilizados en el desarrollo de las correlaciones están asociados a sismos de magnitudes cercanas a $M = 7.5$; de manera que las curvas que se obtuvieron representan sismos de esa magnitud; pero también existen datos con otras magnitudes, los cuales pueden ser utilizados en estas correlaciones si se divide la razón de tensiones inducida por el sismo de magnitud M , por el factor de corrección propuesto por Idriss (2000), el cual se presenta en la Figura 2.2, de manera de obtener la razón de tensiones correspondiente a un sismo de magnitud 7.5.

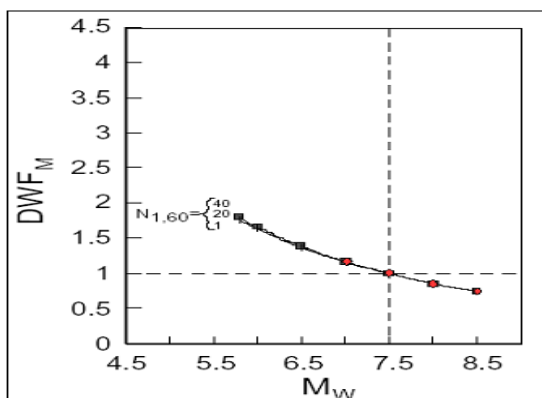


Figura 2.1 Factores de Escala por Magnitud del Sismo en función de $N_{1,60}$

Fuente: Idriss, 2000.



Este cálculo se realizara utilizando las propiedades físicas mecánicas del suelo como densidades húmedas, peso específicos etc. y las aceleraciones máximas de las diferentes magnitudes para los sismos de diseño.

2.2.4 Metodología propuesta para determinar la susceptibilidad a la licuefacción en el área de estudio apoyándonos en las propiedades geotécnicas del suelo.

Al realizar un análisis exhaustivo de las metodologías para determinar la susceptibilidad a la licuefacción (Figura 2.2) y con ellos los lugares con mayor probabilidad a que suceda nos percatamos que los investigadores lo proponen en primer lugar para suelos compuestos por arenas o con gran contenido de arena y bajo por ciento de granos finos. Para suelos arcillosos o con más del 50 por ciento de arcilla no encontramos una metodología que defina con cierta seguridad la ocurrencia de licuefacción de los suelos ante terremotos fuerte.

Teniendo en cuenta lo propuesto por los autores se propone analizar parámetros que coinciden en las diferentes metodologías, además de coincidir con la información con que contamos hasta el momento.

Por lo tanto los parámetros a tener en cuenta para determinar la susceptibilidad a la licuefacción apoyándonos en las propiedades físico mecánicas del suelo son:

Por ciento de partículas finas $\leq 15\%$

Límite líquido (LL) $\geq 35\%$

Límite Plástico (LP) ≤ 30

Índice de Plasticidad (IP) ≤ 10

Peso Específico (γ_s) $\text{KN/m}^3 \geq 25,00 \text{ KN/m}^3$

Humedad Natural (W_n) $\% \geq 35\%$

Densidad Húmeda (γ_f) $\text{KN/m}^3 \geq 15,00 \text{ KN/m}^3$

Densidad Seca (γ_d) $\text{KN/m}^3 \geq 12,5 \text{ KN/m}^3$

Saturación (S) $\% \geq 75\%$

Grava $\% \leq 12\%$

Arena $\% \geq 25\%$

Finos % ≥ 65 %

Aceleraciones $\geq 0,2 \text{ m/s}^2$

Magnitud del sismo $> 5,5^0$

Nivel freático cerca de la superficie

Espesor del estrato no licuable encima del licuable menor de 8 m .

Número de Golpes en la prueba de SPT menor que dos veces la profundidad z expresada en metros.

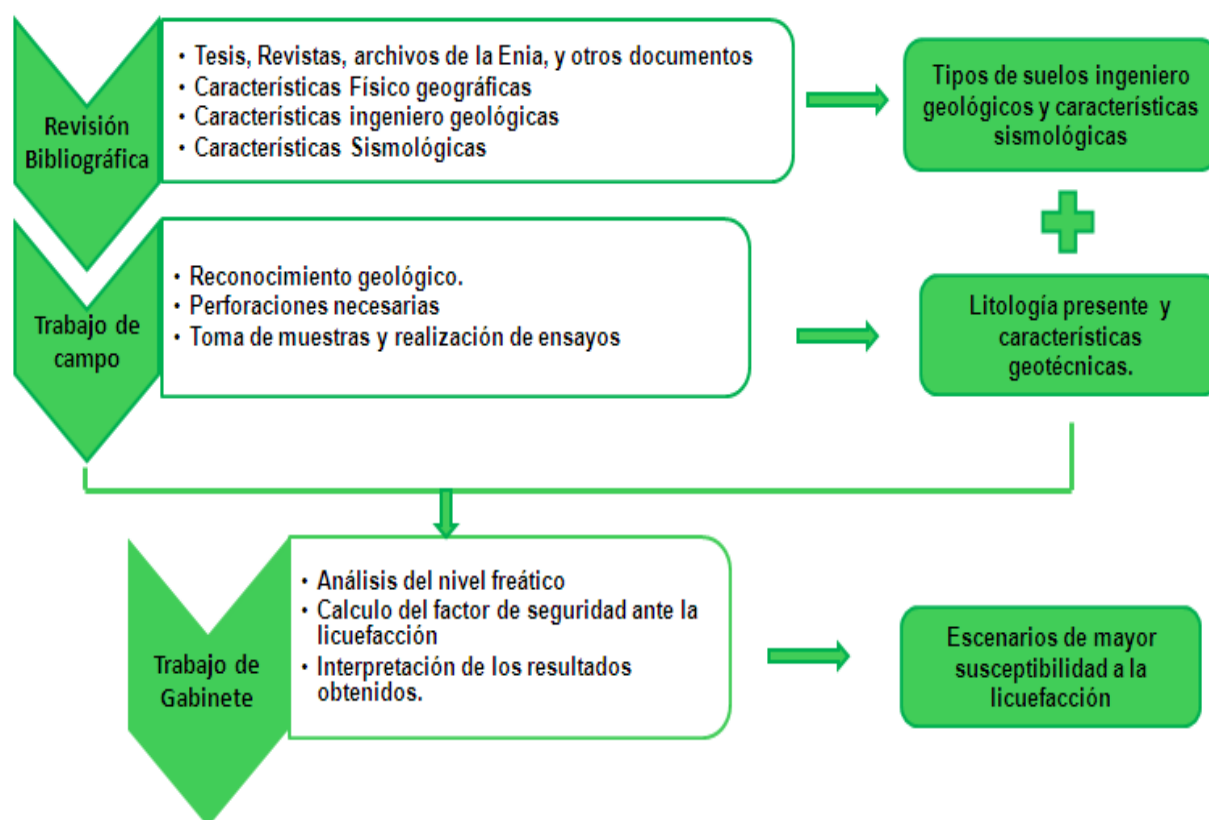


Figura 2.2 Organigrama que resume la metodología a seguir en el trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Con la utilización de estas metodologías podemos saber cuáles son los suelos susceptibles y por tanto delimitar los escenarios susceptibles a la licuefacción.

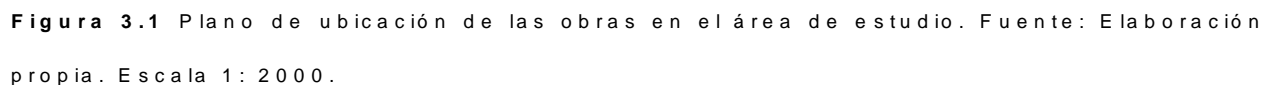


CAPITULO III: ANALISIS Y DISCUCION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL AREA DE ESTUDIO

Introducción

En este Capítulo se darán a conocer los resultados alcanzados durante la aplicación de la metodología propuesta y la implementación de varios métodos utilizados para hacer más creíbles dicho resultados.

Se comenzó la investigación después de obtener un plano del área de estudio confeccionado con el programa AutoCAD a una escala 1: 2000 donde se ubicaron las obras de interés para el trabajo, brindando éste mayor exactitud de los lugares donde se realizó el estudio del fenómeno de licuefacción. Dichas obras se nombran a continuación en el orden en que se estudiaron: 1 Mini Fábrica de Cerveza, 2 Mesón del Puerto, 3 Salón Tecnológico WIFE, 4 Puente Ferroviario, 5 Prolongación de la Avenida Jesús Menéndez, 6 Báscula centro de carga FFCC, 7 Urbanización La Playita, 8 Edificio Vivienda paralejo, 9 Urbanización Martí y Gallo, 10 Salón operaciones de urgencia, 11 Bascula del patio de la terminal portuaria, 12 Viviendas experimentales de tierra, 13 Viviendas lauro Fuentes, 14 Centro Video Club Juvenil. (Figura 3.1).



En este epígrafe se darán a conocer los resultados obtenidos en la realización de los ensayos necesarios a partir de las muestras tomadas en el área de estudio, conllevando esto a la clasificación del suelo por el sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS), se conocerá la influencia del nivel freático en el área de estudio.

3.1.1 Clasificación ingeniero geológica del suelo del área de estudio.

Para establecer las propiedades físico mecánicas fundamentales de cada uno de los materiales presentes en la zona de estudio los datos contenidos en más de 85 informes geotécnicos, la toma de muestras in situ y su posterior análisis en el laboratorio, se han organizado en una gran base de datos. A continuación se exponen los parámetros y condiciones físico mecánicas más relevantes de cada uno de los sectores (tabla 3.1)

Tabla 3.1 Propiedades físico mecánicas del suelo del área de estudio. Fuente: Elaboración propia

No	Obras	Granul %			LA %			W	(γ_t)	(γ_d)	S	(γ_s)	N	Clasificación
		Gr	Ar	Fi	LL	LP	IP	%	KN/m ³	KN/m ³	%	KN/m ³	SPT	SUCS
1	Mini fábrica cerveza	0	15	85	77	33	44	33.9	17,90	13,40	98	26,60	5	CH
2	Mesón del Puerto	13	31	56	44	21	23	31.0	18,05	13,78	93	26,60	4	OL-OH
3	Salón Tecnológico WIFE	40	42	18	37	24	13	33.1	18,11	13,60	98	27,00	5	SC
4	Pte. Ferroviario	2	5	93	69	31	38	35.0	17,72	13,10	97	27,26	6	CH
5	Pro Avenida Jesús Menéndez	6	19	75	53	22	31	32.4	18,51	13,97	91	26,73	6	CH
6	Báscula centro	0	15	85	55	21	34	45.0	17,60	12,14	95	27,00	3	CH



	de FFCC	carga												
7	Urbanización La Playita	1	16	83	68	24	44	37,0	17,56	12,81	89	27,00	5	OL - OH
8	Edificio Vivienda peralejo	22	44	34	37	24	13	33,1	17,76	13,34	88	27,00	6	SC
9	Urbanización Martí y Gallo	4	31	65	71	26	45	33,7	17,85	13,34	89	26,97	7	CH
10	Salón operaciones de urgencia	-	-	-	37	19	18	27,8	17,00	13,20	75	26,80	3	OL - OH
11	Bascula patio terminal portuaria	0	15	85	55	21	34	45,0	17,60	12,14	100	27,00	3	CH
12	Viviendas experimentales de tierra	26	29	45	41	19	22	35,0	18,20	13,80	92	27,00	3	SC
13	Viviendas lauro Fuentes	22	42	36	37	24	13	31,1	17,76	13,34	88	27,00	3	SC
14	Centro Video Club Juvenil	27	28	45	37	18	15	37,4	17,60	13,30	98	27,00	4	SC

De esta clasificación se puede concluir que los suelos existentes en el área son sedimentos recientes del cuaternario, clasificados por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como **SC** que son arena arcillosa con gravas **CH** Arcilla



muy plástica, **OH** Limo orgánico, **OL** Arcilla orgánica, estos suelos presentan un alto grado de saturación, humedad natural elevada, alto por ciento de finos, y Límites de Atterberg bastante acordes para que ocurra licuefacción, los niveles freáticos oscilan entre 1m y 1,90 m sin tomar en cuenta las fluctuaciones de las mareas del mar, es decir geotécnicamente es un área con alta susceptibilidad a la licuefacción.

3.1.2 Esquema ingeniero geológico de los suelos presentes en el área de estudio

Para la realización de este esquema se utilizó en el programa Surfer 9 donde después de analizar y promediar los resultados obtenidos de la tabla 3.1 se reunieron los requisitos necesarios para la distribución realizada a partir de los tipos de suelos y el comportamiento de dichas propiedades físico mecánicas, dando como resultado la distribución de los tipos de suelo en superficie (Figura 3.2)

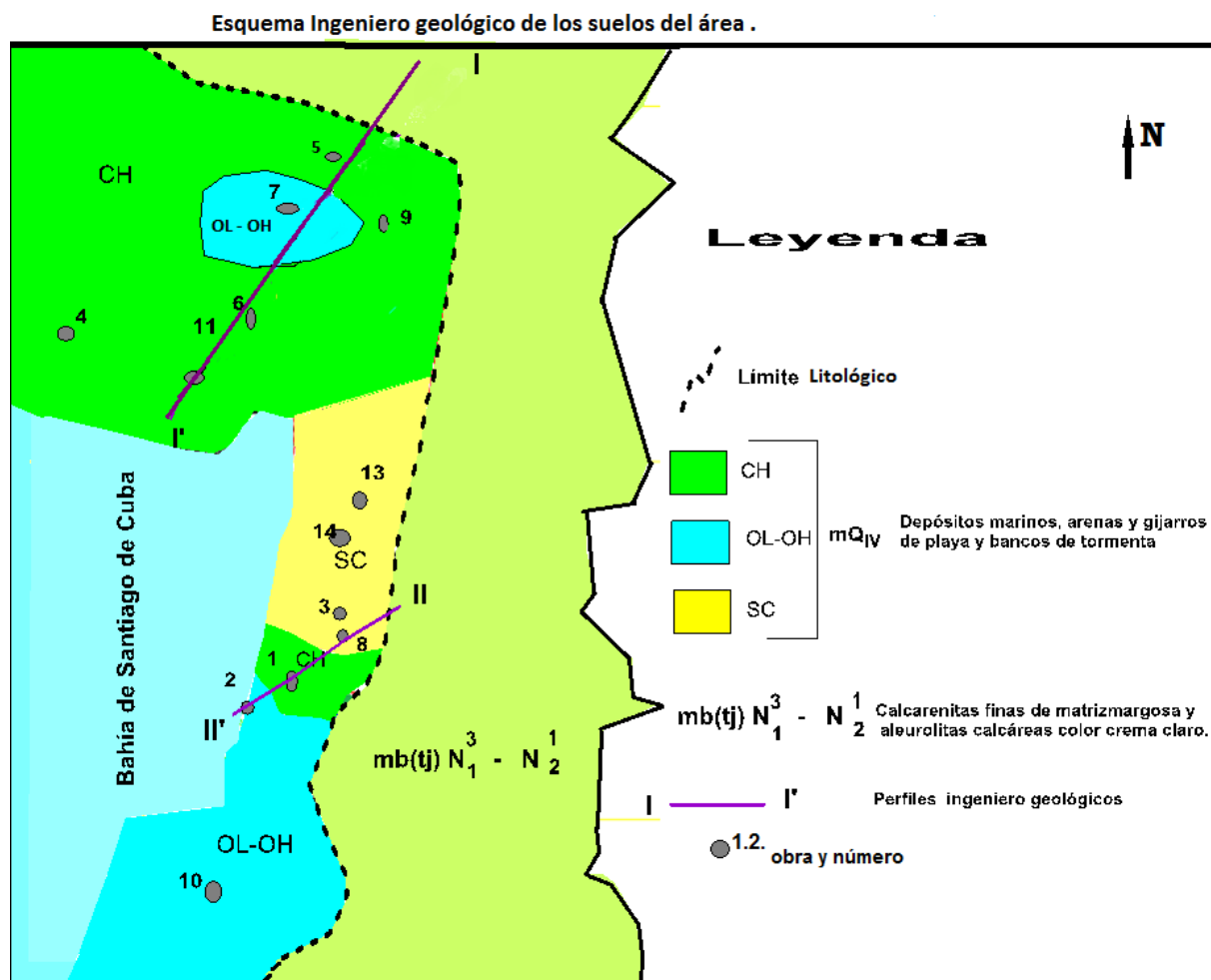


Figura 3.2 Esquema Ingeniero geológico de los suelos del área de estudio. Fuente: Elaboración propia. Escala 1: 2000

Anteriormente se presenta un esquema ingeniero geológico de los suelos del área de estudio. Los suelos blandos representados presentan un comportamiento común en cuanto al contenido de humedad $>$ al 30 %, densidades secas $<$ $13,50 \text{ KN/m}^3$, con pesos específicos que oscilan en el rango de $(26,60 \text{ a } 27,00) \text{ KN/m}^3$ y resistencia a la penetración dinámica de 4 a 6 golpes por cada 30 cm de penetración (SPT), dando la diferencia desde el punto de vista de clasificación de suelos varían espacialmente de forma aleatoria entre una arcilla muy plástica con arena (CH) a una arena arcillosa con gravas (SC), predominando los suelos tipo (CH) en dirección norte, hacia el centro este los suelos tipo SC y en el sur los de tipo OL - OH.

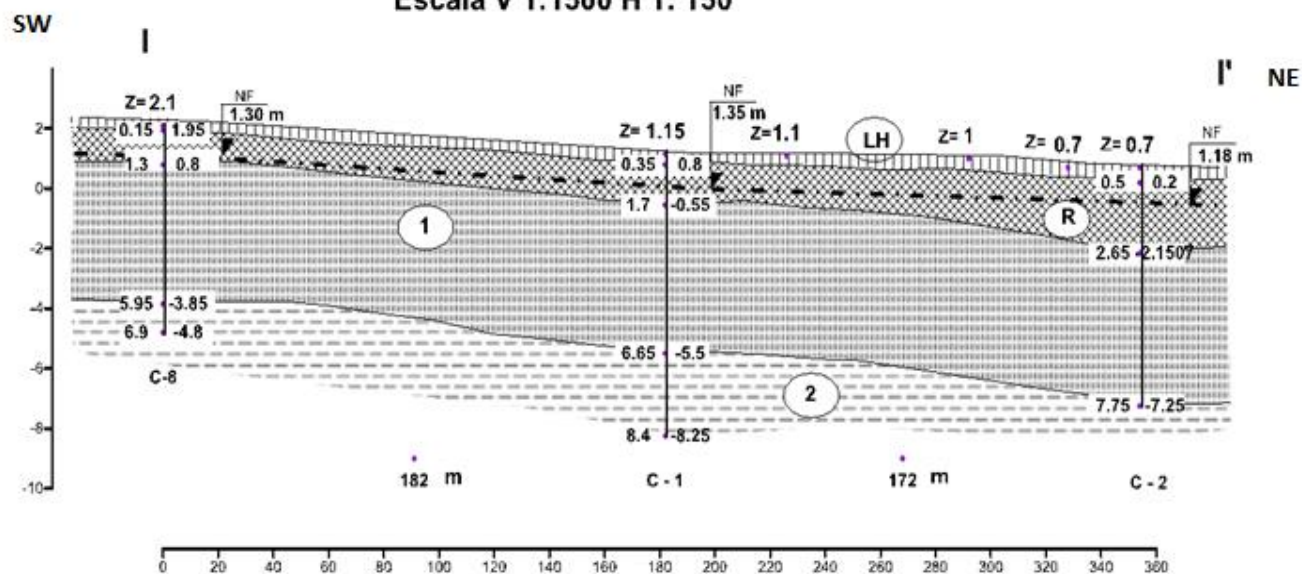


Dada las características descritas anteriormente la capacidad resistente de estos tipos de suelos es baja ante determinadas cargas impuestas, por lo que se puede decir que son suelos susceptibles a la licuefacción.

3.1.3 Perfiles Ingeniero Geológicos del área de estudio.

La confección de los perfiles ingenieros geológicos se realizaron con el programa Surfer 9 donde. Se utilizaron los datos de las calas promedios realizadas en cada trabajo de perforación para la construcción de las obras en el área. Se logró conocer la disposición en profundidad de la litología presente y los espesores de cada capa, concluyendo que por lo regular estos tipos de suelos contienen un alto grado de materia orgánica y un alto por ciento de saturación, en estado blandos, con restos de fósiles marinos, color gris y se encuentran en casi toda el área con diferentes espesores y composición, extendiéndose como media hasta los (5 - 10.35) m de profundidad al norte de la bahía y desde (5.95 a 7.75) m al este. (Figura 3.3) y (Figura 3.4)

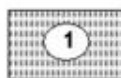
Perfil Ingeniero Geológico I - I' Escala V 1:1500 H 1: 150



Simbología



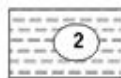
Losa de Hormigón masiva para pisos



Cieno representado por una Arcilla muy plástica con arena, limos orgánicos y arenas arcillosas, color gris



Relleno muy heterogéneo compuesto por una arena limosa con gravas



Arcilla muy plástica con arena (CH): húmeda, finos de plasticidad alta, color carmelita

Z = 2.1 Cota cala m
6.55 5.50 Profundidad intervalo y cota m

C - 1 Número de cala

NF
1.35 m

Figura 3.3 Perfil Ingeniero Geológicos I-- Í del Área de Estudio. Fuente: Elaboración propia

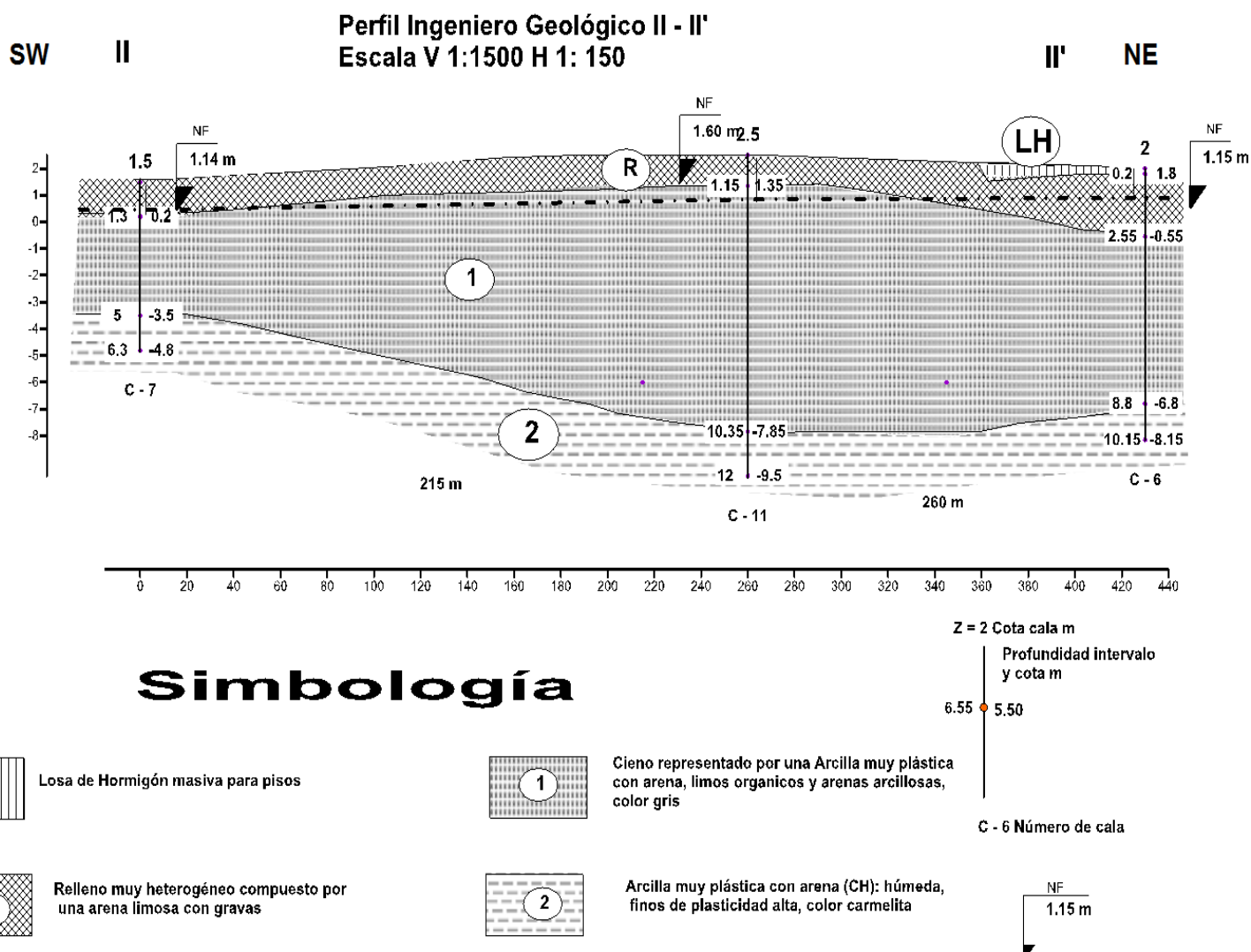


Figura 3.4 Perfil Ingeniero Geológicos II-- II' del Área de Estudio. Fuente: Elaboración propia

Conforme a los perfiles realizados se pudo determinar la presencia de la siguiente litología:

Losa de hormigón hidráulico: Masiva, de alta resistencia, no distribuida uniformemente en toda el área, su espesor varía desde 0.15 m a 0,20m en la calas de las obras 1, 2 y 8 y en la obra 6 las calas muestran un espesor de 0,15m.

Relleno (R): Relleno muy heterogéneo compuesto por una arena limosa con gravas: 34 % de arena de grano medio; 28 % de gravas de diámetro predominante entre 2 y 4 mm, duras, subredondeadas, con restos de ladrillos, algo húmedo, compacidad baja, color carmelita. Espesor de 2.25, 1.80 y 1.10 m en las calas de todas las obras respectivamente.

Capa 1 Compuesta por una Arena arcillosa con grava (SC) de grano medio, 58 % de finos, LL = 67 %, IP = 41 %; 34 % de arena de granos medios a finos; 8 % de gravas finas, subredondeadas; húmeda, color carmelita, de origen aluvial. Su espesor total varía de (5,95 a 7,75m) en el perfil I— Í y de (5 a 10,35m) en el perfil II— ÍÍ.

Capa 2: Compuesta por una Arcilla muy plástica gravosa con arena (CH), 52 % de arena de granos finos a medios; 32 % de finos, LL = 45 %, IP = 23 %; 16 % de gravas de granos finos a medios subredondeadas; compacidad alta, poco húmeda, color carmelita, de origen aluvial. Su espesor total es mayor a la profundidad de investigación realizada. Espesor no determinado.

La geología del área está representada por sedimentos cuaternarios recientes que descansan sobre sedimentos de origen marino sedimentario de la Fm La Cruz.

La región de estudio presenta alto riesgo sísmico, con probabilidad de que ocurran daños en las edificaciones ante eventos de media a alta magnitud. Se debe destacar que las obras se emplazan sobre una zona de falla, las aguas subterráneas afectan los niveles de cimentación propuestos con niveles freáticos poco profundos, lo cual favorece el incremento del grado sísmico.

El fenómeno físico geológico más importante está representado por la pérdida de la capacidad soportante del relleno de piso a causa de la yacencia somera de las aguas

subterráneas las que durante periodos lluviosos o de intensas lluvias pueden alcanzar por capilaridad el relleno de material de piso afectando sus propiedades por humedecimiento.

3.2 Análisis del nivel freático en el área de estudio.

En este epígrafe se muestra los resultados alcanzados en la observación del comportamiento y la influencia del nivel freático en el área de estudio (tabla 3.2), observando que los mismos se comportan de la siguiente manera según el tipo de suelo:

Tabla 3.2 Comportamiento del nivel freático. Elaboración propia

Clasificación SUCS	Nivel Freático promedio en (m)
CH	1.17 m
SC	1.28 m
OL – OH	1.86m

En los suelos CH el nivel freático se incrementa en dirección NW -SE (respecto a las rasantes actuales), estando desde prácticamente 1.10 m la superficie en las localidades del sector NW. En la zona centro los suelos son SC y puede establecerse una franja de dirección NE-SW en la que se presentan profundidades entre 1.10 m y 1.30 m; desde esa zona hacia el E, el nivel freático desciende gradualmente hasta localizarse a profundidades mayores de 1.70 como por ejemplo en el sector SE del área de estudio donde predominan los suelos OL – OH. Tomando en cuenta el comportamiento del nivel freático se puede presumir que toda el área es licuable, pero es más susceptible la parte comprendida por los suelos CH

3.3 Resultados del cálculo del factor de seguridad.

El cálculo del Factor de Seguridad realizado para los diferentes tipos de suelos existentes en el área de estudio utilizando magnitudes tales como $M = 6.5; 7.5; 7.75; 8$ y las propiedades físico mecánicas necesarias arrojaron los siguientes resultados. Tabla 3.3, Tabla 3.3 y Tabla 3.5

Tabla 3.3 Resultados del cálculo del factor de seguridad en suelos tipo SC Fuente: Elaboración propia

Magnitudes (Richter)	Factor de Seguridad (FS)
6.5	2.55
7	2.14
7.5	1.77
7.75	1.2
8	0.86

Tabla 3.4 Resultados del cálculo del factor de seguridad en suelos tipo CH. Fuente: Elaboración propia

Magnitudes (Richter)	Factor de Seguridad (FS)
6.5	2.45
7	2.04
7.5	1.70
7.75	1.15
8	0.85

Tabla 3.5 Resultados del cálculo del factor de seguridad en suelos tipo OL - OH. Fuente: Elaboración propia

Magnitudes (Richter)	Factor de Seguridad (FS)
6.5	4.96
7	4.13
7.5	3.44
7.75	2.26
8	1.62

Concluyendo que para el suelo tipo SC para las magnitudes que oscilan entre 6.5^0 y 7.75^0 no ocurre licuefacción y con magnitudes mayores o igual a 8^0 los cálculos expresan que ocurre licuefacción. Ante la manifestación de un sismo de magnitud 8^0 o

mayor se verán directamente afectadas construcciones como: Salón Tecnológico W I F E , Edificio Vivienda peralejo, Viviendas lauro Fuentes, 14 Centro Video Club Juvenil

El comportamiento de los resultados para el suelo tipo CH entre las magnitudes 6.5^0 hasta 7.75^0 no ocurre licuefacción en el área de estudio, con una magnitud de 8^0 mayor es seguro que ocurre licuefacción. En caso que ocurriera un evento con magnitud 8^0 o mayor se verían afectadas obras tales como Mini Fábrica de Cerveza, Puente Ferroviario, Prolongación de la Avenida Jesús Menéndez, Báscula centro de carga FFCC, Urbanización Martí y Gallo, Báscula del patio de la terminal portuaria

Por ultimo para los suelos tipo OL- OH el procedimiento que siguen es el siguiente: realizado el cálculo para las magnitudes 6.5^0 , 7^0 , 7.5^0 , 7.75^0 y 8^0 , se pudo evidenciar que no ocurre licuefacción, es decir de toda el área de estudio es la zona más segura, por tanto las construcciones existentes como Mesón del Puerto, Urbanización La Playita, Salón operaciones de urgencia, Viviendas experimentales de tierra están fuera del alcance de este fenómeno.

Con la obtención de estos resultados ya tenemos las herramientas necesarias para delimitar los escenarios susceptibles a la licuefacción en el área de estudio, sabiendo que los suelos SC y CH presentar alta susceptibilidad a la ocurrencia de este fenómeno, mientras que los suelos OL- OH presentan mejor respuesta ante la licuefacción inducido por un sismo pues para eventos de hasta 80 de magnitud el fenómeno no se presenta

3.4 Esquema de susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en el área de estudio.

Para la confección del esquema de susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en el área de estudio se utilizaron los resultados de todos los trabajos realizados anteriormente, dígase determinación de las propiedades físico mecánicas del suelo y su posterior clasificación por el SUCS, análisis del nivel freático y realización del cálculo de factor de seguridad. (Figura 3.5)

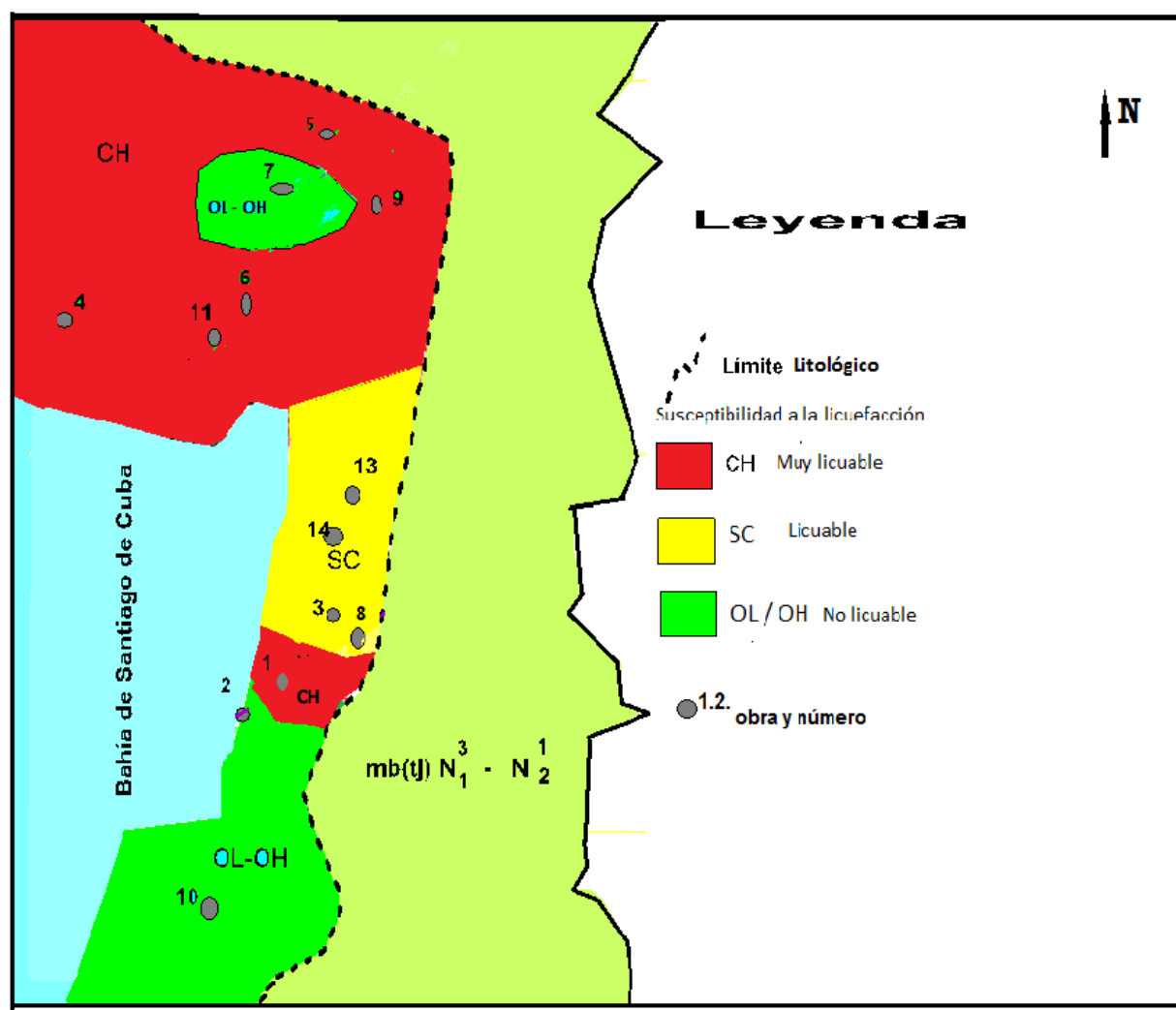


Figura 3.5 Esquema de susceptibilidad a la licuefacción de los suelos del área.

Según los cálculos realizados, se ha hecho un esquema de susceptibilidad a la licuefacción del Consejo popular Guillermon Moncada. Las áreas se han clasificado en función de las características geotécnicas del suelo, el análisis del nivel freático y los resultados del cálculo del factor de seguridad. Los resultados muestran que se clasifican: como muy susceptible a la licuefacción el sector NW y parte del SE del área donde se encuentran los suelos tipo CH y las obras importantes como, Mini Fábrica de Cerveza, Puente Ferroviario, Prolongación de la Avenida Jesús Menéndez, Báscula centro de carga FFCC, Urbanización Martí y Gallo, Báscula del patio de la terminal portuaria. El sector NE del área está caracterizada por ser susceptible, pues las



características geotécnicas y el nivel freático se comportan de manera más favorable a la disminución del fenómeno, observando que se encuentran en él: Salón Tecnológico WIFE, Edificio Vivienda paralejo, Viviendas lauro Fuentes, Centro Video Club Juvenil y están emplazados en los suelos tipo SC. El sector S del área de estudio presenta suelos tipo OL – OH y se caracteriza por presentar propiedades físico mecánicas que garantizan la no ocurrencia del fenómeno siendo el sector más seguro encontrándose en él obras como: 2 Mesón del Puerto, Urbanización La Playita Salón operaciones de urgencia.

El resto del área de estudio, con los datos disponibles puede considerarse como no licuable...

CONCLUSIONES

- ❖ Se realizó un esquema ingeniero geológico del consejo popular donde los suelos varían espacialmente de forma aleatoria entre una arcilla muy plástica con arena (CH) a una arena arcillosa con gravas (SC), predominando los suelos tipo (CH) en dirección norte, hacia el centro este los suelos tipo SC y en sentido sur los de tipo OL - OH. Caracterizándose por ser suelos blandos, presentan un comportamiento común en cuanto al contenido de humedad $> 30\%$, densidades secas $< 13,50 \text{ KN/m}^3$, con pesos específicos que oscilan en el rango de $(26,60 \text{ a } 27,00) \text{ KN/m}^3$ y resistencia a la penetración dinámica de 4 a 6 golpes por cada 30 cm de penetración (SPT) la capa de cieno yace a profundidades menores a 8 m, presentan alto contenido de finos, los niveles freáticos se encuentran a profundidades menores a 3.00 m, contienen un alto grado de saturación, presentan baja resistencia a la penetración dinámica (< 10 golpes del SPT), posibilidad de ocurrencia de terremotos de magnitud mayor a 5.5 y aceleraciones de hasta 0.3g.

- ❖ Un parámetro significativo en el análisis de susceptibilidad a la licuefacción ha sido la profundidad del nivel freático en los suelos CH el nivel freático se incrementa en dirección NW -SE (respecto a las rasantes actuales), estando desde prácticamente 1.40 m hasta los 1.90 m en las localidades del sector NW. En la zona centro los suelos son SC y puede establecerse una franja de dirección NE-SW en la que se presentan profundidades entre 1.10 m y 1.30 m); desde esa zona hacia el E, el nivel freático asciende gradualmente hasta localizarse a profundidades muy notables menores de 1m como por ejemplo en el sector SE del área de estudio.

- ❖ La realización del cálculo del factor de seguridad ante la licuefacción propició conocer la respuesta de estos suelos ante un sismo de gran magnitud, y sirviendo como fundamento para determinar la susceptibilidad de los mismos ante el fenómeno, para sismos de magnitud mayor a 7.75 el sector NW y SE es muy



susceptible a la licuefacción, el sector NE es susceptible y el sector S no presenta susceptibilidad ante el fenómeno de licuefacción

- ❖ Se confecciono el esquema de susceptibilidad a la licuefacción conjugando los resultados obtenidos de la determinación de las propiedades físico mecánicas, el análisis del nivel freático y resultados obtenidos del cálculo del factor de seguridad permitiendo así decir que en el área se presentan sectores muy licuables como el NW y SE, sectores susceptibles a la licuefacción como el NE y el sector S es no licuable.



RECOMENDACIONES

- ❖ Que éste estudio se realice para toda la ciudad de Santiago de Cuba, principalmente las regiones que están relativamente cerca de todo el litoral.
- ❖ Este resultado debe ser aplicado por los Organismos del Estado los cuales son los encargados de planificar, decidir, proyectar; además sirve como apoyo para el buen uso del suelo y la mitigación de los efectos de los terremotos en la ciudad de Santiago de Cuba.
- ❖ La implementación de medidas que mitiguen los efectos del fenómeno de licuefacción es de gran importancia lo que conlleva a la recomendación de las mismas



Referencias bibliográficas

- Alba, J. (1985). *Vulnerabilidad sísmica de Chimbote y Huaraz (Cap II)*.
- Alcocer, S. (1994). *Comportamiento ante cargas laterales de sistemas de muros de mampostería con diferentes tipo de refuerzo horizontal*. México: CENAPRED.
- Álvarez, . (1994). Analisis de la actividad sísmica en la zona de Santiago de Cuba, desde 1568 hasta la actualidad, de terremotos con magnitud mayor que 5. *III Encuentro Nacional de Investigaciones Sismológicas Aplicadas*, (pág. 5). Santiago de Cuba.
- Álvarez, J. (1983). *Estimación de la Peligrosidad Sísmica para la ciudad de Santiago de Cuba*.
- Álvarez, Chuy & Cotilla (1991). Peligrosidad sísmica en Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del Territorio Nacional. *Revista Geofísica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia No 35*, 125-150.
- Arango, Fernández & Reyes (2000). *Peligro Geológico de la Ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores*. CENAIIS.
- Arango, Reyes, & Fernández (1997). *Evaluación cualitativa del Peligro geológico de la red vial en la provincia Santiago de Cuba Para casos de sismos de gran intensidad*.
- Arango, E. (1996). *Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en limite de las Placas de Norteamérica y el Caribe*. Mexico.
- Arango; Zapata ; Fernández ; Reyes . (1997). *Evaluación sobre el peligro geológico en la carretera Granma, entre las localidades de Chivirico y Río Macío, en el municipio Guamá, Santiago de Cuba*. CENAIIS.
- Arellano, & Díaz, S. (1987). *Cálculo aproximado del periodo de vibración de edificios para la obtención de la ordenada espectral de diseño sísmico*. Quito , Ecuador: FIC. EPN.
- Argudo (1995). *Técnicas experimentales para la determinación de las características dinámicas de estructuras y suelos y su aplicación a la Microzonación sísmica de Guayaquil - Ecuador*.
- Asprino, M. (1977). *Investigaciones antisísmica de edificios prefabricados*.
- Astrosa, M. (1991). *Recomendaciones para restringir el uso de sistemas constructivos de bajo costo en zonas sísmicas*. Lima Perú: Ceresis.
- Beles, Ifrin, & García, A. (1975). *Elementos de ingeniería sísmica*. Barcelona España: 80 Omega, S.A.



- Bermúdez, M. (1995). *La vulnerabilidad social en los desastres naturales*. Cumana Venezuela.
- Blasquez, R. (1992). *Acciones sísmicas. Análisis espectral de acelerogramas. Espectros*. Madrid.
- C. Lomnitz. (1976). *Seismic Risk and Engineering Decisions*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Campos. (1972). *Geología de la Región Oriental*.
- Cardona, & Hurtado, J. (1995). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana en términos de la capacidad de absorción y demanda de energía*. Cumana Venezuela.
- Cardona, O. (1990). *Proyecto Integral de mitigación de riesgo sísmico urbano*. México.
- Carrazana, & Falcón. (1999). *Metodología para la Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural de Edificios Constructivos en Zonas Sísmicas*. Santiago de Cuba.
- Carrillo. (2007). *Licuación de suelos durante el sismo Pisco - Peru*.
- Carrillo. (2007). *Licuación de suelos durante un sismo de gran magnitud*.
- Carrillo. (2009). *Geología de Santiago de Cuba*.
- Castro, Inc, Kramer, & Semillas. (1988). *Geotécnica de Ingenieros*.
- Chatterjee, & Hotton, (1994). *New Concepts in Global Tectonics*. Texas. USA.
- Chile, A. (1993). *Estimación del peligro, la vulnerabilidad y las pérdidas en ciudades de Chile*. Santiago de Chile: AACH.
- Chuy. (1999). *Sismos Perceptibles en la Provincia de Santiago de Cuba*.
- Chuy. (2010). *Sismicidad en Cuba*.
- Chuy, & otros. (2002). *Sismicidad en Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba.
- Chuy, & Alvarez, (1995). *Mapa de peligrosidad sísmica de Cuba con fines de ingeniería. Reportes de Investigación*. Santiago de Cuba: Fondos del CENAIIS.
- Chuy, Despaigne, & González, (2000). *Peligrosidad sísmica de la Región de Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba: CENAIIS.
- Chuy, Rubio, & Zapata, (1990). *Isosistas del terremoto del 20 de Agosto de 1852*. Santiago de Cuba.
- Colectivo de Autores. (2002). *Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica, Geología*. San Pedro, Costa Rica.
- Colectivo de Autores. (2012). *Terremoto de Lorca*. Lorca, Murcia, España.



- Fernández, Rivera, & Reyes, (1995). *Pronostico de fenómenos físico-geológicos inducidos por terremotos: su empleo en los planes contra sismos de la ciudad de Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba.
- Fernández, Rivera, Reyes, & Zapata. (1995). *Comprobación de áreas de posible aparición de fenómenos físico geológicos de la ciudad de Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba.
- Figueras (2012). Caracterización de efectos sísmicos locales en la ciudad de Lorca. *Física de la Tierra*.
- Galbán. (2009). *Condiciones Geotécnicas de Santiago de Cuba*.
- García. (2002). *Determinación de niveles freáticos en Santiago de Cuba*.
- Guasch, & Oliva. (2014). *Análisis de la vulnerabilidad habitacional y los riesgos inducidos en los edificios altos de la ciudad de Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba: CENAIIS.
- I.N.R.H. (2012). *Particularidades climáticas de la ciudad de Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba: Santiago de Cuba.
- Idriss. (2000). *Factores de Escala Por Magnitud del sismo*.
- Ishihara. (1990). *Cálculo del Factor de Seguridad ante la Licuación de Suelos*.
- Ivonet, Salas, Lorente, & Calderi. (1995). *Consideraciones sobre la relación sismología-planeamiento territorial*. Santiago de Cuba.
- Japan Working for TC-4 Committee. (1992). *Seismic Zoning on Geotechnical*. Japan.
- Kishida, & Ohsaki. (1969, 1970).
- Kozary, T. (1970). *Mármoles del Jurásico*.
- Liao, & Witman. (1986). *Práctica de ingeniería rutinaria*.
- Lomnitz, & Rosenbluth, (1976). *Seismic Risk and Engineering Decisions*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Medina. (1999). *Características Geológicas de Santiago de Cuba*.
- Obando, T. (2009). *Modelación Geomecánica y temporal de la licuefacción en suelos de minas no metálicas*. España: Andalucía.
- ONEI. (2012). *Extensión territorial y población de Santiago de Cuba*.
- Pérez. (1994). *Paleógeno en Cuba*.
- Power, Robertson, Seed, & Stokoe. (2001). *"Liquefaction resistance of soils"*.
- Robertson, & Fear. (1995). *"Liquefaction of sands and its evaluation"*. Tokyo.



- Robertson, & White. (1997). *Enfoque de esfuerzos cíclicos*.
- Robertson, & Wride. (1998). *"Evaluating Cyclic Liquefaction Potential using the cone penetration test."*. Ottawa.
- Rodríguez, L. M. (s.f.). *Investigaciones Sismológicas*.
- Rodríguez, L. M., Audemard, F., & Rodríguez, J. A. (s.f.). *Departamento de Ciencias de la Tierra, Fundación Venezolana de Investigaciones sismológicas*. . Caracas.
- Rosemblueth, E. (1976). *Seismic Risk and Engineering Decisions*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Seed. (1979) *Evaluación del potencial de licuefacción*
- Seed. (1983). *Potencial de licuefacción en suelos granulares*.
- Seed. (1966). *Estudios de licuación sísmica*.
- Seed, & Idriss. (1971). *Determinacion del potencial de licuacion*.
- Seed, Cetin, Moss, & Kammerer. (2003). *"Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework"*. California.
- Semillas. (1985). *Calculo del factor de seguridad*.
- Shadenet. (1990). *Factores que condicionan la ocurrencia de licuacion*.
- Stacey, F. D. (1992). *Physics of the Earth*.
- Taiping, & otros. (1984). *Potencial de Licuación*.
- Tanasijevic, Z. (2011). *Traduccion Y Comentarios sobre la Licuacion de suelos Granulares*.
- Tokimatsu, & Yoshimi. (1983). *Metodología usada para la determinación del potencial de licuación*.
- Vallejo. (2002). *Licuacion*.
- Vinent. (1984). *Período de evolución "neoplatafórmico"*.
- Yegian, & Whitman. (1978). *Potencial de licuación*.
- Youd. (1992). *Fenómenos Asociados a la licuación*.
- Youd. (2001). *Licuación de arena*.
- Youd, & Idriss. (2001). *Metodologias para la determinacion del potencial de licuacion*.

Anexos**Anexo 1**

Se muestran algunas imágenes del deslizamiento de Enramada y Padre Pico ubicado en el consejo popular Guillermon Moncada.





Deslizamiento ubicado en Calle Enramada y Padre Pico.

Anexo 1.1



Fachada Principal hacia la calle Peralejo.



Fachada actual hacia Callejón Cuba.



Límite con la Empresa Provincial de Inspección de Transporte.

Edificaciones circundantes, Se conservan las paredes exteriores como parte de la fachada colonial del inmueble.

Edificio en reparación en la calle Peralejo

Anexo 2

Magnitudes (Richter)	6.5	7	7.5	7.75	8
Aceleraciones máximas (m/s^2)	0.25	0.30	0.34	0.41	0.51