



REPUBLICA DE CUBA

MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE  
MOA

“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

# Trabajo de Diploma

Para Optar por el Título de

# Ingeniero Geólogo

*Evaluación de riesgo por licuefacción en los municipios  
de Guamá, III Frente y Contramaestre de la provincia  
de Santiago de Cuba.*

**Autora: Alisneydis Gutiérrez Sánchez**

**Tutora: MSc. Liuska Fernández Diéguez**

**Moa, 1 de julio del 2017**

**“Año 58 de la revolución”**

# Declaración de Autoría

Declaro que soy el único autor de la presente investigación y autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, en especial a la Facultad de Geología y Minas, para que hagan de él, el uso que estimen correspondiente.

Para que así conste, firmo la presente el\_\_1\_ días del mes de \_julio\_ del 2017.

---

Alisneydis Gutiérrez Sánchez

---

MSc. Liuska Fernández Diéguez

## **Dedicatoria**

- *A mis padres Iláisis Sánchez y Armando Gutiérrez.*
- *A mis hermanas Anisleydis y Adis Bárbara.*
- *A mis abuelos.*
- *A toda mi familia.*
- *A mis amigos.*
- *A todas las personas que de una forma u otra pusieron su granito de arena para que este sueño se pudiera hacer realidad.*

## **Agradecimientos**

- *A mis padres, por su apoyo, amor, entrega y confianza que me han brindado por toda la vida, para alcanzar mis metas y ser la persona que soy hoy.*
- *A toda mi familia, que siempre se ha mantenido a mi lado en cada paso que doy.*
- *A mis amigos, Dianelis, Wilfredo, Norge, Keilin, que tanto me han apoyado y me han dado fuerza para siempre salir adelante.*
- *A mi esposo Isnel por todo el amor, apoyo y comprensión que me ha brindado en todo momento.*
- *A mi tutora Liuska Fernández Diéguez, por su entrega y dedicación a este trabajo.*
- *A todos los profesores que de alguna manera contribuyeron en mi formación como geólogo y como persona.*

*A todos ustedes, GRACIAS.*

## Pensamiento



## **Resumen**

El presente trabajo estuvo encaminado a la evaluación de riesgo por licuefacción en los municipios de Guamá, III Frente y Contramaestre de la provincia de Santiago de Cuba. El mismo respondió a la necesidad de conocer las condiciones ingeniero geológicas de los suelos del territorio, para una correcta evaluación de los sectores analizados. El trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el riesgo por licuefacción inducido por terremotos fuertes. Para el estudio de las diferentes áreas se utilizaron un conjunto de métodos que le dieron respuesta al problema de la investigación, como la validación de los resultados de acuerdo al análisis del sistema de indicadores propuestos por (Fernández-Diéguez, 2015), el cálculo del factor de seguridad de licuefacción corregido. Como resultado se identificaron los suelos arena arcillosa con grava y arcilla de baja plasticidad como los escenarios que presentan mayor riesgo a la licuefacción, en los municipios Guamá, III Frente y Contramaestre para sismos de magnitudes 6, 7 y 8.

## **Abstract**

The present work is guided to define the susceptible scenarios to the liquefaction induced by earthquakes of great magnitude in the municipalities of Guamá, III Frente and Contramaestre of the county of Santiago from Cuba. The same one responds to the necessity of knowing the geologic conditions engineer of the floors of the territory, for a correct evaluation of the analyzed areas. For the study of the lands they were used a group of methods that they gave answer to the necessity of the investigation, as the validation of the results according to the analysis of the system of indicators proposed for (Fernández-Diéguez, 2015). The calculation of the corrected factor of security and the determination of maximum intensities that can be obtained starting from seismic magnitudes that provoke liquefaction in the study area. As a result identified him you sand the grounds clayey with gravel and clay of low plasticity like the scenes that Guamá, III Frente and Contramaestre for seisms present bigger risk to the liquefaction, at the municipalities of magnitudes 6, 7 and 8.

## ÍNDICE

Resumen .....	VI
ÍNDICE .....	VIII
Introducción.....	1
Estado del arte y Marco teórico conceptual .....	3
Conceptos de licuefacción.....	3
Factores que influyen en la licuefacción .....	5
Factores que condicionan la ocurrencia de licuefacción.....	5
Condición de un suelo para que sea licuable.....	6
Metodologías para el estudio de la licuefacción de los suelos .....	8
Métodos utilizados para evaluar la susceptibilidad a la licuefacción .....	10
Evidencias históricas del fenómeno de licuefacción de suelos.....	11
Reportes históricos de licuefacción de los suelos en Cuba.....	14
Investigaciones realizadas en Cuba.....	16
Los sismos en Cuba como el elemento disparador de la licuefacción de suelos.....	20
<b>CAPITULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.....</b>	<b>23</b>
Características generales del municipio Guamá.....	23
1.1 Ubicación geográfica.....	23
1.2 Clima .....	24
1.3 Relieve .....	24
1.4 Hidrografía.....	25
1.5 Sismicidad .....	25
Características generales del municipio III Frente .....	28

1.1 Ubicación geográfica.....	28
1.4 Hidrografía.....	29
1.5 Sismicidad.....	29
1.6 Geología.....	30
<b>Características generales del municipio Contramaestre.....</b>	<b>34</b>
1.1 Ubicación geográfica.....	34
1.2 Relieve.....	35
1.3 Sismicidad.....	35
1.4 Clima.....	35
1.5 Hidrografía.....	36
1.6 Suelos.....	36
1.7 Geología.....	36
<b>CAPITULO II. METODOLOGÍA PARA ESTUDIAR EL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN.....</b>	<b>39</b>
Introducción.....	39
2.1 Metodología de la investigación.....	40
2.2 Sistema de indicadores aplicados para el estudio de la susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en la región oriental de Cuba (propuesto por Fernández-Diéguez, 2015).....	41
2.2.1 Condiciones geológicas.....	41
2.2.2 Sismicidad.....	41
2.2.3 Profundidad del Nivel Freático.....	42
2.2.4 Condiciones ingeniero geológicas.....	42
2.2.5 Cálculo del Factor de seguridad para la licuefacción. Calcular el Cyclic Stress Ratio (CSR).....	43
2.2.6 Cálculo del Coeficiente de Resistencia Cíclica (CRR).....	45

2.3. Metodología aplicada para el análisis de los indicadores para el estudio de la susceptibilidad a la licuefacción en el área de estudio. ....	47
2.3.1. Análisis de las condiciones geológicas del área de estudio. ....	47
2.3.2. Análisis del comportamiento de la sismicidad en el área de estudio. ....	47
2.3.3. Análisis del comportamiento del nivel freático en el área de estudio. ....	48
2.3.4. Análisis de las condiciones ingeniero geológicas. ....	48
2.3.5. Análisis del cálculo del factor de seguridad para la licuefacción (FSL).....	48
<b>CAPITULO III. EVALUACION DEL RIESO POR LICUEFACCION A PARTIR DEL SISTEMA DE INDICADORES EN EL LOS MUNICIPIOS GUAMA. III FRENTE Y CONTRAMAESTRE. ....</b>	<b>50</b>
3.1. Criterios para la selección de escenarios susceptibles a la licuefacción. ....	50
3.2 Validación del sistema de indicadores propuestos en el municipio de Guamá.....	53
3.2.1 Condiciones geológicas.....	53
3.2.2 Sismicidad.....	54
3.2.3 Características hidrográficas .....	55
3.2.4 Condiciones ingeniero-geológicas (Tabla 2).....	56
3.2.5 Cálculo de Factor de seguridad para la licuefacción. ....	57
Conclusiones parciales para el municipio Guamá.....	58
3.3 Validación del sistema de indicadores propuestos en el municipio III Frente. ....	58
3.3.1 Condiciones geológicas .....	58
3.3.2 Sismicidad .....	59

3.3.3 Características hidrográficas.....	59
3.3.4 Condiciones ingeniero-geológicas.....	60
Conclusiones parciales para III Frente.....	61
3.4 Validación del sistema de indicadores propuestos en el municipio Contramaestre.....	62
3.4.1 Condiciones geológicas.....	62
3.4.2 Sismicidad.....	63
3.4.4 Condiciones ingeniero-geológicas.....	64
3.4.5 Cálculo de Factor de seguridad para la licuefacción.....	65
Conclusiones parciales para Contramaestre.....	65
Conclusiones.....	67
Recomendaciones.....	68
Bibliografía.....	69
Anexo 1.....	73
Anexo 2.....	76
Anexo 3.....	77
Anexo 4.....	79
Anexo 5.....	83
Anexo 6.....	84

## **Introducción**

Los estudios sobre los efectos de sismos se han ido desarrollando a lo largo de los años a partir de su observación directa. Las experiencias del terremoto ocurrido en Santiago de Cuba en 1932 nos convocan a no dejar pasar por alto la sismicidad de nuestro país como fuente de desastres. En aquellos suelos con contenido areno-limosos, en estado saturado, al experimentar esfuerzos cortantes aumenta la presión intersticial (por falta de drenaje), desaparece la resistencia al corte y el material se comporta como líquido ocurriendo de esta manera el fenómeno conocido como licuefacción (Vallejo, 2002). En la actualidad el estudio de este problema resulta de gran importancia y nuestro país no se encuentra enajenado de este. Todos los procesos geológicos tienen gran interés ingenieril ya que están relacionados con la influencia de la estabilidad del área de construcción, con los proyectos y las construcciones de obras en general, por esta razón es necesario la realización de estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo que permitan desarrollar un diseño territorial proyectando la construcción previendo medidas de construcción argumentadas. Debido a esto la presente investigación está encaminada a la evaluación de riesgos por licuefacción en los municipios Guamá, III Frente y Contramaestre de la provincia de Santiago de Cuba.

Para determinar el riesgo por licuefacción se requiere identificar aquellas áreas que poseen potencialidades y desarrollo de este fenómeno geológico. El estudio de los suelos de los municipios de Guamá, III Frente y Contramaestre de la provincia de Santiago de Cuba no queda exento de los peligros y riesgos asociados a la licuefacción. Por lo tanto, se determina como problema de la investigación la necesidad de evaluar el riesgo por licuefacción de los municipios de Guamá, III Frente y Contramaestre de la provincia de Santiago de Cuba.

**Objeto de estudio:** Los suelos de los municipios de Guamá, III Frente y Contramaestre de la provincia de Santiago de Cuba.

**Objetivo general:** Evaluar el riesgo por licuación en los municipios de Guamá, III Frente y Contramaestre de la provincia de Santiago de Cuba.

**Objetivos específicos:**

1. Identificar los peligros y/o amenazas de licuefacción a los que están expuestos los municipios de Guamá, III Frente y Contramaestre de la provincia de Santiago de Cuba.
2. Caracterizar las principales vulnerabilidades presentes en el área de estudio.

**Hipótesis:** Si se evalúan las condiciones ingeniero- geológicas de los suelos de los municipios de Guamá, III Frente y Contramaestre será posible determinar las áreas que presentan mayor riesgo de licuefacción.

**Aporte de la investigación:**

Se amplía el estudio de susceptibilidad a la Licuefacción en la Provincia Santiago de Cuba al realizarse estudios de carácter local a los territorios de Guamá, III Frente y Contramaestre.

## **Estado del arte y Marco teórico conceptual**

### **Introducción**

La licuefacción es uno de los fenómenos más dramáticos y destructivos y, además, más polémicos y peor explicados que pueden ser inducidos en depósitos por acciones sísmicas, las que van a provocar sacudidas aumentando la presión de agua en los poros, lo que reduce la tensión efectiva, y por lo tanto disminuye la resistencia al corte de la arena (Wikipedia, la enciclopedia libre.htm). Los casos históricos comenzaron a hacerse cada vez más notables a partir del terremoto de Niigata en 1964(Perucca, Pérez & Navarro 2006). Desde entonces innumerables metodologías han sido desarrolladas para tratar de definir el riesgo de licuación de un depósito de arenas saturadas. Una vez que se determina que existe riesgo de licuación en un depósito arenoso, hay dos aspectos fundamentales que deben tratar de controlarse: la pérdida de resistencia al corte y las grandes deformaciones debido a fallas de flujo.

### **Conceptos de licuefacción**

- Según (Rodríguez Pascua, 1997; tomado de Parellada, O, 2016) el suelo completamente saturado, con arenas sin cohesión, generalmente limpias, que pueden incluir algo de gravas puede ser licuefactado durante la sacudida sísmica.
  
- Vallejo en 2002, define como 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 asientos.
  
- Colectivo de Autores de la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica, Geología. 2003. 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.

- Rodríguez, Audemard, & Rodríguez, 2012. Departamento de Ciencias de la Tierra, Fundación Venezolana de Investigaciones sismológicas comentan que la licuefacción de sedimentos es la transformación a estado líquido de materiales granulares, saturados como consecuencia del incremento de la presión de poros.
- 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)

La norma NC 46-2013(Construcciones sismoresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción) no tiene en cuenta la licuefacción como uno de las amenazas generadas de forma natural, para los propósitos de esta norma cubana se aplicaran las siguientes definiciones:

- **Acciones sísmicas:** acciones accidentales debidas a la ocurrencia de un sismo tales como la propagación de ondas, inestabilidad del terreno, desplazamiento de estructuras de fallas, tsunami.
- **Intencidad:** Medida cualitativa o cuantiativa del rigor del movimiento sísmico del terreno en un lugar espesífico, en términos de una escala tal como la de Intensidad de Mercanteli Modificada, la de Intensidad M.S.K. la de Intencidades de Rossi-Forel, la Intencidad de Arias, ó la Aceleración Pico, Escala Macroscopica Europea.

- **Magnitud:** Escala utilizada para medir el tamaño de un sismo independientemente de la distancia de la estación al hipocentro: está relacionada a la cantidad de energía liberada en la región focal. La escala más utilizada es la de Richter.
- **Peligro o Amenaza Sísmicas:** Probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento sísmico con cierta intensidad, en un sitio específico y en un tiempo determinado.
- **Riesgo sísmico:** Probabilidad de exceder un nivel de consecuencias socioeconómicas en un sitio específico, dentro de un tiempo determinado en una zona bajo peligro sísmico y ante la presencia de elementos vulnerables. El riesgo no depende solo del peligro o amenazas sino de la vulnerabilidad que presentan los elementos sometidos al riesgo.
- **Vulnerabilidad:** Grado de predisposición de estructuras u obras a ser afectadas o susceptibles de sufrir daños y colapsos debido a la acción sísmica.
- **Zona sísmica:** Área geográfica en la cual se admite que la máxima intensidad esperada de las acciones sísmicas, en un período de tiempo prefijado, es similar en todos sus puntos.

### **Factores que influyen en la licuefacción**

Los estudios realizados sobre la licuefacción llevaron a determinar 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. (Seed, 1966)

### **Factores que condicionan la ocurrencia de licuefacción**

1. **Distribución del tamaño de los granos:** La arena uniformemente graduada, con granos muy gruesos tiene mayor probabilidad de licuarse, mientras que las arenas limosas y gravas lo hacen bajo cargas cíclicas muy severas.

2. **Profundidad de las aguas subterráneas:** Mientras menor sea el nivel de las aguas subterráneas, mayor será la probabilidad de que ocurra licuefacción.
3. **Densidad:** El suelo puede densificarse cuando está sujeto a una carga cíclica, reduciendo su volumen de suelo- agua e incrementando la presión intersticial si los poros intergranulares se llenan de agua. Cuando esto ocurre habrá menor posibilidad de que se produzca su licuefacción.
4. **Peso del recubrimiento y profundidad del suelo:** Las tensiones entre partículas aumentan a medida que aumenta la presión del recubrimiento y mientras mayor sea dicha tensión menor será la probabilidad que ocurra licuefacción. Por lo general, ocurre a profundidades menores de 9 metros; rara vez a mayores de 15 metros.
5. **Amplitud y duración de la vibración del terreno:** La licuefacción de suelos bajo condiciones de tensión provocadas por un terremoto puede ocurrir ya sea: cerca del epicentro si son pequeños o moderados, o a cierta distancia si son moderados a severos.
6. **Edad del depósito:** Los suelos jóvenes (menores de 3 000 años) son débiles y no cohesivos, de modo que tienen mayor probabilidad de licuarse que aquellos más antiguos donde actuaron procesos como compactación y cementación que incrementaron su resistencia.
7. **Origen del suelo:** El suelo depositado por procesos fluviales se sedimenta fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse, de modo que se licuarán con facilidad. Los depósitos glaciales, generalmente ya son bastante densos y tienen menor probabilidad de licuarse. (Alfaro,2013)

### **Condición de un suelo para que sea licuable**

Wang en 1979, propone ciertas condiciones granulométricas que deben cumplir los suelos, particularmente los de granos finos para que ocurra la licuefacción. Estas son:

- Porcentaje de finos de 0,005 mm <15%
- Límite líquido (LL)<35%
- Natural contenido de agua > 0,9 W<sub>n</sub>

- Índice de liquidez  $<0,75$
- Forma de las partículas redondeadas.

Seed and Idriss (1982) consideran que un suelo puede licuar si:

- El porcentaje en peso de partículas  $<0,005$  mm es menor del 15%
- Límite Líquido (LL) $<35$
- Humedad natural/ Límite líquido  $W/LL > 0,9$

A este criterio se le conoció como criterio chino.

Con similitud, son señalados otros factores que influyen en que la susceptibilidad del suelo a la licuefacción aumente, entre estos la presión de confinamiento, la densidad relativa, y el esfuerzo cortante inicial, planteamiento corroborados por (Castro, 1969); (Kramer y Stewart, 2004; tomado de Parellada, O, 2016).

Por otro lado, (Wang, 1979) considera que si un material granular tiene menos del 15 % de finos (arcillosos) y el límite líquido (LL) es mayor que 35 % y el contenido natural de agua es menor de 90 %, estos materiales también se consideran no licuables.

Según el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS), arenas clasificadas como arcilla de baja plasticidad-limo (CL-ML), arena limosa con grava-arena arcillosa con grava (SM-SC), o arenisca y aleurolitas polimícticas con cemento calcáreo-grava arcillosa con arena (GM-GC) son potencialmente licuables, (Youd, 1998).

Para que tenga lugar este modo de comportamiento del suelo es necesario que el nivel freático esté alto, cerca de superficie, que el grado de compactación sea bajo, equivalentes a un número de golpes (N de SPT) inferior a 20 golpes. En la mayoría de los casos donde se han observado licuefacciones el nivel freático estaba a poca profundidad, inferior a 3 metros; por debajo de 5 metros la susceptibilidad de licuefacción es muy baja.

La susceptibilidad a la licuefacción de los suelos depende de varios parámetros como son, (Carrillo, 2007; tomado de Reinoso, D, 2016):

- Densidad relativa.
- Radio de sobreconsolidación.
- Curva granulométrica / cohesión.

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 mayores que 2 mm.
- Suelos arcillosos (Dependiendo del tamaño de los granos).

### **Metodologías para el estudio de la licuefacción de los suelos**

Para la evaluación del riesgo de licuefacción de suelos, numerosos investigadores se han apoyado en los resultados de distintos ensayos de suelos para elaborar una metodología que facilite su estudio. Las más utilizadas inicialmente fue el criterio chino modificado de (Wang, 1979) y el método de (Seed & Idriss, 1982), y más recientemente (Youd et al. 2001), que recopila la información de las reuniones de NCEER ocurridas en 1996 y 1998. Luego de los terremotos de Kocaeli (Turquía) y Chi-Chi (Taiwán) en 1999, donde ocurrieron severos daños debidos a licuefacción en lugares donde los métodos disponibles no la predecían, se vio la necesidad de desarrollar nuevos criterios con especial énfasis en la influencia del contenido de finos en el suelo.

Un grupo de investigadores de la Universidad de California en Berkeley y (Raymond y Seed, 2003; tomado de Parellada, O, 2016) publicaron un documento que unificaba los resultados de investigaciones recientes acerca del fenómeno de licuefacción de suelos. A pesar de que existen nuevas investigaciones, algunas de ellas controversiales, se utiliza la metodología propuesta por (Seed et al.2003), complementada con los estudios de (Cetin et al. 2004; tomado de Parellada,

2016). Esta metodología utiliza un valor N del ensayo SPT normalizado por profundidad y ajustado por la cantidad de finos para cuantificar la susceptibilidad del suelo a la licuefacción. (Alarcón, 1989; tomado de Parellada, O, 2016) opina que la aproximación práctica de Seed consiste en comparar las curvas de tensión cíclica provocadas por N ciclos del terremoto de cálculo con la curva, determinada en laboratorio, de la tensión cíclica capaz de producir la licuefacción en N ciclos en el terreno en cuestión. De esta comparación es posible extraer la zona peligrosa, aunque para ello ha sido preciso desarrollar criterios que permiten pasar de un movimiento sísmico real a otro equivalente y uniforme. (Obando, 2009; tomado de Parellada, O, 2016).

(Seed et al, 1983) y (Seed & De Alba 1986; tomado de Reinoso, D, 2016) en Estados Unidos han presentado el método simplificado, en base a ensayos de penetración estándar y el cono holandés. En Japón, (Tokimatsu & Yoshimi, 1981, 1983); (Iwasaki et al, 1978) e (Iwasaki, 1986 tomado de Reinoso, D, 2016) han presentado también el método simplificado en base a la experiencia japonesa. Estas metodologías simplificadas fueron programadas en lenguaje básico para realizar un análisis sistemático de los datos. La conversión del ensayo de penetración estándar al de cono holandés se realizó según (Robertson & Campanella 1983, 1985; tomado de Reinoso, D, 2016). La corrección de sobrecarga se realizó de acuerdo a (Liao & Whitman, 1986; tomado de Reinoso, D, 2016).

Los métodos han llegado a ser en la actualidad rutinarios para la investigación del potencial de licuefacción en campo, podemos mencionar las pruebas de penetración estándar (SPT), la de penetración de cono (CPT), el penetrómetro Becker (BPT), el dilatómetro de Marchetti (DMT) y métodos en los que el potencial de licuefacción se relaciona con la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ).

## **Métodos utilizados para evaluar la susceptibilidad a la licuefacción**

Para evaluar el potencial de licuefacción de los suelos los métodos existentes pueden dividirse en tres grupos:

- A- Métodos basados en el comportamiento observado en terremotos anteriores: Se apoyan en correlaciones empíricas de algunas características de los suelos, obtenidas mediante pruebas de campo, y/o ensayos simples de laboratorio, con el comportamiento de los mismos observado en sismos previos.
- B- Métodos simplificados se basan en la comparación de la resistencia obtenida en ensayos cíclicos de laboratorio con los esfuerzos que provocará el sismo, calculados en forma simplificada.
- C- Métodos basados en modelos matemáticos comprenden a un número creciente de modelos acoplados o desacoplados, para el análisis de la respuesta dinámica y la generación de presión de poro, de suelos granulares sujetos a fuerzas sísmicas.

Los métodos del tipo A se basan en el hecho de que la resistencia a la licuefacción y ciertas propiedades determinadas mediante ensayos "in situ" (resistencia a la penetración y la velocidad de propagación de ondas de corte), varían de la misma forma en función de las características principales de los suelos. Sin embargo, a la fecha sólo se cuenta con una gran cantidad de datos provenientes de pruebas de resistencia a la penetración, especialmente de SPT, mientras que la cantidad de datos que se tiene de las otras propiedades resulta, en algunos casos, insuficiente como para obtener buenas correlaciones a partir de ellos.

A su vez, los métodos B y C requieren para su aplicación, la realización de ensayos de laboratorio sobre muestras "inalteradas". Los procedimientos usados normalmente para extraer este tipo de muestras, producen invariablemente, cambios en su compacidad relativa, en su estructura y en su grado de saturación. Además, los equipos de laboratorio, por lo general, no permiten reproducir adecuadamente las condiciones de esfuerzo y de frontera que tiene el suelo "in-

situ". Todos estos factores influyen de manera fundamental sobre la ocurrencia o no del fenómeno de licuefacción.

Debido a lo anterior, parece aconsejable, al menos desde el punto de vista de una aplicación práctica usual, la utilización de los métodos del tipo A prestando especial atención a aquellos basados en resultados de ensayos de penetración (SPT y CPT).

Dentro de estos métodos, los que son aplicables a obras nuevas están bastante estudiados, y con ellos se han obtenidos resultados satisfactorios. No existiendo el mismo nivel de conocimiento en el caso de las aplicaciones a obras ya ejecutadas. (Obando, 2009; tomado de Herrera, I, 2015).

### **Evidencias históricas del fenómeno de licuefacción de suelos.**

La licuefacción ha ocurrido como consecuencia de procesos sísmicos y estos han quedado evidenciados en los registros históricos y geológicos. Una muestra de esto es:

**El terremoto del 3 de marzo de 1985 en Chile**, el cual afectó la zona con mayor densidad de población, donde se encuentran los dos puertos más importantes del país, Valparaíso y San Antonio, y grandes estructuras de suelos o rellenos en forma de muelles, espigones y sitios de atraque. Los fuertes terremotos ocurridos en California, como Loma Prieta (1989) y Northridge (1994), además de otros como Kobe (1995), Turquía (1999) y Taiwán (1999) han proporcionado pruebas adicionales de los efectos dañinos de la licuefacción.

Algunos de los terremotos con características destructivas en los que se registraron volcanes de arena, grietas y derrames típico efecto durante la ocurrencia de la licuefacción del suelo, se describen a continuación:

**El Terremoto del 18 de octubre de 1844 (Salta)**. Se produjo un sismo de Magnitud 6.5 en la escala de Richter y 30 km de profundidad. Se produjeron daños en construcciones y se registraron fenómenos de licuefacción "hubieron varios reventones de tierra: de algunas brotó agua, y de otras la tierra interior apareció en

la superficie" (Toscano 1901). Según otro relato, "La tierra se entreabrió en varios lugares, expeliendo grandes cantidades de agua y arena" (Diario El Orden, 1884). El sismo fue percibido en Tucumán, Catamarca, La Rioja y Santiago del Estero.

El Terremoto del 20 de marzo de 1861(Mendoza). Se produjo un terremoto de Magnitud 7.2, profundidad de 30 km con epicentro en la ciudad de Mendoza, el que produjo más de 12.000 muertos (Rickard,1863; tomado de Parellada, O, 2016), alrededor a 1000 heridos y numerosas casas destruidas. La ciudad de Mendoza fue completamente destruida y se registraron fenómenos de licuefacción.

**El 27 de octubre de 1894** se produjo un sismo con epicentro en el noroeste de la provincia de San Juan, considerado por sus efectos a grandes distancias del foco, como el de mayor magnitud ocurrió en territorio argentino. (Bodenbender, 1894) denomina este sismo "Terremoto Argentino" y le asigna una magnitud 8.2, ubicando su epicentro al noroeste de San Juan y La Rioja. Una de sus particularidades fue la gran alteración del terreno aún en áreas muy alejadas al epicentro, a más de 200 km de distancia. Se produjeron deslizamientos y fenómenos de licuefacción, agrietamiento del terreno, volcanes de arena y salida de agua en forma de chorros en los terrenos saturados de agua y sin cohesión. Tomado de (Perucca, 2006).

**Niigata (Japón) en el año 1955**, edificaciones físicas y obras viales (puentes) son abatidas por terremoto intenso y dilatado, inhabilitando la estabilidad en sus cimientos a causa de la insuficiencia de resistencia física del suelo, cuya caída se dio paulatinamente en varias horas.

**Zona de la Costa Sur de Alaska, en el año 1964**, un gran terremoto de magnitud 9.2grados en la escala de Richter con duración de 3 minutos golpeó Prince William Sound, siendo afectado por la licuefacción del suelo  $\pm$  500 000 kilómetros cuadrados de superficie.

**Niigata (Japón) en el año 1964** sometido a sismo de considerable magnitud ocasionando daños físicos en puente Showa debido a la expansión lateral del

suelo. En la Figura 1 se observa los efectos de sismo ocurrido en Nigata, Japón, 1964.



Figura 1 Foto: Efectos de licuefacción de los suelos durante el terremoto en Nigata, Japón, 1964. Environmental Geology, Montgomery, Carla. 2002

**Chimbote, Perú, 31 de mayo de 1970** un sismo de magnitud 7.8 grados en la escala de Richter a una profundidad focal de 45 km a unos 50 km costa a fuera al oeste de Chimbote. Con una intensidad de VI provocó el desplazamiento lateral del terreno en depósitos deltaicos y de playa. Agrietamiento del terreno y compactación diferencial en el centro de Chimbote además de volcanes de arena y eyección de agua.

**Loma Prieta, San Francisco (USA) en el año 1989** que bajo influencia de terremoto de magnitud 7.1 grados en la escala de Richter ocasionó que los suelos se licuasen, interrumpiendo la funcionalidad del Puerto de Oakland, y daños en numerosas tuberías subterráneas en distintos distritos de San Francisco.

**Rioja, el 29 de mayo de 1990** un terremoto de magnitud 6.0 e intensidad VII causó la inestabilidad y erosión de los suelos en los taludes, asentamientos diferenciales y amplificación de suelos y deslizamientos.

**Las Filipinas**, particularmente, en ciudad **Dagupanen el año 1990** sujeto a sismos de magnitud 7.7 grados en la escala de Richter, causó colapsos e inclinaciones de edificaciones, y puentes inhabilitados en sus terraplenes debido a la expansión lateral de los sedimentos.

**Valle de la Estrella (Costa Rica), en el año 1991** abatido por terremoto de 7.4 grados de magnitud en la escala de Richter, en que las obras viales, particularmente, puentes fueron perjudicados por expansión lateral de los sedimentos.

**Mayomba, 4 de abril de 1991** un terremoto de magnitud 6.5 grados en la escala de Richter e intensidad VII causó la inestabilidad y erosión de los suelos en los taludes, asentamientos diferenciales y amplificación de suelos y deslizamientos.

**El 12 de enero de 2010 en Haití**, un terremoto de magnitud 7.0 grados en la escala de Richter, con epicentro a unos 15 kilómetros al suroeste del centro de Puerto Príncipe y con hipocentro a unos 10 kilómetros de profundidad, sacudió la capital de Haití, destruyendo una parte importante de las zonas sur y suroeste de la capital haitiana. El terremoto de Puerto Príncipe, localizado en el extremo suroeste fue devastador. La razón fundamental es que la ciudad de Puerto Príncipe ha sido levantada sobre los suelos arcillosos flexibles, de muy mala calidad y bajas velocidades de ondas de corte, lo que provocó un incremento extraordinario de la aceleración del suelo, haciendo que casi todas las columnas fallaran por esfuerzos cortantes y que las edificaciones se desplomaran verticalmente matando a cientos de miles de haitianos que no tuvieron tiempo para salir, ni para protegerse.

#### **Reportes históricos de licuefacción de los suelos en Cuba.**

Más del 60% de los sismos perceptibles y fuertes reportados en el país han tenido su epicentro en Santiago de Cuba (Chuy et al, 2002; tomado de Herrera, I, 2015), siendo sacudida por más de 1000 sismos perceptibles desde el año 1528 hasta la fecha (Chuy, 2010, tomado de Herrera, I, 2015). Por esta razón las investigaciones

sismológicas de Cuba sitúan a la provincia Santiago de Cuba como la de mayor peligro sísmico del territorio nacional. Un ejemplo de esto fue:

**El terremoto ocurrido el 3 de febrero de 1932**, magnitud 6.75 en la escala Richter, intensidad sísmica de VIII MSK provocó la licuefacción de la calle La Alameda (Chuy, 1999) y el 8 de agosto de 1947, donde se reportaron serios daños en la ciudad de Santiago de Cuba, fundamentalmente en los alrededores de la bahía. (Chuy et. al, 2002). En la Figura 2 se muestra la licuefacción de los suelos en calle La Alameda, Santiago de Cuba.



Figura 2: Foto. Licuefacción de los suelos en calle La Alameda, en Santiago de Cuba. Terremoto del 3 de febrero de 1932. Tomado de Chuy, 2002.

**Terremoto del 18 de octubre de 1551** ubicado en Bayamo, los reportes históricos argumentan la ocurrencia de la licuefacción (Cotilla & Córdoba, 2010; tomado de Reinoso, D, 2016) basados en datos de archivo general de Indias, declaran su aparición en la localidad de Cauto Embarcadero, en las cercanías del río Cauto, identificado como el río de mayor extensión de Cuba, ubicado en la provincia Granma y su desembocadura la realiza en el Golfo del Guacanayabo. Los reportes históricos deben ser considerados como un área potencial de licuefacción para futuros terremotos.

## **Investigaciones realizadas en Cuba**

A lo largo de la historia sísmica del país la licuefacción ha ocurrido no estando exento de volver a ocurrir, ya que existen ambientes sedimentarios propicios para que se manifieste por sollicitación sísmica en cercanía de los grandes sistemas de fallas activas que cruzan la región oriental de Cuba, donde se ubican ciudades de gran importancia. En épocas anteriores el fenómeno de licuefacción causó grandes daños en algunas poblaciones, ejemplo de ello, lo ocurrido en la ciudad de Santiago de Cuba 1932 y en Bayamo 1947.

En el informe para proyecto titulado “Mapa de riesgo sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba” realizado por investigadores del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS) utilizan para esta evaluación aspectos importantes como:

- Tipología y propiedades de los suelos
- Profundidad del nivel freático
- Topografía del terreno

Magnitud y distancia de los terremotos. La cuenca de Santiago de Cuba es considerada como licuable en el sector que corresponde a los sedimentos cuaternarios los que poseen variable un espesor promedio de 10 m. (García et al, 2000; tomado de Reinoso, D, 2016).

En la tesis de maestría de (Fernández, 2000) titulada “Posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción en la cuenca de Santiago de Cuba por terremotos fuertes” la autora hace un mapa esquemático pronóstico de ocurrencia del fenómeno de licuefacción en Santiago de Cuba por terremotos fuertes sobre la base cualitativa utilizando los métodos tradicionales en Cuba en la que da tres categorías de (Alta, Media y Baja) susceptibilidad a la licuefacción. En la investigación utiliza por primera vez la combinación de factores importantes como la geología, geomorfología, sísmica y la información ingeniero geológica de forma automatizada. Aunque trabajó con toda esta información para la interpretación del fenómeno da una propuesta totalmente cualitativa basándose solo en la magnitud

e intensidad del sismo. No da valores a partir de calcular el factor de seguridad ni tiene en cuenta dentro de las condiciones ingeniero geológicas aspectos importantes como el límite líquido, porcentaje de finos o la densidad del suelo en el área de estudio. En esta investigación se hace una suposición conjugando factores como la geología, geomorfología y el nivel freático.

En el trabajo “Zonación preliminar de la licuefacción de los suelos en la región de Cuba Oriental” (Rosabal, 2011) se expone una zonación de la licuefacción de los suelos, basada en el estudio de diferentes factores que inciden en la ocurrencia de la licuefacción: suelos susceptibles, intensidad sísmica, aceleración horizontal efectiva, topografía, reportes históricos de licuefacción, entre otros, se identifican las zonas que se caracterizan a licuar y zonas donde es baja o no existe la licuefacción de los suelos. Estos estudios constituyen una primera representación de la licuefacción a escala regional en Cuba, principal aporte de la investigación. La investigación se ubica en el Nivel o Grado de Zonación (TC-4, 1999). Estos estudios regionales identifican zonas susceptibles a licuar. Es necesario evaluar la potencialidad de la licuefacción empleando información ingeniero-geológica ya que la misma no se hizo en esta investigación y no se puede hablar de licuefacción teniendo en cuenta solo la información geológica, desembocaduras de ríos, antiguos cauces o actual llanura fluvial, principal deficiencia encontrada en el trabajo.

Las investigaciones realizadas por (Ordaz-Hernández, 2013) están enfocada en la evaluación de la susceptibilidad a la licuefacción de los sedimentos cuaternarios del emplazamiento de la ciudad de San Cristóbal, provincia de Artemisa, Cuba. Los resultados fueron de acuerdo con la aplicación del criterio de (Brandes, 2003), la ciudad de San Cristóbal se emplaza mayormente sobre sedimentos no susceptibles a licuar (93 % de la superficie), los sedimentos medianamente susceptibles cubren el 6 % del área y los susceptibles apenas el 1 %. De forma general, solo en pequeños sectores coincidieron las dos condiciones (límite líquido y fracción de arcilla) para catalogarlos como suelos susceptibles. En estos sectores la columna de suelos está conformada, predominante, por arenas,

formando estratos de hasta dos metros de espesor, intercalados con lentes de arcilla de 1,5 m. Ligeramente más propagados espacialmente se encuentran los suelos medianamente susceptibles. Estos coinciden aproximadamente con las terrazas de inundación del río San Cristóbal, en el extremo noreste del área, aunque también se identificaron en algunos sectores dentro de la Fm. Guane.

En el trabajo de diploma titulado “Procedimiento para la gestión y gestión de riesgos geológicos en la provincia de Santiago de Cuba por (Galván- Rodríguez, 2014) propone un procedimiento para la gestión de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba basado en los principios de la gestión por procesos. Su aplicación logra resultados importantes, entre ellos: múltiples mapas de peligro, vulnerabilidad, riesgos geológicos y zonación ingeniero-geológica de multiamenazas; la proposición de distintas acciones estratégicas según la situación estudiada, así como, un conjunto de recomendaciones para la mejora continua de la gestión de riesgos geológicos en este territorio. Finalmente, la validación del procedimiento propuesto a través de un grupo de expertos en la materia, confirma sus posibilidades de generalización a otros territorios del país.

En el trabajo de diploma titulado “Delimitación de escenarios susceptibles a la licuefacción inducido por terremotos de gran magnitud en el Consejo popular Guillermon Moncada del municipio Santiago de Cuba por (Herrera-Delfín, 2015) da como resultado un mapa de susceptibilidad a la licuefacción a partir de interpretar factores como geología, nivel freático y las propiedades físicas y mecánicas lo que le permitió calcular el Factor de seguridad para la licuefacción(FSL) dando sectores entre alto, medio y bajo. Esta investigación es de gran importancia ya que es actual y demuestra con datos la probabilidad de ocurrencia del fenómeno ante sismos de magnitud 7.5 y superiores. Se demostró que para magnitudes menores es muy poco probable la manifestación de la licuefacción de los suelos.

En el trabajo de diploma titulado “Delimitación de escenarios susceptibles a la licuefacción inducido por terremotos de gran magnitud en la zona sur de la Provincia Guantánamo por (Parellada - Reyes, 2016) el mismo responde a la necesidad de conocer las condiciones ingeniero geológicas de los suelos de del

territorio, por lo que se persigue delimitar y evaluar dichas condiciones. Se utilizaron un conjunto de métodos que resolvieran la necesidad de la investigación, como la validación de los resultados de acuerdo al análisis del sistema de indicadores propuestos por Fernández-Diéguez. 2015, el cálculo del factor de seguridad corregido y la determinación de intensidades máximas que se pueden obtener a partir de magnitudes sísmicas que provoquen licuefacción en el área de estudio. Como resultado se delimitaron escenarios susceptibles a la licuefacción en los municipios Guantánamo, San Antonio del Sur e Imías para magnitudes sísmicas iguales y mayores a 6 grados.

En el trabajo de diploma titulado “Determinación de escenarios susceptibles a la licuefacción inducido por terremotos de gran magnitud en los municipios Baracoa, Yateras, El Salvador y Niceto Pérez dela provincia de Guantánamo por (Reinoso - Mercanety, 2016) se utilizaron un conjunto de métodos que resolvieran la necesidad de la investigación, como la validación de los resultados el cálculo del factor de seguridad corregido y 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 la delimitación de escenarios susceptibles a la licuefacción en el municipio de Yateras para sismo de magnitudes mayores que 6.

En las investigaciones desarrollada sobre escenarios susceptibles a la licuefacción inducida por sismos de gran magnitud en Santiago de Cuba realizadas por (Fernández-Diéguez et al, 2016). El propósito fue obtener, para el Consejo Popular Guillermón Moncada del municipio de Santiago de Cuba, la zonación del potencial de licuefacción de los suelos; para ello se evaluaron las condiciones ingeniero-geológicas y las particularidades sísmicas que propician este fenómeno. Se calculó el factor de seguridad corregido después de determinar las intensidades máximas posibles, a partir de magnitudes sísmicas que puedan provocar licuefacción en el área de estudio. Se obtuvo como resultado el esquema de susceptibilidad a la licuefacción, a partir del cual se concluye que los sectores de mayor susceptibilidad a la ocurrencia de licuefacción ante sismos de

magnitudes entre 7 y 8 se ubican hacia el centro-este del Consejo Popular, donde predominan los suelos areno arcillosos. Este resultado es de gran utilidad para la ubicación y planificación de obras ingenieriles en el área.

Otras de las investigaciones sobre el tema fue la realizada basada en la Susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en la ciudad de Caimanera, Guantánamo desarrollada por (Fernández-Diéguez et al, 2017). La investigación tuvo el objetivo de evaluar las condiciones ingeniero–geológicas de los suelos de Caimanera, provincia de Guantánamo, para determinar su potencial de licuefacción. Se analizó la posibilidad de amplificación de las ondas sísmicas teniendo en cuenta el efecto de sitio, a partir de las propiedades físico-mecánicas del área de estudio. El sistema de indicadores aplicado incluyó parámetros ingeniero-geológicos y el cálculo del factor de seguridad para la licuefacción. Se concluye que los suelos de mayor potencial para la ocurrencia de licuefacción se ubican al centro de la ciudad, donde se encuentra el mayor asentamiento poblacional y el material de relleno existente se comporta como un suelo tipo arena arcillosa y arcilla arenosa con grava.

### **Los sismos en Cuba como el elemento disparador de la licuefacción de suelos.**

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 activa Oriente y la falla Norte de la Española constituyen las principales fallas 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 3 se representa la sismicidad registrada en la región del Caribe.



Figura 3: Sismicidad del Caribe y Centroamérica en los últimos 10 años. Dcha. Sismos registrados desde 1998-2014. Fuente Informe del CENAIS.

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 3 y donde se aprecian los sismos más 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). En la Figura 4 se muestra la ocurrencia de los terremotos de magnitud mayor a 5 reportados en la región suroriental de Cuba desde 1900.

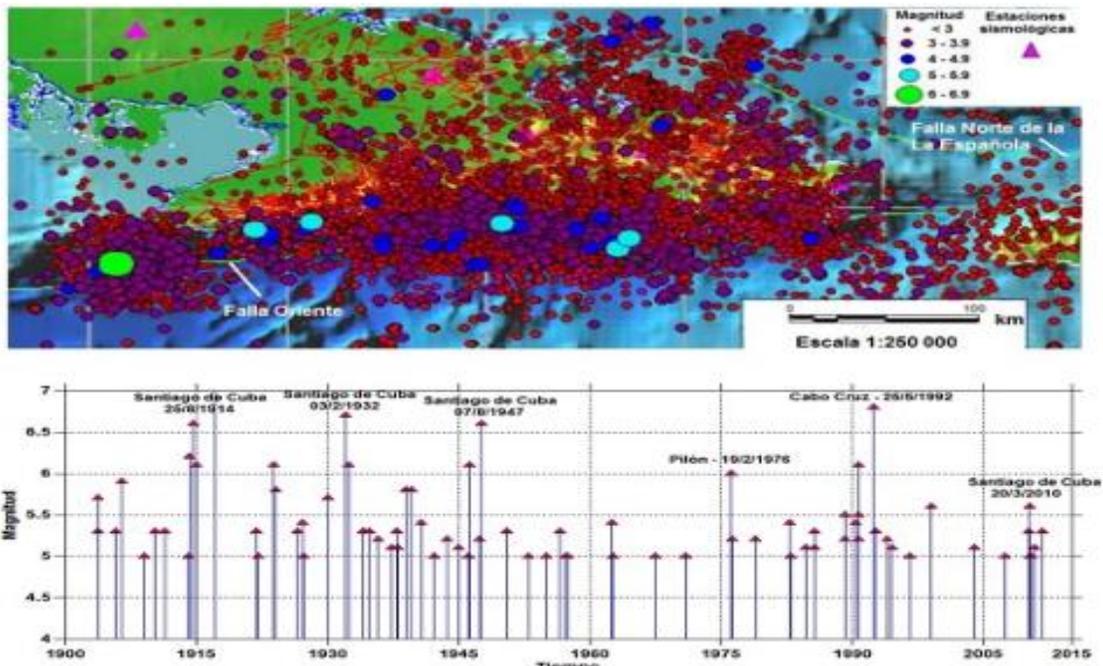


Figura 4: Ocurrencia de los terremotos de magnitud mayor a 5 reportados en la región suroriental de Cuba desde 1900. Fuente CENAIIS.

# **CAPITULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO**

## **Introducción**

En el presente capítulo tiene como objetivo la descripción de las características físico-geográficas, además de una información general de la tectónica, el clima y sismicidad de la región de estudio.

## **Características generales del municipio Guamá.**

### **1.1 Ubicación geográfica**

### **1.2 Clima**

### **1.3 Relieve**

### **1.4 Hidrografía**

#### **1.1 Ubicación geográfica**

Se encuentra ubicado al suroeste de la provincia de Santiago de Cuba. Limita al norte con el municipio de Segundo Frente y la provincia Granma, al oeste con el municipio Pílon perteneciente a la provincia Granma, al este con el municipio Santiago de Cuba, y al sur con el Mar Caribe. Tiene una extensión de 964 65 km<sup>2</sup>, la población asciende aproximadamente a 34 878 habitantes distribuidos en 10 consejos populares que abarcan zonas urbanas y rurales. Cuenta con una densidad poblacional de 3 616 habitantes por km<sup>2</sup>. (Tomado de Ecured.2016). En la Figura 5 se muestra la ubicación geográfica del municipio de Guamá.

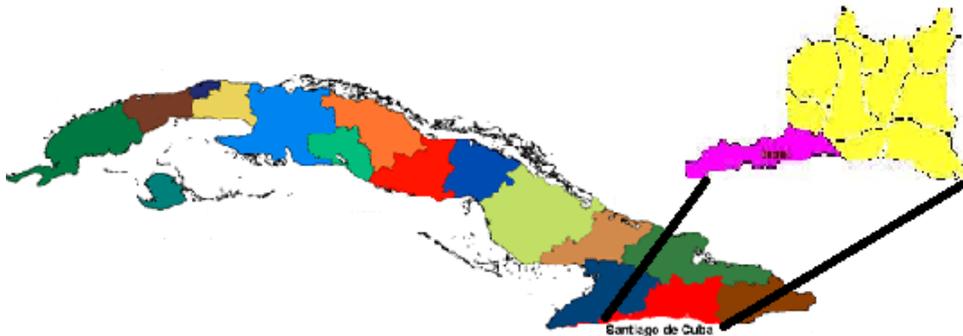


Figura 5: Ubicación geográfica del municipio de Guamá.

## 1.2 Clima

Es muy agradable la mayor parte del año, la humedad relativa media anual en las zonas llanas es del 73 al 79 %, que llega a alcanzar el 90 % al aumentar la altura en las montañas. Los vientos que predominan en verano, pueden durar varios días y son húmedos. (Tomado de Ecured.2016).

## 1.3 Relieve

En la región se diferencian dos grandes estructuras de la corteza terrestre: el sistema montañoso de la Sierra Maestra y la fosa profunda de Bartlett-Caimán. La primera es una cordillera montañosa de alturas máximas cercanas a los 2000 metros (Pico Turquino, Pico Cuba, Pico Suecia, Loma la Bruja, por citar algunos ejemplos), con una longitud de 260 Km aproximadamente, lo que determina el relieve montañoso del municipio Guamá y que presente los mayores valores de pendientes en el relieve. La Sierra Maestra está formada en su mayor parte por secuencias volcánicas del arco de islas del Paleógeno.

La segunda, es una fosa submarina que alcanza profundidades mayores a los 6000 metros en las inmediaciones de la costa sur cubana, próxima a la Sierra Maestra, donde se encuentra uno de los mayores desniveles del planeta, entre el fondo marino y una elevación, que alcanza los 8000 metros (la elevación del Pico Turquino). (Tomado de Atlas de peligros naturales del municipio Guamá.2000)

#### **1.4 Hidrografía**

Esta región se caracteriza por presentar los mayores promedios de precipitaciones medias anuales de la Sierra Maestra. Dentro de los elementos que conforman el clima de una región, la lluvia es un agente importante como factor acelerador de fenómenos gravitacionales. La región montañosa de la Sierra Maestra es una de las zonas con mayor acumulado de precipitaciones del territorio nacional, con promedios anuales de 1200 mm, llegando en los meses de marzo a octubre a alcanzar acumulados de 1400 mm.

El municipio se encuentra atravesado de norte a sur por 32 ríos de los cuales los más peligrosos por orden son La Mula, Sevilla, Peladero, Bayamita, La Plata y La Magdalena entre otros; y 22 arroyos que en tiempos de lluvia son rápidos y se producen grandes avenidas que incomunican a las comunidades. Estos constituyen su principal vía de abastecimiento de agua y electricidad. (Tomado de Atlas de peligros naturales del municipio Guamá.2000)

#### **1.5 Sismicidad**

Guamá, municipio ubicado al Oeste de la ciudad de Santiago de Cuba, se caracteriza por una gran actividad sísmica, como consecuencia de su cercanía a la estructura geológica Bartlett - Caimán, límite entre las placas del Caribe y Norteamérica.

Esta estructura sísmo generadora es capaz de producir sismos de hasta 8,0 grados de magnitud Richter y en la historia sísmica conocida tiene asociado dos sismos que han producido 9 grados de intensidad en Santiago (8 - 9 en Guamá) y seis de 8 de intensidad (Guamá 7 – 8). (Tomado de Atlas de peligros naturales del municipio Guamá.2000). En la Figura 6 se observa los epicentros de terremotos ocurridos en la zona sur de la región oriental.

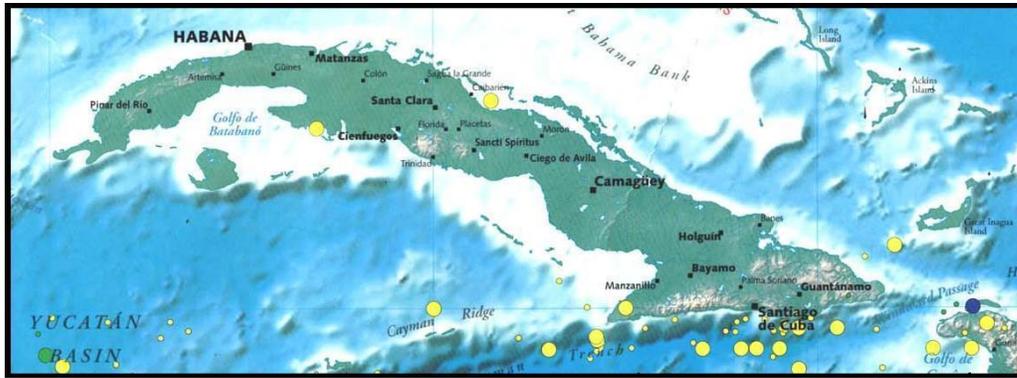


Figura 6: Los círculos amarillos representan epicentros de terremotos, la zona de mayor concentración al sur de la región oriental se corresponde con Bartlett – Caimán. Tomado de Midas (1994).

### Principales formaciones presentes en la región.

**Formación Jaimanitas:** Se encuentra distribuida geográficamente dentro de la faja discontinua que ciñe la costa cubana y gran parte de las islas adyacentes. Constituidas por calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla carbonato- arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas y a veces contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. La coloración predominante es blanquizca o amarillenta. Según criterios geomorfológicos su edad ha sido considerada tentativamente como Pleistoceno Superior. Presenta un ambiente de sedimentación en el que predominan las facies de playa, post-arrecifal y arrecifal. Espesor: Probablemente excede de los 10 m. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación Cauto:** Se encuentra en el Valle del Río Cauto, provincias de Granma, Holguín y Santiago de Cuba. Dentro de esta se encuentra representada varias litologías como arcillas, limos, arenas, gravas polimícticas y conglomerados polimícticos, con estratificación horizontal y cruzada. Coloración abigarrada. Edad: Pleistoceno, por su posición estratigráfica. Se depositó en un medio aluvial, con alguna influencia marina cerca de la desembocadura del Río Cauto, que debe

haber sido mayor durante las transgresiones del Plioceno y el Cuaternario. Puede alcanzar hasta 25 m. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Grupo El Cobre:** Esta ampliamente distribuida a lo largo de la Sierra Maestra, provincias de Granma, Guantánamo y Santiago de Cuba. 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, 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 hipo abisales y diques de diversa composición. En su composición también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas y grauvacas. Edad: Paleoceno- Eoceno Medio parte baja. Se sedimentaron en una cuenca marina de profundidad variable (de somera a media), de salinidad normal. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación La Cruz:** Se desarrolla en la meseta de Cabo Cruz en el extremo suroccidental de la provincia de Granma. Calizas biodetríticas arcillosas, fosilíferas, color rojizo a abigarrado que por desagregación dan lugar a margas secundarias y pseudoconglomerados. Las calizas pueden aparecer ligeramente fosfatizadas. Se desarrolla en la meseta de Cabo Cruz en el extremo suroccidental de la provincia de Granma. Se depositó en un ambiente sublitoral. Espesor: Mayor de 200 m. Edad: Mioceno Superior.

## Características generales del municipio III Frente

### 1.1 Ubicación geográfica

### 1.2 Relieve

### 1.3 Clima

### 1.4 Hidrografía

### 1.5 Sismicidad

### 1.6 Geología

### 1.1 Ubicación geográfica

Está situado geográficamente en el occidente de la provincia de Santiago de Cuba, en plena ladera norte de la Sierra Maestra. Tiene 335,12 kilómetros cuadrados y es el único de los municipios orientales que está situado totalmente en la Sierra Maestra. Sus límites son:

- Al norte: Están los municipios de Contramaestre y Jiguaní (Granma).
- Al este: Aparece el municipio de Palma Soriano.
- Al sur: Encontramos al municipio serrano y costero de Guamá.
- Al oeste: Tiene al municipio de Guisa, provincia de Granma. (Tomado de Ecured.2016). En la Figura 7 se muestra la ubicación geográfica del municipio de III Frente.



Figura 7: Ubicación geográfica del municipio de III Frente.

## **1.2 Relieve**

Es uno de los más complejos de la provincia, debido a que el 100% de su territorio está situado en la Sierra Maestra, y específicamente en una porción de su ladera norte. Sus mayores alturas están hacia el sur, en el llamado Alto de la Maestra, que comparte con el municipio de Guamá, y que no sobrepasan los mil metros de altitud. En este municipio están: La Sierra del Turquino y el Carso de Baire. (Tomado de Ecured.2016).

## **1.3 Clima**

El clima de Tercer Frente, al igual que el resto del país es tropical, pero diferenciado por el relieve, que hace que sus temperaturas sean más frescas, que en otros lugares de la provincia y del país. Al mismo tiempo se elevan los valores de la pluviosidad, debido a la influencia de los vientos alisios del noreste, que descargan su humedad en la ladera norte de la Sierra Maestra, donde está situado el municipio. (Tomado de Ecured.2016).

## **1.4 Hidrografía**

Tercer Frente es una comarca rica en ríos, arroyos y cañadas. Su favorable ubicación geográfica en la ladera norte de la Sierra Maestra, una de las más pluviosas de Cuba, hace que en ella se localicen numerosos manantiales que originan importantes corrientes fluviales, que en su inmensa mayoría van al Contramaestre, afluente principal del río Cauto. Las aguas subterráneas del municipio han sido poco estudiadas, y afloran a través de manantiales, como el conocido como El Cedrón de aguas termales. (Tomado de Ecured.2016).

## **1.5 Sismicidad**

En el municipio se sienten los eventos sísmicos que ocurren a lo largo de la zona sur-oriental, la más activa del país, por lo que los sismos que se originan en la falla sismo- generadora de Bartlett –Caimán, en la bahía de Santiago de Cuba, en Baconao o en Cabo Cruz-Pilón son perceptibles en todo el territorio municipal. (Tomado de Ecured.2016).

## **1.6 Geología**

El municipio III Frente se encuentra constituido por rocas de diferentes edades y tipos como Paleoceno- Eoceno Medio agrupadas en su mayoría dentro del Grupo El Cobre. Este grupo está constituido 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, 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 hipo abisales y diques de diversa composición. En su composición también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas y grauvacas. Yace discordantemente sobre las formaciones Manacal y Palma Mocha. Es cubierta concordantemente por la Fm. Puerto Boniato y discordantemente por las formaciones Charco Redondo, La Cruz, Río Maya y San Luis. A su parte no diferenciada transicionan lateralmente las formaciones El Caney y Pílon, a la primera lo hace verticalmente también. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

### **Principales formaciones presentes en la región.**

**Formación Manacal:** geográficamente se desarrolla en la Sierra Maestra, provincias de Granma y Santiago de Cuba compuestas principalmente por Areniscas polimícticas, aleurolitas polimícticas y tobácea, argilitas, calizas, gravelitas, tobas psammíticas, tobas psefíticas, tobas aglomeráticas y conglomerados. Las tobas son de composición andesito- basálticas. Edad: Cretácico Superior (Campaniano- Mastrichtiano Inferior). Se depositó en una cuenca de mediana profundidad, cercana o al pie del talud continental, con variaciones del nivel del mar con aproximadamente 200 m de espesor. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación Palma Mocha:** geográficamente tiene un desarrollo limitado al S, SE y SW del Pico Turquino, provincias de Granma y Santiago de Cuba. Está compuesta por rocas terrígeno-clásticas y vulcanógenas, en menor cantidad aparecen calizas; intercalaciones de argilitas. Las tobas y aglomerados de esta unidad son de composición básica. En el hipoestratotipo, en la parte baja predominan las tobas y aglomerados; en la parte media los aglomerados y en la parte superior predominan las calizas sobre las areniscas tobáceas y las tobas; en todo el corte hay intercalaciones de argilitas y gravelitas tobáceas. Edad: Cretácico Inferior (Aptiano)- Cretácico Superior (Turoniano). Se depositó en una cuenca marina de profundidades grandes y medias con espesor mayor de 2 000 m. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación Puerto Boniato:** Se desarrolla en forma de franja discontinua en la Sierra Maestra, al S de la Sierra de Cristal y al S de Baracoa, provincias de Santiago de Cuba, Holguín y Guantánamo. Presenta alternancia de calizas organodetríticas aporcelanadas, algáceas y margas, con intercalaciones de sílice negro- parduzco. Se depositó en un ambiente de aguas medianamente profundas, no excede los 50 m. Edad: Eoceno Medio. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación Charco Redondo:** Tiene un buen desarrollo en las provincias orientales. Aflora en las Lomas de Yaguajay al S de la ciudad de Holguín; en la región de Mayarí, al S de las sierras de Nipe y de Cristal; en la región de San Germán; en las sierras de Yabeque y Canasta; en las regiones de Mir, Majibacoa, Charco Redondo, Guisa, Los Negros, Jiguaní, Santa Rita, S de Maffo, Loma El Descanso, y en la Sierra de Baconao. Compuesta por calizas compactas órgano-detríticas, fosilíferas, de color variable. En la parte inferior del corte, son frecuentes las brechas. En esta parte predomina la estratificación gruesa, mientras que en la superior predomina la estratificación fina. Edad: Eoceno Medio. Se depositó en aguas poco profundas, en un ambiente litoral y sublitoral, su espesor oscila entre 50 y 200 m. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación La Cruz :**Se encuentra a la periferia de la Bahía de Santiago de Cuba, extendiéndose al W de la misma a lo largo de la costa S en una faja estrecha y hacia el E de la bahía, en una faja más ancha pero irregular. Existen parches irregulares y discontinuos en las cercanías del límite occidental, provincia de Santiago de Cuba. Presenta una secuencia terrígena- carbonática en la base y el techo, siendo en su parte medio carbonato- terrígeno. Existen alternaciones de calizas biodetríticas, a veces limosas o arcillosas, calcarenitas de matriz margosa y subordinadamente margas, conglomerados, areniscas polimícticas y aleurolitas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas. En menor proporción aparecen intercalaciones de arcillas esmécticas. Coloración gris verdosa a pardusca abigarrada en los horizontes terrígenos y blancuzcos y crema en los carbonáticos. Existen horizontes muy fosilíferos. Las aleurolitas del borde SE de la Bahía de Santiago de Cuba aparecen ligeramente fosfatizadas. Edad: Mioceno Superior- Plioceno Superior. Parece haberse depositado en condiciones de bahía y zonas de lagunas costeras con manglares, de acuerdo con las asociaciones Ammonia- Elphidium- Ostracodos y de Ostrea y Discorbis- Elphidium- Miliólidos. Las alternaciones de depósitos terrígenos y carbonáticos sugieren episodios alternos de subsidencia y emersión. Espesor: No parece alcanzar el centenar de metros. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación Río Maya :**Se desarrolla en forma de faja costera discontinua entre Cabo Cruz, provincia de Granma y Gibara, provincia de Holguín. Calizas biohémicas 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. Edad: Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior. Sus depósitos corresponden a episodios de desarrollo arrecifal que alternan con episodios de intenso aporte de materiales clásticos terrígenos, predominando los de desarrollo arrecifal. Es característica la asociación bentónica

Amphistegina - Archaías. Espesor: Oscila entre 30 y 80 m. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación El Caney:** Se desarrolla en la Sierra Maestra, provincias Granma y Santiago de Cuba. Alternancia de tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, lapilitas e intercalaciones de lavas y aglomerados. Edad: Eoceno Medio. Se depositó en una cuenca de aguas profundas con abundante aporte de material tufogénico y terrígeno, influenciada por una considerable movilidad tectónica. Espesor: Con referencia al autor el espesor de dichos sedimentos es de 1 000 m. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación Pilón:** Se desarrolla en la parte occidental de la Sierra Maestra, provincias de Granma y Santiago de Cuba. Tufitas, areniscas vulcanomícticas y polimícticas, grauvacas, aleurolitas, calizas (frecuentemente con fragmentos de rocas vulcanógenas) y en menor cantidad tobas. En general, en la parte inferior del corte predominan las tufitas y en la parte superior las calizas. Edad: Paleoceno- Eoceno Inferior parte baja. Se depositó en una cuenca marina de profundidades medias, en zonas alejadas de los focos magmáticos, pero con un considerable aporte de material piroclástico y terrígeno. Espesor: Puede alcanzar hasta 2 000 m. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

## Características generales del municipio Contramaestre

### 1.1 Ubicación geográfica

### 1.2 Relieve

### 1.3 Sismicidad

### 1.4 Clima

### 1.5 Hidrografía

### 1.6 Suelos

### 1.7 Geología

### 1.1 Ubicación geográfica

El municipio de Contramaestre está ubicado en la parte centro-occidental de la provincia de Santiago de Cuba con un área de 611,43 km<sup>2</sup>. Limita al norte, con los municipios de Jiguaní y Urbano Noris, de las provincias de Granma y Holguín, al este con el municipio de Palma Soriano, al sur, con el municipio de Tercer Frente y al oeste con el municipio de Jiguaní. Cuenta con una población de 105 493 habitantes. En la Figura 8 se muestra la ubicación geográfica del municipio de Contramaestre.



Figura 8: Ubicación geográfica del municipio de Contramaestre

## **1.2 Relieve**

En el municipio de Contramaestre hay dos principales zonas de relieve:

- El Carso de Baire: es una meseta estratificada situada al sureste del municipio, y que continúa hacia Tercer Frente. Fue originada en el Neógeno. Es característico de este territorio la existencia de manifestaciones cársticas: dientes de perro, cavernas, dolinas y suelos derivados de las rocas calizas. Por lo general su red hidrográfica es subterránea.
- La Llanura del Cauto: En el municipio la llanura va descendiendo hacia el río mayor de Cuba. En la parte sur, la altitud promedia los 300 metros, y hacia el norte, cerca del Cauto desciende a los 100 metros. La cuenca del Contramaestre tiene 716 km cuadrados, la mayor parte en Contramaestre. A la entrada del municipio, el río fue represado y forma el embalse "Carlos Manuel de Céspedes", con 200 millones de metros cúbicos de capacidad. (Tomado de Ecured.2016).

## **1.3 Sismicidad**

El municipio no es de grandes movimientos sísmicos, por estar formado principalmente por una zona llana y montañosa, pero es posible sentir los sismos que ocurren a lo largo de la mayor serranía cubana. (Tomado de Ecured.2016).

## **1.4 Clima**

El clima de Contramaestre es tropical con una estación de lluvia y otra de seca, similar al del resto de Cuba. La temperatura media anual del municipio es de unos 23°C, pues comprende a casi todo el municipio. Las precipitaciones varían de norte a sur, oscilando entre los 1000 mm y los 1200 mm anuales, correspondiendo el primer valor a un lugar cerca de la confluencia del río Contramaestre con el Cauto. Los valores van descendiendo desde las montañas de La Sierra Maestra hacia la Llanura del Cauto. Los valores máximos de las precipitaciones ocurren en el verano y su promedio es de 1000 mm. En el período seco descienden a los 200-

300 mm, siempre algo superiores en dirección a las alturas de La Sierra Maestra. (Tomado de Ecured.2016).

### **1.5 Hidrografía**

La red hidrográfica principal del municipio es la del río Contramaestre y sus afluentes. Este río con sus 61 Km. de largo, y su cuenca de 716 Km. cuadrados, nace en La Sierra Maestra, municipio de Tercer Frente, donde recibe sus más importantes afluentes. Este río corre hacia el norte, buscando al río Cauto, y en su recorrido tiene pocas sinuosidades. Este río tiene un cauce profundo, y pese a estar represado, corre con un gran caudal. (Tomado de Ecured.2016).

### **1.6 Suelos**

En el municipio prevalecen los suelos pardos carbonatados y húmicos. Los suelos pardos carbonatados ocupan la mayor parte del municipio, aproximadamente al norte del Carso de Baire. Son suelos que se han formado recientemente sobre rocas calcáreas, ígneas y metamórficas. Estos suelos son muy aprovechados para el cultivo de la caña de azúcar, los cítricos y otros cultivos varios. Los suelos húmicos calcifórmicos y poco evolucionados coinciden con el sur municipal, y específicamente con el Carso de Baire, que llega hasta los límites con el municipio de Tercer Frente, e incluso más allá. Forman una faja que penetra también en el sur de Palma Soriano. En ellos predomina el proceso de acumulación de humus, favorecidos por la alta presencia de calcio y arcilla. Por lo general tienen color oscuro. (Tomado de Ecured.2016).

### **1.7 Geología**

El municipio Contramaestre se encuentra constituido por rocas bien estratificada pertenecientes al Eoceno Medio parte alta- Eoceno Superior de la Formación San Luis. Tiene un amplio desarrollo en la región centro- sur de la antigua provincia de Oriente: en la Cuenca de Guantánamo, en el Sinclinorio Central, en las áreas adyacentes a las cuencas de Guacanayabo-Nipe, en el borde N de la Sierra Maestra, en la Sierra de Nipe- Cristal- Baracoa, al S de la Sierra de Purial y al N del pueblo de Pilón. Hacia arriba en el corte se observa un aumento de la cantidad del material clástico, cortada por diques y cuerpos de basalto. Sus depósitos

aparecen ligeramente plegados. En su mayoría Areniscas polimícticas, aleurolitas, margas, arcillas calizas arcillosas, organodetríticas, arenosas y conglomerados polimícticos. Yace concordantemente sobre las formaciones Charco Redondo, Farallón Grande y Puerto Boniato y discordantemente sobre las formaciones Sabaneta, San Ignacio y el Gr. El Cobre (parte no diferenciada). Es cubierta discordantemente por las formaciones Bitirí, Camazán y Maquey. Transiciona lateralmente a la Fm. Camarones.(Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

### **Principales formaciones presentes en la región.**

**Formación San Luis:** Tiene un amplio desarrollo en la región centro- sur de la antigua provincia de Oriente: en la Cuenca de Guantánamo, en el Sinclinorio Central, en las áreas adyacentes a las cuencas de Guacanayabo-Nipe, en el borde N de la Sierra Maestra, en la Sierra de Nipe- Cristal- Baracoa, al S de la Sierra de Purial y al N del pueblo de Pilon. Areniscas polimícticas, aleurolitas, margas, arcillas calizas arcillosas, organodetríticas, arenosas y conglomerados polimícticos. Se encuentra bien estratificada. Hacia arriba en el corte se observa un aumento de la cantidad del material clástico. Se encuentra cortada por diques y cuerpos de basalto. Sus depósitos aparecen ligeramente plegados. Eoceno Medio parte alta- Eoceno Superior. Inicialmente la sedimentación ocurrió en aguas profundas, finalizando la sedimentación de los depósitos en aguas de mediana a poca profundidad. Espesor: 700 m. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación Farallón Grande:** Se desarrolla en la parte occidental de la Sierra Maestra, provincias de Santiago de Cuba y Granma. Está constituida por brechas polimícticas, de fragmentos angulares y subangulares de tamaños variados, con intercalaciones de conglomerados de clastos bien seleccionados y en menor cantidad de areniscas de grano grueso. Hacia la parte superior del corte aumenta el grado de clasificación de los materiales, dando lugar a una estratificación rítmica de argilitas, calizas tobáceas, calizas arenáceas, calizas puras, areniscas tobáceas y aleurolitas. Los clastos provienen fundamentalmente de la Fm. Charco

Redondo y del Gr. El Cobre. En algunos lugares la brecha es cortada por diques de composición andesito- basáltico. La matriz de la brecha y el conglomerado es arenosa tobácea. El cemento es carbonático y está en proporción inversa con la matriz. Edad: Eoceno Medio parte alta. Se depositó en un ambiente nerítico de profundidades bajas a medias. Espesor: Oscila entre 300 y 400 m.(Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación Bitirí:** aflora en una faja estrecha a lo largo del flanco occidental de la Sierra de Nipe, provincia de Holguín y de forma discontinua en la región de Contramaestre y Jiguaní, provincias de Granma y Santiago de Cuba. Calizas algáceas de matriz fina, duras, compactas, calcificadas, que contienen ocasionalmente fragmentos de corales y grandes *Lepidocyclina*. Colores amarillo grisáceo a carmelitoso. Edad: Oligoceno Superior- Mioceno Inferior parte baja. Depósitos arrecifales de 40m o más. (Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

**Formación Camarones:** Su desarrollo está limitado a la provincia de Santiago de Cuba. Está constituida por conglomerados polimícticos de cantos subredondeados y redondeados, areniscas polimícticas de grano grueso. La matriz del conglomerado es arenosa de composición polimíctica. Edad: Eoceno Superior. Se depositó en condiciones marinas sublitorales. Espesor: Puede alcanzar hasta 500 m.(Colectivo de autores, Léxico Estratigráfico. 2013).

## CAPITULO II. METODOLOGÍA PARA ESTUDIAR EL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN

### Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo elaborar la metodología para realizar el estudio a las áreas de interés a partir de las etapas de investigación (búsqueda bibliográfica, trabajos de campo y trabajos de gabinete). Se muestra un resumen de las metodologías para el estudio del potencial de licuefacción teniendo en cuenta las sismológicas del medio.



## **2.1 Metodología de la investigación**

### **Primera Etapa: Revisión bibliográfica**

En esta etapa se realizó la recopilación de la información obtenida en artículos publicados en Internet y otros sitios Web, trabajos de diplomas que abordan el tema 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 que nos brindó una información más amplia y una mejor comprensión de las condiciones de las área investigadas permitiendo un buen desarrollo del trabajo. Se utilizó la perforación a percusión para la hincada de muestreador cuchara SPT (Penetración dinámica). Penetración estática del muestreado Shelby's (Presión hidráulica). Los diámetros utilizados son: 59 y 75 mm Martillo 300 libras. Caída del martillo 18 pulgadas con Varillas 0.40, 1.50 y 3.00 m. Muestreador: Shelby's. Muestras de cuchara, porta testigos doble tubo dividido de 460 mm y una longitud total del cilindro de 698 mm y porta testigo simple. El método que se siguió para la recopilación de la información fue el Método Histórico lógico y síntesis.

### **Segunda Etapa: Procesamiento de la información**

En esta etapa se realizó el procesamiento de los datos obtenidos de los informes de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de Santiago de Cuba realizadas de un gran número de obras en los municipios de Guamá, III Frente y Contramaestre de la provincia de Santiago de Cuba lo que conllevó a la obtención de datos reales en cuanto a las propiedades geotécnicas del suelo (Humedad óptima, Densidad húmeda y seca máxima, Límite Líquido, Índice de plasticidad, Saturación, Cohesión), el conocimiento del nivel freático y la litología presente en las áreas estudiadas.

### **Tercera Etapa: Interpretación de la información**

Todos los resultados primarios obtenidos en los trabajos de campo y de laboratorios desarrollados son expresados mediante el análisis del nivel freático,

elaboración de un esquema de riesgo a partir de las propiedades físico mecánicas del suelo, realización del cálculo del factor de seguridad.

## **2.2 Sistema de indicadores aplicados para el estudio de la susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en la región oriental de Cuba (propuesto por Fernández-Diéguez, 2015)**

La evaluación del potencial de licuefacción se llevó a cabo mediante un sistema de indicadores en el cual se relacionan los parámetros propuestos por diferentes autores (Seed & Idriss, 1971, 1982); (Wang, 1979) y determinados requisitos que deben cumplirse para que un suelo sea potencialmente licuable, donde se propuso con un orden lógico de los parámetros que deben cumplirse. A partir de todo lo antes expuesto se propone analizar las condiciones siguientes:

### **2.2.1 Condiciones geológicas**

La primera condición que debe cumplir un suelo para que sea licuable es que corresponda a depósitos jóvenes pertenecientes a las formaciones del Cuaternario (depositados durante los últimos 10,000 años) de arenas y sedimentos de tamaños de partículas similares, en capas de por lo menos más de un metro de espesor, y con un alto contenido de agua (saturadas). Debe cumplir además que la relación entre el estrato licuable y el no licuable sea menor que 1 y también que el estrato sea menor de 8.0 m. Si el suelo es depositado por procesos fluviales se sedimenta fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse, de modo que se licuarán con facilidad. La selección de los sectores se hace una búsqueda en el mapa geológico y se seleccionan las formaciones pertenecientes al cuaternario que están representadas por el color amarillo en sus diferentes variantes.

### **2.2.2 Sismicidad**

Para que pueda licuar un suelo es necesario conocer además la sismicidad, para ello se analiza la cercanía de las áreas con una zona sísmica generadora capaz de generar sismos fuertes o magnitud mayor de 5.5 y las aceleraciones de las partículas lleguen a ser iguales o superior  $0,2g/cm^2$ . Se hizo una selección teniendo en cuenta la norma: NC 46 (2013) Construcciones Sísmo resistentes, que

establece los requisitos básicos para el diseño y construcción de obras sismo resistentes ubicados en zonas de peligro sísmico. Incluye tanto las edificaciones como obras civiles con el propósito de disminuir o mitigar su grado de vulnerabilidad. Aparece un mapa con la zonación de aceleraciones sísmica de las diferentes zonas físicas en las que se ha dividido el territorio nacional, dichas zonas se describen y se le designan valores espectrales en función de la gravedad para cada municipio nuestro país.

### **2.2.3 Profundidad del Nivel Freático**

Otro factor importante a tener en cuenta son los valores del nivel freático en el área. Este debe estar cerca de la superficie, se considera potencialmente licuable cuando está a menos de 3 metros, por lo general, ocurre a profundidades menores de 9 metros. Los valores del nivel freático se obtienen a partir de la información obtenida de los datos de las calas perforadas de las área de estudio presentes en los informe de la ENIA. Finalmente se confecciona el mapa de profundidad del nivel freático para las áreas de estudio.

### **2.2.4 Condiciones ingeniero geológicas**

De los informes ingeniero geológicos efectuados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) se seleccionarán las propiedades físicas y mecánicas. Se confecciona una base de datos con los principales parámetros que influyen para que un suelo sea licuable, entre los que se encuentran (Humedad optima, Densidad húmeda y seca máxima, Límite Líquido, Índice de plasticidad, Saturación, Cohesión).

Se tiene en cuenta:

- Por ciento de partículas finas  $\leq 15$
- Límite Líquido  $\leq 35 \%$
- Contenido Natural de agua  $> 0,9$  LL
- Índice de liquidez  $< 0,75$
- Forma de las partículas. Principalmente redondas
- N de SPT  $< 20$  golpes

- Compacidad relativa ( $Cr$ ) < 75%
- Uniformidad de la arena.  $Cu < 5$

Según las características propias de los suelos potencialmente licuables se pueden agrupar como:

- Arena fina,
- Arena Media,
- Arena Limosa,
- Arena con bajo por ciento de arcilla
- Arena con bajo por ciento de materia orgánica o Arena con partículas.
- Sedimentos eluviales, llanuras aluviales y zonas

### **2.2.5 Cálculo del Factor de seguridad para la licuefacción. Calcular el Cyclic Stress Ratio (CSR)**

Para determinar la resistencia de este fenómeno que se genera producto de la carga sísmica cíclica se parte de los datos geotécnicos del suelo y los resultados obtenidos del análisis dinámico de la estructura (tensiones). Así se compara la sollicitación debida al sismo con la resistencia del terreno y se obtiene el valor de CSR (Cyclic Stress Ratio). Existe también otro procedimiento simplificado para el análisis de la licuefacción que se basa en fórmulas experimentales que toman como entre otras de las metodologías empleadas para la investigación de la licuefacción del suelo tenemos el Método de Tsuchida (1970), el Método de Iwasaki (1978), entre otros. Todos ellos tratan de evaluar el factor de resistencia de (materiales cohesivos y/o firmes), en el número de golpes licuefacción y el factor del potencial de licuefacción. La mayoría de los métodos disponibles y reconocidos a nivel internacional se apoyan de ensayos granulométricos, límites de consistencia  $N$  en caso de ensayo de Penetración Estándar (SPT), el peso unitario de los materiales, diámetro medio de la partícula ( $D_{50}$ ) y la aceleración máxima en la superficie del terreno, y otros.

El análisis del potencial de licuefacción en este trabajo 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; a fin de obtener un mejor estimado de este parámetro.

El procedimiento requiere calcular dos variables sísmicas que son:

- a) La excitación sísmica del estrato de suelo, expresada en términos de la relación de tensiones cíclicas promedio ( $CSR = \tau_{pro} / \sigma'_{vo}$ ).
- b) La capacidad del estrato de suelo para resistir la licuefacción, en términos de la relación de resistencia cíclica (CRR).

En la mayoría de los procedimientos empíricos, el valor promedio de la relación de tensiones cíclicas (CSR) inducidos por el sismo se estima de los análisis de la respuesta dinámica del suelo, o mediante la expresión recomendada por (Seed & Idriss, 1971). 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 ( ) actuante en un estrato, normalizado por el esfuerzo efectivo de sobrecarga ( $\sigma'_{vo}$ ).

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

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.

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

$\sigma'_{vo}$ : 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 y Witman, 1986), para la práctica de ingeniería rutinaria, en proyectos no críticos, proponen las siguientes ecuaciones para estimar el  $r_d$ :

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

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

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

A partir de los valores obtenidos con anterioridad de los informes provenientes de la ENIA se calculó el CSR y se plotearon los valores obtenidos en la curva de CSR vs SPT. Figura

Una vez obtenido el resultado de CSR se compara con los valores de la figura 9 y se comprueba si es un estrato licuable o no.

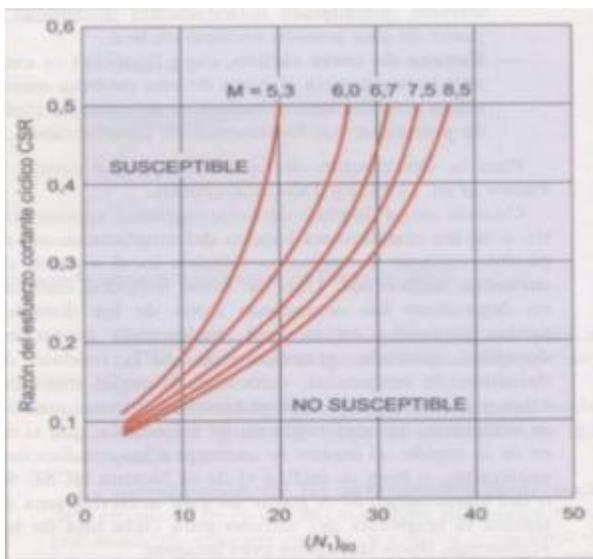


Figura 9: Susceptibilidad de licuefacción de un suelo en función de  $(N_1)_{60}$  y la razón del esfuerzo cortante cíclico CSR (Ho et al., 1986) tomado de (González, 2002)

### 2.2.6 Cálculo del Coeficiente de Resistencia Cíclica (CRR)

De los datos obtenidos de los informes se calcula CRR y se construye la curva CRR vs SPT. Si los valores son menores que 1 entonces se considera que es un estrato licuable.

Enfoque de resistencia cíclica (CRR)

Para ello, científicos destacados como (Youd et. al 2001), (Semillas et al.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 (N1) 60, es decir el número de golpes suministrado al terreno, representado también por la letra N.

N160 = (N1)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%.

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 (N1) 60 < 30. Para (N1) 60 ≥ 30, los suelos granulares limpios tienen el grado de compacidad demasiado alto para sufrir la licuefacción.

La resistencia a la penetración utilizada en las correlaciones corresponde al número de golpes medido en terreno (N) al cual se le aplica una corrección por tensión efectiva (Llao y Whitman, 1986):

$$N1 = N \times C_N$$

$$C_N = \left( \frac{1}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$$

Dónde:

C N = factor de corrección para una tensión efectiva de sobrecarga de 1 ton/pie<sup>2</sup>

σ, v = tensión efectiva vertical en atmósferas

La resistencia del suelo queda representada por (N 1,60), la cual es la cantidad de golpes del SPT corregido para una presión de sobrecarga efectiva de 1 Ton/pie<sup>2</sup> (≈ 1 kg/cm<sup>2</sup>), y para una razón de energía del 60% de la máxima teórica.

Corrección por energía aplicada, equipamiento y efectos de procedimientos para obtener un valor estandarizado de:

$$N_{1,60} = N_1 \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E$$

Dónde:

Tabla 1: Correcciones a SPT (Skempton, 1986).

FACTOR	VARIABLE DE EQUIPO	TERMINO	CORRECCION
presión vertical normal efectiva	N/A	$C_N$	$(Pa/\sigma'_{vo})^{0.5}$
presión vertical normal efectiva	N/A	$C_N$	$CN \leq 1.7$
relación de energía	martillo tipo dona	$C_Z$	0.5 - 1.0
relación de energía	martillo de seguridad	$C_Z$	0.7-1.2
relación de energía	martillo automático tipo dona	$C_Z$	0.8-1.3
diámetro de la perforación	65-115 mm	$C_B$	1
diámetro de la perforación	150 mm	$C_B$	1.05
diámetro de la perforación	200 mm	$C_B$	1.15
longitud de la barra	< 3 m	$C_R$	0.75
longitud de la barra	3-4 m	$C_R$	0.8
longitud de la barra	4-6 m	$C_R$	0.85
longitud de la barra	6-10 m	$C_R$	0.95
longitud de la barra	10-30 m	$C_R$	1.0
muestreo	muestreador estándar	$C_S$	1.0
muestreo	muestreador sin ademe	$C_S$	1.1-1.3

### 2.3. Metodología aplicada para el análisis de los indicadores para el estudio de la susceptibilidad a la licuefacción en el área de estudio.

#### 2.3.1. Análisis de las condiciones geológicas del área de estudio.

Se realizaron los mapas de esquema geológicos por parte de la oficina de Geocuba Guantánamo de los tres municipios estudiados: Guamá, III Frente y Contramaestre. Esto permitió evaluar las condiciones geológicas, determinando las formaciones presentes en cada municipio y de acuerdo a las edades y sedimentos de cada una de ellas se delimitó cuáles eran las más expuestas a la ocurrencia del fenómeno de licuefacción.

#### 2.3.2. Análisis del comportamiento de la sismicidad en el área de estudio.

Para llegar a las conclusiones de este indicador se revisó la norma para construcciones sísmo resistentes, requisitos básicos para el diseño y

construcción. Dentro de esta se revisó el capítulo 4 donde se describen las zonas sísmicas del territorio nacional y se tomó la descripción de los municipios en estudio.

### **2.3.3. Análisis del comportamiento del nivel freático en el área de estudio.**

En los tres municipios estudiados, de manera general, aparecen los litotipos tales como 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 las cuales fueron ejecutadas con una máquina perforadora MARK VII de fabricación británica por los métodos a percusión y rotario. Los datos se obtuvieron a partir de los antecedentes de investigación de las obras emplazadas en el área.

### **2.3.4. Análisis de las condiciones ingeniero geológicas.**

Se revisaron los informes ingeniero geológicos efectuados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) y se seleccionaron las propiedades físicas y mecánicas por cada obra de los tres municipios estudiados. Se confeccionó una base de datos con los principales parámetros que influyen para que un suelo sea licuable, entre los que se encuentran (Límite Líquido, Índice de Plasticidad, humedad natural, densidad húmeda y densidad seca, porcentaje de partículas finas, cortante, saturación, compactación del suelo a partir del N de SPT entre otras).

### **2.3.5. Análisis del cálculo del factor de seguridad para la licuefacción (FSL).**

El FSL se calcula a partir de las formulas explicadas anteriormente y con los datos obtenidos de los informes ingeniero geológicos. Primero se calcula el CSR, luego CRR, y MSF.

Si el valor es menor o igual a 1 se considera que es un estrato es licuable. Si los valores dieran relativamente mayor que 1 se puede considerar posible licuefacción siempre que el estrato inferior sea licuable. Teniendo en cuenta la magnitud del sismo el estrato puede licuar aunque en menor medida.

El análisis del potencial de licuefacción en este estudio siguió 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. Como resultado de este análisis se definieron los estratos que son potencialmente licuables y se confeccionaron los perfiles geotécnicos en los que se mostró los espesores máximos esperados de estratos en los cuales puede ocurrir licuefacción.

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

Dónde:

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

MSF: Factor de escala de acuerdo con la magnitud de sismo y se calcula por la siguiente ecuación.

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$$

Mw: Magnitud del sismo de diseño.

## **CAPITULO III. EVALUACION DEL RIESO POR LICUEFACCION A PARTIR DEL SISTEMA DE INDICADORES EN EL LOS MUNICIPIOS GUAMA. III FRENTE Y CONTRAMAESTRE.**

### **Introducción**

En este capítulo se validarán los indicadores propuestos para determinar si los suelos evaluados son licuables ante un sismo de gran magnitud. Se llevará a cabo en los diferentes escenarios, los que se explican a continuación.

#### **3.1. Criterios para la selección de escenarios susceptibles a la licuefacción.**

El primer criterio que se analizó fue el histórico. No existen reportes de ocurrencia del fenómeno de licuefacción en ninguno de los municipios estudiados. Se ha observado que la licuefacción ocurre frecuentemente en los mismos lugares cuando las condiciones del sitio se mantienen constantes, es por esto que la evidencia de la ocurrencia histórica de licuefacción, puede ser utilizada como prueba de susceptibilidad en un determinado lugar.

Otro criterio que se tuvo en cuenta fue la cercanía a una zona sismo generadora, la probabilidad de ocurrencia y período de recurrencia de un sismo fuerte. La sismicidad del área y las posibles amplificaciones de las aceleraciones sísmicas dado el efecto de sitio. Este aspecto no se puede dejar de tener en cuenta como prueba de susceptibilidad pues la provincia de Santiago de Cuba es considerada el territorio de mayor peligrosidad sísmica del país, por la frecuencia de los terremotos que ocurren y los valores altos de magnitud e intensidad alcanzadas históricamente. Esto se debe en gran medida por su tipo de sismicidad conocido como entre placas, vinculadas a la estructura de Bartlett – Caimán (Zona Sismogénica Oriente). En la figura 10 se muestra el modelo de peligrosidad sísmica provincia Santiago de Cuba.

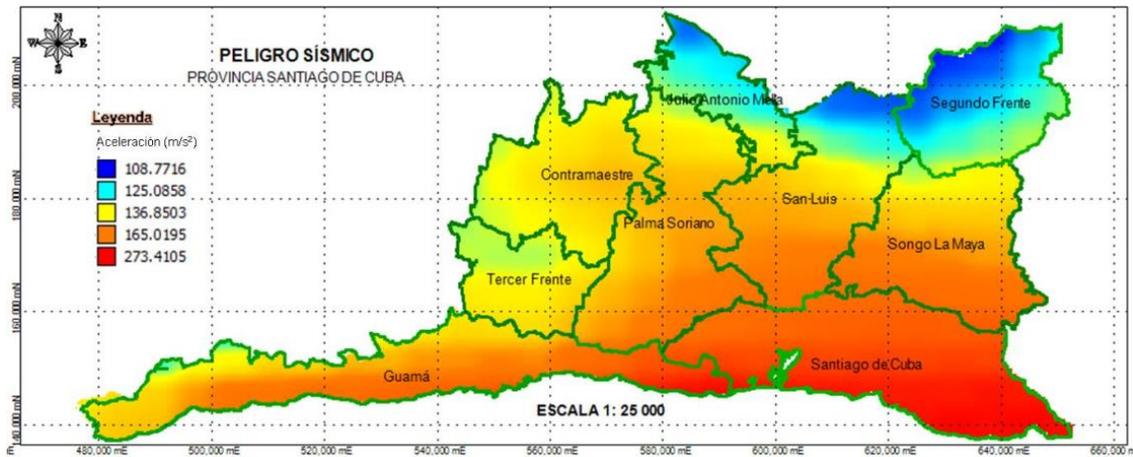


Figura10: Modelo de peligrosidad sísmica provincia Santiago de Cuba a escala 1:25 000. Fuente: Chuy et al 2010. Tomado de (Galbán, 2015)

Se analizaron las condiciones geológicas como otro criterio de gran importancia, algunos de los escenarios propuestos están cerca de depósitos fluviales y deltaicos. Los suelos de los escenarios propuestos se encuentran semisaturados y saturados dado la profundidad del nivel freático. La provincia además posee una alta peligrosidad donde los sismos y los distintos procesos antrópicos generan riesgos geológicos en el territorio, estos problemas destacados se tienen en consideración dentro de los procesos de planificación física y ordenamiento territorial, así como en otras actividades destinadas a reducir los riesgos de desastres.

En la Figura 11 se observa la red hidrográfica de la provincia Santiago de Cuba.



Figura 11: Red hidrográfica de la provincia Santiago de Cuba. Fuente: Geocuba Oriente Sur, 2010. Tomado de (Galbán,2015)

Se analizó, además, la edad de los depósitos. Las áreas que se estudiaron pertenecen a formaciones del Paleoceno-Eoceno y Oligoceno, las mismas son edades recientes. La imagen 12 muestra las formaciones geológicas por las que están constituidos los municipios Guamá, Contramaestre y III Frente.

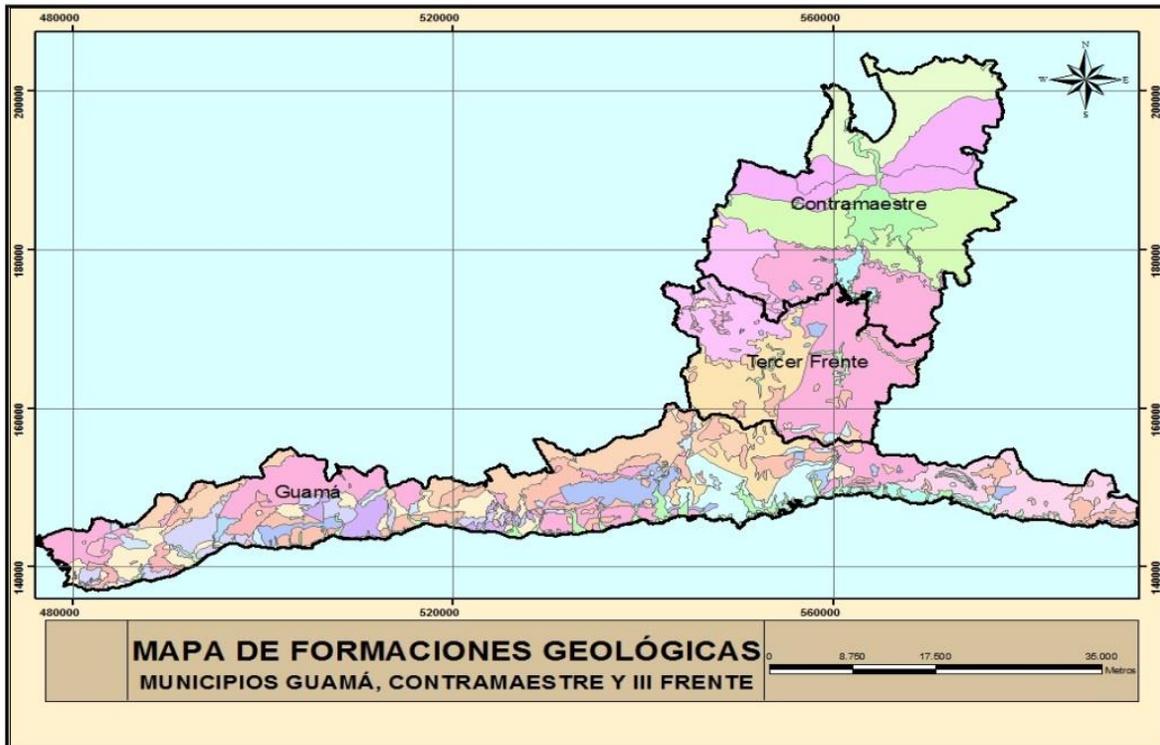


Imagen 12: Mapa de formaciones geológicas actualizado de los municipios Guamá, Contramaestre y III Frente. Fuente: Geocuba Guantánamo, 2017.

Leyenda	
<b>Unidades principales</b>	
<b>UnidadPrin</b>	
	ANDESITA
	ANFIBOLITAS CON BIOTITA
	ASOCIACIÓN GABRO-PLAGIOGRANÍTICA
	ASOCIACIÓN MONZODIORÍTICA
	ASOCIACIÓN TONALITO-GRANODIORÍTICA
	BASALTOS
	BAYAMO
	BERRACOS
	CAMARONES
	CAUTO
	CHARCO REDONDO
	DEPOSITOS ALUVIALES
	DEPOSITOS DE GRAVAS ARENOSAS
	DEPOSITOS MARINOS
	DEPOSITOS PALUSTRES
	EL COBRE
	GUAMA
	JABACO
	JAIMANITAS
	JAIMANITAS (en el mar)
	JOBO
	LA CRUZ
	MANACAL
	METAGABROS BANDEADOS
	MONZONITAS
	MÁRMOL
	NAGUAS
	NIPE
	PORFIDOS
	PRESA
	PUERTO BONIATO
	RIOLITAS
	RÍO MAYA
	SAN LUIS
	TURQUIÑO
	UVERO
	División Político Administrativa

## 3.2 Validación del sistema de indicadores propuestos en el municipio de Guamá.

### 3.2.1 Condiciones geológicas.

La mayor parte del municipio Guamá se encuentra formado por depósitos de edad Paleoceno-Eoceno pertenecientes al Grupo El Cobre, está constituido por diferentes tipos de rocas vulcanógenas y vulcanógeno- sedimentarias, las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidacítica y dacítica, raramente riolítica, riodacítica y basáltica.

Según Shadenet (1990) los suelos formados por rocas compactas no son licuables en absoluto. La Formación Cauto de edad Pleistoceno, está compuesta en su mayoría por arcillas, limos, arenas, gravas polimícticas y conglomerados polimícticos, con estratificación horizontal y cruzada. Estos sedimentos de origen fluvial, son suelos poco cohesivos.

Está presente además la Formación Jaimanitas de edad Pleistoceno está compuesta, por calizas biotriticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla carbonato- arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Las calizas son rocas compactas.

Los suelos presentes en las formaciones Cauto y Jaimanitas son suelos jóvenes, recientes lo que se pudiera pensar que tienen una mayor probabilidad de licuarse, esto no ocurre así ya que no cumple con la densidad relativa, por lo general son compactos y densos.

La Formación La Cruz se presenta con calizas biotriticas arcillosas, fosilíferas que por desagregación dan lugar a margas secundarias y pseudoconglomerados. Las calizas pueden aparecer ligeramente fosfatadas. (Colectivo de Autores, Léxico Estratigráfico de Cuba, 2013). En este sector es muy difícil que licue, depende en gran medida de la cantidad de arena y arcilla, así como el grado de plasticidad de la misma.

### **3.2.2 Sismicidad**

Desde enero hasta el 15 de mayo de 2017 se produjeron un total de 2781 terremotos en todo el país. El día que ocurrió la mayor cantidad de terremotos fue el 18 de enero con 189 sismos, las magnitudes en este día fueron de 0.5-3.6. La mayor sismicidad ha estado relacionada a la zona de Pílon - Chivirico, posterior al sismo de 5.8 de magnitud con 1521 sismos registrado el 17 de enero al sur de la localidad de Uvero, en el municipio de Guamá. En la figura13 se muestra el mapa de la sismicidad registrada durante el 2017 en la región oriental hasta el 15 de mayo.

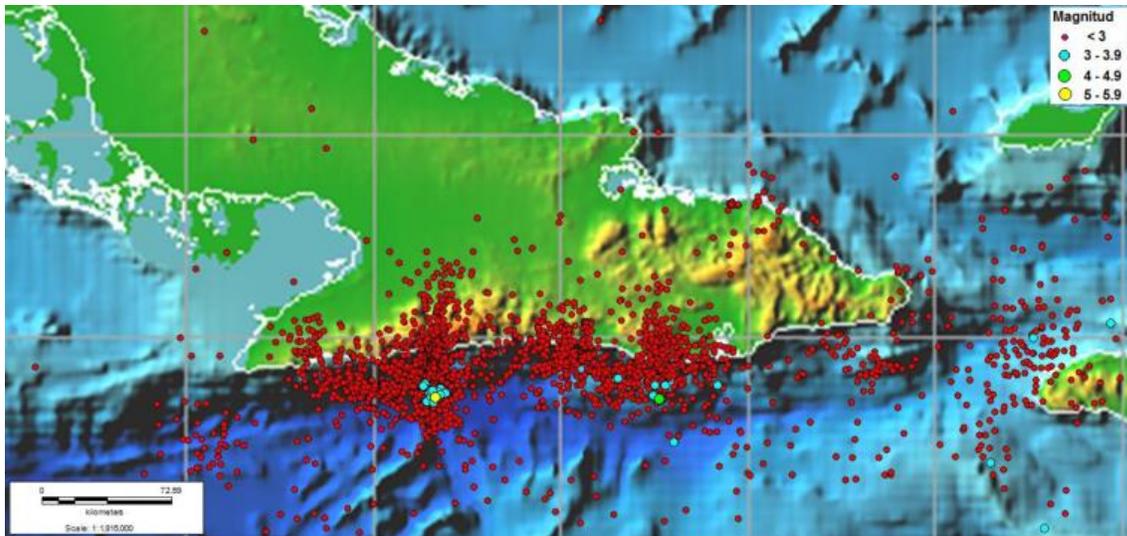


Figura13: Mapa de la sismicidad registrada durante el 2017 en la región oriental hasta el 15 de mayo. La mayor sismicidad ha estado relacionada a la zona de Pílon – Chivirico representada por un punto amarillo (Fuente: CENAIIS)

Según la norma NC 46 -2013 este municipio se encuentra ubicado dentro de la zona 5 que presenta un riesgo sísmico muy alto que puede ocasionar daños graves en las construcciones debiéndose tomar medidas sismoresistentes en las obras en función de la categoría y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima del terreno para el cálculo  $S_0$  estarán entre 0,80-1,10 g para periodos cortos( $S_s$ ) y entre 0,30 para periodos largos ( $S_1$ ).

Por lo antes expuesto se considera una zona de alto peligro sísmico y capaz de generar sismos fuertes, una de los indicadores necesarios para que ocurra la licuefacción.

### 3.2.3 Características hidrográficas

El municipio se encuentra atravesado de norte a sur por 32 ríos de los cuales los más peligrosos por orden son La Mula, Sevilla, Peladero, Bayamita, La Plata y La Magdalena entre otros; y 22 arroyos que en tiempos de lluvia son rápidos y se producen grandes avenidas que incomunican a las comunidades. Estos constituyen su principal vía de abastecimiento de agua y electricidad. El nivel freático varía entre los 2.0 m y 7.0 m, lo cual es una profundidad en la que se

podría manifestar el fenómeno de licuefacción pues se encuentra cercana a la superficie.

### 3.2.4 Condiciones ingeniero-geológicas (Tabla 2)

Para hacer un estudio más detallado de las condiciones ingeniero-geológicas se confeccionó la tabla resumen con algunas propiedades entre las que se encuentran: por ciento de humedad natural (W), densidad húmeda máxima (Yf), densidad seca máxima (Yd), límite líquido (LL), por ciento de finos (Fi), por ciento de arena (Ar).

A continuación, en la tabla 2 se muestran los valores de estos parámetros para algunas de las obras estudiadas.

Tabla 2: Clasificación geotécnica del suelo del municipio Guamá.

Obras	N de SPT	LL	% finos	% arenas	Wn (%)	Yf	Yd	C (kPa)	Descripción
Base internacional de campismo	19	49,5	30	30	15,3	18,5	16,04	5	Arcilla de mediana plasticidad
Hospital Giraldo Aponte	18	35	46	48	15,5	20,23	17,81	1	GC arcillosa con grava
Puente Rio la Magdalena	24	11,65	24	31	15,18	20,0	17,02	0,85	Conglomerado
Vaquería	49	32,7	24	36	13	19,9	17,63	5	Conglomerático denso

En imagen 12 se muestra un esquema representativo de uno los cortes de estratos identificados en el municipio Guamá. El primer estrato identificado predomina una arena arcillosa con una potencia de 2,70 m y el segundo estrato está compuesta por arcilla inorgánica de baja plasticidad con una potencia de 2,35 m. Ambas litologías son favorables para que ocurra la licuefacción.

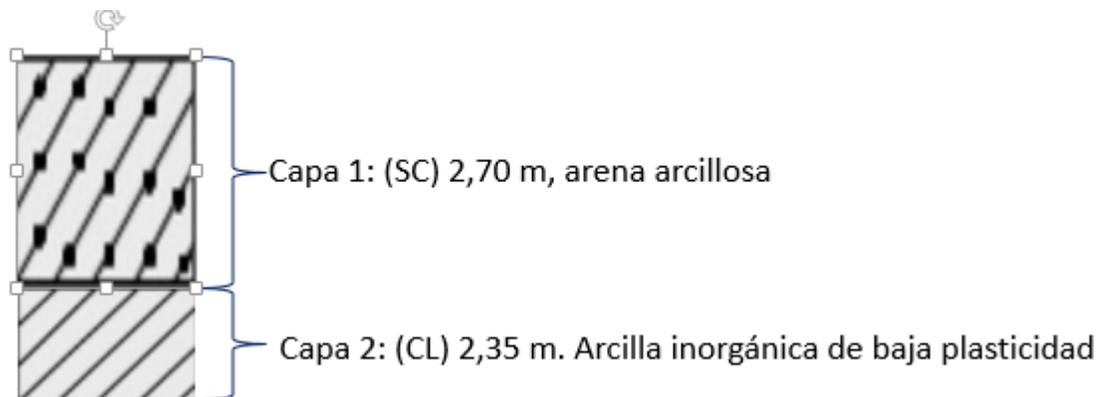


Figura 12: Esquema Litoestratigráfico. Municipio Guamá

De un total de 140 informes ingeniero-geológicos revisados se pudieron utilizar solo 34, estos eran los que contenían las coordenadas y la mayoría de las propiedades físico mecánicas. Se le pudo realizar el cálculo de FSL a 3 puntos, estos eran los que contenían los parámetros necesarios como N de SPT,  $Y_f$ ,  $Y_d$  y nivel freático. En la tabla 3 se muestran los resultados del cálculo del FSL para el municipio de Guamá.

Tabla 3: Resultado del cálculo de FSL para Guamá.

### 3.2.5 Cálculo de Factor de seguridad para la licuefacción.

Obras	CRR	CSR	FSL para Mw6	Licuales	FSL para Mw7	Licuales	FSL para Mw8	Licuales
Albergue-cocina comedor	1,6862	4,9805	0,5958	Si	0,4028	Si	0,2843	Si
Tribunal Municipal Chivirico	0,3684	0,3391	1,9116	No	1,2925	No	0,9124	Si

<b>Puente alcantarilla S/R Magdalena</b>	<b>1,7493</b>	<b>0,5751</b>	<b>5,3526</b>	<b>No</b>	<b>3,6191</b>	<b>No</b>	<b>2,5546</b>	<b>No</b>

### **Conclusiones parciales para el municipio Guamá**

Los suelos del municipio Guamá, en su mayoría pertenecen al Pleistoceno y Paleoceno-Eoceno. Son depósitos de un medio aluvial, con alguna influencia marina cerca de la desembocadura del Río Cauto. Los mismos están clasificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como arcillas de baja plasticidad (CL) y arena arcillosa con grava(SC). La presencia del nivel freático se pudo detectar a pocos metros de la superficie presentándose como promedio a los 3,52 m de profundidad. El porcentaje de finos para algunos lugares es menor al 15%, el límite líquido en la mayoría de los puntos es inferior al 35%. Los suelos son poco cohesivos y se encuentran semisaturados. Todas estas características son bastante acorde a que ocurra el fenómeno de licuefacción. Los resultados obtenidos de las 3 obras a las que se le realizó el cálculo del FSL, son que ante un sismo de magnitud 6, 7 y 8 podría verse afectada la obra (Albergue-cocina comedor). La obra (Tribunal Municipal Chivirico) lo haría también pero solo para un sismo de magnitud 8 estando ambas construida sobre un suelo de clasificación SC, en sedimentos aluviales.

### **3.3 Validación del sistema de indicadores propuestos en el municipio III Frente.**

#### **3.3.1 Condiciones geológicas**

El municipio III Frente se encuentra constituido en su mayoría por rocas del Cretácico medio, Paleoceno-Eoceno agrupadas dentro del Grupo El Cobre. Este grupo aflora en la mayor parte de la Sierra Maestra constituido por diferentes tipos de rocas vulcanógenas y vulcanógeno- sedimentarias, las rocas más abundantes son: tobas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidacítica y

dacítica. Las formaciones Manacal y Palma Mocha están compuestas principalmente por areniscas polimícticas, aleurolitas polimícticas y tobáceas, argilitas, calizas, gravelitas, tobas psammíticas, tobas psefíticas, tobas aglomeráticas y conglomerados, estos suelos no son licuables. La Formación Puerto Boniato presenta alternancia de calizas organodetríticas aporcelanadas, algáceas y margas, con intercalaciones de sílice negro- parduzco, estos suelos son compactos por lo que se hace difícil que actúe el fenómeno de la licuefacción. Las formaciones El Caney y el Pilón constituidas por alternaciones de tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas. No son suelos proclives a la licuefacción.

### **3.3.2 Sismicidad**

Según la norma NC 46 -2013 el municipio se encuentra ubicado dentro de la zona 4 que presenta un riesgo sísmico elevado que puede ocasionar daños significativos en las construcciones debiéndose tomar medidas sísmoresistentes en las obras en función de la categoría y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima del terreno para el cálculo  $S_a$  estarán entre 0,50-0,80 g para periodos cortos ( $S_s$ ) y entre 0,30 para periodos largos ( $S_1$ ). Por lo antes expuesto se considera una zona que puede ser afectada al generarse sismos fuertes, una de las condiciones necesarios para que ocurra la licuefacción.

### **3.3.3 Características hidrográficas**

El municipio de Tercer Frente se caracteriza por la gran variedad de ríos, arroyos y cañadas que la rodean. Su favorable ubicación geográfica en la ladera norte de la Sierra Maestra, una de las más pluviosas de Cuba, hace que en ella se localicen numerosos manantiales que originan importantes corrientes fluviales, que en su inmensa mayoría van al Contra maestre, afluente principal del río Cauto. Las aguas subterráneas del municipio han sido poco estudiadas, y afloran a través de manantiales, como el conocido como El Cedrón de aguas termales. (Tomado de Ecured.2016).

La profundidad del nivel freático no se detectó en ninguno de los informes revisados, en la mayoría de los casos se encontraba seco a pesar de ser un municipio que posee importantes corrientes fluviales. Debido a la lejanía del nivel freático es muy difícil que los suelos de este municipio se vean afectados por el fenómeno de licuefacción, pues esto evidencia que las aguas subterráneas en esta zona se encuentran a mayores profundidades de las que se realizaron a la perforación, alcanzando valores mayores de 9,0m, lo que hace casi imposible que los suelos puedan licuar. En la tabla 4 se muestran las clasificaciones geotécnicas del municipio III Frente.

### 3.3.4 Condiciones ingeniero-geológicas

Tabla 4: Clasificación geotécnica del suelo del municipio III Frente.

Obras	N de SPT	LL	% finos	% arenas	Wn (%)	Yf	Yd	C (kPa)	Descripción
Atelier	35	39,2	19	34	11	18,2	15	1,0	Conglomerado de gravas y rocas volcánicas
Policlínico cruce los baños	-	44	49	45	22,7	19,29	15,50	25	CL arcilla areno gravosa
ESBU Camilo Cienfuegos	-	58	-	-	-	18,43	-	40	CH arcilla de alta plasticidad
Posta medica L a tabla	-	42	28	65	14	18,58	16,30	18	SC arena arcillosa

En la imagen 13 se muestra un esquema representativo del comportamiento de la litología en el municipio III Frente. En el primer estrato lo que predomina es una arena arcillosa con una potencia de 3,0 m y en el segundo estrato está compuesto por arcilla plástica con una potencia de 2,47 m. La primera litología es favorable para que ocurra la licuefacción.

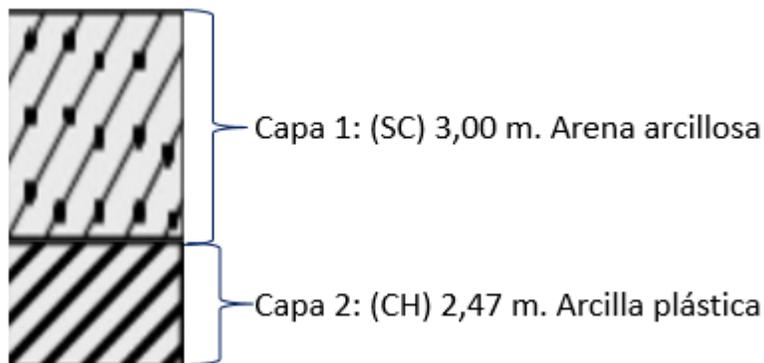


Figura13: Esquema Litoestratigráfico. Municipio III Frente.

De un total de 41 informes geológicos, de ellos solos se pudieron utilizar 9 que contenían las coordenadas y la mayoría de las propiedades físico mecánicas. No se pudo determinar el valor del FSL a ninguna de las obras analizadas porque no contenían la profundidad del nivel freático, siendo este uno de los parámetros fundamentales para la realización de los cálculos.

### **Conclusiones parciales para III Frente**

Los suelos del municipio III Frente son en sus mayorías pertenecientes formaciones de Paleógeno, específicamente del Paleoceno-Eoceno, estos suelos no son recientes por lo que no hay probabilidad de ocurrencia de la licuefacción. Los mismos están clasificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como (SC) arena arcillosa con grava. El nivel freático no se detectó en ningunos de los informes revisados, por lo que se deben encontrar a profundidades mayores de 9.0m lo que limita la susceptibilidad a que ocurra la licuefacción. El porcentaje de finos en algunos de los casos es menor al 15% que es favorable para la licuefacción, en esos sectores que tiene esas características, el límite líquido en la mayoría de las obras es superior al 35% siendo poco favorable. El cálculo del FSL, no se pudo realizar por el desconocimiento de la profundidad del nivel freático.

A pesar que estos sectores que se encuentran cerca de corrientes fluviales con contenidos de finos menores del 15% ante la presencia de un sismo de gran magnitud no podemos afirmar que ocurrirá licuefacción.

### **3.4 Validación del sistema de indicadores propuestos en el municipio Contramaestre**

#### **3.4.1 Condiciones geológicas**

El municipio Contramaestre se encuentra constituido por rocas bien estratificadas pertenecientes al Eoceno Medio parte alta- Eoceno Superior de la Formación San Luis. En su mayoría Areniscas polimícticas, aleurolitas, margas, arcillas, calizas, organodetríticas, arenosas y conglomerados polimícticos. Estas litologías fundamentalmente las arenas son favorables para que ocurra la licuefacción. La Formación Farallón Grande está constituida por brechas polimícticas, de fragmentos angulares y subangulares de tamaños variados con intercalaciones de conglomerados de clastos bien seleccionados y en menor cantidad de areniscas de grano grueso.

Según Wuang (1979) la forma de las partículas deben ser redondeadas y con una distribución de los granos que varían desde granos gruesos hasta granos más finos por lo que estas litologías no son favorables para que ocurra la licuefacción. En la Formación Sabaneta se observan tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, aleurolitas, margas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos y ocasionalmente pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito- basaltos y andesito- dacitas. Formación San Ignacio formada por brecha monomíctica con fragmentos de esquistos verdes, filitas y serpentinitas, con matriz arcillosa. Las litologías presentes en estas formaciones son muy compactas por lo que no son propensas a que se produzca la licuefacción. Formación Bitirí, calizas algáceas de matriz fina, duras, compactas, calcificadas, que contienen ocasionalmente fragmentos de corales y grandes *Lepidocyclina*. Estas litologías con contenidos organógenos y compactos disminuyen la probabilidad de

ocurrencia de la licuefacción. Formación Camazán compuesta por calizas coralino- algáceas (biolititas), calizas biodetríticas a veces arcillosas, calcarenitas, calciruditas, aleurolitas calcáreas, con intercalaciones de margas y arcillas, ocasionalmente yesíferas. Formación Maquey alternancia de areniscas, aleurolitas y arcillas calcáreas de color gris y margas de color blanco a crema que contienen intercalaciones de espesor variable de calizas biodetríticas, calizas arenáceas y calizas gravelíticas. Formación Camarones está constituida por conglomerados polimícticos de cantos subredondeados y redondeados, areniscas polimícticas de grano grueso. La matriz del conglomerado es arenosa de composición polimíctica. Esta litología con presencia de granos redondeados en una matriz arenosa es favorable a que licue.

### **3.4.2 Sismicidad**

El municipio de Contramaestre según la norma NC 46 -2013 se encuentra ubicado dentro de la zona 4 que presenta un riesgo sísmico elevado que puede ocasionar daños significativos en las construcciones debiéndose tomar medidas sísmoresistentes en las obras en función de la categoría y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima del terreno para el cálculo  $S_a$  estarán entre 0,50-0,80 g para periodos cortos( $S_s$ ) y entre 0,30 para periodos largos ( $S_1$ ). Consideramos que es una de las condiciones necesarios para que ocurra la licuefacción ya que es una zona que puede ser afectada al generarse sismos fuertes.

### **3.4.3 Características hidrográficas.**

La red hidrográfica principal del municipio es la del río Contramaestre y sus afluentes. Este río corre hacia el norte, buscando al río Cauto, y en su recorrido tiene pocas sinuosidades. Tiene un cauce profundo, y pese a estar represado, corre con un gran caudal. Los afluentes del Contramaestre en este municipio tienen escasa importancia excepto el río Baire, que le sirve como límite natural con el municipio Granmense de Jiguaní. Sus tributarios más importantes nacen en La Sierra Maestra. El río Contramaestre aporta un considerable caudal de agua al río

Cauto. Los suelos de origen fluvial se sedimentan fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse de modo que se licuarán con facilidad.

La profundidad del nivel freático se encuentra por lo general alrededor de los 4.32m, por lo que como el nivel freático se encuentra casi siempre por encima de los 5.0 m es posible que ocurra el fenómeno de licuefacción. En la tabla 5 se muestra la clasificación geotécnica del suelo del municipio III Frente.

### 3.4.4 Condiciones ingeniero-geológicas.

Tabla 4: Clasificación geotécnica del suelo del municipio III Frente.

Obras	N de SPT	LL	% finos	% arenas	Wn (%)	Yf	Yd	C (kPa)	Descripción
Planta de miel y cera	52	54	59	6	24,2	19,50	15,70	20	CH arcilla plástica caco3 pequeñas gravas
Circulo infantil	-	83,3	90	10	40,9	16,6	11,8	-	arcilla de alta plasticidad carmelita oscuro
Ampliación gradas estadio	21	35,3	-	-	16,2	17,6	15,15	25	CL limo arcilloso

En la imagen 14 se muestra un esquema representativo del comportamiento de la litología en el municipio ContraMaestre. En la primera secuencia estratigráfica lo que predomina es una arcilla inorgánica de alta plasticidad con una potencia de 0,70 m y en una segunda secuencia compuesta por arcilla inorgánica de baja plasticidad con una potencia de 1,95 m. La segunda litología es favorable para que ocurra la licuefacción.

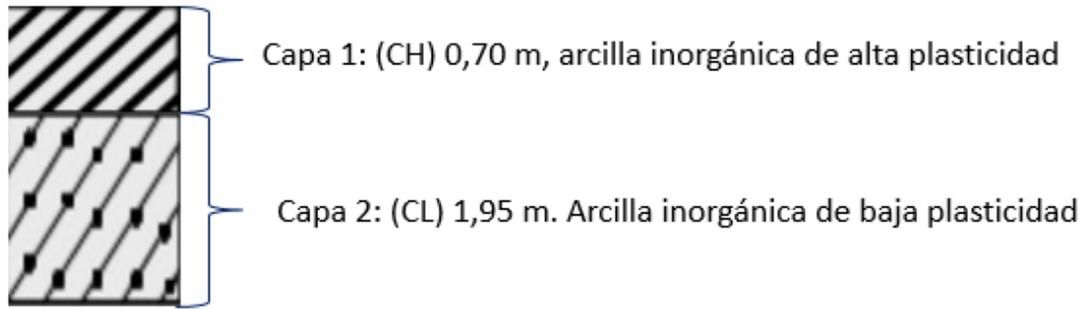


Imagen 14: Esquema Litoestratigráfico. Municipio Contramaestre.

De un total de 176 informes geológicos, solo se pudieron utilizar 20 que contenían las coordenadas y la mayoría de las propiedades físico mecánicas, realizándoles el cálculo de FSL a 4 los cuales contenían los parámetros necesarios.

### 3.4.5 Cálculo de Factor de seguridad para la licuefacción.

Tabla 6: Resultado del cálculo de FSL para Contramaestre.

Obras	CRR	CSR	FSL para Mw 6	Licuable	FSL para Mw 7	Licuable	FSL para Mw 8	Licuable
Supermercado	1,04	1,66	1,10	No	0,74	Si	0,52	Si
Almacén típico de Baire	2,53	0,30	14,42	No	9,75	No	6,88	No
Tribunal municipal	0,56	0,20	4,97	No	3,36	No	2,37	No
Policlínico urbano	3,02	0,22	23,98	No	16,21	No	11,44	No

### Conclusiones parciales para Contramaestre

Los suelos del municipio Contramaestre, en su mayoría pertenecen a la Formación San Luis de edad Eoceno Medio parte alta- Eoceno Superior. Son depósitos de un medio aluvial donde los suelos se depositan con facilidad y sus

granos tienen poca probabilidad de compactarse. Los mismos están clasificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como (CL) que es arcillas de baja plasticidad que es favorable debido a su baja plasticidad, no siendo así la (CH) arcilla inorgánica de alta plasticidad. La presencia del nivel freático se pudo detectar a pocos metros de la superficie presentándose como promedio a los 4,32m de profundidad que es probable la ocurrencia de este fenómeno por su cercanía a la superficie de las aguas subterráneas. El porcentaje de finos son mayores del 15% y el límite líquido en la mayoría de las obras es superior al 35%. Estas características no son favorables para que el suelo en este punto estudiado licue. La mayoría de las obras están enmarcadas dentro de la formación San Luis y depósitos aluviales siendo estas características bastante acordes a que ocurra el fenómeno de licuefacción. Los resultados que se obtuvieron de las 4 obras a las que se realizó el cálculo del FSL, son que ante un sismo de magnitud 7 y 8, podría verse afectada la obra (Supermercado), estando la misma enmarcada sobre suelos SC (arena arcillosa con grava), en sedimentos aluviales.

## **Conclusiones.**

- Se determinó que en algunos sectores los suelos del municipio Guamá y Contramaestre son de origen fluvial. La cercanía del nivel freático y a una zona sísmica generadora, son los principales factores que propician la posible ocurrencia de la licuefacción.
- El mayor riesgo por licuefacción está dado en el municipio Guamá en los sectores cercanos a la costa, estos se caracterizan por una alta complejidad geológica y tectónica.
- En el municipio Contramaestre las obras ingenieriles construidas sobre sedimentos de origen fluvial y suelos de composición areno arcilloso con grava representan las áreas más vulnerables a la ocurrencia de la licuefacción.
- Los elementos más vulnerables son las áreas de asentamiento poblacional que sobreyacen a depósitos fluviales, siendo esto suelos muy flexibles e inestables en relación a procesos tectónicos.
- Los suelos más vulnerables para la licuefacción son los clasificados como: arena arcillosa con grava (SC) y la arcilla de baja plasticidad (CL) representados principalmente en las formaciones Cauto y San Luis.

## **Recomendaciones**

- Incluir en los informes de la ENIA parámetros que permitan calcular el Factor de seguridad para la Licuefacción (FSL), para poder realizarse un análisis integral de los suelos.
  
- Sugerir al Gobierno provincial y municipal de Santiago de Cuba que orienten y controlen el reforzamiento de las acciones dirigidas a incrementar la integración multidisciplinaria y la superación de los distintos temas relacionados con la gestión de riesgos geológicos.
  
- Realizar un estudio más detallado de peligro, vulnerabilidad y riesgo en los municipios de Guamá, III Frente y Contramaestre.
  
- Hacer una divulgación detallada fundamentalmente en las comunidades y localidades en las que se encuentran las infraestructuras que representan el área de mayor riesgo para la ocurrencia de la licuefacción.

## Bibliografía

- ALFARO. “Comparación entre la metodología para evaluar el potencial de riesgo de licuefacción y los catastros realizados luego del terremoto de 2010 en Concepción. Trabajo de diploma. UNIVERSIDAD DEL BIOBIO.2013
- CARLA, W. “Efectos de licuefacción de los suelos durante el terremoto en Nigata, Japón, 1964. Environmental Geology, Montgomery. 2002
- Chuy. Licuefacción de los suelos en calle La Alameda, en Santiago de Cuba. Terremoto del 3 de febrero de 1932. 2002.
- COLECTIVO DE AUTORES. Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. 2013
- COLECTIVO DE AUTORES. Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica, Geología. San Pedro, Costa Rica. 2002
- COLECTIVO DE AUTORES. Terremoto de Lorca. Lorca, Murcia, España. 2012
- FERNÁNDEZ, B. “Posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuación en la cuenca de Santiago de Cuba catalizado por terremotos fuertes”. Tesis de maestría. ISMM. Moa.2000
- FERNÁNDEZ, D. “Licuefacción de los suelos generada por sismos de gran magnitud. Caso de estudio Caimanera y Santiago de Cuba”. Tesis de Maestría. ISMM. Moa. 2015.
- FERNÁNDEZ, D et al.2016: “Escenarios susceptibles a la licuefacción inducida por sismos de gran magnitud en Santiago de Cuba”.
- FERNÁNDEZ, D et al.2017: “Susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en la ciudad de Caimanera, Guantánamo”.

- GALVÁN, L. Procedimiento para la gestión y reducción de riesgo geológicos en la provincia de Santiago de Cuba. Tesis de doctorado.2015
- GONZÁLEZ. L. Ingeniería Geológica. Pearson education.2002 Madrid.744p
- GUASCH y Oliva. “Apreciación de la amenaza sísmica de Cuba”. CENAI, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. 2014
- HERRERA, I. “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”. Holguín. Tesis de Diploma. ISMMM. 2015.
- IWASAKI T., TATSUOKA F., TOKIDA K. Y YASUDA S. “A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in japan”, 5 th japan symposium on earthquake engineering,november.1978
- KRAMER, S., & STEWART, J. “Geotechnical Aspects of Seismic Hazards”. En Y.Bozorgnia, & V. Bertero, Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering. London. Taylor and Francis Group. 2004.
- NC 46-2013: Proyecto de norma de construcciones sismo resistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción.
- ORDAZ, H. “La susceptibilidad a la licuefacción en el emplazamiento de la ciudad de San Cristóbal, Cuba Occidental”. Minería y Geología / v.29 n.2/ abril-junio / 2013 / p. 1-15. 2013.
- PARELLADA, O. “Delimitación de los escenarios susceptibles a la licuefacción inducidos por terremotos de gran magnitud en la zona sur de la provincia de Guantánamo”.2016
- PERUCCA, L. PÉREZ, A. & NAVARRO, C. “Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos históricos. Su análisis en la evaluación del peligro sísmico en la Argentina”. Rev. Asoc. Geol. Argent. v.61 n.4 Buenos Aires octubre/diciembre. 2006

- REINOSO, D. Determinación de los escenarios susceptibles a la licuefacción inducidos por terremotos de gran magnitud en los municipios de Baracoa, Yateras , El Salvador y Niceto Pérez de la provincia de Guantánamo”.2016
- Riesgo Sísmico disponible en:[http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Riesgo\\_sísmico&oldid=82160505](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Riesgo_sísmico&oldid=82160505)». (s.f.). Recuperado el 5 de mayo de 2015, de Wikipedia.
- RODRÍGUEZ, C.AUDEMARD, L & RODRÍGUEZ, A. “Departamento de Ciencias de la Tierra, Fundación Venezolana de Investigaciones sismológicas”.2010
- ROSABAL. “Zonación preliminar de la licuefacción de los suelos en la región de Cuba Oriental”. 2011.
- SEED, B. & LEE, L. “Liquefaction on saturated sands during cyclic loading”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE,1966. 9
- SEED, B., AND IDRIS, M. “A Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential”, Journal of soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, 1971. 97, SM9, 1249- 1273.2 (SM6), 105-134.
- SEED, B., AND IDRIS, M. “Ground motions and soils liquefaction during Earthquakes”, Technical report, Earthquake Engineering Research Institute. 1982
- SEED, CETIN, MOSS, & KAMMERER. “Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework”. California.2003
- SEED. Estudios de licuación sísmica. 1966
- VALLEJO, C. “Susceptibilidad a licuefacción en la vega de Granada (España). 4 CNIS. GRANADA. 18-20MAYO 2002.
- TOKIMATSU, K. & YOSHIMI Y. “Field Correlation of Soil Liquefaction with SPT and Grain Size”, International Conference of Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, University of Missouri-Rolla, 1981. Pp 203-208.

- WANG, W. "Some finding in soil liquefaction". Water conservancy and hydroelectric power scientific research institute, Beijing, China. 1979
- YOUD, T. & IDRIS, I. "Liquefaction resistance of soils: Summary Report from the 1996 and 1998 NCEER/NSF Workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2001. Vol. 127, N° AISSN 1090-0241.
- YOUD. Fenómenos Asociados a la licuación. 1998
- YOUD. Licuación de arena. 2001
- YOUD & IDRIS. Metodologías para la determinación del potencial de licuación. 2001

## Anexo 1

Obras Guamá	N	valor de N1. 60	CRR	Yd	H	(σ) encima N.F	Yf	H	(σ) debajo N.F	μ	(σ*)	(σ t)	r d	amax	CS R	FSL para mag 6	FSL para mag 7	FSL para mag 8
Escuela primaria Chivirico				16,96			19,88							0,376				
Vaquería	19	17,1	1,32191	16,22			18,50							0,376				
Puente S/R	50	45	3,23763	16,00			18,5							0,376				
Salón de reuniones				14,52			18,00							0,376				
IPUE Sevilla	19	17,1	1,32191	16,22			18,5							0,376				
Presa Sevilla				19,00			20,20							0,376				
Presa Sevilla(Ampliación)1				19,04			20,2							0,376				
Hotel EL Francés	87	78,3	5,7725	17,27			20,04							0,376				
Sub- base almacén bahía	30	27	2,13836	17,6			19,9							0,376				
Vivienda el francés Chivirico	30	27	2,13836	17,27 20,18			20,04 22,07							0,376 0,376				
Carretera Boca de dos ríos	32	28,8	2,32109	17,6			20,34							0,376				

Restaurant Aserradero	20	18	1,39182	10,7			17							0,376				
Base internacional campismo	19	17,1	1,32191	16,04			18,5							0,376				
Escuela especial Celia S.M							18,5							0,376				
Policlínico Uvero				15,67			18,5							0,376				
Hospital Giraldo Aponte	18	16,2	1,25235	17,81			20,23							0,376				
Rept Edif Chivirico				17,25			19,32							0,376				
Puente Rio la Magdalena	24	21,6	1,67638	17,02			20,0							0,376				
Villa Turquino				18,47			19,89							0,376				
Cantera Chivirico-río seco							14,48							0,376				
Albergue-cocina comedor	39	35,1	1,686	18.0	7,1	127,8	20,26	0,6	12,156	6	6,156	133,956	0,936	0,376	4,980	0,595	0,402	0,284
Desarrollo vivienda en	19	17,1	1,321	18.08			20.26							0,376				

Chivirico																		
Agrupación viviendas guamá	12	10,8	0,840	17,84			20,05							0,376				
Hotel Sevilla	34	30,6	2,556											0,376				
Tanque villa turquino				16,44			19,67							0,376				
Tribunal Municipal Chivirico	5	4,55	0,3684,5	15,35	0,60,3684	9,21	19,5	2,2	42,9	22	20,9	30,11	0,963	0,376	0,339	1,911	1,292	0,912
Puente alcantarilla S/R Magdalena	25	22,5	1,74931	16,4	1,5	24,6	18,5	2	37	20	17	41,6	0,961	0,376	0,575	5,352	3,619	2,554
														<b>0,376</b>				

## Anexo 2

Obras III Frente	N	valor de N1.60	CRR	Yd	H	( $\sigma$ ) encima n.f	Yf	H	( $\sigma$ ) debajo n.f	$\mu$	( $\sigma$ *)	( $\sigma$ t)	rd	amax	CSR	FSL para mag 6	FSL para mag 7	FSL para mag 8
Escuela primaria Celia Sánchez				17,10			20,04											
Óptica				15,72			19,29											
Atelier	35	31,5	2,72872	15			18,2											
Policlínico cruce los baños				15,50			19,29											
Posta medica L a tabla				16,30			18,58											

### Anexo 3

Obras Contramaestre	N	valor de N1.6 0	CR R	Yd	H	( $\sigma$ ) enci ma N.F	Yf	H	( $\sigma$ ) deba jo N.F	$\mu$	( $\sigma^*$ )	( $\sigma$ t)	rd	ama x	CS R	FSL para mag 6	FSL para mag 7	FSL para mag 8
ESBU Bungo #5				14,4 5			18,1 2							0,28				
ESBU 600				14,6 4			18,0 5							0,28				
Planta de miel y cera	5 2	46,8	3,38 3	15,7 0			19,5 0							0,28				
Seminternado Primaria 600				16,7 5			19,8 5							0,28				
Supermercado	1 5	13,5	1,04 5	15,7	2	31,4	19,3	0,4	7,72	4	3,7 2	35,1 2	0,969	0,28	1,66 5	1,104	0,747	0,527
Policlínico tipo III	2 2	19,8	1,53 2	15,7 0			10,4							0,28				
Ampliación gradas estadio	1 8	16,2	1,25 2	15,5 8			19,5 0							0,28				
Fábrica de galletas				15,1 1			19,1							0,28				
Almacén típico de Baire	4 2	37,8	2,53 2	16,4	0,3	4,92	19,1	0,7	13,37	7	6,3 7	11,2 9	0,957	0,28	0,30 9	14,42 2	9,751	6,883
Fábrica de pienso	1 6	14,4	1,11 4	14,6 4			19,0							0,28				

Estación de bombeo				14,0			17,34							0,28				
Planta potabilizadora				16,03			16,2							0,28				
Tribunal municipal	8	7,2	0,569	12,8	0,3	3,84	17,8	3,3	58,74	33	25,74	29,58	0,96328	0,28	0,201	4,973	3,362	2,373
Estación de bombeo arrollo blanco				16,0			19,1							0,28				
ESBU 1200	42	37,8	2,532	15,63			19,15							0,28				
Policlínico urbano	36	32,4	3,020	14,3	0,3	4,29	18,1	2,1	38,01	21	17,01	21,3	0,972	0,28	0,221	23,985	16,217	11,447
Almacenes productos industriales	18	16,2	1,252	15,6			19,1							0,28				
Carretera Maffo				47,8			16,6							0,28				

## Anexo 4

Obras	Nivel freático	Capa 1	Espe sor (m)	N de SPT (golpes/30cm)	LL	% fin os	Yf (kn/m3)	Yd (kn/m3)	Capa 2	Espe sor (m)	N de SPT (golpes/30cm)	LL	% fin os	Yf (kn/m3)	Yd (kn/m3)
Escuela primaria Chivirico		SC	5		29,3		19,88	16,96	conglomerado denso						
Vaquería		Conglomerado semidens o		19		44	18,50	16,22	porfirita andesítica basáltica		49	32,7	24	19,9	
Puente S/R		SW		50		11	18,5				40			26,00	
Salón de reuniones		SC			37,1		18,00	14,52	SC						
IPUE Sevilla		OL		19		34	18,5	16,22	CL		49	32,7	24	19,9	17,61
Presa Sevilla		CL	4				20,20	19,00				33	21	18,9	16,6
Presa Sevilla(Ampliación)1	1	arena					20,2	19,04	arena-arcillosa						
Hotel EL Francés		CL		87	35,1		20,04	17,27			30	35,1		20,04	17,27
Sub- base almacén bahía		SC		30	33		19,9	17,6	Tobas						

Escuela de oficio		CL			34	42						34	22		
Carretera Granma		toba							material calcáreo						
Vivienda el francés	4	arcilla		30	25		20,04	17,27			25	43,4		19,96	17
Chivirico		MRB			33	9	22,07	20,18							
Carretera Boca de dos ríos		SC		32	39,1		20,34	17,6	SC						
Restaurant Aserradero		arena de grano fino		20		20	17		CL			30	37	13,78	10,7
Base internacional campismo		arcilla mediana plasticidad		19	49,5	30	18,5	16,04			50	28,6		26,8	19
Escuela especial Celia S.M		GM				27	18,5								
Policlínico Uvero		GM				27	18,5	15,67							
Hospital Gerardo Aponte		GC		18	35	46	20,23	17,81							
Rept Edif Chivirico		CC			29		19,32	17,25							

Puente Rio la Magdalena		conglomerado		24	11,65	24	20,0	17,02							
Villa Turquino		HRB			26	25	19,89	18,47							
Sala de video		SC			31	78		24,2							
Deslizamiento loma blanca		toba													
Cantera Chivirico-río seco		CL			45	72	14,48								
Puente S/ Arrollo naranjo		SC			28,9										
Albergue-cocina comedor	7,1	capa vegetal	0,6						SC	7,70	39	30,2		20,26	18
Desarrollo vivienda en Chivirico		OH		19	30,2		20,26	18,08							
Agrupación viviendas guamá		OL		12	31		20,05	1784							
Hotel Sevilla		SC		34	34										
Tanque villa turquino		SC			32	37	9,67	26,44							

Tribunal Municipal Chivirico	2	CL	1,2	29	35,3		18,45	15,63	SC	2,8	5	36,2		19,5	15,35
Puente S/S La plata		CL													
Puente alcantarilla S/R Magdalena	3,5	CL	1,2						SC	3	25		24	18,5	16,4

## Anexo 5

Obras	Nivel freático	Capa 1	Espesor (m)	N de SPT (golpes/30 cm)	LL	% finos	Yf (kn/m <sup>3</sup> )	Yd (kn/m <sup>3</sup> )	Capa 2	Espesor (m)	N de SPT (golpes/30cm)	LL	% finos	Yf (kn/m <sup>3</sup> )	Yd (kn/m <sup>3</sup> )
Escuela primaria Celia Sánchez		HRB					20,04	17,10	SM			47		18,70	15,78
Óptica		SC	1,50		44	45	19,29	15,72							
Remodelación Panadería		relleno	0,60						relleno	1,30					
Atelier		conglomerado	1,00	35	39,2	19	18,2	15							
Policlínico cruce los baños		CL	1,50		44	49	19,29	15,50							
Escuela especial Ciro Frías		OH	0,90												
ESBU Camilo Cienfuegos		CH			58	28	18,43								
Posta medica		SC	3,00		42		18,58	16,30							

## Anexo 6

Obras	Nivel freático	Capa 1	Espe sor (m)	N de SPT (golpes/30cm )	LL	% finos	Yf (kn/m3)	Yd (kn/m3 )	Capa 2	Espes or (m)	N de SPT (golpes/30cm )	LL	% fino s	Yf (kn/m3)	Yd (kn/m3 )	
ESBU Bungo #5		OH	2,8		72,6		18,12	14,45								
ESBU 600		OL	1,00		36,4		18,05	14,64	Arena s de grano s finos	1,60						
Planta de miel y cera		CH	0,60	52	54	59	19,50	15,70	CL	1,90	49	36	85	19,6	17,04	
Seminternado Primaria 600	6,5	CH			50	80	19,85	16,75	arenis cas y lutitas calcar eas							
Supermercado	8	OH	1,65	15			19,3	15,7	OH	0,85		83,3	90	16,6	11,8	
Policlínico tipo III	2			22	67,7		10,4	15,70	arcilla margo sa		40	51,2		19,3	15,7	
Ampliación gradas estadio	7,5	OH		18	54		19,50	15,58	arenis cas y lutitas calcar eas							
Fábrica de galletas		CL			42,2		19,1	15,11	limo con	2,40	16			17,3	15,14	

									arenas muy finas						
Almacén típico de Baire		SC	4	42	51,6		19,1	16,4	CL	1	42	38,8		18,66	15,11
Fábrica de pienso	4,6	CH	1,40	16	62		19,0	14,64	arcilla plástica		33	53,7		19,1	16,44
Estación de bombeo	5,10	CH					17,34	14,0						20	15,97
Planta potabilizadora		arenas de granos muy finos				41	16,2	16,03	caliza	5,10					
Tribunal municipal	1,10	ML					17,8	12,8	OH	3,60	8	68,8			12,8
Estación de bombeo arrollo blanco	3,93	GC			46		19,1	16,0	arena limosa			36			16,8
ESBU 1200	3,00	OL		42	41,5		19,15	15,63	areniscas y lutitas calcáreas						
Policlínico urbano	1,50	CL		21			18,1	14,3	arcilla margosa		36	39,9			14,3

Almacenes productos industriales		relleno		18	42, 2		19,1	15,6	limo con arena muy fina		16				14,1
Carretera Maffo		OH			83, 3	90	16,6	47,8	OH	2,30		73,7		87	12,6