

## **Susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en la ciudad de Caimanera, Guantánamo**

Liuska Fernández-Diéguez  
Irayaselis Bandera-Cuñat  
Rafael Guardado-Lacaba  
Ricardo Oliva-Álvarez

### **Resumen**

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.

**Palabras clave:** licuefacción de suelos; riesgo sísmico; efecto de sitio; ingeniería geológica.

## Soil susceptibility to liquefaction in the city of Caimanera, Guantánamo

### Abstract

The objective of the investigation is to evaluate the engineering and geological conditions of the soils in Caimanera, province of Guantánamo in order to identify the areas of higher seismic probabilities and soil susceptibility to liquefaction. The probability was analyzed to amplify the seismic waves taking into account the effect of the area depending on the physical and mechanical properties in the area of study. The sectors having favorable and unfavorable conditions for the construction of engineering works were characterized. The applied indicator system includes engineering and geological parameters and the calculation of the safety factor for liquefaction. It was concluded that the soils having a greater potential to liquefy are located to the center of the city with the largest population settlement and where the existing fill material behaves as clayey sand type soils and sandy clay soils with gravel.

**Keywords:** soil liquefaction; seismic risk; site effect; geological engineering.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los terremotos están entre los eventos geológicos más conocidos, por lo que existen registros y mapas de las zonas de mayor o menor frecuencia de ocurrencia de estos fenómenos. Los mapas de ocurrencia de terremotos muestran que en Centroamérica, el Caribe y Suramérica hay franjas alargadas, donde son muy comunes los terremotos potencialmente destructivos. En Cuba el peligro sísmico presenta una particularidad interesante que hace que su estudio sea para algunas áreas de carácter complejo. Esta particularidad consiste en el hecho de que en el archipiélago cubano concurren dos génesis de sismos dadas por la ubicación espacial y origen de los terremotos: sismos de entre placas y sismos de interior de placas (Chuy 2010).

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

Dado que el peligro y la vulnerabilidad representan una dupla inseparable en el análisis de riesgos, al investigar estos en un área se impone un paralelismo en la investigación, puesto que tan necesario es conocer los peligros que la acechan como la vulnerabilidad de sus habitantes (UNDRO 1991).

La licuefacción de los suelos es uno de los fenómenos potencialmente peligrosos más interesantes y controversiales temas de la ingeniería geotécnica. Sus efectos devastadores provocaron la atención de los ingenieros geotécnicos desde los terremotos de Alaska (USA) y Niigata (Japón), ambos ocurridos en 1964. Este se puede ver condicionado por el efecto de sitio que se entiende por modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie. Entre más blando sea el tipo de suelo que exista bajo la estación, mayor será la amplificación.

### **1.1. Investigaciones realizadas en Cuba**

En Cuba existen ambientes sedimentarios propicios para que se manifieste la licuefacción por sollicitación sísmica en cercanía a los grandes sistemas de fallas activas que cruzan la región oriental, donde se ubican ciudades de gran número de habitantes. El fenómeno de licuefacción en épocas pasadas causó grandes daños en algunas poblaciones, como la ciudad de Santiago de Cuba en 1932 y en Bayamo en 1947.

Para corroborar la posible ocurrencia de este fenómeno en la región oriental de Cuba se han realizado numerosas investigaciones, como la tesis de maestría (Fernández 2000) titulada *Posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción en la cuenca de Santiago de Cuba por terremotos fuertes*, donde el autor hace un mapa esquemático pronóstico de ocurrencia del fenómeno de licuefacción en Santiago de Cuba por terremotos fuertes. En la investigación se utiliza la combinación de forma automatizada de factores como la geología, geomorfología, sísmica y la información ingeniero-geológica.

El informe para el proyecto titulado *Mapa de riesgo sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba*, realizado por investigadores del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), evaluó 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 un espesor promedio de 10 m (García *et al.* 2002).

Rosabal (2011) expone una zonación de la licuefacción de los suelos, basada en el estudio de la incidencia de diferentes factores: suelos susceptibles, intensidad sísmica, aceleración horizontal efectiva, topografía, reportes históricos de licuefacción, entre otros y se identifican las zonas propensas a licuar y aquellas donde es baja o no existe este fenómeno. La investigación se ubica en el nivel o grado I de zonación (TC4-ISSMGE 1999). Se tuvo en cuenta solo la información geológica, desembocaduras de ríos, antiguos cauces o actual llanura fluvial.

Ordaz y otros investigadores (2013) enfocan su estudio 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. Para obtener los resultados se aplicaron los Criterios de Brandes (2003) y Seed & Idriss (1982).

La autora de esta investigación propone y aplica un sistema de indicadores que permite caracterizar el área de estudio y calcular el factor de seguridad para la licuefacción. Se obtuvo un esquema de susceptibilidad a la licuefacción a partir de interpretar factores como la geología, nivel freático y las propiedades físicas y mecánicas; ello permitió calcular el factor de

seguridad para la licuefacción (FSL) revelando sectores de valores alto, medio y bajo. Esta investigación es de gran actualidad 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 (Fernández-Diéguez *et al.* 2016).

La presente investigación se propone evaluar el potencial de licuefacción de la ciudad de Caimanera, provincia de Guantánamo, partiendo de las condiciones ingeniero-geológicas que pueden propiciar la amplificación de las ondas sísmicas, teniendo en cuenta el efecto de sitio.

## 1.2. Ubicación geográfica

Caimanera es uno de los 10 municipios que componen la actual provincia de Guantánamo. Está situada a 17 km de la ciudad de Guantánamo (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica del municipio Caimanera, provincia de Guantánamo, Cuba.

Al estar ubicada en la franja costera del sur de Cuba forma parte del llamado semidesierto cubano (Arencivia 2002). Presenta suelos aluviales de arcillas sobre calizas y areniscas. Los elementos geográficos de esta parte de la provincia le confieren características *sui generis*, tanto en la flora, en la fauna y en la actividad antrópica. El litoral está rodeado de un área cenagosa y manglares que han ido desapareciendo con el paso del tiempo (Plá & Arencivia 2005).

### **1.3. Características hidrográficas**

La red hidrográfica está poco desarrollada, solamente corre el río Guantánamo a unos 3 km al oeste, aunque existe una red de canales, debido al sistema deltaico presente en el territorio. Los sedimentos deltaicos son areniscas de finas a muy finas, estratificadas, que en ocasiones forman lentes.

### **1.4. Geología regional**

En la región se encuentran las formaciones geológicas San Luis, Río Macío, Jutía, Maquey, Jamaica y Boquerón. En la estructura geológica del área están desarrollados los sedimentos del Pleistoceno actual (mQ IV); estos sedimentos se extienden a lo largo de la línea litoral, hasta la cota absoluta actual de 2 m, yacen principalmente sobre los sedimentos antiguos aluviales-marinos, raramente sobre las rocas de la formación San Luis. Están representados principalmente por arcillas cienosas y cienos azulados oscuros y fuertemente salinizados. Las arcillas tienen gran cantidad de restos orgánicos y conchas marinas actuales. El espesor varía de 1 m a 1,5 m. En algunos casos los sedimentos están destruidos por la abrasión actual y las rocas que se extienden debajo afloran en superficie. Además de los sedimentos descritos anteriormente hay que mencionar la presencia de una capa de poco espesor (0,2-0,5 m) sobre las rocas originarias que afloran sobre la superficie antigua; esta capa está representada por el aluvio transformado en suelo (Plá & Arencivia 2005), tal como se muestra en la Figura 2. La ciudad de Caimanera se encuentra emplazada principalmente sobre los depósitos palustres y depósitos limo-arenosos.

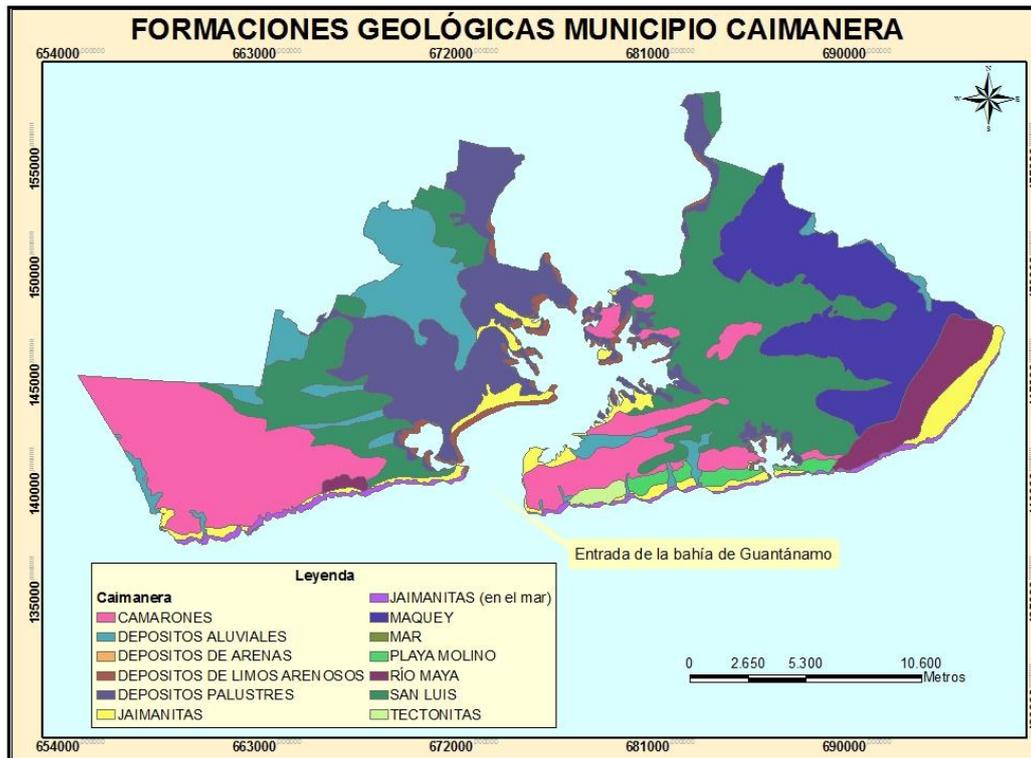


Figura 2. Esquema de las formaciones geológicas que componen el municipio de Caimanera, provincia de Guantánamo, Cuba (Fuente: GEOCUBA Guantánamo).

### 1.5. Características ingeniero-geológicas de la región

Dentro de los límites del territorio estudiado se distinguen dos capas: la primera está representada por los sedimentos actuales marinos (aQIV), desarrollados a lo largo de la línea litoral hasta la cota absoluta actual de 2 m. Estos sedimentos son arcillas cienosas y cienos, con gran cantidad de restos orgánicos. Su espesor es de 1 m a 1,5 m y yacen principalmente sobre los sedimentos aluviales marinos.

La segunda capa corresponde a los sedimentos aluviales marinos (am Q III) que están extendidos en el área hasta las cotas absolutas actuales de 20-25 m. Se encuentran en el valle llano litoral-marino, en el curso inferior de los ríos. Yacen sobre la superficie accidentada de las rocas de la formación San Luis. Están representados por arcillas pesadas y limosas, laminares, a veces con intercalaciones de cienos, en la parte baja del perfil a menudo son arenosas, con intercalaciones de gravas, arenas, guijarros en el agregado arcilloso; en los sedimentos se encuentran restos de conchas y la potencia puede llegar en algunos lugares a 6,0 m (Plá & Arencivia 2005).

Según la Norma sísmica NC 46-1999 (propuesta de norma 2013) el área de estudio se encuentra en la zona 5, de riesgo sísmico muy alto, que puede

ocasionar daños en las construcciones, debiéndose tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima del terreno para cálculo ( $S_a$ ) estarán entre 0,80-1,10 g para periodos cortos ( $S_s$ ) y entre 0,30-0,50 g para periodos largos ( $S_l$ ).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales

Se estudiaron los informes ingeniero-geológicos realizados para la construcción de obras ingenieriles por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de Santiago de Cuba. Se valoraron las condiciones naturales del área y sus propiedades físico-mecánicas, cuyos valores fueron generalizados y promediados con métodos estadísticos, de forma sencilla.

De los 97 informes existentes en el archivo de la ENIA en Santiago de Cuba se revisaron 88, que eran los existentes en ese momento en el archivo. Solo 27 informes contenían toda la información para la confección del esquema ingeniero-geológico por tipo de suelos de la ciudad de Caimanera. De un total de 27 informes de obras investigadas (Tabla 1) solo se pudo trabajar con 20, dado que estos son los que contaban con la mayoría de la información que se necesitaba para realizar el cálculo del CSR, CRR y, finalmente, del FSL.

Tabla 1. Informes ingenieros geológicos utilizados para determinar la susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en la ciudad de Caimanera

Nombre de la obra estudiada	PNF	Capa 1	Capa 2	Capa 3	Capa 4	Capa 5
Ampliación Escuela Wilfredo Gonze	9,2	CV	CL	SC/CL		
Ampliación policlínico tipo G	0,4	CV	OL	CL	OL	
Círculo Infantil	0,6	OL	OL	SC		
Consultorio con viviendas		OL	OL	SC	Marga	Lutita
Escuela Especial	1,4	OL	OL	SC	SM	
Fisioterapia y Rehabilitación con fango	3,27	CV	SC	SC	CL	SM
Funeraria	0,6	SM	CL	SC	CL	
Hotel	2,6	GC	Lutita			
Hotel Caimanera		CL	GP			
Lavatín	0,5	OL	OL	SC	SC	
Minimercado No 2	1,4	OL	OL	SM		

Muro del Malecón	1,2		CL				
Panadería y Dulcería	3,5	CL	SM				
Policlínico Tipo G Modificado	2,5	CL	OL	SM	Lutita		
Secundaria Básica Guantánamo # 7		CV	CL				
Sede UJC	1,03	SC	CL	SM			
Sede universitaria	0,47	CL	CH	OL		SM	
Seminternado	1,6	CL	OL	SM/SC	Marga	Lutita	
Servicentro de Caimanera	0,5	GC	OL	CL/ML	OL		
Sucursal Bandec	0,9	CL	CL/ML		OL		
Supermercado	2	CL	OL				
Terminal Marítima Cerca de Playa Tokyo, ESBU 600, Lavatín, etc.	1,8		CL	CH	Lutita		
Terraplén Rpto 19 de D terreno de beisbol	1,3	SC	CL	CL	CH	OL	
Vivienda Zona Deportiva	1,65	SC	CL	SC	OL	SM	
Viviendas Caimanera Playa Tokio			CL	MH/CH	SM/SC		
Viviendas para médicos el Cañito	1,7	CL	CL	PT			
Viviendas entrada	0,85	SC	CL	CL	SM		

## 2.2. Métodos

Existen varias metodologías para determinar si un suelo puede licuar bajo condiciones específicas, entre las que se encuentra la propuesta por Seed & Idriss (1982), la cual plantea que:

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

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

El potencial de licuefacción se determinó mediante el cálculo del factor de seguridad propuesto por Seed & Idriss (1971) y modificado por Robertson & White (1997). Se calcula mediante la fórmula siguiente:

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

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

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

$$CRR = \frac{1}{34 - N} + \frac{N}{13,5} + \frac{50}{[10N + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

Esta ecuación es válida para los (N1)  $60 < 30$ . Para (N1)  $60 \geq 30$ , 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 (Liao & Whitman 1986):

$$C_N = \left(\frac{1}{\sigma'_v}\right)^{0,5}$$

$$N_1 = N \cdot C_N$$

donde:

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

$\sigma$ , v = tensión efectiva vertical en atmósferas.

La resistencia del suelo queda representada por (N1, 60), la cual es la cantidad de golpes del SPT corregido para una presión de sobrecarga efectiva de 1 t/pie<sup>2</sup> ( $\approx 1 \text{ kg/cm}^2$ ) 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:

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

En la Tabla 2 se recogen los factores que intervienen en la estimación del número de golpe normalizado (N1, 60).

Tabla 2. Correcciones a SPT (Skempton 1986)

<b>Factor</b>	<b>Variable de Equipo</b>	<b>Término</b>	<b>Corrección</b>
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	$C_B$	1,0

Diámetro de la perforación	150 mm	C <sub>B</sub>	1,05
Diámetro de la perforación	200 mm	C <sub>B</sub>	1,15
Longitud de la barra	< 3 m	C <sub>R</sub>	0,75
Longitud de la barra	3 – 4 m	C <sub>R</sub>	0,80
Longitud de la barra	4 – 6 m	C <sub>R</sub>	0,85
Longitud de la barra	6 – 10 m	C <sub>R</sub>	0,95
Longitud de la barra	10 – 30 m	C <sub>R</sub>	1,0
Muestreo	Muestreador estándar	C <sub>S</sub>	1,0
Muestreo	Muestreador sin ademe	C <sub>S</sub>	1,1 – 1,3

Otro de los métodos empleados fue el de Seed & Idriss (1971). Según este método, el suelo licuará si la razón de tensión tangencial cíclica (CSR), producida por un sismo, es mayor que la resistencia tangencial del suelo:

$$CSR = 0,65 (a_{max} / g) (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) r_d$$

Donde:

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 & Witman 1986), para la práctica de ingeniería rutinaria, en proyectos no críticos, proponen las siguientes ecuaciones para estimar el  $r_d$ :

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

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

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

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El esquema muestra los tipos de suelos existentes en la zona de estudio (Figura 3) para una profundidad de un metro. Se aprecia que una vez retirada la capa vegetal predominan los suelos creados por el hombre como relleno para ampliar el fondo habitacional, los que se clasifican como: SC (arenoso arcilloso), SM (arena limosa), CL (arcilla limosa de baja plasticidad) y GC (grava arcillosa), de acuerdo a la clasificación dada por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En las columnas

litoestratigráficas que se muestran a continuación (Figura 4) se aprecian los sectores con condiciones para licuar, dadas las características del suelo antes mencionado.

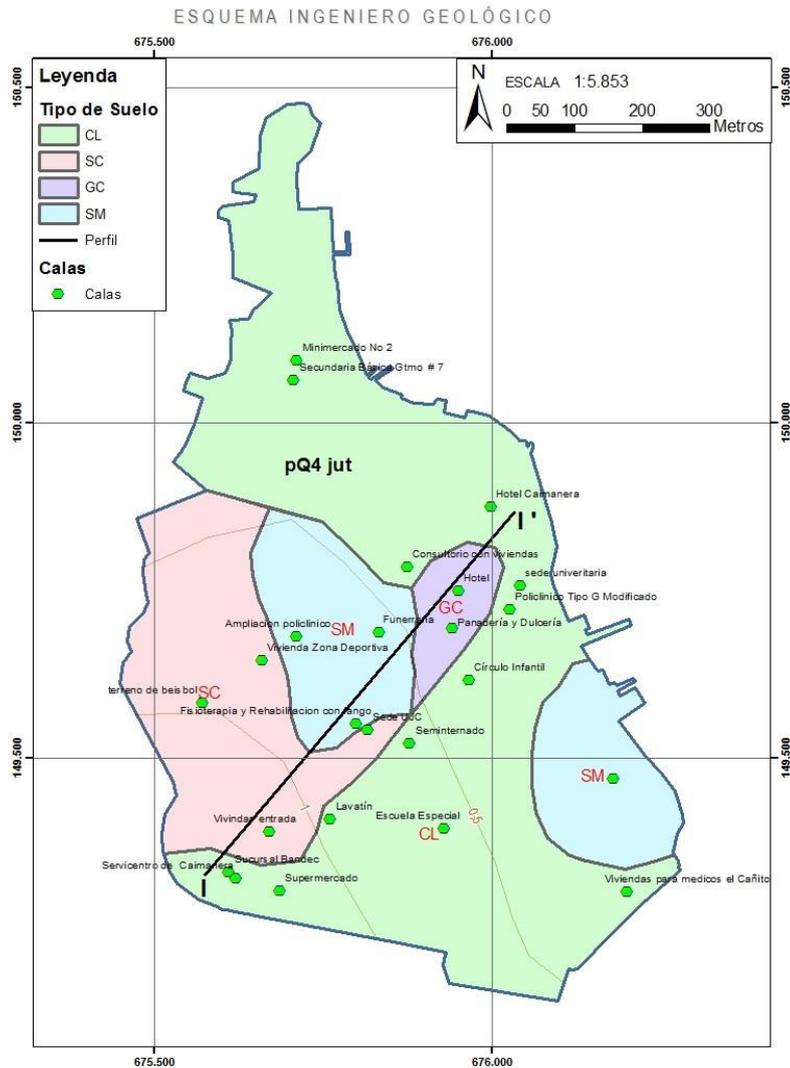


Figura 3. Esquema ingeniero-geológico a partir del tipo de suelo de la ciudad de Caimanera, provincia de Guantánamo.

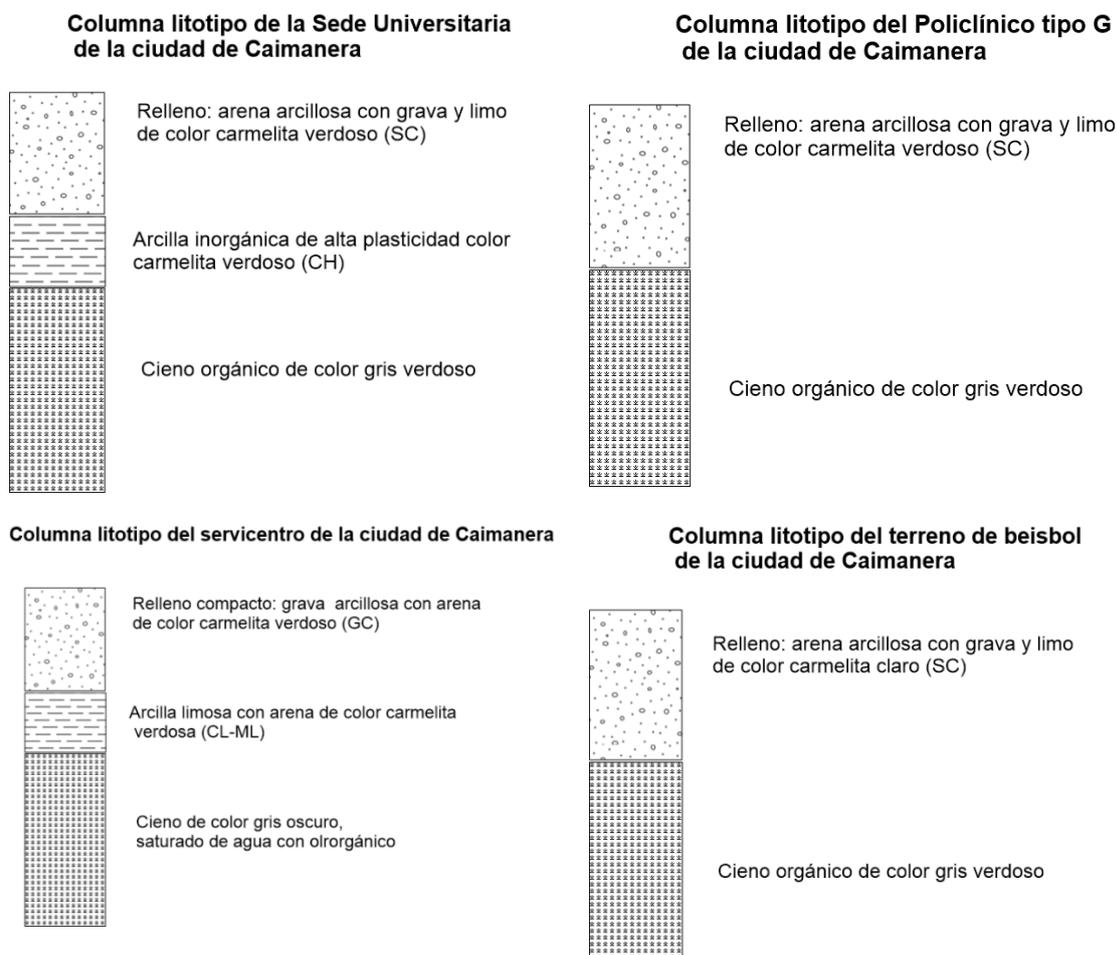


Figura 4. Columna litoestratigráfica esquemática de los suelos con condiciones para licuar en la ciudad de Caimanera, provincia de Guantánamo.

Los sectores de alta susceptibilidad a la licuefacción están dados por los resultados del cálculo en las capas donde el  $FSL < 1$ . Se considera licuefacción media cuando el resultado de  $FSL \approx 1$ . La susceptibilidad baja se le asigna a las áreas donde el  $FSL > 1$ . Aunque en algunas áreas no se pudo calcular el FSL por falta de datos, los valores de los ensayos de laboratorio de los estratos coinciden con los reportados en otra zona de media y alta susceptibilidad y las propiedades físicas y mecánicas están en el rango que proponen los autores Seed & Idriss (1971) y Wang (1979).

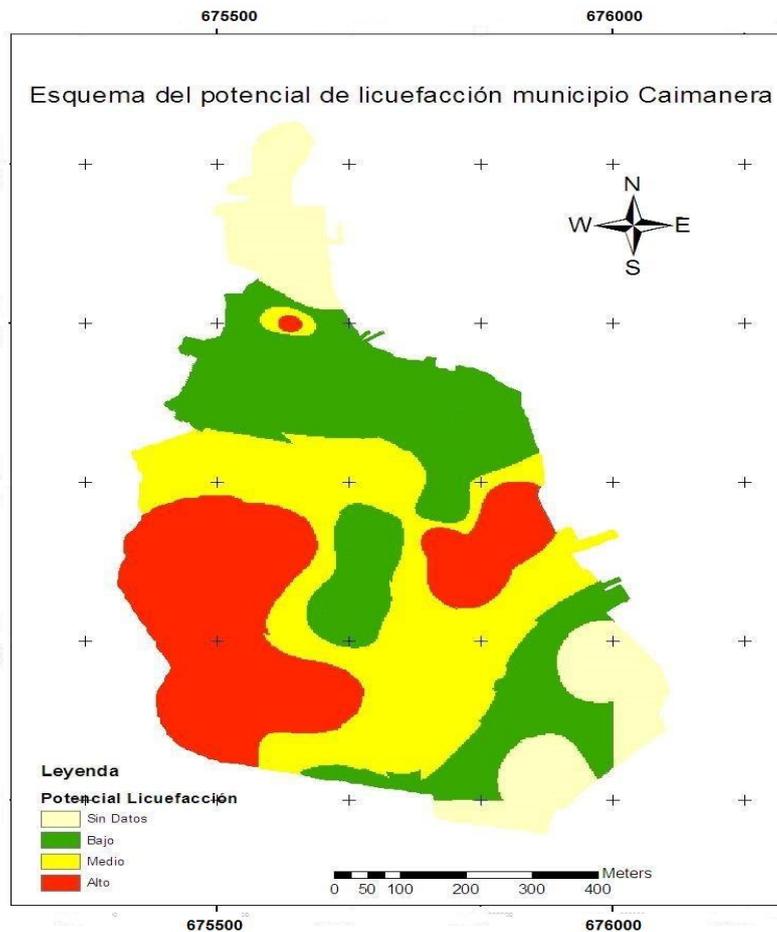


Figura 5. Esquema del potencial de licuefacción en el municipio Caimanera, provincia de Guantánamo.

Del esquema pronóstico de susceptibilidad a la licuefacción ante terremotos fuertes se concluye que el potencial está distribuido entre alto, medio y bajo. El esquema se confeccionó para un sismo de diseño, aunque hay zonas que son licuables ante un sismo de magnitud 6 (Tablas 3 y 4). Las principales que se verán afectadas por estar en una zona susceptible a la licuefacción son las siguientes:

Potencialmente licuables: Policlínico tipo G, Círculo Infantil, Lavatín, Minimercado No. 2, Panadería y Dulcería, Sede Universitaria, Servicentro, Terreno de Beisbol, Viviendas zona deportiva.

La ciudad de Caimanera se localiza encima de sedimentos de pantano, representados por arcilla arenosa plástica y arenas finas arcillosas, con poca materia orgánica. Las cotas son muy estables entre los primeros metros y el relieve es casi llano. Los valores del nivel freático fluctúan desde 0,5 m de profundidad hasta 3 m en casos aislados, lo que indica que hay poca variación. Los valores de límite líquido, índice de plasticidad, índice de liquidez y valor en porcentaje de finos son poco variables, coincidiendo los

valores al tipo de suelo, según la clasificación del SUCS para suelos licuables.

El estrato licuable está formado por los suelos tipo arena arcillosa (SC), arena limosa (SM) y arcilla limosa con arena (CI/MI), en menor grado.

Las características ingeniero-geológicas de los suelos de Caimanera cumplen algunas de las condiciones para que el suelo sea licuable, aspecto que es impredecible, pero que sí es posible evitar que afecte a gran parte de la población.

Tabla 3. Resultado del cálculo de CSR y CRR para cada capa de las obras

<b>Obra</b>	<b>PNF</b>	<b>EspCap1</b>	<b>EspCap2</b>	<b>EspCap3</b>	<b>CSR 1</b>	<b>CSR 2</b>	<b>CSR 3</b>	<b>CRR 1</b>	<b>CRR 2</b>	<b>CRR 3</b>
Ampliación policlínico	0,40	0,20	1,91	2,91		0,29	1,03		0,05	0,05
Círculo Infantil	0,60	2,80	7,70	8,70		0,58	0,35		0,05	0,05
Consultorio con viviendas	0,50	1,90	1,50	2,50		0,29			0,05	0,05
Escuela Especial	1,40	1,10	13,00	10,00		0,38	0,26		0,05	0,05
Fisioterapia y Rehabilitación con fango	1,41	0,80		2,40		0,19				0,05
Lavatín	0,50	1,80	4,20	5,20		0,56	1,04		0,05	0,05
Minimercado No 2	1,40	1,50	13,80	14,80		0,87	0,33		0,05	0,05
Panadería y Dulcería	3,50	1,80	4,30	5,30		0,18	0,25		0,05	0,05
Policlínico Tipo G Modificado	2,50	1,70	4,30	5,30	0,20	0,23		0,05	0,05	
Sede UJC	1,03	1,38	0,46	3,50	0,19	0,27		0,05		0,05
Sede universitaria	0,47	1,22	1,90	2,90	0,24	0,76	0,28	0,05	0,05	0,05
Seminternado	1,60	1,80	8,00	9,00	0,18			0,05		
Servicentro de Caimanera	0,50	1,70	0,80	10,00	0,28	0,35	0,33	0,05	0,05	0,05
Sucursal BANDEC	0,90	1,13	0,93	10,00	0,19	0,35	0,31	0,05	0,05	0,05
Supermercado	2,00	3,30	19,20	20,20	0,22			0,05		
terreno de beisbol	1,30	1,60	1,50	3,00	0,18	0,25	0,25	0,05	0,05	0,05
Vivienda Zona Deportiva	1,65	3,07	1,40	2,22	0,22	0,25	0,27	0,05	0,05	0,05
Viviendas para médicos el Cañito	1,70	1,20	0,60	5,50	0,24			0,05	0,05	0,05
Viviendas entrada	0,85	1,21	3,75	4,75	0,18	0,40		0,05	0,05	0,05

Tabla 4. Cálculo del Factor de seguridad contra la licuefacción para sismo de magnitud 6 y 6,5

<b>Nmb</b>	<b>FSL 6 Capa1</b>	<b>FSL 6 Capa2</b>	<b>FSL 6 Capa3</b>	<b>FSL 6,5 Capa1</b>	<b>FSL 6,5 Capa2</b>	<b>FSL 6,5 Capa3</b>
Ampliación Policlínico		1,32	0,10		1,08	0,08
Círculo Infantil		0,19	0,73		0,16	0,59
Consultorio con viviendas		0,43			0,35	
Escuela Especial		0,30	-3,98		0,24	-3,24
Fisioterapia y Rehabilitación con fango		0,00			0,00	
Lavatín		0,20	0,24		0,16	0,20
Minimercado No 2		0,13	0,77		0,11	0,63
Panadería y Dulcería		0,68	1,05		0,55	0,85
Policlínico Tipo G Modificado	0,43	1,10		0,35	0,90	
Sede UJC	1,99	0,00		1,62	0,00	
Sede Universitaria	5,66	0,22	0,37	4,61	0,18	0,30
Seminternado	0,69			0,56		
Servicentro de Caimanera	1,35	0,54	0,32	1,10	0,44	0,26
Sucursal Bandec	29,68	0,35	0,34	24,18	0,28	0,27
Supermercado	0,51			0,42		
Terreno de beisbol	2,77	0,42	0,85	2,26	0,34	0,69
Viviendas Zona Deportiva	1,58	0,57	0,53	1,28	0,47	0,43
Viviendas para médicos, el Cañito	2,08			1,69		
Viviendas entrada	1,76	0,47		1,43	0,38	

#### 4. CONCLUSIONES

- El área de estudio, por estar situada en el delta del río Guantánamo, está representada por sedimentos cuaternarios de la Fm. Jutía, donde se destacan suelos poco cohesivos, friables y órgano-detriticos con alto grado de saturación. Teniendo en cuenta la granulometría y la plasticidad, se clasifican como arcilla limosa, arena arcillosa, arena limosa y grava con arcilla. Los suelos de arena arcillosa y arena limosa identificados en el área de estudio son proclives a la ocurrencia de la licuefacción. La zona de mayor riesgo sísmico se localiza hacia la porción central de la ciudad de Caimanera.

## 5. REFERENCIAS

- ARENCIVIA, E. 2002: Ingeniería de detalle Abasto Caimanera. UEBPI. Guantánamo. Informe Ingeniero-Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.
- CHUY, R. 2010: Modelo del peligro sísmico de la provincia de Santiago de Cuba. Archivos CENAI. Santiago de Cuba.
- FERNÁNDEZ, B. 2000: *Posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción en la cuenca de Santiago de Cuba catalizado por terremotos fuertes*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.
- FERNÁNDEZ-DIÉGUEZ, L.; GUARDADO-LACABA, R.; HERRERA-DELFIN, I.; OLIVA-ÁLVAREZ, R. & DÍAZ-SANTO, P. 2016: Escenarios susceptibles a la licuefacción inducida por sismos de gran magnitud en Santiago de Cuba. *Minería y Geología* 32(2): 53-69.
- GARCÍA, J.; ARANGO, E.; ZAPATA, J.; FERNÁNDEZ, B.; CHUY, T.; MONNAR, O.; REYES, C. & OLIVA, R. 2002: Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 165 p.
- LIAO, S. S. & WHITMAN, R. V. 1986: Overburden Correction Factors for SPT in Sand. *Journal of Geotechnical Engineering* 112(3): 373-377.
- ORDAZ, A.; HERNÁNDEZ-SANTANA, J. R.; CHUY, T. J. & GARCÍA, J. A. 2013: La susceptibilidad a la licuefacción en el emplazamiento de la ciudad de San Cristóbal, Cuba Occidental. *Minería y Geología* 29(2): 1-15.
- PLÁ, M. & ARENCIVIA G. E. 2005: Drenaje pluvial Caimanera. Informe Ingeniero-Geológico. ENIA. Santiago de Cuba.
- ROSABAL, D. Y. 2011: Zonación preliminar de la licuefacción de los suelos en la región de Cuba Oriental. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos101/zonacion-preliminar-licuacion-suelos-region-cuba-oriental/zonacion-preliminar-licuacion-suelos-region-cuba-oriental.shtml>.2014.
- SEED, H. B. & IDRIS, I. M. 1971: Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Division* 97(9): 1249-1273.
- SEED, H. B. & IDRIS, I. M. 1982: Ground motions and soils liquefaction during Earthquakes. Technical report, Earthquake Engineering Research Institute.
- SKEMPTON, A. W. 1986: Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and over consolidation. *Geotechnique* 36(3): 425-447.
- TC4-ISSMGE 1999: *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards* (Revised Version). Japanese Geotechnical Society, 114 p.

UNDRO'S MITIGATING NATURAL DISASTERS. 1991: Phenomena, Effects and Options. A Manual for Policy Makers and Planners. United Nations, p. 3-28.

**Liuska Fernández-Diéguez**, [lfernandez@ismm.edu.cu](mailto:lfernandez@ismm.edu.cu)

Máster en Geología.  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba

**Irayaelis Bandera-Cuñat**

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba

**Rafael Guardado-Lacaba**, [rguardado@ismm.edu.cu](mailto:rguardado@ismm.edu.cu)

Doctor en Ciencias Técnicas.  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba

**Ricardo Oliva-Álvarez**, [oliva@cenais.cu](mailto:oliva@cenais.cu)

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba