

Regularidades de los suelos de Río Cauto, San Cristóbal y Santiago de Cuba con evidencias de licuefacción

Leysa Madian Peña Fernández

lpfernandez@geologia.ismm.edu.cu

Liuska Fernández Diéguez

Universidad de Moa (Cuba).

Resumen: Se evaluaron las condiciones ingeniero-geológicas de los suelos susceptibles a la licuefacción en los municipios Río Cauto, San Cristóbal y Santiago de Cuba ante sismos de gran magnitud para un futuro ordenamiento urbano y territorial y la reducción del riesgo de desastres. El estudio se llevó a cabo mediante un sistema de indicadores que resumen las características más influyentes en la respuesta del suelo como: geología, sismicidad, profundidad del nivel freático y condiciones ingeniero geológicas, las cuales fueron evaluadas. Las principales litologías identificadas susceptibles a licuar son: gravas arcillosas (GC) y arenas arcillosas (SC), sedimentos cuaternarios, fundamentalmente de génesis fluvial. Los cuales se caracterizan por tener bajo porcentaje de finos, límite líquido menor de 35 %, de baja a moderada compactación y alta saturación. Los valores del nivel freático se encuentran en los primeros cinco metros. Las condiciones ingeniero geológicas entre los tres sectores analizados no son coincidentes, pero presentan similitudes respecto a los indicadores para que un suelo sea susceptible a la licuefacción, lo que demuestra que en estas áreas puede presentarse el fenómeno de licuefacción ante la ocurrencia de un sismo.

Palabras clave: licuefacción; sismo; susceptibilidad sísmica.

Regularities of the soils of Río Cauto, San Cristóbal and Santiago de Cuba with evidence of liquefaction

Abstract: The engineering-geological conditions of the soils susceptible to liquefaction in the municipalities of Río Cauto, San Cristóbal and Santiago de Cuba were evaluated against earthquakes of great magnitude for future urban and territorial planning and disaster risk reduction. The study was carried out through a system of indicators that summarize the most influential characteristics in the soil response such as: geology, seismicity, water table depth and geological engineering conditions, which were evaluated. The main identified lithologies susceptible to liquefying are: clay gravels (GC) and clay sands (SC), quaternary sediments, mainly of river genesis. Which are characterized by having a low percentage of fines, liquid limit less than 35%, low to moderate compaction and high saturation. The water table values are in the first five meters. The geological engineering conditions between the three sectors analyzed are not coincidental, but they show similarities with respect to the indicators so that a soil is susceptible to liquefaction, which shows that in these areas the phenomenon of liquefaction can occur in the event of an earthquake.

Key words: Liquefaction; earthquakes, seismic susceptibility.

Introducción

Las condiciones en que los suelos granulares pierden una parte significativa de su resistencia, bajo la acción de un sismo, no han sido completamente comprendidas y en consecuencia, representan un magnífico campo de investigación (Mussio, 2012).

El fenómeno de licuefacción (González, 2013) se manifiesta en la superficie del terreno por la formación de grietas, hundimientos de terreno, asentamientos diferenciales de estructuras, "golpes de agua" (surgimiento de agua) y volcanes de arena. Los dos últimos son producto del súbito aumento de la presión de agua de poros ocasionado por la vibración del terreno, forzando al fluido a fluir rápidamente a la superficie. Si el flujo asciende lo suficientemente rápido se generan "golpes de agua".

Hasta el presente, no es posible realizar un pronóstico certero del momento en el que sucederá un evento sísmico, pero sí se puede identificar y caracterizar los escenarios expuestos a este fenómeno y las pérdidas potenciales ante su ocurrencia, dado que se conocen las condiciones físicas de su formación y la probable fuerza con que puede ocurrir, además de conocer las condiciones de los suelos que permitan definir el comportamiento de ellos ante estos eventos y su caracterización, para así poder diseñar un mejor reordenamiento territorial en Cuba.

La propuesta de este trabajo es caracterizar las condiciones ingeniero geológicas de los suelos donde existen reportes de licuefacción: Río Cauto, San Cristóbal y Santiago de Cuba, que permita un futuro ordenamiento urbano y territorial, así como la reducción del riesgo de desastres.

Indicadores para el estudio de la susceptibilidad a la licuefacción de los suelos

Para evaluar el potencial de licuefacción se utilizará un sistema de indicadores propuesto por Fernández-Diéguez (2015), en el cual se unifican los parámetros propuestos por diversos autores (Seed y Idriss, 1971); (González de Vallejo *et al.*, 2002); (Kramer & Stewart, 2004) y requisitos obtenidos de la revisión de análisis de casos, donde se propuso con un orden lógico los parámetros que deben cumplirse para que un suelo sea potencialmente licuable. Después de una revisión de las metodologías propuestas por los autores antes mencionados, se elaboró una propuesta que brindó un orden y permitió cuantificar el fenómeno.

Metodología aplicada para evaluar la susceptibilidad a la licuefacción ante sismos de gran magnitud en las áreas de estudio

Para evaluar el comportamiento del suelo en los sectores de estudio se plantea una metodología enfocada en la caracterización ingeniero geológica, que permita demostrar que en estas áreas donde hay reportes históricos de licuefacción, las características de los suelos realmente propiciaron la ocurrencia de este fenómeno. Se evalúa a partir de los criterios establecidos por los autores: Seed & Idriss (1971), Youd & Idriss (1998) y Fernández-Diéguez (2015).

Análisis de las condiciones geológicas

Río Cauto

Cuenca sedimentaria Cauto: El basamento de la cuenca del Cauto lo ocupan las rocas del Arco Volcánico Cretácico con su cobertura Campaniano-Maastrichtiano de composición siliciclásticos-carbonatada. Estas rocas están constituidas por micritas de color gris oscuro, fétidas, masivas, carsificadas en forma de lapiez. Hacia el centro este de la cuenca también afloran rocas cretácicas en la región de Babiney (García, Iturralde & Pindell, 2008).

Formaciones cuaternarias (Con propiedades a licuar):

-Formación Río Macío Pleistoceno. Está compuesta por depósitos de valles aluviales de composición y granulometría heterogénea.

-Formación Cauto del Pleistoceno Superior, parte baja. Se formó en depósitos aluviales y deluviales, con alguna influencia marina cerca de la desembocadura del río Cauto, que debe haber sido mayor durante las transgresiones del Plioceno y el Cuaternario. Se extiende por todo el Valle del río Cauto. Las litologías principales son arcillas, limos, arenas, gravas polimícticas y conglomerados polimícticos, con estratificación horizontal y cruzada, predominando la horizontal. Coloración gris, gris pardusco y amarillo grisáceo. Las arenas son de grano fino hasta grano grueso. Generalmente están mal seleccionadas y casi siempre contienen arcillas. El porcentaje de arcillas es variable y puede alcanzar hasta un 80 %-90 %. Estas arenas forman capas que casi siempre contienen gránulos, cuyo diámetro puede variar entre 0,5 cm hasta 23 cm. Su material es vulcanógeno y, menos frecuentemente, de calizas y jaspeoides (Peña, 2018).

-Sedimentos aluviales del Holoceno. Se extiende en el cauce de los ríos, orilla y en la desembocadura de estos. Se observa una potente secuencia de los sedimentos aluviales, capa vegetal, bloques, gravas, cantos rodados, arenas no consolidadas y aleurolitas subordinadamente arcillas.

Litologías predominantes: arcillas, limos, arenas, gravas polimícticas y conglomerados polimícticos.

Origen de los depósitos: Aluviales recientes, deluvial y aluvial marino, relacionados fundamentalmente con los planos de inundación del río Cauto.

San Cristóbal

Cuenca sedimentaria Los Palacios: La columna estratigráfica está constituida por rocas sedimentarias y vulcano-sedimentarias, que sobreyacen discordantemente al basamento ofiolítico. Este yace a unos 3 km de profundidad y está conformado por restos de corteza oceánica, representados por un complejo ultramáfico de gabros, serpentinitas, basaltos y otras rocas (Ordaz *et al.*, 2013).

Formaciones cuaternarias:

-Formación Guane del Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior. Litología: arenas silíceas, arcillas arenosas, gravas (angulosas y subangulosas) débilmente cementadas por arcillas. Presentan estratificación indefinida lenticular y más raramente cruzada. En su parte alta contiene concreciones ferruginosas y hardpan. Colores abigarrados. Yace transgresivamente sobre las formaciones Capdevila y Paso Real. Está cubierta discordantemente por la formación Guevara. Según datos de perforaciones puede alcanzar hasta 50 m de espesor (Kartashov, 1976).

-Formación Guevara del Pleistoceno Inferior-Medio, formada por arcillas y arenas arcillosas abigarradas, con gravas y a veces guijarros (Kartashov, 1976).

-Acumulaciones cuaternarias, tanto de génesis fluvial como lacustre, representadas por depósitos aluviales recientes y deluvios. Los primeros están constituidos por limos, limos arenosos y arcillas arenosas, mientras que los segundos son suelos de composición arcillosa con gravas (Ordaz *et al.*, 2013).

Litologías predominantes: arcillas arenosas débilmente cementadas, conglomerados, gravas, arenas y limos.

Origen de los depósitos: Aluviales recientes, relacionados fundamentalmente con los planos de inundación y las terrazas bajas del río San Cristóbal.

Santiago de Cuba

Cuenca sedimentaria Santiago: En su parte central y meridional presenta alternancia de calizas biodetríticas, calizas limosas y limoso-arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas, conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas, tamorfizadas hacia el sureste principalmente.

Formaciones Cuaternarias:

-Formación Jaimanitas del Pleistoceno Superior. Constituida por calizas biodetríticas, masivas, cársicas y fosilíferas, calcarenitas y a veces margas. El espesor medio de esta formación parece ser de 8 m a 10 m. Presenta marcadas formas de carso superficial de tipo lapiés.

-Formación Camaroncito del Pleistoceno Superior. Compuesta por calcarenitas laminares de grano medio a grueso, bien cementadas, con diseminaciones de gravas polimícticas predominantemente finas. La coloración es abigarrada.

- Por último aparecen en las formaciones más recientes los depósitos marinos, arenas, guijarros de playas y bancos de tormenta (m Q1v) y otros depósitos de tipo aluvial (al Q1v) compuestos por lino gris y pardusco, linos arenosos y arcillas arenosas.

-- Miembro Tejar. Se desarrolla en los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba, prolongándose en forma discontinua hacia ella. Se observa una alternancia de calizas biodetríticas, calizas limosas y limoso-arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas. Colores crema en los carbonatos, y gris verdoso y pardusco abigarrado en los sedimentos terrígenos.

Litologías Predominantes: arcillas arenosas, gravas, arenas, areniscas polimícticas, calizas y calizas limoso-arcillosas.

Origen de los depósitos: aluviales recientes y fluvial.

Representación esquemática de las formaciones geológicas por región de estudio

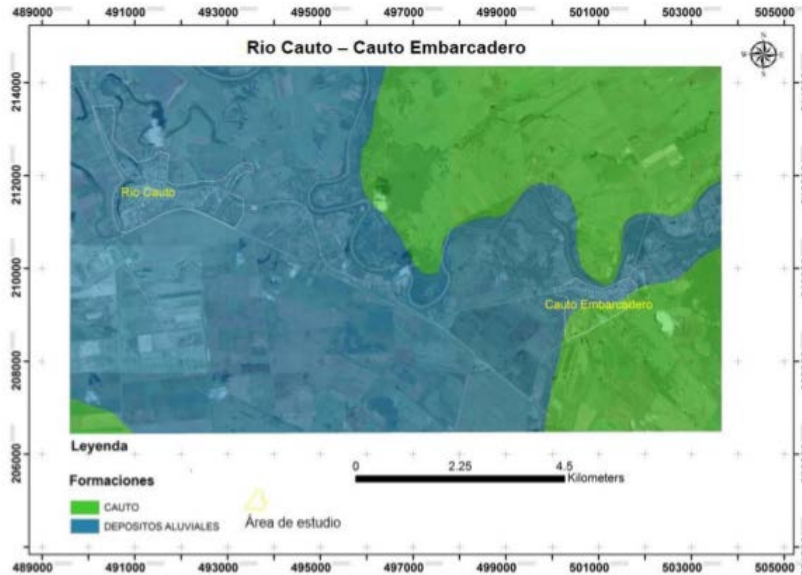


Figura 1. Representación esquemática de las formaciones en Río Cauto–Cauto Embarcadero.

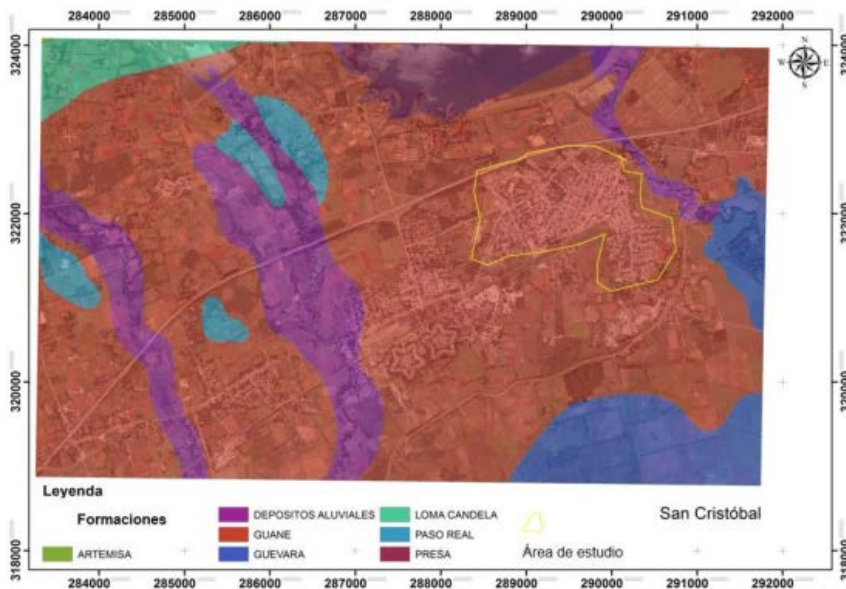


Figura 2. Representación esquemática de las formaciones en San Cristóbal.

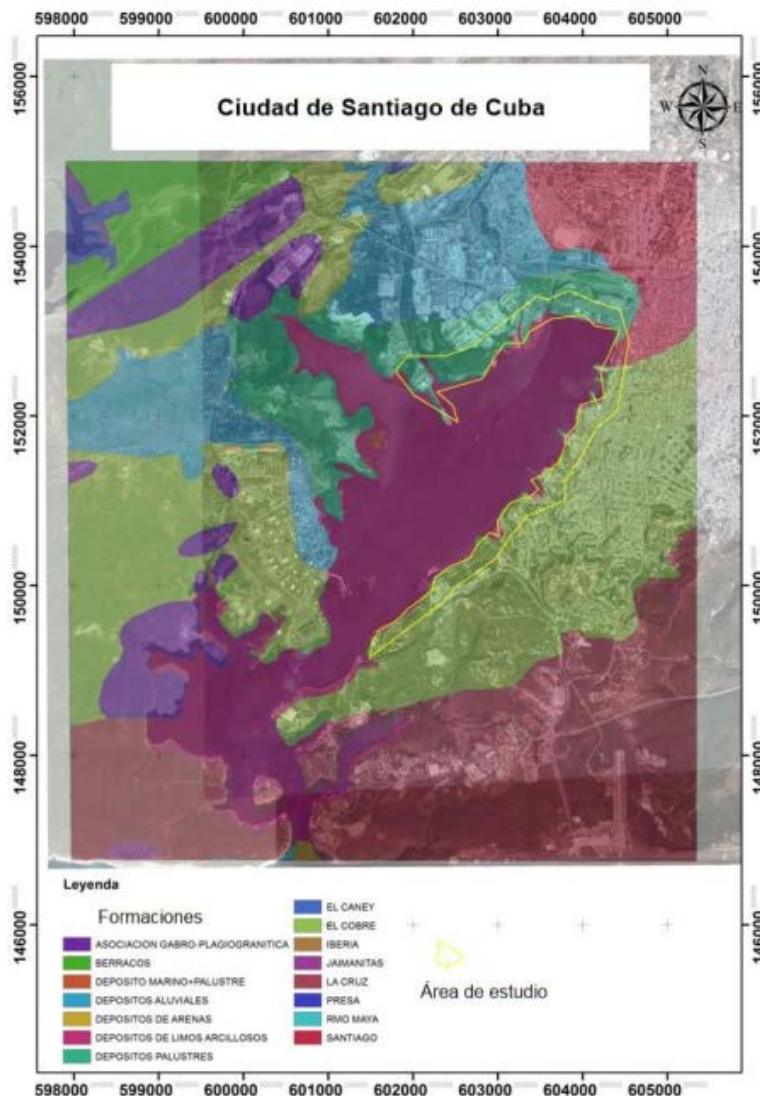


Figura 3. Representación esquemática de las formaciones en Santiago de Cuba.

Son depósitos jóvenes (menos de 10 000 años) de origen principalmente aluvial reciente, deluvial y relacionados fundamentalmente con los planos de inundación de ríos, a las que pertenecen las formaciones del Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno), donde predominan los suelos constituidos por arcillas, limos, arenas, gravas, arcillas arenosas.

De acuerdo con la metodología planteada las características geológicas cumplen con los criterios para que los suelos licuen. Se destaca que estas áreas se encuentran estrechamente relacionadas a planos de inundación de ríos y a zonas costeras, como es el caso de Santiago de Cuba.

Análisis del comportamiento de la sismicidad

La Tabla 1 y las Figuras 4 y 5 muestran las diferencias en cuanto a las características sísmicas en las zonas de estudio.

Tabla 1. Características sísmicas de las áreas de estudio

| Aspectos | Río Cauto | San Cristóbal | Santiago de Cuba |
|---|---|--|--|
| Principal Zona Sismo generadora | -Falla Cauto-Nipe: Atraviesa la región Oriental con una dirección noroeste-suroeste, desde la bahía de Nipe hasta las inmediaciones de Niquero-Cabo Cruz con una longitud de más de 260 km, con un movimiento lateral vertical. -El sistema de fallas transformantes Bartlett-Caimán: se extiende en dirección sublatitudinal al sur de la región. Se caracteriza por una actividad sísmica significativa, representa un peligro para el área de estudio, pero en menor grado. La actividad sísmica es del tipo de entre placas (Chuy, 1999) | -La falla Pinar es la fuente sísmica generadora más relevante del área, con una extensión de 160 km, una dirección suroeste-noreste, bordeando la parte sur de la Cordillera de Guaniguanico, con 3 km aproximadamente de desplazamiento vertical (Pszczolkowski, 1987). La actividad sísmica es del tipo de interior de placas y se caracteriza por una baja ocurrencia de eventos sísmicos, que se asocian a estructuras geológicas disyuntivas activas (Chuy, 1999) | -Falla Bartlett-Caimán, por la frecuencia de los terremotos que ocurren y los valores altos de magnitud e intensidad alcanzados históricamente. Más del 60 % de los sismos perceptibles y fuertes reportados en el territorio nacional han tenido su epicentro en esta provincia. Por estas razones, este territorio es considerado el de mayor peligrosidad sísmica del país; señalándose en él veinte reportes de terremotos fuertes ($I \geq 7,0$ MSK). (Chuy, 1999) |
| Zonificación sísmica según NC 46:2017 | Zona 2: De peligro sísmico bajo que puede ocasionar daños a las construcciones | Zona 2: De peligro sísmico bajo que puede ocasionar daños a las construcciones | Zona 5: De peligro sísmico muy alto en el territorio nacional que puede ocasionar daños graves a las construcciones |
| Valores de aceleración espectral horizontal máx. del terreno para períodos cortos (Ss)g y períodos largos (S1)g | períodos cortos (Ss): 0,30 g-0,40 g (0,365 g) períodos largos (S1): 0,06 g-0,15 g (0,131 g) | períodos cortos (Ss): 0,30 g-0,40 g (0,362 g) períodos largos (S1): 0,06 g-0,15 g (0,082 g) | períodos cortos (Ss): 0,80 g-1,10 g períodos largos (S1): 0,30 g-0,50 g |

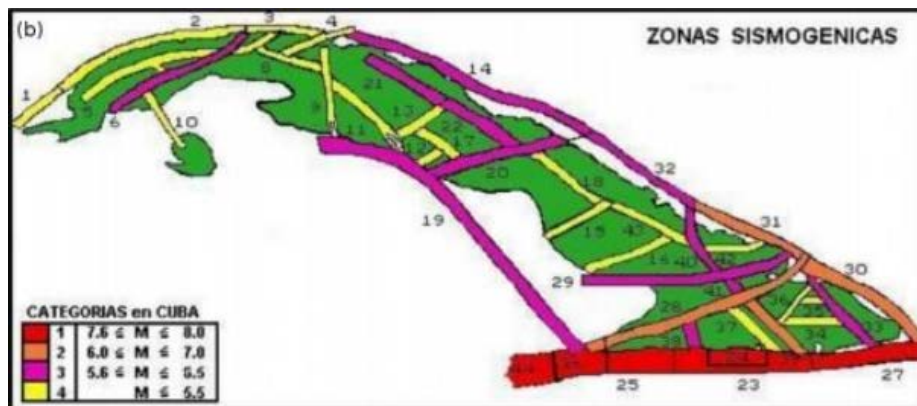


Figura 4. Sismotectónica Zonas sismogénicas del territorio de Cuba (Chuy y Álvarez, 1995).

Durante el periodo de 1502 a 2012 se cuantificaron un total de 117 terremotos de magnitud mayor o igual a 6 (M ≥ 6) los cuales se representan a continuación:

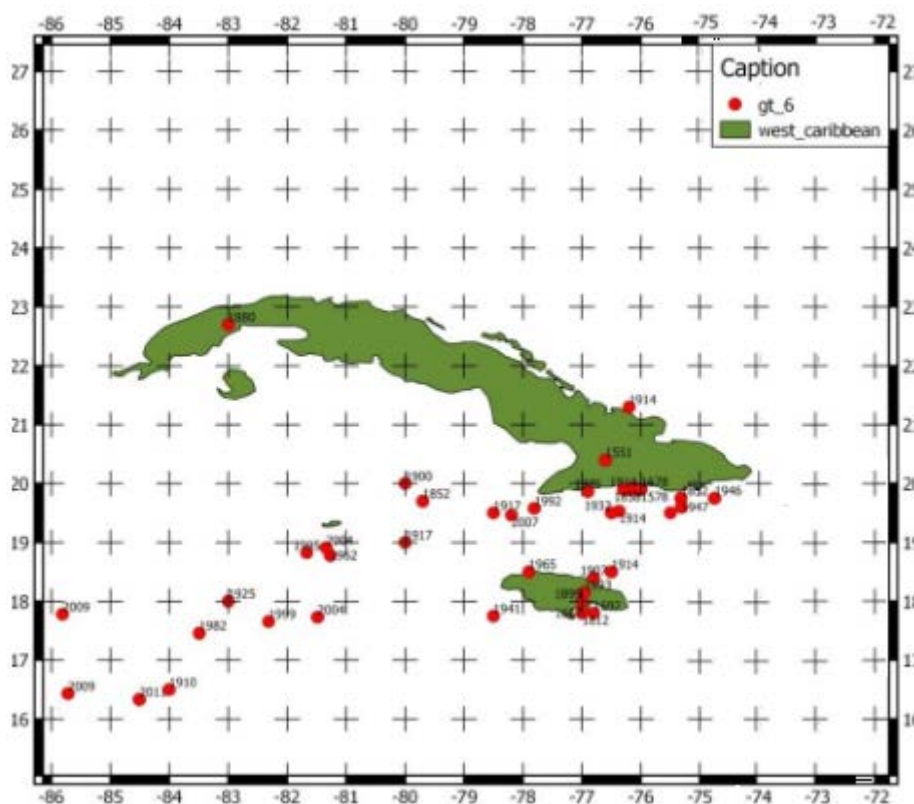


Figura 5. Terremotos con M ≥ 6,0 desde 1502 hasta 2012. (Álvarez, Villalón & Lindholm, 2015).

Ubicación sismotectónica de las áreas de estudio:

- San Cristóbal, se encuentra en la zona occidental del país donde se desarrolla una actividad sísmica de tipo interior de placas y se caracteriza por una baja ocurrencia de eventos sísmicos, que se asocian a estructuras geológicas disyuntivas activas. La falla

Pinar de categoría 3, según la clasificación de Chuy & Álvarez (1995), puede generar sismos de magnitud 5,6 a 6,5.

- Santiago de Cuba, están ubicadas en la región oriental de la isla de Cuba, en la que hay un predominio de la actividad sísmica como se puede ver en la (Figura 3). La actividad sísmica es de tipo entre placas, asociada a la falla Bartlett–Caimán de categoría 1, es la de mayor peligro, generando sismos de magnitud 7,6 a 8,0.

- Río Cauto está ubicado en la región oriental de la isla de Cuba, en la hay un predominio de la actividad sísmica. La actividad sísmica es de interior de placas, donde se destaca la falla Cauto-Nipe de categoría 2 capaz de generar sismos de 6,0 a 7,0 de magnitud.

Cantidad de sismos registrados de $M \geq 6$

Entre los años 1502 a 2012 en la región occidental, específicamente en la ciudad de San Cristóbal, solo se ha reportado un evento que cumple con estas características, el sismo de 1880. Esto mismo sucede en Río Cauto, particularmente en el poblado de Cauto Embarcadero, donde se reportó un sismo bajo estas características, el sismo de 1551(6,6M).

En la ciudad de Santiago de Cuba se ha reportado un amplio registro sísmico de $M \geq 6$, entre ellos se encuentran los sismos de 1760(6,8M), 1766(7,6M) 1852(7,3M), 1914(6,7M), 1932(6,7M), entre otros. Lo que indica que esta es la zona más susceptible a la ocurrencia de eventos sísmicos y fenómenos inducidos.

Las investigaciones sismológicas de Cuba sitúan a la provincia Santiago de Cuba como la de mayor peligro sísmico del territorio nacional, es sacudida por más de 1 000 sismos perceptibles desde el año 1528 hasta la fecha (Chuy, 2010).

Análisis de las condiciones ingeniero geológicas y nivel freático

Tabla 2. Condiciones Ingeniero geológicas de los suelos en los sectores de estudio

| | | Río Cauto | | | San Cristóbal | | | | Santiago de Cuba | | |
|-----------------------------------|----|---|--|---|--|--|-------------------|-------------------|--|---|----------------------------------|
| Obras analizadas | | 17 | | | 45 | | | | 14 | | |
| Comportamiento del nivel freático | | Alcanza niveles de 0,40 m a 4 m y en la mayoría de los casos se encuentra entre 4,5 m y 10 m de profundidad | | | Varía de 1,5 m hasta 12,6 m, predominando entre 1,5 m y 7,55 m | | | | Entre 1 m y 1,90 m sin tomar en cuenta las fluctuaciones de las mareas | | |
| Capas de perfil litológico | | Relleno 1 | Relleno 2 | Capa 1 | Capa 1 | Capa 2 | Capa 3 | Capa 4 | Relleno | Capa 1 | Capa 2 |
| Potencia de las capas (m) | | 0-0,8 | 0,8-1,7 | 1,7-5 | 0-1,2 | 1,2-4,5 | 4,5-5,7 | 5,7-10 | 0-2 | 2-8,8 | 8,8-10 |
| Granulometría % | Ar | 27 | 16 | 11 | 34 | 36 | 78 | 46 | 44 | 16 | 15 |
| | Fi | 14 | 83 | 87 | 4 | 13 | 6 | 28 | 34 | 83 | 85 |
| Límite de Atterberg % | LL | 30 | 59 | 62 | 43 | 33 | 33 | 42 | 37 | 68 | 55 |
| | LP | 19 | 24 | 23 | 29 | 16 | 20 | 22 | 24 | 24 | 21 |
| | IP | 11 | 35 | 39 | 14 | 17 | 18 | 20 | 13 | 44 | 34 |
| Contenido natural de agua (w) | | 9,2 | 26,4 | 21,6 | 17,0 | 19,0 | 21,0 | 17,0 | 33,1 | 37,0 | 45,0 |
| Descripción | | Grava arcillosa | Arcilla muy plástica arenosa con grava | Arcilla muy plástica en parte arenosa con grava | Mezcla mal graduada de grava, arena, limo y arcilla | Arcillas arenosas Inorgánicas de plasticidad elevada | Arenas arcillosas | Arcillas arenosas | Arena limosa con grava | Cieno arcilla muy plástica con arena, limos orgánicos y arenas arcillosas | Arcillas muy plásticas con arena |
| Clasificación SUCS | | GC | CH | CH-GC | GC | CH | SC | CH | SM-GM | OL-OH | CH |

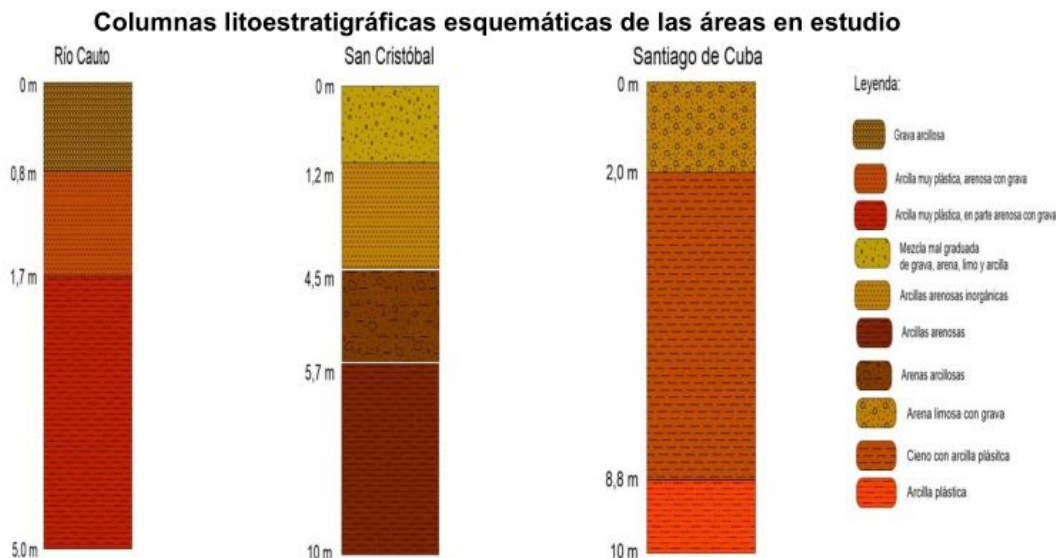


Figura 6. Esquemas representativos de los suelos de las áreas de estudio.

El contenido de fino es uno de los parámetros que define la clasificación de los suelos, permite discriminar, entre un suelo de grano grueso o de grano fino. En general, suelos enriquecidos en fracción fina son menos susceptibles a licuar.

Los suelos de Río Cauto se pueden clasificar por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como: (GC) grava arcillosa, (CH) arcilla muy plástica, (CH-GC) arcilla muy plástica en parte arenosa con grava. Estos suelos presentan un significativo grado de saturación, humedad natural elevada, bajo porcentaje de finos, y límites de Atterberg bastante acordes para que ocurra licuefacción; los niveles freáticos oscilan entre 4,5 y 10 m, alcanzando niveles de 0,40 m.

Los suelos de San Cristóbal se pueden clasificar por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como: (GC) mezcla mal graduada de grava, arena, limo y arcilla, (CH) arcillas inorgánicas de alta compresibilidad y (SC) arena arcillosa. Estos suelos presentan un significativo grado de saturación, humedad natural elevada, bajo porcentaje de finos, y límites de Atterberg bastante acordes para que ocurra licuefacción; los niveles freáticos oscilan entre 1,5 m y 7,55 m.

Los suelos existentes en Santiago de Cuba, clasificados por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como: (SM-GM) que son arena limosa con gravas, (CH) arcilla muy plástica, (OH) limo orgánico, (OL) arcilla orgánica. Estos suelos presentan un alto grado de saturación, humedad natural elevada, alto porcentaje de finos, y límites

de Atterberg para que ocurra licuefacción; los niveles freáticos oscilan entre 1 m y 1,90 m, sin tomar en cuenta las fluctuaciones de las mareas.

Como se puede apreciar en la Tabla 2, según la clasificación SUCS, el tipo de suelo que coincide en los tres sectores son: Arcilla muy plástica (CH).

Indistintamente que las características ingeniero geológica de los sectores de estudio no se puedan correlacionar, no significa que estos suelos no presenten características que les hayan permitido licuar ante un evento sísmico mayor de 5,5 de magnitud en la escala de Richter.

Al aplicarse el método de Seed & Idriss (1971) se determina que en las áreas de estudio las capas con mayor probabilidad a licuar son:

- En el caso de Río Cauto: Relleno 1.
- En el caso de San Cristóbal: Capas 2 y 3.
- En el caso de Santiago de Cuba: Relleno.

Según Youd & Idriss (1998), el cual expone que las arenas clasificadas como CL-ML, SM-SC, o GM-GC son potencialmente licuables, por medio de este criterio se puede decir que los suelos de estas ciudades pueden licuar.

- En el caso de Río Cauto: Relleno 1 y Capa 1.
- En el caso de San Cristóbal: Capas 1 y 3.
- En el caso de Santiago de Cuba: Relleno

Análisis de los resultados

Según el sistema de indicadores propuestos se puede decir que de la investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

- Las condiciones geológicas no son las mismas, sin embargo la composición litológica es similar entre los tres sectores; las formaciones más susceptibles a licuar pertenecen a depósitos de origen aluvial reciente; son formaciones jóvenes del Plioceno–Pleistoceno, según el criterio de Ishihara (1990).

- Las condiciones sísmicas que se analizaron indican que en estas áreas, debido a la cercanía a zonas sismogeneradoras activas, están propensas a la ocurrencia de desastres. Estas fallas son capaces de generar sismos mayores de 5,5 que es la norma en Cuba para que un suelo licue. Los eventos sísmicos registrados, la intensidad de estos y su influencia sobre las estructuras, indican que un evento mayor de esta magnitud puede ocurrir en cualquier momento que bajo las condiciones ingeniero-geológicas adecuadas provoquen sobre ellos fenómenos inducidos como la licuefacción.
- Al analizar las condiciones ingeniero geológicas de los suelos de Río Cauto, San Cristóbal y Santiago de Cuba, se puede observar que la única litología que concuerda en los tres sectores es la arcilla muy plástica, sin embargo no es las más propensa a licuar.
- Los suelos identificados con mayores características a licuar fueron según la clasificación SUCS son: los GC (grava arcillosa) y SC (arena arcillosa).
- Se puede decir que las características ingeniero geológicas de los suelos en sí no son similares entre los tres sectores, pero cada uno por separado presenta características independientes que les permiten licuar.
- Las condiciones del nivel freático propicia que ocurra ya que estas fluctúan por debajo de los 5 m de profundidad, el porcentaje de fino en algunos suelos se encuentran por debajo de 15 % y el límite líquido es menor o igual al 35 %, el contenido natural de agua está por encima del 0,9 %

Conclusiones

Los municipios Río Cauto, San Cristóbal y Santiago de Cuba están representados por las formaciones: Cauto, Guane, y el Miembro Tejar, respectivamente, estas son formaciones jóvenes de edad Pleistoceno-Holoceno, relacionados con ambientes sedimentario de tipo aluvial reciente, y vinculados a planos de inundación de ríos: Cauto, San Cristóbal y en caso de Santiago a la costa. La sismicidad es de tipo interior de placas y de entre placas, asociada a las fallas Cauto-Nipe, Pinar y Bartlett-Caimán, capaces de generar sismos mayores de 5.5 de magnitud en la escala de Richter; por lo que cumplen con los indicadores para que un suelo pueda licuar.

Las principales litologías identificadas susceptibles a licuar son: gravas arcillosas (GC), arenas arcillosas (SC) y arena limosa con grava (SM-GM). Los cuales se caracterizan por

tener bajo porcentaje de finos menor de 15 %, límite líquido menor de 35 %, de baja a moderada compactación y alta saturación. Los valores del nivel freático se encuentran predominantemente en los primeros tres metros.

Las condiciones ingeniero geológicas entre los tres sectores analizados no coinciden en su totalidad: los niveles freáticos se encuentran a diferente profundidad, el porcentaje de finos es menor en los suelos de San Cristóbal, el contenido natural de agua en los suelos es mayor en Santiago de Cuba.

Referencias bibliográficas

- ÁLVAREZ, J. L.; VILLALÓN, M. Y LINDHOLM, C. 2015. Peligrosidad y riesgo sísmicos en Cuba y las regiones circundantes. Consulta: 22 sept 2018. Disponible en: <https://www.cenais.cu/sismomap/PSUHS/doc/reportePS8.pdf>.
- CHUY, T. J. 1999. *Macrosísmica de Cuba y su utilización en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica*. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía y del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.
- CHUY, R. 2010. Modelo del peligro sísmico de la provincia de Santiago de Cuba. Archivos CENAI. Santiago de Cuba.
- CHUY, T. J. & ÁLVAREZ, J. L. 1995. Peligrosidad sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana. Reporte de Investigación. Fondos del CENAI y del X Forum Nacional de Ciencia y Técnica.
- FERNÁNDEZ-DIÉGUEZ, L. 2015. *Licuefacción de los suelos generada por sismos de gran magnitud: Caso de estudio Caimanera y Santiago de Cuba*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- GARCÍA, A.; ITURRALDE, M. & PINDELL, J. 2008: Latest Cretaceous Collision/Accretion between the Caribbean Plate and Caribean: Origin of Metamorphic Terranes in the Greater Antilles. *International Geology Review* 50(9): 781-809.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. & OTEO, C. 2002. *Ingeniería geológica*. España. Pearson Educación.

- GONZÁLEZ, C. G. 2013. Comparación entre la metodología para evaluar el potencial de riesgo de licuefacción y los catastros realizados luego del terremoto de 2010 en concepción. Consulta: 22 sept 2018. Disponible en: <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2337>
- ISHIHARA, K. 1990. Evaluation of Liquefaction Potential and Consequent Deformations in Sand Fills. Proceedings of the Workshop on Seismic Issues. Port of Los Angeles, CA.
- KARTASHOV, I. P. 1976. Descripción de algunas formaciones geológicas del sistema cuaternario de Cuba, reconocidas recientemente (No. 26). Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología.
- KRAMER, S. L. & STEWART, J. P. 2004. Geotechnical aspects of seismic hazards. In: *Earthquake Engineering* (p. 123-230). CRC Press.
- MUSSIO, V. 2012. *Potencial de licuefacción mediante el método de microtremores en la colonia solidaridad social, Mexicali*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 111 p.
- PEÑA, R. 2018. *Susceptibilidad a la ocurrencia de licuefacción de los suelos en la ciudad de Bayamo inducido por fuertes terremotos*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- SEED, B. & IDRIS, M. 1971. A Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE*, 97(9): 1249-1273.
- ORDAZ, A.; HERNÁNDEZ, 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.
- PSZCZOLKOWSKI, A. 1987. Secuencias miogeosinclinales de la Cordillera de Guaniguanico. Litoestratigrafía, desarrollo de facies y paleogeografía. En: *Contribución a la Geología de la Provincia de Pinar del Río*. La Habana, Editorial Científico Técnica, 5-84.

YOU, T. & IDRIS, I. 1998. Liquefaction resistance of soils: Summary Report fromn the 1996 and 1998 NCEER/NSF Workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering* 127(4): 297-313.