



Main geological processes and phenomena causing risk at Santiago de Cuba province, Cuba

Liber Galbán-Rodríguez ^a, Rafael Miguel Guardado-Lacaba ^b & Tomas Jacinto Chuy-Rodríguez ^c

^a Departamento de Ingeniería Hidráulica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. liberg@uo.edu.cu

^b Departamento de Geología, Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, Ciudad de Moa, Holguín, Cuba. rguardado@ismm.edu.cu

^c Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba, Cuba. chuy@cenaiss.cu

Received: January 20th, 2021. Received in revised form: February 15th, 2021. Accepted: February 27th, 2021.

Abstract

The province of Santiago de Cuba now a day have a different hazard, vulnerability and risks conditions in front of the impact of geological processes and phenomena that influence on its social and economic development. This time is been made a review about the main topics of this issue from an actualized perspective, taking in consideration the recent research results.

Keywords: geological hazards; Santiago de Cuba; vulnerability; risk, phenomena.

Principales procesos y fenómenos geológicos conducentes a riesgos en la provincia Santiago de Cuba, Cuba

Resumen

La provincia Santiago de Cuba actualmente presenta distintas condiciones de peligro, vulnerabilidad y riesgos ante diversos procesos y fenómenos geológicos, los cuales inciden en su desarrollo social y económico. En este trabajo se realiza una revisión de las aristas fundamentales alrededor de esta temática desde una perspectiva actualizada de acuerdo con las investigaciones recientemente realizadas.

Palabras clave: peligros geológicos; Santiago de Cuba; vulnerabilidad; riesgos; fenómenos.

1. Introducción

El estudio y consideración de diferentes procesos y fenómenos geológicos (terremotos, deslizamientos y deslaves, inundaciones, erosión costera y continental, carso, etc.) es una tarea importante para la planificación física, el ordenamiento territorial, la reducción de los riesgos y desastres. En cuanto a terremotos, por ejemplo, no se puede predecir cuándo van a ocurrir, pero sí delimitar áreas de peligro, vulnerabilidad y riesgos donde puede haberlos en las próximas décadas, determinar el alcance de las sacudidas, diseñar nuevas construcciones resistentes y reforzar las antiguas, entre otras. En esta labor, la zonificación ingeniero geológica de las áreas más expuestas a ser impactadas por procesos y fenómenos geológicos es un instrumento indispensable para elaborar planes de reducción de desastres y para disminuir la vulnerabilidad de la población potencialmente afectada.

En la provincia Santiago de Cuba se observan daños provocados por la consideración inadecuada de distintos peligros geológicos en diferentes localidades. Muy significativo en el pasado siglo XX resultó la ocurrencia de un terremoto de 6.7 en la escala Richter el 3 de febrero de 1932 (Fig. 1).

Otros ejemplos más recientes confirman esta idea, basta citar el deslizamiento ocurrido en el año 2007 durante la remodelación y ampliación del nuevo acueducto de la ciudad de Santiago de Cuba en el tramo [21], el hundimiento de edificaciones en zonas conocidas por la presencia de suelos expansivos, entre ellas, el Hospital Clínico Quirúrgico “Juan Bruno Zayas” o algunos edificios y otras estructuras funcionales de la Sede “Julio Antonio Mella” de la Universidad de Oriente [13], las afectaciones a la carretera Granma por la fuerte erosión costera y deslizamientos en varios de sus taludes laterales [10], entre otros.

How to cite: Galbán-Rodríguez, L., Guardado-Lacaba, R.M., and Chuy-Rodríguez, T.J. Principales procesos y fenómenos geológicos conducentes a riesgos en la provincia Santiago de Cuba, Cuba.. DYNA, 49, pp. 13-25, Agosto 2020 - Enero 2021

© The author; licensee Universidad Nacional de Colombia.



BOLETÍN DE CIENCIAS DE LA TIERRA, 49, pp. 13-25, Agosto 2020 - Enero 2021, ISSN 0120-3630

DOI: <https://doi.org/10.15446/rbct.n49.92807>



Figura 1. Imágenes de daños ocasionados en la ciudad de Santiago de Cuba por el terremoto de 1932.

Fuente: Archivos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba. Cortesía del Centro.



Figura 2. Ubicación geográfica de la provincia Santiago de Cuba, significando con un círculo blanco la ciudad cabecera.

Fuente: Obtenido por los autores.

Los elementos anteriormente expuestos señalan que la provincia de Santiago de Cuba está expuesta a procesos y fenómenos geológicos, cuyos efectos conducen a riesgos que pueden llegar a restringir el desarrollo económico y social del territorio; por cuanto se evidencia la necesidad imprescindible de continuar investigando esta situación.

La Provincia Santiago de Cuba se encuentra situada al sur de la región oriental de Cuba, entre los $19^{\circ}53'$, $20^{\circ}12'$ de latitud norte y los $75^{\circ}22'$, $77^{\circ}02'$ de longitud oeste, limitando al oeste con la provincia Granma, al norte con la provincia Holguín, al este con la provincia Guantánamo y al sur con el Mar Caribe (Fig. 2). Su capital es la ciudad de Santiago de Cuba, segunda urbe más poblada del país (más de 520 000 habitantes). [17]

Este territorio ocupa el décimo lugar en extensión entre las provincias cubanas con una superficie total de 6234,16 km² representando el 5,7% del total del país. Se divide en 9 municipios: Guamá, Santiago de Cuba, Palma Soriano, II Frente, III Frente, Songo la Maya, Contramaestre, San Luis y

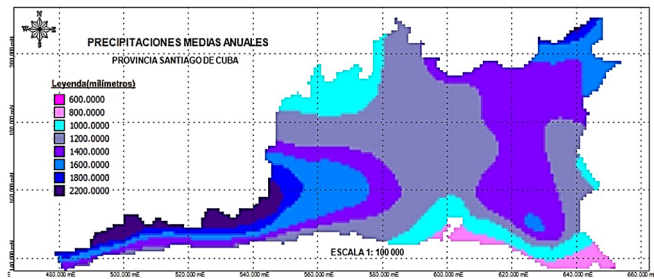


Figura 3. Imagen del mapa de precipitaciones medias anuales de la provincia Santiago de Cuba.

Fuente: [8]

Julio A. Mella. Su población actual como provincia sobrepasa el millón de habitantes. [17]

En lo referente al clima, Santiago de Cuba es una de las provincias más calurosas del país, con una temperatura máxima media de $32,3^{\circ}\text{C}$ y una mínima media de 23°C en la ciudad cabecera, la lluvia media total anual es de 1393.9 mm, en las montañas las temperaturas son más frescas y llueve más. [17] (Fig. 3).

El relieve de la provincia es variado. Hacia el noreste es semi-montañoso y accidentado, constituido por elevaciones jóvenes donde las pendientes sobrepasan el 25% en algunos casos y, hacia el noroeste es relativamente llano con desarrollo de llanuras aluviales y cuencas hidrográficas de interés económico. Gran parte del territorio de la provincia está cubierto por la Sierra Maestra con las mayores alturas de la isla (Pico Turquino, 1974 m; Pico Cuba, 1874 m y Pico Suecia, 1734 m), y por la Sierra de la Gran Piedra (loma de la Gran Piedra con 1226 m) (Fig. 4).

En las zonas montañosas, principalmente, de los municipios Guamá, la parte sur de III Frente y hacia el este del municipio Santiago de Cuba, las pendientes que sobrepasan el 50%, aspecto que favorece los fenómenos erosivos y de deslizamientos de tierra (Fig. 5). Solamente el 3% de la superficie total de la provincia está por debajo de la cota de 100 metros de altitud. La cuenca de Santiago de Cuba se enmarca como principal accidente hacia el centro sur de la provincia, donde se encuentran varios niveles de terrazas y mesetas escalonadas que parten desde la bahía de Santiago de Cuba (largo: 8.5km; ancho: 2.4km; profundidad: entre 8.8 y 13.7m) alrededor de la que se desarrolla la ciudad del mismo nombre, observando en su parte superior varias llanuras aluviales. [12]

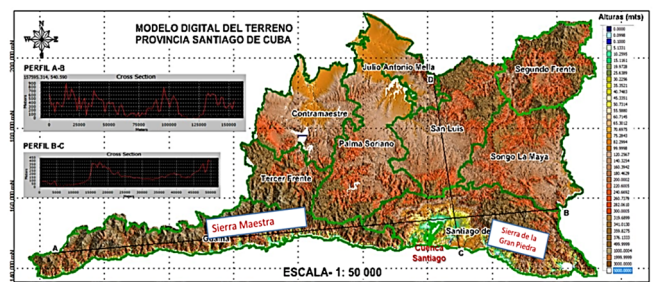


Figura 4. Imagen del Modelo Digital del Terreno (MDT) de la provincia Santiago de Cuba, significando su relieve.

Fuente: Obtenido por los autores.

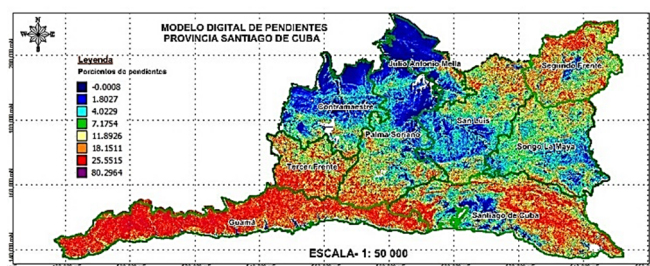


Figura 5. Imagen del modelo de pendientes de la provincia Santiago de Cuba a escala 1:50 000.

Fuente: Elaborado por los autores.

La hidrografía (tanto de la parte sureste como la suroeste de la provincia) está compuesta por ríos de trazos cortos, rápidos e intermitentes en la mayor parte del año, debido a la morfología del relieve, los cuales en temporada lluviosa arrastran una gran cantidad de sedimentos hacia las partes bajas de las cuencas, por lo que su actividad erosiva es significativa. Entre los ríos más importantes de la parte sur se citan el Chivirico, Sevilla, Paradas, San Juan, Daiquirí y Baconao. En el noroeste se encuentran las principales cuencas hidrográficas, en las que se ubican los dos mayores embalses de la provincia (Protesta de Baraguá y Carlos Manuel de Céspedes) correspondientes a los ríos Cauto y Contramaestre respectivamente (Fig. 6).

2. Metodología

Los elementos expresados con anterioridad señalan que en la provincia Santiago de Cuba existen limitaciones en el estudio ingeniero geológico, la evaluación de riesgos, el ordenamiento territorial, la planificación física y constructiva, la organización de acciones, su ejecución, seguimiento y control; por cuanto se evidencia la necesidad imprescindible de continuar investigando esta situación a fin de gestionar y reducir los riesgos geológicos en este territorio. Para cumplir con este objetivo fueron propuestos las siguientes acciones:

1. Identificar y caracterizar los procesos y fenómenos geológicos conducentes a riesgos en la provincia de Santiago de Cuba.
2. La zonación integral actualizada de peligros, vulnerabilidad y riesgos geológicos de la provincia Santiago de Cuba.

Para el desarrollo del trabajo investigativo se han empleado varios métodos de investigación, entre ellos: el histórico-lógico, el hipotético deductivo, la observación, análisis y síntesis, inducción-deducción, el método estadístico, el criterio de expertos, la cartografía ingeniero-geológica, entre otros. Además de emplear distintas técnicas



Figura 6. Imagen de la red hidrográfica de la provincia Santiago de Cuba.

Fuente: [14]

para el procesamiento de la información, entre las fundamentales se encuentran: la modelación, el análisis estadístico, la medición directa, entrevistas y encuestas.

Además fue necesario consultar, analizar y caracterizar un amplio volumen de información bibliográfica, la que ha sido referenciada y contextualizada oportunamente, incluyendo una consulta obligatoria a los documentos que rigen el marco legal de las investigaciones desarrolladas, además de distintos informes de proyectos, documentos, libros, artículos científicos y bases digitales que permitieron reunir la información básica y técnica para el logro de los resultados obtenidos.

3. Resultados obtenidos

Geológicamente, en los macizos montañosos del sur de la provincia predominan las rocas ígneas de tipo graníticas hacia el sureste, máficas alrededor de la cuenca Santiago, del tipo vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias hacia el suroeste en distintas correlaciones, combinaciones alternantes y muy variables, tanto en sentido vertical como lateral.

Las rocas de tipo sedimentarias predominan sobre todo en la Cuenca Santiago (centro sur) y en la parte meridional de la provincia, observándose una alternancia de calizas biodetríticas, calizas limosas y limo-arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas, conglomerados y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas; aunque también es posible encontrarlas metamorfosadas hacia el sureste principalmente [2]

Estratigráficamente, las formaciones más antiguas provienen del período Cretácico Superior, donde se representan las formaciones Manacal, La Picota, Santo Domingo, Mícara, entre otras que yacen en algunos casos discordantes. Éstas se ubican sobre todo en la parte norte y centro de la provincia con predominio de rocas sedimentarias, vulcanógenas y vulcanógeno sedimentarias, aunque se revelan algunas del tipo metamórficas en los contactos con los macizos de origen vulcanógeno y vulcano-sedimentarios hacia la parte sureste: Mármoles Jurásico, Edad: Pre-Cretácico Superior; Metamórficas Duarte, Edad: Pre-Campaniano (?), etc. [2].

Se encuentran formaciones del Paleógeno representadas abundantemente por formaciones pertenecientes al grupo El Cobre, ampliamente distribuidas a lo largo de la Sierra Maestra; las rocas más abundantes son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidácica y dacítica, raramente riolítica, riolítica y basáltica. Con estas rocas se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian a este complejo vulcanógeno-sedimentario cuerpos hipoabisales y diques de diversa composición. En su constitución también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas, vulcanomícticas y grauvacas. En el Paleógeno también se desarrollan formaciones sedimentarias de origen terrígeno y de ambientes marinos, entre las que se destacan la Formación Jaimanitas en la faja costera, Formación Cauto, terrígena ubicada hacia la parte centro oeste, y otras formaciones tales como Punta Imías, Bitirí, etc., [2]

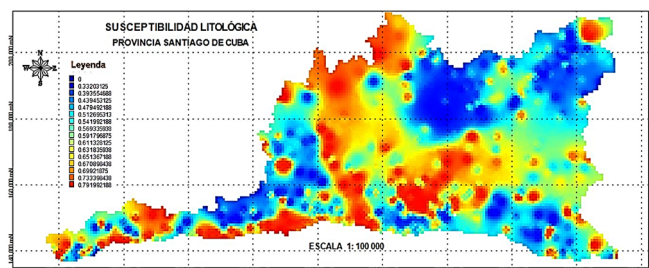


Figura 7. Imagen del modelo de susceptibilidad geológica provincia Santiago de Cuba.

Fuente: Elaborado por los autores.

Dentro de la evolución geológica del Neógeno se encuentran un grupo de formaciones sedimentarias fundamentalmente carbonatadas representadas por la Formación La Cruz (periferia de la bahía de Santiago de Cuba), Formación San Luis, Formación Camarones y además, otras predominantemente terrígenas como la Formación Farallón Grande, Formación Gran Tierra y Formación Puerto Boniato. Las formaciones más recientes, predominantemente sedimentarias, pertenecen al Cuaternario y se desarrollan en forma discontinua en pequeñas áreas de la cuenca de Santiago de Cuba; representadas en las formaciones Camarocito y Maya, desarrollándose depósitos arrecifales que alternan con episodios de intenso aporte de materiales clásticos terrígenos. [2]

Estudios recientes permitieron modelar la susceptibilidad litológica de estas formaciones rocosas ante el peligro que representan los distintos procesos y fenómenos geológicos que se desarrollan en la provincia, sobre todo en cuanto al comportamiento de los horizontes estratigráficos superiores, que reciben y transmiten con mayor facilidad las ondas sísmicas a las edificaciones y otras infraestructuras ubicadas sobre el terreno (Fig. 7).

Estudios realizados en la región meridional del oriente de Cuba plantean que la geomorfología estructural, los sistemas de fallas y las condiciones litológico estratigráficas, así como la evolución del oriente cubano; son elementos que determinan las condiciones sismotectónicas de esta región y por consiguiente, la manifestación de distintos peligros geológicos [15]. A partir de este análisis los procesos y fenómenos geológicos fundamentales que generan afectaciones a la sociedad y el medio ambiente en Santiago de Cuba son los sismos, distintos procesos erosivos, los deslizamientos, el carso, las inundaciones inducidas por intensas lluvias, las inundaciones costeras y la presencia de suelos expansivos. De forma ampliada a continuación se exponen varios elementos que así lo demuestran.

4. Discusión de resultados

Desde el punto de vista sismotectónico la provincia Santiago de Cuba está situada al borde de los límites sur de la placa Norteamericana y norte de la placa Caribe, es interceptada por numerosas estructuras tectónicas, varias de las cuales determinan los límites de bloques con diferente dinámica en las zonas sismogénicas de la región oriental del país. En particular, se destaca el tipo de sismicidad conocida como de entre placas, vinculada a la estructura Bartlett-Caimán (zona sismogénica oriente) la cual se caracteriza por ser un sistema de fallas transformantes abierto con una fosa en su centro (Fig. 8).

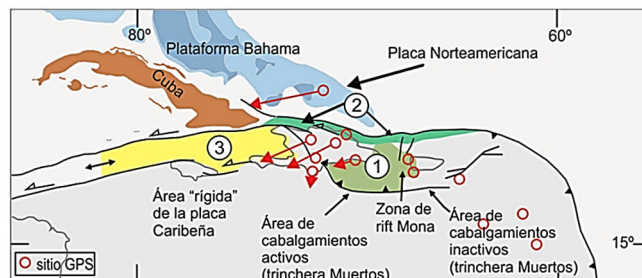


Figura 8. Mapa del Caribe donde se destacan las placas, sus límites y movimientos vectoriales predominantes. 1- microplaca La Española 2- microplaca Septentrional, 3- Microplaca de Gonave.

Fuente: [11]

Las investigaciones sismológicas de Cuba sitúan a la provincia Santiago de Cuba como la de mayor peligro sísmico del territorio nacional. Más del 60% de los sismos perceptibles y fuertes reportados en el país han tenido su epicentro en esta provincia, registrándose 20 reportes de sismos fuertes (Intensidad 7.0 MSK) en el sector comprendido entre las localidades de Chivirico a Baconao, siendo sacudida por más de 1000 sismos perceptibles desde el año 1528 hasta la fecha [3]. A tales efectos se recuerdan los grandes terremotos ocurridos el 3 de febrero de 1932 y el 8 de agosto de 1947, donde se reportaron serios daños en la ciudad de Santiago de Cuba, fundamentalmente en los alrededores de la bahía [5]. Es de especial interés significar que dos de los sismos fuertes ocurridos en Santiago de Cuba, produjeron intensidad $I=9.0$ MSK en 1766 y 1852, reportándose en ambos considerables daños en toda la región oriental. [10]

Para la evaluación del peligro sísmico se considera que las principales afectaciones están relacionadas con las fallas activas, constituyendo zonas débiles en superficie donde se producen incrementos de la intensidad sísmica, y donde también se pueden producir movimientos diferenciales por constituir límites de bloques con diferente dinámica, así como por servir de guía para ondas desde el foco sísmico o hipocentro; en ellas el potencial de daños ante los terremotos puede ser intensificado. (Fig. 9).

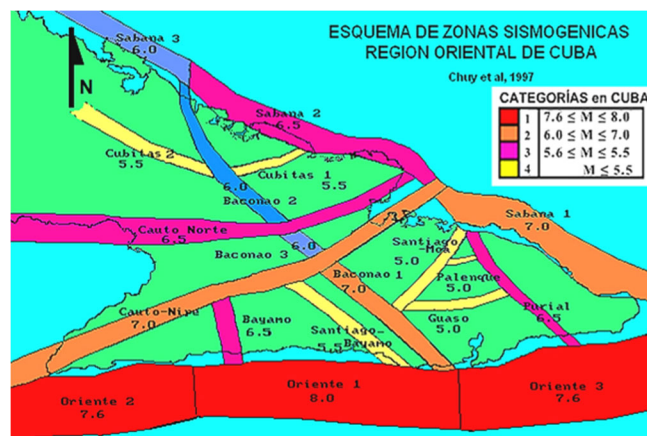


Figura 9. Esquema de zonas sismogénicas de la región oriental de Cuba.

Fuente: [4]

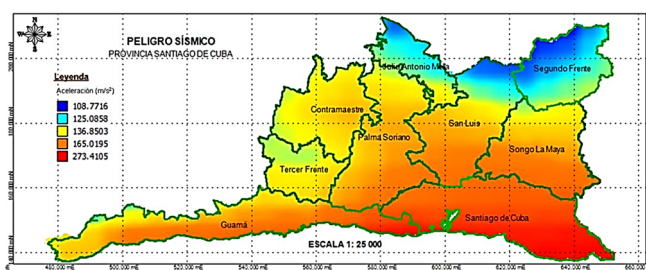


Figura 10. Imagen del modelo de peligrosidad sísmica provincia Santiago de Cuba.

Fuente: Elaborados por los autores.

La interpretación de los datos sísmicos de la provincia, señalan que las áreas de mayor peligro sísmico se encuentran al sur de la provincia, en los municipios costeros Guamá y Santiago de Cuba (Fig. 10).

El nivel de estudio alcanzado en la provincia hace posible realizar evaluaciones sobre la licuefacción como fenómeno geológico secundario, identificando los mayores potenciales en la zona costera cercana al límite sur de la placa Norteamericana, donde se encuentran sedimentos aluviales poco consolidados en que además, el nivel freático se encuentra a unos pocos centímetros de profundidad en las desembocaduras de los ríos y casi toda la zona baja de los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba; esto significa que las construcciones y obras de infraestructura situadas en el entorno tienen un alto grado de vulnerabilidad ante la ocurrencia de la licuefacción del terreno. Por otro lado, se considera como peligro moderado a la licuefacción su incidencia en zonas bajas adyacentes a la cuenca del río Cauto, que cubre la parte meridional de la provincia, sobre todo para sismos de magnitudes superiores a los 7 grados en la escala Richter [12]. (Fig. 11 y Fig. 12)

El peligro de afectaciones por tsunamis en la región del Caribe es bajo, con reportes de alturas de olas de hasta 6m, sin embargo, por esta causa han perecido más de 3503 personas entre 1842 y 1946 (Tabla 1) [18].

Distintos estudios exponen otros eventos de tsunamis y refieren que los orígenes potenciales de un tsunami en el Mar Caribe y áreas adyacentes son terremotos, deslizamientos submarinos y actividad volcánica submarina (Fig. 13). [22]

Se plantea además, que existen probabilidades de ocurrencia de tsunamis en el área del Caribe que podrían afectar a las localidades situadas en las proximidades de las zonas costeras de la provincia Santiago de Cuba, localizando

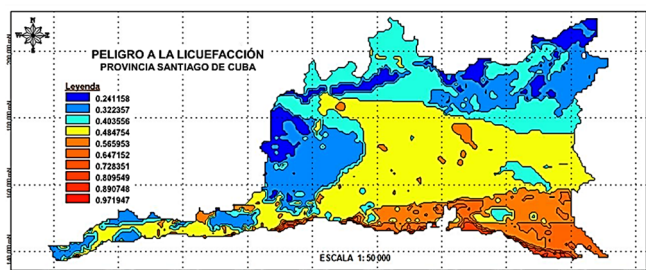


Figura 11. Imagen del mapa de peligro a la licuefacción provincia Santiago de Cuba (abajo).

Fuente: [12]



Figura 12. Afectaciones que se produjeron en la zona de la Alameda (Avenida Jesús Menéndez), en la ciudad de Santiago de Cuba durante el terremoto del 3 de febrero de 1932, causadas probablemente por la licuefacción del terreno.

Fuente: Archivos CENAI.

Tabla 1.
Tsunamis en el Caribe.

Fecha	Lugar	Victimas
1842	Haití	300+
1853	Venezuela	600+
1867	Islas Vírgenes	23
1882	Panamá	75+
1906	Jamaica	500
1918	Puerto Rico	140
1946	República Dominicana	1790
1946	República Dominicana	75
TOTAL		3503

Fuente: [18]

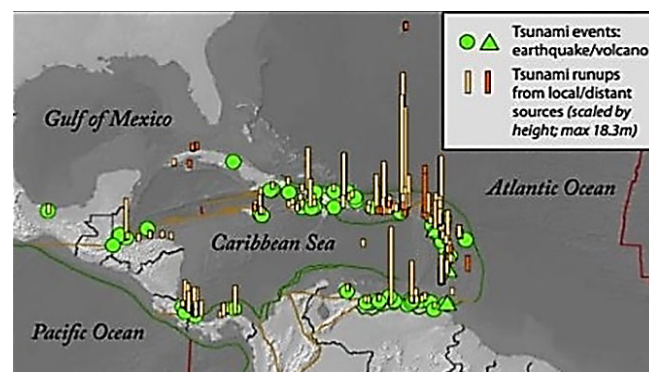


Figura 13. Mapa de impactos de tsunamis en el Caribe 1493-2013.

Fuente: [22]

sus focos generadores a lo largo del sistema de fallas Bartlett-Caimán, los que estarían originados, fundamentalmente, por terremotos o deslizamientos submarinos en el lado sur del sistema, desde Islas Caimán, pasando por el norte de Jamaica, hasta la costa norte de Cabo Haitiano, o en la parte norte hacia las proximidades de Islas Caimán. Todas estas estimaciones se suceden en los límites de la microplaca Gonave, donde también tienen lugar complejos procesos geológicos de hundimiento en el centro y formación de la Fosa Bartlett,

corrimiento y apertura, además de presión de límite de placas en sus extremos este y oeste, razones que en conjunto favorecen la posible ocurrencia de terremotos submarinos y tsunamis de moderada magnitud (Fig. 14) [12]. Estos elementos expuestos complican la situación de peligro sísmico de la provincia Santiago de Cuba, al poseer varias comunidades en zonas bajas próximas a las costas.

Otras posibilidades más remotas de impacto de tsunamis, podrían estar ocasionadas por terremotos submarinos en los límites de la Placa Caribe con el Sur de Venezuela, Colombia y Panamá, además de otros en la parte este de Centroamérica, sobre todo para sismos de magnitudes superiores a 8 en la escala Richter; en esta área en el pasado se registraron eventos geológicos de este tipo que impactaron la costa norte de Venezuela y Colombia, además de otras islas cercanas del Caribe insular (Fig. 15).

La erosión constituye uno de los principales peligros geológicos de la provincia Santiago de Cuba, valorándose como elevada debido a la intensidad de los factores condicionantes

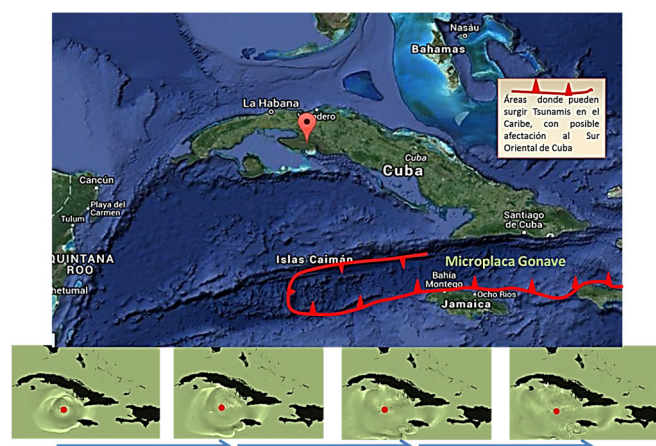


Figura 14. (Arriba) Imagen satelital del Caribe donde se destaca Cuba y se significa las áreas donde podrían surgir Tsunamis de moderada magnitud con posible afectación a la costa sur oriental de Cuba (Debajo) Secuencia de modelación de un posible Tsunami en la región del Caribe interior al norte de la placa de mismo nombre
Fuente: Elaborado por los autores. Y [9].

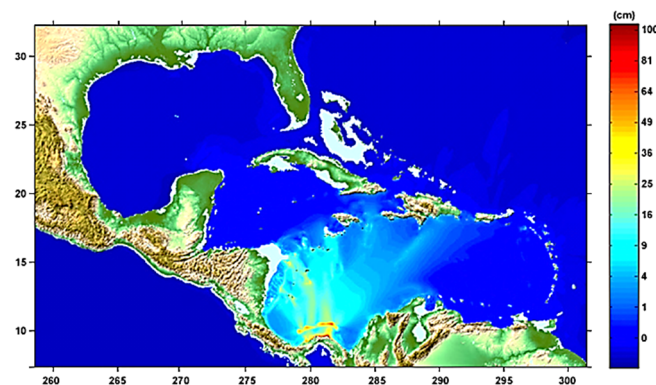


Figura 15. Modelo de la amplitud de las olas generadas por el terremoto de 1882 cerca de Panamá.
Fuente: [16]

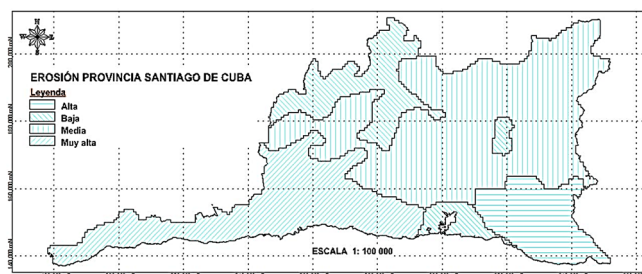


Figura 16. Imagen del modelo de erosión fluvial de la provincia Santiago de Cuba.

Fuente: [8]

de la erosión, entre estos, intensa capacidad erosiva de los suelos, la presencia de rocas vulcanógeno sedimentarias medianamente compactadas con una potencia considerable, sobre todo hacia el sur, un elevado factor del relieve manifestado por sus pronunciados ángulos de inclinación y longitud de las pendientes, y poco desarrollo de la vegetación [19]. En la provincia predomina la erosión que se genera durante las temporadas de lluvias (Fig. 16).

El problema de la erosión fluvial y deposición de suelos cohesivos por acción hídrica es importante para la provincia Santiago de Cuba desde el punto de vista de la ingeniería, porque está relacionado entre otros elementos, con la estabilidad de canales en lechos cohesivos, con la estabilidad de las obras de drenaje superficial (puentes, alcantarillas, cunetas, etc.), con el mantenimiento de profundidades mínimas en estuarios (donde el sedimento se deposita en mayor medida) y con la vida útil de los embalses. En la provincia existen distintas afectaciones por fenómenos erosivos, sobre todo a las obras ingenieras ubicadas en zonas de montaña (caminos, carreteras, puentes, etc.) de los municipios Palma Soriano, San Luis, II Frente, III Frente, Guamá, La Maya y Santiago de Cuba. Se observan dentro de las más significativas: [12]

- Daños ocasionados en el vial y los puentes de la carretera Granma por efecto de socavación, provocando en algunos casos la inhabilitación parcial o total de los mismos (Fig. 17).
- Reducción de la vida útil de embalses por efecto de azolve, encontrando como casos significativos los embalses Chalons y Charco Mono, ambos en el municipio Santiago de Cuba.
- Daños a caminos, viales y sus obras de drenaje en la parte montañosa de la cuenca del río Cauto en el municipio Palma Soriano; así como en la cuenca de los ríos Mícara, Baconao, Contramaestre, Caoba, Sevilla, La Plata, entre otros.



Figura 17. Afectaciones estructurales en puentes de la carretera Granma por efecto de erosión por socavación en los ríos que la atraviesan (Caoba, Sevilla, La Plata, entre otros de la vertiente sur).

Fuente: Fotografías tomadas por los autores.

La abrasión costera (también llamada erosión costera) está presente específicamente en los municipios costeros de Guamá y Santiago de Cuba, donde se desarrolla la actividad económica principal y se concentra la mayor cantidad de habitantes de la provincia; allí se ubican las principales instalaciones portuarias, industrias, frigoríficos, instalaciones turísticas, la ciudad de Santiago de Cuba, entre otras. Los trabajos de campo realizados durante la investigación, confirmaron que, la abrasión costera está condicionada por la escasa extensión de plataforma continental y arrecifes coralinos; así como, a la existencia de rocas medianamente compactadas del tipo sedimentarias y vulcanógeno sedimentarias que facilitan la acción erosiva de las olas sobre ellas; además de un escaso desarrollo de la vegetación costera.

La actividad erosiva en las costas Santiagueras, también está condicionada por la acción de los ríos que desembocan en el área, todos son ríos de montaña con trazo corto e intermitentes. En sus desembocaduras crean generalmente una barra litoral arenosa cerrando los estuarios, y creando en algunos casos condiciones para la proliferación de pantanos litorales y manglares de bajo desarrollo, así como lagunas costeras intermitentes, con la excepción de la Laguna Baconao al este en el río homónimo, que tiene una extensión mayor y permanece llena todo el año (Fig. 18).

La abrasión costera en Santiago de Cuba, y a partir de la condición de una plataforma submarina poco desarrollada, propicia la formación de playas de arenas gruesas y guijarros redondeados compuestos por rocas vulcanógenas y vulcano-sedimentarias típicas en la región, aunque en algunos casos se forman de arenas finas poco desarrolladas provenientes de las formaciones calcáreas cuaternarias, que cerca de la costa se encuentran generalmente carsificadas. Por otro lado, en las costas de la provincia de Santiago de Cuba se desarrollan distintos niveles de terrazas costeras de material calizo y margoso calizo, sobre todo en el municipio Santiago de Cuba, en ellas se ubican distintas infraestructuras que actualmente se encuentran amenazadas por fenómenos erosivos (Fig. 19).

Además de las formas de relieve costero ya mencionadas condicionadas por la erosión (playas, barras litorales, lagunas litorales, pantanos), también se pueden encontrar cuevas, dientes de perro, bahías, ensenadas, distintos niveles de terrazas marinas, islotes (conocidos como cayos) y dos largas fechas litorales: entre la Playa Casonal y la zona de Baconao (al este en el municipio Santiago de Cuba); y entre el río Sevilla y la playa Costa Morena (al oeste en el municipio Guamá). En algunas ocasiones estas formas de la morfología costera condicionada por la abrasión aparecen también combinadas. Esta abrasión costera provoca daños afectando distintas infraestructuras construidas, sobre todo en temporada ciclónica e invernal por el impacto de grandes



Figura 18. Imagen satelital de la parte final del lado Este de la zona costera de Santiago de Cuba, donde se encuentra la Laguna Baconao.
Fuente: Elaborada por los autores.



Figura 19. Imagen la Playa Bucanero, ubicada naturalmente en un ambiente costero caracterizado por el desarrollo del carso sobre la formación geológica Jaimanitas al este del municipio Santiago de Cuba.
Fuente: Fotografía tomada por los autores.



Figura 20. Imágenes de áreas afectadas por efecto de la acción erosiva combinada del viento, el mar y las lluvias en temporada ciclónica: Carretera Granma en el municipio Guamá (A y B); Hotel Bucanero (C y D),
Fuente: Fotografías tomadas por los autores.

olas generadas por las tormentas y el viento. Existen ejemplos que así lo demuestran, entre ellos, las afectaciones a la estructura del vial de la carretera Granma en el municipio Guamá, las provocadas en las viviendas e infraestructura construida en la zona costera de Siboney, además de otras al Hotel Bucanero en la zona de Juraguá en el municipio Santiago de Cuba (Fig. 20).

Los deslizamientos de tierra tienen su aparición de manera puntual y localizada en la provincia, aunque la susceptibilidad a este fenómeno es elevada por las condiciones ingeniero geológicas presentes en el territorio. Entre las causas principales que dan lugar a la formación de los deslizamientos se encuentran: las cargas hidrostáticas e hidrodinámicas y las sísmicas, el debilitamiento de la resistencia de las rocas a consecuencia del cambio de su estado físico (al humedecerse en temporada lluviosa, hincharse, descompactarse o cambiar la constitución natural), la variación del estado tensional de las rocas en los taludes producto a las acciones constructivas y los efectos exteriores que originan las

oscilaciones microsísmicas y sísmicas del territorio, en particular los municipios costeros de Guamá y Santiago de Cuba; aunque también se observa en otras localidades montañosas de los restantes municipios:

- Deslizamientos en forma de flujos: característicos en casi toda la provincia debido al relieve montañoso, la alta capacidad de evacuación y velocidad de traslación de líquidos de las cuencas hidrográficas.
- Desprendimientos: se observan sobre todo, en los taludes artificiales generados por la actividad humana alrededor de las diferentes obras de ingeniería, destacándose las que se encuentran bordeando o cortando zonas montañosas como son los casos de algunos que se producen en la carretera Guamá – Granma o los producidos en el tramo Santiago- El Cristo de la autopista nacional, elementos que indican igualmente una inadecuada consideración de este riesgo.
- Deslizamientos masivos: se localizan fundamentalmente en zonas de montaña en taludes naturales donde existen rocas agrietadas o meteorizadas, favorecidos además por elementos relacionados a la presencia de planos de falla o elevada saturación; destacándose los ocurridos en la zona de la Gran Piedra, Palma Mocha, entre otros.

Los valores obtenidos de susceptibilidad ante deslizamientos particularmente para la ciudad de Santiago de Cuba ante los deslizamientos, van de baja a media. Las zonas con peligros potenciales y con observaciones efectivas se encuentran en el borde este de la bahía a lo largo de la Carretera Turística desde Altamira hasta Punta Gorda. Se incluyen las laderas de las elevaciones en la zona de Chicharrones, distritos Antonio Maceo y José Martí (al norte de Micro 7), así como el Abel Santamaría, Quintero y en la Autopista [10]. Estudios realizados por otros autores ratifican a las zonas montañosas de los municipios Guama, Santiago de Cuba, II Frente y III Frente como los de mayor peligro ante deslizamientos, se consideran como medios en zonas montañosas de San Luis, Palma Soriano y Songo- La Maya, y de bajos para el resto de la provincia (Fig. 21) [12,23].

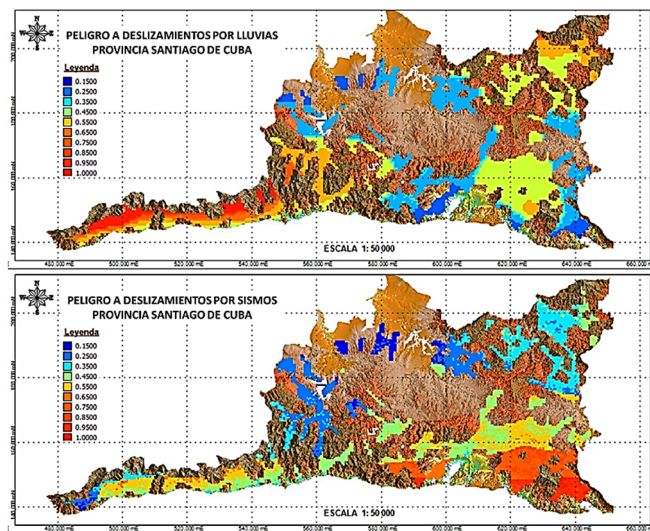


Figura 21. Imagen de los modelos de peligro a deslizamientos por lluvias (arriba) y sismos (abajo) de la provincia Santiago de Cuba.

Fuente: Elaborados por los autores.

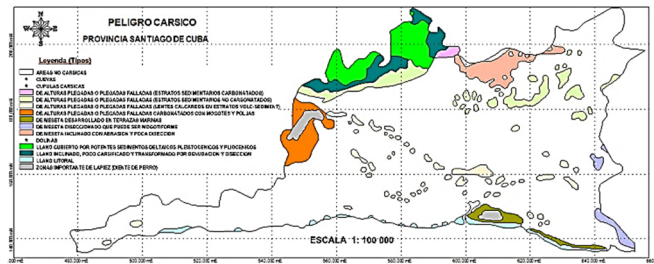


Figura 22. Imagen del mapa de desarrollo cársico o amenaza cársica.

Fuente: [8]

Según el mapa de desarrollo cársico de Cuba tomado del atlas nacional, los procesos cársicos se encuentran en diferentes etapas de desarrollo en la provincia Santiago de Cuba; hacia las costas predomina del tipo mesetas en terrazas marinas, en su porción noroeste se caracteriza por ser de meseta inclinado con alturas plegadas o falladas en estratos calcáreos combinados con zonas llanas de escaso desarrollo cársico, y hacia la parte meridional se observa desarrollo de alturas plegadas o falladas en estratos vulcanógeno sedimentarios [8] (Fig. 22).

Las principales afectaciones por peligro cársico en la región suroriental del país, y consecuentemente en la provincia Santiago de Cuba, se encuentran en las zonas cercanas a las costas donde se genera una alta infiltración al manto freático, formación de cavidades y por tanto, daños a distintas infraestructuras; propiciando además, algunos asentamientos diferenciales en determinadas áreas. Otras manifestaciones pueden relacionarse con el derrumbe de algunas paredes de formaciones cársicas que se encuentran cercanas a las costas formando terrazas en la cuenca Santiago y el área de Baconao, donde se han ubicado varias construcciones y obras de infraestructura (entre ellas varios hoteles: Costa Morena, Bucanero y Balcón del Caribe). [1]

Las afectaciones por la presencia del carso se manifiestan, por ejemplo, en una obra hidráulica de importancia como la Presa Parada, destinada a abastecer la zona industrial y una buena parte de la población de la ciudad de Santiago de Cuba. Esta presa nunca ha podido satisfacer la demanda para la cual fue inicialmente diseñada. En su ejecución fue subvalorada la presencia de rocas altamente porosas y agrietadas en la base de la cortina y el vaso del embalse. Hoy existen varias zonas de filtración por las cuales se evacuan hacia el manto freático varios miles de metros cúbicos de agua, y a pesar de los trabajos enfocados a disminuir la vulnerabilidad que muestra la presa ante la presencia del carso (inyecciones de cemento en la base de la cortina), la presa continua evacuando grandes volúmenes de agua por esta vía, evidenciando igualmente limitaciones en la gestión ante este peligro geológico [12] (Fig. 23).

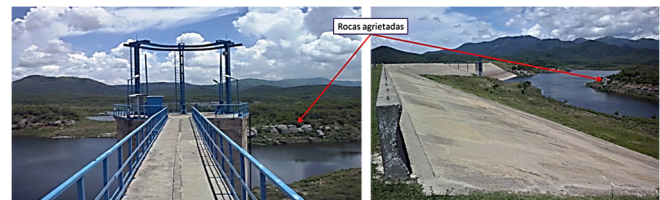


Figura 23. Imágenes de la presa Parada, señalándose el alto agrietamiento primario producto a la carsificación acelerada por los procesos microsísmicos regionales presentes en Santiago de Cuba.

Fuente: Fotografía tomada por los autores.

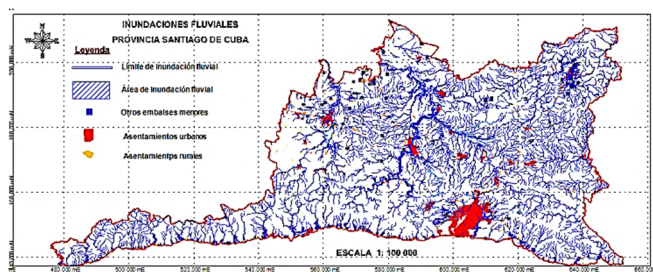


Figura 24. Imagen del mapa de peligro a inundaciones fluviales de provincia Santiago de Cuba.

Fuente: [7]

Las inundaciones en la provincia ocurren con mayor frecuencia en los municipios II Frente, Contramaestre, Palma Soriano, Guamá y Santiago de Cuba [7] (Fig. 24).

La causa fundamental de las inundaciones fluviales en Santiago de Cuba son las fuertes lluvias, sobre todo en la temporada ciclónica; pero no todas las inundaciones graves ni los daños provocados por estas y por las crecidas de los ríos tienen como causa a este fenómeno. Áreas de la ciudad cabecera como Yarayó, Avenida Jesús Menéndez, San Juan, Los Cangrejitos y Planta Eléctrica (por solo citar algunos ejemplos), se han visto afectadas con inundaciones frecuentes debido, fundamentalmente, al cambio en los usos de suelo y al deficiente drenaje de alcantarillado. [6]

Los factores más comunes de vulnerabilidad están relacionados con la obstrucción de canales de desagüe por residuos y fragmentos generados por la actividad humana [23], la insuficiente evaluación y gestión de estos fenómenos en los procesos de planeación y ordenamiento al no atender correctamente las valoraciones realizadas por especialistas en la provincia, y con el insuficiente sistema de alcantarillado y evacuación de residuos líquidos, no solo de la ciudad cabecera, sino de toda la provincia en general, el cual necesita ser reparado, ampliado y reacondicionado para responder con eficiencia a las exigencias del desarrollo actual del territorio.

Los municipios Santiago de Cuba y Guamá son afectados por inundaciones costeras, registrándose daños materiales a la actividad agrícola, turística, viales, puentes, viviendas, y distintas comunidades cercanas a la línea de costa, sobre todo en temporada ciclónica cuando se combina la acción erosiva del mar, el viento y la lluvia, denotando la consideración y gestión inadecuada de este peligro. Las afectaciones más recientes ocurrieron en el municipio Guamá durante el paso del huracán Sandy en octubre 2012. Estos daños generalmente están asociados a la combinación de fenómenos relacionados a las penetraciones del mar y las inundaciones fluviales en zonas costeras, donde la diferencia de densidad entre el agua del mar y la de los ríos provoca un crecimiento de la columna de agua hacia el interior de la zona en los estuarios.

Por otro lado existen áreas, sobre todo en los límites de la bahía de Santiago de Cuba y otras áreas costeras puntuales, donde se desarrollan zonas pantanosas. Las observaciones realizadas durante la investigación confirmaron que este fenómeno puede afectar la estabilidad del terreno y de las infraestructuras de la planta eléctrica "René Ramos Latour", la refinería de petróleo "Hermanos Díaz" y otras ubicadas en estas áreas. Este es un elemento que incrementa las

potencialidades de manifestación de la licuefacción del terreno como fenómeno geológico secundario.

En la provincia Santiago de Cuba existen varios factores antrópicos que incrementan la susceptibilidad de los suelos, las aguas superficiales y subterráneas ante distintos procesos de contaminación, entre estos se focalizan los siguientes:

- Desarrollo de actividades constructivas y agrícolas en las cuencas de los ríos principales donde se explota el agua para el abastecimiento a la población: 1. Río San Juan, donde se encuentra el acuífero de mayor importancia económico-social de la provincia y se obtiene agua subterránea para abastecimiento a gran parte de la población de la ciudad de Santiago de Cuba. En la zona baja de El Caney y el área de San Juan ha proliferado la construcción de fosas de desechos fecales humanos sin sello en el fondo e improvisación de desagües en zonas donde no existen alcantarillados; además de la realización de actividad agrícola cargada de fertilizantes cuya aureola de dispersión permite la entrada al manto freático de elementos nocivos para la salud. 2- Río Cauto, donde se encuentran varios asentamientos humanos en su cauce, además de la presa más grande de la provincia y otra de menor categoría (es el río más largo de Cuba y tiene fuera de Santiago de Cuba otros embalses y asentamientos humanos).
- La generación de desechos industriales que van a parar al subsuelo, ríos y bahía de Santiago de Cuba, donde se dirige una carga contaminante considerable de las industrias y población de sus alrededores. [20]

Los elementos analizados evidencian insuficiencias en la gestión de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba, que hacen necesario transformar las estrategias de trabajo, disminuir la vulnerabilidad de la población, y realizar continuamente un conjunto de acciones encaminadas a reducir los desastres.

5. Conclusiones

Geológicamente en la provincia Santiago de Cuba predominan formaciones abundantes en rocas vulcanógeno y vulcanógeno sedimentarias en las áreas de montaña, pudiéndose encontrar formaciones sedimentarias en la cuenca Santiago y hacia la parte noroeste principalmente; elementos que conjuntamente a las condiciones geomorfológicas y sismotectónicas de la provincia, condicionan la magnitud de los distintos procesos y fenómenos geológicos que aquí tienen lugar.

Los peligros geológicos mayormente generadores de riesgos son los sismos, los deslizamientos, la erosión continental y costera, las inundaciones, el carso y distintos procesos antrópicos, cuya gestión inadecuada ha ocasionado manifestaciones palpables de daños en distintas localidades del territorio.

Los elementos analizados evidencian la necesidad de dirigir las herramientas de gestión hacia el mejoramiento continuo del diagnóstico de riesgos, la reducción de la vulnerabilidad y los efectos de los distintos procesos y fenómenos geológicos en la provincia Santiago de Cuba; y por consiguiente, la uniformidad de acciones tanto nivel de municipios como de la provincia.

Bibliografía

- [1] Cabrera-Castellanos, M., Santos-Hernández, R.M., Mapa Geomorfológico del territorio marino y costero de Cuba a escala 1:1000 000. Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2007. Memorias, ISBN: 978-959-7117-16.2. La Habana, Cuba. [en línea]. 2007. Disponible en: http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2007_geologia.pdf
- [2] Carrillo, D., Echavarría, B., Castellanos, E., Triff, J. y Núñez, K., Léxico estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. La Habana, Cuba. [en línea]. 2009. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/403330317/LEXICO-ESTRATIGRAFICO-DE-CUBA-pdf#download>
- [3] Chuy-Rodríguez, T.J., Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica. Tesis Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del CENAIIS e Instituto de Geofísica y Astronomía, La Habana, Cuba. [en línea]. 1999, 273 P. Disponible en: <http://www.cenais.cu/strong/1906/doc/TESIS%20DOCTORAL-Tom%C3%A1s%20Chuy.pdf>
- [4] Chuy-Rodríguez, T.J., Despaigne-Longchamp G., González-Simón, L., Nuevas investigaciones sísmológicas en Cuba. 1ª ed. Fondos del CENAIIS e Instituto de Geofísica y Astronomía. La Habana, Cuba. 1997.
- [5] Chuy-Rodríguez, T.J., Despaigne-Longchamp, G. y González-Simón, L., Nuevas investigaciones sísmológicas en Cuba, 2da ed. Fondos del CENAIIS e Instituto de Geofísica y Astronomía. La Habana, Cuba. 2002.
- [6] Chuy-Rodríguez, T.J., Rosabal-Domínguez, S., Zapata-Balanqué, J.A., Gómez, J., Oliva-Álvarez, R., García-Peláez, J. y Rivera, Z., Amenazas Municipio Santiago de Cuba. Proyecto caracterización e impacto de amenazas naturales extremas en Santiago de Cuba. Archivo CENAIIS. Santiago de Cuba, Cuba, 2005.
- [7] Colectivo de Autores. Mapa de peligrosidad por inundaciones costeras provincia Santiago de Cuba. Taller de trabajo para establecer los límites de las áreas por inundaciones costeras, por penetración del mar e inundaciones por intensas lluvias en los municipios costeros Guamá y Santiago de Cuba. MEGACEN - IDICT - CIES - CENAIIS - CITMA Santiago de Cuba, Dirección provincial de planificación física, GEOCUBA oriente sur, Inst. Pedagógico Frank País García. Archivo CENAIIS.CITMA. Santiago de Cuba, Cuba, 2010.
- [8] Colectivo de autores. SIG de la Base nuevo Atlas Nacional de Cuba, escala 1:100 000. CITMA. La Habana, Cuba, 2002.
- [9] DCRC-UnivTohoku. Proyecto de microzonación sísmica de la República de Cuba con el empleo de herramientas de modelación. Archivos CENAIIS. Santiago de Cuba, Cuba, 2003.
- [10] Fernández-Melián A., et al., Atlas de peligros naturales del municipio Guamá: proyecto contribución a la disminución de la vulnerabilidad de las comunidades por eventos geológicos en el municipio Guamá. Archivo CENAIIS. Santiago de Cuba, Cuba, 2002.
- [11] Galbán-Rodríguez, L. y Guardado-Lacaba, R., Modelación del peligro a deslizamientos en el Municipio Santiago de Cuba considerando el peso de las variables determinantes. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, [en línea]. 18(1), pp. 89-99, 2016. ISSN: 1853-0400. Disponible en: <http://revista.macn.gob.ar/ojs/index.php/RevMus/article/view/438/421>
- [12] Galbán-Rodríguez, L., Procedimiento para la gestión y reducción de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba. Tesis de Dr., Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Cuba. [en línea]. 2014. Disponible en: <http://eduniv.mes.edu.cu/index.php?page=3&id=951&db=1>
- [13] Galbán-Rodríguez, L., Algunas reflexiones sobre las causas que generan el riesgo geológico en la provincia Santiago de Cuba. III Taller Internacional "Nuestro Caribe en el Nuevo Milenio". Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, 2009. ISBN: 979-859-107-129-9.
- [14] Geocuba Oriente Sur. SIG de la base cartográfica de Santiago de Cuba a escala 1:100 000. Santiago de Cuba, Cuba. Cortesía de los autores. 2010.
- [15] Nagy, E. et al., Contribución a la geología de Cuba Oriental. Instituto de Geología y Paleontología, Acc. Editorial Científico Técnica. La Habana, Cuba. 1983.
- [16] NOAA/NWS. Modelo de la amplitud de las olas generadas por el terremoto de 1882 cerca de Panamá. Programa de alerta de tsunamis del Caribe del Servicio Meteorológico Nacional de EE.UU. y la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, Parte 3, [en línea]. 2013. Disponible en: http://www.meted.ucar.edu/tsunami/strike_carib_es/_iframe/s4_p6.htm
- [17] ONEI. Anuario estadístico de Cuba 2018. Oficina Nacional de Estadística e Información. [en línea]. 2018. Disponible en: <http://www.one.cu/aec2012/20080618index.htm>
- [18] Pérez-de los Reyes E., et al., Las inundaciones costeras en Cuba. Sistema nacional de alerta de eventos naturales extremos en la zona costera. Publicaciones Red UTEEDA-CYTED. Editora UNAH. La Habana, Cuba. [en línea]. 2006. Disponible en: <http://uteeda.isch.edu.cu/Publicaciones-UTEEDA-CYTED/cuba/M1.swf>
- [19] Pérez-Escobar, E.M. y Sánchez-Cruz, R., Interpretación de los campos magnéticos y gravimétricos profundos del sistema de fallas Santiago con fines sismotectónicos. 2da Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2007. Memorias, La Habana, Cuba. [en línea]. 2007. ISBN: 978-959-7117-16.2. Disponible en: http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2007_geologia.pdf
- [20] Regadera, L., et al., Diagnóstico de la calidad de las aguas en la Bahía de Santiago de Cuba. Memorias, Conferencia Internacional de Manejo Integrado de Zonas Costeras. "CARICOSTAS 2005". Santiago de Cuba, Cuba, [en línea]. 2005. ISBN 959-207-195-0. Disponible en: <https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/3572/061%20CONTROL%20DE%20LA%20CALIDAD%20AMBIENTAL%20DEL%20ECOSISTEMA....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [21] Rosabal-Domínguez, S., Zapata-Balanqué, J.A. y Gómez, J., Incidencia de la geomorfología en los impactos ambientales negativos en la carretera de Beltrán, Guantánamo, Cuba. Revista Mapping Interactivo, [en línea]. 18(133), pp. 94-98, 2009. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3223583>
- [22] Varner, J., Mapa de impactos de tsunamis en el Caribe 1493-2013. Centro Nacional de Datos Geofísicos, Nicaragua. [en línea]. 2013. Disponible en: <http://www.ngdc.noaa.gov/hazards/tsu.shtml>
- [23] Villalón-Semant, M., Rosabal-Domínguez, S., Infante-Gilart, Y., Chuy-Rodríguez T.J. y Zapata-Balanqué, A., Riesgo por deslizamientos de tierra en la provincia Santiago de Cuba. Centro Nacional de Investigaciones sísmológicas. Archivos CENAIIS. Santiago de Cuba, Cuba, 2012.
- [24] Villarrubia.Román, R., Reciclaje de desechos sólidos en el Centro Histórico de la Ciudad de Santiago de Cuba. Un reto para el futuro. II Conferencia Internacional de Manejo Integrado de Zonas Costeras, CARICOSTAS 2005, Santiago de Cuba, Cuba. 2005. ISBN: 959-207-195-0.

L. Galbán-Rodríguez, es graduado como Ing. Geólogo en 1995, Dr. en Ciencias Geológicas en 2015, todos en la Universidad de Moa (anteriormente: Instituto Superior Minero Metalúrgico), Holguín, Cuba. Actualmente es profesor titular de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, Cuba. Encargado de las disciplinas de Geotecnia e hidrogeología en la carrera de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Construcciones. Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba, 2014. Sus intereses de investigación se relacionan con evaluación de riesgos y desastres, vulnerabilidad y riesgos de obras hidráulicas, estudios medioambientales, Estudios de peligros geológicos, entre otros relacionados.
ORCID: 0000-0002-2377-9008

R.M. Guardado-Lacaba, es graduado como Lic. en Geología en 1974 en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Dr. en Ciencias Geológicas en 1989, en la Universidad de Moa (anteriormente: Instituto Superior Minero Metalúrgico), Holguín, Cuba. Actualmente es profesor titular de la Universidad de Moa, Cuba. Encargado de las disciplinas de Geotecnia y Geodinámica en la carrera de Ingeniería en Geología, Facultad de Geología y Minas. Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba, 2002, 2013. También es académico titular de la Academia de Ciencias de Cuba. Sus intereses de investigación se relacionan con evaluación de riesgos y desastres, peligro, vulnerabilidad y riesgos geológicos, estudios medioambientales, entre otros relacionados.
ORCID: 0000-0003-1075-8176

T.J. Chuy-Rodríguez, es Graduado como Lic. en Física en 1978 en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Dr. en Ciencias Geofísicas en 1999, en la Universidad Tecnológica de la Habana (anteriormente: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría- CUJAE), La Habana, Cuba. Actualmente es investigador titular del Centro Nacional de Investigaciones Sismológica de Cuba- CENAI y, profesor titular de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, Cuba. También es académico titular de la Academia de Ciencias de Cuba. Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba, 2002, 2005, 2013, 2018. Sus intereses de investigación se relacionan con evaluación de riesgos y desastres, peligro, vulnerabilidad y riesgos sísmicos, estudios medioambientales, entre otros relacionados. ORCID: 0000-0003-1452-0683