



TSUNAMIS. CAUSAS Y PELIGROS PARA CUBA Y EL NORTE DEL CARIBE

Enrique Diego Arango Arias

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS). Calle 17 no. 61, Rpto. Vista Alegre, Santiago de Cuba, Cuba. Email: earango@cenais.cu

RESUMEN

Después del megadesastre ocurrido en el Océano Indico el 24 de diciembre del 2004 como resultado del tsunami generado por un sismo de 9.0 en la escala de Richter, y recientemente después del sismo y tsunami de Japón del 11 de marzo del 2011, la mayoría de los estados con costas a océanos donde existen zonas potencialmente tsunamigénicas han comenzado a realizar estudios del posible nivel de peligro al impacto de un tsunami generado por sismos o cualquier otro fenómeno geológico. El territorio cubano por ser una isla con costas al océano Atlántico y al mar Caribe deber ser también considerado como vulnerable ante el impacto de tsunami, aunque con menor nivel de peligro que otros países con costas a los océanos Atlántico e Indico. Este trabajo tomó como punto de partida los catálogos de tsunamis elaborados y publicados por diferentes autores para el área del Caribe, los cuales fueron revisados y confrontados con los sismos fuertes reportados en el área del norte del Caribe por los diferentes catálogos de sismicidad histórica e instrumental tanto nacionales como de agencias o instituciones internacionales. Igualmente se tomaron en cuenta las principales zonas sismogénicas que pueden constituir amenazas para el norte del Caribe y en especial para el territorio cubano por la ocurrencia en ellas de sismos de magnitud mayor que 7 en la escala de Richter ante el impacto de tsunami generado por sismos.

INTRODUCCIÓN

Sin dudas la ocurrencia del Megatsunami el 26 de Diciembre del 2004 en Indonesia despertó en todo el mundo el interés tanto por investigar el riesgo a esta amenaza para las diferentes cuencas oceánicas como la necesidad de llevar a cabo Sistemas de Alerta que permitan disminuir las pérdidas de vidas humanas y económicas ante la generación de un tsunami catastrófico. Entre las lecciones que dejó el impacto del Tsunami de Indonesia nos enseñó que existen peligros geológicos poco recurrentes pero muy peligrosos los cuales no podemos olvidar y que debido al crecimiento poblacional en los países insulares esta amenaza se convierte en un riesgo potencial. Como parte del sistema de medidas de la Defensa Civil, Cuba tiene el peligro de tsunami como una premisa de desastre.

La causa más frecuente de Tsunamis son los terremotos. Cuando una placa tectónica se sumerge debajo de otra en una zona de subducción la placa y se produce la liberación del esfuerzo en forma de terremoto se genera un "disparo" vertical de la placa suprayacente que provoca a su vez la formación de una columna de agua. Terremotos de gran magnitud ($M > 7.5$) y superficiales (o cercanos al suelo oceánico $< 50\text{km}$) pueden desplazar una suficiente cantidad de agua como para producir un tsunami.

En Cuba, país insular situado al Norte del Caribe, varios investigadores no hemos dado a la tarea de realizar investigaciones desde diferentes puntos de vistas para establecer el peligro que puede tener ante la ocurrencia de un tsunami en los diferentes escenarios que la rodean. Estos estudios han estado dirigidos sobre diferentes vertientes: Definición de diferentes zonas tsunamigénicas, catalogación de los tsunamis históricos que han afectado a la isla, estudio de los depósitos costeros relacionados con tsunamis y evaluación de las zonas con peligro de inundaciones costeras.

Este artículo pretende abordar el conocimiento alcanzado hasta el momento relacionado con la ocurrencia de tsunamis en Cuba y su probable amenaza.

CATALOGO DE TSUNAMIS HISTÓRICOS DE CUBA

En los últimos años se han publicado diferentes artículos sobre los tsunamis que han afectado a las costas cubanas en el periodo que abarca desde el siglo XVI hasta el siglo XX en su gran mayoría relacionados con la ocurrencia de sismos que han tenido magnitudes mayores a 6 en la escala de Richter. Entre los artículos consultados se encuentran: Rubio, M. (1982), An intra-america tsunami warning system Project proposal. IOC. UNESCO (2005), Fay O'Loughlin and James F. Lander (2005) y la Base de datos de tsunamis integrada del mundo (2007). Sin embargo hemos verificado



que algunos de los datos que aparecen en estos artículos en ocasiones son contradictorios y no están validados con la ocurrencia de sismos tsunamigénicos, tanto locales como lejanos, por lo cual fue necesario hacer una comprobación de todos los datos existentes con los sismos históricos reportados en Cuba, La Española y Jamaica recogidos en los catálogos de sismos históricos de estas Islas y obtener un catalogo lo mas exacto posible. Como ejemplo se puede mencionar el oleaje reportado en Playa Panchita, al Norte de Cuba, el cual ha sido reportado en muchas publicaciones como tsunami y que ha sido verificado que este oleaje se debió al paso de un huracán por el norte de Cuba entre el 25 y el 30 de Noviembre de 1931.

Es importante señalar que en ningún caso de los tsunamis reportados en Cuba se menciona que hayan ocurrido afectaciones importantes a instalaciones situadas en las costas de Cuba, en casi todos los casos se reportan olas de poca envergadura. A continuación se presenta la tabla con los sismos ocurridos en las inmediaciones de Cuba, La Española, Jamaica, Haití e Islas Vírgenes que con mayor probabilidad han provocado olas de Tsunamis en el norte Caribeño.

Tabla I. Listado de terremotos tsunamigénicos que con mayor probabilidad han afectado el norte del Caribe.

	Lugares de origen del terremoto que originó el tsunami	Fecha, magnitud asignada y número estimado de muertos	Sitios donde se reportaron las olas de Tsunami con diferentes afectaciones o ninguna.
1	Golfo de Honduras	24 Nov. 1539 (Sismo ~7.0 Ms)	Belice, no se reporta en Cuba
2	Jamaica Port Royal	7 Julio 1692(Sismo ~7.5 Ms) (~2 000 muertos)	Port Royal Jamaica: Port Royal.
3	República Dominicana	18 Octubre 1751	Azua, Santo Domingo y Seibó República Dominicana
4	Haiti-Golfo de Gonave	3 Junio, 1770 (Sismo~7.5Ms)	Portau Principe, Haití.
5	Haití	11 Febrero 1775	Haití,
6	Haití	Marzo, 1775	La Española, Cuba
7	Jamaica (Sabanalamar)	3 Octubre, 1780 (Sismo ~7.0 Ms)	Sabana La Mar, Jamaica
8	Jamaica	27 Octubre, 1787	Montego Bay, Jamaica
9	Haití	7 Mayo, 1842,(Sismo 8.1Ms) (~300 muertos)	Guadeloupe, Grenada, Becquia Is., Port de Paix, St. Johns, Haiti, La Española
10	Haití	8 Abril 1860 (Sismo~7.5 Ms)	Haití
11	Islas Vírgenes	18 Noviembre 1867 (Sismo ~7.5 Ms) (~30 muertos)	US Virgin Is., Hassel Is., St Croix, Puerto Rico, British Virgin Is., St. Christopher, St. Vincent, Grenada, Becquia
12	Puerto Rico	17 Marzo 1868	Puerto Rico
13	Española	23 Sep 1887	Haití
14	Kinston, Jamaica	14 de Enero, 1907 (Sismo ~7.0 Ms)	Costa norte de Jamaica
15	Puerto Rico	11 Octubre, 1918 (Sismo ~7.5 Ms) (142 muertos)	Punta Borinquén, Puerto Rico
16	Norte del paso de la Mona.	29 Julio 1943 (Sismo 7.5 - 7.8 Ms)	La Española, Puerto Rico
17	Nordeste de Rep. Dominicana	4 Agosto 1946 (Sismo 7.8 – 8.1Ms)	La Española, Puerto Rico



18	Nordeste de Rep. Dominicana	8 Agosto 1946 (Sismo 7.3 – 7.8 Ms)	Matanzas, Guanabo, Santa Fe, Jaimanitas, Baracoa.
19	Península de Samaná (Española)	21 Abril 1948 (Sismo 7.9 Ms)	Este de la Española

ANÁLISIS DE LAS POSIBLES ZONAS FUENTES TSUNAMIGÉNICAS PARA CUBA RELACIONADAS CON LA OCURRENCIA DE TERREMOTOS.

Para realizar una correcta caracterización de las zonas fuentes tsunamigénicas es necesario debe realizar una caracterización del contexto geodinámico regional, considerando la ubicación del archipiélago cubano en el límite de la Placa de Norteamérica con la Microplaca de Gonave, situada al sur de Cuba. La Placa de Norteamérica la cual presenta un movimiento absoluto de unos 18 a 20 mm/año hacia el este. Este movimiento se genera a partir de la zona de generación de corteza oceánica situado en la dorsal centro - oceánica del Océano Atlántico. Sin embargo, este movimiento hacia el Este se ve modificado en cierta medida por las características del contacto con la Microplaca de Gonave, donde se produce un rozamiento a través de la zona de fallas transformante Oriente.

En la siguiente figura (**fig.1**) se observa la posición de Cuba dentro del contexto geodinámico regional (**Paul Mann, et al. 2002**), así como los vectores de movimiento absoluto de GPS que indican la dirección y velocidad de contacto entre la placa de Norteamérica y la Microplacas situadas al sur de esta.

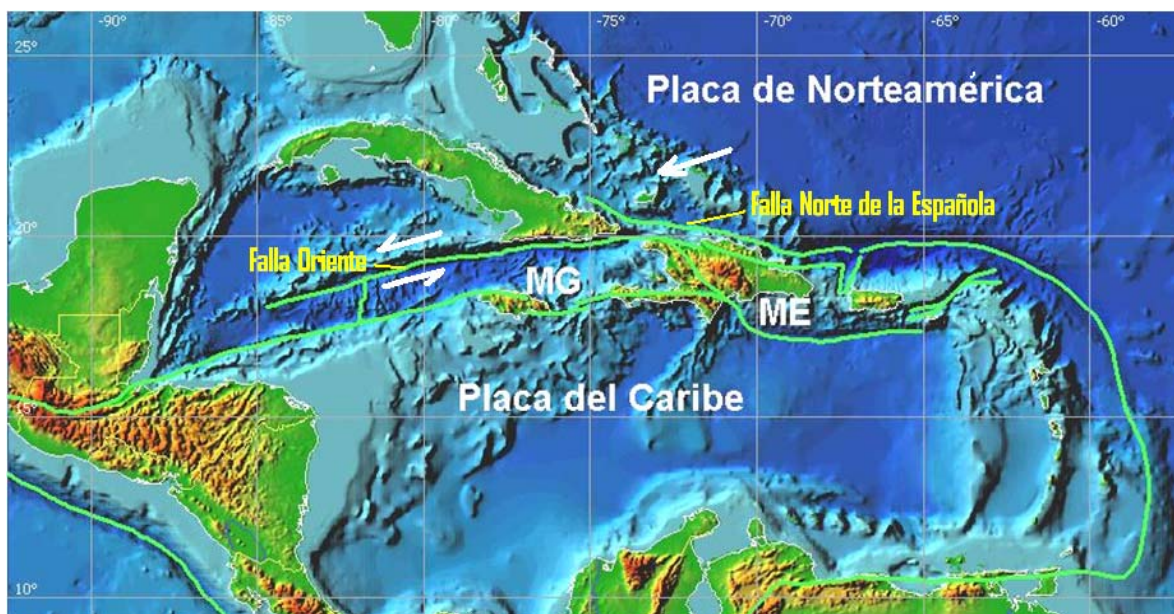


Figura 1. Contexto tectónico del norte del Caribe. MG-Microplaca de Gonave, ME-Microplaca Puerto Rico - La Española.

En las inmediaciones del territorio de Cuba se encuentran dos fallas que constituyen límites de Placas, la falla Oriente, estructura transformante transcortical con un movimiento diferencial siniestro por el rumbo de unos 17 mm/año que constituye el límite entre la Placa de Norteamérica y la Microplaca de Gonave, y la terminación de la falla Norte de la Española, que es a su vez continuidad de la zona de subducción del norte de Puerto Rico y las Antillas Menores.

De las fallas o zonas de fallas que constituyen zonas sismogénicas de primera categoría en el norte del Caribe, en el borde sur de la placas de Norteamérica, la única que reúne las características para la ocurrencia en ella de sismos tsunamigénicos es la falla Norte de la Española según los criterios establecidos por el Centro Internacional de Alerta de Tsunamis.

- Zona de falla de mecanismo inverso, preferiblemente zona de subducción.



- Epicentro del terremoto situado en el mar o cerca de la costa.
- Terremoto de magnitud igual o mayor a 7 Mw.

Tabla II. Criterios para emitir alerta de tsunami según las características del terremoto en el área del Caribe por el Centro Internacional de Alerta de tsunami

Profundidad	Ubicación	Magnitud (Mw)	Potencial tsunami
< 100 km	En el mar, sobre o muy cerca de la superficie	6.0 to 7.0	Muy pequeño potencial para generar tsunami
		7.1 to 7.5	Potencial para generar tsunami destructivo
		7.6 to 7.8	Potencial para generar tsunami regional destructivo
		≥ 7.9	Potencial para generar tsunami regional destructivo interoceánico

Falla Norte de La Española. La falla Norte de la Española es la falla que, como su nombre lo indica, está situada cerca de la costa norte de isla de La Española (República Dominicana y Haití), entre el paso de La Mona (oeste de Puerto Rico) y el extremo oeste de Haití. Es una falla inversa activa en la cual la placa de Norteamérica penetra por debajo de las microplaca que conforma a la isla de la Española con una velocidad promedio anual aproximada de 20 mm/año (Mann, 1995., Mann et al., 2002., Mann 2004., Mann 2006). Esta velocidad relativa de convergencia entre las placas es inferior a la velocidad de choque entre las placas de Suramérica y el Pacífico, así como entre la placa euroasiática e indica que alcanza los 67 mm/año.

En esta zona de fallas han sido localizados los terremotos del 7 Mayo, 1842,(Sismo 8.1Ms) en Haití (~300 muertos) y los terremotos del 4 y 8 Agosto 1946 cuyas olas de tsunami causaron muertes.

A partir del análisis de la información tectónica y sismológica de la región de Moa, al noreste de la región de estudio, Arango et al. (2009), llegaron a la conclusión de que al norte de la región oriental de Cuba, específicamente al este de la bahía de Nipe, a pocos kilómetros de la costa, se evidencia la existencia de la continuidad de la falla Norte de la Española (fig. 2) y no la denominada por estudios anteriores como falla Sabana o Norte Cubana (Orbera et al., 1988; Babaev et al.,1989; Cotilla et al.,1996).

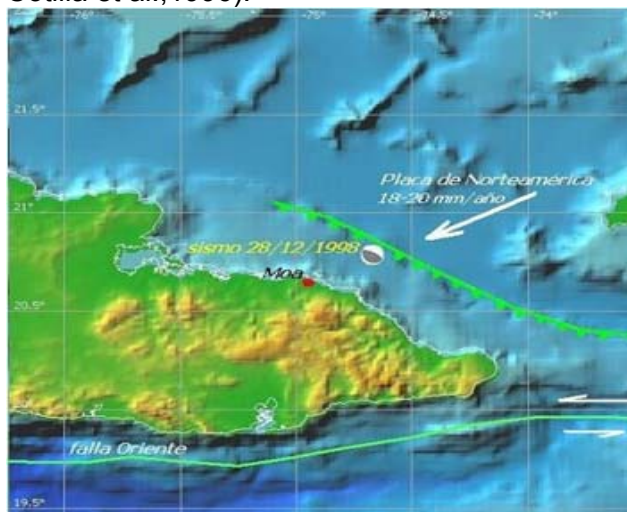


Figura 2. Trazado de la falla Norte de la Española por la porción noreste del extremo oriental de Cuba (Arango 2009).



En estudios geofísicos al norte del extremo oriental cubano la falla Norte de la Española fue detectada por perfiles sísmicos de refracción (fig. 3A). En el modelo de densidad de la corteza en 3D (Arango 2014), se puede observar el reflejo en el límite de la corteza-manto lo que pudiera ser la ruptura de la falla Norte de La Española, que constituye a su vez el límite entre la litosfera continental perteneciente a la placa de Norteamérica (al norte) y la litósfera acrecionada soldada de la antigua placa Caribe a la propia placa de Norteamérica (al sur), (fig.3 B).

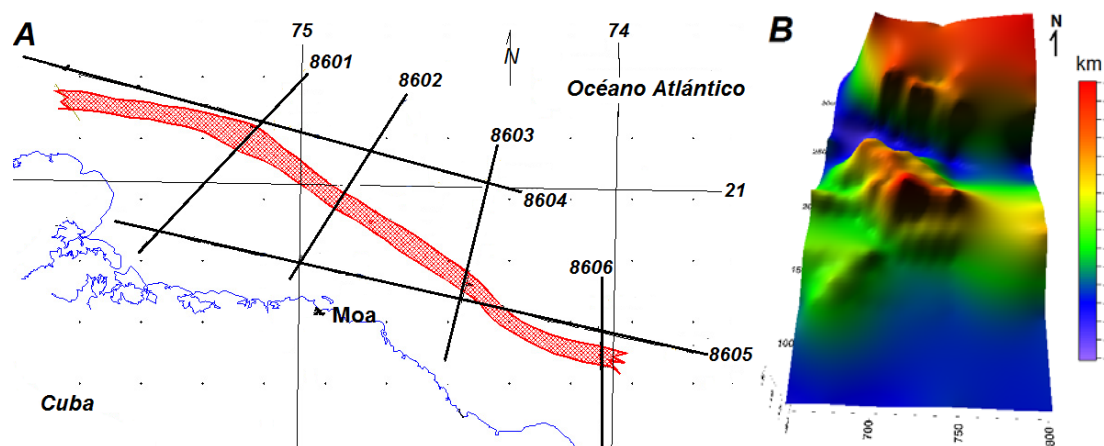


Figura 3. A) Detección de la falla Norte de la Española por medio de perfiles de reflexión sísmica de marina. Comunicación personal de la Empresa Nacional de Geofísica de Cuba (1994). B) Reflejo de la falla Norte de la Española en el límite corteza-manto al noreste del extremo oriental de Cuba, a partir del modelo de densidad en 3D (Arango 2014),.

La posible continuidad de la falla Norte de La Española al norte del extremo oriental cubano, la convierte en el principal elemento sismogénico del noreste oriental con un buzamiento del plano de falla hacia el sureste. A esta falla deben estar asociados los sismos principales ocurridos con mayor frecuencia en este sector a partir de diciembre de 1998. La misma, por las características de su mecanismo inverso en su interacción con el bloque de la parte oriental de Cuba, es potencialmente tsunamigénica a partir de la ocurrencia en ella de terremotos con magnitudes de 7.5 a 8.

Zona de subducción de las Antillas Menores. La zona de subducción de las Antillas Menores abarca una extensa área del norte y este del Caribe, desde el Canal de la Mona, situado entre Puerto Rico y La Española hasta las inmediaciones de la isla de Trinidad y Tobago (fig.1). Por medio de esta zona de subducción se introduce la litósfera oceánica del Atlántico por debajo de la Placa del Caribe a razón de 18 a 20 mm/año, causa fundamental del arco volcánico activo de las Antillas Menores. A esta zona de subducción están relacionados varios sismos tsunamigénicos ocurridos al norte de Puerto Rico e Islas Vírgenes el 18 de noviembre de 1887 y el 11 de Octubre de 1918 los cuales ocasionaron varias muertes.

La modelación de ocurrencia de un tsunami al norte de Puerto Rico muestra que el tiempo de llegada de las olas de tsunami a las costas de Cuba situadas en el extremo este estaría en el orden de los 55 a 60 minutos (fig.4). Este tiempo es relativamente corto para disparar el sistema de alerta de tsunami teniendo en cuenta que luego de ocurrir el sismo con características tsunamigénicas debe de verificarse, antes de tomar medidas de emergencia, si efectivamente el sismo en cuestión generó olas de tsunami con peligro para las comunidades situadas en las costas.

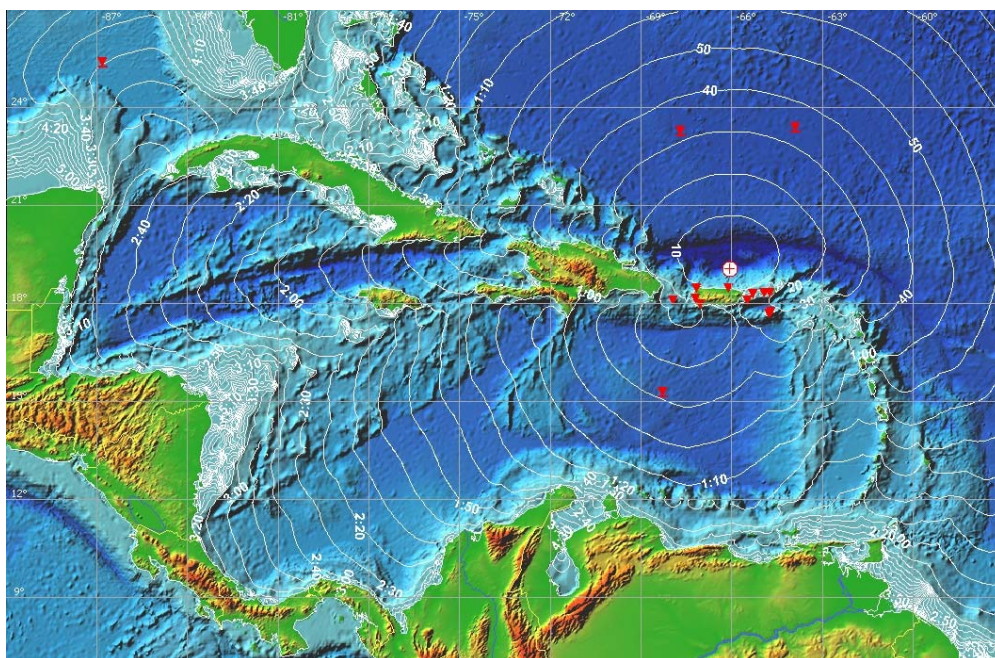


Figura 4. Modelación de generación de las olas de tsunami a partir de la ocurrencia de un terremoto de magnitud 7.5 al norte de Puerto Rico.

Zona Caimán. La probabilidad de que se formen tsunamis por terremotos que ocurran en la zona de Gran Caimán es muy escasa. Esta zona se caracteriza por una pequeña zona de generación de corteza o margen de extensión donde predominan fallas de tipo normal. Este mecanismo de movimiento no genera tsunamis.

Falla Oriente. El trazo de la falla Oriente va desde la zona de expansión de Caimán hasta el norte de La Española. El mecanismo predominante de esta zona de falla es del tipo de deslizamiento por el rumbo el cual no es favorable para la ocurrencia de tsunamis. Sin embargo, en el sector de esta falla situado entre los 75° y 76° de longitud oeste, predominan los mecanismos de movimiento inverso (fig. 5), causados por el proceso de transpresión que ocurre en esta zona al chocar la placa de Norteamérica con la microplaca de Gonave. Aunque este mecanismo podría generar olas de tsunami, la potencialidad sismogeneradora de este sector de 6.5 a 7 de magnitud no es muy probable la generación en el mismo de terremotos tsunamigénicos significativos.

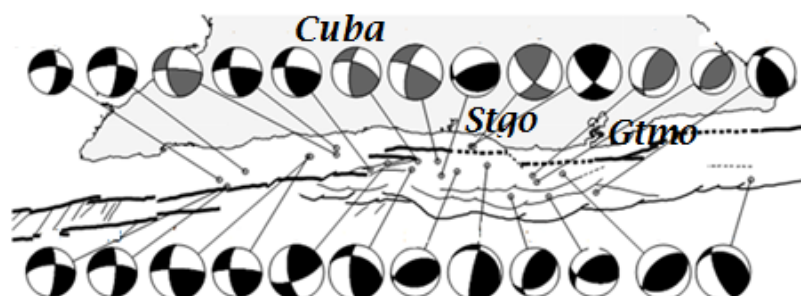


Figura 5. Mecanismos focales de la parte central de la region suroriental de Cuba donde se diferencia la zona transpresiva con mecanismos inversos (mitad este) del resto de la zona donde predominan mecanismos puros strike-slip (mitad oeste). Modificado de Moreno et al. (2002).

En esta zona de la falla Oriente, al sur de la Sierra Maestra, en las inmediaciones de la fosa de Oriente la probable ocurrencia de tsunamis estaría causada por la ocurrencia de deslizamientos del borde del territorio emergido. En esta zona el talud de la costa sur cubana alcanza una pendiente superior a los 45° con una profundidad que oscila entre 5 000 y más de 6 000 metros (fig. 6).



Figura 6. Imagen de satélite donde se observa el talud situado en la costa suroeste de la región oriental de Cuba

Zona de fallas Walton-Plantain Garden. Esta zona de fallas está situada desde la zona sur del centro de expansión de Caimán hasta las inmediaciones de la isla de Jamaica. La misma limita al sur la porción oeste de la microplaca de Gonave. Aunque esta zona de fallas tiene un mecanismo de deslizamiento por el rumbo, la ocurrencia de terremotos con magnitudes superiores a 7 pudiera ocasionar deslizamientos generadores de tsunamis, como los ocurridos el 7 de Julio de de 1692 y el 14 de Enero de 1907.

CONCLUSIONES

- Atendiendo a las características sismotectónicas de la parte norte del Caribe, la zona potencialmente más peligrosa para la ocurrencia de terremotos tsunamigénicos es la región del norte de La Española a Puerto Rico.
- En las zonas de fallas que bordean a la Microplaca de Gonave la mayor probabilidad de tsunamis está relacionada a grandes deslizamientos submarinos.
- La costa norte cubana, incluyendo la cayería norte es la que pudiera presentar algún peligro de impacto de olas de tsunamis generados por terremotos en el norte del Caribe.

BIBLIOGRAFIA

- Arango, et al 2009. Análisis geodinámico y sismotectónico del extremo oriental de Cuba. Acta GGM Debrecina. Vol 4, pp 43-52.
- Calais, E. 1988: Aspect structural d une limite de plaques en coulissage: La frotenière Nord-Caraïbe de Cuba á Hispaniola (Grandes Antilles). Diplome d'études approfondies a l'Universite de Bretagne Occidentale. Archivo CENAI, 118 p.
- Calais, E., Lépinay, M. 1989. Géométrie et régime tectonique le long d une limite de plaques en coulissage: la frontière nord-Caraïbe de Cuba á Hispaniola, Grandes Antilles. Géodynamique. C R. Acad. Sci. Paris, t. 308, serie II, pp 131-135.
- Calais, E., Lépinay, M. 1993. Semiquantitative modeling of strain and kinematics along the Caribbean/North America strike-slip plate boundary zone. Tectonophysics, J. Geophys. Res. Vol. 98. N B 5, pp. 8 293 - 8 308.
- Calais, E., Perrot, J. and Mercier de Lepinay, B., 1998. Strike-slip tectonics and seismicity along the northern Caribbean plate boundary from Cuba to Hispaniola. In Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone. Geol. Soc. Am., Special Paper 326 p.
- International Tsunami Information Centre, Intergovernmental Oceanographic Commission. 2007. Caribbean Training Program in Seismology and Tsunami Warnings. The Seismic Research Unit, The University of the West Indies.



- Mann, P. Taylor, F. Edwards, R. y Ku, T-L. 1995. Actively evolving microplate formation by oblique collision and side-ways motion along strike-slip faults: An example from the northeastern Caribbean plate margin. *Tectonophysics*. Vol. 246, pp. 1-69.
- Mann, P. 1999. Caribbean sedimentary basins: Classification and tectonic setting. In: Mann, P. (Ed.), *Sedimentary Basins of the World*, 4, Caribbean Basins, Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 3-31.
- Mann, P., E. Calais., V. Huerfano 2004. Earthquake shakes big bend region of North America Caribbean boundary zone, EOS, Transactions, American Geophysical Union, 85, 24 p..William H. Bakun and Claudia H. Flores 2011. Historical perspective on seismic hazard to Hispaniola and the northeast Caribbean region. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 116, B12318,doi:10.1029/2011JB008497, 2011