

1

**DEFINICIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN
POR TSUNAMIS:
PROPUESTA PARA LAS LOCALIDADES
DE VIENTO FRÍO Y PALENQUE,
PROVINCIA DE COLÓN, PANAMÁ**

**NÉSTOR LUQUE V.¹, SILVIA CHACÓN B.², YADIRA ECHEVERRÍA D.¹,
ARKIN TAPIA¹, EDUARDO CAMACHO¹**

¹Universidad de Panamá, Instituto de Geociencias,
Campus Octavio Méndez Pereira.

²Universidad Nacional de Costa Rica,

Red de Observación del Mar de Costa Rica.

Autor para la correspondencia: Néstor Luque Vergara,
barcelona010104@yahoo.com

RESUMEN

El 7 de septiembre de 1882, frente a las costas de la Comarca Guna Yala, ocurrió un sismo de magnitud $M_s=7.9$, originado en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá, el cual no solo fue sentido en todo el país, sino que generó un tsunami, con olas de al menos 3 metros de altura, que cobró la vida de 75 personas. El propósito de esta investigación fue modelar numéricamente este tsunami histórico, pero considerando un sismo de mayor magnitud, al incorporar algunos lineamientos del ejercicio CaribeWave/Lantex de marzo de 2015; con el fin de conocer el posible alcance de una inundación por tsunami, en un sector de la Costa Arriba de Colón, específicamente en los poblados costeros de Viento Frío y Palenque. El modelado numérico se realizó en la interfaz ComMIT, basada en el modelo MOST de la NOAA, y permitió definir la línea de máxima inundación por tsunami en las dos localidades, conocer el tiempo de arribo de la primera ola y generar mapas mediante los Sistemas de Información

Geográfica, de las alturas máximas del tsunami, profundidad de la inundación, velocidad de la corriente y de zonas seguras. Los resultados del modelado de este evento tsunamigénico con una magnitud extrema de $M_w = 8.5$, indican que, de darse una inundación por tsunami, los poblados de Viento Frío y Palenque podrían inundarse en su totalidad, con un tiempo estimado de arribo de la primera ola entre 15 a 20 minutos y alcanzar profundidades superiores a los dos (2) metros sobre el suelo y velocidades de corriente que representarían un alto nivel de peligro para los habitantes y las viviendas existentes.

PALABRAS CLAVES

Tsunamis, Zonas de Inundación por tsunamis, Mapas de Inundación, Provincia de Colón, Costa Arriba de Colón, Palenque, Viento Frío.

INTRODUCCIÓN

Los tsunamis se definen generalmente como una serie de olas oceánicas desencadenadas principalmente por grandes terremotos generados bajo el fondo marino. Los mismos, en su fase final y más destructiva, inundan las costas causando graves daños a las comunidades y ambientes costeros (Comisión Oceanográfica Intergubernamental, 2012).

A lo largo de la historia las inundaciones por tsunamis han causado incontables muertes, pérdidas económicas y devastación en muchas partes del mundo. Según la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (2012), hasta el año 2012, mundialmente ocurrieron 279 tsunamis que causaron más de 600,000 muertes en poblados costeros.

Estudios previos de amenaza por tsunamis en Centroamérica indican que el 43% de los terremotos mayores de 7.0 grados generan tsunamis en el Pacífico; mientras que para el Caribe el 100% y también sugieren que las zonas con mayor potencial para generar tsunamis en el Atlántico corresponden a las costas de Panamá, Costa Rica y Honduras (Fernández *et al.*, 2000). En los últimos 500 años en ambas costas de Centroamérica se generaron aproximadamente 49 tsunamis, de los cuales por lo menos 12 corresponden a la costa Caribe (Molina, 1997).

Los tsunamis ocurren más frecuentemente en las costas del Pacífico en comparación con otras regiones, debido a los grandes sismos generados en el Cinturón del Fuego (Comisión Oceanográfica Intergubernamental, 2012), pero

el Mar Caribe también ha sido escenario de importantes eventos tsunamigénicos, a pesar de que ocurren con menor frecuencia, debido a que más del 50% de los límites de placas de esta región poseen naturaleza transcurrente (Pérez *et al.*, 2014). Panamá fue uno de estos escenarios el 7 de septiembre de 1882, cuando frente a las costas de la provincia de Colón y la Comarca Guna Yala ocurrió un sismo de magnitud 7.9 (Ms) con origen en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (Figura 1) el cual desencadenó un tsunami que acabó con la vida de al menos 75 personas en el Archipiélago de San Blas (Camacho *et al.*, 2010).

El extremo Este del Cinturón Deformado del Norte de Panamá es considerado como una de las fuentes más importantes generadoras de grandes terremotos en el Caribe (Camacho *et al.*, 2010).

El sismo del 7 de septiembre de 1882 se sintió en todo el país y causó daños de diferentes magnitudes a las edificaciones; además de efectos geológicos como licuefacción del suelo y deslizamientos. Por otro lado, según el relato de los indígenas, en la Comarca Guna Yala, entre 15 y 30 minutos después del terremoto llegó la primera de las cuatro (4) olas que sumergieron por varios minutos las islas del Archipiélago de San Blas. El mayor daño lo causó la tercera ola que barrió con varias comunidades y cosechas (**Star and Herald**, 1882).

Las olas de este tsunami local alcanzaron por lo menos tres (3) metros de altura en las costas de Guna Yala y el Golfo de Urabá en Colombia, pero se dieron en menor escala frente a las costas de la Ciudad de Colón, donde el mareógrafo operado por la Compagnie Universelle du Canal Interoceanique de Panamá midió un tsunami de 0.62 m (**Star and Herald**, 1882).

Por las características de este evento sísmico y el posterior tsunami, en el mes de marzo del año 2015, se realizó un simulacro de alerta de tsunami como parte del Ejercicio CARIBEWAVE / LANTEX 2015, en el cual seleccionaron como uno de los escenarios, el tsunami histórico del 7 de septiembre de 1882 (Intergovernmental Oceanographic Commission, 2014).

Los tsunamis, como cualquier otra amenaza natural, no pueden evitarse, pero todas las iniciativas o ejercicios que permitan anticiparse a estos escenarios son muy útiles para preparar a la población. En este contexto, los mapas de inundación por tsunamis, que indican el alcance de una potencial inundación y qué áreas serían afectadas, constituyen herramientas que brindan las directrices básicas para desarrollar planes de respuesta, ordenar el territorio, establecer

rutas de evacuación o sensibilizar a la población expuesta; con el fin de atenuar los efectos de un tsunami, es decir, la pérdida de vidas o de propiedades y las afectaciones económicas.

En Panamá no se cuenta con una red de mareógrafos, personal 24/7 en un Centro de alerta de tsunamis, mapas de inundación por tsunamis y tampoco se han llevado a cabo ejercicios de modelados computacionales que permitan aumentar el conocimiento sobre los efectos que tendría un probable tsunami en algún sector del país. Razón por la cual este trabajo se convertirá en el primer intento o propuesta nacional para definir zonas de afectación por la ocurrencia de un tsunami local, similar al del 7 de septiembre de 1882.

PARTE EXPERIMENTAL

Adquisición y Generación de los datos

En esta primera fase se adquirieron los datos geoespaciales existentes del área de estudio, los cuales básicamente corresponden a datos topográficos y batimétricos.

Los datos topográficos de las zonas costeras de Viento Frío, Palenque y sus alrededores se obtuvieron de un Modelo Digital de Superficie (DSM) en formato raster, con resolución horizontal de 30 metros, debido a la inexistencia de hojas topográficas a escala 1:50,000 para esta región del país, las cuales hubiesen ofrecido datos con mejor detalle de las zonas en mención.

Un modelo digital de superficie es aquel que representa las elevaciones de la superficie de la tierra, producto de mediciones de radares, los cuales recuperan las señales espectrales de retorno de cualquier objeto que se encuentre en la superficie, incluyendo vegetación, edificios, entre otros.

El modelo utilizado para desarrollar esta investigación corresponde al generado por NextMap Intermap, el cual es producto de la fusión de datos del SRTM, ASTER y GEOTOPO, cuyo control y corrección vertical se realizó utilizando tecnología LiDAR ICESat a nivel global.

Los datos topográficos se requerían en un primer formato de salida, texto plano (ASCII); por tanto, el modelo digital de superficie, en formato raster, se convirtió a una capa vectorial de puntos, utilizando los Sistemas de Información

Geográfica, desde donde se exportaron los datos en formato de texto solo con las coordenadas X, Y, Z.

Los datos batimétricos se obtuvieron de cartas náuticas digitales a escalas grandes, 1:75,000 y escala media 1:400,000 (ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de las Cartas Náuticas utilizadas para la obtención de los datos batimétricos

Carta Náutica	Escala	Año y Edición	Fuente
Carta de Aproximación a Cristóbal. Costa norte de Panamá 26066 .	1:75,000	1995 12ª Edición	Gobierno de EE.UU. Defense Mapping Agency.
Carta de Aproximación al Golfo de San Blas. Cayos Chichimé a Punta Rincón 26065 .	1:75,000	1996 4ª Edición	Gobierno de EE.UU. Defense Mapping Agency.
Golfo de Los Mosquitos a Punta Mosquito. Serie Internacional 4120 .	1:400,000	2005 1ª Edición	Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH). Publicada por la Dirección General Marítima de la Armada, República de Colombia. Disponible en: http://www.cioh.org.co/derrote-ro/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=62

Se utilizaron dos (2) cartas de aproximación o acceso a puertos (Cristóbal y el Golfo de San Blas), para obtener la batimetría más cercana a la costa, y una carta náutica de una serie internacional de la Dirección General Marítima de la Armada de Colombia, para obtener la batimetría de aguas más profundas; esta última carta cubre el Mar Caribe aproximadamente hasta los 11 grados de latitud norte.

Las cartas náuticas fueron georeferenciadas, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica, al Sistema de coordenadas proyectadas UTM y al Datum WGS84, con el fin de digitalizar los puntos que indicaban las profundidades del fondo marino de la región bajo estudio. Estos datos puntuales con las respectivas coordenadas X, Y, Z, también se exportaron en formato de texto.

Integración de los datos

Los datos de batimetría, topografía y de la línea de costa se compilaron en un solo archivo ASCII, para ser ingresados al programa MATLAB®, con el fin de interpolar todos los puntos y generar tres mallas de inundación de diferentes tamaños (A, B y C), donde la malla C constituye la de mayor resolución.

Estas mallas fueron exportadas desde el programa MATLAB® con la extensión .MOST, formato requerido para el modelado numérico del tsunami.

Modelado Numérico del Tsunami utilizando la Interfaz ComMIT

En esta fase de la investigación se modelaron los tres procesos de evolución del tsunami, la generación y deformación del terremoto, la propagación y la inundación de la costa, a través de la Interfaz ComMIT (Community Model Interface for Tsunami) versión 1.7.5, en español “Interfaz para la elaboración en comunidad de modelos de tsunamis”.

ComMIT es una interfaz gráfica intuitiva, diseñada en torno al modelo numérico de tsunamis desarrollado por Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL) de la NOAA denominado MOST (*Method Of Splitting Tsunamis*); ha sido diseñado para que pueda ser usado de forma sencilla por los modeladores, que permita difundir y compartir los resultados en la comunidad regional a través del internet (NOAA, NCTR).

El modelado numérico se realizó en primer lugar para un escenario histórico en particular, del cual se obtuvieron los mapas de amenaza por altura del tsunami, profundidad de la inundación y velocidad de la corriente. El segundo ejercicio de modelado correspondió a la combinación o superposición de diferentes eventos tsunamigénicos probables de la región Caribe, con el fin obtener el escenario más crítico con relación a las alturas máximas del tsunami.

Parámetros considerados para el modelado

Para el modelado basado en un escenario en particular, se tomó como referencia el sismo histórico del 7 de septiembre de 1882 frente a las costas de Guna Yala y Colón, originado en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá; pero con una magnitud superior, 8.5 Mw, versus la magnitud estimada entre 7.7 Ms y 8.0 Ms del evento original (Camacho *et al.*, 1993). Esta magnitud se selec-

cionó siguiendo los parámetros establecidos para el ejercicio CARIBEWAVE/LANTEX, realizado en el mes de marzo de 2015, y considerando también la subestimación que se suscitó con la magnitud del terremoto y las alturas del tsunami de Japón en 2011; en otras palabras, proponer un caso extremo de esta magnitud es aceptable para la región Caribe” (Japan Meteorological Agency, 2013, Tajima *et al.*, 2013).

El segundo ejercicio de modelado contempló más de un escenario o evento tsunamigénico, específicamente dieciséis (16) escenarios distintos, originados en ocho (8) fuentes sísmicas de la región Caribe, pero con combinaciones distintas de unidades fuentes (ver Cuadro 2).

Entre los escenarios regionales consideramos fuentes de República Dominicana, Haití, Puerto Rico, Honduras, Islas Caimán, Cuba, Antillas Menores, Colombia, Venezuela y fuentes locales, en los extremos oriental y occidental del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, frente a las costas de Colón-Guna Yala y Bocas del Toro, respectivamente.

Cuadro 2. Fuentes Tsunamigénicas y Unidades Fuentes utilizadas para definir el escenario de máximas alturas del tsunami y las zonas de evacuación.

Escenario	Región /País	Unidades fuentes	Magnitud
1	Rep. Dominicana / Haití / Pto. Rico	at48 a,b - at57 a,b	9.0 Mw
2	Honduras / Islas Caymán	at68 a,b - at77 a,b	9.0 Mw
3	Haití / Rep. Dominicana	at82 a,b - at91 a,b	9.0 Mw
4	Cuba	at63 a,b - at67 a,b	9.0 Mw
5	Antillas Menores	at38 a,b - at47 a,b	9.3 Mw
6	Colombia (Caribe)	at16 a,b - at18 a,b	8.5 Mw
7	Colombia (Caribe)	at10 a,b - at14 a,b	8.2 Mw
8	Colombia (Caribe) / Venezuela	at15 a,b - at21 a,b	8.3 Mw
9	Rep. Dominicana / Pto. Rico	at87 a,b - at92 a,b	8.2 Mw
10	Haití	at82 a,b - at86 a,b	8.6 Mw
11	Honduras / Islas Caymán	at73 a,b - at76 a,b	9.0 Mw
12	Venezuela	at19 a,b - at21 a,b	8.5 Mw
13	CDNP-orie (Guna Yala-Colón-Pmá)	at6 a,b - at8 a,b	8.5 Mw
14	CDNP-occ (Bocas del Toro-Pmá)	at1 a,b - at3 a,b	8.0 Mw
15	CDNP-orie (Guna Yala-Colón-Pmá)	at4 b - at9 b	8.5 Mw
16	CDNP-orie (Guna Yala-Colón-Pmá) CaribeWave	at6 b , cw1, cw2	8.6 Mw

Estos dieciséis escenarios de tsunami, de la región Caribe, requirieron ser modelados previa e individualmente, antes de combinarse (linealmente) o superponerse utilizando una opción del ComMIT denominada “Create Composite Wave File”, que permite obtener un archivo de salida que contiene el valor máximo de la altura del tsunami para cada punto de la malla de todos los modelos superpuestos; es decir valores máximos de las máximas alturas.

Esta superposición de modelos se realizó con el fin de conocer la máxima altura probable de un tsunami y con base en esto generar el mapa de zonas seguras para la región estudiada.

Generación de los Mapas

Los resultados correspondientes a la malla C (de mejor resolución), producto de los dos modelados, se exportaron del programa ComMIT en formato NetCDF con el fin de generar los mapas de inundación mediante los Sistemas de Información Geográfica.

Los datos resultantes corresponden a la altura del tsunami en metros sobre el nivel del mar, tanto en tierra como en el mar; a la profundidad de la inundación en la costa, dada en metros sobre el suelo; a la velocidad de la corriente, en metros por segundo, tanto en tierra como en el mar y, a la altura máxima del tsunami considerando 16 escenarios tsunamigénicos del Caribe; los cuales fueron convertidos a capas de datos continuos en el Sistema de Información Geográfica ArcMap®, con el objetivo de generar los mapas de las dos localidades a escala 1:25,000.

La selección de las escalas para la elaboración de los mapas se hizo tomando como referencia algunos lineamientos o recomendaciones del Manual de Planeamiento de Evacuación por Tsunamis, del Centro de Investigaciones de la Unión Europea y el Instituto para la protección y seguridad de los ciudadanos (Scheer *et al.*, 2011).

Los mapas de zonas seguras a escala 1:10,000, para las localidades de Viento Frío y Palenque se elaboraron a partir de los resultados del modelado numérico de 16 escenarios de tsunami de la región Caribe, donde se obtuvo una capa con los valores máximos de las alturas máximas de tsunamis que pudiesen ocurrir probablemente en esta región.

La línea, que marca la distancia máxima de penetración horizontal de la inundación en esta capa, se consideró el límite de una primera zona de evacuación. Esta zona en el mapa se diferencia de las demás por poseer una trama de líneas.

La segunda zona de evacuación en el mapa se señala en color amarillo (NTHMP-MES, 2011) y constituye una extensión de la zona de evacuación determinada a partir de modelado fue definida considerando la premisa de que todas las áreas costeras por debajo de los 10 metros de altitud se hallan bajo mayor riesgo de inundación ante tsunamis (Scheer *et al.*, 2011; NTHMP, 2011).

A partir de la cota de 10 metros, se definió la zona segura en tonalidades de color verde (NTHMP-MES, 2011), diferenciando una zona de media y otra de mayor seguridad por arriba de los 20 metros de altitud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del modelado numérico del tsunami utilizando la interfaz ComMIT (ver.1.7.5) para un evento extremo local, basado en una magnitud sísmica de 8.5 Mw, indican en primera instancia que las comunidades de la Costa Arriba de la provincia de Colón sí se inundarían por el impacto de un tsunami, generado en el sector oriental del Cinturón Deformado del Norte de Panamá.

Según el modelo, la primera ola del tsunami arribaría a las costas de las comunidades de Viento Frío y Palenque aproximadamente a los 15 ó 20 minutos de ocurrido el sismo y esta ola sería la de mayor altura. La consecuente inundación podría tener una máxima penetración horizontal en la costa hasta unos 440 metros en la comunidad de Viento Frío y unos 630 metros en Palenque.

El modelado numérico permitió determinar las alturas máximas del tsunami en las costas de Viento Frío y Palenque, donde, en la primera comunidad, el tsunami podría alcanzar un máximo de hasta 9.1 metros sobre el nivel del mar (msnm), y en Palenque aproximadamente 9.6 msnm.

En Viento Frío, la altura del tsunami podría alcanzar hasta 7.8 msnm cerca de la línea de costa o playa, acentuándose hasta unos 8.5 msnm en el centro de la comunidad. Mientras que, en Palenque, cerca de la playa, la altura del tsunami podría ser de hasta 8.9 msnm y en las áreas con mayor concentración de viviendas, hasta 8.4 msnm.

La altura máxima del tsunami no sobrepasaría la cota de 10 metros tierra adentro, en ambas comunidades.

En cuanto a la profundidad de la inundación, tenemos que ésta constituye uno de los parámetros más significativos en cuanto a la seguridad de los habitantes expuestos a estas amenazas. (Walsh *et al.* 2005) señala rangos de profundidad del agua, donde aquellas que superen los dos (2) metros y que representan alturas más arriba de la estatura de las personas indican un alto nivel de riesgo; mientras que profundidades entre 0 y 0.5 metros, es decir, alturas del agua por debajo de las rodillas de las personas o levemente por arriba de ellas indican un nivel menor de riesgo.

Para el poblado de Viento Frío, el modelado arrojó profundidades entre cinco (5) y siete (7) metros cerca de la línea de costa y profundidades algo menores, entre dos (2) y cuatro (4) metros sobre el suelo, en el centro de la comunidad. La profundidad de la inundación en la localidad de Palenque es algo superior cerca de la playa, entre siete (7) y ocho (8) metros, y a lo largo del área más poblada podría variar entre uno (1) y cuatro (4) metros, hasta ir disminuyendo poco a poco tierra adentro.

Según Koshimura y Yanagisawa, 2007, la probabilidad de que se dañen las edificaciones es mayor cuando la profundidad de la inundación supera los dos (2) metros, y con profundidades cerca de los cinco (5) metros las viviendas podrían verse destruidas en su totalidad.

Con respecto al parámetro de velocidad de la corriente, tenemos que éstas muestran un alto grado de peligrosidad. Según el modelado, en Palenque, estas oscilarían entre 3.5 y 5.0 metros por segundo (m/s) a lo largo del poblado; mientras que, en Viento Frío, los resultados arrojan leves diferencias en sectores del mismo poblado; por ejemplo, en la parte central la velocidad podría oscilar entre 2.5 y 3.0 m/s, pero en los alrededores del pueblo oscilaría entre 3.5 y 5.0 m/s.

Sobre este tema, en estudios realizados por Koshimura y Yanagisawa, 2007, donde combinaron modelados numéricos de tsunamis y percepción remota, específicamente para la región de Indonesia, demostraron que, a la velocidad de 2 m/s, los daños en las viviendas comienzan a ser significativos; mientras que cerca de los 5 m/s ya se consideran destructivos.

Para las personas, velocidades de la corriente de 1.5 m/s ya representan dificultades para mantenerse en pie; y a partir de estas velocidades el peligro aumenta hasta ser constante a unos 5.0 m/s (Lagos, 2012; Koshimura y Yanagisawa, 2007; Walsh *et al.*, 2005; Shuto, 1993).

CONCLUSIÓN

- La Interfaz ComMIT demostró ser una herramienta de suma utilidad para obtener las primeras aproximaciones, ante una posible inundación por tsunami en la costa caribe de Panamá.
- Los resultados obtenidos indican que la costa arriba de Colón sí podría verse afectada por inundaciones de tsunamis locales, generados por sismos de gran magnitud en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá.
- Las alturas del tsunami, profundidades de la inundación y velocidades de la corriente que se obtuvieron como resultado de esta investigación, deben considerarse como un primer modelo de precisión limitada que permite aproximarse al impacto potencial que tendría un tsunami en la costa. Cuando se disponga de los recursos necesarios y de los datos con mayor resolución, la precisión del modelo y de los mapas puede ser mejorada.
- Los resultados indican que ambas comunidades podrían ser afectadas en su totalidad y considerando el escenario extremo que fue modelado, las alturas máximas del tsunami podrían alcanzar hasta 9.6 metros sobre el nivel del mar para el caso de Palenque.
- La topografía casi plana en las comunidades de Viento Frío y Palenque daría lugar a profundidades de inundación potencialmente destructivas para las edificaciones existentes y de alto grado de peligrosidad para las personas al superar los dos (2) metros de altura.
- Las velocidades de la corriente que podrían darse, según el modelo, constituirían un gran peligro, ya que las mismas superan los 2 m/s en ambas comunidades, velocidades que dificultan la movilidad de las personas y comienzan a afectar las edificaciones.
- Con base en los resultados como los obtenidos por esta investigación, las autoridades correspondientes deberían capacitar a los habitantes de las

comunidades costeras sobre cómo actuar ante la ocurrencia de un sismo fuerte y un consecuente tsunami; además, han de darle prioridad a la definición de planes de evacuación, a la selección o construcción de refugios o sitios de reunión en estas comunidades y la realización de ejercicios como simulacros ante tsunamis.

SUMMARY

DEFINITION OF INUNDATION ZONES BY TSUNAMIS. A PROPOSAL FOR THE COMMUNITIES OF VIENTO FRÍO AND PALENQUE, COLÓN PROVINCE, REPUBLIC OF PANAMÁ

On September 7, 1882, off the coast of Comarca Guna Yala occurred an earthquake of $M_s = 7.9$, originated in Deformed Belt North of Panama, which not only was felt throughout the country, but generated a tsunami with waves of at least 3 meters high, which killed 75 people. The purpose of this research was to model numerically this historic tsunami, but considering an earthquake of greater magnitude $M_w = 8.5$, taking into account some exercise guidelines CaribeWave / Lantex in March 2015; in order to know the scope of a possible tsunami inundation in a sector of the Costa Arriba of Colón, specifically in the coastal towns of Viento Frío and Palenque. The numerical modeling was performed in the ComMIT interface based on the MOST model NOAA, and allowed to define the line of maximum tsunami inundation in the two locations, knowing the arrival time of the first wave, estimated between 15 to 20 minutes and generating maps using Geographic Information Systems, the maximum height of the tsunami, flood depth, current speed and safe areas.

Modeling results of this tsunamigenic event with extreme magnitude, indicating that if a tsunami inundation happened, the towns of Viento Frío and Palenque could be flooded completely and reach depths exceeding two (2) meters above the ground and current speeds that would represent a high level of danger for people and existing homes.

KEY WORDS

Tsunamis, Tsunami Inundation Zone, Inundation Maps, Province of Colón, Costa Arriba of Colón, Palenque, Viento Frío.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMACHO, E. y VÍQUEZ, V. 1993. Historical Seismicity of the North Panama Deformed Belt. **Rev. Geol. Amer. Central**, 15:49-64.
- CAMACHO, E., HUTTON W. y PACHECO, J. 2010. A New Look at Evidence for a Wadati Benioff Zone and Active Convergence at the North Panama Deformed Belt. **Bulletin of the Seismological Society of America**. 100, 343-348.
- COMISIÓN OCEANOGRÁFICA INTERGUBERNAMENTAL. 2012. **Tsunamis: Los grandes olas**, segunda edición revisada. París, UNESCO, 16 págs., ilustr. Folleto 2012-4 de la COI. (Original: inglés).
- FERNÁNDEZ, M., MOLINA, E., HAVSKOV, J. y ATAKAN, K. 2000. Tsunami and Tsunami Hazards in Central America. **Rev. Natural Hazards**, 22:91-116, 2000.
- TAJIMA, F., MORI, J. y KENNETT, B. 2013. A review of the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0): Large-scale rupture across heterogeneous plate coupling. **Rev. Tectonophysics** 586: 15-34.
- INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION. 2014. Exercise Caribe Wave/Lantex 15. A Caribbean and Northwestern Atlantic Tsunami Warning Exercise, 25 March 2015. Volume 1: **Participant Handbook**. IOC Technical Series No. 118 vol.1. Paris: UNESCO. (English).
- JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY. 2013. Lessons learned from the tsunami disaster caused by the 2011 Great East Japan Earthquake and improvements in JMA's tsunami warning system.
- KOSHIMURA, S. y YANAGISAWA, H. 2007. Developing fragility functions for tsunami damage estimation using the numerical model and satellite imagery.
- LAGOS, M. 2012. Zonificación del riesgo de tsunami en el centro-sur de Chile. **Rev. Geografía Norte Grande**, 53: 7-21.
- MOLINA, E. 1997. **Tsunami Catalogue for Central América 1539-1996**. Bergen, Norway, Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen. Technical Report No. II 1-04.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2006. **Method of splitting tsunami (MOST)**, Software Manual.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **ComMIT Manual**. Center for Tsunami Research (NCTR).
- NATIONAL TSUNAMI HAZARD MITIGATION PROGRAM (NTHMP). MAPPING AND MODELING SUBCOMMITTEE. 2011. **Guidelines and Best Practices to Establish Areas of Tsunami Inundation for Non-modeled or Low-hazard Regions**.
- NATIONAL TSUNAMI HAZARD MITIGATION PROGRAM (NTHMP). MITIGATION AND EDUCATION (MES) SUBCOMMITTEE. 2011. **Tsunami Evacuation Mapping Guidelines. Guidelines and Best Practices for Tsunami Evacuation Mapping Guidelines**.
- PÉREZ, O. J., RODRÍGUEZ C. y ALONSO J. L. 2014. Earthquakes, tsunamis, and the related vulnerability in South-America and the Caribbean - an overview,

In: **Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications**, Special Publication of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), No.1, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

SCHEER, S., GARDI, A., GUILLANDE, R., EFTICHIDIS, G., VARELA, V., DE VANSAY, B. y COLBEAU-JUSTIN, L. 2011. **Handbook of Tsunami Evacuation Planning**. European Commission Joint Research Centre (JRC); Institute for the Protection and Security of the Citizen (IPSC). SCHEMA (Scenarios for Hazard-induced Emergencies Management), Project n° 030963.

SHUTO, N. 1993. **Tsunami intensity and disasters. Tsunamis in the World**. Edited by TINTI, S. Kluwer Academic Publishers. p.197-216.

STAR & HERALD. 1882. September 12.

WALSH, T., TITOV, V., VENTURATO, A., MOFJELD, H. y GONZÁLEZ, F. 2005. Tsunami Hazard Map of the Anacortes Whidbey Island Area. Washington: Modeled Tsunami Inundation from a Cascadia Subduction Zone Earthquake. Washington Division of Geology and Earth Resources and NOAA TIME Center PMEL.

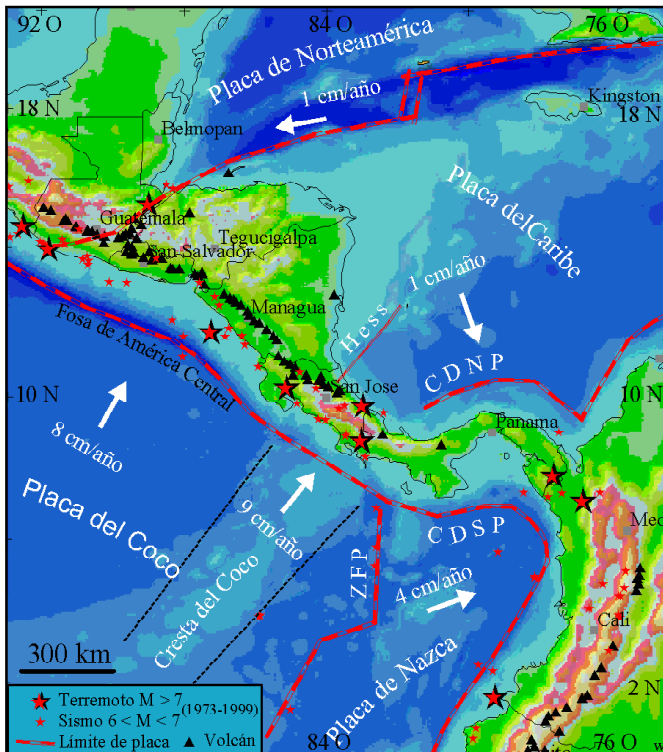
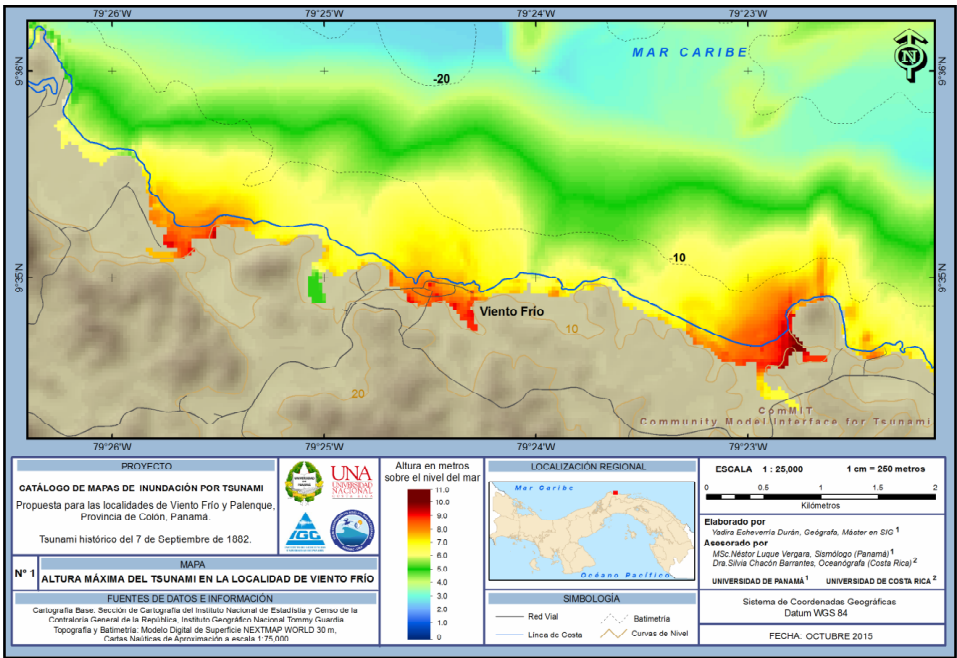
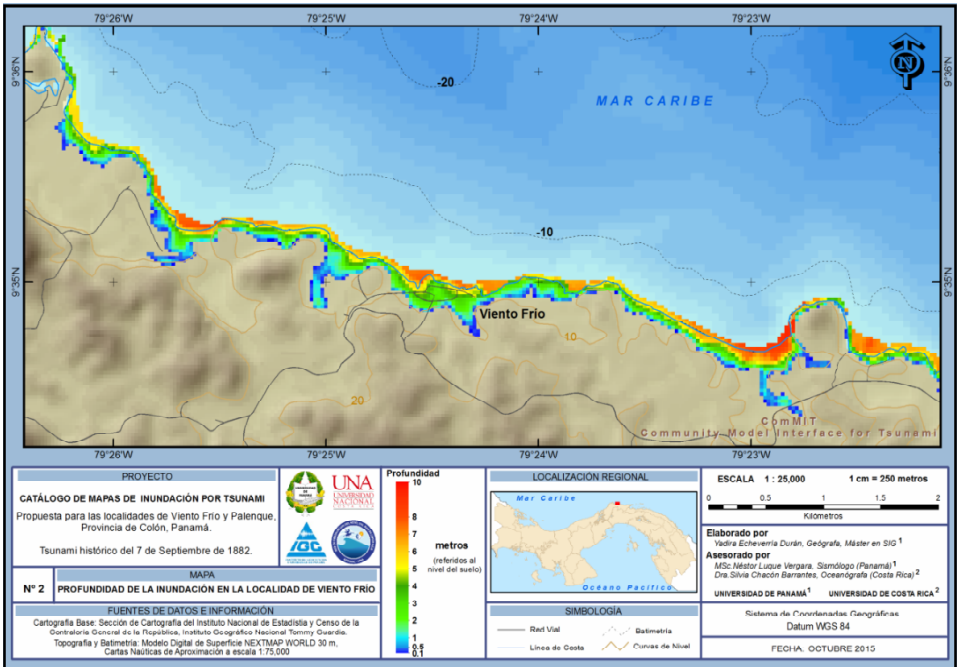


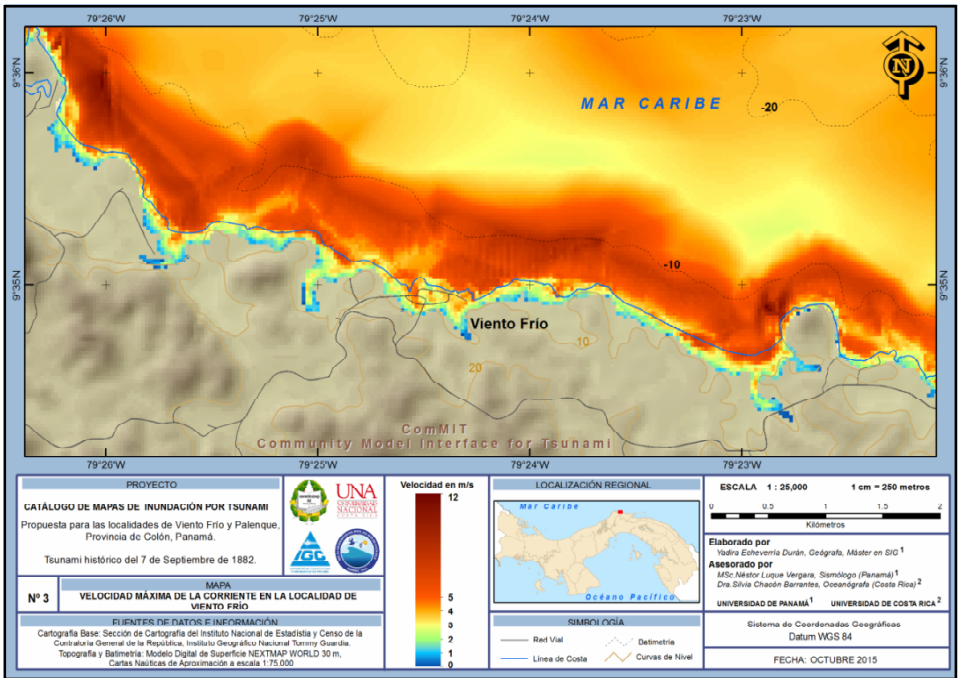
Figura 1. Marco tectónico regional, configuración de las placas tectónicas alrededor de América Central. CDNP/CDSP: Cinturón Deformado del Norte de Panamá, Cinturón Deformado del Sur de Panamá, ZFP: zona de Fractura de Panamá, Hess: Escarpe de Hess. Fuente: <http://www.ineter.gob.ni> (2018).



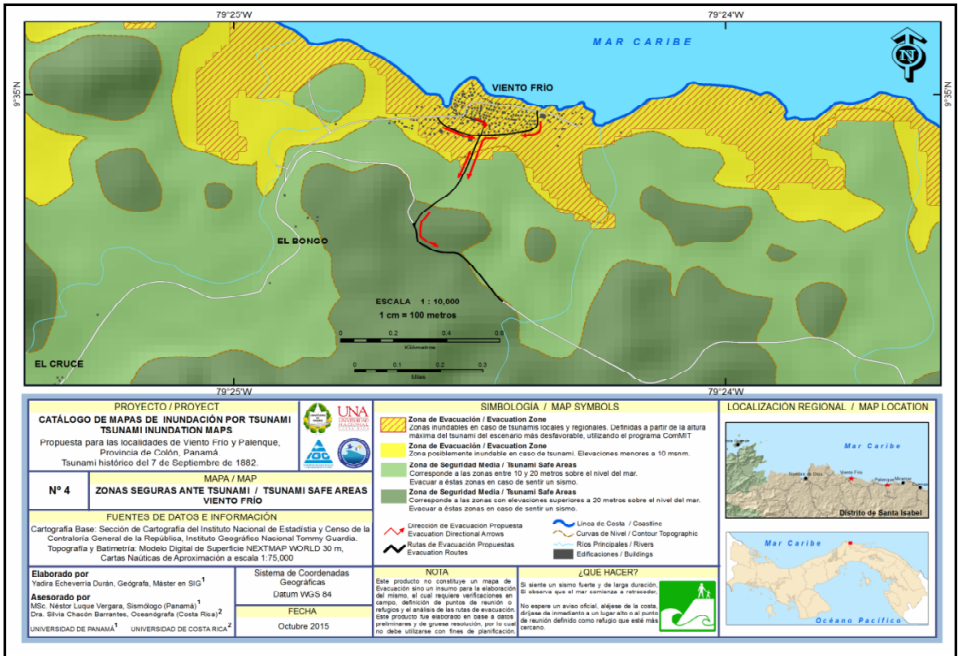
Mapa 1. Altura Máxima del Tsunami en la localidad de Viento Frío.



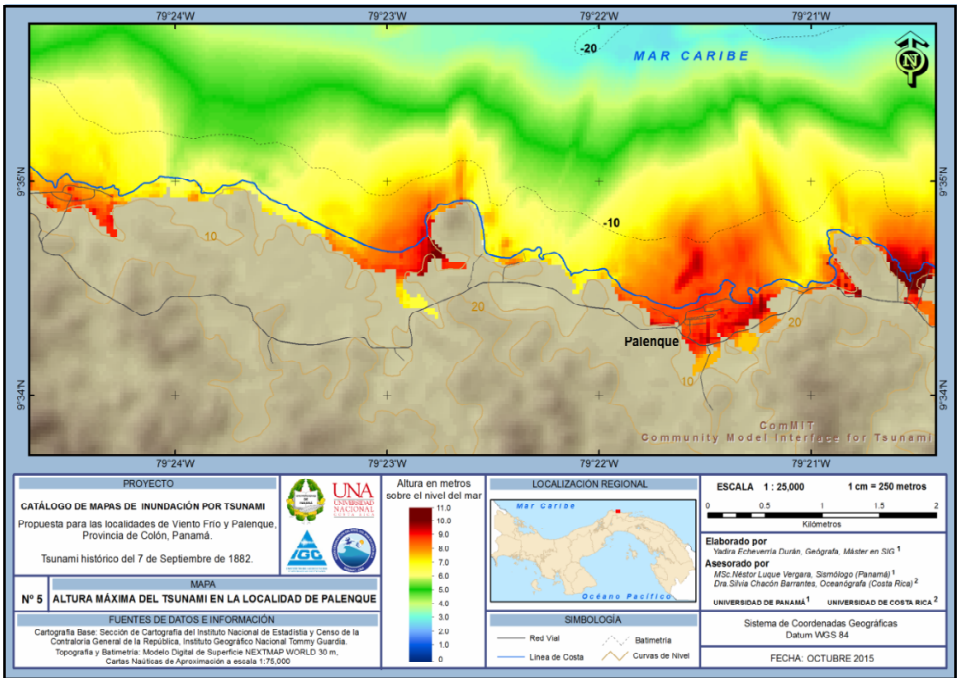
Mapa 2. Profundidad de la inundación en la localidad de Viento Frío.



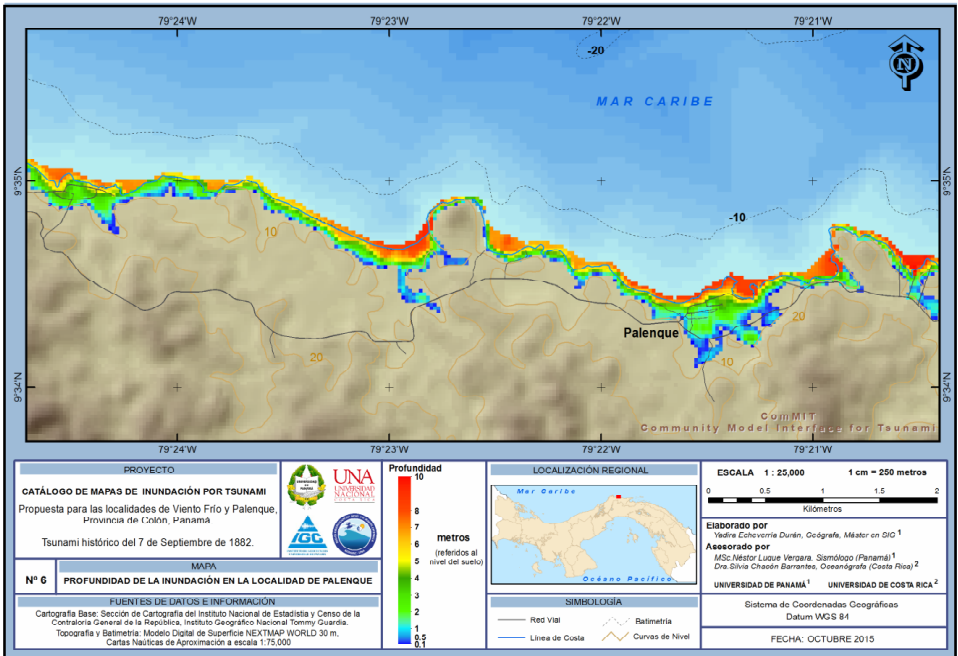
Mapa 3. Velocidad de la corriente en la localidad de Viento Frío.



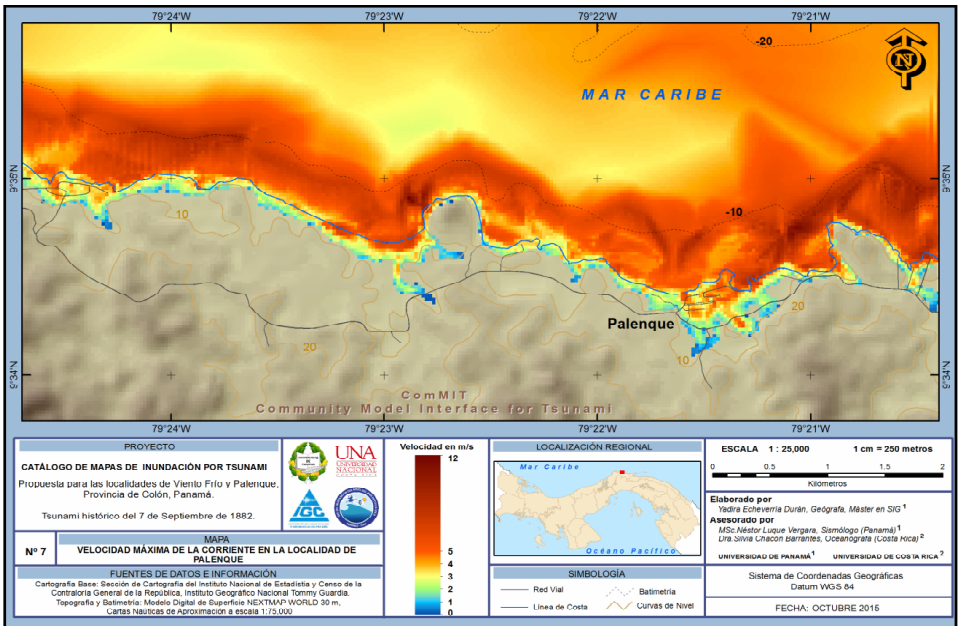
Mapa 4. Zonas Seguras ante Tsunamis en la localidad de Viento Frío.



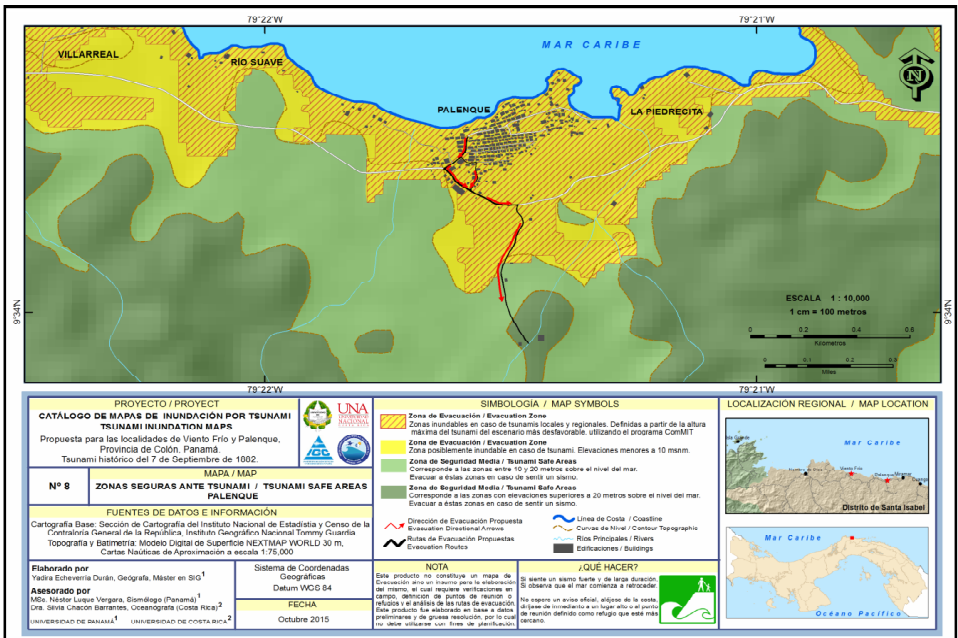
Mapa 5. Altura Máxima del Tsunami en la localidad de Palenque.



Mapa 6. Profundidad de la inundación en la localidad de Palenque.



Mapa 7. Velocidad de la corriente en la localidad de Palenque.



Mapa 8. Zonas Seguras ante Tsunamis en la localidad de Palenque.

Recibido: 17 de Agosto de 2017.
 Aceptado: 27 de diciembre de 2017.