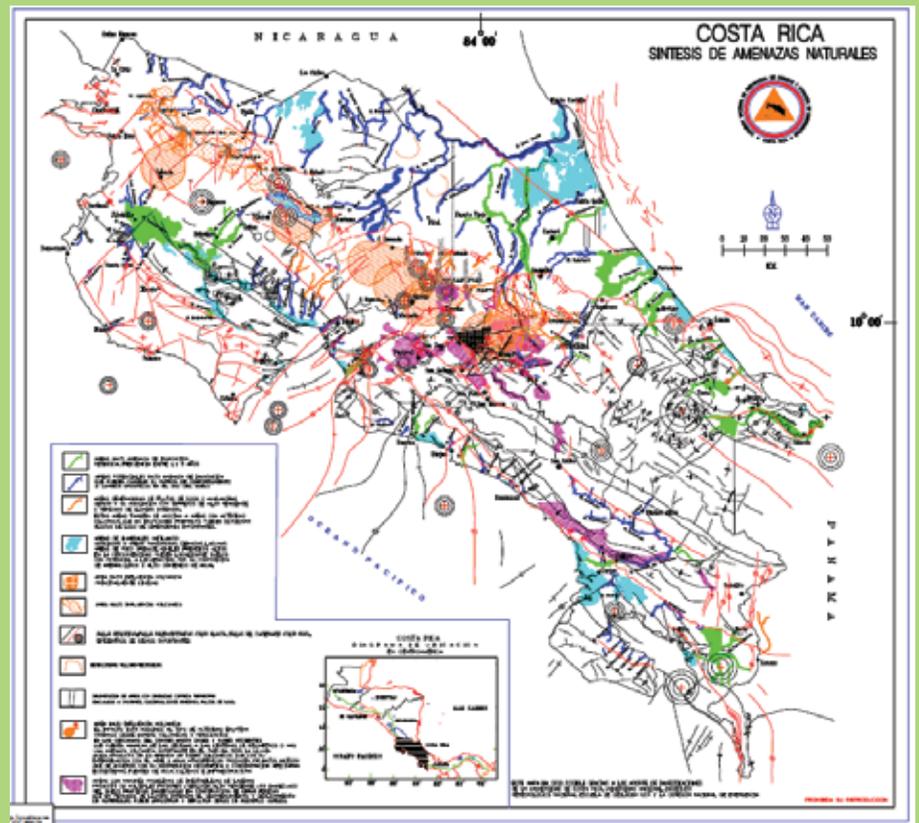




Revista No. 5 / Dic. 2010

ISSN: 2516-2456

Entorno a la Prevención



MAPAS DE INUNDACION POR TSUNAMIS EN PLAYAS DEL COCOY PUNTARENAS, COSTA RICA

Natalia Zamora Sauma, Consultora¹

Mario Fernández Arce, Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica

1. Introducción

El desplazamiento del agua que causa un tsunami es generado normalmente por terremotos, deslizamientos sub-aéreos o submarinos, una erupción volcánica y/o el impacto de un asteroide. Este desplazamiento de la superficie del mar y la radiación de energía comienza con una serie de ondas que se propagan a partir de la perturbación inicial. La propagación de la onda y el arribo a la costa puede tomar minutos u horas dependiendo de dónde se haya originado. Por ejemplo, en la zona de subducción frente a Colombia se generó un tsunami en 1906 (Mw 8.0) que fue registrado en las costas del Pacífico de América Central. Las simulaciones indican que las ondas llegaron cerca de 2 horas después del terremoto a las costas de Puntarenas en el Pacífico Central de Costa Rica (Ortiz et al., 2001).

América Central se encuentra en la región del Cinturón de Fuego del Pacífico. La tectónica de esta zona del Pacífico es compleja y es una de las regiones tectónicamente más activas del planeta, lo que genera que Costa Rica esté bajo la amenaza de terremotos y, de acuerdo con los datos históricos, bajo amenaza de tsunamis. Históricamente, se sabe que dentro del período de 1539 – 1996 al menos 49 tsunamis se generaron en el Pacífico y el Caribe de América Central. Un gran tsunami ocurrió en Nicaragua en 1992 dando a conocer la posibilidad de tsunamis potencialmente perjudiciales en las costas del Pacífico de América Central. Además, el 22 de abril de 1991 se generó un terremoto (Mw 7.6) en Limón, costa Caribe de Costa Rica, este terremoto generó un tsunami que fue registrado a lo largo de la costa Caribe específicamente en Bocas del Toro, Panamá. Además, existe amenaza

por tsunami asociada también a deslizamientos submarinos cuya evidencia ha sido caracterizada por rasgos geomorfológicos encontrados frente a las costas de Nicoya (von Huene et al., 2004). Los datos geomorfológicos frente a Nicoya indicaron que el potencial para la generación de tsunamis a partir de pendientes incrementadas sobre rasgos batimétricos subducidos está claramente expuesto en el fondo oceánico frente a la costa Pacífica de Costa Rica. Fuertes pendientes de cicatrices de desprendimientos suficientemente grandes para ser peligrosas fueron encontradas en el subsuelo marino. Un desprendimiento de aproximadamente 50 km de ancho despegó a lo largo de una zona tectonizada extendiéndose a través del basamento sísmico hasta el límite de las placas del Coco y Caribe. Se estimó que las ondas generadas por ese deslizamiento fueron tan altas como 27 metros si el mismo ocurrió en un solo evento (von Huene et al., 2004).

La evidencia de que tsunamis han ocurrido a lo largo de América Central ha sido descrita sobre la base de catálogos de tsunami y bases de datos sismológicos del Centro Sismológico de América Central (CASC). Se ha indicado que 49 tsunamis América Central entre 1539-1996 (Fernández et al., 2000; Ortiz et al., 2001.). Los informes indican que en la costa Pacífica de América Central ocurrieron 37 tsunamis de los cuales, 23 eventos fueron generados en la zona de subducción de América Central (Fernández et al., 2000). En las últimas cuatro décadas sólo un pequeño tsunami se registró en la Península de Nicoya de Costa Rica. Este tsunami fue generado por el terremoto de Cóbano en 1990.

¹Previamente en Instituto para la Protección del Ciudadano del EC Joint Research Centre, Ispra, Italia.

Dado que no existen amplios registros de tsunamis en Costa Rica y considerando que no hay estudios de paleo tsunami, se dificulta el análisis probabilístico de amenaza por tsunami para las costas nacionales. No obstante, se sabe que podría haber fuentes de tsunamis en la región debido a la ruptura a lo largo de la Fosa Mesoamericana (MAT). Recientes estudios geodésicos, geofísicos y sismológicos indican que la brecha sísmica de Nicoya tiene el potencial para generar un terremoto al NW del país (Protti et al., 2005).

El objetivo principal de este trabajo es presentar algunos resultados del proyecto "Mapa de Inundación por Tsunamis para Costa Rica, Primera Fase: Puntarenas y Playas del Coco", N°-217-A9-067, inscrito en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. Si bien son conocidas varias fuentes sísmicas que podrían afectar la costa Pacífica de Costa Rica, en el presente artículo se presentan las simulaciones hechas por Ortiz et al. (2001) con algunas modificaciones y resultados preliminares de simulaciones realizadas con el uso del código numérico HYFLUX2 (Franchello, 2008). Asimismo, se ha considerado interesante presentar algunas recomendaciones de medidas preventivas que se han implementado en algunas partes del mundo para minimizar el impacto de las olas.

Ortiz et al. (2001) analizaron la llegada a Puntarenas de un tsunami usando tres fuentes diferentes: un evento sísmico en la entrada del Golfo de Nicoya, con una dislocación de 6 m, y otro originado por un terremoto con mecanismo focal similar a la sugerida por Barquero y Boschini (1990) para el terremoto de 1990 en Cóbano y finalmente, tsunami generado por un sismo con características similares al ocurrido el 31 de enero de 1906 en Colombia. Varias simulaciones se han realizado usando diversos escenarios sin embargo se presenta en este artículo el escenario en la boca del Golfo de Nicoya.

En los últimos años, las costas del Pacífico y Caribe de Costa Rica han sufrido un rápido desa-

rollo costero, incluyendo infraestructura hotelera y marinas, sin considerar posiblemente la amenaza por tsunami. Esto genera un incremento de la exposición de comunidades costeras a esta amenaza latente en la región.

2. Ambiente tectónico

Costa Rica se encuentra a lo largo de la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Caribe (Figura 1), que se subduce con una velocidad de ~8,6 – 9,2 cm/año (Linuma et al., 2004).

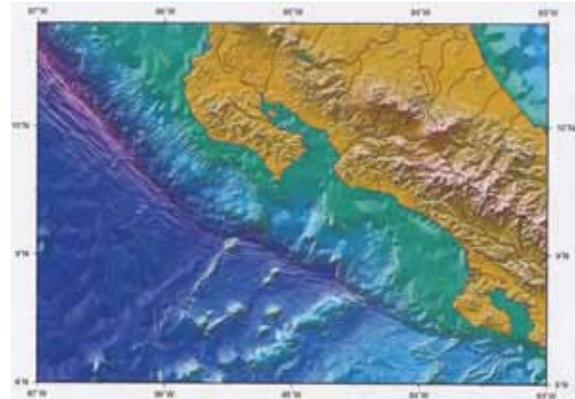


Figura 1. Mapa tectónico de Costa Rica. El rasgo lineal que separa el fondo oceánico de color azulado de aquel con color verdoso es el límite entre las placas del Cocos y Caribe. Corte sía de César Ranero, GEOMAR, Alemania.

Con base en datos de sismicidad histórica e instrumental, la zona de subducción en el Pacífico Sur de América Central se ha dividido en cinco segmentos (Protti et al., 2001). Estos segmentos son los (1) Nicaragua-Papagayo, (2) de Nicoya, (3) Cóbano-Herradura, (4) Quepos-Sierpe y (5) Osa-Burica. El potencial sísmico de la región es consecuencia de la alta tasa de convergencia entre las placas Cocos y Caribe. Esta zona sismogénica es capaz de generar terremotos > 7,0. A lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica, el último gran terremoto ocurrió el 5 de octubre 1950 con una magnitud de 7,7 Mw. Durante este evento hubo daños infraestructura y deslizamientos de tierra, licuefacción y deformación cosísmica de la costa, que ha sido bien documentada (Marshall y Anderson, 1995).

3. La vulnerabilidad de Puntarenas

La vulnerabilidad es una condición influenciada por aspectos físicos, políticos, económicos y sociales, que determina el grado de exposición y la sensibilidad de los elementos del espacio a ser afectados por la manifestación de la amenaza. En el caso de Puntarenas, la vulnerabilidad está determinada fundamentalmente por aspectos meramente físicos.

Puntarenas podría ser considerada como una de las regiones más expuesta y vulnerable porque la ciudad se desarrolla en una flecha arenosa con una superficie de menos de 10 km² con un ancho máximo de 400 m. Dicha ciudad, la bella perla del Pacífico costarricense, está sobre una plana barra de arena que se ha desarrollado en dirección Oeste dentro del Golfo de Nicoya (Fig. 2) y por ser sumamente estrecha en el sector conocido como la angostura, es muy vulnerable ante tsunamis. Para entrar a y salir de esa ciudad existe solamente una vía, lo que complica una posible evacuación de la misma. Se estima que en la ciudad de Puntarenas viven 9297 personas (INEC, 2000).



Figura 2. Vista de la flecha de arena de Puntarenas (cortesía de Jean Mercier).

4. Nicoya y Puntarenas: el peligro de terremoto

4.1 Peor escenario propuesto

El tamaño de una onda tsunamigénica (ola) tiende a acrecentarse con el aumento de la magni-

tud del terremoto (Iida, 1961). Sin embargo, esto varía considerablemente con el tipo de patrones de deformación de los terremotos de gran duración y largo plazo, por ejemplo, los llamados *tsunami earthquakes* (temblores tsunami) porque producen olas que son significativamente mayores de lo previsto, como el caso del tsunami de Nicaragua en 1992 (Kanamori y Kikuchi, 1993). Sin embargo, como este tipo de terremotos son difíciles de predecir hemos considerado la amenaza de un terremoto con deformación elástica basada en los modelos de Mansinha y Smylie (1971) y modelo Okada (1985).

El escenario basado en Ortiz et al. (2001), que usa el modelo de Mansinha y Smylie (1971), representa una fuente sísmica que podría generar un evento de Mw 7,8 con una ruptura que se ha propuesto cerca de la desembocadura del Golfo de Nicoya. Para analizar la vulnerabilidad de Puntarenas ante un tsunami local potencialmente destructivo, se ha supuesto la ocurrencia de un sismo interplaca entre la Fosa de Costa Rica y el Golfo de Nicoya, con mecanismo focal puramente inverso y con un desplazamiento de 3 m sobre un plano de falla, a la profundidad de 15 km. La longitud de ruptura se ha supuesto de 100 km con 60 km de ancho y una ruptura con dirección aproximadamente de 295 ° y una inclinación de 30° en dirección Noreste. Con tal deslizamiento en el plano de falla, el tsunami simulado alcanza alturas de 1,8 m respecto al nivel medio del mar en el interior y en la costa aledaña al Golfo de Nicoya. Cabe mencionar que de ocurrir este tsunami en marea alta sobrepasaría aproximadamente con un metro el nivel de la calle en Puntarenas.

Los resultados que se muestran a continuación se simularon con el código numérico HYFLUX2 (Franchello, 2008) y usan el modelo de deformación de Okada (1985) así como dos series de datos batimétricos, una con resolución de 900 m y otra con resolución de 185 m. Vale recalcar que se encontraron diferencias hasta de 0.7 m en la altura de la ola en la costa al simular el tsunami

con las dos series de datos. La altura máxima de la onda de agua de la simulaciones realizadas con el HYFLUX2 es de 1,8 metros, la cual concuerda muy bien con los resultados de Ortiz et al. (2001). Estos datos que se presentan son preliminares (Figura 3) sin embargo, son importantes avances. Se espera obtener batimetría de 10 m en aguas someras, para poder obtener un análisis de inundación de la que sea más fidedigno.

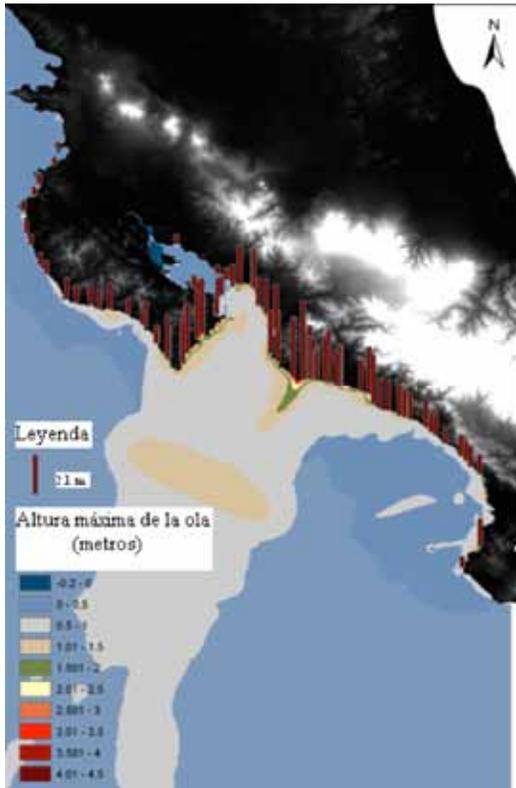


Figura 3. Resultados preliminares de la simulación para la costa del pacífico de Costa Rica (datos modificados de Zamora et al., 2010). La ola más alta sería en la zona de Esmerillos.

5. La reducción del riesgo

Las actividades encaminadas a la reducción del riesgo de inundación por tsunamis en Puntarenas se pueden clasificar en dos categorías: las actividades que se harán si pasa una desgracia en la ciudad y las actividades que se harán sin que tal desgracia ocurra. Si algún día Puntarenas es severamente afectada por un tsunami, al día siguiente se pensará en la reubicación de la ciudad, en la

creación de un largo puente sobre el mar, en la construcción de muros contra tsunamis y en la implementación de refugios contra tsunamis.

Aunque la reubicación de las comunidades en riesgo no es nada fácil, hay personas que desde ya consideran que Puntarenas debe ser desalojada por sus habitantes (J.P. Bergoeing, comunicación verbal 2010). En vista de la dificultad para evacuar la ciudad en caso de una emergencia, debido a la existencia de una sola vía para entrar y salir de la ciudad, ya ha surgido la idea de hacer un puente sobre la superficie del agua del océano que comunique directamente el centro de la ciudad con un punto del continente fuera de la barra de arena; este puente serviría como una segunda vía de escape. También se pensará en levantar muros contra tsunamis en las parte más afectadas, muros como los que se ilustran en la Figura 4.



Foto 4. Muro de protección contra oleaje en Japón. Foto cortesía Ignacio Chaves (CNE).

Y sin la menor duda, surgirá la posibilidad de construir refugios como los que se muestran en la figura 5, los que en tiempos de calma pueden ser utilizados para otras actividades y solamente como refugios en caso de la inminente llegada de un tsunami. En Japón por ejemplo, el refugio mostrado se utiliza como local para una estación de bomberos (Chaves, comunicación verbal, 2005).

Todas las actividades y obras anteriormente mencionadas son caras y por tanto, requieren de mucho recurso económico para su ejecución, razón por la que asume que nuestras débiles economías no impulsarán tales obras a no ser que pase la desgracia.



Foto 5. Refugio temporal contra inundación. Foto cortesía Ignacio Chaves (CNE).

Más viables son las actividades de mitigación no estructurales como la promoción del conocimiento de los tsunamis (Figura 6) entre las y los habitantes de la ciudad de Puntarenas.



Foto 6. Capacitación en prevención de desastres en la zona de Quebrada Ganado (foto cortesía de la Oficina de Divulgación de la Universidad de Costa Rica).

La identificación de edificios que puedan servir como refugios en caso de tsunami, la colocación de rótulos educativos en la playa (Figura 7) y la realización de simulacros. Ya se realizó un proyecto sobre promoción de tsunamis en

Puntarenas, fue un esfuerzo valioso que lamentablemente no ha tenido continuidad pero que debe retomarse lo antes posible. Identificar edificios altos que sirvan como refugio es una tarea sencilla que debe hacerse sin demora alguna, pensando en que debemos hacer lo que esté a nuestro alcance para reducir el riesgo. Esto es útil en costas muy planas donde no hay sitios altos cercanos. En 1998 un tsunami arrasó las localidades de Sissano, Arop y Warapu ubicadas en la barra de arena Sissano, matando más de 2200 personas. Después de investigar el fenómeno, el grupo científico concluyó: *“Cada familia en una zona en riesgo debe tener un árbol asignado (preferiblemente Casuarina) con una escalera o gradas labradas, para permitir la evacuación vertical posible, cuando no hay otra opción”*. Esto parece irrisorio pero durante el tsunami de 1960 salvó vidas en el tsunami de Flores y usando este concepto se salvaron vidas en Chile.



Foto 7. Vallas informativas colocadas en Herradura (foto cortesía de la Oficina de Divulgación de la Universidad de Costa Rica).

6. Enfrentando un tsunami

Para enfrentar correctamente un tsunami es muy importante conocer el fenómeno y estar conciente de la amenaza que representa, eso podría salvar vidas de las mortales garras de un tsunami. Los siguientes consejos podrían ayudar a lo residentes

costeros y los turistas a responder adecuadamente ante la llegada de un tsunami:

Preste atención a la alerta natural. Un tsunami podría originarse durante un gran temblor o terremoto por tanto, el terremoto o gran temblor podría servir como una alerta natural. Y si después del temblor hay retiro del agua del mar u océano, sin duda se generó un tsunami en la zona donde ocurrió el temblor. Debido a lo anterior, es recomendable huir de la playa después de un gran temblor costero y buscar sitios altos, si existen.

Atienda los avisos oficiales. Si escucha una alerta oficial, acátela, no la desestime. En tal caso, aléjese de la playa y nunca vaya a ella para esperar el tsunami. No regrese a la playa hasta que hayan indicado, mediante indicación oficial, que el peligro ha pasado.

Diríjase a un lugar alto y permanezca allí. Suba a un cerro o a edificios altos que resistan.

Abandone sus bienes. No trate de salvar bienes materiales, trate de salvar su vida. Hay quienes sobreviven al terremoto pero mueren ante el tsunami asociado por salvar sus bienes.

No cuente con vías transitables para huir. Si el tsunami fue causado por un terremoto, este pudo haber destruido o bloqueado las carreteras y caminos, razón por la cual no se puede contar con ellos para escapar. El sismo provoca grietas y deslizamientos de tierra que podrían cortar los caminos.

Suba a algún objeto que flote. Si a pesar de todas las previsiones es alcanzado por un tsunami, busque algún objeto que flote y suba a él para tener más posibilidades de sobrevivir.

Estas acciones y las características esenciales de los tsunamis están siendo enseñadas en las comunidades costeras del país y se espera que el conocimiento se difunda por todo Costa Rica. Este es

un esfuerzo esencial para el logro de la primordial meta de evitar desastres el desastre por tsunami.

Agradecimientos

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación por el apoyo con el proyecto.

Natalia Zamora agradece al centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea (EC-JRC, por sus siglas en inglés) por proveer los códigos numéricos y la plataforma de soporte durante todo el 2009-2010.

Referencias

Barquero, R. & Boschini, I. 1990. La crisis sísmica del Golfo de Nicoya, Reporte técnico. Red Sismológica Nacional RSN, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Fernández, M., Molina, E., Havskov, J. & Atakan, K. 2000. Tsunamis and Tsunami Hazards in Central America. *Natural Hazards*, Vol. 22, No. 2, pp. 91-116.

Franchello, G. 2008. Modelling shallow water flows by a High Resolution Riemann Solver. 2008. JRC Scientific and Technical Reports. EUR 23307 EN.

Linumaa, T., Protti, M., Obana, K., Gonzalez, V., Van der Laat, R., Kato, T., Miyazaki, S., Kaneda, Y. & Hernández, E. 2004.. Inter-plate coupling in the Nicoya Peninsula, Costa Rica, as deduced from a trans-peninsula GPS experiment. *Earth Planet. Sci. Lett.* 223(1-2): 203-212.

INEC, 2000. IX Censo Nacional de Población y V de Vivienda [www.inec.go.cr].

Marshall, J.S. & Anderson, R.S. 1995, Quaternary uplift and seismic cycle deformation, Península de Nicoya, Costa Rica: *Geological Society of America Bulletin*, 107: 463-473.

Kanamori, H. & Kikuchi, M. 1993, The 1992 Nicaragua Earthquake -a slow tsunami earthquake associated with subducted sediments: *Nature*, 361: 714-716.

Mansinha, L. & Smylie, D.E. 1971. The displacement field of inclined faults. *Bull. Seism. Soc. Am.* 61, 1433-1449.

Marshall, J.S. & Anderson, R.S., 1995. Quaternary uplift and seismic cycle deformation, Península de Nicoya, Costa Rica. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 107: 463-473.

Okada, Y. 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. of the Seism. Soc. of Amer.*, 75: 1135–1154.

Ortiz, M., Fernández, M. & Rojas, W. 2001. Análisis de riesgo de inundación por tsunamis en Puntarenas, Costa Rica. *GEOS*, 21 (2) (PA: CEOFA20014).

Protti, M., McNally, K. Pacheco, J., Gonzalez, V., Montero, C., Segura, J., Brenes, J., Barboza, V., Malavassi, E., Güendel, F., Simila, G., Rojas, D., Velasco, A., Mata, A. Y Schillinger, W. 1995. The March 25, 1990 ($M_w=7.0$, $M_L=6.8$), earthquake at the entrance of the Nicoya Gulf, Costa Rica: Its prior activity, foreshocks, aftershocks and triggered seismicity. *J. Geophys. Res.*, 100(B10): 20,345–20,358.

Protti, M., Güendel, F. & Malavassi, E. 2001. Evaluación del Potencial Sísmico de la Península de Nicoya. Editorial Fundación UNA, Heredia, Costa Rica. 144 p.

von Huene, R., Ranero, C. & Watts, P. 2004. Tsunamigenic Slope Failure along the Middle America Trench in Two Tectonic Settings. *Marine Geology*, 203: 303-317.

