

LICUEFACCION Y HUNDIMIENTOS COSTEROS EN EL NOROESTE DE PANAMA DURANTE EL TERREMOTO DE LIMON

Eduardo Camacho & Vilma Viquez

Instituto de Geociencias, Universidad de Panamá, Panamá, R. de Panamá.

ABSTRACT: A field reconnaissance trip to map the zones that suffered soil liquefaction and to study the effects along the coastal area of Bocas del Toro, Panama, during the April 22, 1991 earthquake ($M_s = 7.5$) was performed by the authors. It could be confirmed that most of the damage to life lines and structures were caused by soil liquefaction and related effects. The affected area covers 355 km² of northwestern Panama.

Throughout the coastal area of northwestern Bocas del Toro occurred subsidence of up to 0.9 m, which seem to follow a regional pattern or trend and suggests a tectonic process associated to a block system.

RESUMEN: Un reconocimiento de campo para cartografiar los sectores de Bocas del Toro, noroeste de Panamá, donde ocurrió licuefacción de suelos y estudiar los efectos del sismo del 22 de abril a lo largo de su costa fue efectuado por los autores. Se pudo comprobar que la mayoría de los daños a vías de comunicación y estructuras fueron causados por la licuefacción del terreno y efectos relacionados. La misma afectó alrededor de 355 km² del noroeste de Panamá.

A lo largo de la costa de Bocas del Toro también ocurrieron subsidencias de hasta 0.9 m, las cuales parecen seguir un patrón o tendencia regional el cual sugiere un proceso tectónico asociado a los mismos.

INTRODUCCION

El terremoto del 22 de abril de 1991 con una magnitud de ondas superficiales $M_s = 7,5$ (NEIC, 1991) sacudió la mayor parte de la región Caribe de Costa Rica y noroeste de Panamá. Este evento ocurrió en una región que se consideraba como de un bajo potencial sísmico, causando 79 muertes, 1.061 heridos, 24.341 damnificados, daños a viviendas e infraestructuras por alrededor de los trescientos setenta y cinco (375) millones de dólares.

Los autores efectuaron varias giras al noroeste de Bocas del Toro con el fin de observar los daños causados por el sismo del 22 de abril de 1991, cartografiar los sectores con licuefacción y

observar los efectos del terremoto sobre la costa. Esta es la primera vez que se reportan los efectos del sismo del 22 de abril sobre la costa del noroeste de Panamá. El siguiente estudio está basado en lo que se observó durante las giras post-terremoto.

MARCO GEOLOGICO

Las planicies costeras de la región de Bocas del Toro están constituidas por depósitos recientes de sedimentos fluvio-aluviales y pantanos. Aquí existen extensos depósitos de turba de espesor de hasta 19,0 m. (Cohen et al., 1991). Los depósitos recientes, de la zona costera aluvial, que sufrieron licuefacción durante el sismo del 22 de abril de

1991 y en los cuales el nivel freático está muy cerca de la superficie, presentan tres horizontes bien definidos:

Estrato Inferior: compuesto por un material muy fino de color gris oscuro. Según perforaciones hechas por la Chiriquí Land Company el límite inferior de este estrato está ubicado alrededor de los 120 m. y en el mismo se pueden encontrar lentes finos de grava.

Estrato Intermedio: constituido por un material predominantemente arcilloso de color azul, sobreyace a un estrato de arena media a fina. Este estrato similar a la Lama del Atlántico, que se encuentra en la región del Canal de Panamá, es fácilmente licuable y fue depositado en ambientes pantanosos y sometido a transgresiones y regresiones marinas cíclicas y periódicas (Irving et al., 1991).

Estrato Superior: constituido por limo arcilloso y arenas de grano medio a fino con coloraciones que van del gris oscuro al azul y cuyo espesor varía entre 1 y 8 m.

LICUACION Y EFECTOS RELACIONADOS

Los efectos del sismo del 22 de abril de 1991 fueron amplificados en aquellos lugares en donde están presentes aluviones y sedimentos no consolidados. Es decir todas las zonas de depósitos fluviales como: Guabito, California, Changuinola y fincas bananeras circundantes; o de relleno, con terrenos reclamados al mar como: el puerto de Almirante, en el continente, y la Ciudad de Bocas del Toro, en la Isla Colón. En estas poblaciones la mayoría de los daños a estructuras fueron causados por la inestabilidad dinámica del terreno

Es importante mencionar que no se observó en toda la zona, ni aún en la población de las Tablas, a escasos 20 km. del epicentro, ninguna edificación construida con bloques de concreto u hormigón que haya sufrido colapso de ninguna clase. Esto es lo que nos indica que las intensidades no sobrepasaron los VII grados MM en la mayor parte de la zona de aluviones. Estudios post-terremotos de los

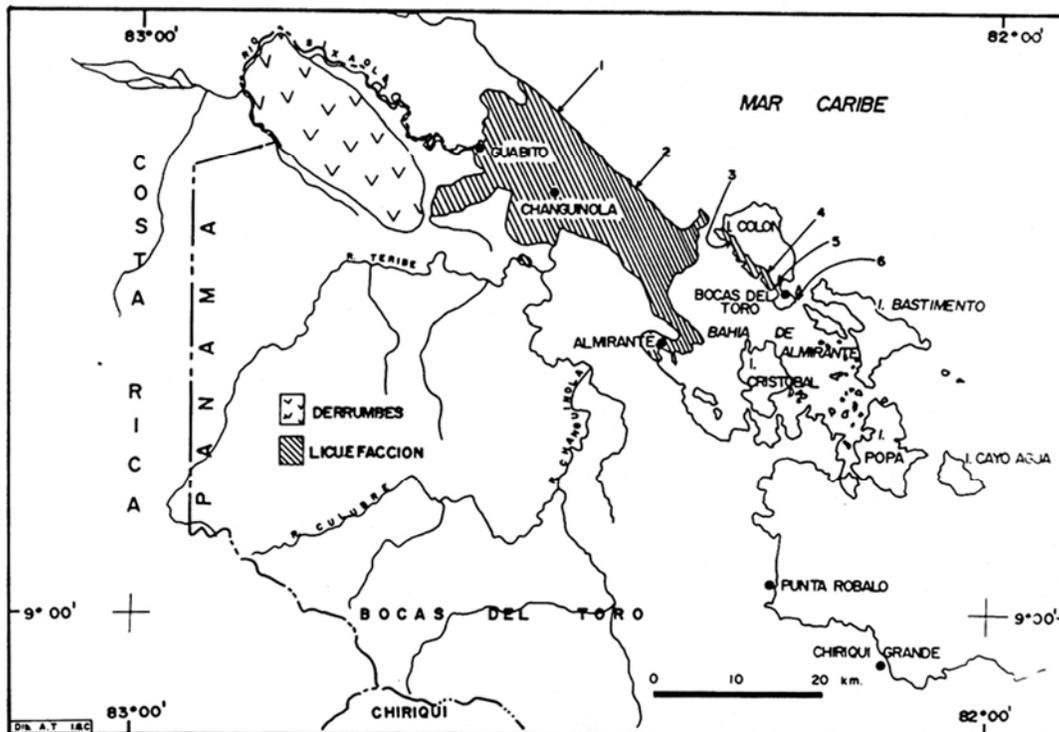


Fig. 1: Zonas de licuefacción, deslizamientos y subsidencias de la costa en el noroeste de Panamá.

últimos quince años han demostrado que aún en zonas con intensidades tan bajas como VI, en la escala Mercalli Modificada, puede ocurrir licuefacción masiva si la localidad está formada por sedimentos arenosos finos saturados (Espinosa et al., 1976; 1978). Ambrassey (1988) ha calculado que para un sismo de $M_s = 7,5$ solo se requiere una aceleración del terreno del 4% de g para causar licuefacción, a una distancia aproximada de 100 km, en el tipo de depósitos mencionados anteriormente.

En la figura 1 aparece un mapa que muestra las zonas de la Provincia de Bocas del Toro donde ocurrieron la licuefacción, y otros efectos relacionados tales como: grietas, fracturas y desplazamientos laterales a causa del sismo del 22 de abril de 1991.

La licuefacción en Bocas del Toro fue masiva sobre toda la zona deltáica y costera del noroeste de Bocas del Toro, abarcando una superficie de aproximadamente 355 km² y hasta una distancia de 100 km del epicentro. En varios casos los canales de drenaje de las fincas bananeras, así como el Canal de Changuinola, se vieron obstruidos por gran cantidad de arena proveniente del subsuelo, (Fig. 2) otras veces surgieron volcancitos y cráteres de arena, grietas y fracturas (Fig. 3). En otros casos, tal como ocurrió en Finca 44 y la población de Bocas del Toro, agua fétida fue expulsada hasta alturas de 3 m.

El material que afloró estaba formado por arenas licuadas, las cuales en la serie estratigráfica de la zona, se encuentran subyacentes a los depósitos de limolitas y lentes de grava fina.

Tal como se manifestó anteriormente en casi todas las grietas y fracturas ocurridas en el área, se produjo la salida de material arenoso, lo que reafirma que el fenómeno de licuefacción fue masivo y abarcó una gran parte de la región noroeste de Bocas del Toro. Un buen ejemplo de esto se observó en el campo de golf de la Chiriquí Land Company y otras partes del cuadrante central de Changuinola en donde la expulsión de arena de grano muy fino fue tan masivo que algunas partes semejaban campos nevados. En este caso como en muchos otros las estructuras próximas no sufrieron ningún tipo de daño.



Fig. 2: Canal de drenaje obstruido por arena. Finca 11, Changuinola.

En las márgenes de los ríos y quebradas de la zona comprendida entre el río Changuinola y los ríos Yorkín y Sixaola se abrieron grietas y fisuras paralelas al curso de los mismos o de antiguos canales.

Otros de los efectos directos del sismo fue el desplazamiento lateral de sedimentos no consolidados, que por la alta plasticidad no se fracturaron, respondiendo más bien con una migración lateral de masas. Esta situación se verificó en toda la zona ocupada por los sedimentos deltáicos manifestándose en forma más pronunciada en ciertos lugares y en otros a pesar de haber ocurrido no se pueden observar, debido a que no existen puntos de referencia en superficie. Buenos ejemplos de esto se observaron en algunas calzadas de concreto en donde el pavimento estaba



Fig .3: Grieta producto de desplazamiento lateral en las oficinas de la Chiriquí Land Company en Changuinola.

levantado en forma de bloques y en los puentes y líneas férreas donde los rieles se torcieron, doblaron o quedaron levantados (Fig. 4).

En algunas de las zonas de relleno artificial hidráulico, tales como la Ciudad de Bocas del Toro, en donde el terreno se ha hundido un promedio de 0,3 m, durante el temblor surgieron muchas grietas, cráteres y volcancitos de arena de los cuales surgió material licuado de origen marino. Es importante mencionar que las intensidades en esta zona no sobrepasaron los VI MM., por lo cual efectos como los anteriormente descritos podrían repetirse en condiciones similares en otras áreas de la República de Panamá con condiciones de suelo parecidas. Un buen ejemplo de esto lo tenemos en la Ciudad de Colón y áreas adyacentes, las cuales ya sufrieron licuefacción masiva durante el terremoto del 7 de septiembre de 1882 ($M_s = 7,5-8,0$). Igual podría suceder en alguna partes de la Ciudad de Panamá y alrededores, en donde no se comenzó a efectuar rellenos hidráulicos sino hasta después de 1910.

HUNDIMIENTOS EN LA COSTA

Deformación vertical asociada al sismo del 22 de abril de 1991, $M_s = 7,5$, ha sido reportada

anteriormente sólo para la costa Caribe de Costa Rica (De Obaldía et al., 1991; Plafker & Ward, 1992).

Después de haber recorrido la costa occidental de Bocas del Toro, desde la desembocadura del río Sixaola hasta la isla Carenero, en la Bahía de Almirante hemos encontrado evidencias que sugieren un patrón regional de subsidencias costeras que se extiende desde el delta del río San-San hasta la punta Tirbi, cruza la Boca del Drago hacia la Bahía de Almirante, y continúa a lo largo de esta hasta la isla Carenero. Esta subsidencia de la costa ha causado que la vegetación acuática, en el Canal de Changuinola, haya desaparecido por completo y que se observen franjas de bosque y otro tipo de vegetación muertas debido a la intrusión salina. A lo largo de la costa desde el río San-San hasta la punta Tirbí los efectos de la intrusión salina debido al subsidencia repentino de la costa es evidente en todas partes.

Cohen et al. (1990) han estudiado los depósitos de turba de los pantanos de Changuinola y observado, a partir de núcleos de perforación, sucesiones de turba de agua dulce y turba de agua salobre. Esto sugiere la ocurrencia de subsidencias abruptas, seguidas por levantamientos asísmicos durante lapsos largos de tiempo.

Algunos de los sitios donde se observaron subsidencias costeros aparecen indicados mediante números en la figura 1 y son los siguientes:

Sitio 1: 9°32'00" N, 82°35'03" W. En la zona cercana a la desembocadura del San-San la costa se ha hundido aproximadamente entre 0,5 y 1,0 m. Alrededor de 5,0 km² ahora están cubiertos por el agua.

Sitio 2: 9°27'28" N, 82°26'10" W. Aquí la costa se ha hundido formándose una nueva entrada de mar. Esto ha causado la destrucción de árboles y de la vegetación acuática que hacía difícil la navegación por el Canal de Changuinola. Como el rango de mareas en esta zona es de 0,3 m, aquí la costa debe haberse hundido por lo menos 0,3 m.

Sitio 3: 9°24'11" N, 82°19'34" W. Knapp Hole Point fue el asiento de un astillero y un terminal de ferrocarril a comienzos de siglo. De acuerdo a la observación de los vecinos del lugar esta zona se ha hundido por lo menos 0.9 m.

Sitio 4: 9°22'13" N, 82°16'28" W. Los subsidencias en Big Bay han causado que árboles y cercas de alambre de púas quedaran en medio del agua.

Sitio 5: 9°21'14" N, 82°15'43" W. En Lennan Cove se observan algunos árboles en medio del agua.

Sitio 6: 9°20'19" N, 82°14'10" W. La punta sur de la Isla Carenero se sumergió aproximadamente 0,5 m. En esta zona el rango máximo de mareas es de 0,3 m.

CONCLUSIONES

1. Las zonas del noroeste de Bocas del Toro que tuvieron la mayor cantidad de daños a raíz del terremoto del 22 de abril de 1991 fueron aquellas asentadas sobre depósitos fluvio-aluviales, pantanos desecados y/o tierras reclamadas al mar mediante relleno artificial.
2. La mayoría de los daños estructurales fueron causados principalmente por la inestabilidad dinámica del terreno.
3. La licuefacción afectó alrededor de 355 km² y ocurrió en zonas con intensidades de hasta VII grados MM. Esta conclusión es muy importante ya que en la República de Panamá existen otras áreas con condiciones de suelo similares, pero con mayor densidad de población e infra-



Fig. 4: Puente del ferrocarril, detrás del terminal de taxis de Changuinola, afectado por desplazamientos laterales.

estructura, tales como la región del Canal y sus ciudades terminales, que podrían verse afectadas por muchos de los efectos mencionados anteriormente, en caso de ocurrir, cercano a ellas, un sismo similar al del 22 de abril.

4. A lo largo de la costa de Bocas del Toro, desde el delta del río San-San hasta la isla Carenero se observó un patrón regional de subsidencias. Los mismos parecen haber sido mayores en la Bahía de Almirante (0,9 m) y podrían responder a un efecto de tectónica de bloques.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a la Comisión de Geofísica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y al Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales de la América Central (CEPRENAC) por su ayuda económica; A. F. Espinosa del U. S. Geological Survey-Denver, S. Phillips de la Universidad de British Columbia y D. Irving del Instituto de Recurso Hidráulicos y Electrificación (IRHE) por sus acertadas sugerencias y comentarios que contribuyeron a mejorar este estudio; a la Familia Serracín de Boca del Drago, V. Duke, el Servicio Aéreo Nacional (SAN) y la Chiriquí Land Company, División Bocas del Toro, por su invaluable ayuda y apoyo brindado en todo momento.

REFERENCIAS

- Ambrasseys, N. N., 1988: Engineering seismology - Earthquake Eng. Struct. Dyn., **17**: 1-105.
- Camacho, E., Luque, V. & De Leon, I., 1991: Aspectos sismológicos y efectos geológicos del terremoto del 22 de abril de 1991 en Bocas del Toro. - Universidad de Panamá, Instituto de Geociencias, Panamá, 56 págs. (inédito).
- Cohen, A., R., Raymond, A., Ramirez, Z., Morales, F. & Ponce, L., 1990: Changuinola deposits of Northwest Panama, Volume II: Resource Assessment. - Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 245 págs.
- Espinosa, A., Husid, R. & Quesada, A., 1976: Intensity distribution and source parameters from field observations - *En*: Espinosa, A. (ed.): The Guatemalan Earthquake of February 4, 1976, a preliminary report, U. S. Geol. Surv. Prof. Paper, **1002**: 52-66.
- Espinosa, A., Asturias, J. & Quesada, A., 1978: Applying the lessons learned in the 1976 Guatemalan earthquake to earthquake hazard-zoning problems in Guatemala. - *En*: Memorias del Simposio Internacional sobre el terremoto de Guatemala, del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción, Tomo 2.
- Irving, D., P., Franceschi, J., Cornejo, F., Ponce, L., Vergara E. & Icaza, J., 1991: Estudio de geología y suelo después del sismo del 22 de abril de 1991: Changuinola y Guabito. - Instituto de Recurso Hidráulico y Electrificación (IRHE), Panamá, República de Panamá, 100 págs., (inédito).
- Plafker, G. & Ward, S., 1992: Backarc thrust faulting an tectonic uplift along the Caribbean sea coast during the april 22, 1991, Costa Rica Earthquake. - Tectonics **11**: 709-718.