

El Terremoto de Sámara del 5 de setiembre del 2012



Editores
Lepolt Linkimer
Gerardo J. Soto

Noviembre del 2012

Foto de cubierta

Arenas de playa con licuefacción y
asentamiento diferencial, Playa Ostional,
coordenadas 350,0 E - 219,8 N.
Foto de Percy Denyer.





EL TERREMOTO DE SÁMARA DEL 5 DE SETIEMBRE DEL 2012



LEPOLT LINKIMER & GERARDO J. SOTO
EDITORES

NOVIEMBRE DEL 2012



Índice

Presentación – <i>R. Mora Ch.</i>	3
Prefacio – <i>Los editores</i>	5
Síntesis de datos del terremoto	7
Primera parte. Marco tectónico e instrumental	
1. Marco tectónico – <i>I. Arroyo & L. Linkimer</i>	10
2. Sismicidad histórica – <i>R. Barquero</i>	16
3. Sistema de registro de la RSN – <i>L. Linkimer, I. Arroyo, A. Vargas & L.F. Brenes</i>	20
Segunda parte. El terremoto del 5 de setiembre del 2012	
4. Localización del evento principal – <i>I. Arroyo, M.M. Mora & L. Linkimer</i>	24
5. Intensidades y principales efectos – <i>A. Vargas, L. Linkimer, R. Barquero, W. Rojas & I. Boschini</i>	30
6. Registro acelerográfico – <i>A. Climent & R. Piedra</i>	33
7. Transferencia de esfuerzos de Coulomb – <i>A. López</i>	36
8. Interpretación preliminar de la zona de ruptura y directividad de la energía – <i>W. Rojas</i> .	41
9. Determinación geodésica de la afectación en el área de estudio – <i>J.F. Valverde</i>	43
10. Deformación cosísmica y posible generación de tsunamis – <i>N. Zamora</i>	48
Tercera parte. Registro de réplicas y efectos causados por el terremoto	
11. Sismicidad post-terremoto: 5 de setiembre a 5 de octubre del 2012 – <i>L. Linkimer, M. Taylor, C. Araya, R. Barquero & I. Boschini</i>	59
12. Sismicidad inducida y otros efectos causados en el arco magmático – <i>M.M. Mora, W. Taylor & G.J. Soto</i>	62
13. Sismicidad en la zona suroeste de Cartago – <i>L. Linkimer</i>	79
14. Sismicidad en isla Calero, frontera de Costa Rica con Nicaragua – <i>L. Linkimer & W. Rojas</i>	81
15. Cambios físicos en los volcanes activos de Costa Rica luego del terremoto – <i>R. Mora-Amador et al.</i>	84
16. Efectos del terremoto en los cantones de Grecia y Sarchí – <i>G. Peraldo & O. Arias</i>	88
17. Apoyo psicosocial a los afectados por el terremoto – <i>M. Fernández et al.</i>	92
18. Conclusiones – <i>Los editores</i>	105
Anexo I. Coordenadas de estaciones	108
Anexo II. Intensidades Mercalli Modificada (IMM) del terremoto del 5 de setiembre del 2012 ...	111
Anexo III. Fotografías varias alusivas al terremoto	122
Anexo IV. Sismos sentidos del 5 de setiembre al 5 de octubre del 2012	124
Anexo V. Comunicado y opiniones	131



PRESENTACIÓN

¿Es un hecho que va a temblar mañana?

La Geología es una actividad humana. Los geólogos somos humanos, con todos nuestros fallos típicos y algunas de las debilidades que los no geólogos también tienen. La Geología sigue, asimismo, ciertas reglas y directrices. Lo que estas normas y directrices exactamente significan, depende de cuál área de la Geología abarca una investigación específica. El método científico (es decir, las hipótesis se formulan a partir de observaciones y las teorías se desarrollan a partir de hipótesis), a veces citado como el único camino que la ciencia tiene, no es el paradigma que la investigación geológica puede seguir siempre, pero resulta el mejor procedimiento objetivo. La Geología no es monolítica y mecánica, sino que desafía las explicaciones simples, al igual que muchas otras empresas humanas.

Algo importante, que tiene que quedar claro, es la diferencia entre hecho y opinión. "Hecho" en un contexto científico, es una realidad generalmente aceptada, pero todavía abierta a la investigación científica, a diferencia de una verdad absoluta, la cual no existe y por lo tanto no es parte de la ciencia. Las hipótesis y las teorías generalmente se basan en inferencias objetivas, a diferencia de las opiniones, que están generalmente basadas en influencias subjetivas. Por ejemplo, "yo soy una persona graciosa" es ciertamente una opinión, mientras que "si se me cae este cristal, se romperá" podría llamarse una hipótesis, mientras que "la Tierra gira alrededor del Sol", o "va a temblar mañana" o "la fuerza de la gravedad existe", se consideran hoy como hechos y teorías (y pueden llegar a estar equivocadas).

Las opiniones no son ni hechos ni teorías, no son oficialmente del dominio de la ciencia. Pero no vayan a pensar que los geólogos no tenemos opiniones. Somos humanos, y las opiniones a menudo nos ayudan a guiar nuestras investigaciones.

La Geología generalmente utiliza la formulación de hipótesis refutables, desarrolladas por vía del empirismo sistemático. Las hipótesis que nunca pueden ser desvirtuadas no son parte de la Geología real. Las hipótesis se formulan generalmente mediante la observación de lo que sea que usted esté estudiando, con el objetivo de comprender la naturaleza del sujeto de estudio (esto es el empirismo sistemático). Muchos geólogos tienen la creencia de que una hipótesis no siempre se puede probar, sólo refutar. Esto es especialmente cierto en disciplinas históricas como la Sismología, donde una máquina del tiempo sería la única vía para probar una hipótesis.

La aceptación de las ideas científicas se basa en un proceso de publicación y revisión por pares científicos. Para que una teoría llegue a ser legítima (pero aún no un hecho establecido), una hipótesis debe ser sometida a la aprobación de otros científicos y publicada en una revista



científica acreditada. Este proceso mantiene alejados a los charlatanes, de la Geología (bueno, así se supone, al menos). Lo más significativo es que esto ayuda a mantener a la ciencia como un proceso y no una acumulación gradual de hechos, siempre arrastrándose hacia adelante hacia la omnisciencia. Las teorías tienden a persistir hasta que una teoría mejor se propone y gana amplia aceptación, en lugar de proponer nuevas teorías sobre cada pequeño hecho que se deduzca.

La replicación es también vital para la buena Geología. Para que la comunidad geológica acepte un hallazgo, otros investigadores deben ser capaces de duplicar los hallazgos del investigador original. Por lo tanto, para evitar el arreglo de datos, otros geólogos deben ser capaces de seguir los métodos que el investigador haya usado (la experimentación, los cálculos matemáticos, la formulación de conceptos importantes, la medición de datos, o lo que sea) y llegar a los mismos resultados.

Un ejemplo de la no-ciencia es la hipótesis inédita. Hipótesis salvajes y polémicas (a menudo en forma de conferencias de prensa) son ávidamente aceptadas por el público, que no puede ser culpado por no saber. Para que las ideas sean aceptadas en la comunidad científica, las ideas deben ser publicadas (pasando el proceso de revisión por pares) para separar la buena ciencia de la mala ciencia. Aun así, todavía algo de ciencia no tan buena se escapa y es publicada, por lo que se debe ser muy crítico a la hora de considerar el trabajo de investigación geológica.

Declaraciones en los medios de comunicación no son ciencia pura, sino una mezcla de inferencia a partir de datos científicos con una dosis de imaginación y especulación. La Geología no puede decir si va a temblar mañana o no, a menos que tenga pruebas.

Lo importante es que hay grupos que estudian los sismos y sus causas tectónicas y efectos no solo tectónicos, sino en el amplio Sistema Tierra, de una manera seria y objetiva. Uno de esos grupos se ancla en esta universidad en colaboración con el ICE, y hoy nos presenta un estudio de amplio espectro del Terremoto de Sámara del pasado 5 de setiembre, que viene a ser un prelude de investigaciones en proceso, pero que nos dicen, sin lugar a dudas, que transitamos por el buen camino de la ciencia.

Rolando Mora Ch.

Director, Escuela Centroamericana de Geología
Universidad de Costa Rica



PREFACIO

“¿No te impresiona ver
cuando la misma tierra se estremece insegura?”

William Shakespeare, *Julio César*, Acto primero, escena tercera.

El miércoles 5 de setiembre del 2012 se produjo un gran sismo (M_w 7,6) en la región de la península de Nicoya, el cual fue sentido en toda América Central. Se reportaron daños estructurales y colapso de edificaciones en localidades de Nicoya, Liberia, Cañas, Tilarán, Puntarenas, Grecia, Sarchí y Naranjo. De acuerdo con los reportes de las poblaciones cercanas a la zona epicentral, las intensidades máximas fueron de VII (Intensidad Mercalli Modificada: IMM). En el Valle Central la sacudida fue bastante fuerte y prolongada, lo que provocó la caída de objetos de muebles y estantes, láminas de cielorraso, algunos daños en mampostería de edificios y alarma general en la población, que procedió a evacuar la mayoría de los edificios como medida preventiva.

El tamaño del evento, su localización y los parámetros de la fuente reportados prontamente por diferentes agencias sismológicas a nivel local y global indicaron que fue generado en el área interplacas. En las zonas de subducción los sismos interplacas se generan en una superficie buzante, relativamente estrecha (~100-200 km de ancho) y somera (< 50 km de profundidad) conocida como “la zona sismogénica” del área entre placas. La terminología se refiere al segmento del límite interplacas donde ocurre un deslizamiento inestable. Dado que la zona sismogénica interplacas es mayor que en el caso de fallas corticales y tiende a ser más continua, se generan aquí los terremotos más grandes del planeta.

Después del de Limón en abril de 1991 (M_w 7,7), el terremoto del 5 de setiembre podría ser catalogado como el segundo más fuerte sucedido en territorio nacional desde el inicio de las mediciones instrumentales, en la década de 1970, por parte de las entidades que hoy conforman la Red Sismológica Nacional: la Universidad de Costa Rica y el Instituto Costarricense de Electricidad (RSN: UCR-ICE). Empero, ningún sismo había sido registrado con una red tan densa de observación instrumental antes en Costa Rica, lo que ha permitido ganar una prodigiosa cantidad de conocimiento con este terremoto.

El conocimiento sobre la tectónica y sismicidad no se circunscribe a los aportes a la ciencia básica. Durante años, ha dado el paso hacia la ciencia aplicada y la tecnología, y en Costa Rica, dichosamente a la concepción y codificación. No en vano nuestro Código Sísmico (cuya más reciente actualización es del 2010) se ha alimentado profusamente de aquel conocimiento



generado a lo largo de las últimas cuatro décadas por nuestros investigadores apoyados y financiados por los centros de enseñanza universitaria y de instituciones públicas.

Este informe de análisis preliminar del sismo, pretende ser parte de tales contribuciones, y por eso se enfoca en desmenuzar los pormenores de su entorno, génesis, características y consecuencias. Se divide en tres partes: 1) **Marco tectónico e instrumental**, que puntualiza el área tectónica del globo donde nos encontramos y sucedió el sismo, así como la instrumentación que la RSN mantiene y le ha permitido estudiar en detalle el terremoto; 2) **El terremoto del 5 de setiembre del 2012**, que caracteriza al movimiento sísmico en sus diferentes facetas y registros, y 3) **Registro de réplicas y efectos causados por el terremoto**, que analiza los efectos posteriores del terremoto, en particular sobre otras zonas sísmicas del país y en las áreas volcánicas periféricas dentro del país, así como recopila la atención psicosocial brindada a los afectados más cercanos a la zona epicentral.

Este informe entonces, es solo un abrebocas de lo que con seguridad será un rico filón de información que conllevará a múltiples investigaciones y publicaciones ulteriores, una vez que los detalles del sismo y sus consecuencias sean entendidos con mayor profundidad y sean analizados con extensa prolijidad.

Valgan estas palabras para agradecer a todos los que han cooperado durante el proceso de recolección de información, lectura de sismogramas y acelerogramas, compendio de datos, logística y todas las múltiples aristas que componen el trabajo sismológico. Especiales gracias a las instituciones que mantienen y dan vida a la Red Sismológica Nacional (la UCR y el ICE, en particular el personal de campo que apoya las investigaciones), ambas baluartes de progreso e investigación en Costa Rica.

Los editores



SÍNTESIS DE DATOS DEL TERREMOTO

Datos del inicio de la ruptura:

Fecha: 5 de setiembre del 2012, hora local 8:42 a.m.

Localización: 24 km al sur-suroeste de Sámara, frente a la península de Nicoya.

Coordenadas: 9,690° N y 85,626° W.

Profundidad: 15,4 km.

Magnitud: 7,6 Mw.

Origen: Zona sismogénica entre las placas del Coco y Caribe.

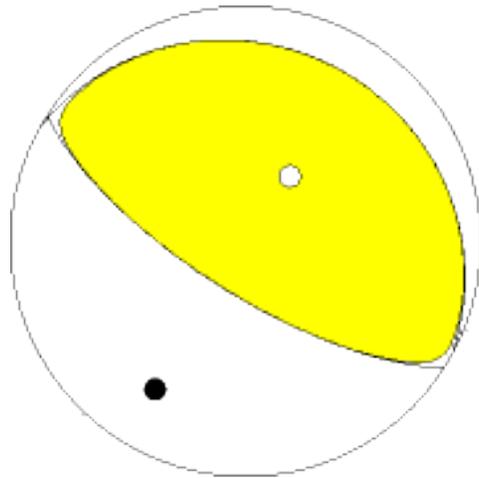


Mapa de la localización del terremoto del 5 de setiembre del 2012.



Mecanismo focal del sismo del 5 de setiembre 2012
Tensor momento del USGS: (Servicio Geológico de los Estados Unidos)

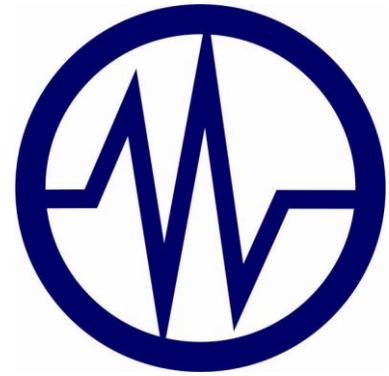
Plano	Rumbo	Buzamiento	Ángulo de rake
Plano 1	299	18	86
Plano 2	122	72	91





PRIMERA PARTE

MARCO TECTÓNICO E INSTRUMENTAL





1. MARCO TECTÓNICO

Ivonne Arroyo^a & Lepolt Linkimer^b

a: Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel GEOMAR, Alemania.

b: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

La tectónica y la sismicidad en Costa Rica son definidas en gran parte por el proceso de subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe, así como por la interacción de ellas con la placa Nazca, en el punto triple ubicado al sur de la península de Burica. Estos grandes procesos, a su vez, generan un profuso fallamiento cortical en el interior del país (Figura 1.1.).

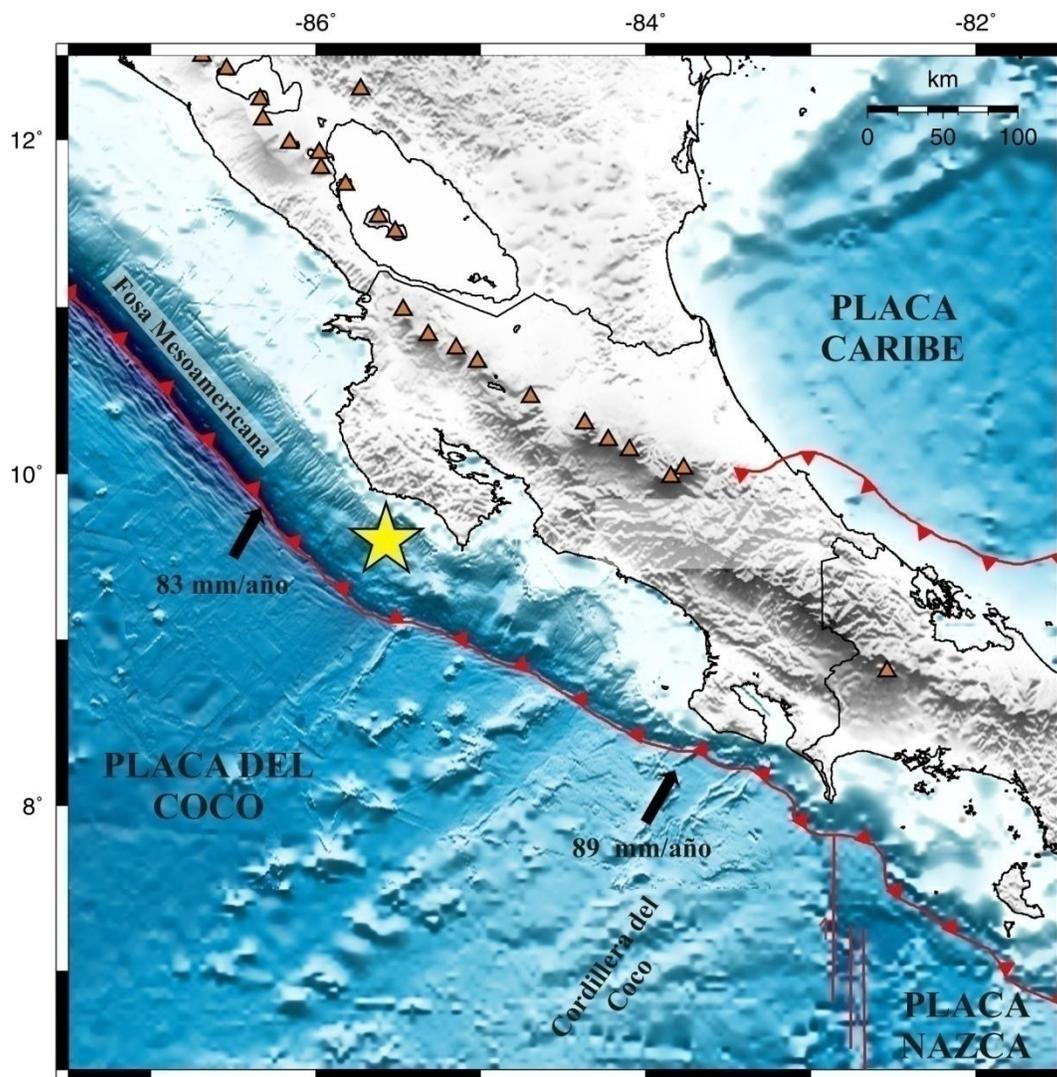


Figura 1.1. Marco tectónico regional de Costa Rica y alrededores, con las velocidades de convergencia entre las placas del Coco y Caribe. La estrella indica el epicentro del terremoto del 5 de setiembre del 2012.



En las últimas dos décadas, numerosos estudios geológicos y geofísicos han sido llevados a cabo en el margen pacífico de Costa Rica y Nicaragua, en el marco de varios proyectos internacionales con participación nacional. Específicamente en el noroeste del país, varios perfiles de reflexión y refracción sísmica (e.g., Hinz et al., 1996; Christeson et al., 1999; Sallarès et al., 2001), una perforación en el marco del *International Ocean Drilling Project* (IODP: Kimura et al., 1997), tomografías de sismicidad local (Husen et al., 2003; DeShon et al., 2006), campañas magnetotéluricas (Worzewski et al., 2010), campañas de medición de flujo de calor (e.g., Harris et al., 2010) y varias campañas con redes de sistema de posicionamiento global (GPS: LaFemina et al., 2009; Outerbridge et al., 2010; Feng et al., 2012) y mapeo de batimetría de alta resolución (e.g., von Huene et al., 2000). Así, se trata de una de las zonas de subducción mejor estudiadas del mundo.

1.1. Zona sismogénica interplacas

Esos estudios combinados coinciden en señalar el impacto de la morfología y estructura de la placa que se subduce en la configuración del margen. Se han definido tres dominios morfológicos en la placa del Coco frente a Costa Rica (von Huene et al., 2000): en el noroeste, bajo la península de Nicoya se subduce un piso oceánico con una batimetría relativamente suave, que se cree promueve una zona de contacto entre placas más continua y capaz de generar terremotos mayores a los esperados en el Pacífico Central (Protti et al., 1994), y los otros dos dominios se caracterizan por un suelo oceánico cubierto en un 40% por montes submarinos y por la cordillera del Coco.

Debido a que es una región donde las placas convergen a una velocidad relativamente alta (8 a 9 cm/año) y debido a la poca cantidad de sedimentos en la fosa, Costa Rica es un margen convergente de tipo erosional al menos desde el Mioceno Medio (Vannucchi et al., 2001). A través de una serie de procesos donde los fluidos y la temperatura juegan un papel clave (von Huene et al., 2004; Ranero et al., 2008), la placa del Coco arranca material de la base de la placa cabalgante, este permanece en el canal de subducción (*subduction channel*) y es arrastrado a mayores profundidades al avanzar la subducción.

Newman et al. (2002) y DeShon et al. (2006) analizaron la sismicidad en el área de la península de Nicoya registrada por una red de estaciones de tierra y de fondo marino que estuvo instalada durante 18 meses. Los resultados de una tomografía con estos datos (DeShon et al. 2006) muestran que la sismicidad interplaca es generada entre los 17 y los 28 km y los 12 y 26 km de profundidad en el noroeste y sureste de la península, respectivamente. Parece existir un desfase de 5 km a ambos lados de la sutura entre la corteza oceánica creada en el Levantamiento del Pacífico Este y en el Centro de Dispersión Coco-Nazca. Además, estos estudios sugieren que



la sismicidad que ocurre entre grandes terremotos no define la zona sismogénica en su totalidad. La zona de ruptura del terremoto de 1950 (7,7 Ms) parece haberse extendido a menores y mayores profundidades (Avants et al., 2001). De acuerdo con el último modelo térmico para la zona entre placas (Harris et al., 2010), la parte más somera de la ruptura de 1950 coincide con temperaturas un poco superiores a los 100°C. Como la sismicidad de fondo se inicia varios kilómetros más abajo, se podría especular que la porción superior de la zona sismogénica interplacas se encuentra en un régimen condicionalmente estable (Arroyo et al., remitido).

Una comparación entre las temperaturas en el límite inferior de la zona sismogénica, la sismicidad y la intersección del techo de la losa (*slab*) con el manto de la placa cabalgante (Lücke, 2012), sugiere que dicho límite se encuentra entre 30 y 35 km de profundidad y no depende de la temperatura (Arroyo et al., remitido).

Un “sismo lento” (*slow-slip*) fue registrado en el 2007 a 25-30 km de profundidad bajo la península y la entrada al golfo de Nicoya (Outerbridge et al., 2010). Dada la cobertura limitada, no se descarta que pudiera haberse extendido hacia el este. Este sismo coincidió temporalmente con tremores tectónicos y con sismos de baja frecuencia, posiblemente originados a la misma profundidad, en o cerca de la interfase, pero hacia el noroeste. Outerbridge et al. (2010) sugieren que no es directamente la temperatura, sino más bien reacciones metamórficas de bajo grado las que definirían la ocurrencia de rupturas lentas y tremores.

Con datos de deformación registrados por una red de GPS en la península entre 1996 y el 2010, Feng et al. (2012) observaron que la convergencia oblicua Coco-Caribe se divide en una traslación del antearco paralela a la fosa y en un empuje menos oblicuo a lo largo de la zona interplacas. Estos autores calculan que los sismos interplacas liberan dos tercios de la convergencia de placas paralela a la fosa, y sin embargo, la deformación acumulada entre grandes terremotos es principalmente normal a la fosa. Se identificaron dos parches con acoplamiento completo: uno frente a la costa y centrado a ~15 km de profundidad, y otro con centro a ~24 km bajo la península. Feng et al. (2012) estimaron que el acople tenía potencial para generar un terremoto de M_w 7,8.

Se ha observado desde hace décadas que generalmente la ruptura de grandes terremotos no se extiende hasta la fosa. Asimismo, las réplicas y la microsismicidad que se registra en el periodo entre grandes terremotos comienzan a cierta distancia de la fosa, a profundidades típicas de 5-20 km, donde las temperaturas a lo largo del contacto entre placas se estiman en ~100-150°C. Aunque aún no hay consenso, las investigaciones más recientes sugieren que el comienzo del comportamiento sísmico en profundidad se debe a una serie de cambios en las propiedades físicas de las rocas de la placa superior y del material clástico localizado entre las placas (*subduction channel*), propiciada por el aumento paulatino en la temperatura y la presión. Estos cambios son el resultado de la migración de fluidos y de transformaciones minerales producto de



procesos diagenéticos, químicos y mecánicos que justamente ocurren a temperaturas de 60°C a 150°C (Ranero et al., 2008)

1.2. Zona de Wadati-Benioff

Aún no se comprende del todo el mecanismo que genera la sismicidad por debajo de los 30-40 km de profundidad, donde las altas presiones deberían prevenir la ruptura frágil. Se cree que estos eventos se originan por procesos de deshidratación en la losa (Kirby et al., 1996; Hacker et al. 2003). Conforme la losa penetra en el manto, ocurren una serie de reacciones metamórficas que liberan fluidos. Una hipótesis propone que esto aumenta la presión de poro, reduce los esfuerzos normales y lleva el sistema al régimen frágil. Este tipo de sismicidad alcanza profundidades ligeramente superiores a los 200 km en el noroeste de Costa Rica.

1.3. Referencias

- Avants, M., Schwartz, S., Newman, A., DeShon, H., Protti, M. & Güendel, F., 2011: Large Underthrusting Earthquakes Beneath the Nicoya Peninsula, Costa Rica. - En: AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, 2001.
- Arroyo, I.G., Husen, S. & Flueh, E.R., remitido: The seismogenic zone in the Central Costa Rican Pacific margin: high-quality hypocenters from an amphibious network. – Int. J. Earth Sci.
- Christeson, G.L., McIntosh, K.D., Shipley, T.H., Flueh, E.R. & Goedde, H., 1999: Structure of the Costa Rica convergent margin, offshore Nicoya Peninsula. – J. Geophys. Res. 104 (B11): 25443-25468.
- DeShon, H.R., Schwartz, S.Y., Newman, A.V., González, V., Protti, M., Dorman, L.M., Dixon, T.H., Sampson, D.E. & Flueh, E.R., 2006: Seismogenic zone structure beneath the Nicoya Peninsula, Costa Rica, from three-dimensional local earthquake P- and S-wave tomography. – Geophys. J. Int. 164 (1): 109-124.
- Feng, L., Newman, A.V., Protti, M., González, V., Jiang, Y. & Dixon, T.H., 2012: Active deformation near the Nicoya Peninsula, northwestern Costa Rica, between 1996 and 2010: Interseismic megathrust coupling. – J. Geophys. Res. 117 (B6): B06407.
- Hacker, B.R., Peacock, S.M., Abers, G.A. & Holloway, S.D., 2003: Subduction factory 2. Are intermediate-depth earthquakes in subducting slabs linked to metamorphic dehydration reactions? – J. Geophys. Res. 108 (B1): 2030.
- Harris, R.N., Spinelli, G., Ranero, C.R., Grevemeyer, I., Villinger, H. & Barckhausen, U., 2010: Thermal regime of the Costa Rican convergent margin: 2. Thermal models of the shallow Middle America subduction zone offshore Costa Rica. – Geochem. Geophys. Geosyst. 11 (12): Q12S29.



- Hinz, K., von Huene, R., Ranero, C.R. & PACOMAR Working Group, 1996: Tectonic structure of the convergent Pacific margin offshore Costa Rica from multichannel seismic reflection data. - *Tectonics* 15 (1): 54-66.
- Husen, S., Quintero, R., Kissling, E. & Hacker, B., 2003: Subduction-zone structure and magmatic processes beneath Costa Rica constrained by local earthquake tomography and petrological modelling. – *Geophys. J. Int.* 155 (1): 11-32.
- Kimura, G., Silver, E.A., Blum, P., et al., 1997: Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports. vol 170. College Station, TX (Ocean Drilling Program). doi:10.2973/odp.proc.ir.170.1997
- Kirby, S., Engdahl, E.R., Denlinger, R., 1996: Intermediate-depth intraslab earthquakes and arc volcanism as physical expressions of crustal and uppermost mantle metamorphism in subducting slabs (Overview). - En: Bebout GE, Scholl DW, Kirby SH, Platt JP (eds.) *Subduction from Top to Bottom*, vol 96. American Geophysical Union Geophysical Monograph, págs. 195-215
- LaFemina, P., Dixon, T.H., Govers, R., Norabuena, E., Turner, H., Saballos, A., Mattioli, G., Protti, M. & Strauch, W., 2009: Fore-arc motion and Cocos Ridge collision in Central America. – *Geochem. Geophys. Geosyst.* 10 (5): Q05S14.
- Lücke, O., 2012: Moho structure of Central America based on three-dimensional lithospheric density modelling of satellite-derived gravity data. – *Int. J. Earth Sci.*:1-13. doi:10.1007/s00531-012-0787-y
- Newman, A.V., Schwartz, S.Y., González, V., DeShon, H.R., Protti, J.M. & Dorman, L.M., 2002: Along-strike variability in the seismogenic zone below Nicoya Peninsula, Costa Rica. – *Geophys. Res. Lett.* 29 (20): 1977.
- Outerbridge, K.C., Dixon, T.H., Schwartz, S.Y., Walter, J.I., Protti, M., González, V., Biggs, J., Thorwart, M. & Rabbel, W., 2010: A tremor and slip event on the Cocos-Caribbean subduction zone as measured by a global positioning system (GPS) and seismic network on the Nicoya Peninsula, Costa Rica. – *J. Geophys. Res.* 115 (B10): B10408.
- Protti, M., Güendel, F. & McNally, K., 1994: The geometry of the Wadati-Benioff zone under southern Central America and its tectonic significance: results from a high-resolution local seismographic network. – *Phys. Earth Planet. Inter.* 84 (1-4): 271-287.
- Ranero, C.R., Grevemeyer, I., Sahling, H., Barckhausen, U., Hensen, C., Wallmann, K., Weinrebe, W., Vannucchi, P., von Huene, R. & McIntosh, K., 2008: Hydrogeological system of erosional convergent margins and its influence on tectonics and interplate seismogenesis. – *Geochem. Geophys. Geosyst.* doi:10.1029/2007GC001679
- Sallarès, V., Dañobeitia, J.J., Flueh, E.R., 2001: Lithospheric structure of the Costa Rican Isthmus: Effects of subduction zone magmatism on an oceanic plateau. – *J. Geophys. Res.* 106 (B1): 621-643.
- Vannucchi, P., Scholl, D.W., Meschede, M. & McDougall-Reid, K., 2001: Tectonic erosion and consequent collapse of the Pacific margin of Costa Rica: Combined implications from ODP Leg 170, seismic offshore data, and regional geology of the Nicoya Peninsula. - *Tectonics* 20 (5): 649-668.



- von Huene, R., Ranero, C.R., Weinrebe, W. & Hinz, K., 2000: Quaternary convergent margin tectonics of Costa Rica, segmentation of the Cocos Plate, and Central American volcanism. - *Tectonics* 19 (2): 314-334.
- von Huene, R., Ranero, C.R. & Vannucchi, P., 2004: Generic model of subduction erosion. – *Geology*, 32 (10): 913-916.
- Worzewski, T., Jegen, M., Kopp, H., Brasse, H. & Taylor, W., 2010: Magnetotelluric image of the fluid cycle in the Costa Rican subduction zone. - *Nature Geosci.* 4 (2): 108-111.



2. SISMICIDAD HISTÓRICA

Rafael Barquero

Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica, Instituto Costarricense de Electricidad

La región de Guanacaste había tenido al menos 15 terremotos que han provocado daños desde el siglo XIX (Cuadro 2.1., Figura 2.1.). De ellos los más importantes relacionados con el proceso de subducción han sido los de 1833, 1916, 1950, 1978 y 1990. El de 1950 ha sido considerado como el más destructivo, pues produjo grandes daños en la península de Nicoya y otras localidades del noroeste y centro del país y las intensidades máximas estimadas fueron de VIII (MM).

Cuadro 2.1. Sismos históricos que han causado daños en Guanacaste.

Fecha	Lugares donde se presentaron los principales daños	Magnitud M_w
3 de abril de 1826	Nicoya, Santa Cruz y Alajuela	6,7
2 de octubre de 1833	Nicoya y Santa Cruz	7,1
24 de agosto de 1853	Cañas	6,0
10 de octubre de 1911	San Rafael de Guatuso, Alajuela	6,5
27 de febrero de 1916	Sardinal, Santa Cruz y Puntarenas	7,0
1° de agosto de 1935	Bagaces, Salitral y Mogote	6,2
6 de diciembre de 1941	Bagaces	6,3
5 de octubre de 1950	Nicoya, Filadelfia, Santa Cruz y Puntarenas	7,3
14 de abril de 1973	Río Chiquito, Arenal, Tronadora y Tilarán	6,5
23 de agosto de 1978	Sámara y Santa Cruz. Se trató de dos sismos similares, separados por 12 minutos entre sí.	6,8 y 6,8
25 de marzo de 1990	Cóbano, Herradura, Jacó, Mata de Limón, Tambor y Puntarenas. Se trató de dos sismos separados por 7 minutos entre sí.	7,0 y 7,1
16 de marzo de 1991	Punta Guiones y Nosara	6,4
28 de enero de 2002	Bijagua y Pílon de Upala	5,4
21 de julio de 2011	Las Armenias, Bijagua de Upala, ríos Guacalito y Zapote	5,5

La fuente interplacas es la más importante en la región de Guanacaste, dado que se caracteriza por grandes liberaciones de energía en forma de terremotos de magnitudes altas (hasta M_s 7,7) que pueden generar intensidades máximas de grado VIII o IX en la zona epicentral y



además, por su profundidad, son sentidos en una región más amplia que los originados en fallas locales.

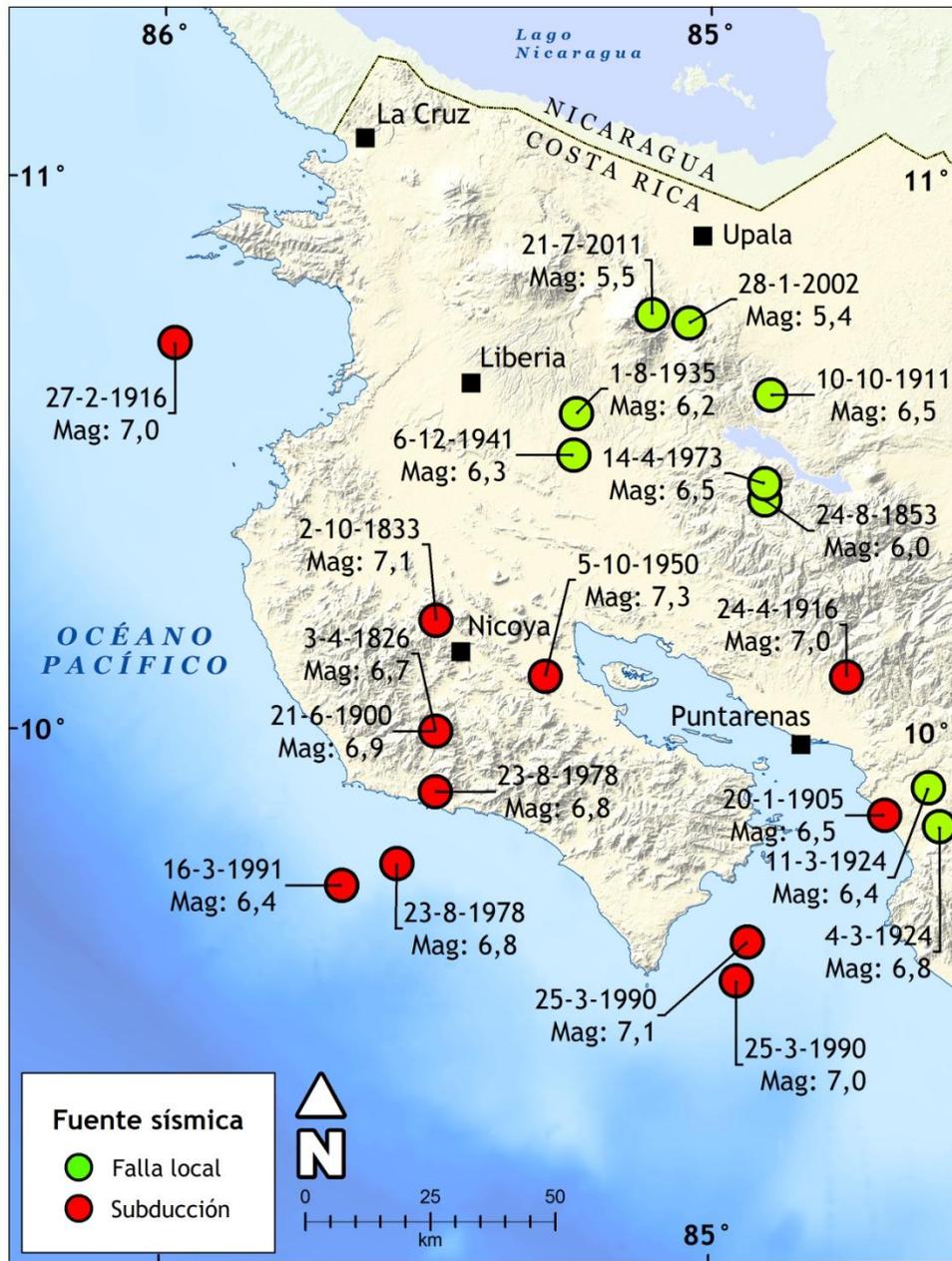


Figura 2.1. Terremotos históricos de la región de Guanacaste.

El 5 de octubre de 1950 ocurrió el denominado Terremoto de Nicoya, con una magnitud M_w estimada entre 7,3 y 7,7 según diferentes investigaciones. Este terremoto provocó levantamientos de ~1 m en la costa pacífica de la península. A pesar de su magnitud e intensidad,



el evento no cobró vidas humanas. Hubo daños en la infraestructura, debido en gran medida a deslizamientos y al fenómeno de licuefacción. Algunos reportes indican que pudo haber ocurrido un tsunami pequeño, con olas de entre 2 y 4 metros de altura.

El 25 de marzo de 1990 ocurrió el Terremoto de Cóbano, que se produjo en la entrada al golfo de Nicoya, más bien relacionado con el dominio del Pacífico Central. Afortunadamente no hubo muertes, aunque el evento causó grandes daños en estructuras civiles, deslizamientos y licuefacción. El sismo generó intensidades de VIII en la zona epicentral, y de VI en el Valle Central. Algunos estudios (Husen et al., 2002; Bilek et al., 2003) sugieren que este terremoto fue propiciado por la presencia de un monte submarino en el contacto entre las dos placas, a unos 30 km de profundidad.

2.1. Sismicidad reciente

La actividad sísmica registrada instrumentalmente por la RSN en la región noroeste del país para el periodo 1985-2010 presenta la localización epicentral de un total de 3833 sismos, generados en las zonas interplacas y de Wadati-Benioff y por fallamiento local. Para estos últimos, distinguibles sobre todo en tierra, se asumen profundidades iguales o menores a los 20 km.

Las magnitudes reportadas en el catálogo son de tipo coda (duración). Los cuadros 2.2. y 2.3. muestran la distribución por magnitudes. Eventos con magnitudes mayores a 5 son escasos (11 eventos para todo el período) y mayores a 6 se registraron solamente 2 sismos (el evento de Cóbano de 1990 se toma como uno solo en estos cuadros).

Cuadro 2.2. Número de sismos según rangos de magnitudes.

Rango de magnitud	Número de sismos	Porcentaje de sismos
3,0 – 4,0	3414	89,07
4,1 – 5,0	408	10,65
5,1 – 6,0	9	0,23
> 6,0	2	0,05
Total	3833	100,00

Cuadro 2.3. Número de sismos superficiales y profundos.

M	Superficiales (< 20 km)	%	Profundos (> 20 km)	%
3,0 – 4,0	1950	88,68	1464	89,60
4,1 – 5,0	245	11,14	163	9,98
5,1 – 6,5	4	0,18	7	0,42
Total	2199	100,00	1634	100,00



Las magnitudes mayores corresponden, en la mayoría de los casos, con sismos originados por el proceso de subducción, en donde se han generado terremotos de magnitudes altas (>7) en tiempos históricos. Las fallas locales por lo general pueden causar temblores de magnitudes intermedias (hasta 6,5).

Las profundidades de los temblores en la región noroeste se encuentran en un rango de ~5 a 200 km. Como se describió antes, la profundidad de los sismos originados interplaca varía entre 12-17 y 30 km (DeShon et al. 2006). La sismicidad de la zona de Wadati-Benioff sobrepasa los 200 km de profundidad. Los eventos generados por fallas locales suceden a profundidades de 20 km o menos.

2.2. Referencias

- Bilek, S.L., Elliott, C.E. & Bertelloni, C.L., 2009: Triggered seismicity associated with the 1990 Nicoya, Costa Rica, $M_w=7.0$ earthquake. - *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(4): 13 pp, doi: 10.1029/2008GC002317.
- DeShon, H.R., Schwartz, S.Y., Newman, A.V., González, V., Protti, M., Dorman, L.M., Dixon, T.H., Sampson, D.E. & Flueh, E.R., 2006: Seismogenic zone structure beneath the Nicoya Peninsula, Costa Rica, from three-dimensional local earthquake P- and S-wave tomography. – *Geophys. J. Int.* 164 (1): 109-124.
- Husen, S., Quintero, R., Kissling, E. & Hacker, B., 2003: Subduction-zone structure and magmatic processes beneath Costa Rica constrained by local earthquake tomography and petrological modelling. – *Geophys. J. Int.* 155 (1): 11-32.



3. SISTEMA DE REGISTRO DE LA RSN

Lepolt Linkimer^a, Ivonne Arroyo^b, Alberto Vargas^c & Luis Fernando Brenes^a

a: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

b: Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel GEOMAR, Alemania.

c: Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica, Instituto Costarricense de Electricidad

La Red Sismológica Nacional (RSN) fue creada mediante un convenio entre la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) que además incluye al Observatorio Sismológico y Vulcanológico del Arenal y Miravalles (OSIVAM). El centro de registro conjunto de la RSN se localiza en las instalaciones en la Escuela Centroamericana de Geología de la UCR.

La red sísmica está constituida por 60 estaciones ubicadas en diferentes partes del territorio costarricense (Figura 3.1.). En el Anexo I se encuentra la lista de las estaciones que componen la red. Se incluyen también las estaciones internacionales que llegan al centro de registro en la UCR. La mayoría de estaciones son sismómetros de banda ancha de tres componentes, pero además existe algunas estaciones con sismómetros de periodos corto analógico. Las estaciones llegan al centro a través de diferentes rutas vía línea telefónica, internet y radio. El tiempo de las señales proviene de receptores de GPS en cada estación y en el centro de registro.

Desde agosto del 2011 se implementaron los sistemas *Seiscomp* y *Earthworm* que constituyen el sistema automático de detección de sismos locales, regionales y globales. Este sistema funciona en conjunto con otros *softwares* desarrollados por el Observatorio Sismológico del Occidente de Panamá (OSOP). El procesado de rutina, esto es, la lectura de arribos de ondas, localización y cálculo de magnitudes, se lleva a cabo mediante el programa HYP (Lienert & Havskov 1995) y la última versión del *software* sismológico SEISAN (Ottemöller et al., 2011). La lectura de arribos se realiza aplicando un sistema de calidad por pesos de 0 a 4 (0 corresponde a la menor incertidumbre). Rutinariamente se estiman dos tipos de magnitudes: coda y momento. Para el proceso de localización se emplea un modelo de velocidades de siete capas (Cuadro 3.1., Figura 3.2.).



Figura 3.1. Mapa de estaciones de la RSN e internacionales.

Cuadro 3.1. Modelo de velocidades de onda P empleado actualmente por la RSN en la localización de rutina. Se usa además una relación V_p/V_s de 1,74.

Velocidad (km/s)	Profundidad (km)
3,50	0
5,00	1
6,00	6
6,80	13
8,00	35
8,26	200
8,50	300

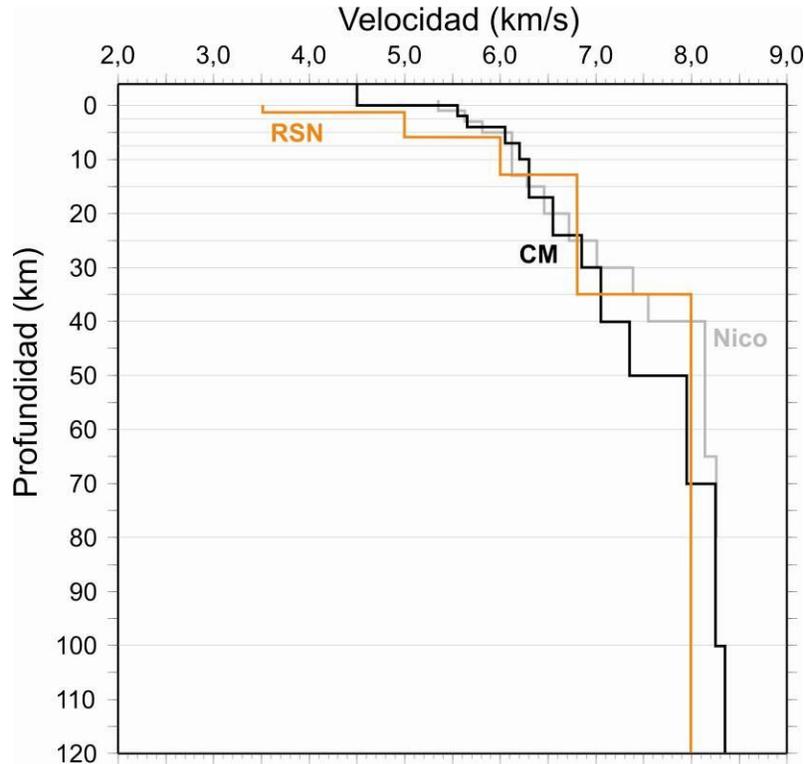


Figura 3.2. Modelos 1D de velocidades de onda P disponibles para localizar la sismicidad en la península de Nicoya. RSN corresponde con el cuadro 3.1. CM es el modelo mínimo para Costa Rica de Quintero & Kissling (2001). “Nico” es el modelo mínimo para la península de DeShon et al. (2006).

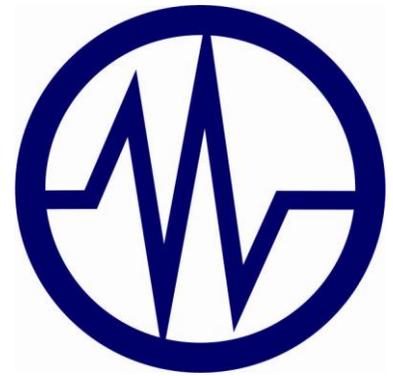
3.1. Referencias

- DeShon, H., Schwartz, S.Y., Newman, A.V., González, V., Protti, M., Dorman, L.M., Dixon, T.H., Sampsom, D.E. & Flueh, E.R., 2006: Seismogenic zone structure beneath the Nicoya Peninsula, Costa Rica, from three-dimensional local earthquake P- and S-wave tomography, *Geophys. J. Int.*, 164, 109-124, doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02809.x.
- Lienert, B.R. & Havskov, J., 1995: A Computer Program for Locating Earthquakes Both Locally and Globally, *Seis. Res. Lett.*, 66, 26-36, doi:10.1785/gssrl.66.5.26.
- Ottmøller, L., Voss, P. & Havskov, J., 2011: *SEISAN: the Earthquake Analysis Software for Windows, Solaris, LINUX, and MACOSX, version 9.0.1*, University of Bergen, pp. 361.
- Quintero, R. & Kissling, E., 2001: An improved P-wave velocity reference model for Costa Rica. – *Geofis. Int.* 40: 3-19.



SEGUNDA PARTE

EL TERREMOTO DEL 5 DE SETIEMBRE DEL 2012





4. LOCALIZACIÓN DEL EVENTO PRINCIPAL

Ivonne Arroyo^a, Mauricio M. Mora^b & Lepolt Linkimer^b

a: Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel GEOMAR, Alemania.

b: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

El evento principal ocurrió el 5 de setiembre del 2012 a las 8:42:03, hora local (14:42:03 UTC). La localización a posteriori fue realizada a partir de la compilación de los siguientes registros:

- a. estaciones que operaban y transmitían en tiempo real al centro de registro de la RSN en la UCR,
- b. estaciones de registro local operadas en los proyectos de generación eléctrica del ICE, y
- c. estaciones compartidas por centros sismológicos de otros países de América Central.

Debido a que la RSN no contaba con una estación cercana (a menos de 30 km) al área epicentral, se incorporaron los registros de estaciones acelerográficas ubicadas en la península de Nicoya, facilitados por el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) de la UCR. Las formas de onda hasta una distancia de 180 km desde el epicentro se muestran en la Figura 4.1., y la localización de las estaciones empleadas en la Figura 4.2.

Los criterios de calidad fueron establecidos de la siguiente manera:

a. Incertidumbres:

Para la lectura de los tiempos de arribo se utilizó un esquema de pesos para asignar la incertidumbre, basado en el sistema que emplea el programa HYP (Lienert & Havskov, 1995, ver Capítulo 3). A pesar de que los arribos son mayoritariamente emergentes, fue posible determinarlos con un grado de incertidumbre relativamente bajo ($\pm 0,05$ s) al picarlos evitando incluir las máximas amplitudes del tren de ondas P en la ventana de lectura.

b. Residuos:

No se tomaron en cuenta las estaciones cuyos residuos de tiempo de viaje superaron 1 s. Esto no afectó la cobertura del evento, e inclusive con esta restricción se cuenta con 36 lecturas de tiempos de arribo de onda P.

Se utilizaron dos técnicas para la relocalización:

1. La tradicional basada en el programa HYP, usando el modelo de velocidades 1D que emplea actualmente la RSN (Cuadro 3.1.). Este procedimiento, a su vez, fue aplicado de dos



maneras: en la primera se permitió al algoritmo identificar por sí mismo los arribos de la fase tipo Pn; en la segunda, la identificación de esta fase se llevó a cabo manualmente, habiéndose estimado una distancia de entre 100 y 110 km a partir de la cual se esperarí la aparición de ese tipo de fase según la Figura 4.1. y la configuración de la zona de subducción.

2. El programa de relocalización probabilística no lineal *NonLinLoc* de Lomax et al. (2000), alimentado con el modelo de velocidades 3D para Costa Rica calculado por Husen et al. (2003). El empleo de un modelo 3D tiene la indudable ventaja de que representa mejor la compleja heterogeneidad de una zona de subducción, en contraposición con una representación con capas paralelas. Sin embargo, el área epicentral del terremoto se ubica fuera del área de mejor resolución del modelo, que fue derivado solamente con estaciones de tierra. Hacia la fosa, las velocidades se mantienen cercanas al modelo 1D mínimo de velocidades de onda P para Costa Rica de Quintero & Kissling (2001), que fue usado como referencia en la tomografía (Husen et al. 2003). Esto podría aumentar la incertidumbre de esta relocalización.

4.1. Resultados

Las tres soluciones obtenidas se presentan en el Cuadro 4.1. y en la Figura 4.2. Los epicentros de las localizaciones 3D y 1D con Pn automática son bastante cercanos (~3 km de diferencia). La localización 1D utilizando la Pn manual se aleja, sin embargo, unos 8 km de las anteriores hacia la costa. En la Figura 4.1. se observa que entre los 60 y 110 km se cuenta sólo con dos estaciones, lo cual es un vacío de información sustancial que no permite establecer con precisión el arribo de la onda Pn. En consecuencia, la localización será sensible a la determinación de esta fase. A esto se suma una pobre cobertura acimutal (245°-255°) y la inexistencia de registros sísmicos en el campo cercano (< 20 km). Lo anterior también incide en una determinación bastante imprecisa de la profundidad, lo cual es magnificado por la imposibilidad de reconocer arribos de ondas S claros. A partir del Cuadro 4.1. vemos que el hipocentro oscila entre los 15 y 21 km.

Las diferencias máximas entre las tres soluciones son de unos 10 km en la horizontal y 5 km en la vertical. Estas diferencias son producidas principalmente por aspectos propios de las técnicas utilizadas, diferencias en los modelos de velocidad, problemas de cobertura espacial y factores inherentes a la complejidad de la ruptura ocurrida durante el sismo.



Cuadro 4.1. Soluciones calculadas para el inicio de la ruptura del evento principal.

Técnica	Lon W	Lat N	Prof (km)	Tiempo origen	Gap (°)	Rms (s)	Incert. (km) lon, lat, prof
NonLinLoc 3D	85,600	9,704	20,9	14:42:03,18	249	0,22	0,5 1,3 2,2
HYP 1D y Pn automática	85,626	9,690	15,4	14:42:03,04	255	0,22	5,3 6,8 6,7
HYP 1D y Pn manual	85,594	9,774	21,2	14:42:03,93	245	0,28	5,4 6,2 2,5

4.2. Solución preferida

En vista de las dificultades para determinar la distancia del primer arribo de ondas Pn con mayor exactitud y debido a la resolución limitada del modelo 3D de Husen et al. (2003) en el área epicentral, se considera la solución **1D con Pn automáticas como la oficial para la RSN** (negrita en Cuadro 4.1.). Además, la profundidad de dicha solución se acerca más a la posición del techo de la losa en esta zona según estudios anteriores (p.ej. Sallarès et al. 2001; ver inserto de la página 27), sobre todo considerando las incertidumbres. Posiblemente, estudios futuros con más estaciones instaladas en la península al momento del terremoto bajo convenios internacionales serán capaces de refinar la relocalización.

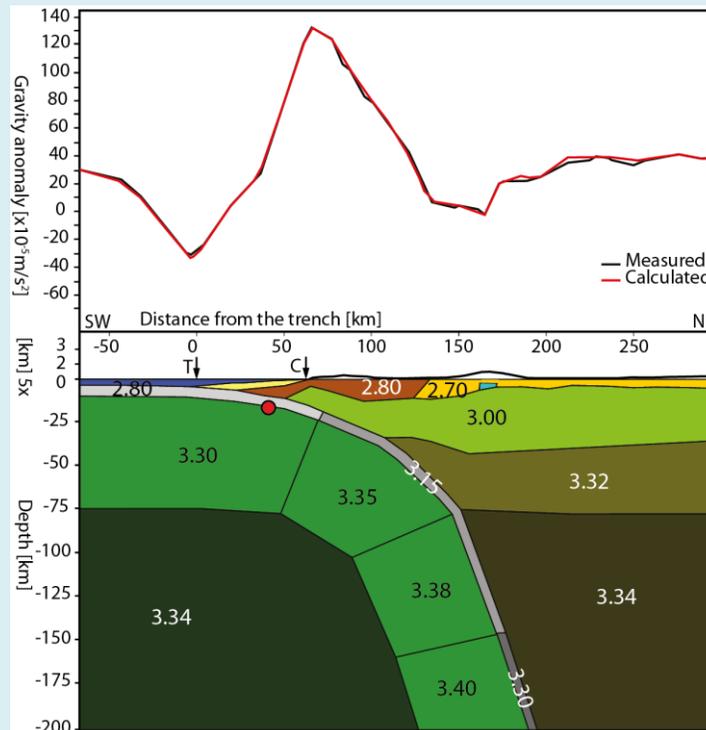
4.3. Referencias

- Avants, M., Schwartz, S., Newman, A., DeShon, H., Protti, M. & Güendel, F., 2011: Large Underthrusting Earthquakes Beneath the Nicoya Peninsula, Costa Rica. - En: AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, 2001.
- Arroyo, I.G., Husen, S. & Flueh, E.R., remitido: The seismogenic zone in the Central Costa Rican Pacific margin: high-quality hypocenters from an amphibious network. – Int. J. Earth Sci.
- DeShon, H.R., Schwartz, S.Y., Newman, A.V., González, V., Protti, M., Dorman, L.M., Dixon, T.H., Sampson, D.E. & Flueh, E.R., 2006: Seismogenic zone structure beneath the Nicoya Peninsula, Costa Rica, from three-dimensional local earthquake P- and S-wave tomography. – Geophys. J. Int. 164 (1): 109-124.
- Husen, S., Quintero, R., Kissling, E. & Hacker, B., 2003: Subduction-zone structure and magmatic processes beneath Costa Rica constrained by local earthquake tomography and petrological modelling. – Geophys. J. Int. 155 (1): 11-32.
- Lienert, B.R. & Havskov, J., 1995: A Computer Program for Locating Earthquakes Both Locally and Globally. – Seism. Res. Lett. 66 (5): 26-36.



- Lomax, A., Virieux, J., Volant, P. & Berge-Thierry, C., 2000: Probabilistic earthquake location in 3D and layered models. - En: Thurber, C.H. & Rabinowitz, N. (eds.): Advances in seismic event location. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, págs. 101-134.
- Quintero, R. & Kissling, E., 2001: An improved P-wave velocity reference model for Costa Rica. - Geofis. Int. 40: 3-19.
- Sallarès, V., Dañobeitia, J.J., Flueh, E.R., 2001: Lithospheric structure of the Costa Rican Isthmus: Effects of subduction zone magmatism on an oceanic plateau. - J. Geophys. Res. 106 (B1): 621-643.
- von Huene, R., Ranero, C.R., Weinrebe, W. & Hinz, K., 2000: Quaternary convergent margin tectonics of Costa Rica, segmentation of the Cocos Plate, and Central American volcanism. - Tectonics 19 (2): 314-334.

Un perfil geofísico y el hipocentro, por Oscar Lucke (Universidad Christian-Albrechts, Kiel, Alemania)



Sección vertical del modelo tridimensional de densidades litosféricas según Lücke (2012). El panel superior muestra el ajuste entre la gravedad medida (línea negra) y la gravedad calculada a partir del modelo de densidades (línea roja). El panel inferior muestra la estructura litosférica modelada y la distribución de densidades según polihedros de densidad constante (densidades en Mg/m^3). El círculo rojo muestra la proyección del hipocentro de la solución 1D con Pn automáticas.

Lücke, O.H., 2012: 3D Density Modeling of the Central American Isthmus from Satellite Derived Gravity Data. - Tesis doctoral, Christian-Albrechts University of Kiel, Alemania.

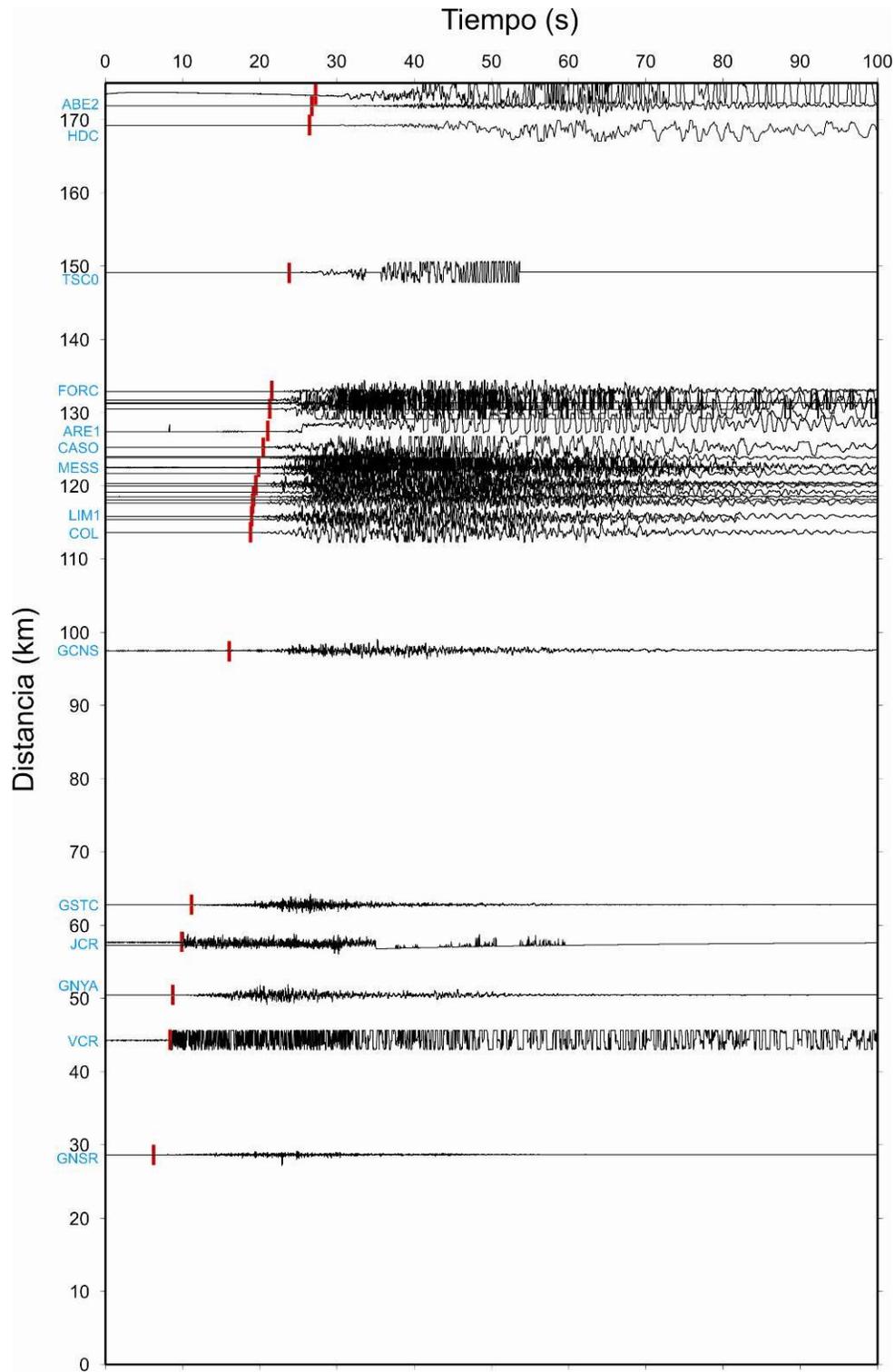


Figura 4.1. Formas de onda del evento principal del 5 de setiembre del 2012, hasta 180 km del epicentro. Las marcas rojas indican los tiempos de primer arribo de las ondas P. Se incluye algunos códigos de estaciones (ver figura 4.2 para su localización).

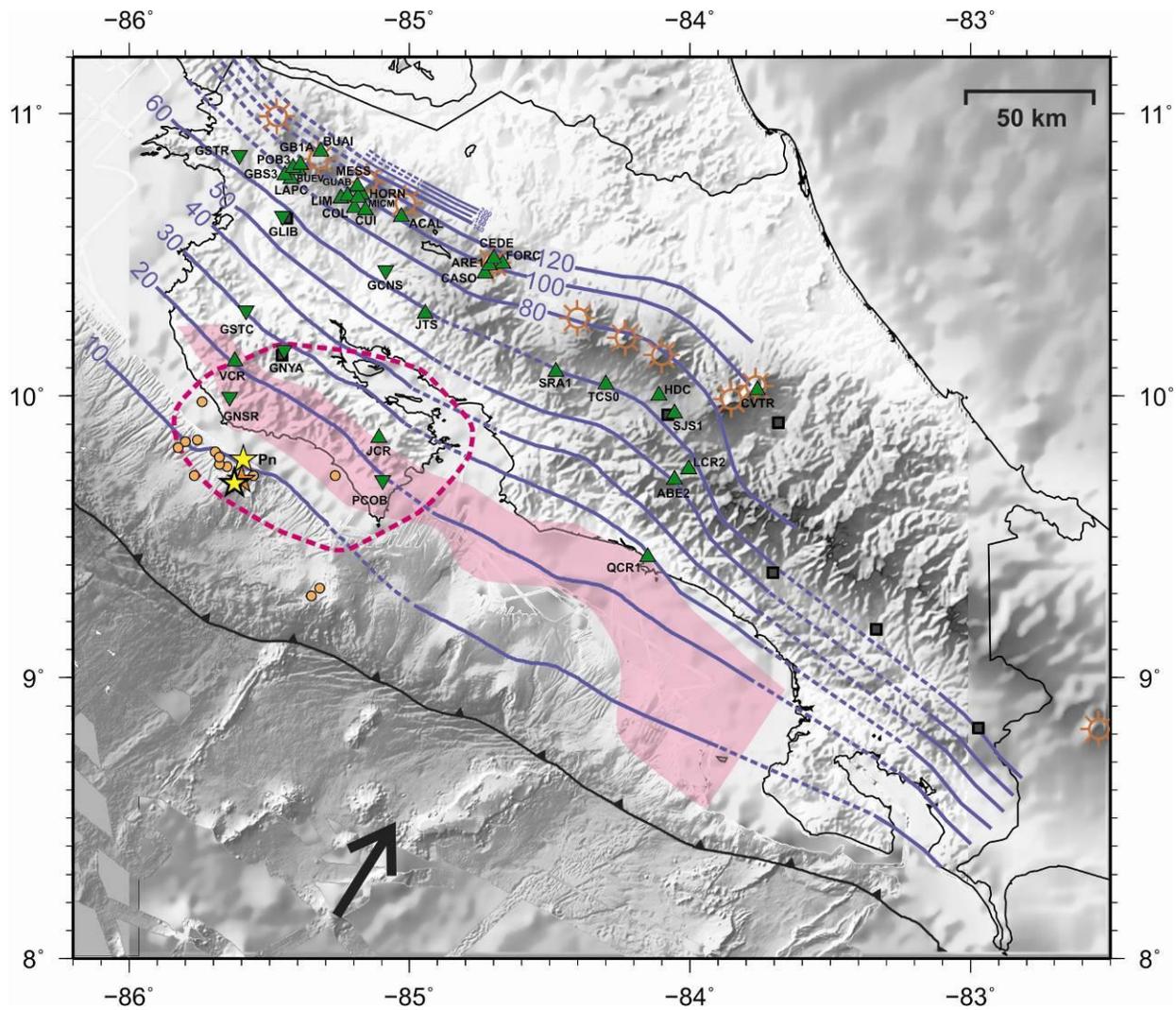


Figura 4.2. Soluciones posibles del inicio de la ruptura del evento principal: localización 3D en anaranjado y localizaciones 1D en amarillo (Pn indica la relocalización con arribos de onda Pn picados manualmente, ver texto). Se incluye la localización 3D de las réplicas mayores de M_w 4,5 hasta el 10 de octubre (círculos anaranjados). Las estaciones empleadas en la localización se indican en color verde (los triángulos invertidos corresponden a los acelerógrafos del LIS). La línea punteada magenta representa el área de ruptura del terremoto de 1950 (Avants et al., 2001). La sombra magenta delinea el área sismogénica interplacas entre grandes terremotos en Nicoya y el Pacífico Central (DeShon et al., 2003, 2006; Arroyo et al., remitido). Las líneas azules continuas son los contornos del techo de la losa sismogénica (profundidad en km; Arroyo, inédito 2011). La línea dentada es el eje de la fosa Mesoamericana. Los círculos dentados denotan los volcanes del Holoceno. Batimetría según von Huene et al. (2000).



5. INTENSIDADES Y PRINCIPALES EFECTOS

Alberto Vargas^a, Lepolt Linkimer^b, Rafael Barquero^a, Wilfredo Rojas^b & Ileana Boschini^a

a: Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica, Instituto Costarricense de Electricidad.

b: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

El terremoto del 5 de setiembre del 2012 fue sentido en todo Costa Rica e inclusive en localidades de Nicaragua, Panamá, El Salvador y Guatemala. La mayor parte de los daños reportados fueron en la zona de la península de Nicoya, en las poblaciones de Nicoya, Santa Cruz, Nandayure y Sámara. En Puntarenas, Mata de Limón y Jacó hubo daños en algunas construcciones, que incluyen el hospital y la Municipalidad de Puntarenas. En los cantones Grecia, Naranjo y Valverde Vega se presentaron daños importantes en viviendas y algunos edificios. En el Valle Central, aunque el sismo provocó alarma general en la población, los daños no fueron severos y sólo se reportaron algunos vidrios quebrados y la caída de objetos y láminas de cielorraso en edificios. La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) informó que 240 personas estuvieron en albergues temporales habilitados para las familias afectadas en Alajuela (34 personas) y en Guanacaste (206).

El Consejo de Gobierno detalló que los diferentes ministerios e instituciones oficiales valoraron en $\$22\,360$ millones los costos de los daños en infraestructura pública y viviendas, repartidos principalmente en 20 cantones del país. El informe de la CNE indica que ocurrieron daños en 15 carreteras nacionales, 38 puentes (según un análisis preliminar del MOPT y Conavi), 33 edificios de salud (entre hospitales, clínicas y equipos básicos de atención integral) y 1990 viviendas (en su mayoría con daños parciales).

El Ministerio de Educación Pública estimó que los costos preliminares de los daños superan los $\$3000$ millones. Los daños se concentraron en 56 centros educativos, la mayoría ubicados en Nicoya (10 escuelas), Nandayure (9), Hojancha (4), Santa Cruz (9), Paquera, Lepanto, Cóbano, Sarchí, Grecia y Naranjo.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) informó que siete acueductos fueron afectados principalmente en las provincias de Guanacaste y Puntarenas. Hubo daños en acueductos rurales ubicados en Sámara, La Guinea y Corralillo en Carrillo y el Triunfo de Liberia, donde se abasteció a la población mediante camiones cisternas.

El ICE reportó daños en cinco líneas de transmisión y siete subestaciones, lo que representa un 6% de las líneas y un 12% de las subestaciones. Las líneas de transmisión con daños incluyen Miravalles-Arenal, Garabito, Arenal-Lindora, Nuevo Colón-Papagayo y Santa



Rita-Colorado. Las subestaciones que tuvieron algunos problemas leves fueron La Caja, San Miguel, Sabanilla, El Coco, El Este, Tarbaca, Heredia, Ciudad Quesada y Colima. De ellas, las que sufrieron mayores averías fueron la de Santa Rita y Arenal. Los servicios fueron restablecidos casi en su totalidad en menos de 24 horas. En cuanto al sistema telefónico, el ICE informó que luego del sismo se produjo una saturación del sistema de telefonía fija y el celular debido a que el tráfico de llamadas se cuadruplicó. Además, 104 radio bases GSM y 202 de 3G estuvieron fuera de operación por falla en el suministro de electricidad, pero al final del día casi todos los sistemas se recuperaron.

Del recuento de los daños, entrevistas en el campo y efectos observados se estima que la intensidad máxima fue de VII (Mercalli Modificada, IMM) para la zona de la península de Nicoya, Puntarenas y en Zarcero, Grecia y Naranjo. Con ayuda del reporte de los usuarios de las redes sociales que administra la Red Sismológica Nacional, se pudo determinar un valor de intensidad (IMM) en 190 localidades de Costa Rica (Anexo II) con lo que se construyó un mapa de isosistas (Figura 5.1.). En Liberia, Cañas, Tilarán, Miramar y Ciudad Quesada se estimó una intensidad de VI. En el Valle Central una intensidad de V. Más detalles se ven en el Anexo II.

Otros efectos del terremoto se observaron durante una inspección a la zona mesosísmica. Se observó un levantamiento en la línea de costa de 0,45 m en playa Carrillo, Sámara y Buena Vista y de 0,75 m en Playa Pelada. En Ostional no se encontró ningún levantamiento. Además, se observó asentamiento diferencial y licuefacción en zonas arenosas saturadas de agua en las localidades de Carrillo, Guiones, Nosara y Ostional (ver fotografías en el Anexo III).



Figura 5.1. Mapa de intensidades Mercalli Modificada en Costa Rica, del terremoto del 5 de setiembre del 2012.



6. REGISTRO ACELEROGRÁFICO

Álvaro Climent & Rosey Piedra

Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica, Instituto Costarricense de Electricidad

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) cuenta con una Red de Acelerógrafos, como parte de su programa de seguridad sísmica de sitios de proyecto y presas ya construidas, que durante el terremoto del 5 de setiembre se activaron, obteniéndose un grupo importante de registros acelerográficos (Figura 6.1.). Estos registros dan información de la intensidad instrumental de la sacudida sísmica, en términos de aceleración, en los diferentes sitios donde se ubican. Esta información permitirá, entre otras cosas, correlacionar el nivel de intensidad sísmica medido con los daños observados en estos sitios y sus cercanías. Además de la información registrada por el ICE, el país cuenta con la información reportada por la Red Acelerográfica del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) de la UCR, que tiene una cobertura nacional de acelerógrafos ubicados en campo libre, y en algunas edificaciones (ver <http://www.lis.ucr.ac.cr/>).

Los acelerógrafos registran el movimiento en tres componentes: una vertical y dos horizontales. En el Cuadro 6.1. se presentan los valores pico de aceleración registrados en la mayor de las dos componentes horizontales, en cada una de las estaciones, y se presentan en fracciones de g (aceleración de la gravedad, 981 cm/s²).

Cuadro 6.1. Valores de aceleración pico registrados por la instrumentación ICE del terremoto del 5 de setiembre 2012.

Estación	Código Estación	Condición Sitio	Distancia epicentral (km)	Aceleración (g)
Sandillal	SDBA	Presa	103,4	0,400
Miravalles	MICM	Suelo firme	122,0	0,038
Sangregado	SGBR	Suelo	129,5	0,094
Peñas Blancas	PBBA	Suelo firme	135,6	0,058
San Miguel	SMES	Roca	145,9	0,024
Pirris2	PICM	Suelo firme	158,5	0,043
Pirris1	PICP	Roca	160,2	0,011
Toro	TOES	Suelo firme	164,0	0,023
Cariblanco	CBCM	Suelo	173,0	0,089
Angostura	ANCA	Suelo	220,0	0,075

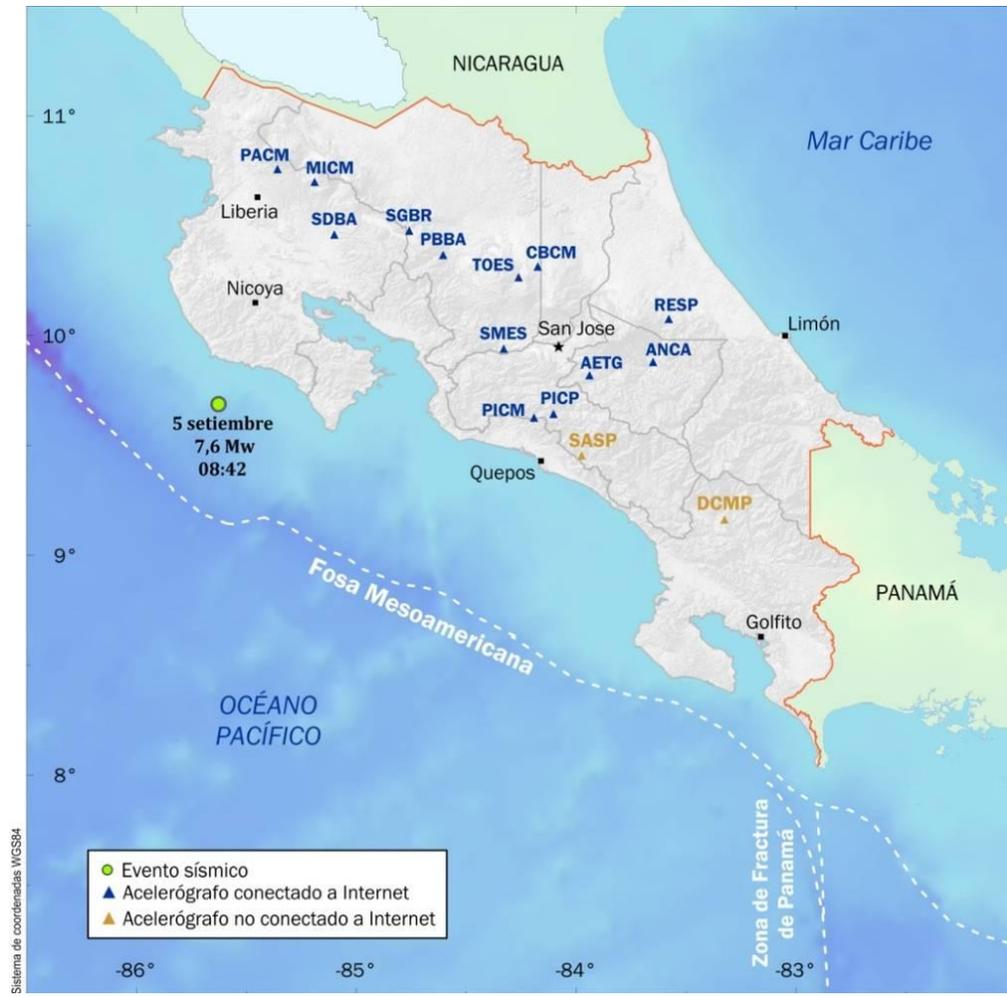


Figura 6.1. Localización epicentral del terremoto del 5 de setiembre y ubicación de estaciones de registro acelerográfico del ICE.

Los valores del Cuadro 6.1. vienen en su mayoría de instrumentos ubicados en estribos y pie de presas como SGBR, PBBA, SMES, TOES, ANCA así como ubicados en casas de máquinas MICM, PBCM, y dos de ellos en campo libre (PICP y CBCM). En el caso de SDBA, se está reportando el valor registrado directamente en la cresta de la presa, ya que no hubo registro en la base debido a problemas de operación del equipo.

En general, se puede indicar que de acuerdo con los valores del Cuadro 6.1., la mayoría de los instrumentos ICE registraron valores de intensidad de la sacudida sísmica menores a 0,1 g, y no se reportó ningún daño importante en las obras cercanas a ellos. La mayoría de ellos se encuentran bastante alejados de la zona epicentral (a más de 103 km), por lo que la señal sísmica fue atenuada lo suficiente para disminuir el efecto dañador de la sacudida sísmica, aunque esta se haya sentido en forma severa por las personas (cf. Mapa de isosistas, Figura 5.1.).



Como se indica en el Cuadro 6.1., el sitio u obra de registro ICE más cercano al epicentro del terremoto, es la presa Sandillal, localizada a 103,4 km. Allí se registró una aceleración pico en la cresta de la presa de 0,4 g. En la Figura 6.2. se muestran las tres componentes del registro obtenido en este sitio. El Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica (LIS-UCR), por su parte, reporta para la ciudad de Cañas, localidad cercana a la presa Sandillal, una aceleración pico en campo libre de 0,14 g (Biblioteca Cañas) y 0,13 g (Ingenio Taboga, Cañas) (ver: <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=665>).

El nivel de sacudida sísmica registrada en la cresta de esta presa Sandillal (0,4 g), se puede considerar sentida en forma severa y con un potencial de generar daños moderado. Los reportes preliminares de daños, basados en las inspecciones de personal de Ingeniería ICE, indican la ocurrencia de daños menores con algunas grietas longitudinales pequeñas y asentamientos de centímetros en la parte central de cresta de la presa. Lo anterior indica un buen comportamiento dinámico de la presa ante eventos sísmicos severos que ocurren en la zona de subducción del Pacífico Norte del país, y que se refleja en una buena valoración de la seguridad actual de la obra.

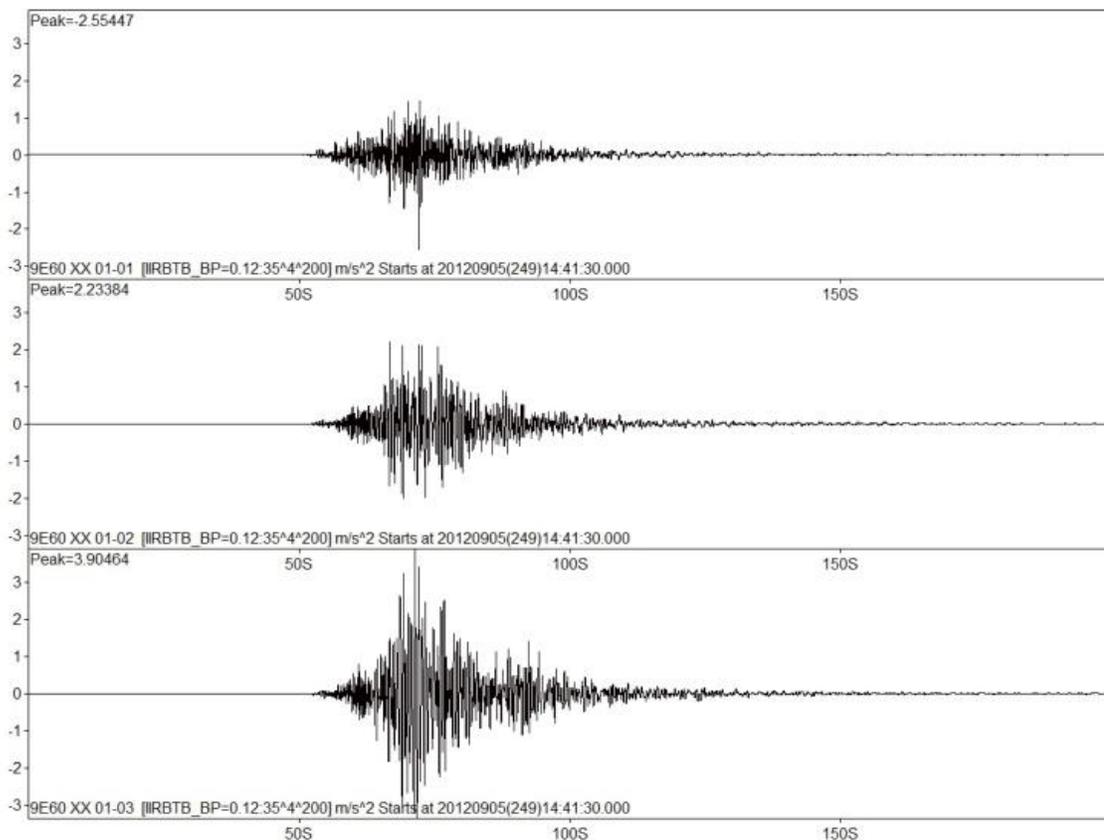


Figura 6.2. Registro acelerográfico de tres componentes en la cresta de la presa Sandillal, durante el terremoto del 5 de setiembre del 2012.



7. TRANSFERENCIA DE ESFUERZOS DE COULOMB

Allan López

Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Universidad de Costa Rica

Se ha efectuado un modelado con la información disponible sobre la redistribución de los esfuerzos tectónicos asociados con el evento principal, implementando la definición que en su forma más simple indica que el cambio en el esfuerzo de falla de Coulomb (CFS) (Okada, 1992) $\Delta\sigma_f$ (también denominado ΔCFS o ΔCFF en la literatura) es:

$$\Delta\sigma_f = \Delta\tau + \mu(\Delta\sigma_n + \Delta P)$$

Donde $\Delta\tau$ es el cambio en el esfuerzo de cizalla que actúa en la falla (positivo en la dirección de su deslizamiento) $\Delta\sigma_n$ es el cambio en el esfuerzo normal a ella, ΔP es el cambio que se da en la presión de poro en la zona de falla (positivo en compresión) y μ , el coeficiente de fricción que varía entre 0 y 1. El desplazamiento tectónico y consiguiente aumento en la amenaza sísmica es inducido si $\Delta\sigma_f$ es positivo e inhibido, cuando es negativo. Tanto el aumento en la cizalla como la liberación del esfuerzo normal promueven la activación de las fallas. La tendencia de ΔP a oponerse al $\Delta\sigma_n$ se incorpora a menudo en la ecuación citada como un coeficiente de fricción efectiva reducido, μ' . Para el modelaje del CFS el módulo de cizalla utilizado es $G=3,2 \times 10^5$ bares, el de Young $E=8 \times 10^5$ bares, la relación de Poisson $PR=0,25$ y el coeficiente de fricción $\mu=0,4$. Este último se considera representativo para las fallas inversas en ambientes de subducción y la inversión de los planos nodales también lo confirmó.

El tensor reducido de esfuerzos calculado de estos, se obtuvo de la inversión de una población de mecanismos focales cedidos por Heather DeShon (comunicación personal) y es muy similar a los determinados con soluciones focales de la RSN, tanto local como para toda la parte noroeste de Costa Rica, así como de otros reportados en la literatura científica y los de CMT y el USGS. Sus propiedades se muestran en el Cuadro 7.1., en el cual R (0 a 1) es el factor de forma del elipsoide de esfuerzos ($R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_2 - \sigma_3}$), estable en este caso; $QWSM=A$ es el índice de calidad del Mapa Mundial de Esfuerzos (WSM) que varía de A a E; N orig es el número original de planos nodales usados y SH_{max} la proyección de la dirección a la horizontal del esfuerzo horizontal máximo, σ_1 en este caso. Este valor es paralelo a la dirección de convergencia de la placa del Coco que controla el campo regional, con variaciones locales que se traducen en comportamientos de segundo y tercer orden (López, 1999; 2012).



Cuadro 7.1. Parámetros del tensor de esfuerzos Nicoya HsSh

σ_1	σ_2	σ_3	R	QWSM	N Orig	N final	SHmax
216/16	307/00	39/73	0.41	A	105	63	038

El cálculo del efecto del CFS en las denominadas fallas específicas, en este caso el plano nodal responsable del desplazamiento ($307^\circ/21^\circ/93^\circ$), se efectúa aplicando la fórmula antes descrita y se presenta en la Figura 7.1., en la cual los lóbulos amarillo-rojos representan los volúmenes litosféricos hacia donde migraron los esfuerzos y hay ahora un exceso, mientras que los celeste-azules indican lo contrario.

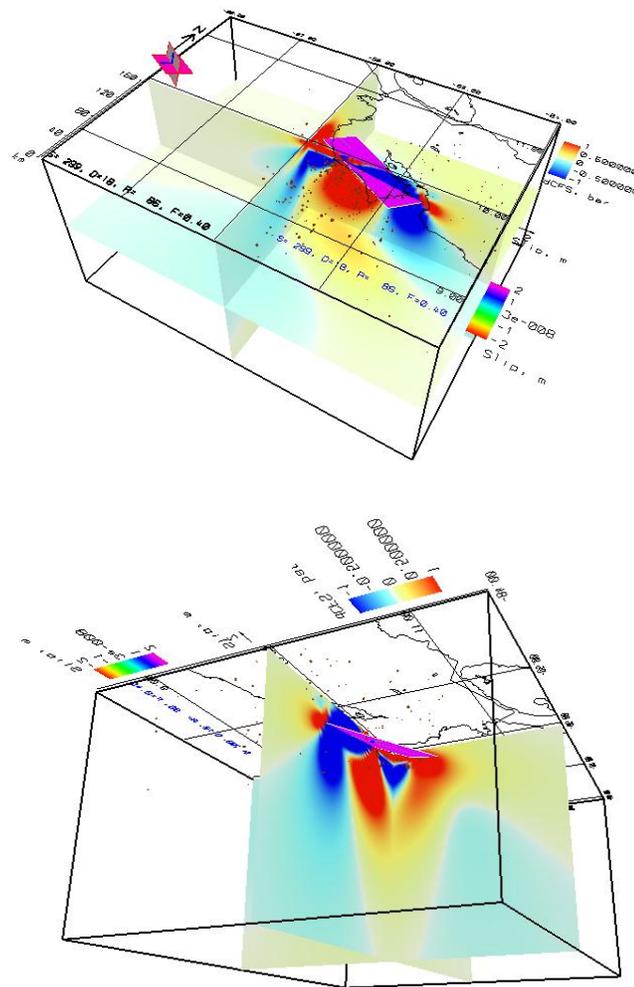


Figura 7.1. Vista en 3D de las dimensiones reales de la falla responsable del terremoto (plano rectangular morado) y la distribución en dos planos ortogonales de la transferencia de esfuerzos. Los puntos corresponden a la distribución de las réplicas.



Para el caso de las fallas óptimas, o sea aquellas que maximizan el efecto del CFS por tener la mejor geometría y disposición espacial más susceptible a la reactivación respecto al campo de esfuerzos local y regional, se requiere el conocimiento detallado de los parámetros y propiedades de ambos.

Así en la Figura 7.2. se presenta el mapa de CFS para las fallas normales óptimas en el intervalo de los 0 a los 40 km de profundidad con dos perfiles paralelos entre sí (1 y 2) y ubicados perpendicularmente al plano nodal y a la zona de subducción, y los 3 y 4 a lo largo del rumbo casi en los bordes noreste y suroeste del ancho de la estructura en donde se concentran muchas réplicas. Las fallas óptimas inversas y de rumbo muestran respectivamente menos asociación de volúmenes positivos conteniendo réplicas, lo que se interpreta como una importante relajación tectónica posterior acompañada de nuevos eventos compresivos similares al principal pero con menor magnitud, como lo atestigua por ejemplo el sismo M_w 5,4 del 8 de setiembre. Las primeras dos secciones con vista hacia el noroeste contienen los eventos presentes en una franja de 5 km a cada lado, confirmando la muy alta correlación entre las ubicaciones hipocentrales y lo planteado por la teoría y por lo tanto la robustez de los datos de la RSN, muy en especial la ubicación espacial del Terremoto de Sámara. Similar comportamiento se define en los perfiles 3 y 4, en donde también la gran mayoría de las réplicas se concentra en una franja de aproximadamente 6 a 7 km dentro del techo y piso de la falla. El mapa con las ubicaciones para el intervalo analizado delimita fina y certeramente el mismo comportamiento. Una relocalización más fina o una franja más estrecha podría aumentar más la correlación, aunque ya de por sí constituye un caso excepcionalmente positivo en la experiencia mundial reportada.

Se utilizó una escala de hasta de 1 bar (0,01 Mpa) para resaltar en todas las vistas los resultados citados, pero con hasta 10 bar (1 Mpa) se manifiesta idéntico comportamiento, pues la escala está saturada dada la alta carga de esfuerzo liberado. Este modelado no contradice lo expuesto en este mismo informe sobre la reactivación detectada en otras regiones del sector suroeste de la placa Caribe en el territorio nacional como en los casos de El Guarco y Calero, que se atribuyen con justificación genética sismotectónica al terremoto. En principio pareciera no se asocian a los patrones de transferencia de esfuerzos, sin embargo todavía se está en el proceso de analizar la interacción con otras fallas regionales, pues su geometría controla vitalmente dicha concatenación y el esfuerzo que recibe una de estas estructuras puede convertirse en el disparador para otras vecinas y así sucesivamente.

En resumen, la distribución espacial de la gran mayoría de las réplicas se ajusta muy bien a lo planteado por la teoría de los cambios de los esfuerzos de Coulomb y es un elemento importante que delimita y confirma los volúmenes con mayor amenaza sísmica.

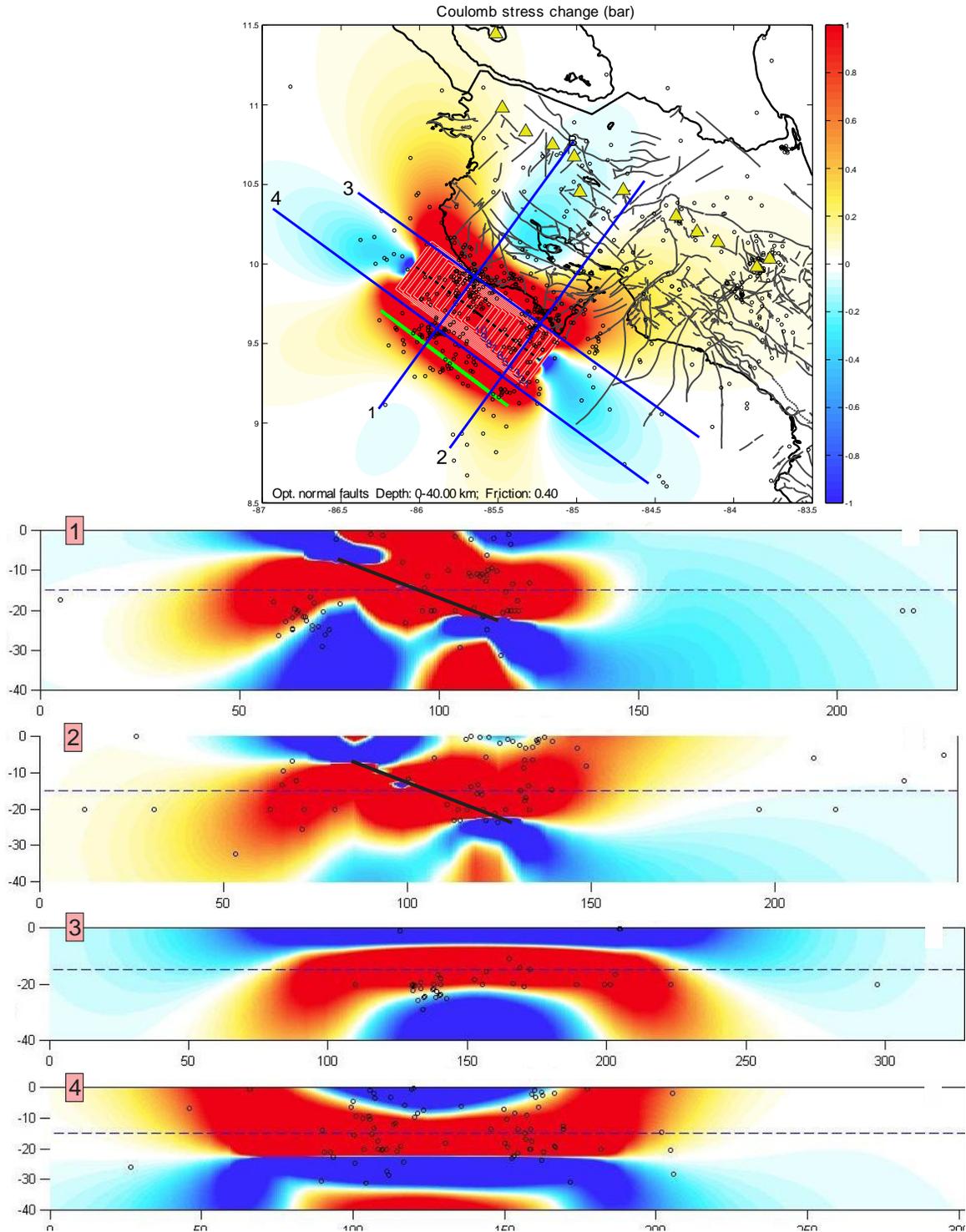


Figura 7.2. Mapa CFS del Terremoto de Sámara con la distribución de la transferencia de esfuerzos para el caso de las fallas normales óptimas. Los perfiles 1 y 2 miran hacia el noroeste y los 3 y 4 al NE. La línea a trazos indica la profundidad del Terremoto de Sámara y la negra inclinada es el plano de la falla. Note la alta correlación de las réplicas localizadas por la RSN con los lóbulos donde se transfirieron los esfuerzos tectónicos.



7.1. Referencias

- López, A., 1999: Neo-and paleostress partitioning in the SW corner of the Caribbean Plate and its fault reactivation potential. – Tesis doctoral, Tubinga, Alemania, Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, band 53.
- López, A., 2012: Andersonian and Coulomb stresses in central Costa Rica and its fault slip tendency potential: new insights into their associated seismic hazard. - Geol. Soc of London. Spec. Publications 367: 19-38.
- Okada, Y. 1992: Internal deformation due to shear and tensile faults in half space. - Bull. Seism. Soc. Am. 82: 1018-1040.



8. INTERPRETACIÓN PRELIMINAR DE LA ZONA DE RUPTURA Y DIRECTIVIDAD DE LA ENERGÍA

Wilfredo Rojas

Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

Los mecanismos focales del USGS, Harvard y otros indican un fallamiento inverso puro buzando al noreste (ver página 8), coincidiendo perfectamente con el proceso de subducción en esa zona sísmica. La zona sísmica interplaca de Nicoya comprende una área aproximada de unos 5400 km² (Fernández & Rojas, 2000; Montero et al., 2004; Climent et al., 2008).

La ruptura del terremoto del 5 de setiembre 2012 parece estar limitada por dos bordes laterales en dirección noreste, que sirvieron como límites o rampas laterales durante el proceso del desplazamiento en la zona sismogénica interplacas. El borde noroeste se ubica bajo la zona de punta Guiones y el borde sureste bajo la zona de Arío.

La zona de ruptura tendría un largo aproximado de 55 km entre punta Guiones y Arío. El ancho en profundidad se extendería por unos 40 km, hasta debajo de la zona de Cerro Azul de Nandayure y Juan de León de Jicaral. De esto se estima un área de ruptura total de aproximadamente 2200 km², lo que equivale aproximadamente a un 40% del área sísmica. El deslizamiento calculado a lo largo del plano de falla es de 2,16 m. La energía total liberada sería de $1,58 \times 10^{23}$ ergios, que equivale a una potencia de 3,16 megatonnes, o sea 158 bombas atómicas similares a la detonada en Hiroshima en 1945.

Hacia el centro de la ruptura no se observa sismicidad, dado que corresponde al área de la zona donde se liberaron los esfuerzos. Hacia el límite noreste del plano de ruptura (bajo Juan de León de Jicaral) prácticamente no se registró sismicidad inmediata durante las primeras 24 horas. Esto es de esperar, dado que es la zona del límite inferior de la zona sismogénica, entre unos 30 a 40 km de profundidad, que podría encontrarse en un régimen condicionalmente estable.

Se efectuó una gira de inspección a la zona mesosísmica en compañía de los colegas Walter Montero y Percy Denyer (5, 6 y 7 de setiembre), observándose levantamientos costeros de aproximadamente 45 cm en Puerto Carrillo (coordenadas Lambert N 373 730 - 205 465) y de 75 cm en la costa de Playa Pelada (coordenadas Lambert N 352 705 - 215 530). Se determinó que la intensidad máxima en la escala Mercalli Modificada, en la zona costera entre Puerto Carrillo de Hojancha y Punta Guiones fue de VII, así como en la ciudad de Nicoya. En algunas playas con saturación de agua superficial, como en Carrillo, Guiones, Nosara y Ostional, se observaron asentamientos diferenciales y licuefacción (Figura 8.1.).



Figura 8.1. Izq.: Asentamientos diferenciales en arenas saturadas, en playa Guiones. Der.: Volcancito de arena por licuefacción en playa Ostional.

Se dio un patrón de radiación preferencial de las ondas P y S dirigidas hacia el noreste, afectando localmente los terrenos con problemas de consolidación o menos rígidos, entre Miramar y Sarchí. Mediante una gira de inspección efectuada el 8 de setiembre del 2012 a la zona de Sarchí y Naranjo se observó el efecto de las ondas sísmicas, que por factores de amplificación, propició agrietamientos y deslizamientos en suelos poco consolidados, conformados por depósitos laháricos y secuencias de arcillas y limos, además de problemas en la calidad de las construcciones (ver detalles en el Capítulo 16).

8.1. Referencias

- Climent, A., Rojas, W., Alvarado G.E. & Benito, B., 2008: Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica. - Informe de la RSN auspiciado por Proyecto RESIS II, mayo 2008, 130 págs.
- Fernández, M. & Rojas, W., 2000: Amenaza sísmica y por tsunamis. – En: Denyer, P. & Kussmaul, S. (eds.): Geología de Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica: 287-301.
- Montero, W., Rojas, W., Schmidt, V., Hidalgo, P. & Moya, C., 2004: Estudio de amenaza sísmica de Costa Rica y respuesta del suelo para las diez ciudades con mayor índice de población del país. - Informe técnico final, Proyecto FUNDEVI (UCR) No. 1515-01 para el Instituto Nacional de Seguros (INS). Dic. 2004, 178 págs.



9. DETERMINACIÓN GEODÉSICA DE LA AFECTACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

José Francisco Valverde

Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

La alta precisión de las observaciones geodésicas recientes ha permitido la determinación de las variaciones en el nivel del mar, deformaciones de la corteza, movimientos de las placas tectónicas, variaciones en las alturas de las capas de hielo, variaciones en la rotación terrestre y otros fenómenos geodinámicos con detalles de exactitud sin precedentes [véase por ejemplo el ciber sitio <http://geodesy.geology.ohio-state.edu/>].

Para la determinación o cuantificación de las deformaciones de la corteza, ya sean producidos por el movimiento de las placas tectónicas, deslizamientos locales o eventos sísmicos, los métodos clásicos que implicaban la medición de direcciones, ángulos y distancias han sido reemplazados por los métodos satelitales de posicionamiento, siendo el más común y conocido el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por su acrónimo en inglés).

Comúnmente en los trabajos geodésicos se establecen estructuras de apoyo llamadas "redes geodésicas", las cuales están conformadas por un conjunto de monumentos, sobre los cuales se han realizado mediciones con equipo GPS y a los cuales se les ha dado una posición que está referida a algún marco geodésico de referencia, siendo hoy en día aceptado y utilizado por la comunidad geodésica global el Marco de Referencia Terrestre Internacional o ITRF (por su sigla en inglés). Sin embargo, dado el desarrollo en el ámbito tecnológico y en las telecomunicaciones, es muy común encontrar en la actualidad equipo GPS que está trabajando de forma permanente, recibiendo estos equipos el nombre de estaciones GPS de operación continua (la estación será GNSS si el receptor puede trabajar simultáneamente con varias de las constelaciones disponibles).

La ventaja que ofrecen las estaciones de medición continua es que, al estar trabajando de forma permanente, registran cualquier variación que sufra el monumento sobre el cual está colocada la antena receptora. De esta forma, se puede cuantificar cualquier cambio en la posición de la estación y en caso de que haya un evento de importancia, como por ejemplo un sismo de magnitud importante, correlacionar el cambio con información de otra índole, como estaciones sísmicas o acelerómetros.

Para el caso del evento del 5 de setiembre del 2012 se realizó un cálculo preliminar que permite cuantificar los efectos del evento sobre la corteza terrestre. El procedimiento y los resultados se describen a continuación.



En Nicoya, al costado oeste del parque de la ciudad, hay una sucursal del Banco de Costa Rica donde se encuentra instalada una estación GNSS de medición continua, la cual registra datos cada 1 s. De esta forma, con base en los datos recolectados, se procedió a determinar de forma preliminar el cambio en la posición de la antena, con base en la comparación de la posición de la estación antes y después del evento.

Para este fin, se generó un archivo con una tasa de registro de 15 s, ya que el interés es la comparación entre la posición antes y después del terremoto. Luego, se tomaron los archivos y se enviaron a la aplicación CSRS del Centro de Recursos Naturales de Canadá, que procesa los datos en la modalidad PPP (Posicionamiento de Punto Preciso). Tras efectuar esto, se comparan las coordenadas de ambas soluciones, las cuales previamente han sido convertidas a coordenadas de cuadrícula referidas a la proyección CRTM05. En el Cuadro 9.1. se muestran los resultados de esta comparación.

Cuadro 9.1. Variación preliminar de la posición de la estación NICY en Nicoya.

Estacion NICY, Nicoya		
Coordenadas en CRTM05		
Calculadas con efemérides precisas		
N (m)	1121856,565	Datos de 0h a las 8h del 05-09-12
E (m)	340593,721	
h (m)	151,477	
N (m)	1121856,335	Datos de 9h a las 18h del 05-09-12
E (m)	340593,596	
h (m)	151,620	
ΔN (cm)	-23,0	Diferencias
ΔE (cm)	-12,6	
Δh (cm)	14,3	
Vector diferencia		
Magnitud (cm)	26,2	
Azimut (°)	209	

Se hace la observación de que la magnitud del vector diferencia corresponde con el vector desplazamiento horizontal. Para corroborar este resultado se procedió a realizar otro cálculo. Este consistió en tomar el archivo con los datos de 8:30 a.m. a 9:00 a.m. del día del evento, con una tasa de registro de 1 s y enviarlo de nuevo al programa CSRS, variando el método de



procesamiento, que en este caso es cinemático. De esta forma, el programa calculará una posición cada segundo. Los resultados se muestran en la Figura 9.1.

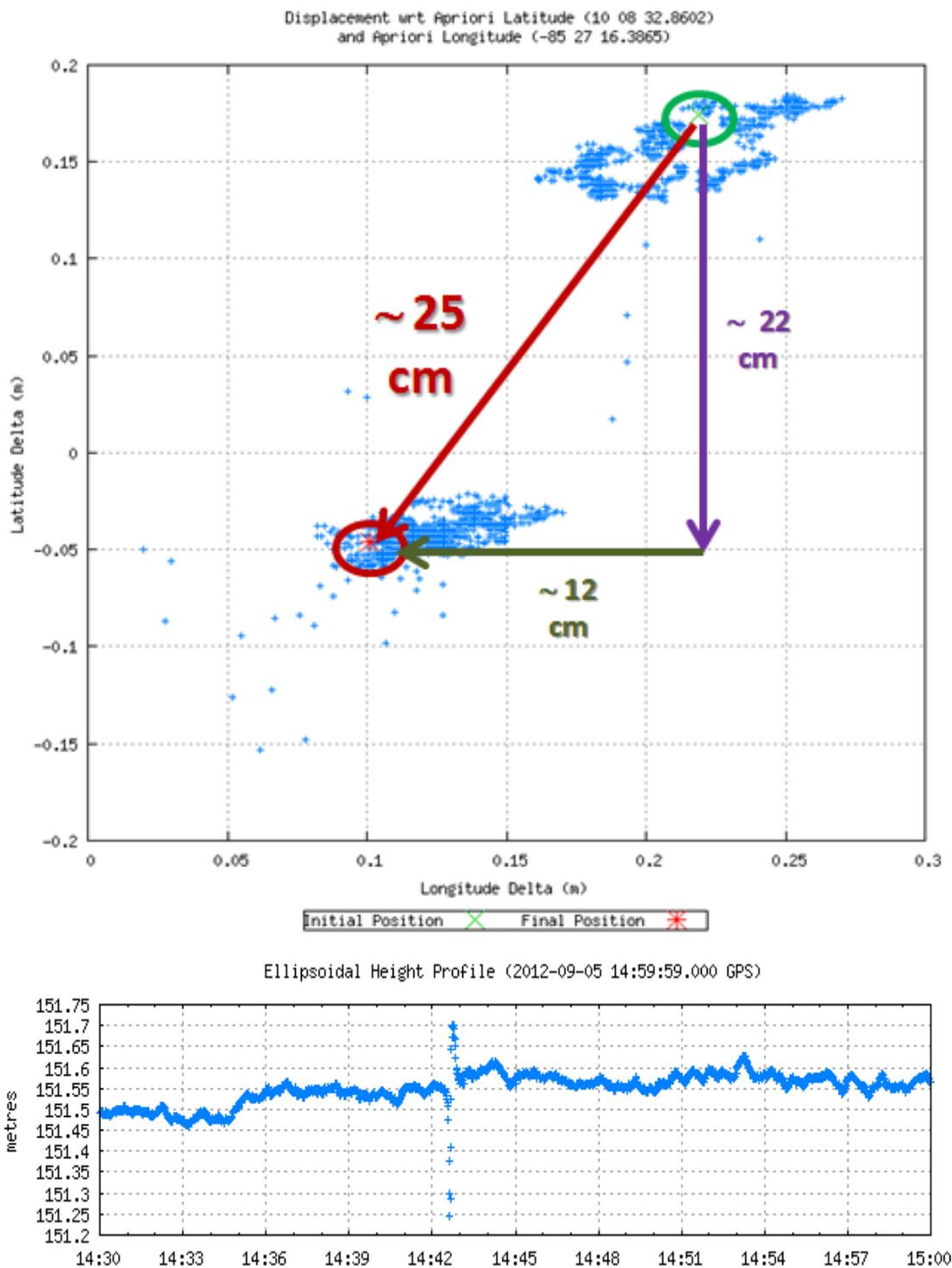


Figura 9.1. Arriba, el vector de desplazamiento horizontal, abajo el vector de desplazamiento vertical.



Como se puede analizar tras comparar los resultados de ambos procesamientos, los resultados en ambos casos son idénticos. Sin embargo, se toman estos resultados como preliminares, por los errores en la estimación de cada posición, los cuales rondan los ± 5 cm, siendo necesario refinar el cálculo.

Por ello y para cuantificar los desplazamientos "finales", se han realizado mediciones sobre un conjunto de vértices geodésicos de la red oficial de primer y segundo orden del país (Figura 9.2.), a los cuales se les dará un nuevo juego de coordenadas.



Figura 9.2. Medición realizada sobre los algunos de los vértices pasivos de la red geodésica oficial de Costa Rica. A la izquierda en el punto Tamarindo 2, y a la derecha en el punto SAC3.

Realizando el cálculo para las observaciones disponibles del 2011 y 2012, se pueden comparar ambas soluciones, lo que dará como resultado un panorama global del cambio en la península de Nicoya. En la Figura 9.3. se muestra la red que se ajustará para el año 2011 y para el año 2012. En estas figuras, lo mostrado como “Activa_CR05” son las estaciones GNSS de medición continua, que definen el datum geodésico oficial de Costa Rica, “Activa_UNAVCO” son las estaciones GPS de medición continua, administradas por UNAVCO, y “Pasiva_CR05” son las estaciones de la red de primer y segundo orden, definidas por mojones colocados en campo, que no miden de forma permanente.

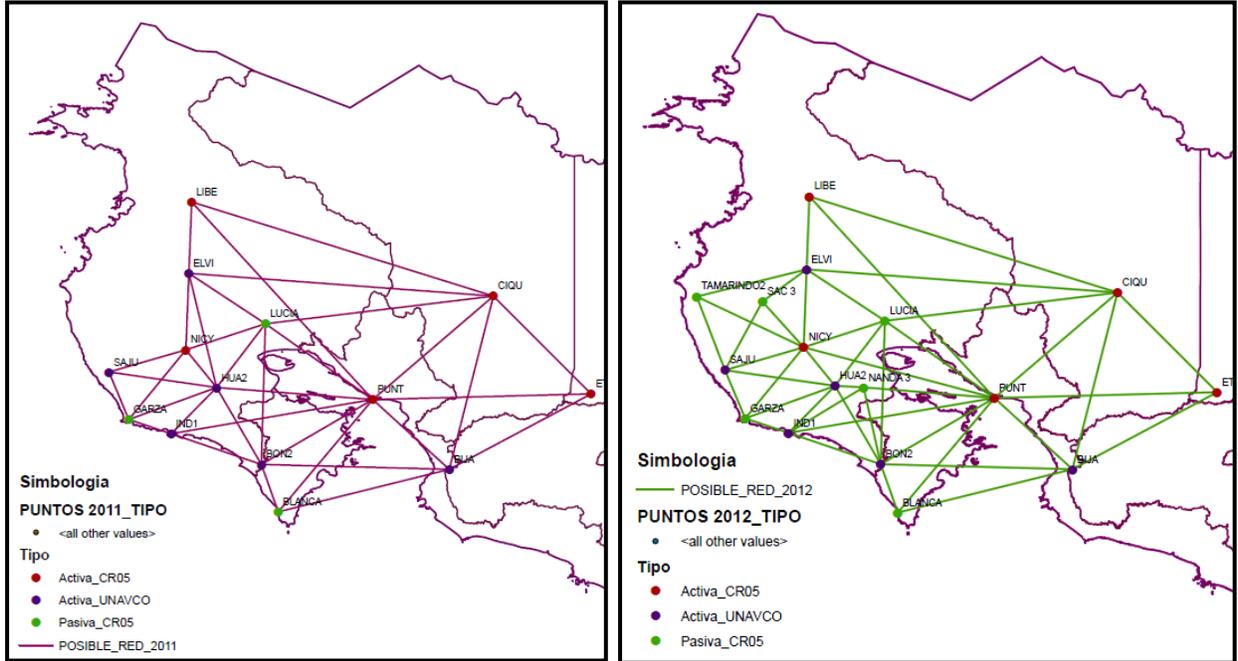


Figura 9.3. Redes geodésicas para los años 2011 (izquierda) y 2012 (derecha).



10. DEFORMACIÓN COSÍMICA Y POSIBLE GENERACIÓN DE TSUNAMIS

Natalia Zamora

GeoForschungsZentrum GFZ (German Research Center for Geoscience), Potsdam,
Alemania

Los tsunamis se generan por un desplazamiento de la columna de agua en el mar o en lagos. Este desplazamiento puede ser generado por terremotos, deslizamientos subaéreos o submarinos, erupciones volcánicas o por el impacto de un meteorito (Kanamori, 1972). La propagación de las olas y el arribo a la costa puede tomar minutos u horas dependiendo de la distancia entre la costa y el origen del desplazamiento. América Central es una región expuesta a tsunamis generados por fuentes sísmicas locales, regionales y lejanas como se refleja en los registros históricos (Fernández et al., 2000).

Uno de los tsunamis más estudiados en las últimas décadas es el evento ocurrido en Nicaragua en 1992. Este evento tuvo una magnitud M_w 7,6 y generó un tsunami de 10 m (Kanamori & Kikuchi, 1993). Pese a los avances e investigaciones, aún existe incertidumbre sobre la amenaza de tsunamis en diferentes zonas de subducción incluyendo la zona a lo largo de América Central, esto debido a la complejidad y variedad de eventos tsunamigénicos. Asimismo, existe mucha incertidumbre en el tema de alertas tempranas de tsunamis como se pudo percibir con el evento del 5 de setiembre. Los institutos responsables como el Centro de Alertas de Tsunamis del Pacífico (PTWC, acrónimo inglés) utilizan los datos de centros sismológicos para poder simular la posible propagación de un tsunami y realizan la evaluación del potencial de tsunami tomando en cuenta tres fases: (1) simulación de la fuente, (2) propagación en el mar o lagos (3) arribo e inundación de la costa (cálculo de *run up*).

El tema de alertas tempranas de tsunamis depende del tiempo de publicación de la localización y características del sismo (mecanismo focal). Por ejemplo, de acuerdo con el Sistema de Alerta Global de la Comisión Europea, el primer dato del sismo del 5 de setiembre se obtuvo 7 minutos después del evento con una M_w 7,5 según datos del GEOFON. Posteriormente, 12 minutos después del evento, se publicaron datos del NEIC que describían un sismo de magnitud M_w 7,9. Esto provocó una alerta roja ya que se estimaba una altura de ola de 3,2 m. Más tarde, 29 minutos después del evento, la revisión de esta información con nuevos datos publicados resultó en una simulación de una ola máxima de 0,6 m y se dio una alerta anaranjada (www.gdacs.org). Con el tiempo, estas simulaciones fueron actualizadas y al transcurrir varias horas, y revisión de mareógrafos en el Pacífico, el PTWC canceló la alerta como oficialmente le corresponde.



Al ser modelos automáticos, aún no se cuenta con el método idóneo y solo pocos sistemas como el *German-Indonesian Tsunami EarlyWarningSystem* (GITEWS) han instalado sistemas automáticos basados, entre otros, en la inversión de datos de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, acrónimo en inglés) existentes tanto en tierra como sistemas instalados en mareógrafos, que han demostrado ser métodos rápidos y también confiables para la obtención de la deformación cosísmica. Por lo anterior, es importante reconocer la importancia del trabajo conjunto entre la sismología, geodesia y otras disciplinas, en el estudio de tsunamis.

Con base en los datos del evento principal del 5 de setiembre (M_w 7,6) se han generado varios modelos de deformación cosísmica y simulaciones hidrodinámicas para calcular la propagación de la columna de agua. Estos escenarios podrán ser refinados con nuevos modelos sísmicos o geodésicos. Desafortunadamente no se tienen registros de mareógrafos para poder comparar los datos con los resultados de mareógrafos sintéticos y se cuenta solo con informaciones de pobladores que mencionan sobre la inundación ocurrida en sus casas en una zona del Pacífico Central (información que debe ser corroborada).

Se ha utilizado el código numérico *EasyWave* (A. Babeyko) que reproduce la deformación cosísmica y la propagación de agua esperada de acuerdo con las características del sismo. En el Cuadro 10.1. se muestran los datos de entrada utilizando varios escenarios con hipocentros y diferentes mecanismos focales obtenidos por USGS *CentroidMomentSolution* y el *FiniteFaultModel* (FFM, G. Hayes, USGS).

Los puntos verdes en las Figuras 10.1-3. corresponden con mediciones de levantamiento de la costa en playa Pelada y playa Carrillo (W. Rojas, comunicación personal) y con los cuales se puede comparar el modelo de dislocación elástica que reproduce la deformación cosísmica según Okada (1985). Los modelos presentados concuerdan con el levantamiento observado, sin embargo, más datos sobre el área de ruptura serán necesarios validar los modelos.

Los resultados preliminares muestran olas con altura máxima de 0,7 m hasta 1,2 m en la zona de Garza y alrededores (Figuras 10.1b-3b.), que de haber ocurrido pudieron haber sido contrarrestadas por el levantamiento de la costa y así no causar inundación tierra adentro. Los resultados presentados aquí serán comparados con otros modelos de fallas y corroborados con el código numérico *HyFlux2*, que permite una mejor solución del proceso de propagación en aguas someras.



Cuadro 10.1. Características del sismo utilizadas como datos de entrada en modelo de propagación de tsunamis *EasyWave*.

Id	Hipocentro			Mecanismo focal				Área de falla (km ²)		Deformación cosísmica máxima (m) según modelo de Okada
	Modelo	Lon W	Lat N	Prof (km)	Rumbo	Buzamiento	Rake	Deslizamiento de falla (m)	Longitud de falla (km)	
RSN	-85,63	9,688	15	307°	21°	93°	1,8	108	45	0,75
NonLinLoc 3D (Arroyo <i>et al.</i> este informe)*	-85,60	9,704	20,4	307°	21°	93°	1,8	108	45	0,7
FFM (G. Hayes)	-85,35	10,11	Se utilizan 225 subfallas				3,0	123	50	0,9

*Mecanismo focal: USGS CentroidMomentSolution.

Con los modelos de falla utilizados se reproduce una deformación co-sísmica entre 0,70 – 0,9 m y un tsunami de 1,0 m. Es importante corroborar este dato con la generación de una nueva grilla que considere la batimetría y topografía deformada reflejando el levantamiento costero que quizás sirvió como amortiguador de un posible tsunami. Estos son datos preliminares, pues una batimetría con una resolución espacial mayor en las zonas someras es requerida para afinar los resultados, ya que en la costa la energía de la ola puede disiparse como se ha validado en modelos numéricos previamente. Asimismo, conforme existan nuevos datos geodésicos y sismológicos, se podrá explicar el desfase entre los modelos hidrodinámicos que de acuerdo con el modelo numérico y las características de falla utilizados en esta fase del estudio, parecen sobreestimar la ocurrencia de tsunami.

Lo anterior confirma que en el tema de alerta temprana de tsunamis se requiere contar con dos datos fundamentales: características del sismo y batimetría de alta resolución en zonas someras. Si bien los institutos que han desarrollado alertas tempranas han avanzado y mejorado los modelos con diferentes soluciones numéricas para obtener la propagación y potencial de inundación, aún se discute cuál podrá ser la manera más eficiente y confiable para obtener la distribución de la deformación sísmica en un tiempo menor a 10 minutos, sobre todo para zonas costeras ubicadas cerca del epicentro. Uno de los modelos que ha integrado diferentes tecnologías fue desarrollado para el GITEWS (Babeyko et al., 2010; Falck et al., 2010). Se ha comprobado que el uso de GPS integrado a sistemas de alerta podría ayudar en la obtención de la deformación cosísmica en menos de 5 minutos.

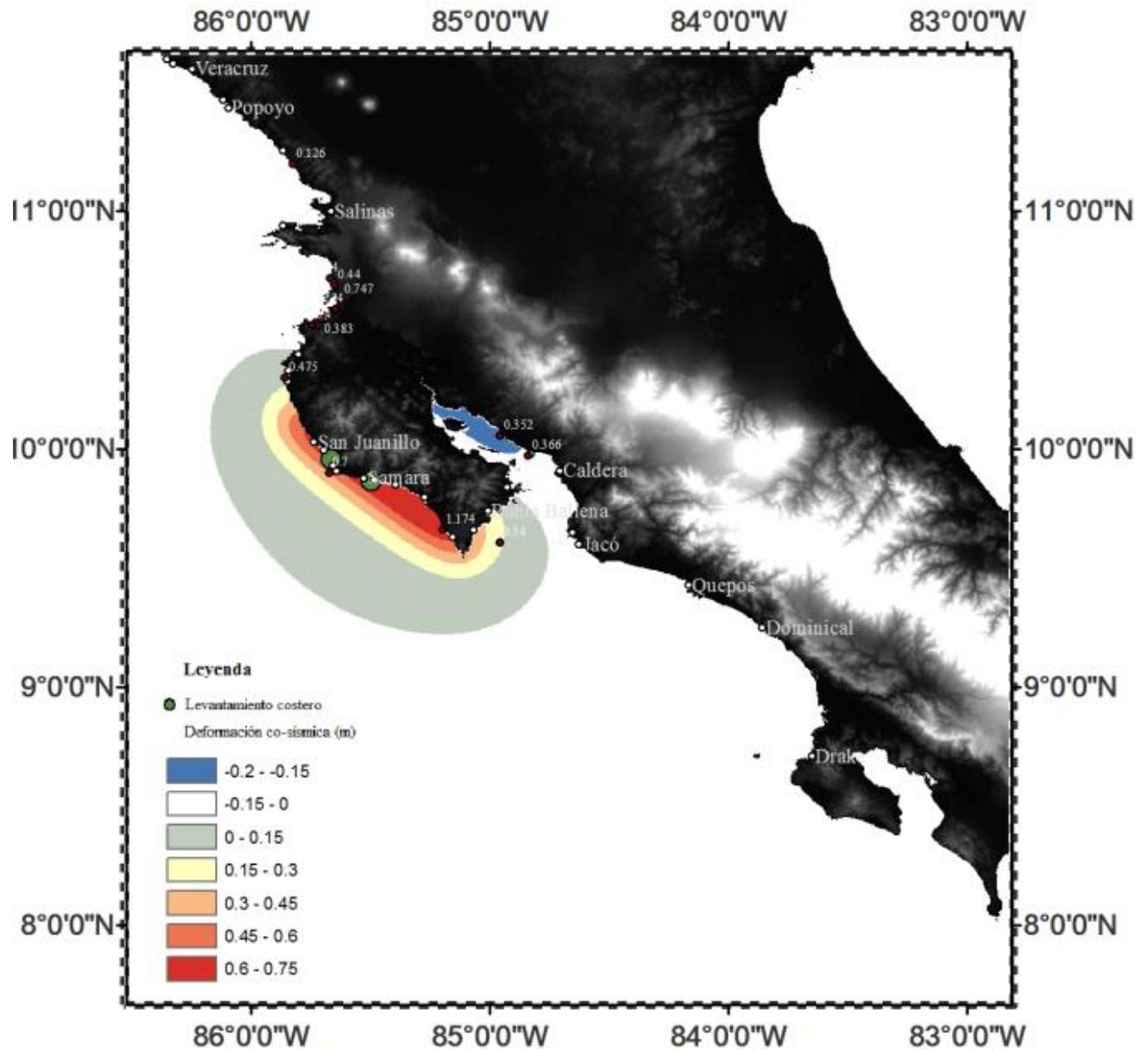


Figura 10.1.a. Deformación cosísmica usando la localización epicentral del modelo 1D de la RSN.

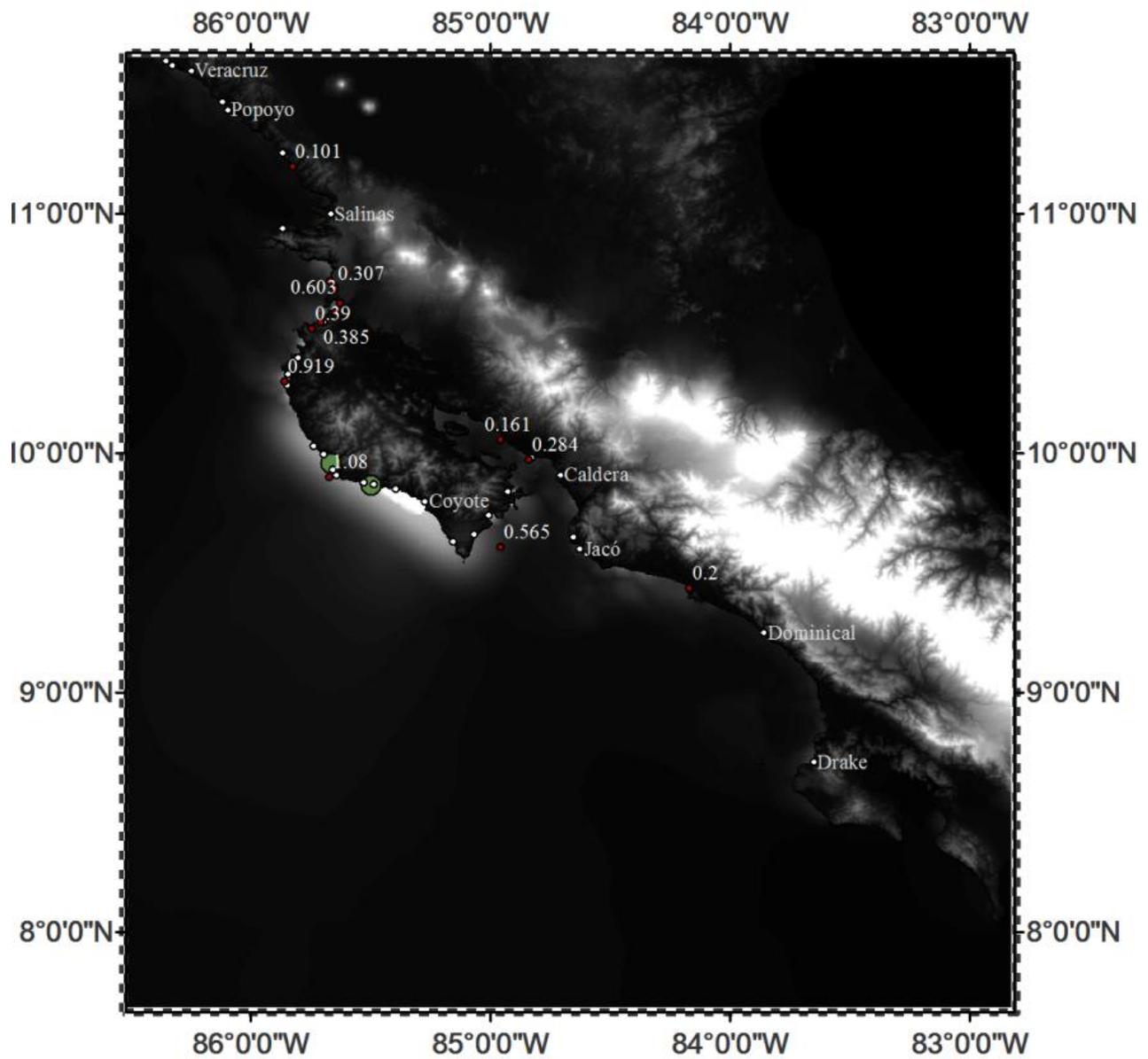


Figura 10.1.b. Propagación de la ola. Los puntos rojos indican alturas máximas de la ola esperadas en ese punto según código *EasyWave* (A. Babeyko). Los puntos verdes indican levantamiento medido en la costa (W. Rojas, comunicación personal).

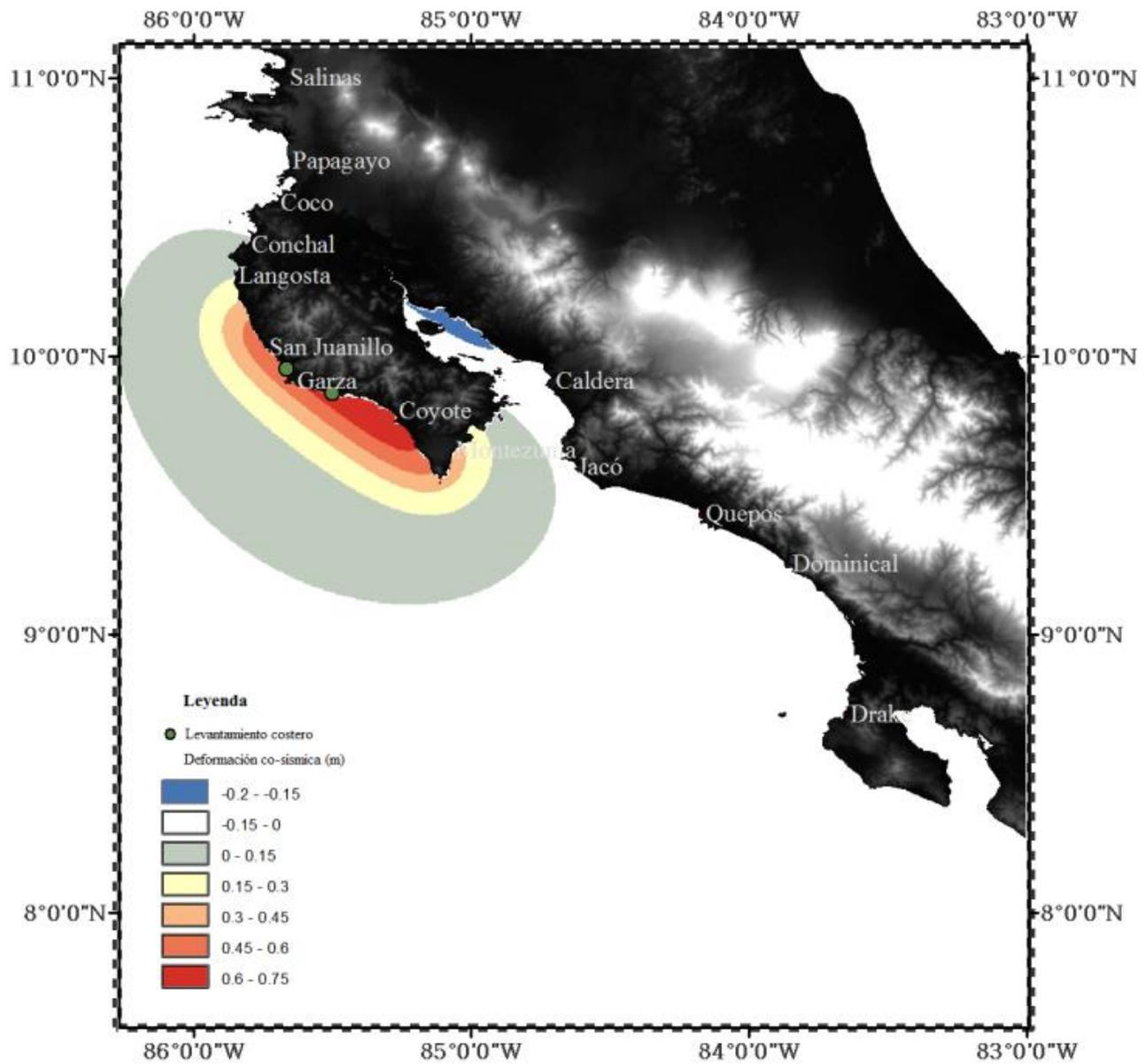


Figura 10.2.a. Deformación cosísmica usando la localización epicentral del modelo 3D.

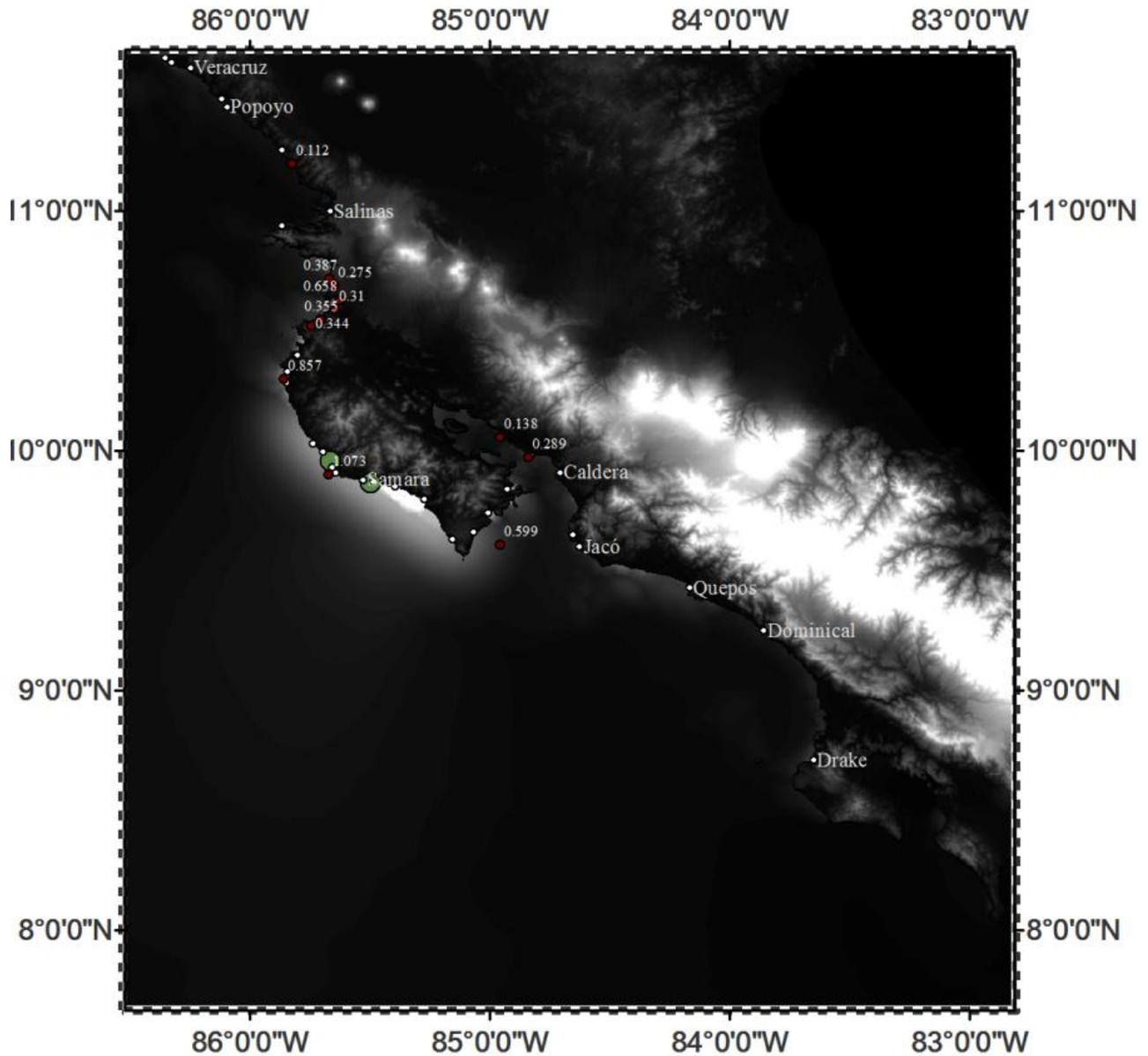


Figura 10.2.b. Propagación de la ola. Los puntos rojos indican alturas máximas de la ola esperadas en ese punto según código *EasyWave* (A. Babeyko). Los puntos verdes indican levantamiento medido en la costa (W. Rojas, comunicación personal).

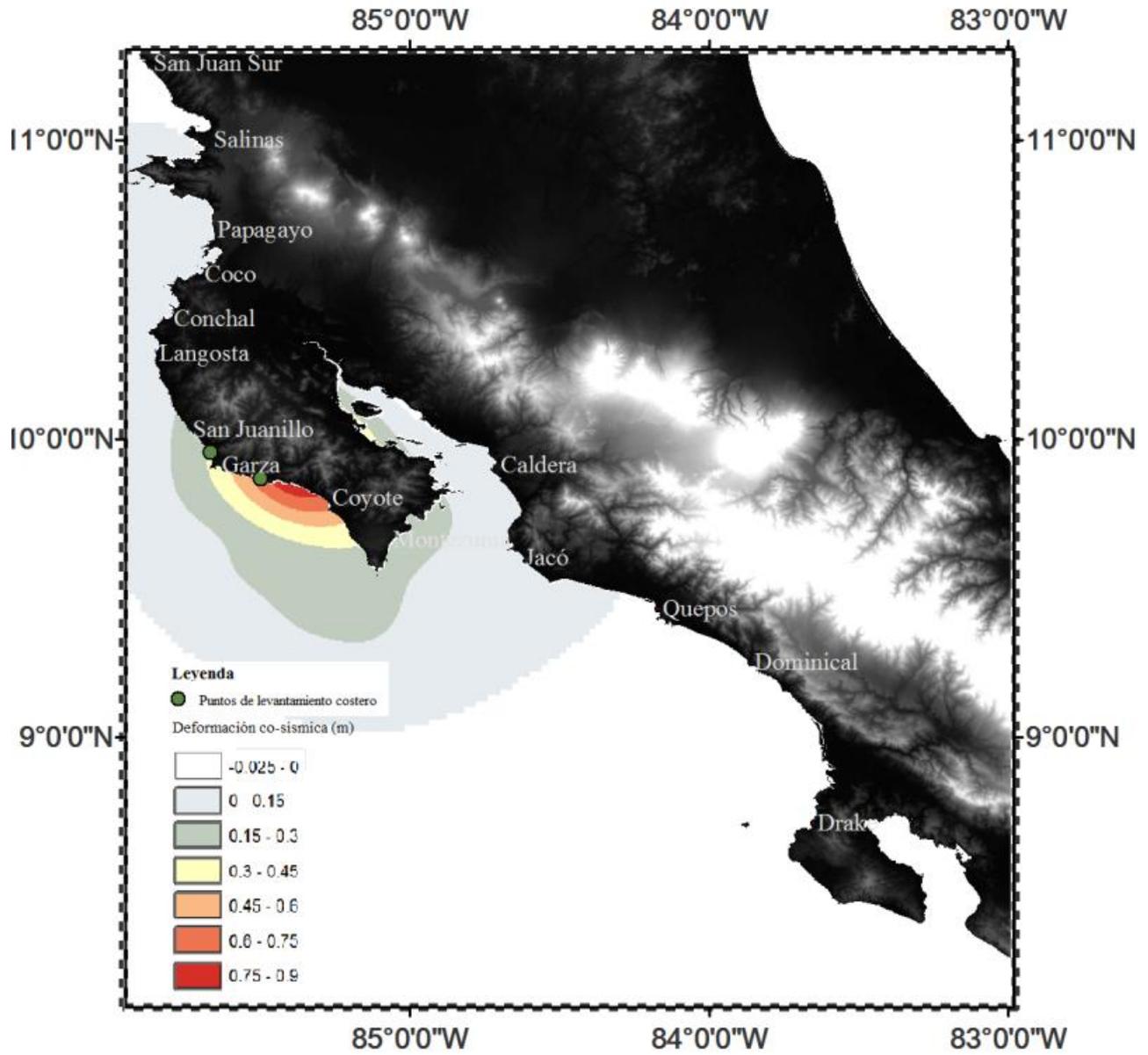


Figura 10.3.a. Deformación cosísmica esperada de acuerdo con los datos del *FiniteFaultModel* (G.Hayes, USGS).

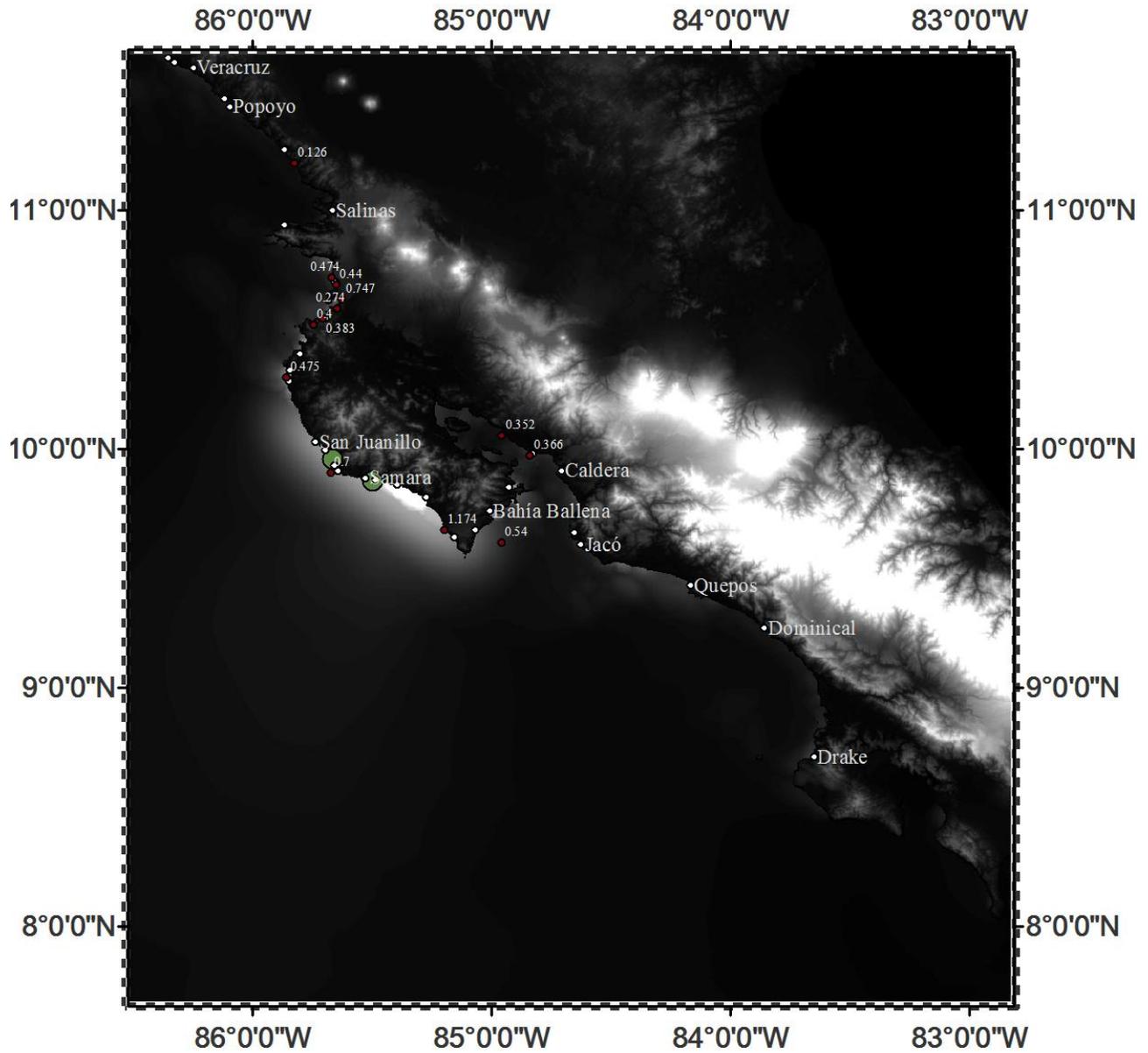


Figura 10.3.b. Propagación de la ola. Los puntos rojos indican alturas máximas de la ola esperadas en ese punto según código EasyWave (A. Babeyko). Los puntos verdes indican levantamiento medido en la costa (W. Rojas, comunicación personal).

10.1. Referencias

Babeyko, A.Y., Hoechner, A. & Sobolev, V., 2010: Source modeling and inversion with near real-time GPS: a GITEWS perspective for Indonesia. - Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10: 1617-1627.



- Falck, C., Ramatschi, C, Subarya, C., Bartsch, M., Merx, A., Hoeberechts, J. & Schmidt, G., 2010: Near-real time GPS applications for tsunami early warning systems. - Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10: 181-189.
- Fernández, M., Molina, E., Havskov, J. & Atakan, K., 2000: Tsunamis and Tsunami Hazards in Central America. - Natural Hazards, 22 (2): 91-116.
- Kanamori, H., 1972: Mechanism of Tsunami earthquakes. - Phys. Earth Planet. Inter., 6: 346–359.
- Kanamori, H. & Kikuchi, M., 1993: The 1992 Nicaragua Earthquake: a slow tsunami earthquake associated with subducted sediments. - Nature, 361: 714-716.
- Okada, Y, 1985: Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. - Bull. Seism. Soc. Amer. 75: 1135-1154.

GDACS, Global Disaster Alert and Coordination System
<http://www.gdacs.org>

USGS *Centroid Moment Solution*

http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2012/usc000cfsd/neic_c000cfsd_cmt

USGS *Finite Fault Model*

http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2012/usc000cfsd/finite_fault.php



TERCERA PARTE
REGISTRO DE RÉPLICAS Y EFECTOS
CAUSADOS POR EL TERREMOTO





11. SISMICIDAD POST-TERREMOTO: 5 DE SETIEMBRE A 5 DE OCTUBRE DEL 2012

Lepolt Linkimer^a, Magda Taylor^a, Cristina Araya^b, Rafael Barquero^b & Ileana Boschini^b

a: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

b: Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica, Instituto Costarricense de Electricidad

Durante el período de un mes después del terremoto del 5 de setiembre al 5 de octubre, la Red Sismológica Nacional localizó 920 sismos (Figura 11.1.). De estos eventos se reportaron como sentidos un total de 92 (Figura 11.2.).

Luego del terremoto de magnitud M_w 7,6, los sismos de mayor tamaño ocurrieron los días 8 y 15 de setiembre, con magnitudes de 5,4 y 5,2, respectivamente y ocurrieron en la zona de ruptura del terremoto del 5 de setiembre. La mayoría de los sismos sentidos ocurrieron en la zona de la península de Nicoya (Cuadro 11.1.). Otras zonas donde se sintieron sismos fueron El Guarco-Desamparados, Tapesco-Zarcero-Atenas, Monteverde-Esparza, norte de Cartago, Zona Norte, Puriscal, San Isidro de Pérez Zeledón y en la zona de la isla Calero, frontera con Nicaragua (Cuadro 11.1.). Detalles de algunas de estas zonas se dan en capítulos ulteriores.

La mayoría de los sismos sentidos (48) fueron originados por el proceso de subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe, principalmente en la zona de la península de Nicoya. El resto de sismos sentidos (44) se relacionan con fallas locales localizadas en el interior de Costa Rica. El Anexo IV contiene el detalle de los sismos reportados como sentidos por la población.

Cuadro 11.1. Regiones con la mayor cantidad de sismos sentidos durante el periodo de un mes después del terremoto.

Zona	Número de sismos
Suroeste península Nicoya - Cóbano	47
Guarco - Desamparados	12
Isla Calero	8
Tapesco, Zarcero	4
Monteverde - Esparza	2
Pacayas, Cartago	8

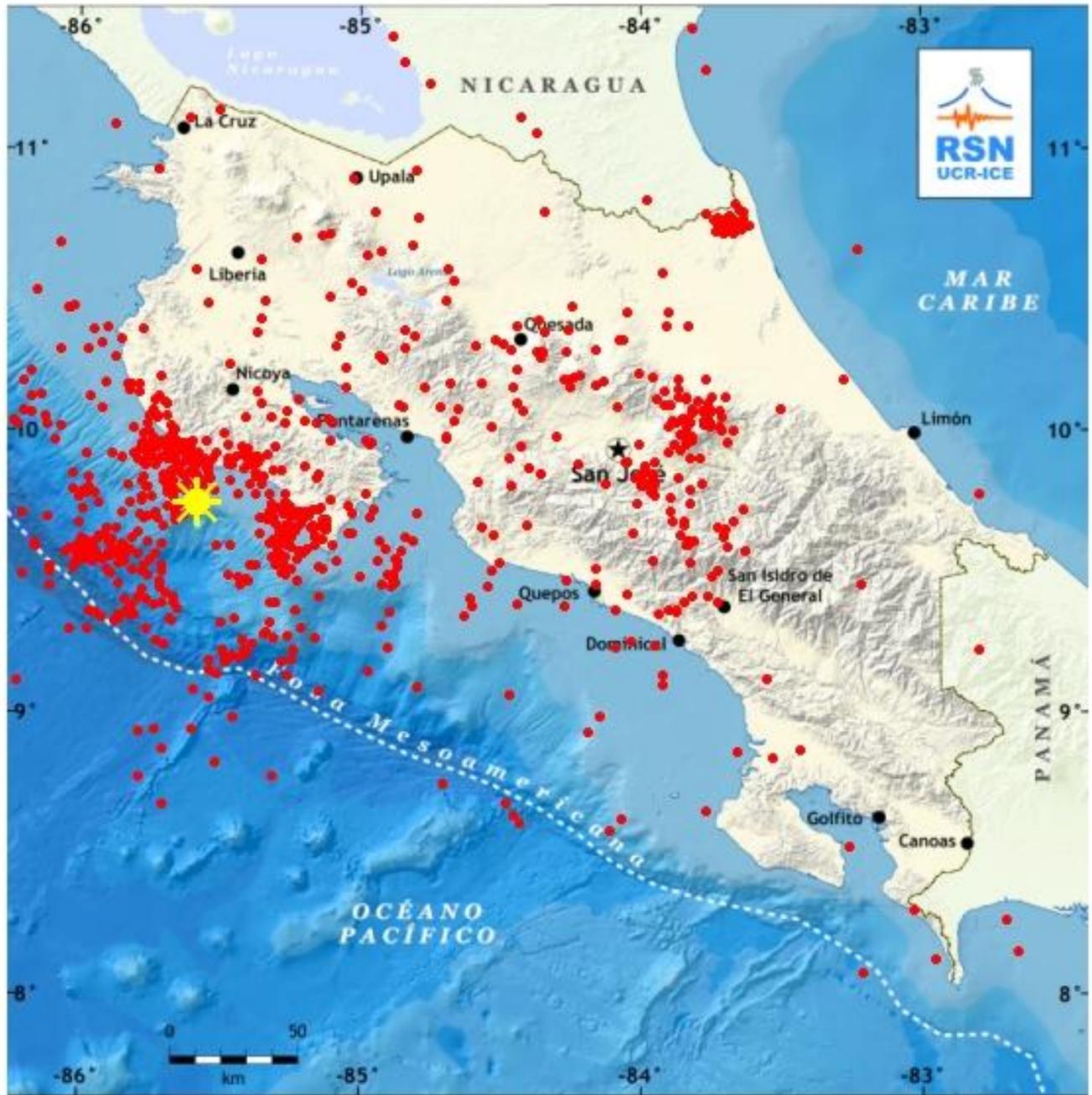


Figura 11.1: Mapa de réplicas y sismos localizados por la Red Sismológica Nacional en el período del 5 de setiembre al 5 de octubre del 2012. La estrella amarilla muestra el epicentro del sismo principal.

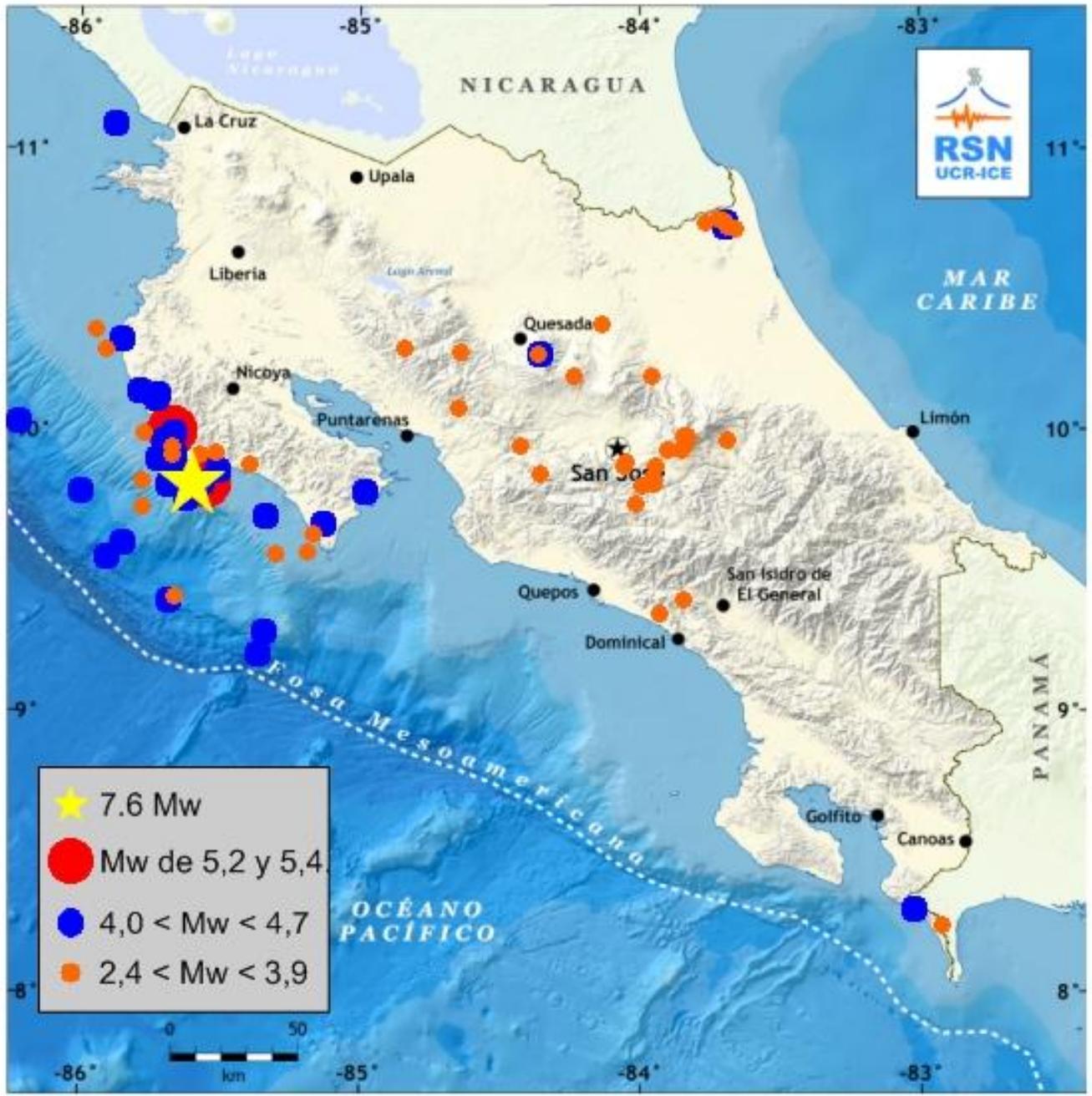


Figura 11.2. Mapa de sismos sentidos durante el período del 5 de setiembre del 2012 al 5 de octubre del 2012.



12. SISMICIDAD INDUCIDA Y OTROS EFECTOS CAUSADOS EN EL ARCO MAGMÁTICO

Mauricio M. Mora^a, Waldo Taylor^b & Gerardo J. Soto^c

a: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

**b: Observatorio Sismológico y Vulcanológico del Arenal y Miravalles (OSIVAM),
Instituto Costarricense de Electricidad**

c: Estudios Sismológicos y Vulcanológicos, Instituto Costarricense de Electricidad

La ocurrencia de grandes terremotos se considera capaz de disparar erupciones volcánicas en cuestión de horas a días en volcanes cercanos (Hill et al., 2002). Estos autores ejemplifican los casos del Terremoto de Kalapana ($M 7,5$) bajo el flanco sur del Kilauea en Hawái en 1975, y la erupción en la cima del volcán media hora después. También la erupción del volcán Cordón del Caulle en el centro de Chile dos días después del enorme Terremoto de Chile de 1960 ($M 9,5$). Aportan una profusa documentación y discusión al respecto, con base en el comportamiento físico y la interrelación terremotos-volcanes.

Se ha comprobado, adicionalmente, un comportamiento de influencia de grandes sacudidas sísmicas en la actividad volcánica en la vecindad de la zona sismogénica chilena en el pasado, restringido a ~500 kilómetros de distancia máxima y con periodos de atraso de hasta 12 meses (ver por ejemplo el trabajo de Watt et al., 2008). Algo similar se observó tras la gran sacudida de Sumatra del 26 de diciembre del 2004, que afectó a un volcán en Alaska (West et al., 2005), a distancias enormes de miles de kilómetros.

En Costa Rica, Casertano et al. (1983) habían hipotetizado que la actividad hidrotermal y freática anómala en el volcán Poás en los años 1981-82, que incluso llevó la temperatura de las fumarolas a 960°C y puso el domo al rojo vivo, fue causado por el movimiento que causara una crisis sísmica en Guanacaste en julio de 1980.

Posteriormente a los sismos de Piedras Negras del 22 de diciembre de 1990 ($M_w 5,8$) y de Limón del 22 de abril de 1991 ($M_w 7,7$), se registró sismicidad inducida en el volcán Irazú (53 km al este-noreste del epicentro del primer sismo y 85 km al noroeste del segundo), que duró al menos hasta el año 1992, y en el que aparecieron además nuevas fumarolas, así como la aparición y sostenimiento de una laguna tibia en el cráter principal (Barquero et al., 1992; Barquero et al., 1995). Alvarado et al. (1992) sugirieron que pudo haber sido una erupción abortada disparada por los temblores, debido a un relajamiento del estrés tectónico, pero no se aportaron mayores datos.



Asimismo, se hipotetizó que la erupción vulcaniana del 8 de mayo de 1991 en el Rincón de la Vieja pudo haber sido disparada por el Terremoto de Limón mencionado (16 días después, 274 km de distancia al noroeste del epicentro: véase Soto et al., 2003).

En el caso de todo el arco magmático de Costa Rica, debe tomarse en cuenta que no solo existe la posibilidad de disparar el incremento de actividad volcánica ya existente o en curso, o erupciones volcánicas, sino también reactivar fallas que cortan los voluminosos edificios volcánicos de las cordilleras de Guanacaste y Central, que sobrepasan en muchos casos los 150 km³ y están cortados por profundas fallas.

En el caso de sismos originados en fallas que cortan el macizo volcánico, serían en segmentos que podrían tener rupturas del orden de 4-12 km de longitud, y que de acuerdo con lo calculado, originarían magnitudes máximas probables de M_w 6,1-6,5. Por comparación, los sismos de Patillos de 1952 (M_w 6,0) y de Cinchona del 2009 (M_w 6,2), ocurrieron en ambientes tectónicos periféricos a volcanes activos masivos y complejos de la Cordillera Volcánica Central (Montero & Alvarado, 1995; Méndez et al., 2009; Montero et al., 2010). Y por supuesto, en la mayoría de los casos de fallas activas en los edificios volcánicos, queda abierta la pregunta de si el estado de estrés tectónico causado por el movimiento del magma en profundidad o en la corteza media-superior, podría influenciar diferenciales de estrés en la vecindad de fallas activas o potencialmente activas.

Todos estos antecedentes han instado a la Red Sismológica Nacional a incrementar su observación a la sismicidad perivolcánica y actividad volcánica posterior al Terremoto de Sámara del 5 de setiembre, con objetivos preventivos y científicos.

12.1. Actividad en los volcanes en Costa Rica previa al sismo

En general, la actividad de los volcanes a principios de setiembre del 2012 en Costa Rica era tranquila (véase el semáforo volcánico del 1° de setiembre: http://www.rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Semaforo_Volcanico/2012/2012_09_Semaforo.pdf).

Los volcanes Rincón de la Vieja, Poás y Turrialba, presentaban una actividad fumarólica intensa en sus cráteres de la cima. El Arenal, desde octubre del 2010 presenta una tenue a mediana actividad fumarólica cerca de la cima, en el sector nor-noroeste, y actividad sísmica con hipocentros principalmente entre 3-10 km bajo el flanco noroeste. El Tenorio ha presentado actividad sísmica, casi exclusivamente tectónica en todo sus alrededores desde el año 2002, con altibajos en diferentes periodos. El área del gran macizo Irazú-Turrialba, especialmente entre ambos neovolcanes (flancos este y sureste del Irazú y suroeste del Turrialba) ha mostrado sismicidad casi continua con diferentes altibajos al menos desde 1982, con mayor intensidad



desde el 2007 (Soto & Mora, en prensa), y particularmente desde diciembre del 2011, el flanco este y sureste del Irazú, ha tenido un actividad sísmica remarcable.

Una vez que ha sucedido el sismo, y casi de manera inmediata, se ha disparado una sismicidad más frecuente y con magnitudes más importantes (de hasta M_w 3,6) en el flanco sureste del Irazú, así como otros sismos en los edificios volcánicos del Turrialba, Poás, Platanar, Arenal, Tenorio y Rincón de la Vieja. Los efectos se detallan a continuación para cada volcán, cuya ubicación se muestra en la Figura 12.1., y sus distancias al epicentro, en el Cuadro 12.1.



Figura 12.1. Mapa con el epicentro y los volcanes mencionados en el texto.

Cuadro 12.1. Volcanes en territorio costarricense que han mostrado actividad acentuada posterior al terremoto del 5 de setiembre del 2012.

Volcán	Distancia al epicentro (km)	Dirección desde el epicentro (Azimut)
Rincón de la Vieja	130	14
Miravalles	125	23
Tenorio	128	31
Arenal	132	50
Platanar	153	64
Poás	163	70
Irazú	197	81
Turrialba	207	80



Adicionalmente, en Nicaragua se ha reportado actividad sísmica anómala en volcanes en la periferia de Managua, como el Apoyeque – Alineamiento Nejapa-Miraflores, en Managua (290 km al nor-noroeste del epicentro), en el núcleo Momotombo-Momotombito (308 km al nor-noroeste del epicentro) y Zapatera (a 218 km al norte del epicentro), mientras que el San Cristóbal (365 km al noroeste del epicentro) ha reanudado sus erupciones (las cuales ha mantenido a lo largo de los últimos años) un día después del terremoto (datos múltiples en el cibernético del Ineter de Nicaragua: <http://www.ineter.gob.ni/>). Estos volcanes en el territorio nicaragüense no son el objeto de estudio de este capítulo, en este momento, y su relación mutua de sismicidad disparada por el Terremoto de Sámara es especulativa, aunque posible.

Repasaremos la actividad sísmica inducida en el arco magmático por cordilleras y por volcanes aparte.

12.2. Cordillera Volcánica Central

Platanar

En el complejo volcánico Platanar-Porvenir la sismicidad inducida fue menor con algunos eventos distribuidos en el sector occidental de los macizos (Figura 12.2.). La actividad más significativa fueron tres eventos con magnitudes (M_w) entre los 3,6 y 3,9 y profundidades entre 8 y 10 km que ocurrieron en el sector cuspidal del Volcán Platanar, muy cerca de las falla Porvenir de rumbo NNW-SSE y Viejo-Aguas Zarcas de rumbo similar (Denyer et al., 2003). Los vecinos reportaron algunos “sonidos subterráneos” asociados con algunos eventos (Wilfredo Rojas, comunicación escrita).

Poás

A partir de finales de agosto se constató un descenso en la actividad sísmica del orden de un 50 %, cuando cayó de una tasa promedio de 80 a 115 eventos diarios a una de menos de 40 eventos diarios. Antes del terremoto la sismicidad era mínima. Posterior al terremoto se registró un incremento en la actividad sísmica tectónica que alcanzó los 66 eventos entre el 5 y el 9 de setiembre (Figura 12.3.). Rápidamente esta sismicidad decayó a una tasa de menos de 2 eventos por día hasta el 30 de setiembre. Los sismos más grandes tienen magnitudes locales estimadas con base en la duración (M_c) entre 3,0 y 4,5, así como profundidades que oscilan entre los 5 y 125 km.

La sismicidad asociada con procesos de circulación de fluidos se mantuvo dentro de los niveles mínimos observados días antes del terremoto y es a partir de la segunda mitad de



setiembre que se nota un incremento que alcanza el nivel observado en agosto. No se observaron cambios en las características de las señales sismo-volcánicas ni nuevas familias de eventos.

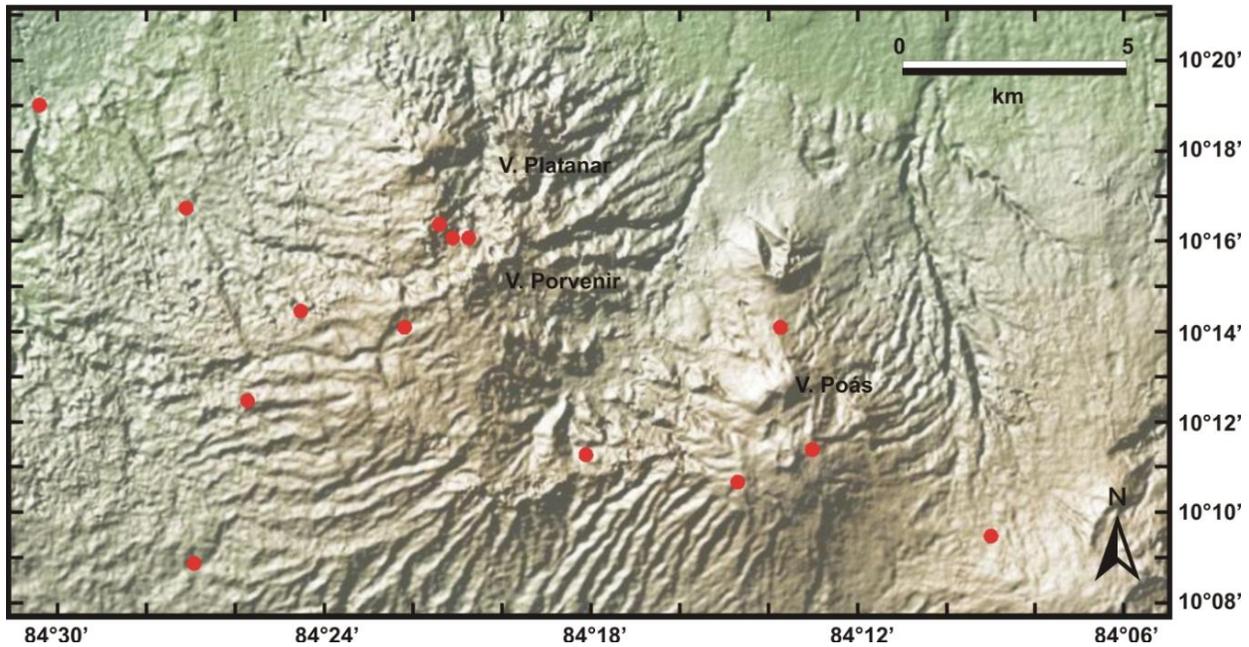


Figura 12.2. Sismicidad tectónica registrada durante el periodo comprendido del 5 de setiembre (posterior al terremoto) hasta el 30 de setiembre de 2012 en los volcanes Poás y Platanar.

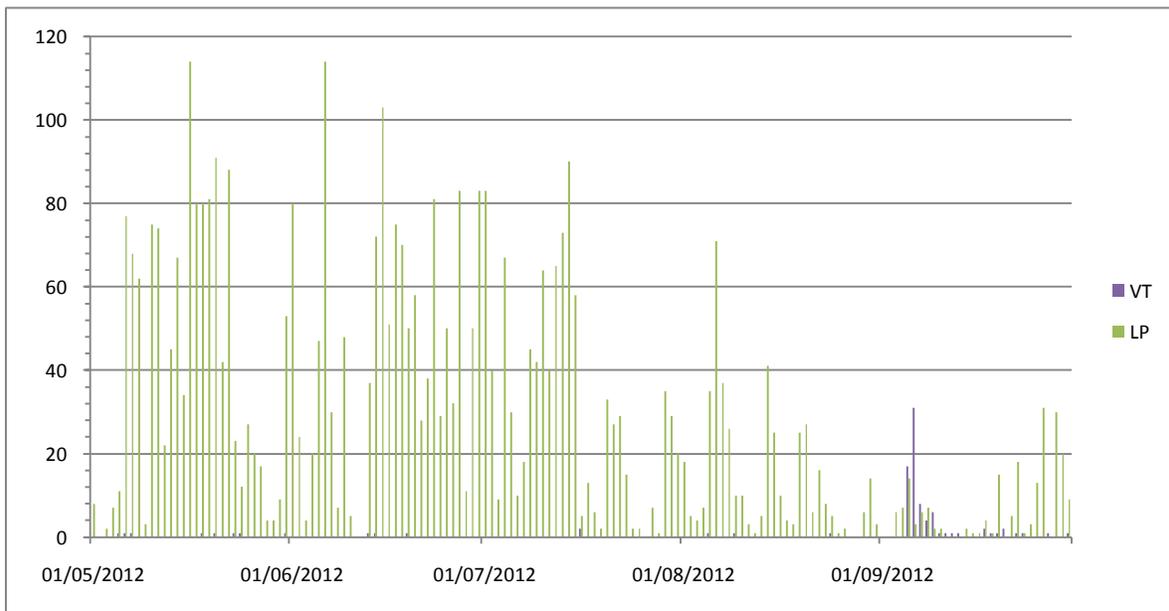


Figura 12.3. Sismicidad de baja frecuencia y volcano-tectónica registrada en la estación VPS5 (GURALP-6TD de 30 s) ubicada en el Volcán Poás durante el periodo de mayo al 30 de setiembre de 2012.



Irazú

El Volcán Irazú se encuentra cortado por múltiples fallas, muchas de ellas activas, que generaron crisis sísmicas en el pasado (Barquero et al., 1992; Barquero et al., 1995; Fernández et al., 1998), así como eventos sísmicos dañadores, tales como el ocurrido el 30 de diciembre de 1952, recordado como el Terremoto de Patillos. Este sismo, así como el fallamiento en el flanco noroeste del Irazú, fue estudiado por Montero & Alvarado (1995). En ese trabajo se reconocen y describen algunas estructuras importantes entre las cuales sobresale la Falla Río Sucio. Linkimer (2003) y Montero (2003) analizan posteriormente las áreas del Irazú y Turrialba y detallan el trazado del fallamiento y exponen evidencias geomorfológicas y geológicas de los movimientos recientes. Montero (2003), particularmente, propone un modelo tectónico mediante el cual define el sistema de falla Atirro-Río Sucio compuesto por un conjunto de fallas neotectónicas de rumbo noroeste, predominantemente dextrales. El mismo autor propone que entre las fallas Atirro-Tucurrique y la falla Río Sucio se desarrolló una cuenca de tracción (*pull-apart*) que denominó Turrialba-Irazú.

La actividad sísmica en el macizo del Irazú se ha hecho más conspicua desde finales del año 2011 hasta el presente (Figura 12.4.). Se ha caracterizado por microsismos tectónicos que ya en dos ocasiones se han incrementado en número de forma súbita, generando enjambres efímeros, con duración de horas (enero 2012) a pocos días (finales de julio de 2012). Esto se acompaña por la ocurrencia de sismos de baja frecuencia y gran amplitud, prácticamente a una tasa de un evento diario.

El Volcán Irazú es el macizo de la Cordillera Volcánica Central donde se constató un mayor impacto, desde el punto de vista sismológico, por el terremoto del 5 de setiembre. Casi inmediatamente después de ese evento la actividad sísmica se disparó a un ritmo de centenas de eventos en las primeras horas subsiguientes al terremoto (Figura 12.5.). Esta tendencia se mantuvo por lo menos un día más y luego fue disminuyendo paulatinamente entre los días 7 y 9 de setiembre hasta llegar a niveles de menos de 10 eventos diarios en los días siguientes, con excepción del 17 de setiembre, cuando se registró un pequeño pico de actividad. Esta sismicidad se caracteriza por magnitudes coda que oscilan entre los 1,2 y 4,5 y ocurren a menos de 5 km de profundidad.

La distribución de los epicentros de los eventos que pudieron ser localizados con una precisión y calidad aceptables se concentran en una franja elongada con su eje máximo en dirección noroeste, concordante con los patrones de fallamiento cortical conocido (cf. Montero,



2003). En su mayoría son eventos muy superficiales (menos de 5 km) y magnitudes estimadas con base en la duración (M_c) que oscilan entre los 1,5 y 4,5.

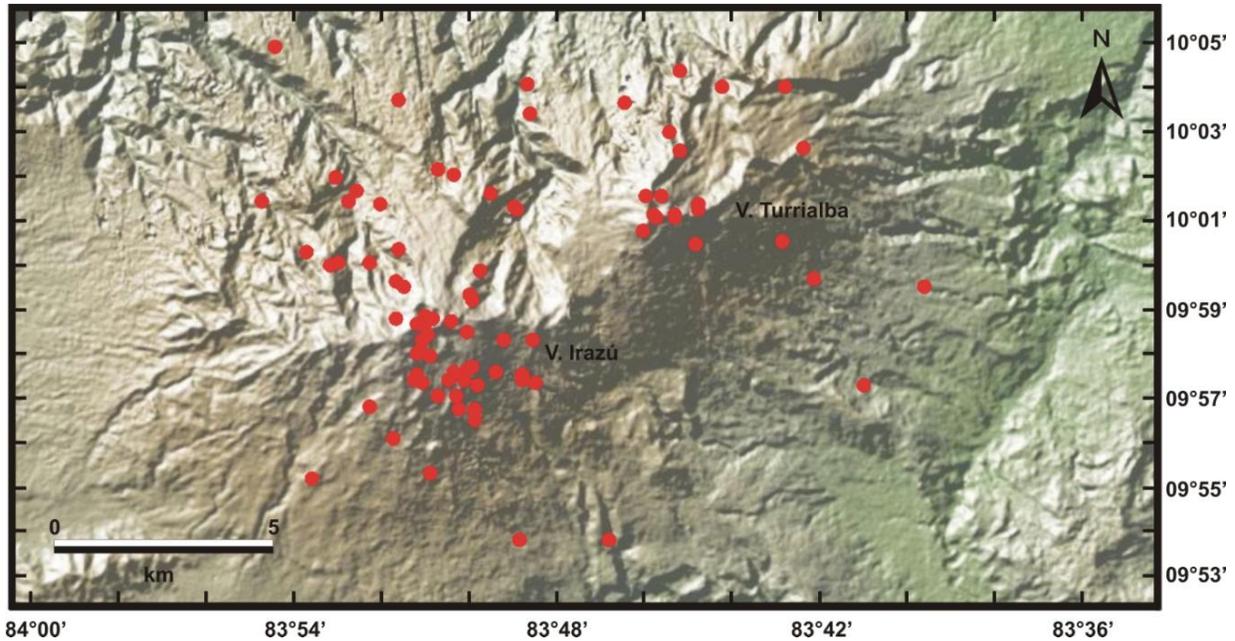


Figura 12.4. Sismicidad tectónica localizada durante el periodo comprendido del 5 de setiembre (posterior al terremoto) hasta el 30 de setiembre de 2012 en los volcanes Turrialba e Irazú.

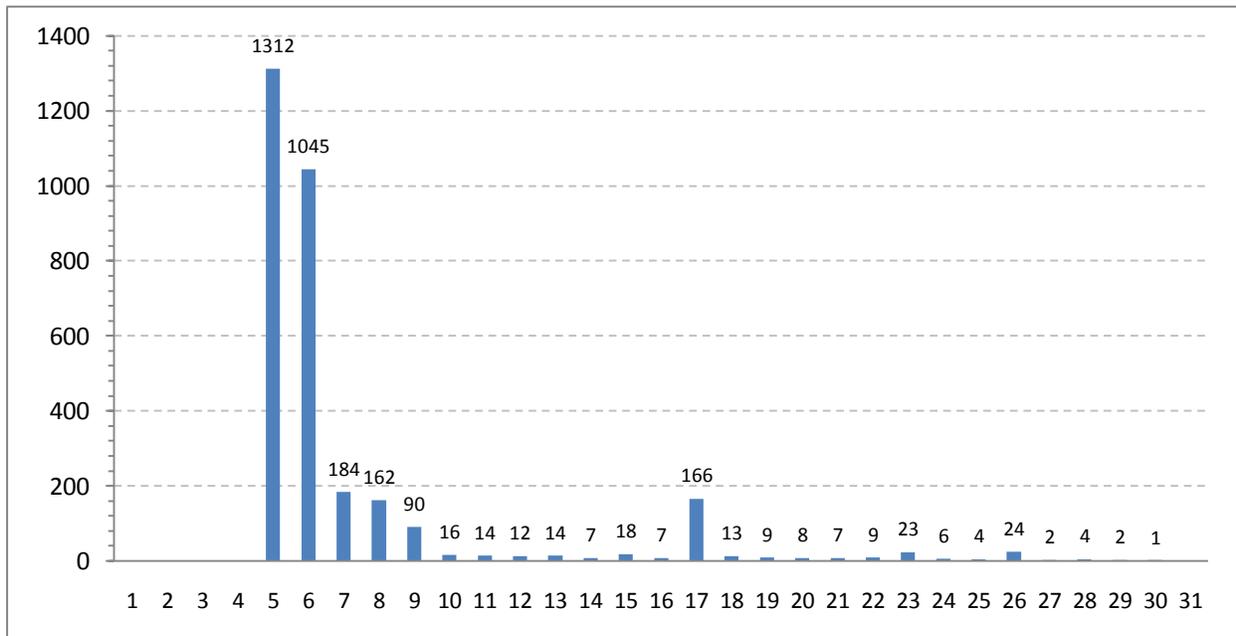


Figura 12.5. Sismicidad registrada en las estaciones IRAZ (Lennartz 3D-LITE 10s) del ICE del 5 al 7 de setiembre de 2012 e ICR3 (GURALP 120s) de la UCR del 7 al 30 de setiembre de 2012, ambas ubicadas en el Volcán Irazú.



Turrialba

Las estructuras volcánicas del Turrialba tienen una clara orientación en dirección noreste: la ubicación de los cráteres cuspidales, caldera de avalancha o anfiteatro sectorial de colapso (Alvarado, 1984), fallamientos que cortan el macizo e identificados por Soto (1988 a y b) como las fallas Ariete, Elia y Guácimo. Regionalmente existen otras estructuras que cortan el macizo del Turrialba, particularmente en el sector sur, donde la prolongación de la falla Aguacaliente-Navarro, corta el macizo, según lo aportan Linkimer (2003), Montero (2003) y Denyer et al. (2003). El término noreste de la falla llegaría a cortar cerca del anfiteatro de Avalancha de Coliblanco, que Alvarado et al. (2004) han propuesto como la posible zona de origen de la gran avalancha volcánica de Angostura, ocurrida hace cerca de 17 ka, y de la cual se discute y dan detalles luego. Hay otras nuevas propuestas respecto a la continuación de las fallas Navarro, Aguacaliente y Cipreses hacia el este, en el sector sur del Turrialba (Henar, 2011), pero sea cual sea esta, el tramo de ruptura visible es del orden de 8-10 km. El macizo del Turrialba se ubica en una zona tectónica regional compleja, cerca de donde confluyen los cinturones deformados del Centro de Costa Rica y del Norte de Panamá (cf. Montero, 2003).

Previo al terremoto, el volcán presentaba niveles de actividad sísmica bajos (Figura 12.6.) a una tasa que no sobrepasaba los 20 eventos diarios. Posterior al terremoto, la vecindad de los macizos Irazú y Turrialba hizo que mucha de la sismicidad tectónica en el primero se reflejara en los registros del segundo, lo que provocó que el pico observable en la Figura 12.6. No obstante, su localización permite constatar que una proporción relativamente pequeña está ubicada en el macizo del Turrialba y alrededores, particularmente en la cima y el flanco norte. Estos eventos tienen magnitudes estimadas con base en la duración (M_c) entre los 1,5 y 4,0 y profundidades entre los 5 y 20 km. A partir de la segunda mitad de setiembre la sismicidad decayó paulatinamente hasta alcanzar el nivel previo al terremoto (Figura 12.6.).

La sismicidad asociada con procesos de circulación de fluidos no presentó cambios cuantitativos importantes después del terremoto. No obstante, desde el punto de vista cualitativo, se pudo constatar que algunos tipos de eventos que previo al terremoto se presentaban esporádicamente, luego de éste empezaron a ser más conspicuos. Estos comprenden: 1) señales tipo híbridas con frecuencias a 1,6 y 7,6 Hz, 2) señales armónicas con frecuencia entre los 8 y 9 Hz, y 3) pulsos de baja frecuencia.

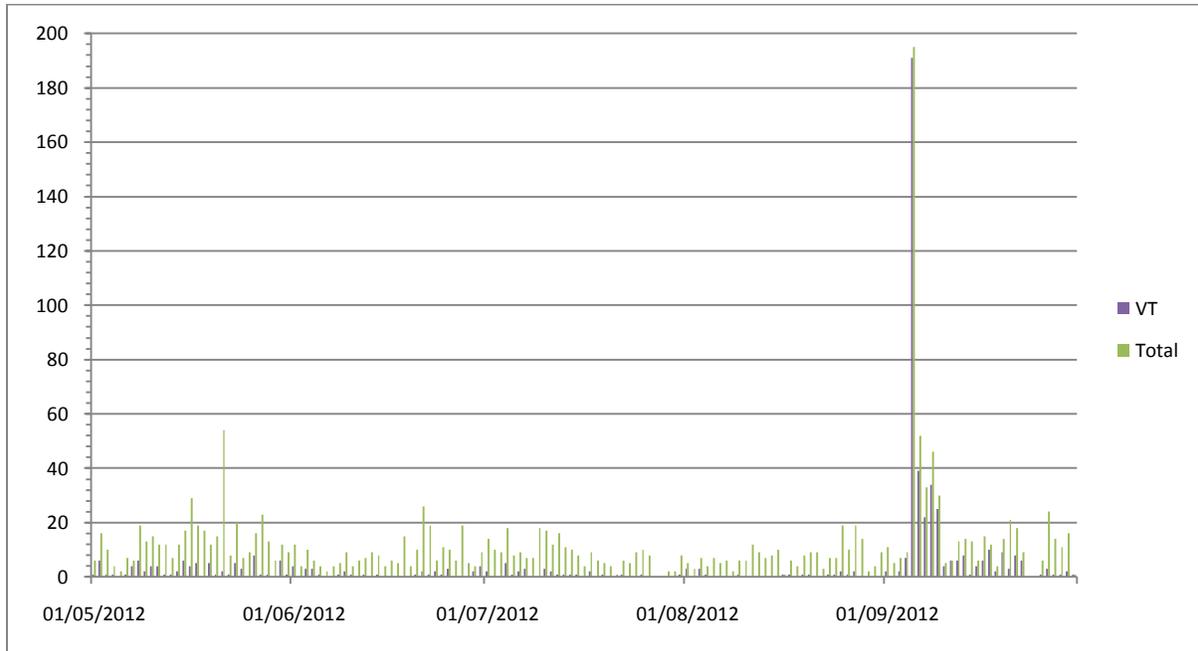


Figura 12.6. Sismicidad de mediana y baja frecuencia y volcano-tectónica registrada en la estación CVTR (GURALP de 120 s) ubicada en el Volcán Turrialba durante el periodo de mayo al 30 de setiembre de 2012.

12.3. Cordilleras Volcánica de Guanacaste y de Tilarán

Las estaciones sismológicas que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) mantiene en los proyectos de generación eléctrica, han registrado la sismicidad generada por las fallas locales de los últimos años, y se ha seguido muy de cerca la actividad sísmica disparada por el terremoto del 5 de setiembre de 2012 en las cordilleras volcánicas de Guanacaste y Tilarán. La Figura 12.7. muestra un mapa con los epicentros de la sismicidad para todo el año 2012, donde es fácilmente reconocible cuáles son las fallas activas y por lo tanto las de mayor amenaza sísmica en este momento. Se considera que las fallas activas al oeste del volcán Rincón de la Vieja pueden ocasionar un sismo de magnitud moderada (M entre 4 y 6), mientras las de mayor magnitud, de hasta 7, pueden producirse en las fallas Chiripa, Cañas, Peñas Blancas, Cote-Arenal y Caño Negro.

En la Figura 12.8. se muestra la distribución mensual de la sismicidad durante el año 2012 y se logran identificar que los meses de febrero y agosto fueron muy activos, y es más que evidente, la sismicidad disparada por la ocurrencia del terremoto del 5 de setiembre de 2012.

Al comparar la sismicidad localizada antes del terremoto (de enero a agosto), se observa que algunas fallas ya estaban activas y que el terremoto provocó que la actividad sísmica se incrementara en ellas, y que además activara otras que no habían presentado actividad en los últimos meses o años (Figura 12.9.).

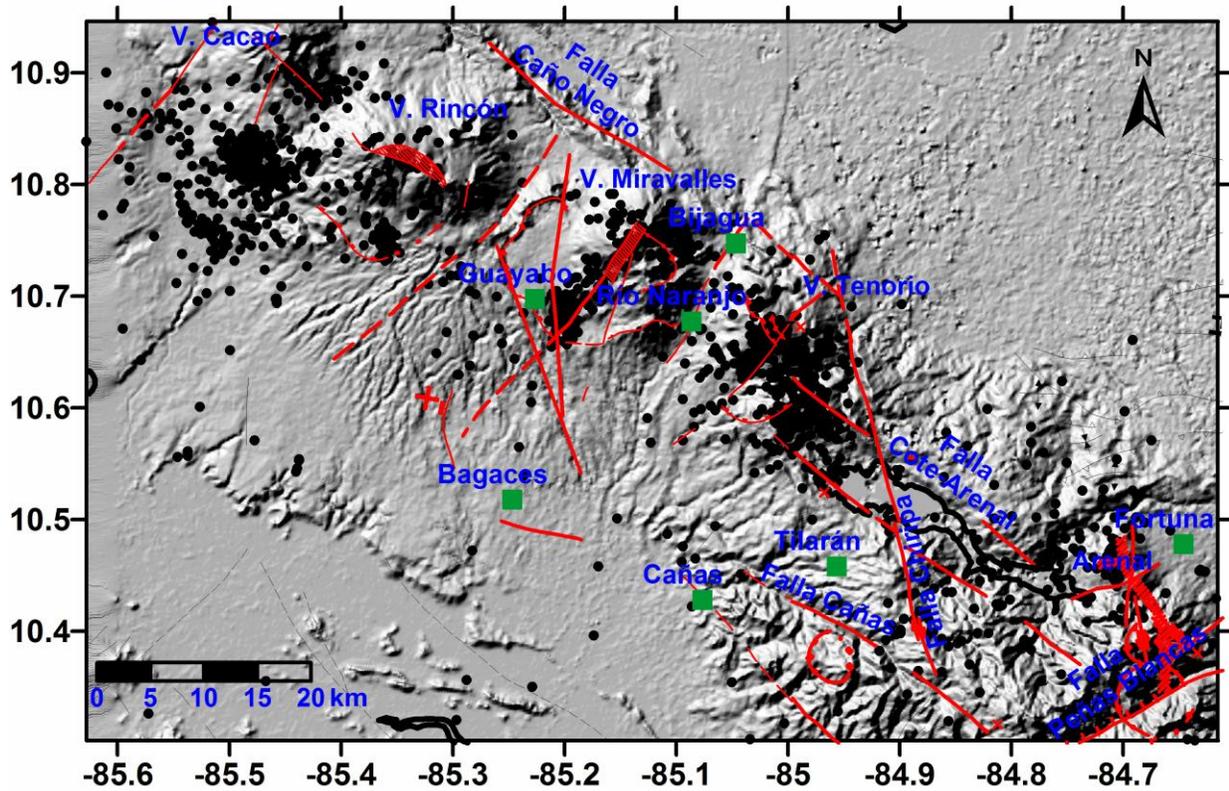


Figura 12.7. Mapa de la sismicidad en las cordilleras volcánicas de Guanacaste y Tilarán durante el año 2012.

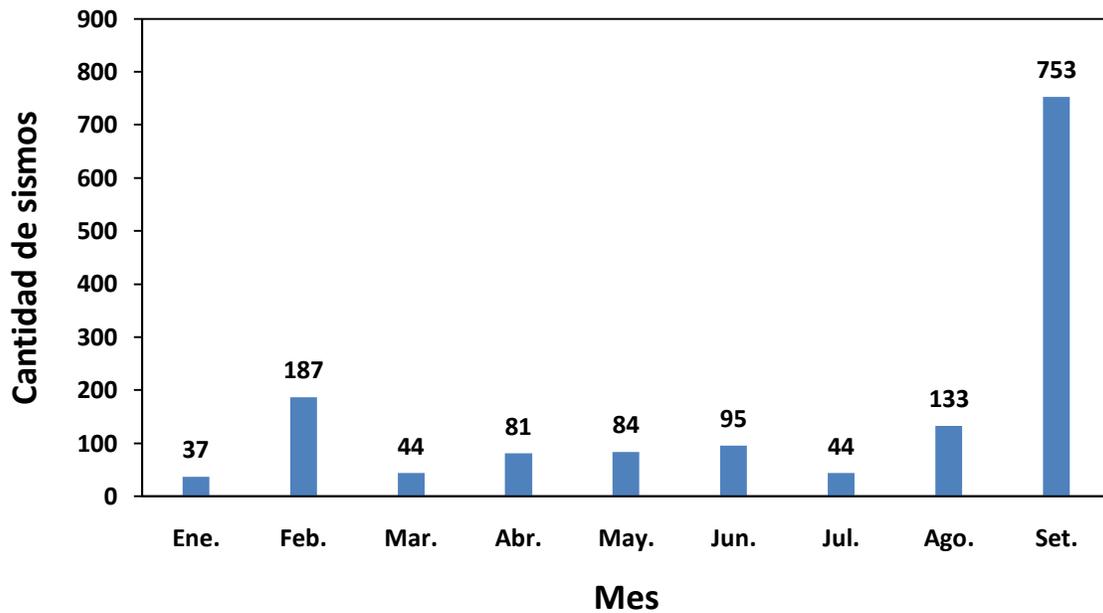


Figura 12.8. Distribución mensual de la sismicidad en las cordilleras volcánicas de Guanacaste y Tilarán durante el año 2012.

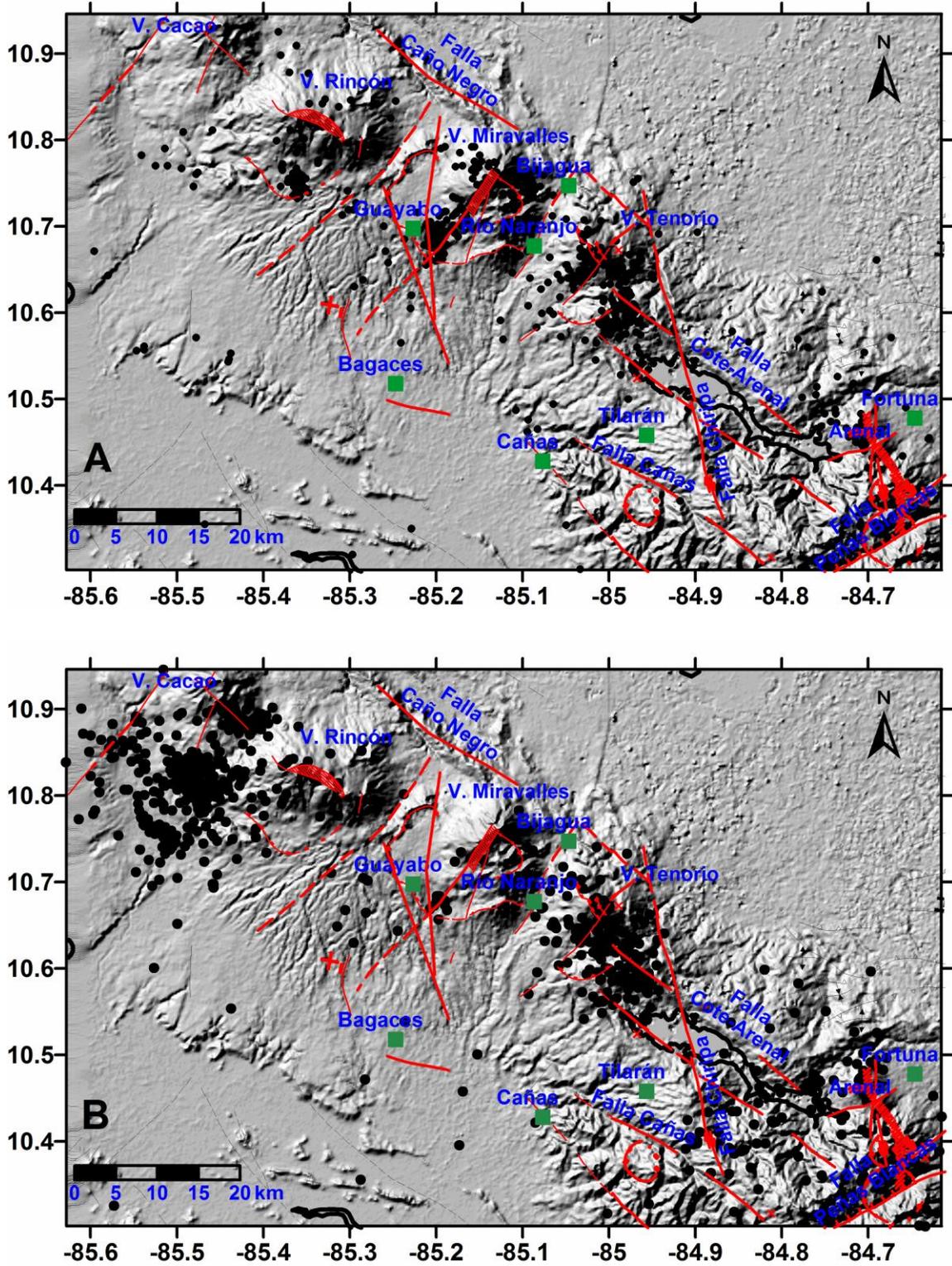


Figura 12.9. Mapa de la sismicidad en las cordilleras volcánicas de Guanacaste y Tilarán. A- Periodo de enero-agosto del año 2012. B- Mes de setiembre del 2012.



Algunas de las fallas tectónicas ya presentaban actividad desde hace varios meses y otras inclusive algunos años, como las que se encuentran en los alrededores del volcán Tenorio y Bijagua de Upala. El terremoto disparó la sismicidad en toda el área y en la Figura 12.10. se aprecia ese aumento, destacándose el sector al oeste el volcán Rincón de la Vieja, el volcán Tenorio, las fallas Chiripa y Peñas Blancas y el volcán Arenal. Las estadísticas muestran que el promedio mensual de sismos era 88, mientras que el total de sismos durante el mes de setiembre subió a 753 sismos, lo que significa un incremento del 854%.

Los primeros seis días posteriores al terremoto fueron los más críticos, porque se localizaron 463 sismos, es decir un 61% de la actividad localizada en todo el mes. A partir del día 11 de setiembre la actividad sísmica disminuyó, con un incremento el día 16 de setiembre, y ya a finales del mes de setiembre la cantidad de sismos diarios se mantenía estable y baja, aunque aún no disminuye a los 3 o 4 sismos diarios que se tenía antes del terremoto (Figura 12.10.).

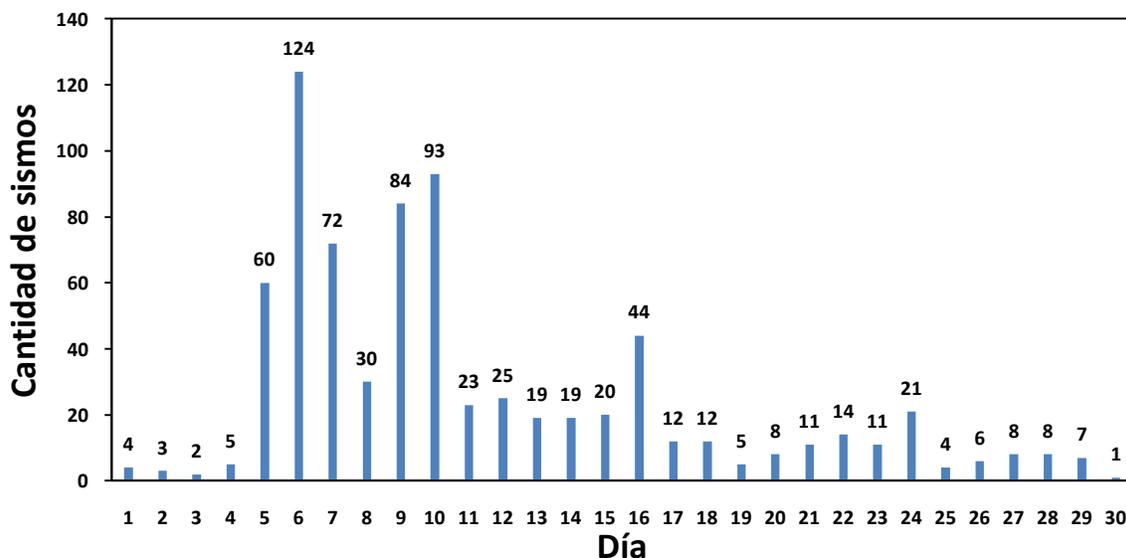


Figura 12.10. Distribución diaria de la sismicidad en las cordilleras volcánicas de Guanacaste y Tilarán durante setiembre del 2012

Las cordilleras volcánicas de Guanacaste y Tilarán han tenido sismos importantes durante los años 1853, 1911, 1935, 1941, 1973, 2002 y 2011. El último sismo de magnitud e intensidad importante en el sector del volcán Tenorio, ocurrió en 1911 (M_w 6,0-6,5), hace ya más de 100 años. Ese sector ha venido incrementado su actividad desde el año 1998 y en los últimos cinco años ha permanecido alta.



Estudios de mayor detalle y análisis serán realizados en los próximos meses para poder identificar y caracterizar las fallas locales en una mejor forma. De especial interés será el poder comprobar la orientación actual de los esfuerzos regionales que pudieron haber relajado parcialmente los esfuerzos compresivos, generando distensión relativa y transitoria, lo que estaría reflejado en un aumento de permeabilidad y un posible ascenso de fluidos en las cordilleras volcánicas, especialmente en aquellas áreas donde ha habido sismicidad importante, como el área de los volcanes Tenorio y Rincón de la Vieja.

Estos cambios en la permeabilidad y afectación de los sistemas acuíferos en áreas perivolcánicas, se ha tornado evidente en al menos dos sitios. El primero fue en Las Lilas, en una naciente que alimenta a la población, situada 12,5 km al oeste del cráter activo del Rincón de la Vieja. Minutos después del sismo el agua de la naciente se tornó de un color lechoso, y un día después había retornado a su color original (Figura 12.11.) (comunicación escrita de Róger Blanco). El área coincide con la de un intenso cambio en el patrón de sismicidad posterior al terremoto, según se aprecia en la Figura 12.9.B., en todo el sector occidental del Rincón de la Vieja y entre este y el volcán Cacao.



Figura 12.11. Naciente de Las Lilas, con el agua enturbiada posterior al terremoto, el día 5 de setiembre, según foto del maestro de Las Lilas, Prof. Fernando Morales Bejarano (izquierda). La turbidez cesó y el agua se tornó limpia de nuevo al día siguiente, según se ve en la foto del funcionario del ACG, José Eduardo Jaramillo Barquero (derecha). Fotos cortesía de Róger Blanco, ACG.

El segundo sitio donde se observaron esos cambios en la permeabilidad del sistema acuífero es en el sector norte del río Arenal, en la periferia del volcán Arenal. La fuente de agua termal ($T = 35-37^{\circ}\text{C}$) se encuentra entre un conjunto de otras fuentes termales dentro de la propiedad del “The Springs Resort & Spa”, unos 7 km al nor-noreste del volcán, en un área de rocas volcánicas del Pleistoceno, afectadas por fallas. Según el dueño del lugar, Lee Banks, el caudal de las fuentes en total subió cerca de 300-400% luego del terremoto y se mantenía así al



menos 3 semanas después, con apenas cambios perceptibles de 1° C menos que el promedio previo al terremoto (esto último según nuestras propias mediciones en el campo).

En el volcán Tenorio, aparte de la sismicidad disparada, no se observaron cambios en las fuentes termales ni alguna otra anomalía evidente.

En el volcán Arenal sucedió lo mismo: aumento de la sismicidad, pero sin cambios notables en fuentes termales u otros sistemas. En el sector suroeste desde el volcán, en la periferia del poblado de El Castillo, perteneciente al cantón San Ramón, ocurrieron algunos deslizamientos y rupturas en la carretera, así como daños inusuales en viviendas y hoteles (ver fotos en el Anexo III). Estos efectos de sitio se debieron posiblemente a laderas inestables y licuefacción local.

Minutos después del terremoto se especuló que en el volcán se habían producido grandes deslizamientos en la áreas del occidente del volcán. Con base en los reportes de guardaparques, vecinos y fotógrafos de la zona, se comprobó que los deslizamientos fueron menores, principalmente desde las áreas inestables del cono C, donde fluían lavas blocosas hace dos años, en el sector oeste. Las caídas discretas de material llegaron a la parte media del cono (Figura 12.12.).



Figura 12.12. Áreas con pequeñas cicatrices dejadas por bloques rodando en el sector oeste del volcán Arenal (círculos rojos), producidas por el movimiento del terremoto, y captadas 4 horas después por el fotógrafo Ólger Koky Aragón, quien amablemente cedió la foto.



12.4. Conclusiones preliminares

Con base en las observaciones sismológicas y geológicas en las cordilleras volcánicas de Costa Rica, resulta evidente que ha habido un conspicuo efecto del Terremoto de Sámara del 5 de setiembre del 2012, sobre todo en la sismicidad en sistemas tectónicos conocidos. Esto ha afectado a volcanes que se encuentran a una distancia de 125-210 km al este y noreste, y quizás tan lejos como 300-365 km al norte, en Nicaragua.

Los sistemas magmáticos e hidrotermales bajo los cráteres activos parecen haber tenido pocos efectos por el terremoto, incluso aquellos que parecen estar en condiciones metastables, como los volcanes Rincón de la Vieja, Poás y Turrialba.

Los cambios parecen obedecer a un patrón de relajamiento tectónico de las áreas cordilleranas, visto de manera indirecta por cambios en sistemas acuíferos perivolcánicos. Quizás esto explique el porqué los sistemas magmáticos no han sufrido cambios notables en las áreas relativamente cercanas (< 200 km de distancia) y solo en las áreas lejanas (> 350 km de distancia).

12.5. Trabajo ulterior

Estudios sobre los mecanismos focales y la evolución de los sistemas volcánicos y tectónicos en las áreas cordilleranas volcánicas de Costa Rica arrojarán ulteriores luces respecto a los efectos de terremotos como el de Sámara, a partir de los sistemas de esfuerzos previos y posteriores al terremoto, de modo que puedan ser comparados con otros sistemas en el mundo, y situaciones anecdóticas observadas y publicadas en otros sistemas comparables del mundo.

12.6. Referencias

- Alvarado, G., 1984: Aspectos petrológicos-geológicos de los volcanes y unidades lávicas del Cenozoico Superior de Costa Rica. - vii + 183 págs. Tesis de Licenciatura, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Alvarado, G.E., Vega, E., Chaves, J. & Vásquez, M., 2004: Los grandes deslizamientos (volcánicos y no volcánicos) de tipo *debris avalanche* en Costa Rica. – Revista Geológica de América Central, 30: 83-99.
- Alvarado, G.E., Fernández, M., Barquero, R. & Flores, H. 1992: Aborted Eruptions Triggered by Earthquakes) Costa Rica. – Eos Transactions AGU, 73 (14), Spring Meeting Supplement, p. 194 (abstract).
- Barquero, R., Soto, G. & Lesage, P., 1992: Volcán Irazú, Informe Vulcanológico período enero 1991 - mayo 1992. – Oficina de Sismología y Vulcanología, ICE, 29 pp. + 18 figs. + 4 Anexos.



- Barquero, R., Lesage, P., Metaxian, J.P, Creusot, A. & Fernández, M., 1995: La crisis sísmica en el volcán Irazú en 1991 (Costa Rica). – Revista Geológica de América Central, 18: 5-18.
- Casertano, L., Borgia, A. & Cigolini, C., 1983: El Volcán Poás, Costa Rica: Cronología y características de la actividad. – Geofísica Internacional, 22-23: 215-236.
- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G.E., 2003: Atlas Tectónico de Costa Rica. – 81 págs. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José.
- Fernández, M., Mora, M. & Barquero, R., 1998: Los procesos sísmicos del volcán Irazú. - Revista Geológica de América Central, 21: 47-59.
- Henar, J.A., 2011: Análisis morfotectónico y paleosísmico de la falla de Aguacaliente (Valle Central de Costa Rica). – 48 págs. Tesis de Maestría, Universidad Complutense de Madrid.
- Hill, D.P., Pollitz, F. & Newhall, C., 2002: Earthquake-Volcano Interactions. – Physics Today, November: 41-47.
- Linkimer, L., 2003: Neotectónica del extremo oriental del cinturón deformado del centro de Costa Rica. - 103 págs. Tesis de Licenciatura, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Méndez, J., Soto, G.J., Zamora, N., Vargas, A., Sjöbohm, L., Bonilla, E., Barahona, D., Solís, L., Kycl, P. & Baroñ, I., 2009: Geología de los deslizamientos provocados por el Terremoto de Cinchona, Costa Rica (Mw 6,2; 8 de enero del 2009) en la Ruta 126 (Varablanca-San Miguel). –X Congreso Nacional de Geotecnia y V Encuentro Centroamericano de Geotecnistas. San José, Costa Rica, 19-21 de agosto del 2009, Memoria digital, 22 pp.
- Montero, W., 2003: El sistema de falla Atirro-Río Sucio y la cuenca de tracción de Turrialba-Irazú: Indentación tectónica relacionada con la colisión del levantamiento del Coco. – Revista Geológica de América Central, 28: 5-29.
- Montero, W. & Alvarado, G., 1995: El terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (Ms= 5.9) y el contexto geotectónico de la región del volcán Irazú, Costa Rica. – Revista Geológica de América Central, 18: 25-40.
- Montero, W., Soto, G.J., Alvarado, G.E. & Rojas, W., 2010: División del deslizamiento tectónico y transtensión en el macizo del volcán Poás (Costa Rica), basado en estudios neotectónicos y de sismicidad histórica. – Revista Geológica de América Central, 43: 13-36.
- Soto, G.J., 1988a: Estructuras volcano-tectónicas del Volcán Turrialba, Costa Rica, América Central. – Actas V Congreso Geológico Chileno, Santiago, 8-12 de agosto de 1988, Tomo III: I 163-I 175.
- Soto, G.J., 1988b: Geología y vulcanología del Volcán Turrialba, Costa Rica. – Costa Rican Volcanism Workshop, 14-18 de noviembre de 1988, Washington, D.C. y Shenandoah National Park, 18 pp.
- Soto, G.J. & Mora, M.M., en prensa: Actividad del volcán Turrialba (2007-2011) y perspectivas de amenaza volcánica. - Costa Rica en el tercer milenio: desafíos y propuestas para la reducción de vulnerabilidad ante los desastres, Preventec UCR.
- Soto, G.J., Alvarado, G.E., & Goold, S., 2003: Erupciones < 3800 a.P. del volcán Rincón de la Vieja, Costa Rica. – Revista Geológica de América Central, 29: 67-86.



Watt, S.F.L., Pyle, D.M. & Mather, T.A., 2008: The influence of great earthquakes on volcanic eruption rate along the Chilean subduction zone. - *Earth and Planetary Science Letters*, 277 (3-4): 399-407.

West, M., Sánchez, J.J. & McNutt, S., 2005: Periodically Triggered Seismicity at Mount Wrangell, Alaska, After the Sumatra Earthquake. – *Science*, 308: 1144-1146.



13. SISMICIDAD EN LA ZONA SUROESTE DE CARTAGO

Lepolt Linkimer

Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

Desde el 5 de setiembre y hasta el 5 de octubre, en la zona central de Costa Rica la Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE) registró 104 sismos superficiales (Figura 13.1.). Estos sismos se concentran principalmente en la zona suroeste de Cartago y la cima de los volcanes Irazú y Turrialba (ver Capítulo 12). De estos 104 sismos registrados, 38 eventos fueron localizados con buena calidad cumpliendo con los siguientes criterios: fueron registrados por al menos 6 estaciones, tienen una cobertura azimutal de estaciones (GAP) menor a 180 grados, han sido registrados por una estación cercana al epicentro, tienen residuos (RMS) menores a 0,5 s y errores en localización y profundidad menores a 3 km (Figura 13.2.).

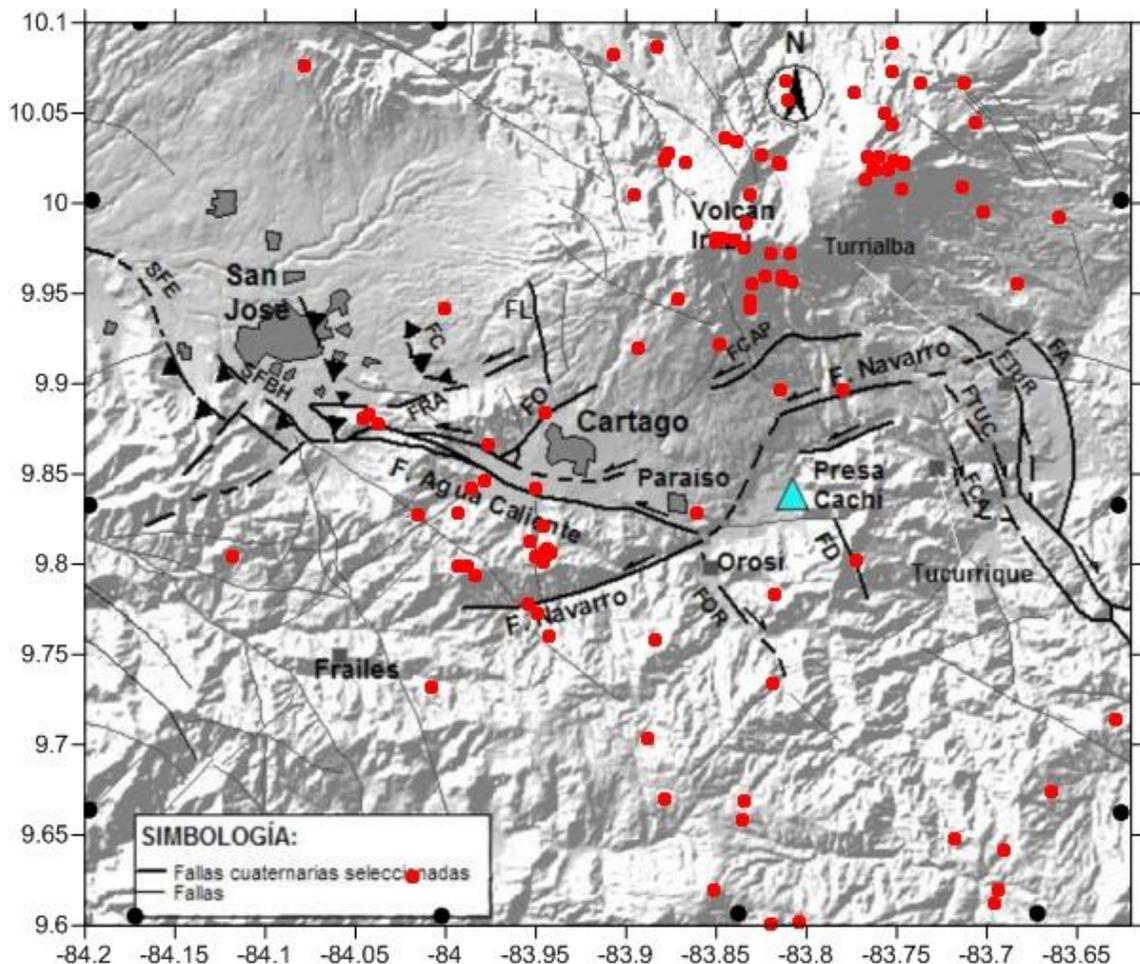


Figura 13.1. Sismicidad superficial localizada en la parte central de Costa Rica desde el 5 de setiembre hasta el 5 de octubre.



De los epicentros de mejor calidad, 20 se localizan en la vecindad de las fallas Aguacaliente y Navarro. Estos sismos tuvieron magnitudes M_w de entre 2,0 y 3,7 y profundidades de entre 2 y 10 km. El sismo de mayor magnitud (3,7 km) ocurrió el 15 de setiembre y fue sentido en las zonas de Cartago y Desamparados. Otros siete eventos fueron reportados como sentidos levemente entre los días 14 y 16 de setiembre.

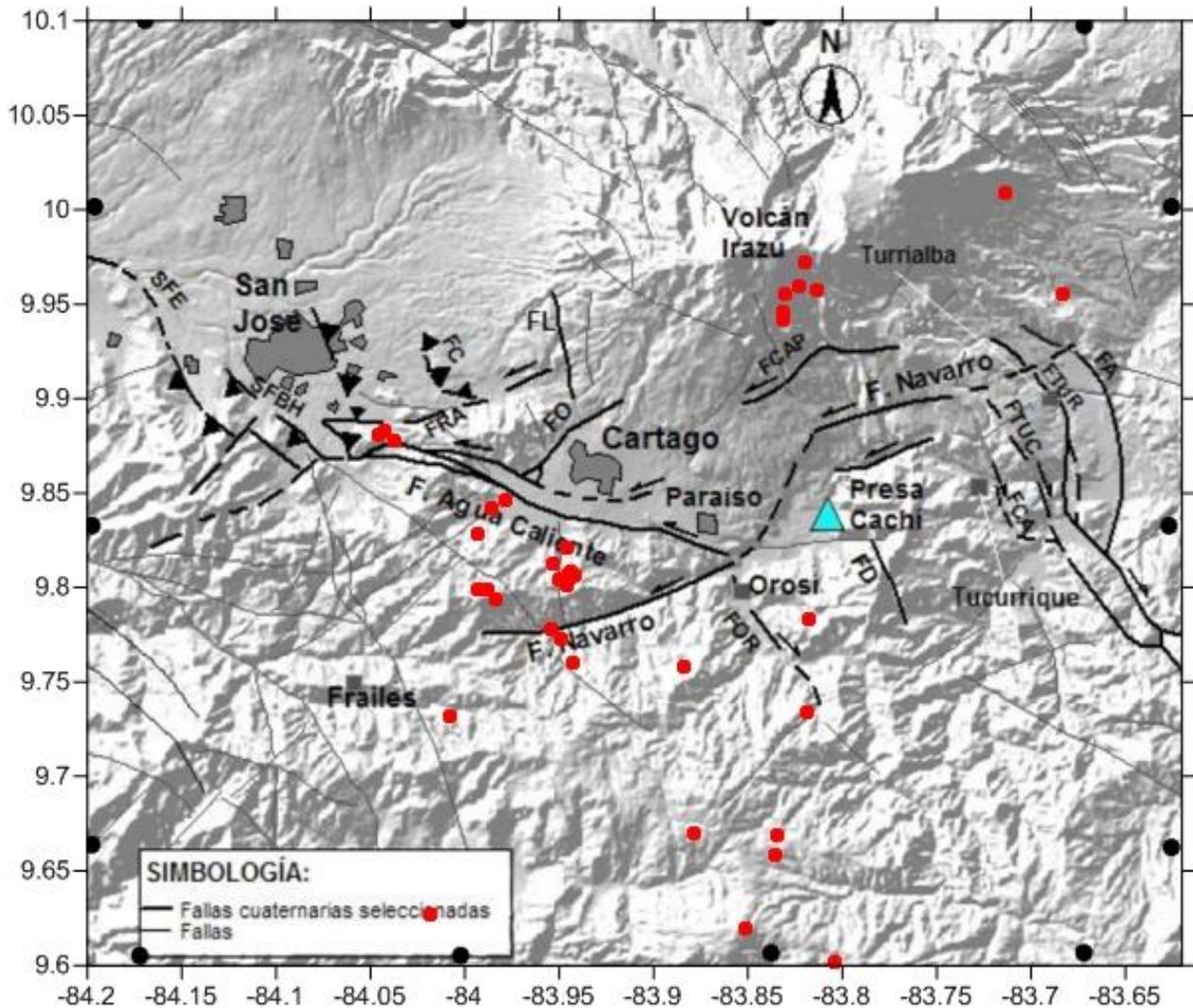


Figura 13.2. Sismos de mejor calidad localizados en la parte central de Costa Rica desde el 5 de setiembre hasta el 5 de octubre.



14. SISMICIDAD EN ISLA CALERO, FRONTERA DE COSTA RICA CON NICARAGUA

Lepolt Linkimer & Wilfredo Rojas

Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

A partir del 22 de setiembre y hasta el 9 de octubre del 2012, la Red Sismológica Nacional registró un total de 64 sismos en la zona de la isla Calero, en el extremo noreste del territorio nacional de Costa Rica. Los epicentros se localizan especialmente en la zona del río Colorado, el cual tiene un rumbo noroeste-sureste, al límite sur de isla Calero (Figura 14.1.). La secuencia inició con cuatro sismos el día 22 de setiembre. Desde ese día y hasta el 3 de octubre ocurrieron por lo menos dos eventos por día. La mayor actividad se registró el 26 y 30 de setiembre, cuando ocurrieron 13 sismos cada día (Figura 14.2.A.).

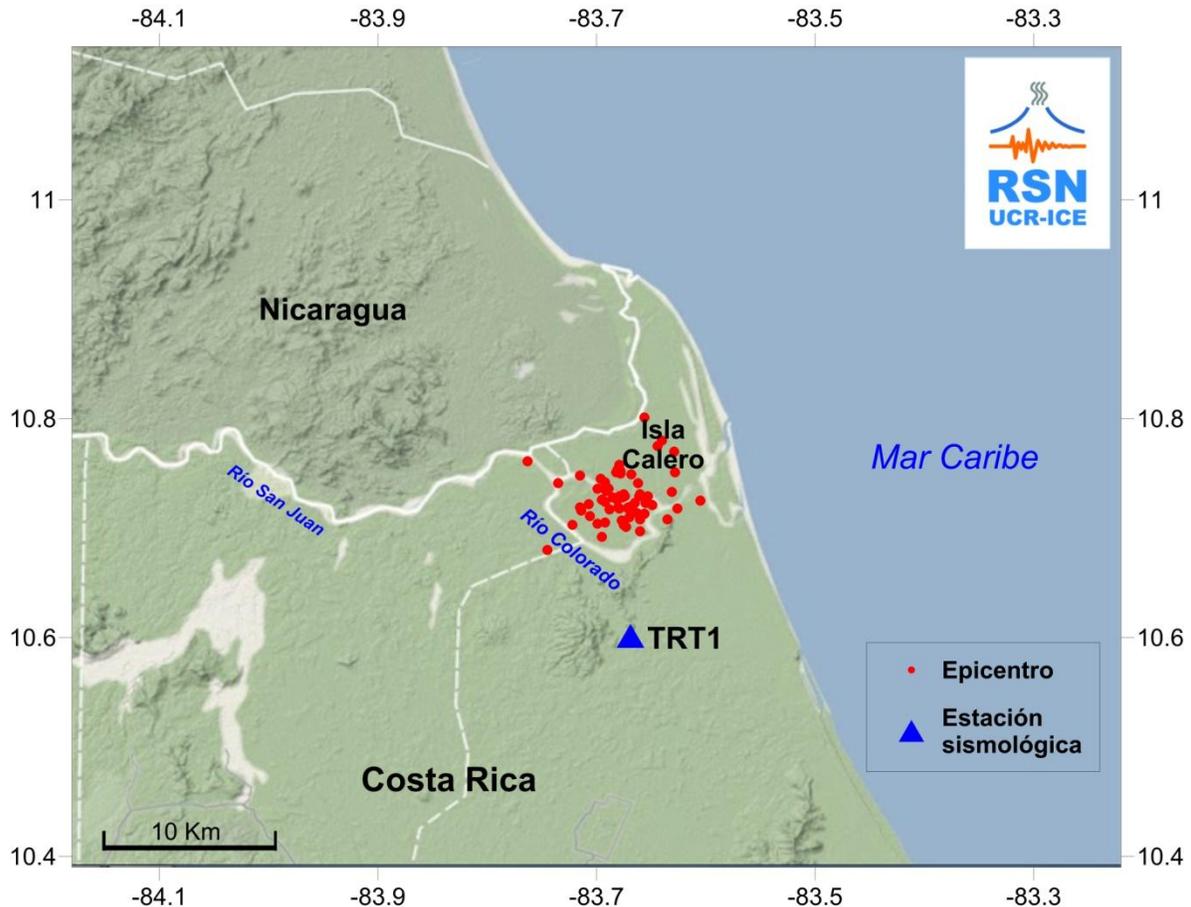


Figura 14.1. Mapa de los epicentros registrados en la zona de la isla Calero durante setiembre y octubre del 2012. Se muestra la estación Tortuguero de la RSN.



La secuencia de sismos se caracterizó por magnitudes bajas de entre M_w 2,0 y 4,2. La mayoría de los sismos localizados tuvieron magnitudes de entre 3,1 y 3,5 M_w (Figura 14.2.B.). Los dos sismos de mayor tamaño en esta zona tuvieron magnitudes M_w de 4,2 y 4,1 y ocurrieron los días 25 y 30 de setiembre, respectivamente. Todos los sismos tuvieron profundidades menores a 20 km, especialmente entre 4 y 12 km (Figura 14.2.C.).

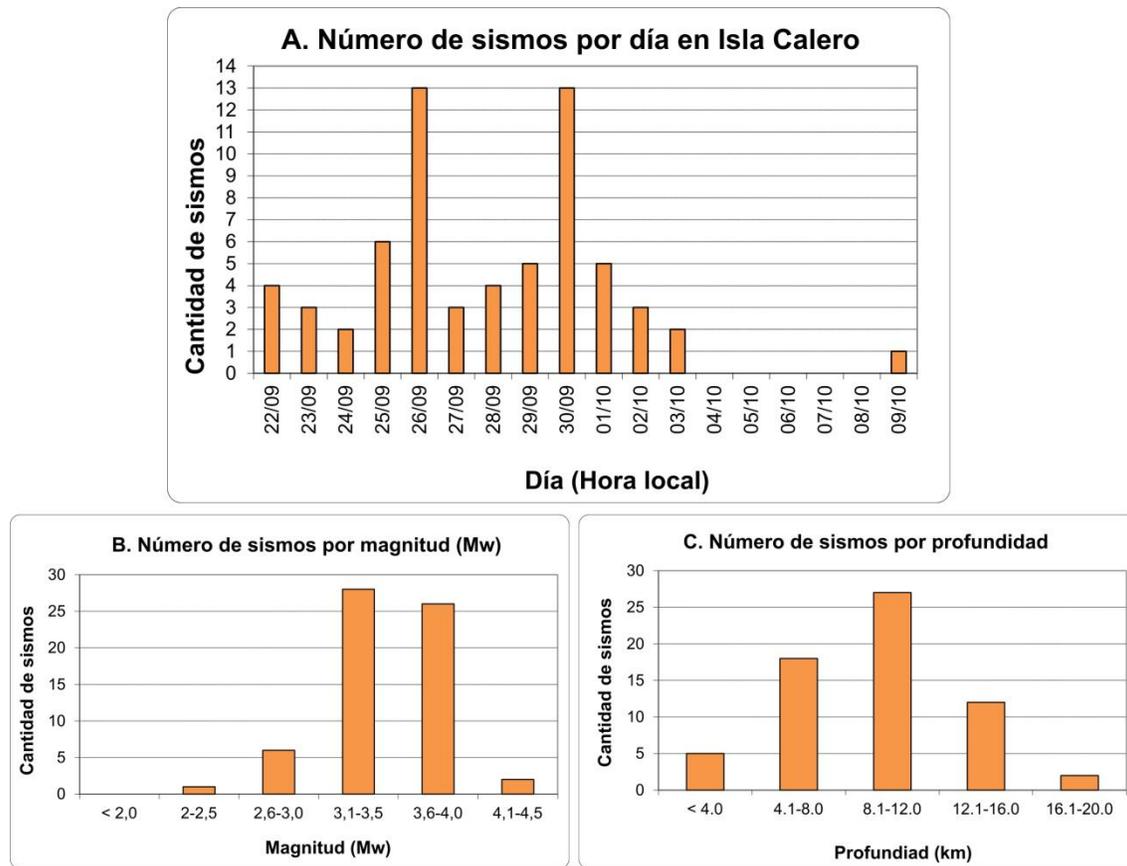


Figura 14.2. Distribución de la sismicidad en la zona de isla Calero por A) Fecha B) Magnitud C) Profundidad.

La estación sismológica ubicada en la región de Tortuguero (TRT1, Figura 14.1.) ha permitido una buena cobertura de esta sismicidad en conjunto con el resto de estaciones con que cuenta la RSN en todo el país. La base de datos sismológicos de la Red Sismológica Nacional no contiene eventos sísmicos registrados en la zona del río Colorado, desde sus inicios en 1976. Por esta razón estos sismos son relevantes desde el punto de vista científico, ya que es la primera vez que se registran sismos en esa zona.

La región de la isla Calero es una de las más remotas de Costa Rica, por lo que la población expuesta a estos temblores es sumamente baja y los eventos sísmicos fueron reportados



como sentidos en muy pocas localidades. La mayoría de los reportes provinieron del puesto policial Delta Costa Rica y desde la boca del río Sarapiquí. Los eventos de mayor magnitud y algunos de los que ocurrieron el día 30 de setiembre fueron también reportados sentidos muy levemente en otras localidades más distantes como Ciudad Quesada, Puerto Viejo de Sarapiquí y Turrialba.

Históricamente, existen referencias sobre terremotos en la zona limítrofe entre Costa Rica y Nicaragua en los años 1648, 1651 y 1663. De acuerdo con Peraldo & Montero (1994), estos terremotos levantaron los caudales del río San Juan, haciendo imposible que embarcaciones de cierto tamaño pudiesen recorrer sectores del río. No se conoce con certeza cuál fue la fuente sísmica de estos terremotos.

La estructura tectónica más importante que se localiza en la vecindad de la isla Calero hacia el Mar Caribe, es el escarpe de Hess, el cual es una estructura en el piso oceánico de la placa Caribe de rumbo noreste, poco analizada en la literatura. Otras estructuras reconocidas en la zona son las fallas en la desembocadura del río San Juan (Barboza et al., 1997). Dado que la proyección del escarpe de Hess no es clara en el interior del istmo centroamericano y que la “nube” de epicentros no sugiere el rumbo esperado para el escarpe de Hess en esa zona, nos inclinamos preliminarmente por asociar la sismicidad en la isla Calero con las fallas observadas por Barboza et al. (1997). Estas son fallas lístricas y afectan los sedimentos de la zona del delta del río San Juan.

La sismicidad en la zona de la isla Calero ha sido disparada por el terremoto del 5 de setiembre del 2012, en la península de Nicoya, el cual además ha inducido sismicidad en otras regiones del Costa Rica. A pesar de ocurrir en una zona remota y con poca población expuesta, este enjambre de temblores en la isla Calero nos recuerda que en Costa Rica pueden ocurrir temblores en prácticamente todos los rincones de su territorio.

14.1. Referencias

- Peraldo, G. & Montero, W., 1994: Temblores del período colonial de Costa Rica. - 162 págs. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago.
- Barboza G., Fernández A., Barrientos J, & Bottazzi G., 1997: Petroleum Geology of the Caribbean margin of Costa Rica. - The Leading Edge of Exploration, Society of Exploration Geophysicists, December, 1997.



15. CAMBIOS FÍSICOS EN LOS VOLCANES ACTIVOS DE COSTA RICA LUEGO DEL TERREMOTO

Raúl Mora-Amador, Yemerith Alpízar, Carlos Ramírez, Gino González, Diego Freni, Fabián Valverde, Daniela Fernández & Roberto Santamaría

Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas y Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

Existen reportes en la literatura mundial de cambios y erupciones en volcanes activos luego de movimientos sísmicos como el del 5 de setiembre en Costa Rica. Algunas erupciones posiblemente inducidas por grandes terremotos son por ejemplo, en el Aso (Japón) por un terremoto en 1914 (M_w 7,0), en el Puyehue (Chile) por el terremoto de Valdivia (1960, M_w 9,6), y en el Karagentang (Indonesia) por el terremoto de Tohoku (2011, M_w 9,0).

Los volcanes de Costa Rica han tenido erupciones ligadas a grandes terremotos, por ejemplo, el volcán Rincón de la Vieja hizo una serie de erupciones freatomagmáticas importantes en 1991, dos semanas después del Terremoto de Limón de M_w 7,7. En el 2009, ocurrió el Terremoto de Cinchona (M_w 6.2) y el volcán Poás, 4 días después, hizo una pequeña erupción freática y actualmente sigue en un periodo de constantes erupciones de ese tipo.

Por esta razón, es muy importante vigilar si los sistemas volcánicos se mantienen calmos o por el contrario han sufrido alguna perturbación debido al movimiento sísmico. Los cambios en la actividad volcánica, luego de un terremoto de esta magnitud, se pueden registrar meses después. A continuación un resumen de lo observado en el campo durante el mes de setiembre del 2012, además de imágenes de sobrevuelos coordinados con la Comisión Nacional de Emergencias (CNE).

15.1. Volcán Turrialba

La visita de campo al volcán Turrialba se realizó el día 7 de setiembre. Ese mismo día se realizó un sobrevuelo. Se observó cambios menores en la desgasificación y temperatura de las fumarolas, además del aumento de tamaño de una grieta previamente localizada en la pared sur del cráter Suroeste (Figura 15.1.), que se presume podría causar que una fracción de esta pared se deslice hacia el interior del cráter activo. La temperatura medida en la boca que se abrió en enero del 2010 fue de alrededor de 220°C y en la de enero del 2012, de alrededor de 800°C .



Figura 15.1. A la izquierda, una vista aérea de los cráteres central y suroeste del Turrialba, con su actividad exhalativa. Al fondo el Irazú. A la derecha la grieta que ha ensanchado su abertura.

15.2. Volcán Irazú

El volcán Irazú no ha mostrado cambios desde el punto de vista morfológico. El lago presenta un nivel bajo, como el mostrado desde inicios del 2010. Su temperatura es de 13°C y el pH de 5,5 con un color verde intenso. No se ha observado cambios en los campos fumarólicos.

15.3. Volcán Poás

El volcán Poás se visitó en varias ocasiones durante el mes de setiembre. Durante el sobrevuelo del día 7 se logró captar imágenes térmicas de Laguna Caliente y de las fumarolas, cuya temperatura promedio alcanzada para ese día era de 200°C (Figura 15.2.). Posteriormente este dato fue comprobado in situ el día 12, con temperaturas medidas de 192°C.

Durante setiembre, la temperatura del lago osciló de ~44,7°C a 48°C y el pH = 0, con gran cantidad de azufre que flotaba en el sector este a fin de mes. El nivel del lago ha continuado descendiendo mes a mes a pesar de la época lluviosa, debido a las altas temperaturas del lago y a la constante evaporación. Durante la mañana del 7 de setiembre se observaron evidencias de una erupción freática que debió ocurrir entre la tarde del 6 de setiembre y la madrugada de ese día.

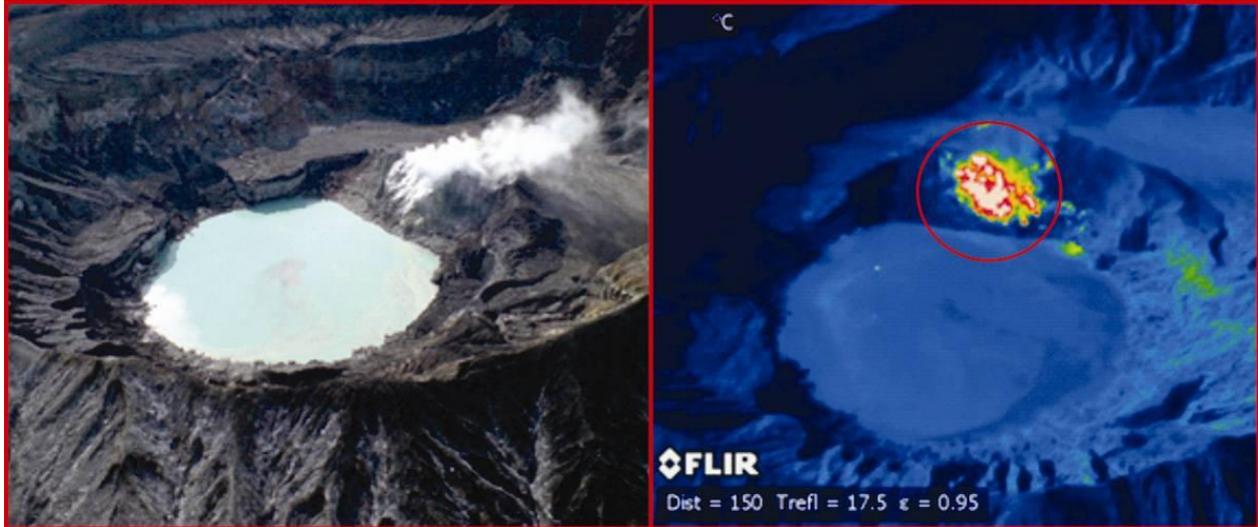


Figura 15.2. La Laguna Caliente desde el aire. A la derecha, la imagen térmica, donde resalta el campo fumarólico, encerrado en un círculo rojo, con temperaturas promedio de 200°C.

15.4. Volcán Rincón de la Vieja

El día 20 de setiembre se realizó una visita al cráter activo. La comparación de imágenes térmicas con las tomadas en abril del 2012 revela que se ha presentado un aumento en la temperatura del lago, mientras que el campo fumarólico localizado en la pared interna oeste del cráter activo permanece igual. La temperatura máxima alcanzada en el campo de fumarolas ronda los 170 °C, similar a las de abril del 2012 (Figura 15.3.).

A pesar de no haberse observado erupciones freáticas durante la visita, el lago ácido presenta una gran actividad. Su temperatura promedio es de 46 °C, alcanzando picos máximos de 48,7 °C en los sectores donde hay celdas convectivas. El pH medido fue de 0. En la superficie del lago se observó una gran cantidad de azufre flotando. El color del lago es celeste grisáceo, con tonos de gris oscuro en los puntos más calientes (Figura 15.3.). Se estima que nivel del lago con respecto al mes de abril sufrió un descenso y una pérdida de 35 000 metros cúbicos de agua a pesar de la época lluviosa.

15.5. Conclusiones

No se excluye que la energía liberada por el Terremoto de Sámara del 5 de setiembre del 2012 ocasione cambios y perturben al menos los sistemas hidrotermales de los volcanes activos, provocando aumento de temperatura de fluidos (agua y gases), y otros cambios a mediano plazo.

Se recomienda que el acceso a los cráteres Rincón de la Vieja y Turrialba se mantenga restringido. La Red Sismológica Nacional continuará realizando los trabajos de vigilancia constante en todos los volcanes activos de Costa Rica.

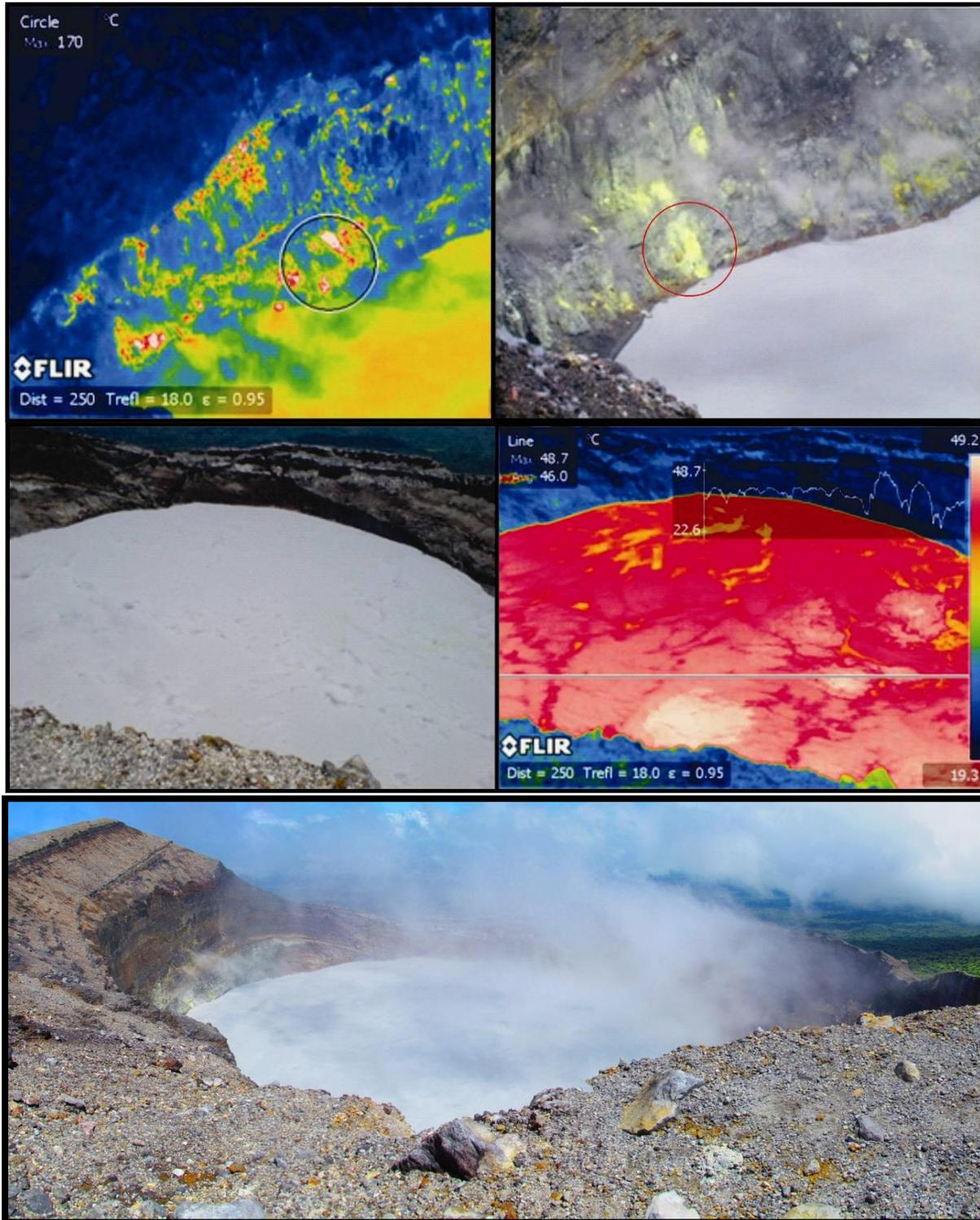


Figura 15.3. Arriba: Imagen térmica y normal del campo fumarólico del Volcán Rincón de la Vieja. Al centro: Laguna ácida en el cráter activo e imagen térmica donde se observan las celdas convectivas, principalmente en los sectores sur y este del lago. Abajo: Vista panorámica del cráter activo con fuerte desgasificación, mirando hacia el norte.



16. EFECTOS DEL TERREMOTO EN LOS CANTONES DE GRECIA Y SARCHÍ

Giovanni Peraldo Huertas^a y Olman Arias Molina^b

a: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

b: Investigación y Desarrollo (I+D), Instituto Costarricense de Electricidad

El terremoto del 5 de setiembre de 2012 (M_w 7,6) con epicentro frente a la península de Nicoya, generó importantes efectos en la infraestructura ubicada en las laderas de las faldas del sur de los macizos del Poás y Barva. Se inspeccionaron algunas comunidades del cantón de Valverde Vega y una escuela ubicada en el cantón de Grecia. Estas observaciones fueron realizadas dentro del proyecto de investigación número 830-B0-055 “*Amenaza de deslizamientos en el área central del país*”, inscrito en el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG) y la Escuela Centroamericana de Geología, ambos de la Universidad de Costa Rica.

La geología del área está constituida por litologías volcánicas, como depósitos laháricos y piroclásticos que, por meteorización, generan suelos potentes. Los patrones de drenaje son paralelos y forman filas principales de orientaciones preferenciales nornoroeste-sursureste, que presentan superficies planas y muchas de ellas forman divisorias filosas tipo lomos de cerdo. Las laderas de dichas filas son de fuerte a muy fuerte pendiente. Muchas de esas filas han sido usadas para desarrollos urbanos, que han ocupado sus laderas de fuerte pendiente o sus áreas superiores generalmente angostas y planas. Con el sismo del 5 de setiembre, algunos barrios del centro de Valverde Vega y ubicados sobre dichas morfologías fueron severamente afectados, tales como Rincón de Alpízar, Calle Cooperativa y Calle Colegio Técnico, por destrucción parcial o total de viviendas (Figura 16.1.). Efectos de sitio y reactivación de cabeceras de deslizamientos son los aspectos que se reconocen como los causantes de los daños en viviendas. En cuanto a los deslizamientos, el cantón de Valverde Vega se ha visto afectado a nivel histórico por varios de ellos.

El Cuadro 16.1. muestra información histórica sobre deslizamientos en el área del actual cantón Valverde Vega. De este cuadro se desprende que el área, por su geomorfología y litología, genera problemas de inestabilidad de laderas en respuesta a sismicidad originada en el área del cantón o en zonas sísmicas distantes. El hecho de que en 1911 y 1912 ocurrió sismicidad en la vecindad y luego en 1913 se reportó actividad sísmica local, es un dato de sumo interés para estudiar el área con un enfoque de neotectónica, pues de existir fallamiento activo adicional al conocido, este puede reactivarse como respuesta a grandes sismos regionales.



Figura 16.1. Algunos ejemplos de daños en infraestructura pública y viviendas en los cantones Grecia y Valverde Vega. A y B): un sector afectado de la escuela José Manuel Peralta de Grecia. C y D) Relleno fallado en una finca de viveros en Sarchí. E, F, G y H) Viviendas afectadas en Rincón de Alpizar, Valverde Vega. I) Posible reactivación de deslizamiento en Rincón de Alpizar, afectando dos viviendas en ese sector de Valverde Vega. J) Posible corrimiento de corona en Calle Colegio Técnico.



Cuadro 16.1. Deslizamientos históricos y su relación con sismicidad y lluvias en la cercanía a Sarchí. Tomado de Peraldo & Rojas (2000).

Fecha	Ubicación	Comentarios
1911-08-28	Bajos del Toro	Sobre cauce río Segundo, disparados por el terremoto de ese día, cuyo epicentro estuvo en Bajos del Toro.
1912-06-06	Cabecera y parte media del río Sarchí sitio conocido como Las Chorreras.	Debido al Terremoto de Sarchí, en las cabeceras del río Sarchí aproximadamente se deslizaron 300 manzanas de terreno. Hubo seis muertos por flujo de lodo en el río Sarchí. También producto de ese terremoto se activaron deslizamientos que afectaron caminos, tales como el que comunica Sarchí y Grecia, entre Grecia y Toro Amarillo.
1913-03-20	Cabecera río Sarchí	Deslizamientos que generaron flujos de lodo por el río Sarchí. En esos días se reportaron por los vecinos de las cercanías pequeños temblores acompañados por retumbos que pudieron ser la causa del disparo de estos deslizamientos.
1924-03-04	Bajos del Toro	El mismo día del sismo de San Casimiro del 4 de marzo de 1924, se reportan deslizamientos en Bajos del Toro. En las referencias de la época son denominados como importantes y que obstruyeron varios ríos.
1930-12-20	Carretera Grecia - Sarchí	Producto de lluvias y se reportan como pequeños.
1933-10-04	Carretera Grecia - Sarchí	Producto de lluvias y se reportan como grandes.
1955-01-03	Sarchí norte	La información específica que una ladera de un cerro se deslizó sobre la casa de la familia González Segura, matando a dos de sus miembros. No se indica si fue por lluvias.
1955-09-01	Bajos del Toro	Producto del terremoto, flujos de lodo transitaron por el río Segundo.
1955-10-17	Entre Sarchí y Toro Amarillo y entre los ríos Colorado y Sarchí.	En el primero hay 12 km de vía con obstáculos. Debido a un huracán de la época.

De las observaciones realizadas se concluye que los gobiernos locales deben desestimular el crecimiento en áreas de fortísima pendiente (laderas, filas) y es importante una zonificación del comportamiento del suelo ante la sollicitación sísmica (amplificación, aceleraciones mayores a la gravedad, resonancia, etc.). También ya es tiempo de considerar un código geomorfológico para la construcción, pues la ubicación de viviendas aún no cuenta con una legislación adecuada y queda al criterio del profesional encargado. Además, queda claro que los escenarios de riesgo



por considerar para un terremoto ubicado en una zona sísmica de subducción, producirán efectos importantes a distancia y esto debe tomarse en cuenta para poblaciones ubicadas en áreas que generarán efectos de sitio perniciosos para el desarrollo urbano y productivo. Todo esto con el fin de mejorar los instrumentos de ordenamiento existentes para las entidades públicas que intervienen en aspectos de ordenamiento territorial. De hecho, Mideplan (que está en discusiones importantes sobre el desarrollo futuro de la Gran Área Metropolitana) no puede dejar pasar esta experiencia del Terremoto de Sámara y formar un foro de discusión al respecto.

Tomar en cuenta la geomorfología genera, necesariamente, un mayor conocimiento sobre las laderas inestables, lo que es vital para redireccionar el crecimiento urbano en el país. También debe realizarse un profuso estudio de la sismicidad y neotectónica local con el fin de estudiar las zonas sísmicas fuente de los sismos de Bajos del Toro (ya reestudiadas con cierto detalle por Montero et al., 2010), y la sismicidad de 1913 en las cabeceras del río Sarchí.

16.1. Referencias

- Montero, W., Soto, G.J., Alvarado, G.E. & Rojas, W., 2010: División del deslizamiento tectónico y transtensión en el macizo del volcán Poás (Costa Rica), basado en estudios neotectónicos y de sismicidad histórica. – Revista Geológica de América Central, 43: 13-36.
- Peraldo, G. & Rojas E., 2000: Catálogo de deslizamientos de Costa Rica, 1772 –1960. - Informe Semestral Instituto Geográfico Nacional (IGN), 36: 123-171.



17. APOYO PSICOSOCIAL A LOS AFECTADOS POR EL TERREMOTO

Mario Fernández^{a,c}, Lorena Sáenz^b, Marco Carranza^b, Cristina Matamoros^b, Oscar Durán^c, Marlen Brenes^a, Andrea Alfaro^b, Carolina Solís^b, Stephanie Macluf^b, Auria Zárate^b, Diana Montealegre^b, Laura Hernández^b, Vanessa Angulo^b, Daniel Chavarría^b, Diseiry Fernández^b, Evelyn Rivera^b, Leonardo Umaña^d, María Fernanda Meneses^e, Patricia Zamora^e, Harold Suárez^e, Augusto Benavides^e & Edward Ruiz^e

a: RSN, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

b: Escuela de Psicología, Universidad de Costa Rica

c: Programa Preventec, Universidad de Costa Rica

d: Escuela de Sociología, Universidad de Costa Rica

e: Maestría en Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias, Universidad de Costa Rica

Se llevó a cabo intervención psicosocial en comunidades del cantón de Santa Cruz de Guanacaste, del distrito de Cóbano de la provincia de Puntarenas (Brigada de la UCR) y Nicoya (Brigada del Colegio de Psicólogos) por disposición de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), a partir de una disposición generada desde el Comité Asesor Técnico de Apoyo Psicosocial (CATAPS), lo que implicó acompañar a las personas afectadas por el terremoto, disipar rumores y temores y contribuir con el manejo de las diversas emociones de las personas, provocadas por el terremoto del 5 de setiembre. La actividad fue realizada por la Brigada de Intervención Psicosocial en Emergencias y Desastres de la Escuela de Psicología de la Universidad de Costa Rica entre los días sábado 8 de setiembre y miércoles 26 de setiembre, y el Colegio de Psicólogos los días 21-23 de setiembre. Los acompañaron miembros de la Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR) y del Programa Preventec.

Esta es una actividad estrictamente necesaria porque después de la manifestación de una amenaza, muchas personas quedan con grandes temores, dudas, angustias, ansiedad, incertidumbre, desinformación y, en muchos casos, con un gran sentimiento de soledad. Esta soledad podría deberse a que nadie acompañó a los afectados durante ni después del evento amenazante. Algunas personas lloran, otras no pueden conciliar el sueño y otras experimentan un gran cansancio. Mientras unos no pueden dormir, otros caen en un profundo sueño, producto del gran esfuerzo mental que hicieron al momento del evento. En fin, un evento de gran magnitud, natural o creado por el ser humano, altera el estado de las personas y les quita la paz y la tranquilidad.

La intervención se hizo para ayudar a los afectados a controlar sus emociones y a volver a la paz y la tranquilidad, lo cual podría resultar muy difícil sin ayuda profesional. Entre los objetivos estaba también capacitar a actores locales para manejar estas situaciones y contribuir con la organización comunal para el mismo efecto.



El trabajo se hizo mediante sesiones que iniciaron con la intervención del especialista en Sismología, que en algunos casos hizo una presentación sobre sismos y tsunamis y en otros se abocó desde el inicio a evacuar dudas y consultas. Posteriormente un funcionario de Preventec (solamente para las intervenciones de la brigada de la UCR) exponía lineamientos generales sobre manejo de emergencias y organización requerida para ello. Finalmente, el grupo de psicólogos atendía a las personas afectadas.

Gracias a este trabajo se capacitó a una brigada de psicólogos y sociólogos de Guanacaste y se atendieron las comunidades de Ostional, Marbella, Lagarto, Tamarindo, Nosara, Sámara, Santa Cruz, Cóbano, Montezuma y Santa Teresa de Cóbano.

17.1. Metodología

El primer paso de la actividad realizada fue participar en una reunión del Comité Asesor Técnico de Apoyo Psicosocial (CATAPS) de la CNE, en la que se asignó a la brigada de la UCR el cantón de Santa Cruz y los distritos de Cóbano, Paquera y Lepanto y a la brigada del Colegio de Psicólogos, Nicoya. Luego se gestionaron los recursos, y la brigada de la UCR y Preventec definieron el plan de trabajo, donde se determinó el abordaje:

- 1 – Un especialista en sismología proporcionaría información técnica para disipar rumores y reducir ansiedad de los afectados por el terremoto y contestaría las preguntas de los asistentes, que propiciaron amplios comentarios sobre los temas antes indicados.
- 2 – Un profesional haría una sencilla presentación sobre planes de emergencia locales y nacionales útiles y sistemas de comandos de incidentes.
- 3 – Los psicólogos hicieron una intervención sobre control de emociones para atender individual y colectivamente los traumas de los afectados. Se apoyaron en dinámicas de grupo y en contenciones individualizadas, pero contaron con la ayuda de material lúdico, sobre todo para trabajar con niños.

Con el fin de ejecutar el plan, el grupo se puso en contacto y a la orden de los Comités Municipales de Emergencia, con quienes se coordinó el trabajo en las comunidades. Al término de cada sesión se hizo una autoevaluación de lo realizado y la indispensable devolución a los atendidos.

17.2. Capacitaciones y trabajo comunal de la Brigada de la Universidad de Costa Rica

- 1 - Capacitación a psicólogos y sociólogos de Guanacaste.

La primera actividad realizada por el grupo enviado a la zona afectada fue una capacitación a miembros de la Asociación de Psicólogos de Guanacaste (sábado 8) en la sede de la Universidad de Costa Rica en Liberia (Figura 17.1.). Al menos 20 psicólogos de Guanacaste



fueron atendidos por estrés post-terremoto. Se encontró un grupo muy sensible y con sentimientos reprimidos por su rol de guía y líderes ante la emergencia atendida. Su capacitación brindó resultados concretos al día siguiente según informes de los propios atendidos. La importancia de esta actividad radicó en que ella podría tener un efecto multiplicador en la región.



Figura 17.1. Izq.: Capacitación a psicólogos y sociólogos de Guanacaste. Der.: Miembros de la Brigada reunidos con miembros del Comité Local de Emergencias de Santa Cruz. Fotos de Laura Rodríguez, Oficina de Divulgación (ODI) de la UCR.

2 - Llegada a Santa Cruz y reunión con el Comité Municipal de Emergencias

El domingo 9 el grupo llegó a Santa Cruz y se reunió con el coordinador del Comité Municipal de Emergencias del cantón, Dr. Luis Alonso Matarrita (Figura 17.1.). De esta reunión surgió el acuerdo de realizar visitas a las comunidades de Ostional, Marbella, Lagarto y Tamarindo. El local de la Cruz Roja Costarricense se convirtió en la sede de operaciones de la Brigada en Santa Cruz.

3 – Trabajo en Ostional

Ostional es una comunidad muy organizada. Cuando ocurrió el terremoto, sus habitantes y estudiantes de la escuela salieron por su propia cuenta hacia un cerro de 30 metros de altitud y allí estuvieron por mucho tiempo. Sin duda, respondieron muy bien ante el evento adverso.

El 9 de setiembre se visitó la comunidad. En la primera intervención se impartió una charla de sismos y tsunamis a miembros de la comunidad (Figura 17.2.). Se encontró que el principal temor de los habitantes era que ocurriera un tsunami. Se les ayudó a construir planes de emergencia y se logró reunir a los interesados en conformar el Comité Local de Gestión del Riesgo y Atención de Emergencias. Se recopiló la impresión de los niños hacia los adultos de su comunidad y cómo atendieron la emergencia.



El día 13 se visitó de nuevo la comunidad y se realizaron reuniones con sus miembros y visitas a casas. Estas se hicieron en compañía de un grupo de vecinos previamente atendidos, con el fin de que ellos reforzaran el conocimiento adquirido y se capacitaran para ayudar posteriormente a otros. En las casas visitadas se identificaron los peligros existentes y aspectos por mejorar dentro de ellas. Otra acción importante fue evaluar las condiciones del cerro hacia donde escaparon los habitantes de Ostional y la ruta de evacuación hacia él. Se encontró que el cerro reúne buenas condiciones como sitio de evacuación, pero se debe evitar permanecer cerca de una antena de telecomunicaciones ubicada en un sector del cerro.



Figura 17.2. Izq.: Reunión en Ostional el 9 de setiembre (Foto de Laura Rodríguez, ODI, UCR). Der.: Reunión con vecinos de Nosara (Foto de Luis Saénz).

4 - Visita a Nosara

El 10 de setiembre se visitó e Nosara y se participó en una reunión comunal organizada por la CNE (Figura 17.2.). Se hizo la charla sobre sismos y tsunamis y luego se procedió a trabajar en el fortalecimiento y unión de los grupos que hacen intervención en desastres. En esta comunidad se encontró falta de comunicación y unión de los grupos que participan en la gestión local de riesgos y desastres. Preventec desarrolló una dinámica que ayudó a unir la red humana de actores de gestión de riesgo. Un aspecto muy importante de esta reunión es que contó con la presencia de las máximas autoridades del gobierno local, quienes manifestaron gran interés en la gestión de riesgos del cantón Nicoya.

Se atendieron las organizaciones locales para la atención de emergencias de Nosara (Cruz Roja, Alcaldía, Salud, Educación y Comité Local de la Comunidad) y se les suministró información técnica sobre sismos, riesgo por inundación por tsunamis, atención por estrés de los participantes y afectados y se logró establecer el mecanismo formal de comunicación de la comunidad.



5 - Visita a Sámara

Se visitó Sámara del día 10 de setiembre. Se realizó una reunión con habitantes de la comunidad (Figura 17.3.) que estaban ansiosos de explicaciones sobre lo sucedido y lo venidero. Se atendieron las inquietudes de los asistentes (más de 200 personas), se brindó información técnica y científica sobre sismicidad y tsunamis, qué hacer ante estas emergencias y los procesos para elaborar un plan de emergencia, para luego dar paso a la intervención psicosocial y a la organización comunal. Un gran logro de este encuentro fue el fortalecimiento de los comités locales de emergencia.

6 – Visita a Playa Lagarto

Esta comunidad fue visitada el 13 de setiembre para brindar atención psicosocial y conocimiento sobre cómo conformar un plan de emergencias comunal. Se hizo una reunión de diagnóstico con 22 habitantes de la comunidad: pescadores sin cohesión social por problemas entre ellos y falta de recursos, y un comité comunal que se integró años atrás y hasta llegó a hacer simulacros, pero por falta de colaboración de los habitantes dejó de funcionar. Se encontró que esta comunidad ha evacuado en varias ocasiones después de un sismo por la posibilidad de un tsunami, por lo que tienen identificadas a las personas con necesidades especiales y manejan información sobre zonas seguras. Entre las labores realizadas figuran 6 niños atendidos para verificar niveles de estrés post-terremoto, una charla sobre amenazas, vulnerabilidades y riesgos para construir un plan de emergencias local y al menos 7 personas motivadas e interesadas en conformar el comité local. Entre las necesidades identificadas están brindar atención psicosocial a casos específicos, dar seguimiento a los procesos iniciados y gestionar una mejor alerta contra tsunamis, que tome en cuenta a la población en alta mar.

7 - Visita a San Juanillo

También el 13 de setiembre se visitó de San Juanillo. Se hizo una reunión en la escuela que incluyó al personal docente y vecinos de la comunidad que representaron al Comité Local de Emergencias, el Comité de Deportes, un voluntariado religioso, la Asociación de Pescadores y el Comité de Salud. Entre los temas tratados estuvieron la protección de los niños, dudas sobre el terremoto, información sobre terremotos y tsunamis, planes de emergencia y organización comunal. Se motivó a los participantes a reactivar el comité local de emergencias.

Las necesidades esenciales de esta comunidad son mayor capacitación sobre terremotos y tsunamis, eliminar árboles de la zona que consideran segura ante tsunamis, mejorar las condiciones de la zona verde de la escuela y zona de seguridad, realizar más simulacros e



implementar planes de emergencia y evacuación, y gestionar el acceso a un cerro de una finca privada para evacuar en caso de tsunamis.

8 - Visita a Marbella

Esta visita también se realizó el 13 de setiembre. En esta localidad se atendió a los estudiantes del centro educativo así como al personal docente. Se evaluaron las reacciones de las personas atendidas ante el terremoto ocurrido y se les brindó herramientas que podrían utilizar en caso de que ocurriera otro sismo. Se detectó miedo e inseguridad en la población atendida, pero se dieron los primeros pasos para crear el comité local de emergencias y un plan para atender las futuras emergencias. También se propusieron ideas sobre rutas de evacuación y lugares seguros ante tsunami y se identificaron vulnerabilidades estructurales y de planificación ante un evento adverso.

Quedó pendiente facilitar más información técnica sobre sismos y tsunamis, una evaluación profunda de la infraestructura del centro educativo y acompañamiento al cuerpo docente y administrativo.

9 – Intervención en Tamarindo y Playa Langosta

También el 13 se hizo una primera visita a Tamarindo y una reunión con más de 35 gestores de emergencias y riesgos (Figura 17.3.). Los gestores del riesgo quedaron motivados para colaborar con el comité comunal. Se escucharon sus inquietudes y se les transfirió conocimiento sobre el fenómeno sísmico acontecido, el rol de la Universidad ante la emergencia y motivación para implementar un plan de atención de emergencias y la atención de desastres mediante un sistema de comando de incidentes. Las necesidades expresadas por la comunidad son, entre otras: la colaboración de geólogos para la evaluación y validación de la ruta de evacuación establecida; el apoyo en el proceso de divulgación del plan de acción y actividades por realizar por parte del comité; la definición de mecanismos de alertas temprana y sistemas de alarma ante los diferentes tipos de emergencias; la acreditación del grupo como Comité local de Emergencias ante la CNE; y la atención psicosocial por parte de la Brigada de la UCR para el 14 de setiembre.

El 14 de setiembre se hizo otra reunión con el grupo de gestores y algunas otras personas que no habían asistido a la primera reunión y se les ofreció ayuda para evaluar los cerros y las rutas de evacuación. Se impartió la charla sobre tsunamis y sismos y se atendió a varias personas afectadas por el terremoto.



Figura 17.3. Izq.: Concurrida asistencia a la reunión en Sámara. Der.: Charla sobre planes de emergencia en Tamarindo.

10 – Visita a Cóbano

El lunes 24 la Brigada se reunió con el Comité Local de Emergencias en la sede distrital, donde se le expuso el plan de trabajo y se le indicó que Santa Teresa era la comunidad en la que se iba a trabajar. Miembros del comité sugirieron hacer intervenciones en el colegio nocturno y en una reunión de maestros del circuito escolar de Cóbano.

El 25 por la noche se atendió a cerca de 100 estudiantes del Colegio Nocturno de Cóbano, la directora de la escuela y público en general. Esta intervención se limitó a aclarar dudas y contestar preguntas sobre sismos y tsunamis. El 26 por la tarde la Brigada participó en una reunión de los profesores y maestros del circuito escolar de Cóbano, realizada en la Escuela de Cóbano.

11 – Visita a Santa Teresa de Cóbano

A solicitud de educadores de la Escuela de Santa Teresa de Cóbano, se visitó dicha escuela el martes 25. El grupo observó un simulacro de evacuación (Figura 17.4.) dirigido por la encargada del Programa Bosai de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) y de la CNE. Se impartió una charla sobre sismos y tsunamis a estudiantes y educadores del centro educativo y se aclararon dudas al respecto. Miembros de la Brigada atendieron al personal afectado de la escuela. En horas de la tarde se hizo una reunión con todo el personal docente en la que se les mostró material útil para implementar el programa “Retorno a la Alegría” en la escuela y se compartió con ellos los resultados de la intervención y la evaluación de lo actuado por ellos en materia de gestión de riesgos y atención de emergencias.

En Santa Teresa se trabaja en la reducción del riesgo de desastre por tsunamis, liderado por el Comité Local de Emergencias y el Programa Bosai (Figura 17.5.).



Figura 17.4. Izq.: Simulacro de evacuación de la escuela en Santa Teresa. Der.: Simulacro: escapando hacia el cerro. Fotos de Laura Rodríguez, ODI, UCR.

11 – Visita a Montezuma

El miércoles 26 se hizo una visita a Montezuma. Un estudiante externó su preocupación por los daños del hotel donde trabaja y por la afectación del personal de dicho hotel (luego se comprobó que los daños sufridos fueron relativamente insignificantes). Antes de llegar al sitio de interés se hizo un recorrido por la comunidad costera con el fin de observar el grado de afectación de la infraestructura y los habitantes. De lo observado se concluyó que el terremoto prácticamente no causó daños a la infraestructura de esa localidad. Según la percepción del grupo, las personas estaban relativamente tranquilas y no asomaban muestras de grandes temores. Durante el recorrido por Montezuma se observó que hay muy buena rotulación que indica las rutas de evacuación hacia los cerros cercanos (Figura 17.5.). Esto muestra que la comunidad se prepara adecuadamente para enfrentar la amenaza por tsunamis y eso indica que los esfuerzos hechos para gestionar los riesgos no han sido en vano. Esta comunidad cuenta con relieve alto cercano y rutas hacia ellos, lo cual la convierte en un lugar relativamente seguro ante destructivos tsunamis.

12 – Visita a Mal País

Mal País es una pequeña comunidad pesquera ubicada en una franja plana limitada por montañas. Se le visitó con el fin de verificar la salida de gases de una grieta causada por el terremoto, lo que atemorizaba a algunos vecinos. Después de hacer un recorrido por la carretera paralela a la playa se determinó que los efectos del temblor allí fueron mínimos y que el tema de la grieta no era ampliamente conocido. De hecho, la grieta no se encontró. Se le preguntó a vecinos, pero no dieron cuenta de ella.



Figura 17.5. Señales preventivas ante tsunami en Playa Santa Teresa (izq.) y rotulación educativa para el manejo de la amenaza por tsunami en Montezuma (der.).

17.3. Capacitaciones y trabajo comunal de la Brigada del Colegio de Psicólogos

Los días 21 a 23 de setiembre, personal de la RSN estuvo colaborando con el Colegio de Psicólogos, en la visita a 5 comunidades en Nicoya, Nosara y Sámara (Figura 17.6.). En cada pueblo había mucha afectación emocional y física, como nerviosismo, insomnio y cansancio, que llevan a enfermedades como la gastritis. El apoyo psicosocial es de mucha importancia porque ayuda a ver las amenazas de una manera diferente, como algo que se debe enfrentar y no a temer. La parte geológica es muy importante, ya que mucho de ese nerviosismo se debe a mitos que circulan por Guanacaste, como que los sismos son provocados por tres volcanes submarinos que hay en Costa Rica, que solo se libera energía cuando ocurre un sismo mayor a M_w 7,6 y que va a ocurrir una “inversión de placas”.

Se observaron efectos económicos secundarios en Guanacaste, como hoteles vacíos y con ello mucho recorte de personal en lugares como Sámara, o bien pescadores inseguros de salir a trabajar y dejar solas a sus familias por temor a un tsunami.

En un pueblo en Sámara, llamado Chinampas, que no cuenta con puente para acceso, se mostraron muy agradecidos con la brigada y la RSN por haber sido los primeros en visitarlos después del terremoto y en enseñarles sobre los planes de emergencia, en una zona donde muchas casas quedaron afectadas y se presentaron deslizamientos.

Con las charlas, se logra ver tranquilidad en los afectados, al escuchar una explicación apoyada con imágenes, de que podemos tener un terremoto en cualquier lugar de Costa Rica y en cualquier momento, además se despierta un gran interés por elaborar planes de emergencia en comunidad.



Figura 17.6. Izq: Funcionarios del Colegio de Psicólogos con un grupo de afectados por el terremoto, en Nosara el sábado 22 de setiembre. Der.: Grupo de niños organizando un plan de emergencia junto con funcionarias del Colegio de Psicólogos y la RSN en Chinampas, el domingo 23.

17.4. Efectos psicosociales encontrados

-Temor a la ocurrencia de otro gran temblor

En casi todas las comunidades visitadas el temor más evidente de los habitantes era la posibilidad de que ocurriera un sismo de igual magnitud o mayor que el del 5 de setiembre. Esta posibilidad les generaba mucha angustia, la cual les impedía a algunas personas llevar una vida normal.

-Réplicas

Muy ligado al temor antes indicado, las réplicas asociadas al temblor alimentaban el miedo y reavivaban en la mente de las personas la gran sacudida del 5 de setiembre. Cada réplica sentida reproducía la sensación de inestabilidad del suelo y por tanto, aumentaba la inseguridad de quien la sentía. Era tan importante la palabra réplica para ellos, que hasta los niños la usaban con gran frecuencia y facilidad. Pero tampoco faltó algún comentario tendiente a minimizar el temor a las réplicas y alguna broma sobre ellas, quizá hecha como mecanismo de defensa ante lo adverso. Alrededor de este temor surgió la pregunta: ¿Cuánto tiempo requerían las placas para estabilizarse?

-Temor a la llegada de un tsunami

Debido a que la población costarricense ya ha comprendido que la amenaza por tsunamis es real y que un tsunami generado por un temblor costero los puede afectar, el terremoto del 5 de setiembre alimentó en la mente de los residentes costeros el temor a la ocurrencia de un tsunami. Este temor fue típico en todas las comunidades costeras. En Ostional, como ya se mencionó, la mayor parte, si no toda la población, huyó hacia un cerro después del terremoto y allí



permanecieron por mucho tiempo debido al temor indicado. Pero una vez que bajaron y volvieron a la cotidianeidad, el temor siguió en sus mentes. También en Sámara y Santa Teresa de Cóbano hubo expresiones de temor por la posibilidad de un tsunami, y despertó muchas inquietudes y preguntas como: ¿Cuánto tiempo tendrían para escapar de un tsunami?, ¿cuál sería la altura mínima a la que podrían ubicarse para que no los alcance el tsunami?, ¿qué tanto tendrían que alejarse de la costa para que no los sorprendiera el tsunami?. Y por primera vez se cuestionaron si el cerro al que se trasladaron era seguro. Apareció otro temor: ser afectados por un deslizamiento tratando de escapar del tsunami.

-Temor al desprendimiento de la península de Nicoya

Durante la presentación en el Colegio Nocturno de Cóbano hubo inquietudes y preguntas sobre la posibilidad de que la península de Nicoya se desprendiera del resto de Costa Rica. No se sabe cuál fue el origen de este temor, pero lo cierto es que estaba en muchas personas. De todos los temores asociados con eventos geológicos encontrados, este fue el más inusual, pero no por ello insignificante.

-Temor a intoxicación por gases

Un habitante de Mal País manifestó que en esta comunidad había temor porque de una grieta formada durante el terremoto salían olores similares a los de las cloacas. Les preocupaba que se trataran de gases nocivos para la salud y que se produjeran muertes por inhalación. Se hizo una visita al lugar pero no se pudo encontrar tal grieta y por tanto, no se pudo confirmar el acontecimiento reportado. De lo observado en el campo y del conocimiento de la geología del lugar, se considera que lo reportado podría corresponder con liberación de gases orgánicos a través de grietas causadas por el temblor.

-Temor al nacimiento de un volcán

Un habitante de Montezuma expresó inquietud por una luminosidad observada en el fondo del océano cerca de Cabo Blanco y manifestó temor por la posibilidad del surgimiento de un volcán, temor que según él, es de muchas personas en Montezuma. A esa distancia de la unión de las placas de Coco y Caribe es prácticamente improbable que nazca un volcán y lo más probable es que dicha luminosidad corresponda con algún banco de peces que provocan tal efecto.

17.5. Expectativas, solicitudes y futuros trabajos

El trabajo de la Brigada de la UCR despertó muchas expectativas en autoridades locales, miembros de comités locales de emergencias y en la población en general. Desde el momento en que se iniciaron las reuniones de coordinación con la dirigencia del Comité Municipal de



Emergencias de Santa Cruz quedó manifiesto el deseo de que la Brigada haga un trabajo permanente en la zona. El acompañamiento a las comunidades realizado por la Brigada es tenido en alta estima y muy apreciado por los afectados, no solo porque les ayudó a retornar a la alegría y a la vida normal, sino porque contar con especialistas de la RSN y del Preventec les ayudó a organizarse y prepararse mejor para enfrentar emergencias como la sucedida. En esta ocasión, la Brigada ofreció un plan de intervención muy completo y bien diseñado, compuesto de una charla técnica sobre terremotos y tsunamis, una charla sobre manejo de emergencias y finalmente, el trabajo de los psicólogos en atención a los afectados. Y esto no solo fue efectivo, sino que agradó por ser una oferta muy completa: los geólogos o sismólogos ayudaron a explicar los fenómenos geológicos y a disipar temores asociados con ellos; un profesional con conocimiento en manejo de emergencias transmitió ideas para la organización comunal y finalmente, los psicólogos entraron directamente al control de las emociones de los afectados.

La unión de esfuerzos produjo un trabajo que impactó y llevó a algunos actores locales a solicitar un trabajo continuo de la Brigada. Del impacto causado y las solicitudes hechas se desprende que la UCR debe tener un proyecto permanente de apoyo psicosocial en crisis, y en el que participen, como se hizo en esta ocasión, la RSN y el Preventec.

17.6. Conclusiones

El Terremoto de Sámara del 5 de setiembre del 2012 no produjo grandes daños materiales ni pérdidas de vidas, pero sí causó un fuerte efecto psicosocial en personas de las provincias de Guanacaste y Puntarenas, entre lo que destacan la angustia y el insomnio, entre otros.

Los principales temores asociados con eventos geológicos encontrados fueron a un futuro gran temblor, a las réplicas, a un tsunami, al desprendimiento de la península de Nicoya del resto del país, a intoxicación por gases y al surgimiento de un volcán submarino.

Es vital y necesario dar apoyo psicosocial después de la ocurrencia de un evento desastroso, que no debe ser considerado como una acción optativa, sino una acción obligatoria de parte de las instituciones del estado con capacidad instalada.

La demanda de atención rebasó la oferta y muchas comunidades se quedaron sin atención por la falta de recursos. Para futuros eventos habrá que contar con más recurso humano o habrá que priorizar los sitios de intervención.

Las personas de las comunidades afectadas ya aceptan tanto la amenaza de terremoto como la de tsunamis, pero requieren mayor información para poder manejar las emergencias y reducir el temor ante la amenaza.



El trabajo de la Brigada de la UCR debe ser permanente y no solamente cuando se manifieste alguna amenaza, por tanto, debe inscribirse un proyecto que permita hacer ese trabajo ininterrumpidamente.

La UCR tiene un valioso recurso humano que puede hacer un gran aporte al bienestar de los costarricenses. La intervención psicosocial en Guanacaste y Puntarenas después del terremoto del 5 de setiembre del 2012 así lo demostró.

17.7. Agradecimientos

A la Rectoría y a las vicerrectorías de Administración y Acción Social de la UCR por el apoyo brindado para poder realizar las intervenciones. Un particular agradecimiento a Wajiha Sasa Marín, directora de la Oficina de Divulgación, por el apoyo con una periodista y una fotógrafa para las intervenciones. Especial reconocimiento a Audi Paniagua por la eficiente gestión de transporte. Agradecimientos también para Laura Rodríguez, José Granados, Juan Carlos Sánchez y Edgar Zeledón por la colaboración brindada.



18. CONCLUSIONES

Los editores

El sismo del día 5 de setiembre del 2012 a las 08:42 (hora local) tuvo una magnitud M_w 7,6, una profundidad de 15,4 km y se ubicó 24 km al sur-suroeste de Sámara, provincia de Guanacaste. Por esto se le ha llamado **Terremoto de Sámara del 2012**. El mecanismo de la ruptura es inverso, típicamente de interplacas Coco-Caribe, en la zona de subducción. En la región del Pacífico Norte de Costa Rica han ocurrido terremotos históricos importantes similares, asociados al proceso de subducción, como el terremoto de 1950 (M_S 7,7) en Nicoya.

La zona de ruptura del Terremoto de Sámara del 2012 está comprendida –una estimación preliminar- entre Punta Guiones al noroeste y Arío al sureste y abarca un área de unos 2200 km². El deslizamiento a lo largo del plano de falla se ha calculado preliminarmente en 2,16 metros. El levantamiento costero observado en la zona mesosísmica fue de 45 cm en Puerto Carrillo de Hojancha y de 75 cm en Playa Pelada. Mientras tanto, en Nicoya, se ha calculado preliminarmente un desplazamiento de 25 cm hacia el suroeste y de unos 5 cm hacia arriba. No ha ocurrido tsunami evidente, aunque los modelos numéricos aplicados para calcular el levantamiento cosísmico y la ocurrencia de un tsunami muestran resultados preliminares con olas con una altura máxima de 0,7 m hasta 1,2 m en la zona de Garza y alrededores, que de haber ocurrido, pudieron haber sido contrarrestadas por el levantamiento de la costa y así no causar inundación tierra adentro.

La intensidad máxima (Mercalli Modificada) estimada para el terremoto fue de VII en la región de la península de Nicoya y Puntarenas, que fue donde se presentaron los mayores daños en edificaciones, casas y carreteras. La mayoría de los daños fueron moderados: licuefacción en las terrazas aluviales de algunos ríos y áreas de arenas costeras, y algunos puentes con daños menores. En la zona noroeste y suroeste de la provincia de Alajuela, en poblaciones como Grecia, Sarchí y Zarcero, por las condiciones especiales de suelos y directividad de las ondas sísmicas, se presentaron importantes daños en viviendas, escuelas y carreteras, por lo que se le estima una intensidad de VII. En el Valle Central se estimó una intensidad de V a VI grados, y aunque hubo alarma en la población y caída de objetos en algunas viviendas y comercios, no se reportaron mayores daños en las construcciones.

Las aceleraciones máximas registradas por los instrumentos del ICE no superaron el 10% de la gravedad en la mayoría de los casos, por lo que no pusieron en riesgo las obras de las plantas de generación eléctrica del ICE. Por otra parte, las edificaciones dañadas en las provincias



de Guanacaste, Puntarenas y Alajuela muestran defectos de construcción evidentes, lo que pone de manifiesto la importancia de respetar el Código Sísmico de Costa Rica para cualquier obra ingenieril en nuestro país. De las observaciones realizadas en Grecia, Sarchí y Zarcero se visualiza además la importancia de considerar un código geomorfológico complementario al Código de Cimentaciones, para con ello desestimular la construcción de edificaciones en zonas de fortísima pendiente, laderas inestables o con suelos que sufren de amplificación ante la sacudida sísmica.

Durante el período de un mes después del terremoto, la RSN localizó 920 sismos en diferentes partes del territorio nacional, incluyendo réplicas y en zonas inducidas a la sismicidad debido al terremoto. La distribución espacial de la gran mayoría de las réplicas se ajusta muy bien a lo planteado por la teoría de los cambios de los esfuerzos de Coulomb y es un elemento importante que delimita y confirma los volúmenes con mayor amenaza sísmica. Del total de sismos ocurridos, 92 fueron reportados sentidos, de los cuales 48 fueron originados por subducción y 44 en fallas locales. Los sismos de mayor tamaño ocurrieron los días 8 y 15 de setiembre, con magnitudes de 5,4 y 5,2, respectivamente, en la zona de ruptura del terremoto. La mayoría de los sismos sentidos por subducción ocurrieron en la zona de la península de Nicoya, mientras que los sismos sentidos originados por fallas locales ocurrieron principalmente en las zona de El Guarco-Desamparados, Tapesco-Zarcero-Atenas, Monteverde-Esparza, norte de Cartago, Puriscal, San Isidro de Pérez Zeledón y en la zona de Isla Calero, frontera con Nicaragua.

Con base en las observaciones sismológicas y geológicas en las cordilleras volcánicas de Costa Rica, resulta evidente que ha habido un conspicuo efecto del Terremoto de Sámara, sobre todo en la sismicidad en sistemas tectónicos conocidos. Esto ha afectado a volcanes que se encuentran a una distancia de 125-210 km al este y noreste, y quizás tan lejos como 300-365 km al norte, en Nicaragua. Los sistemas magmáticos e hidrotermales bajo los cráteres activos parecen haber tenido pocos efectos por el terremoto, incluso aquellos que parecen estar en condiciones metastables, como los volcanes Rincón de la Vieja, Poás y Turrialba. Los cambios parecen obedecer a un patrón de relajamiento tectónico de las áreas cordilleranas, visto de manera indirecta por cambios en sistemas acuíferos perivolcánicos.

Aunque el Terremoto de Sámara no produjo grandes daños materiales ni pérdidas de vidas, sí causó un notable efecto psicosocial en personas de las provincias de Guanacaste y Puntarenas, principalmente angustia e insomnio, entre otros. En conjunto con la RSN y Preventec, brigadas de la UCR y del Colegio de Psicólogos brindaron atención psicosocial a numerosas comunidades afectadas por el terremoto.



El conjunto del conocimiento adquirido y aprendido durante y después de un terremoto como este, no está circunscrito a la tectónica y sismicidad vistos como ciencia básica. Hemos sido testigos a lo largo de las últimas décadas cómo eventos sísmicos de tal naturaleza alimentan asimismo el conocimiento aplicado y los avances tecnológicos. Y en el caso específico de algunos países como EE.UU., Japón y Costa Rica, también su legislación relativa a construcción sismorresistente. Una vez sopesado el amplio espectro de los trabajos aquí contenidos, producidos por investigadores de centros de enseñanza universitaria y de instituciones públicas, resulta explícita esa contribución al conocimiento que será incubado y acrecentado, para el beneficio generacional futuro de Costa Rica.



ANEXO I

COORDENADAS DE ESTACIONES.

#	Estación	Nombre	Red	Lat N	Lon W	m s.n.m.
1	ABE2	Abejonal	RSN	9,704	-84,054	1942
2	ACR	Adams, Golfito	RSN	8,654	-83,168	471
3	ARE1	Arenal	RSN	10,461	-84,719	800
4	AZU	Azuero	RP	7,791	-80,274	14
5	BCIP	Isla Barro Colorado	CU	9,170	-79,840	61
6	BRU2	Barriles, Chiriquí	PA	8,794	-82,691	1320
7	BUEV	Buena Vista	RSN	10,798	-85,407	807
8	BUS	Buena Vista	RSN	9,554	-83,756	3507
9	CBL0	Cabo Blanco	RSN	9,588	-85,092	35
10	CGA2	Cerro Gallo	RSN	10,015	-84,459	1447
11	CHIR	Chiripa	RSN	10,443	-84,908	1059
12	CNGN	Volcán Cerro Negro	NU	12,500	-86,700	515
13	CNGO	Caño Negro	RSN	10,885	-84,791	65
14	COCO	Camp Reventazón	RSN	10,084	-83,557	204
15	CRZ1	La Cruz	RSN	11,077	-85,633	270
16	CUI	Cuipilapa	RSN	10,658	-85,164	520
17	CVTR	Volcán Turrialba	RSN	10,020	-83,759	3233
18	DRK0	Dúrika	RSN	9,263	-83,245	1475
19	EDBA	Buenos Aires	RSN	9,163	-83,275	401
20	EDDO	Dominical	RSN	9,253	-83,864	40
21	EDLM	Las Mercedes	RSN	9,279	-83,589	629
22	EDPN	Palmar Norte	RSN	8,962	-83,457	47
23	EDSV	San Vito	RSN	8,820	-82,972	1024
24	ESPN	Las Esperanzas	NU	12,200	-84,300	45
25	ESTN	Estelí	NU	13,100	-86,370	862



26	GB1A	Rincón	RSN	10,814	-85,401	740
27	GMAL	Guarumal	RP	7,800	-81,250	4
28	GPS2	Hotel Rincón Lodge	RSN	10,753	-85,352	676
29	HDC	Heredia	G	10,000	-84,110	1186
30	ICCO	Isla del Coco	RSN	5,544	-87,057	10
31	ICR3	Volcán Irazú	RSN	9,978	-83,832	3277
32	JCR	Jicaral	RSN	9,851	-85,112	578
33	JTS	Las Juntas	II	10,290	-84,950	340
34	LCR2	La Lucha	RSN	9,742	-84,005	1684
35	MASN	Volcán Masaya	NU	12,000	-86,010	150
36	MARA	Maravilla, Hojancha	RSN	10,020	85,424	629
37	MES	Mesas	RSN	10,741	-85,194	677
38	MGAN	Managua	NU	12,150	-86,250	80
39	PIRO	Piro, Osa	RSN	8,411	-83,320	235
40	PLVR	Palo Verde	RSN	10,348	-85,351	1475
41	PTJ1	Puerto Jiménez	RSN	8,536	-83,302	10
42	PTP	Puerto Armuelles	RP	8,200	-82,870	63
43	QCR1	Quepos	RSN	9,424	-84,166	45
44	RCON	San José del Ojoche	NU	13,480	-86,160	1324
45	RGM0	Gandoca	RSN	9,590	-82,607	17
46	SJS1	San José	RSN	9,939	-84,054	1192
47	SRA1	San Ramón	RSN	10,085	-84,480	1101
48	TBS2	Torre Bellsouth	PA	8,783	-82,648	1397
49	TCS0	Tacares	RSN	10,042	-84,300	889
50	TRB1	Turrubares	RSN	9,914	-84,448	369
51	TRT1	Tortuguero	RSN	10,598	-83,699	63
52	TRT2	Tortuguero	RSN	10,557	-83,735	46
53	UPA	Panamá	RP	8,981	-79,534	41



54	URSC	Urasca	RSN	9,834	-83,768	1577
55	VCR	Vista de Mar	RSN	10,122	-85,631	975
56	VERB	Verbena	RSN	9,945	-83,695	1161
57	VPS4	Poás	RSN	10,165	-84,228	2437
58	VPS5	Poás	RSN	10,190	-84,232	2596
59	VTR0	Volcán Turrialba	RSN	10,017	-83,750	3320
60	VTR1	Volcán Turrialba	RSN	10,017	-83,750	3320
61	ZANG	Las Zanguengas	PC	8,956	-79,867	110

Procedencia de estaciones diferentes de la RSN:

CU: *Caribbean Networks* (USGS).

G: *Geoscope*.

II: IRIS.

NU: INETER, Nicaragua.

PC: Canal de Panamá.

RP: República de Panamá.

PA: Observatorio Sismológico del Occidente de Panamá (OSOP).



ANEXO II

INTENSIDADES MERCALLI MODIFICADA (IMM) DEL TERREMOTO DEL 5 DE SETIEMBRE DEL 2012.

Localidad	Reporte	Intensidad
Bajo Tapasco, Zarcero	Muy fuerte.	VII
Barranca, Puntarenas	Fortísimo.	VII
Cajón, Grecia	Derrumbes, no se reportaron heridos.	VII
Caldera	Se reporta el fenómeno de licuefacción cerca de la playa.	VII
Carmen, Nandayure	Muy fuerte.	VII
Carmona, Nandayure	Muy fuerte.	VII
Carrillo, Guanacaste	Daños en el Hotel Riu.	VII
Cartagena, Guanacaste	Daños en la mampostería de Super Compro. Caída de parte del cielo raso de la iglesia.	VII
Cerro Negro, Nicoya	Muy fuerte y gente conmocionada.	VII
Chomes	Bastante fuerte, población alarmada y caída de objetos.	VII
Cóbano	Muy fuerte.	VII
El Roble	Muy fuerte, caída de objetos.	VII
Grecia	Se percibió de manera fuerte. Población alarmada. Agrietamiento de calles y aceras. Caída de objetos en la sede de la UCR. Se reportan daños en la Iglesia de Grecia y el Puente Rafael.	VII
Hojancha	Sumamente fuerte, caída de objetos. Se reporta la caída de una cámara de refrigeración en una pulpería.	VII
Huacas, Guanacaste	Daño en la mampostería de la sede del ICE.	VII
Jicaral	Muy fuerte. Caída de objetos y daños en casas de madera.	VII
La Argentina, Grecia	Demasiado fuerte.	VII
Maravilla, Hojancha	Caída de objetos de estantes de un comercio, además de la cámara de refrigeración volcada por el sismo en ese sitio. Daños en las bancas del parque.	VII
Mata de Limón, Puntarenas	Caída de puente.	VII
Montezuma	Muy fuerte, caída de objetos varios.	VII



Nandayure, Guanacaste	Muy fuerte, gente alarmada. Caída de objetos. Daños en casas y edificios locales. La torre de la iglesia sufrió daños y la Iglesia de Bellavista sufrió severos daños (no colapsó). En colegios y escuelas hubo daños a nivel de mampostería.	VII
Naranjo	Muy fuerte y largo. Grietas (al menos un metro de profundidad) en calle Coopronaranjo. Daños en casas, daño en la mampostería del almacén Casa Blanca. Derrumbes en San Jerónimo.	VII
Nicoya	Muy fuerte, gente alarmada. Caída de objetos, fracturas en casa viejas. Fracturas en el puente de Nicoya, el puente Santa Marta falseado. Daños importantes en el edificio de CCSS.	VII
Nosara, Guanacaste	Muy fuerte. Se reportan muchas réplicas fuertes. Casas destruidas y el flujo eléctrico fue interrumpido luego del sismo.	VII
Paquera	Fuerte y largo. Daños en estructuras, el colegio sufrió severos daños. Caída de objetos en Mega Súper.	VII
Playa Avellana, cerca de Sámara	Muy fuerte.	VII
Playa Garza, Sámara, Guanacaste	Bastante duro. Las paredes de las viviendas oscilaban mucho.	VII
Playa Pilas	Asentamientos.	VII
Playas del Coco	Daños en cielo raso del Banco Nacional.	VII
Poás	Bastante fuerte y largo. Caída de objetos. Algunos árboles se cayeron, el tendido eléctrico oscilaba con bastante fuerza.	VII
Puntarenas	Hospital con daños en mampostería, daños en elementos estructurales de casas. Asentamientos en playa Tivives. Daños en estructuras de maderas.	VII
Sámara	Colegio destruido Derrumbes.	VII
San Pedro, Poás	Demasiado fuerte, Caída de objetos, algunos derrumbes de tierra.	VII
San Rafael, Guatuso	Muy fuerte.	VII
Santa Bárbara de Santa Cruz	Colapso parcial en la torre de la iglesia.	VII
Santa Cruz, Guanacaste	Daños en mampostería en local comercial	VII



	Tribunales de Justicia: caída de mampostería. La Esperanza de Santa Cruz de Guanacaste caída de objetos.	
Santa Teresas, Cóbano	Se reporta una vivienda colapsada, personas alarmadas. Reportes indican que se percibió fuerte y prolongado.	VII
Sarchí	Caída de objetos Daños en casa de madera en Sarchí Sur.	VII
Sardinal	Muy fuerte.	VII
Tacares de Grecia	Caída de objetos en la sede de la UCR, Muy fuerte y largo, caída de objetos, se cortó el servicio de telefonía y eléctrico un buen rato.	VII
Tamarindo	Supermercados con muchas pérdidas, la gente saliendo del lugar.	VII
Tambor	Caída de ranchos turísticos.	VII
Valverde Vega	20 viviendas de diferentes poblados dañadas.	VII
Zarcero	Derrumbes en carretera a San Carlos, daños estructurales, caída de objetos y muebles, súper fuerte.	VII
Abangares	Muy fuerte, caída de objetos en la escuela.	VI
Bagaces	Muy fuerte, servicios de telefonía y electricidad fallaron.	VI
Bajo El Rey, Puriscal	Bastante prolongado y fuerte.	VI
Bajo los Rodríguez, San Ramón	Muy fuerte y prolongado.	VI
Barbacoas, Puriscal	Muy fuerte.	VI
Barrio Los Ángeles, San Joaquín de Flores	Muy fuerte, caída de objetos y daños en la mampostería.	VI
Barrio San José, Alajuela	Caída de objetos y muy fuerte.	VI
Barva, Heredia	Muy fuerte.	VI
Bejuco, Parrita	Caída de lámparas en la plaza, caída del cielo raso, el comedor de la escuela destruido.	VI
Belén, Heredia	Muy fuerte y de prolongada duración.	VI
Bijagua, Upala	Muy fuerte y bastante largo.	VI
Canalete, Upala	Se reporta como muy fuerte.	VI
Cañas, Guanacaste	Caída de objetos y muebles, vidrios rotos, se percibió muy fuerte y prolongado. Caída de objetos en supermercado Súper Compro de la localidad.	VI
Cariblanco, Cinchona	Muy fuerte.	VI



Ceiba, Alajuela	Muy fuerte, caída de objetos. No se reportaron daños estructurales.	VI
Cinchona	Muy fuerte.	VI
Ciruelas, Alajuela	Muy fuerte y prolongado.	VI
Concepción de la Palmera, San Carlos	Muy fuerte, problemas con el servicio eléctrico.	VI
Cuidad Quesada, San Carlos	Muy fuerte y largo, caída de objetos. Daños y grietas en viviendas.	VI
El Castillo, La Fortuna de San Carlos	Daños en la infraestructura de algunas viviendas.	VI
Esparza	Fuerte y prolongado. Caída de objetos.	VI
Gamalotillo, Puriscal	Demasiado fuerte.	VI
Garza, Nosara	Muy fuerte, algunos vecinos afirmaron que sus casas casi se derrumban por el fuerte movimiento.	VI
Guácima, Alajuela	Muy fuerte, se reporta la caída de objetos.	VI
Heredia	Gente alarmada. Caída de objetos pesados en DHL. Se reporta la caída de un poste de alumbrado eléctrico, los cables de tendido eléctrico oscilaban con fuerza, además se reporta la suspensión del flujo eléctrico.	VI
Herradura	Se reporta como sentido.	VI
Jacó	Muy fuerte, se percibieron muchas réplicas. Daño en la mampostería del condominio Las Palmas (de trece pisos). Caída de la estantería completa.	VI
La Cruz, Guanacaste	Muy fuerte, caída de objetos. En Huacas, la sede del ICE fue dañada a nivel de mampostería.	VI
La Fortuna, Bagaces	Muy fuerte y largo.	VI
La Fortuna, San Carlos	Muy fuerte. Se reporta una casa caída. Deslizamiento en el flanco oeste del volcán Arenal. Camino agrietado por El Castillo.	VI
La Garita, Alajuela	Bastante largo y fuerte.	VI
La Milpa, Heredia.	Muy fuerte, se reporta la caída de objetos.	VI
La Valencia, Heredia	Muy fuerte.	VI
Las Juntas, Abangares	Muy fuertes. Se reportan derrumbes.	VI
Liberia	Muy fuerte y largo, caída de objetos.	VI
Mastatal, Puriscal	Fuerte, caída de objetos. Sin servicio eléctrico	VI



	después del sismo.	
Montecillos, Alajuela	Muy fuerte, movimiento brusco que casi provoca la caída de objetos.	VI
Monteverde	Muy fuerte, caída de objetos.	VI
Muelle, San Carlos	Muy fuerte y largo.	VI
Nuevo Arenal	Muy fuerte y largo. Los objetos de estantes, armarios y bibliotecas cayeron.	VI
Orotina	Muy fuerte y largo. Se reporta caída de objetos.	VI
Palmares, Alajuela	Daños en el altar de la Iglesia, lo reportan muy fuerte y largo.	VI
Palmira, Cañas	Daños en paredes, caída de objetos.	VI
Parrita	Bastante fuerte y muy largo. No hay caída de objetos.	VI
Playa Herradura	Fuertísimo.	VI
Puriscal	Caída de objetos.	VI
Quebrada Ganado, Garabito	Fuerte, caída de objetos.	VI
Quepos	Fuerte y extenso.	VI
Río Frío	Se movió todo, los árboles se movieron a todos lados.	VI
San Antonio, Heredia	Extenso y fuerte, se reporta un movimiento horizontal.	VI
San Isidro de Heredia	Muy fuerte.	VI
San Luis, Santo Domingo, Heredia	Muy fuerte, caída de objetos.	VI
San Marcos de Tarrazú	Caída de objetos.	VI
San Mateo, Alajuela	Muy fuerte, caída de objetos.	VI
San Pablo, Heredia	Fuerte y prolongado, no hay daños ni caída de objetos.	VI
San Rafael, Alajuela	Demasiado fuerte y continuo.	VI
San Rafael, Heredia	Bastante fuerte, caída de objetos.	VI
San Ramón	Caída de objetos.	VI
Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste	Fuerte.	VI
Santa Rosa, Pocosol	Muy fuerte, parecía que se iba a caer la casa.	VI
Santo Domingo, Heredia	Tan fuerte que se veía la casa moverse, inestabilidad al caminar, hubo caída de objetos.	VI



Santo Domingo, Heredia	Muy fuerte y prolongado, caída de objetos.	VI
Sede Occidente UCR	Daños en tuberías, objetos caídos y otros daños.	VI
Sucre, Ciudad Quesada	Demasiado fuerte, no se podía mantener en pie.	VI
Tilarán	Daños en la Catedral de Tilarán (elemento de la cruz), muy fuerte, tiempo prolongado.	VI
Turrubares	Caída de objetos, muy fuerte.	VI
Upala	Muy Fuerte, caída de objetos y movimientos bruscos de árboles y postes.	VI
Venado, San Carlos	Súper fuerte y muy largo, sin servicio eléctrico y sin señal celular.	VI
Volcán Poás	Bastante fuerte y largo.	VI
Acosta	Muy fuerte, caída de rocas en algunas zonas. Caída de muebles y objetos.	V
Aeropuerto Tobías Bolaños	Bastante fuerte y extenso.	V
Alajuela	Fue percibido bastante fuerte, gente alarmada, dificultad para caminar y caída de objetos. En Coyol hubo daños en mampostería y en la Municipalidad se reporta caída del cielorraso.	V
Alajuelita	La población afirmó sentirlo muy fuerte.	V
Alvarado, Cartago	Bastante fuerte, caída de objetos	V
Aserrí	Bastante fuerte y parecía que todo se iba a caer.	V
Atenas	Algunos daños en los edificios, caída de objetos,	V
Aurora, Heredia	Bastante fuerte.	V
Bahía Ballena	Sentido de manera fuerte e intensa.	V
Barra de Tortuguero	Bastante fuerte.	V
Barrio Amón, San José	Muy fuerte.	V
Barrio Cuba, San José	Bastante fuerte.	V
Barrio La California, San José	Intenso	V
Barrio México	Muy fuerte, mucha duración y caída de objetos.	V
Barrio Rosa Iris, Pérez Zeledón	Muy fuerte, caída de objetos.	V
Barrio San Martín, Alajuela (cerca de los Tribunales)	Muy fuerte, no hubo caída de objetos, se sintió una réplica alrededor de las 10 am.	V
Bataán, Limón	Fallaron los servicios de electricidad y red telefónica, se sintió muy fuerte.	V



Bella Vista, Puntarenas	Fue percibido por la población.	V
Birrisito, Paraíso	Muy fuerte, varias réplicas.	V
Buenos Aires, Puntarenas	Muy fuerte.	V
Caballo Blanco, Cartago	Muy fuerte.	V
Cachí, Cartago	Fuerte.	V
Calle Blancos	Fuerte y extenso, desplazamiento de objetos.	V
Cariari, Pococí	Caída de objetos, ríos agitados y movimiento brusco de la tierra. Movimiento fuerte del tendido eléctrico.	V
Cartago	Muy fuerte y prolongado, personas alarmadas. Según la descripción de ondas, se dan de este a oeste. Caída de objetos y movimiento del tendido eléctrico muy brusco. Tribunales de Justicia evacuados luego del sismo.	V
Cascajal, Coronado	Muy fuerte y largo, caída de objetos.	V
Cervantes	Bastante fuerte, al menos tres réplicas percibidas.	V
Ciudad Cortés	Muy fuerte,	V
Concepción de Tres Ríos	Se percibió muy fuerte.	V
Concepción, La Unión, Cartago	Caída de objetos de los estantes.	V
Coronado	Muy fuerte.	V
Corralillo, Cartago	Muy fuerte.	V
Cot, Cartago	Muy fuerte y caída de varios objetos.	V
Curridabat	Caída de objetos en supermercados y hogares, se percibió muy fuerte y prolongado. Reportan haber sentido una réplica.	V
Desamparados	Población alarmada. Caída de objetos, se percibió largo y fuerte.	V
Dota	Muy fuerte y largo.	V
Escazú	Caída de objetos, muy fuerte y prolongado.	V
Frailles, Desamparados	Ligeramente fuerte y largo, caída de objetos.	V
Guácimo, Limón	No se reporta la caída de objetos, pero si movimiento brusco de objetos. Fue reportado como muy largo y fuerte.	V
Guadalupe, Cartago	No se reportan daños en estructuras.	V
Guadalupe, Goicoechea	Fuerte, se reportan algunos daños en casas. Servicio eléctrico falló después del sismo.	V
Guápiles	Fuerte y largo.	V



Guarco, Cartago	No se aprecian daños estructurales severos.	V
Guayabo, Bagaces	Muy fuerte y largo.	V
Hatillo	Fuerte y largo, objetos colgantes se movieron bruscamente pero no se reportan objetos caídos, reportan movimiento de la tierra como un oleaje.	V
Higuito, Desamparados	Muy fuerte.	V
Horquetas, Sarapiquí	Muy fuerte.	V
ITCR, Cartago	Bastante fuerte, el instituto fue evacuado.	V
Juan Viñas	Muy fuerte y largo. Se reportan constantes réplicas.	V
La Alegría, Siquirres	Se reporta sentido muy fuerte.	V
La Gloria, Cartago	Se reporta como moderado.	V
La Gloria, Juan Viñas	Se reporta como moderado.	V
La Lima, Cartago	Bastante fuerte y extenso.	V
La Unión de Cartago	Caída de objetos.	V
La Unión, Cartago	Muy fuerte, sin caída de objetos.	V
La Uruca	Muy fuerte.	V
Lagunillas, Garabito	Muy fuerte y de prolongada duración.	V
Linda Vista de la Unión, Cartago	Bastante fuerte.	V
Lindavista, Siquirres	Fuerte y extenso.	V
Lindora	Muy fuerte y prolongado.	V
Llorente, Tibás	Dificultad para caminar, muy fuerte y prolongado.	V
Lomas de Cocori, Pérez Zeledón	Muy fuerte.	V
Los Ángeles, Cartago	Muy fuerte y largo.	V
Los Chiles, Upala	Muy fuerte, caída de objetos. Se reportan muchas réplicas sentidas.	V
Lourdes, Montes de Oca	Muy fuerte y largo.	V
Moravia	Muy fuerte, se reportan algunos objetos caídos, algunos se clasifican como pesados (muebles).	V
Ochomogo	Muy fuerte.	V
P.H. Reventazón, Siquirres	Muy fuerte.	V
Pacayas, Alvarado	Muy fuerte y largo. Se reportan algunas	V



	réplicas. Gente alarmada.	
Palermo, Cariari, Pococí	Muy fuerte, pero no se reportan daños.	V
Palmar Norte	Muy fuerte.	V
Paraíso	Fortísimo y muy extenso.	V
Paseo Colón	Largo y fuerte, caída leve de objetos.	V
Pavas	Caída de objetos, (adornos)	V
Pinares, Curridabat	Fortísimo y largo.	V
Pital, San Carlos	Fuerte y largo.	V
Platanillo, Barú	Fuerte y largo.	V
Plaza Víquez, San José	Muy fuerte, percibido por las personas, no hubo caída de objetos.	V
Pocosol de San Carlos	Muy fuerte y prolongado, caída de objetos.	V
Puerto Cortés	Muy fuerte.	V
Puerto Viejo de Sarapiquí	Muy fuerte y prolongado, Caída del puente metálico.	V
Purrál	Fuerte.	V
Río Jiménez, Guácimo, Limón	Muy fuerte, muy prolongado, sin caída de objetos.	V
Rodeo, Vázquez de Coronado	Muy fuerte, largo, hubo caída de objetos pequeños, sentido por todas las personas.	V
Rohmoser	Muy fuerte y largo, no hubo caída de objetos. Los vecinos salieron de sus casas.	V
Sabana Norte	Bastante fuerte, muy largo.	V
Sabanillas, Limoncito, Coto Brus	Caída de muchos objetos.	V
San Carlos	Demasiado fuerte, caída de objetos.	V
San Diego, Tres Ríos	Muy fuerte.	V
San Francisco de Dos Ríos	Largo, como una hamaca, todo en su lugar.	V
San Gerardo, Guápiles	Muy pero muy fuerte y largo.	V
San Ignacio, Acosta	Fuerte y extenso.	V
San Isidro del General, Pérez Zeledón	Bastante fuerte, largo, sin daños en infraestructura, caída de objetos. Algunos objetos en suspensión se movían con fuerza.	V
San Isidro, Vásquez de Coronado	Muy fuerte	V
San José	Un edificio de oficinas diagonal al sur-oeste al	V



	Parque Central presenta desprendimiento de vidrios y capas superficiales de la pared. La estructura fue desalojada y permanece cerrada. También presenta daño el edificio Patterson localizado 12V metros al oeste de la Catedral Metropolitana con fisuras en las paredes interiores en los cinco pisos del inmueble y se rompieron ventanales. En el Club Unión, en las columnas exteriores del edificio, cerraron el paso en parte de la acera por el desprendimiento de lozas de las columnas. En el edificio del Banco de Costa Rica, conocido como el banco negro, también debió cerrarse el paso por las aceras contiguo a la Avenida Segunda y la Central, porque una columna hacia la Avenida Segunda se falseó. Todos los empleados estaban afuera pero se preveía su regreso a las 11 a.m.	
San Juan de la Unión, Cartago	Muy fuerte y largo.	V
San Juan, Tibás	Muy fuerte y prolongado, con reporte de caída de objetos varios.	V
San Lorenzo, Desamparados	Muy fuerte y prolongado.	V
San Miguel, Desamparados	Fuerte, a una vecina se le cayó una pared.	V
San Pablo, Turrubares	Muy fuerte.	V
San Pedro, Montes de Oca	Muy largo y duro, se cayeron cosas.	V
San Pedro, Montes de Oca	Muy fuerte, se reporta la caída de objetos.	V
San Vicente, Moravia	Fuerte, caída de objetos, algunos objetos pequeños sufrieron daños.	V
Santa Ana	Fuerte	V
Santa María, Dota	Fuerte, no cayeron objetos.	V
Sarapiquí	Muy fuerte, dificultad para caminar, de bastante duración.	V
Siquirres	Muy fuerte, y prolongado, sin caída de objetos.	V
Tejar, Cartago	Fuerte y largo.	V
Tibás	Caída de objetos, Muy fuerte, larga duración, caída de varios objetos.	V
Tirrases	Demasiado fuerte, me hizo levantada casa de alto se sacudió muy feo.	V
Tres Ríos	La casa está en un alto y se mecía, se cayeron botellas en la cocina.	V

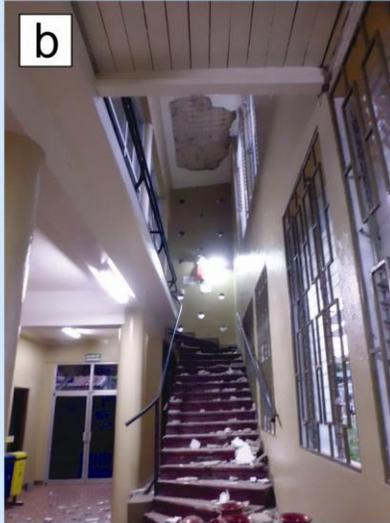


Tuis de Turrialba	Deslizamientos.	V
Turrialba	Muy fuerte, Muy fuerte, cayeron varios objetos.	V
Universidad de Costa Rica	Sede de Ingeniería Eléctrica con daños estructurales, largo, fuerte y balanceado.	V
Villas de Ayarco, Cartago	Terrible, los carros se movían demasiado, caída de objetos.	V
Vista de Mar, Guadalupe	Demasiado fuerte, se fue la luz.	V
Zapote	Caída de cielo raso en Radio Mensajes. Muy fuerte y larga duración, caída de objetos.	V
Boca del Río La Estrella, Limón	Bastante fuerte.	IV
Bocas del Toro, Panamá	Demasiado fuerte.	IV
Cahuita	Fuerte, no se cayeron objetos.	IV
Canoas, Corredores	Se percibió de moderada intensidad.	IV
Chiriquí, Panamá	Prolongado, pero no demasiado fuerte.	IV
Cieneguita, Limón	Largo y fuerte.	IV
Ciudad Neilly	Muy fuerte.	IV
Colegio Técnico Profesional de Limón	Muy fuerte.	IV
Golfito	Fuerte.	IV
Laurel, Paso Canoas	Se sintió de manera moderada, el servicio eléctrico fue intermitente y la red telefonía dejó de funcionar.	IV
Limón	Fuerte y largo, no se reportan daños. Caída de objetos.	IV
Managua, Nicaragua	Bastante fuerte.	IV
Paso Canoas	Fuerte y prolongado. Se percibe bastante vibración de la tierra.	IV
Piedras Blancas, Osa	Muy fuerte.	IV
Puerto Jiménez	Muy fuerte, Fuerte y largo.	IV
Río Claro, Golfito	Largo y fue percibido al inicio de manera suave y luego mucho más fuerte.	IV
Sabalito, Coto Brus	Muy estremecedor. Mucha gente se asustó.	IV
San Vito de Coto Brus	Muy fuerte.	IV
Sierpe, Osa	Moderadamente fuerte y bastante prolongado.	IV
Valle de la Estrella, Limón	Muy fuerte.	IV

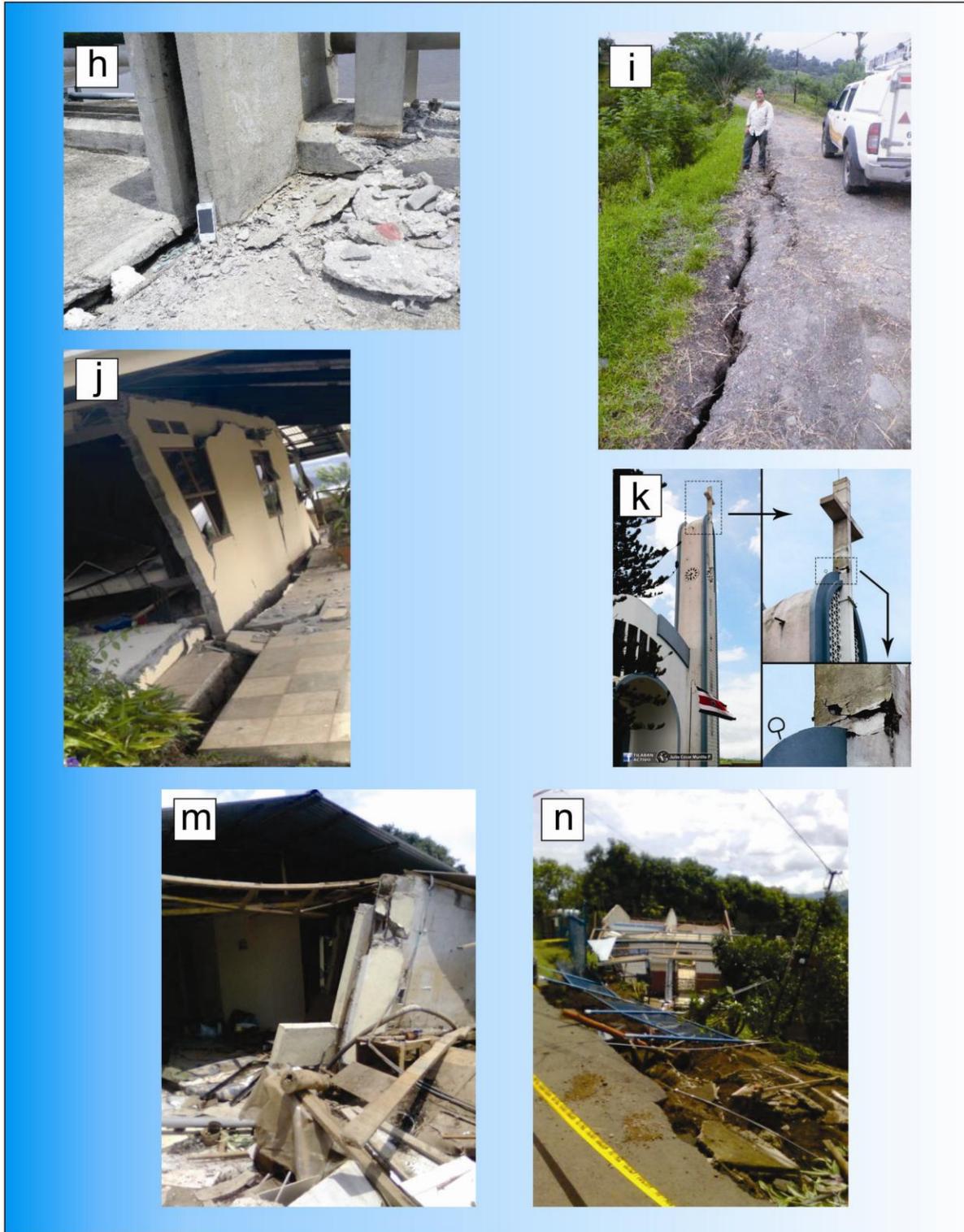


ANEXO III

FOTOGRAFÍAS VARIAS ALUSIVAS AL TERREMOTO



a: Daño en la iglesia de Nicoya (foto de Walter Montero). **b y c:** Daños en el edificio municipal de Nicoya (fotos de Walter Montero y Percy Denyer). **d y e:** Volcancitos de lodo por licuefacción en Playa Garza (fotos de Percy Denyer y Walter Montero). **f y g:** Arenas de playa con licuefacción y asentamiento diferencial, Playa Ostional (fotos del ICE y Percy Denyer).



h: Daños en el puente Río Tempisque (foto del ICE). **i:** Daños en el camino hacia El castillo, suroeste del volcán Arenal (foto del ICE). **j:** Daños en un hotel en El Castillo (foto del ICE). **K:** Daños en la catedral de Tilarán (foto de *Tilarán Activo*, Julio César Murillo). **m** y **n:** Afectación en vivienda con problemas de baja calidad de construcción, en calle Gerónimo Cubero, en Sarchí; deslizamiento en terreno de topografía inclinada, y afectación de viviendas en Rincón Alpizar de Sarchí (fotos de Wilfredo Rojas).



ANEXO IV

SISMOS SENTIDOS DEL 5 DE SETIEMBRE AL 5 DE OCTUBRE DEL 2012.

Fecha	Hora local	LAT	LON	Prof. (km)	M _w	Epicentro	Localidades donde fue reportado sentido
05/09/2012	08:42	9,805	-85,589	20,0	7,6	8 km al sur de Sámará, Guanacaste	Todo el país y también en Nicaragua y Panamá. Se reporta la caída de objetos en localidades del Valle Central, Puntarenas, Cañas, Grecia, Quepos, Tilarán y Turrubares.
05/09/2012	20:07	9,955	-83,830	1,4	3,5	5 km al noroeste de Pacayas, Cartago	Leve en Paraíso de Cartago.
05/09/2012	22:40	09,841	-85,622	12,0	4,5	11 km al suroeste de Sámará, Guanacaste.	Moderado en Nicoya y Hojancha
06/09/2012	03:07	09,850	-85,500	18,7	4,0	4 km sureste de Sámará. Guanacaste.	Monteverde, Nandayure, Liberia, Santa Cruz, Nicoya, Jicaral, Filadelfia, Miramar, Sardinal Carrillo, Poás, Portal de Belén Alajuela y Sabanilla de Montes de Oca.
06/09/2012	14:38	10,182	-84,230	3,4	3,8	8 km oeste de Vara blanca, Heredia.	San Isidro de Alajuela, en San Pedro de Poás y en el Parque Nacional Volcán Poás.
06/09/2012	14:45	09,550	-85,293	23,1	3,1	26 km suroeste de Cóbano.	Aeropuerto Daniel Oduber en Liberia.
06/09/2012	15:51	09,721	-85,766	5,1	3,5	32 km suroeste de Sámará	Nosara, Guanacaste.
06/09/2012	16:32	9,922	-83,848	5,1	3,2	1 km noreste de Sta. Rosa,	Cipreses de Oreamuno,



						Oreamuno	Cartago.
06/09/2012	19:21	09,810	-85,555	12,0	4,4	20 km suroeste de Sámara	Nosara, Sámara, Nicoya, Santa Cruz y muy levemente en San José.
06/09/2012	20:08	9,955	-83,683	13,5	3,2	4 km noreste de Sta. Rosa Turrialba	La Suiza de Turrialba y Sitio Mata de Turrialba.
07/09/2012	13:53	09,959	-85,689	4,5	4,1	10 km sureste Cuajiniquil, Sta. Cruz	Nosara
07/09/2012	20:30	9,838	-84,346	5,2	3,2	2 km sureste de Barbacoas, Puriscal	Santiago de Puriscal y Turrubares.
08/09/2012	03:50	10,133	-85,777	18,5	4,4	19 km sur de Tamarindo	Huacas y Hatillos de Santa Cruz, Guanacaste.
08/09/2012	05:00	09,77	-84,973	18,4	4,0	7 km Suroeste de Paquera.	Puntarenas e Isla Venado.
08/09/2012	06:01	09,817	-85,77	11,3	3,9	27 km suroeste de Sámara	Puerto Carrillo.
08/09/2012	14:29	09,81	-85,54	15,1	5,4	8 km sur de Sámara	Fuerte en: Atenas, Orotina, Nicoya, Puntarenas, Poás, Ciudad Quesada, San Carlos, Grecia, Barva, Bagaces. Moderado en Liberia. Leve en Upala, Santa Ana, Moravia y San Pedro.
09/09/2012	03:29	9,972	-83,820	5,0	3,3	6 km NNW Pacayas, Alvarado	Provincia de Cartago.
09/09/2012	03:31	09,942	-83,831	1,8	3,1	3 km noreste de Oreamuno, Cartago	Provincia de Cartago.
09/09/2012	17:34	10,285	-84,829	6,0	3,9	4 km sur Monteverde, Puntarenas	Monteverde, Puntarenas, Tilarán, Naranjo, Las Juntas de Abangares y Miramar.
10/09/2012	20:14	10,320	-85,838	19,4	4,3	4 km noroeste de Tamarindo, Sta. Cruz	Huacas de Santa Cruz y Nicoya



11/09/2012	15:32	10,358	-85,936	11,1	3,8	15 km noroeste de Tamarindo	Tamarindo y Santa Cruz.
11/09/2012	20:12	9,897	-85,710	11,5	4,7	19 km oeste de Sámará	Santa Cruz, Guanacaste.
11/09/2012	20:18	9,904	-85,676	10,9	4,5	16 km oeste de Sámará	Guanacaste.
11/09/2012	22:10	9,273	-85,339	10,9	4,7	52 km suroeste de Cóbano	Malpaís, Cabo Blanco, Montezuma, Jacó.
12/09/2012	12:29	9,198	-85,357	1,0	4,6	63 km suroeste de Cóbano	Guanacaste.
12/09/2012	12:53	9,387	-83,838	5,1	3,5	14 km oeste de San Isidro, Pérez Zeledón	Sentido en San Isidro del General
12/09/2012	24:43	9,387	-85,680	12,2	4,3	19 km suroeste de Sámará	Guanacaste.
12/09/2012	19:43	9,624	-85,155	12,6	3,9	9 km suroeste de Cóbano	Cóbano, Santa Teresa e Isla de Chira.
13/09/2012	01:36	9,549	-85,898	20,2	4,1	54 km suroeste de Sámará	Nosara.
13/09/2012	06:25	9,873	-85,386	9,5	3,7	15 km Este de Sámará	Paquera, Pavas, Nandayure y Belén de Nicoya.
13/09/2012	11:41	9,405	-85,655	14,0	3,9	54 km suroeste de Sámará	Guanacaste.
14/09/2012	08:58	9,686	-85,328	7,1	4,6	18.5 km Sur Bejuco, Nandayure	Guanacaste, Puntarenas y Esparza.
14/09/2012	14:28	9,657	-85,123	6,0	4,0	4 km suroeste de Cóbano	Guanacaste y Parrita.
14/09/2012	15:45	9,918	-85,659	9,5	4,2	14.7 km nornoroeste Sámará	Nicoya y Sámará.
14/09/2012	17:12	9,803	-85,676	13,5	4,0	18 km suroeste de Sámará	Nicoya, Santa Cruz y Sámará.
14/09/2012	18:03	9,803	-83,945	3,2	3,6	6 km Sur del Tejar de Guarco	Cartago, El Guarco, San Isidro de Dota, El Empalme, Tierra Blanca, San Diego de Tres Ríos, los Ángeles de Cartago y San Rafael de Oreamuno.
15/09/2012	06:42	9,804	-83,945	2,0	3,2	5 km Sur de Tejar	Cartago, El Guarco



						de Guarco	Aguacaliente.
15/09/2012	06:52	9,801	-83,945	1,2	3,5	5 km Sur de Tejar de Guarco	Cartago, El Guarco, Aguacaliente.
15/09/2012	07:23	9,795	-83,986	5,6	3,0	4 km noreste de San Cristóbal, Desamparados	Cartago, El Guarco, Aguacaliente.
15/09/2012	15:22	9,802	-83,941	3,2	3,7	5 km Sur de Tejar del Guarco	Cartago, San Isidro de El Guarco, Aguacaliente.
15/09/2012	23:51	9,994	-85,666	15,9	5,2	10 km sureste de Cuajiniquil, Sta. Cruz	Nicoya, Cañas, Santa Cruz, Grecia, Heredia, Curridabat.
16/09/2012	16:02	9,868	-84,053	4,8	2,6	2 km Sur Patarrá de Desamparados	Curridabat y Desamparados.
16/09/2012	21:10	10,368	-84,128	98,5	3,3	4 km suroeste de La Virgen, Sarapiquí	Curridabat, La Virgen de Sarapiquí.
16/09/2012	21:53	09,881	-84,046	6,0	2,5	1 km suroeste de Patarrá, Desamparados	Curridabat y Desamparados.
16/09/2012	23:04	08,230	-82,912	3,7	3,7	4 km noreste de Peñas, Corredores, Puntarenas.	Zona sur.
17/09/2012	01:13	9,946	-83,831	1,9	3,6	4 km noroeste de Pacayas, Alvarado, Cartago	El Guarco, Cartago, Tres Ríos, San Pedro y Curridabat.
17/09/2012	01:29	9,813	-83,953	1,4	2,5	2 km sur de S. Isidro del Guarco	San Isidro de El Guarco.
17/09/2012	01:45	9,960	-83,823	4,5	2,6	5 km noreste de Sta. Rosa Oreamuno, Cartago	San Isidro de El Guarco.
19/09/2012	03:47	9,909	-85,666	11,2	2,7	15 km noroeste de Sámara, Nicoya	Matapalo de Santa Cruz, Guanacaste.
19/09/2012	08:52	9,883	-84,043	8,6	2,8	1 km suroeste de Patarrá, Desamparados	Desamparados, Aserri y Escazú.
19/09/2012	17:58	10,265	-84,354	10,8	3,4	7 km noreste de Tapesco, Alfaro Ruiz	Zarcelero y Ciudad Quesada.
19/09/2012	22:00	10,272	-84,632	10,1	3,8	7 km noreste de Tapesco, Alfaro Ruiz	Zarcelero, Grecia, Aguas Zarcas, Ciudad Quesada.
20/09/2012	09:15	10,260	-84,352	9,0	4,0	7 km noreste de	Zarcelero y Ciudad



						Tapasco, Alfaro Ruiz	Quesada.
20/09/2012	22:08	09,918	-85,507	18,4	3,4	5 km nornoreste Sámara, Gte.	Sámara y Nicoya.
21/09/2012	12:36	10,120	-85,710	19,3	4,4	21 km suroeste de Santa Cruz, Guanacaste.	Santa Cruz, Nosara, Nandayure de Guanacaste. Leve en Puntarenas.
21/09/2012	16:28	10,104	-85,721	16,4	4,1	23 km suroeste de Santa Cruz, Guanacaste.	Guanacaste.
21/09/2012	23:34	10,072	-84,641	11,0	3,4	4 km noreste de San Jerónimo, Esparza	Miramar de Puntarenas, Naranjo, San Ramón, Palmares, Esparza y Heredia.
22/09/2012	03:57	11,090	-85,858	73,3	4,7	24 km oeste de La Cruz, Guanacaste.	Guanacaste.
22/09/2012	21:43	09,824	-85,639	21,4	4,6	14 km suroeste de Sámara.	Nosara, Sámara, Nandayure, Santa Cruz, Tamarindo, Maravilla de Hojancha, Nicoya y otros poblados de la provincia de Guanacaste.
22/09/2012	22:26	09,821	-83,946	3,4	3,1	3 km suroeste de Tejar, El Guarco.	Leve en Cartago y Tres Ríos.
23/09/2012	08:58	09,867	-85,656	19,4	4,7	13 km oeste de Sámara.	Guanacaste.
23/09/2012	15:35	10,026	-86,209	9,6	4,5	65 km suroeste de Tamarindo, Guanacaste.	Leve en Tamarindo Guanacaste.
24/09/2012	22:06	09,867	-83,939	1,0	2,6	2 km oeste de Cartago centro.	Leve en Cartago.
24/09/2012	22:23	09,920	-83,893	3,8	2,4	1 km noreste de Tierra Blanca, Cartago	Leve en Cartago
25/09/2012	18:11	09,78	-85,99	17,0	4,1	5 km suroeste de Sámara, Guanacaste.	Leve en Guanacaste
25/09/2012	18:20	10,73	-83,69	10,0	4,2	Isla Calero, Limón	Fuerte en Isla Calero y Boca de Sarapiquí.
26/09/2012	12:07	09,938	-84,417	1,2	3,0	4 km sursuroeste	Fuerte en Atenas y



						de Jesús, Atenas	Palmares.
26/09/2012	01:19	09,911	-85,564	20,9	3,5	5 km noroeste de Sámara, Guanacaste.	Leve en Guanacaste.
26/09/2012	03:30	09,975	-83,834	1,4	3,3	6 km norte de Sta. Rosa, Oreamuno, Cartago	Santa Rosa de Oreamuno.
26/09/2012	05:37	09,749	-85,610	16,2	4,4	17 km suroeste de Sámara, Gte.	Nandayure, Santa Cruz, Sámara, playa Carrillo y Nicoya.
26/09/2012	06:25	09,594	-85,841	24,8	4,0	4.6 km suroeste de Sámara, Gte.	Leve en Guanacaste.
28/09/2012	01:48	08,287	-83,017	18,9	4,2	10.7 km noroeste de Las Peñas, Corredores, Puntarenas	Leve en la Zona Sur.
28/09/2012	11:41	09,850	-85,593	19,1	3,8	7.8 km suroeste de Sámara, Guanacaste.	Nicoya.
28/09/2012	03:03	09,934	-85,664	4,5	3,5	14 km sureste de Cuajiniquil, Guanacaste.	Nosara, Sámara, San Juanillo, Garza, Santa Cruz y Hojancha.
28/09/2012	06:59	09,342	-83,925	27,7	3,6	4 km noroeste de Savegre, Aguirre, Puntarenas.	
28/09/2012	13:12	10,73	-83,76	5,0	3,6	Isla Calero, Limón	Puesto Delta Costa Rica, Frontera con Nicaragua.
29/09/2012	10:53	10,748	-83,715	2,9	3,9	Isla Calero, Limón	Puesto Delta Costa Rica, frontera con Nicaragua.
29/09/2012	18:40	10,712	-83,656	9,4	3,7	Isla Calero, Limón	En el puesto Delta Costa Rica.
30/09/2012	10:06	10,719	-83,688	9,0	4,1	Isla Calero, Limón	Puesto Delta Costa Rica y Puerto Viejo de Sarapiquí.
30/09/2012	20:05	10,734	-83,691	8,3	3,9	Isla Calero, Limón	Puerto Viejo de Sarapiquí y Turrialba
30/09/2012	20:07	10,719	-83,680	10,0	3,9	Isla Calero, Limón	Puerto Viejo de Sarapiquí y Turrialba
30/09/2012	20:08	10,742	-83,692	4,9	3,9	Isla Calero, Limón	Puerto Viejo de



							Sarapiquí y Turrialba
30/09/2012	21:20	09,985	-85,762	13,4	3,8	28 km noroeste de Sámara	Guanacaste
01/10/12	14:58	9,973	-85,729	13,0	4,0	7 km al soroeste de Cuajiniquil, Santa Cruz, Guanacaste	Guanacaste
01/10/12	15:01	10,01	-85,800	12,7	3,6	33 km al noroeste de Sámara.	Guanacaste
01/10/12	23:29	10,186	-83,949	11,4	3,0	17 km Sur de Horquetas, Sarapiquí.	San Rafael de Heredia.
02/10/12	16:42	9,988	-85,659	18,8	4,0	18 km noroeste de Sámara.	Península de Nicoya, Guanacaste.
04/10/12	01:36	10,017	-86,060	17,7	3,8	34 km al oeste de Cuajiniquil, Guanacaste.	Leve en Guanacaste
04/10/12	21:33	9,732	-84,008	4,9	2,8	4 km sur de San Cristóbal, Desamparados.	San Pedro de Montes de Oca y San Gabriel de Aserri.
05/10/12	12:32	10,345	-85,354	55,1	4,0	11 km al este de Bolsón de Santa Cruz, Guanacaste.	Leve en Guanacaste.
05/10/12	23:20	9,560	-85,179	15,3	3,5	16 km sur-suroeste de Cóbano.	Cóbano y Paquera, Puntarenas.
05/10/12	23:43	10,286	-85,896	15,0	3,5	10 km suroeste de Tamarindo.	Tamarindo.



ANEXO V

COMUNICADO Y OPINIONES

¿FUE ESTE EL ESPERADO SISMO DE NICOYA?

Quizás el primer trabajo donde se menciona que la región de Nicoya posee un alto potencial para la ocurrencia de un evento sísmico importante, fue el realizado por el sismólogo de la UCR, Walter Montero, publicado en 1986. Otros reconocidos sismólogos siguieron y afinaron esta idea de manera independiente, particularmente entre 1989 y 1991 (p.ej. McCann, Nishenko, Güendel), justificación por la cual se instrumentó la Península con el fin de estudiar el evento de manera adecuada (p.ej. Protti, entre otros). Todo lo anterior estuvo fundamentado en la ocurrencia de eventos aproximadamente cada 50 años (1853, 1900 y 1950), en la baja actividad sísmica, en las mediciones geodésicas de precisión, entre otros argumentos. Los medios noticiosos y algunos científicos utilizaron estos hechos históricos para pronosticar repetitivamente un evento en Nicoya, hecho que “debía” de ocurrir primero antes de 1993 (con una magnitud de 7,5). Como no sucedió, entonces se hablaba que sucedería antes de 1995, después antes del 2000 (magnitud de 7,7), en 1998 antes del 2005 (M 7,7) y, finalmente a partir del 2009, de que acontecería “pronto” con una magnitud creciente en el tiempo con respecto a los años anteriores, ahora de 7,7-7,9.

En un país donde los sismos dañinos se presentan en promedio uno cada 4,1 años (los de subducción cada 7,4 años y los de fallamiento local uno cada 9,5 años), y prácticamente en cualquier lugar del territorio nacional, los pronósticos de los terremotos no contribuyen en nada, más que a incrementar la sicosis pre-sísmica con un deterioro en la calidad de vida, afectación del turismo y depreciación de los terrenos. No es la primera vez que se da un pronóstico ni la primera vez que se acierta, dado que el de Cinchona estaba pronosticado por la RSN a ocurrir, tan solo que no se utilizaron los medios noticiosos. Los informes y publicaciones así lo demuestran.

Los eventos utilizados para el esperado pronóstico (con un error del 36%), fueron similares al del 5 de setiembre del 2012. El evento de 1853 (magnitud desconocida) causó daños en Santa Cruz, Filadelfia y Nicoya, y fue sentido fuerte en Liberia, Bagaces y Cañas, pero no causó estragos. El evento de 1900 (M_s 7,2), causó daños en los lugares afectados por el del siglo XIX, y pérdidas importantes en el comercio en Puntarenas y el Valle Central, y daños menores en las construcciones. Finalmente, el terremoto de 1950 (M_s 7,7) afectó Nicoya y algo a Puntarenas con licuefacción. Al parecer, ninguno de ellos produjo víctimas mortales. Se puede argumentar que porque la población era poca, pero por otro lado, las construcciones era de menor resistencia, por ser muchas de ellas de adobe.

Resulta bien conocido en la literatura científica, que un evento sísmico vuelve a repetirse en donde previamente había ocurrido uno, y que cuando ocurre un evento sísmico importante,



puede ocurrir otro evento similar (gemelo) y suele desestabilizar otros fenómenos geológicos o tectónicos, que se encontraban críticos (meta-estables), próximos a “derramar la gota”. Muchas erupciones volcánicas han llegado a ocurrir antes o después de grandes eventos sísmicos, y de igual modo, otros terremotos pueden dispararse, pero no siempre sucede así, y hay muchos casos en que no aconteció ningún evento extraordinario posterior. Ejemplos de sismos gemelos los tenemos en Costa Rica (p.ej. 1910, 1911-12, 1916, 1939 y 1978), al igual que erupciones volcánicas disparadas por terremotos (caso del Irazú en 1924 y 1933). Ya otras regiones comenzaron a mostrar una mayor actividad sísmica: Tilarán, Cote, Tenorio, Irazú y Turrialba. El mayor problema es que todavía no tenemos todas las herramientas para comprender adecuadamente la dinámica global y local de nuestro planeta.

¿Fue este el esperado terremoto de Nicoya? Claramente, el reciente sismo en Nicoya (M_w 7,6) fue similar a los tres terremotos previos sobre los cuales se basaron los pronósticos, tanto en sus magnitudes, epicentro así como en los daños. Sin embargo, no reunió todos los daños pronosticados y al parecer no agotó la energía estimada o potencial, quedando abierta la posibilidad para otro evento importante, que podría presentarse entre hoy y dentro de 60 años.

Una y otra vez, los sismos desnudan las debilidades constructivas (materiales, diseños) o sobre los lugares poco adecuados en donde se construye, y por otro lado, resaltan las buenas construcciones y su seguridad ante eventos de esta magnitud e intensidad. Se dice que *los terremotos no matan, quienes matan son las construcciones y sus efectos indirectos como los deslizamientos y los tsunamis*. Aunque hoy día sabemos que algunas personas mueren por infartos, resulta claro que la adecuada construcción y en sitios no vulnerables a deslizamientos o licuefacción, es la mejor prevención. Sin lugar a dudas el Código Sísmico es y seguirá siendo, la mejor herramienta para mitigar los efectos de los terremotos y para salvaguardar la vida humana. Claramente, toda infraestructura sufre envejecimiento, y por ello, su continua revisión, reforzamiento, o incluso su re-construcción, medida que debe de ser un proceso continuo, y hacia ello debemos de ir siempre de manera incansable. Los sismos seguirán ocurriendo, con probabilidad en Costa Rica con una frecuencia de entre 20 y 25 terremotos por siglo. El cómo los afrontemos con nuestra infraestructura, es lo que puede marcar la diferencia.

Publicado en: <http://www.rsn.ucr.ac.cr/index.php/en/not?start=15>



Enseñanzas del segundo sismo más grande de la historia costarricense

Sergio Mora y Guillermo A.

El primer estudio científico que menciona a la región de Nicoya con potencial para generar sismos importantes fue publicado en 1996 por el sismólogo W. Montero (Univ. Costa Rica). Otros sismólogos confirmaron la idea entre 1989 y 1996 (McCann, Niskenko, Gündel, Proct) fundamentándose en tres eventos históricos (1853, 1900, 1930).

Algunos de ellos utilizaron estos datos para pronosticar, de manera repetitiva e insistente, la posibilidad de un nuevo sismo grande, con el eco de los medios de comunicación.

Casi como una muletilla, desde 1985 han indicado que "debía" suceder un nuevo terremoto. Dado que el pronóstico fallaba, fue renovado varias veces. Originalmente, se sugirió que tendría una magnitud Mw 7,5 y como no sucedió antes de 1995, a partir de 2000 se aseguró que su magnitud ascendería hasta alrededor de 7,7, lo cual fue reiterado en 2005. Finalmente, a partir de 2010 aseguraron que el sismo acontecería "pronto" y con Mw 7,7 a 7,9 apoyándose en estimaciones empíricas y determinísticas derivadas de observaciones de la deformación cortical obtenidas con GPS y que sugerían una mayor energía acumulada.

Por otra parte, fue observado que la secuencia de noticias entre 1991 y 2009 tenía picos en enero, mayo y julio, en la cercanía de las vacaciones escolares y la Semana Santa, con la particularidad de que, al menos entre 1991 y 2009 no hubo noticias durante el mes de las madres. El período 1999-99 fue el más cargado con este tipo de información.

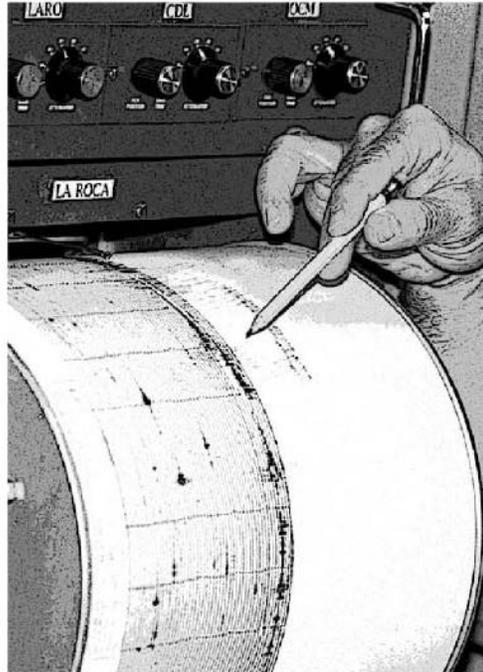
SERGIO MORA Y GUILLERMO ALVARADO
Geólogos especialistas en evaluación de amenazas naturales

Similitud o no con los sismos previos. Los eventos utilizados para calcular el pronóstico (con un error del 86%) del sismo reciente de Hojancha (Mw 7,6, segundo más grande de la historia costarricense, detrás del de Limón Mw 7,7, 1991) son similares solamente en los daños ocasionados. Con una magnitud homogenizada, el sismo de 1853 tendría alrededor de Mw 6,0 y causó algunos daños en Santa Cruz, Filadelfia, Nicoya y fue sentido en Liberia, Bagnacos y Cañas.

El de 1900 (aprox. Mw 6,9) causó daños en los lugares afectados anteriormente y además en el Valle Central y Puntarenas; el de 1950 (Mw 7,3) afectó Nicoya y Puntarenas y produjo licuefacción en algunos terrenos. No hay información sobre víctimas mortales. Estos efectos moderados se pueden explicar por la escasa población y por la considerable profundidad del hipocentro, aunque las construcciones fuesen de menor resistencia (adobe, mampostería no reforzada).

Probabilidad de otro sismo e inducción de la actividad volcánica. Resulta bien conocido en la literatura científica, que luego de un terremoto importante pronto puede suceder otro similar ("gemelo") en un plazo relativamente corto (horas, meses, dos años). Además, suelen desestabilizarse otras estructuras geotectónicas vecinas que se encuentren en equilibrio límite (metaestable), es decir próximas a recibir "la gota final"; igual ocurre con las erupciones volcánicas. Pero no siempre es así; hay muchos casos en que solo acontecieron las réplicas "normales".

Como ejemplos de sismos gemelos en Costa Rica pueden mencionarse los dos de 1910, 1911-12, 1916, 1939, 1941, 1978 y 1988. De igual manera, se pueden citar las erupciones del volcán Irazú de 1924 y 1933, inducidas por sismos importantes. Como consecuencia del sismo de Hojancha se ha observado actividad en Tilarán, Cote, Tenorio, Irazú y Turrialba; pero aún no tenemos todas las herramientas para com-



El pronóstico de terremotos solo contribuye a alimentar el estrés presísmico

prender la geodinámica del planeta, ni cómo incide en las reacciones de nuestro subsuelo.

Dado que el sismo de Hojancha parece no haber agotado toda la energía estimada, queda abierta la posibilidad para otro evento importante, el cual podría presentarse entre hoy y... los próximos 60 años!

Consecuencias. En un país en el que los sismos dañinos se presentan en promedio cada 4,1 años y en el que puede "temblar" prácticamen-

te en cualquier momento y lugar en el territorio nacional, el pronóstico de terremotos solo contribuye a alimentar el estrés presísmico y fomentar una psicosis que distrae la atención de otros asuntos de mayor prioridad, como por ejemplo la gestión integral del riesgo.

Ahora bien, no es la primera vez que se ofrece una "pronosis" sismológica, profesionalmente orientada hacia la evaluación de la amenaza sísmica y para mejorar el diseño estructural de las obras civiles.

Se puede citar el caso del sismo de Cinchona de 2009, en el que los estudios permitieron llegar a la conclusión de que ahí podía suceder un evento importante. Los resultados fueron aplicados exitosa-

mente para reforzar las estructuras energéticas en la región. La diferencia fue que este resultado no se utilizó para hacerse publicidad en los medios noticiosos, considerando que de todas maneras otras regiones del país están siempre bajo la misma situación.

Enseñanzas. La comunidad sismológica e ingenieril costarricense nunca negó la posibilidad de que sucediera un nuevo sismo en la península de Nicoya, tan solo ha insistido en que es más importante enfocar los recursos del país hacia la educación, la construcción de buena calidad y la gestión del riesgo.

Una y otra vez los sismos desnudan las debilidades y fortalezas de las prácticas constructivas (diseño, construcción, materiales, mantenimiento) y de los sitios escogidos para realizarlas.

Es una ocasión propicia para resaltar la ventaja de una buena construcción y de que esa es la mejor prevención. Si el sismo de Hojancha no generó todos los daños pronosticados es porque ya cosechamos los dividendos de haber comenzado a respetar el código de construcción, el cual, junto con el ordenamiento territorial seguirá siendo la mejor herramienta para mitigar el efecto de los terremotos y salvaguardar la vida humana, las inversiones en infraestructura y la sostenibilidad del proceso de desarrollo. Hacia ello debemos enfocarnos siempre, incansablemente.

Los terremotos seguirán sucediendo en Costa Rica, querámoslo o no. Cómo los afrontemos con nuestra infraestructura, es lo que marcará la diferencia.

Aparte de la investigación aplicada, los recursos deben invertirse en la enseñanza acerca de los peligros geológicos en escuelas y colegios, velar por que el código de construcción se aplique y promover la reducción de la vulnerabilidad social, el ordenamiento territorial y la gestión integral del riesgo, y en esto se está trabajando. ■



Una nueva guía para el Código Sísmico

Rolando Mora Chinchilla

des bas- traño y sona con os secto- l conoci- dencias el de las cas nos que a los rdo, nos

las en los líticos y studios e :caracte- stencial- raciones ue su na- porativa nuestras ta por el ividades rrdemos: lodesa y pensión lan Juan

ación an- lode ma- epaso de es signos además pesar del su perso- tes expe- aicos - y procesos oneladas os. Estos el hecho ón más nte, y no ler servi-

Con ocasión del terremoto del 5 de setiembre de 2012 se ha puesto de manifiesto la importancia que tiene la falla de los componentes no estructurales de los edificios. En este sentido, es importante señalar el caso del Hospital Monseñor Sanabria en Puntarenas, cuya estructura ha sobrellevado un evento sísmico de gran magnitud, gracias a que hace un año pasó por un proceso de refuerzo estructural, pero que se tornó inutilizable debido al extenso daño no estructural.

El riesgo de pérdidas de vidas de los ocupantes de un edificio por fallo de los elementos no estructurales puede ser considerable, incluso cuando su estructura presente un buen desempeño durante el sismo.

Adicionalmente, los costos de los daños no estructurales pueden ser mucho mayores de los esperados y estos incluyen la salida de funcionamiento y la interrupción de los servicios, así como, los costos de reparación o reemplazo de componentes y artículos dañados.

La mayoría de los edificios en Costa Rica se construyeron antes de la plena comprensión de que este riesgo existe y antes de que los métodos para reducir dicho riesgo fueran bien comprendidos.

El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) y la Comisión Nacional de Prevención del Riesgo y Atención de Emergencias (CNE) deben abocarse a preparar una guía que complementa el Código Sísmico de Costa Rica, y que sir-

va para ayudar a los ingenieros y arquitectos a evaluar los componentes no estructurales de las edificaciones y recomendar su adecuación cuando exista tal riesgo. De esta manera estaríamos dando pasos muy importantes hacia el enfrentamiento apropiado de la amenaza sísmica.

El objetivo principal de un documento de este tipo es evitar que las fallas no estructurales de la edificación amenacen la vida de las personas cuando el edificio esté sometido a movimientos sísmicos equivalentes a los especificados en el Código Sísmico de Costa Rica. Las fallas de los componentes no estructurales incluyen:

- Caida, vuelco, deslizamiento, rodado o balanceo de componentes que pueden afectar a las personas.
- Bloqueo de rutas de escape.
- Explosiones causadas por fugas de combustibles.

La guía también podría ser utilizada por los propietarios de las edificaciones para ayudarse a identificar los componentes no estructurales de la construcción que pueden ser potencialmente peligrosos, pero las recomendaciones específicas para mejorar la respuesta sísmica deben siempre ser proporcionadas por un ingeniero o arquitecto calificado. ■

rmorach@gmail.com

ROLANDO MORA CHINCHILLA, Director Escudo Centroamericano de Geología, Universidad de Costa Rica

