

Afinamiento del potencial sísmico y monitoreo de la brecha sísmica de Nicoya

VÍCTOR GONZÁLEZ Y MARINO PROTTI

La tectónica regional de América Central está controlada principalmente por el choque de la placa del Coco con la placa del Caribe y el bloque de Panamá (figura 1). Como consecuencia de esta colisión, la placa oceánica del Coco se subduce a velocidades que van desde 70 mm por año frente a Guatemala hasta poco más de 90 mm por año frente a la península de Osa (calculado a partir de De Mets *et al.* [1990]) (figura 1).

A lo largo de este límite de placas es donde ocurren, en Costa Rica, la mayoría de los terremotos de gran magnitud.

La subducción bajo Nicaragua y Costa Rica de litosfera de la placa del Coco, con génesis y características geomórficas diferentes, produce cambios importantes en la zona de interacción con la placa del Caribe y el bloque de Panamá. El acople de la placa del Coco, tanto con la placa del Caribe como con el bloque de Panamá, cambia a lo largo de la zona de subducción desde Nicaragua hasta el

sur de Costa Rica (Protti-Quesada 1991, Protti *et al.* 1995). Estos cambios correlacionan muy bien con las características batimétricas del fondo oceánico que se subduce y están directamente relacionadas con la génesis y la edad de la placa del Coco. La edad de la placa

del Coco controla el ángulo de subducción, la profundidad máxima del área de acople y la profundidad máxima de la sismicidad intraplaca. Asimismo, las características del fondo oceánico influyen en el tamaño y continuidad de las asperezas en la zona de acople (Protti-Quesada 1991).

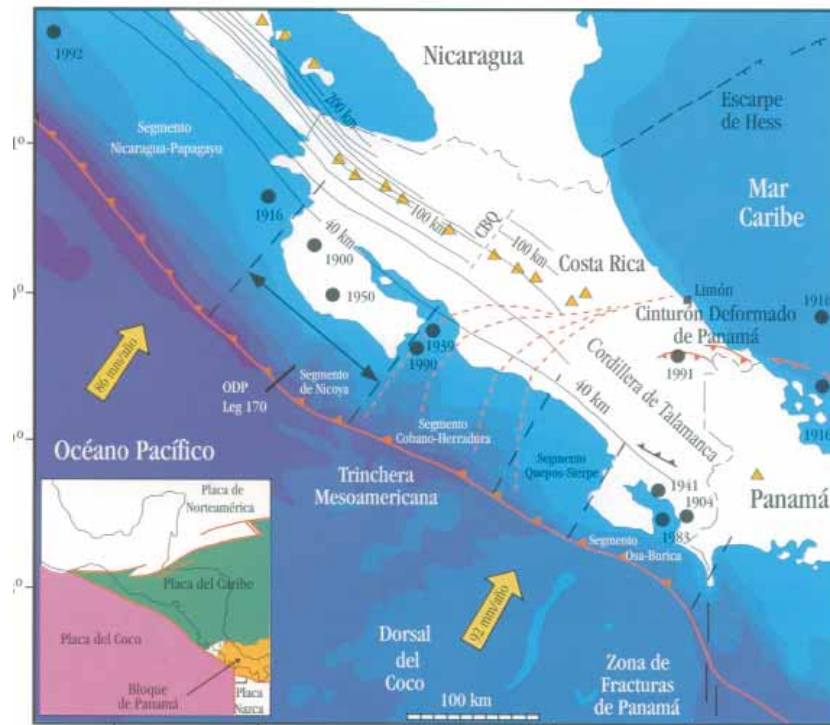
Con base en las diferencias mencionadas anteriormente y en los registros de sismicidad tanto histórica

como instrumental, la zona de subducción en el Pacífico sur de América Central se ha dividido en cinco segmentos (Protti *et al.* 2001) (figura 1): (1) Nicaragua-Papagayo, (2) Nicoya, (3) Cóbano-Herradura, (4) Quepos-Sierpe y (5) Osa-Burica. Litosfera de la placa del Coco creada en la dorsal del Pacífico se subduce por debajo de la placa del Caribe en los dos primeros segmentos, mientras que la placa del Coco creada en la dorsal de Galápagos se subduce por debajo del bloque de Panamá en los dos últimos segmentos y por debajo

de una transición entre la placa del Caribe y el bloque de Panamá en el segmento Cóbano-Herradura.

Bajo el segmento de Nicoya, la placa del Coco que se subduce es relativamente vieja, de batimetría suave y bajo ángulo de subducción, similar al del segmento Nicaragua-Papagayo. Sin embargo, a diferencia del segmento Nicaragua-Papagayo, la existencia de la península de Nicoya en este segmento ejerce una importante carga litostática sobre la superficie de subducción aumen-

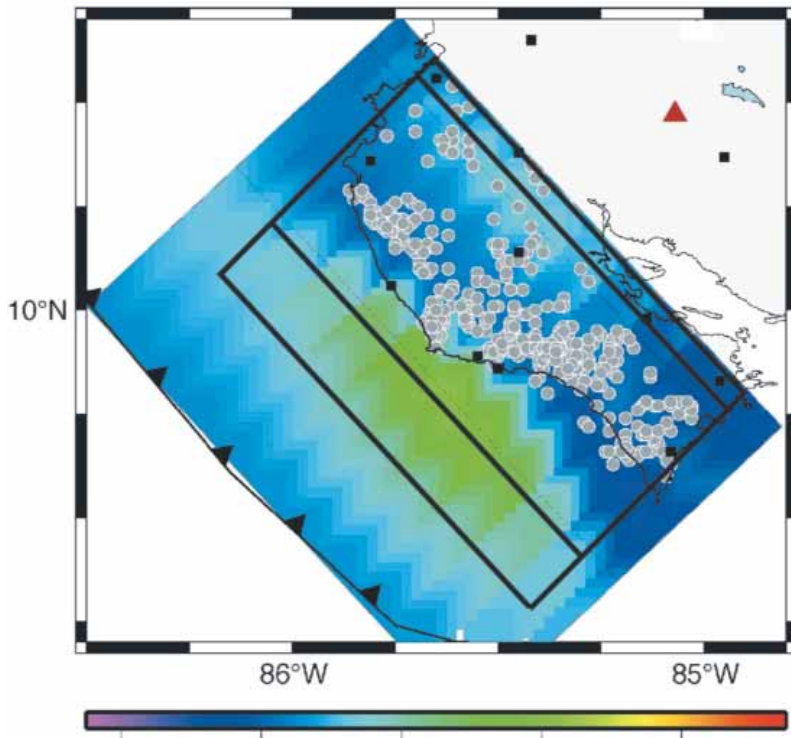
Figura 1. Detalle de la tectónica local de Costa Rica y geometría de la zona Wadati-Benioff.



Los contornos de profundidad de la placa del Coco bajo Costa Rica están dados a intervalos de 20 km, comenzando con el de 40 km. Los triángulos rellenos representan volcanes activos y los círculos rellenos muestran la ubicación de los terremotos con magnitudes mayores a siete 7 grados durante el siglo XX. CBQ señala la Contorsión Brusca de Quesada (tomado de Protti *et al.* 2001).

Víctor González y Marino Protti son geofísicos especialistas en sismología e investigadores en el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de la Universidad Nacional.

Figura 2. Resultados de la inversión de los datos de *gps* indicando dos parches de la brecha sísmica de Nicoya con acoplamiento más fuerte: una frente a la costa a unos 10 km de profundidad y la otra por debajo del valle del Tempisque a unos 35 km de profundidad (Norabuena *et al.* 2004).



Los círculos representan los sismos mejor localizados de la red temporal de Nicoya y los cuadrados los sitios de *gps* utilizados en la inversión. Se presenta además los límites mínimo y máximo del área potencial de ruptura (rectángulos de líneas gruesas) utilizados en este trabajo para la estimación del potencial sísmico.

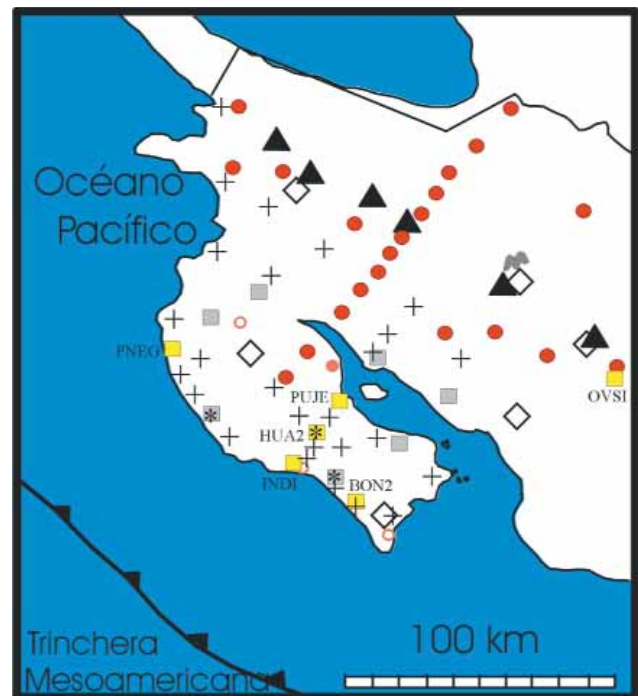
tando así los esfuerzos normales e incrementando, por lo tanto, el acople entre las dos placas (Protti *et al.* 2001). Debido a este fuerte acople el segmento de Nicoya se caracteriza por la generación de sismos de gran magnitud (superior a siete grados) y por una baja actividad sísmica de fondo en los períodos intersísmicos. En este segmento han ocurrido sismos de gran magnitud en 1826, 1853, 1900 y 1950. El sismo de Sámara del 23 de agosto de 1978, de 6,9 grados de magnitud, rompió solo una pequeña porción del segmento de Nicoya (Güendel 1986). Con base en el tamaño del área de ruptura y la magnitud del evento, se estima que este sismo liberó alrededor del seis por ciento de la energía total acumulada hasta esa fecha bajo la península de Nicoya.

La ausencia de un terremoto importante desde octubre de 1950 en el segmento de Nicoya, y la ocurrencia de los sismos en 1990 en la entrada al golfo de Nicoya al sureste, y en 1992 frente a Nicaragua al noroeste, han permitido determinar la extensión geográfica de lo que definieron Protti *et al.* (2001) como la "brecha sísmica de Nicoya". Tanto la magnitud de los terremotos ocurridos en este segmento, su actividad sísmica anormalmente baja durante el período intersísmico, así como la deformación cortical observada, brindan información adicional sobre las características del siguiente terremoto por debajo de la península de Nicoya.

Posterior al trabajo de Protti *et al.* (2001), ha habido nuevos resultados que permiten afinar sus estimaciones del potencial sísmico del segmento de subducción de Nicoya. Contribuciones sismológicas y geodésicas (Newman *et al.* 2002, Iinuma *et al.* 2004, Norabuena *et al.* 2004, DeShone *et al.* 2006) restringen el porcentaje de acoplamiento elástico a $50 \pm 5\%$ y el área potencial de ruptura a $8000 \pm 1500 \text{ km}^2$. Con estos valores y aplicando los mismos algoritmos utilizados por Protti *et al.* (2001), obtenemos que en los próximos cinco años la brecha sísmica de Nicoya tiene potencial para generar un sismo de $7,8 \pm 0,1$ grados de magnitud de momento (M_w).

Para el monitoreo tectónico de la península de Nicoya operamos, conjuntamente con otras instituciones, redes de control geodinámico sísmicas y geodésicas. La red sísmica permanente en los alrededores de la península de Nicoya consiste en cinco estaciones de período corto y componente vertical. De diciembre de 1999 a julio de 2001 los autores de este trabajo e investigadores de la Universidad de California

Figura 3. Red de monitoreo geodinámico de la península de Nicoya.



Estaciones sismológicas: rombos blancos = red permanente de período corto y componente vertical; círculos blancos = estaciones temporales de período corto y tres componentes; círculos rojos = estaciones de banda ancha; asteriscos = estaciones de pozo profundo de período corto y tres componentes. Estaciones de *gps*: cuadrados amarillos = estaciones continuas instaladas; cuadrados grises = estaciones continuas a instalar; cruces = monumentos geodésicos de ocupaciones en campañas.



Destrucción por crecida de río en Pacífico sur, Costa Rica

CNE

en Santa Cruz operaron una red sismológica digital de 20 estaciones en la península de Nicoya, instalada para detallar la geometría de la zona sismogénica por debajo de la península de Nicoya. Actualmente, como parte del proyecto Tucan con las universidades de Boston y Brown, estamos operando una red sismológica de 20 estaciones digitales de banda ancha en el norte y centro de Costa Rica. A finales de 2005 se instalaron, además, junto con la Universidad de California en Santa Cruz y la Universidad de Miami, tres estaciones sísmicas más, y a principios de 2006 instalaremos dos más de superficie y tres estaciones sismológicas de pozo profundo.

Junto con el Laboratorio de Propulsión a Chorro de la Agencia Nacional de Aeronáutica Espacial de Estados Unidos, el Ovsicori-Una ha participado en la ocupación de monumentos geodésicos de una red de *gps* en

y alrededor de la península de Nicoya, la cual, diseñada por Ovsicori-Una específicamente para el seguimiento de la brecha sísmica de Nicoya, ha sido ocupada en 1994, 1996 y 1997 (Lundgren *et al.* 1999) y con participación de la Universidad de Miami y 20 monumentos más, en 2000 y 2003.

Con el fin de incrementar la resolución de las mediciones de deformación y para modelar mejor la ubicación de los límites superior e inferior de la zona sismogénica por debajo de la península de Nicoya, se construyó un perfil denso de monumentos de *gps* a través de la península, perpendicular a la trinchera, para ocupaciones anuales. Este perfil geodésico fue construido en 2001 y ocupado en 2001, 2002, 2003 y 2005, con el apoyo financiero de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón y la asesoría técnica del Centro Ja



Deslizamiento de tierra en el Valle Central, Costa Rica.

CNE

ponés de Ciencias Marinas y Tecnología y el Instituto de Investigación de Terremotos de la Universidad de Tokio. También, con el apoyo de esas tres instituciones japonesas se obtuvo la instrumentación para la instalación de tres estaciones permanentes de *gps* para el registro de la deformación continua y la captura de sismos silenciosos (Protti *et al.* 2004, Protti *et al.* 2005) en los sitios Indi, Hua2 y Puje del perfil geodésico.

Actualmente, junto con las universidades de Miami y de California en Santa Cruz, nos encontramos ampliando la red de estaciones continuas de *gps*: a finales de 2004 se instaló una en Playa Negra (PNEG) y a principios de 2005 otra en Bongo (Bon2). Durante el primer semestre de 2006 se instalarán siete estaciones más completando así una red de 12 con un espaciamiento menor que 25 km (en la figura 3 se muestra la ubicación

de todas las estaciones de la red de monitoreo geodinámico de la brecha sísmica de Nicoya).

Conclusiones: Se ha delimitado la extensión geográfica de la brecha sísmica de Nicoya y se ha ubicado en su contexto tectónico regional. Con base en su tamaño y tasas de deformación, se estima que esta brecha tiene potencial para generar un sismo de magnitud $M_w = 7,8 \pm 0,1$ durante los próximos cinco años. Estamos cumpliendo con el compromiso histórico de documentar lo mejor posible la deformación en la banda de registro más ancha posible (de 100 Hz a decenas de años) y por el mayor tiempo posible, de tal forma que se pueda dejar registros de las fases presísmica, cosísmica y postsísmica del próximo sismo de Nicoya. Esta información será invaluable para la predicción sísmica en Costa Rica y la región del *circumpacífico*.

Referencias bibliográficas

- De Mets, C. *et al.* "Current plate motions", en *Geophys. J. Int.*, 101, 1990.
- DeShon, H. R. *et al.* "Seismogenic zone structure beneath the Nicoya Peninsula, Costa Rica, from 3D local earthquake P- and S-wave tomography", en *Geophysical Journal International*, Vol 164, issue 1, January, 2006.
- Güendel, F. 1986. *Seismotectonics of Costa Rica: an analytical view of the southern terminus of the Middle American Trench*, Tesis doctoral, University of California, Santa Cruz.
- Iinuma, T. *et al.* "Inter-plate coupling in the Nicoya Peninsula, Costa Rica, as deduced from a trans-peninsula GPS experiment", en *Earth and Planetary Science Letters* 223, 2004.
- Lundgren, P. *et al.* "Seismic cycle and plate margin deformation in Costa Rica: GPS observations from 1994 to 1997", en *Jour. Geophys. Res.*, 104-B12, 1999.
- Newman, A. *et al.* "Along-strike variability in the seismogenic zone below Nicoya Peninsula, Costa Rica", en *Geophysical Research Letters*, Vol. 29, No. 20, 2002.
- Norabuena, E. *et al.* "Geodetic and seismic constraints on some seismogenic zone processes in Costa Rica", en *J. Geophys. Res.*, 109, B11403, doi: 10.1029/2003JB002931, 2004.
- Protti-Quesada, J. M. 1991. *Correlation between the age of the subducting Cocos plate and the geometry of the Wadati- Benioff zone under Nicaragua and Costa Rica*, Tesis de Maestría, University of California, Santa Cruz.
- Protti, M., F. Güendel, y K. McNally. "Correlation between the age of the subducting Cocos Plate and the geometry of the Wadati-Benioff zone under Nicaragua and Costa Rica", en Mann, P. (ed.). 1995. *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America*. (Geological Society of America Special Paper 295). Colorado.
- Protti, M., F. Güendel, F. y E. Malavassi. 2001. *Evaluación del potencial sísmico de la Península de Nicoya*. Editorial Funa. Costa Rica.
- Protti, M. *et al.* "A Creep Event on the Shallow Interface of the Nicoya Peninsula, Costa Rica Seismogenic Zone", en *Eos Trans. AGU*, 85(47) (Fall Meet. Suppl., Abstract S41D-07), 2004.
- Protti, M. *et al.* "Silent Seismic Activity Recorded in Costa Rica by a Continuous GPS Network", en *Int. Ass. of Seism. & Phys. Earth Int. General Assembly* (volume of abstracts). 2005.

SUSCRIPCIÓN ANUAL

12 ejemplares: ¢ 4.000

AMBIENiCO

Periodo suscripción: desde _____ hasta _____
(mes) (año) (mes) (año)

Forma de pago: ____ en efectivo, o ____ cheque a nombre de FUNDAUNA o
____ depósito en el Banco Nacional a nombre de FUNDAUNA
cuenta **004-010272-9**, detalle : Proyecto 033506, y enviar copia
de la boleta de depósito al fax 277-3289 (si se hace transferencia
por internet, anotar como oficina la N° 004).

Nombre: _____

Teléfonos: Oficina: _____ Casa: _____ Celular: _____

Fax: _____ Correo electrónico: _____

Correo postal (para envíos): _____

[Enviar este cupón o la información solicitada al fax 277-3289 o
comunicarse con el 277-3688 o con ambientico@una.ac.cr]