

# **Afinamiento del Potencial Sísmico y Monitoreo de la Brecha Sísmica de Nicoya**

Víctor González y Marino Protti  
Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional  
Y  
Grupo Académico Informal OBCIKORY Provisional

## **Resumen**

La brecha sísmica de Nicoya es un segmento de la zona de subducción en el noroeste de Costa Rica. Las últimas tres rupturas produjeron grandes sismos en 1853, 1900 y 1950. Las evidencias que indican la existencia de un fuerte acople sísmico en el segmento de Nicoya son: a) un bajo nivel de sismicidad de fondo; b) el cese repentino de la propagación de las réplicas de los sismos de 1990 y de 1992 justo en los bordes de la brecha sísmica de Nicoya; c) el rápido movimiento de la Península de Nicoya hacia el NE aunado a subsidencia de su costa oeste y levantamiento de la costa este, compatibles con el patrón de deformación elástica resultante de un acoplamiento a lo largo de la interfase por debajo de esa península. Nuevos resultados de investigaciones científicas desde el 2001 han permitido afinar aun más el potencial de esta brecha sísmica. Mantenemos una red de monitoreo geodinámico en y alrededor de la península de Nicoya para el registro de las deformaciones pre-, co- y post-sísmicas.

## Marco tectónico regional

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 (Fig. 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] (Fig. 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 litósfera 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. Así mismo, 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). Estos segmentos (Fig. 1) son: 1) Nicaragua-Papagayo, 2) Nicoya, 3) Cóbano-Herradura, 4) Quepos-Sierpe y 5) Osa-Burica. Litósfera 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 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 aumentando 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 7 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 6% de la energía total acumulada, hasta esa fecha, bajo la Península de Nicoya.

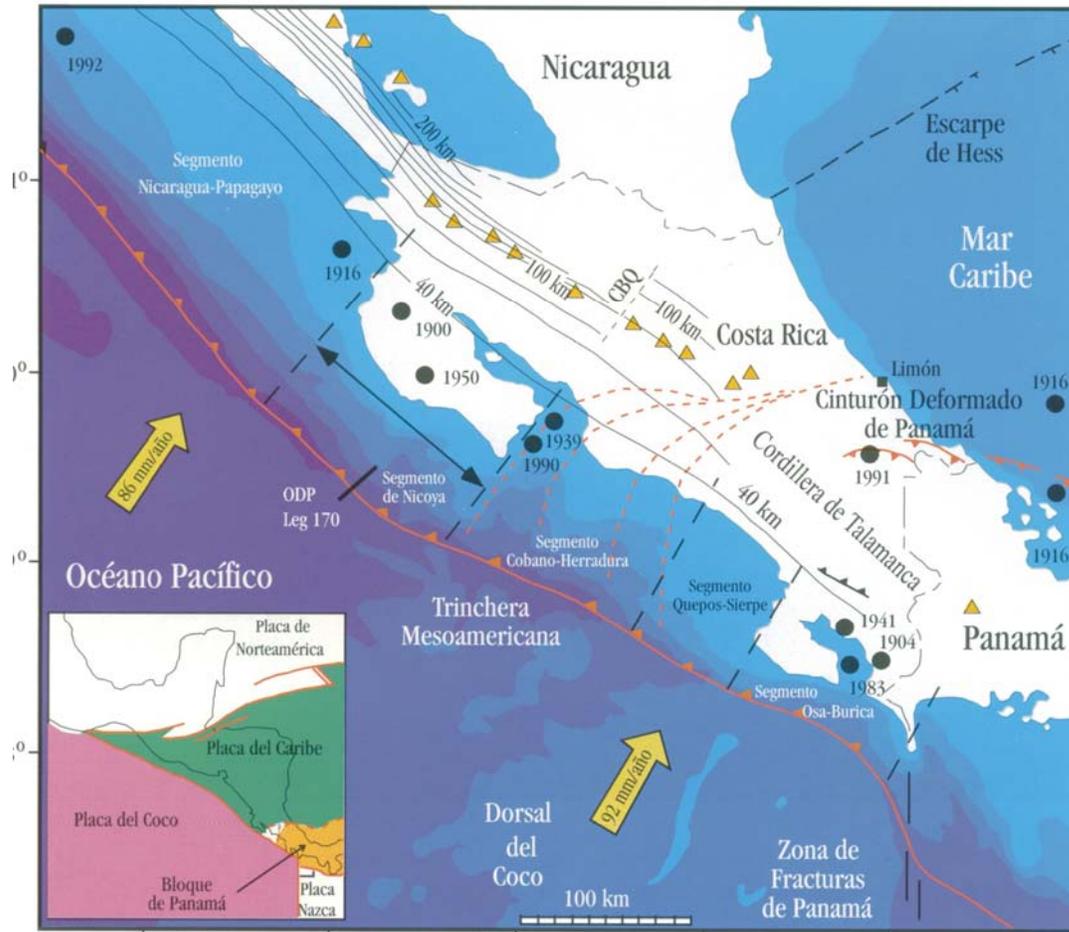


Figura. 1. Detalle de la tectónica local de Costa Rica y geometría de la zona Wadati-Benioff. Los contornos de profundidad de la placa del Coco bajo Costa Rica están dados a intervalos de 20 Km., comenzando con el de 40 Km. Los triángulos rellenos representan volcanes activos y los círculos rellenos muestran la ubicación de los terremotos con magnitudes mayores que 7 grados durante el siglo XX. CBQ señala la Contorsión Brusca de Quesada (tomado de Protti et al., 2001).

## Afinamiento del potencial de la brecha sísmica 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, a la entrada al Golfo de Nicoya al SE y en 1992, frente a Nicaragua al NO, 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, han 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; Inuma 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 mismo algoritmos utilizados por Protti et al. 2001, obtenemos que, para los próximos 5 años, la brecha sísmica de Nicoya tiene potencial para generar un sismo de  $7.8 \pm 0.1$  grados de magnitud de momento (Mw).

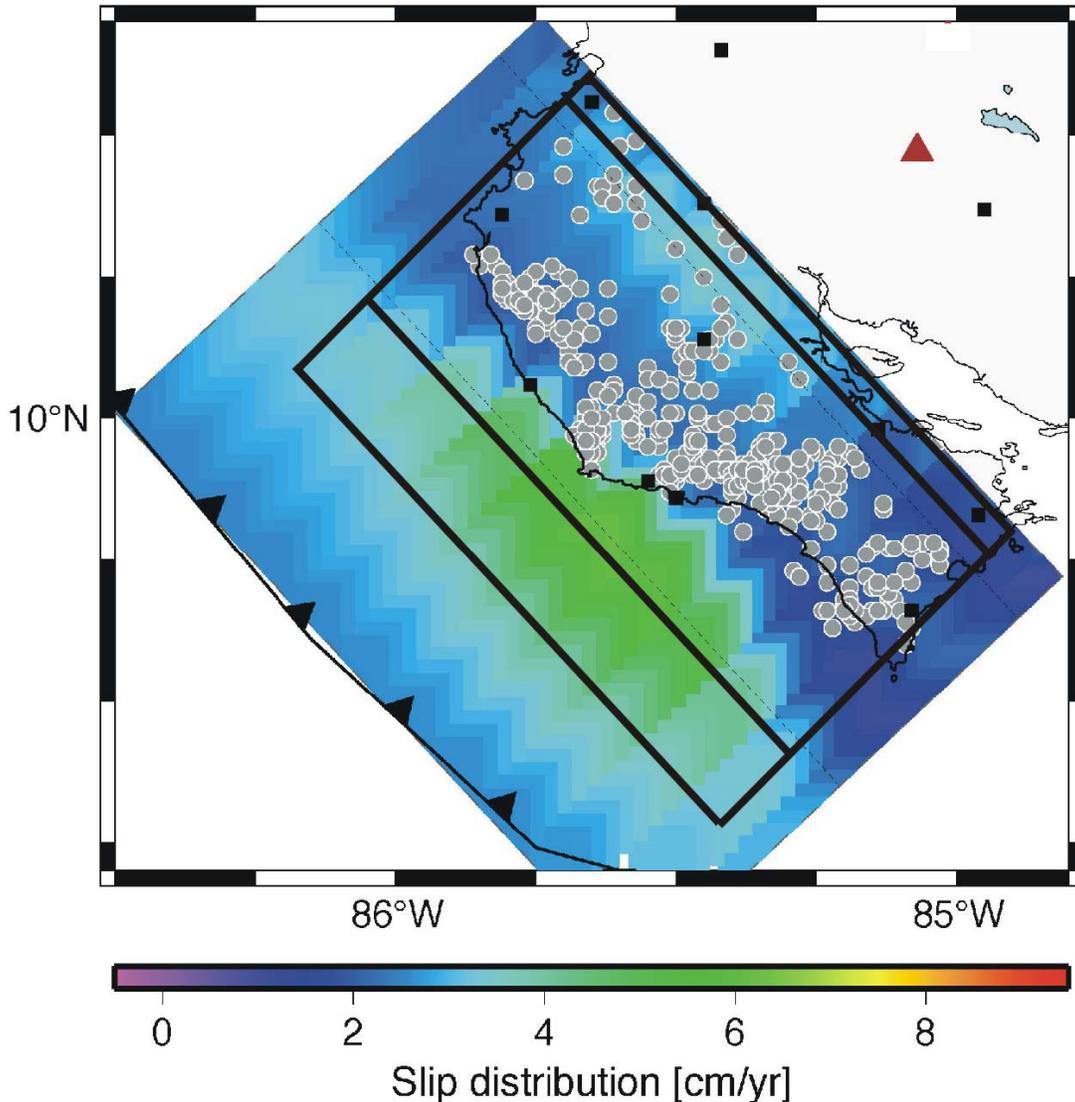


Figura 2. Resultados de la inversión de los datos de GPS indicando dos parches de la brecha sísmica de Nicoya con acoplamiento más fuerte; una frente a la costa a unos 10 km de profundidad y la otra por debajo del valle del Tempisque a unos 35 km de profundidad (Norabuena et al., 2004). Los círculos representan los sismos mejor localizados de la red temporal de Nicoya y los cuadrados los sitios de GPS utilizados en la inversión. Se presentan 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.

## Redes de monitoreo en la Península de Nicoya y alrededores

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 de 5 estaciones de período corto y componente vertical. De diciembre de 1999 a julio del 2001 los autores de este trabajo e investigadores de la Universidad de California en Santa Cruz (UCSC) operaron una red sísmológica digital de 20 estaciones en la península de Nicoya. Dicha red se instaló para detallar la geometría de la zona sismogénica por debajo de la península de Nicoya. Actualmente, como parte del proyecto TUCAN con la Universidades de Boston y Brown, estamos operando una red sísmológica de 20 estaciones digitales de banda ancha en el norte y centro de Costa Rica. A finales del 2005 se instalaron además, junto con UCSC y la Universidad de Miami (UM), tres estaciones sísmicas más e instalaremos a principios del 2006 dos más de superficie y tres estaciones sísmológicas de pozo profundo.

Junto con el Laboratorio de Propulsión a Chorro de la Agencia Nacional de Aeronáutica Espacial de los Estados Unidos (JPL-NASA), el OVSICORI-UNA ha participado en la ocupación de monumentos geodésicos de una red de GPS en y alrededor de la Península de Nicoya. Dicha red, que fue diseñada por el OVSICORI-UNA específicamente para el seguimiento de la brecha sísmica de Nicoya, ha sido ocupada en 1994, 1996, 1997 (Lundgren et al., 1999) y con participación de UM y 20 monumentos más, en el 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 fué construido en el 2001 y ocupado en el 2001, 2002 y 2003 y 2005, con el apoyo financiero de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y la asesoría técnica del Centro Japonés de Ciencias Marinas y Tecnología (JAMSTEC) de Japón y el Instituto de Investigación de Terremotos de la Universidad de Tokio (ERI). También con el apoyo de esas tres instituciones japonesas se obtuvo la instrumentación para la instalación de tres estaciones permanentes de GPS. Estas estaciones fueron instaladas, tanto para el registro de la deformación continua como para la captura de sismos silienciosos (Protti et al., 2004; Protti et al., 2005), en los sitios INDI, HUA2 y PUJE del perfil geodésico.

Actualmente, junto con UM y UCSC, nos encontramos ampliando la red de estaciones continuas de GPS. A finales del 2004 se instalo una estación en Playa Negra (PNEG) y a principios del 2005 otra en Bongo (BON2). Durante el I semestre del 2006 se instalaran 7 estaciones más completando así una red de 12 estaciones 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.

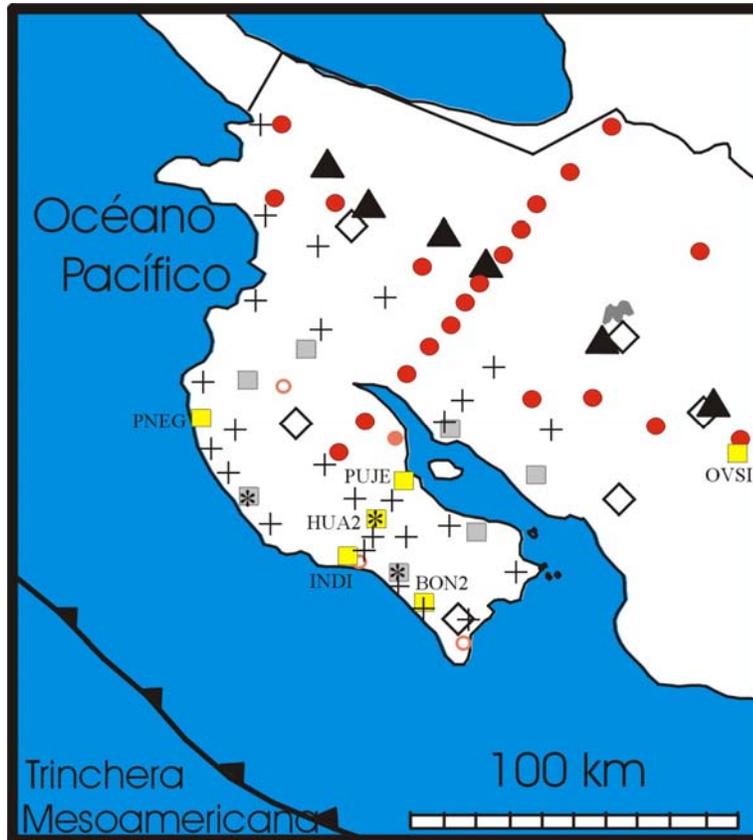


Figura 3. Red de monitoreo geodinámico de la península de Nicoya. **Estaciones sismológicas:** rombos blancos = red permanente de período corto y componente vertical; círculos blancos = estaciones temporales de periodo corto y tres componentes; círculos rojos = estaciones de banda ancha; asteriscos = 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.

## 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 5 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.

## Agradecimientos

La información presentada en este trabajo es el resultado del trabajo de muchos investigadores e instituciones. Debemos dejar expreso nuestro agradecimiento a Rodolfo van der Laet, Enrique Hernández y Tomás Marino del OVSICORI-UNA, a Paul Lundgren del Laboratorio de Propulsión a Chorro, a Susan Schwartz, Heather DeShone, Daniel Sampson y Andy Newman de la Universidad de California en Santa Cruz, a Timothy Dixon de la Universidad de Miami, a Edmundo Norabuena del Instituto Geofísico del Perú, a Yoshiyuki Kaneda y Koichiro Obana del Centro Japonés de Ciencias Marinas y Tecnología, y a Takeshi Iinuma, Shin'ini Miyasaki Teruyuki Kato y Makiko Iwakuni del Instituto de Investigaciones de Terremotos de la Universidad de Tokio. Agradecemos además a la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) por el envío de expertos y la donación de tres estaciones continuas de GPS.

## Referencias

- De Mets, C., R.G. Gordon, D.F. Argus y S. Stein 1990 Current plate motions, *Geophys. J. Int.*, 101:425-478.
- DeShon, H. R.; S. Schwartz, S.; A. Newman, V. González, M. Protti, L. M. Dorman, T. H. Dixon, E. O. Norabuena, E. R. Flueh 2006 Seismogenic zone structure beneath the Nicoya Peninsula, Costa Rica, from 3D local earthquake *P*- and *S*-wave tomography; *Geophysical Journal International*; Vol 164, issue 1, January.
- Güendel, F. 1986 Seismotectonics of Costa Rica: an analytical view of the southern terminus of the Middle American Trench, doctoral dissertation, University of California, Santa Cruz.
- Iinuma, T.; M. Protti; K. Obana; V. Gonzalez; R. van der Laet; T. Kato; S. Miyasaki; Y. Kaneda; E. Hernandez 2004 Inter-plate coupling in the Nicoya Peninsula, Costa Rica, as deduced from a trans-peninsula GPS experiment; *Earth and Planetary Science Letters* 223, 203-212.
- Lundgren, P.; Protti, M.; Donnellan, A; Heflin, M.; Hernández, E. y D. Jefferson 1999 Seismic cycle and plate margin deformation in Costa Rica: GPS observations from 1994 to 1997; *Jour. Geophys. Res.*, 104- B12: 28915-28926.
- Newman, A.; S. Schwartz, V. Gonzalez, H. DeShon, M. Protti, and L. Dorman 2002 Along-strike variability in the seismogenic zone below Nicoya Peninsula, Costa Rica; *Geophysical Research Letters*; Vol. 29, No. 20.
- Norabuena, E., T.H. Dixon, S.Y. Schwartz, H.R. DeShon, M. Protti, L. Dorman, E.R. Flueh, V. González, P. Lundgren, A. Newman, F. Pollitz, and D. Sampson 2004 Geodetic and seismic constraints on some seismogenic zone processes in Costa Rica, *J. Geophys. Res.*, 109, B11403, doi: 10.1029/2003JB002931.
- 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; MSc. dissertation, University of California, Santa Cruz, 66 p.
- Protti, M., Güendel, F. y McNally, K. 1995 Correlation between the age of the subducting Cocos Plate and the geometry of the Wadati-Benioff zone under Nicaragua and Costa Rica. In: *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America*, Mann, P. ed.: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 295: 309-326.
- Protti, M; F. Guendel, F.; E. Malavassi; 2001; Evaluación del potencial sísmico de la Península de Nicoya; 1ª ed.; Editorial Fundación Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 144 p.
- Protti, M; V. González; T. Kato; T. Iinuma; S. Miyasaki; K. Obana; Y. Kaneda; P. LaFemina; T. Dixon; S. Schwartz 2004 A Creep Event on the Shallow Interface of the Nicoya Peninsula, Costa Rica Seismogenic Zone; *Eos Trans. AGU*, 85(47), Fall Meet. Suppl., Abstract S41D-07.
- Protti, M; V. González; M. Iwakuni, T. Melbourne, T. Kato; T. Iinuma; S. Miyasaki; P. LaFemina; T. Dixon; S. Schwartz 2005 Silent Seismic Activity Recorded in Costa Rica by a Continuous GPS Network; *Int. Ass. of Seism. & Phys. Earth Int. General Assembly*; volume of abstracts.