

# ACTIVIDAD SISMICA FRENTE A LAS COSTAS DE QUEPOS PACIFICO CENTRAL, COSTA RICA

Federico Güendel y Marino Protti

Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica Universidad Nacional, Heredia  
(OVSICORI-UNA)

## Resumen

Actividad sísmica de magnitud moderada ( $5.0 \leq mb \leq 5.8$ ) ha venido ocurriendo, al suroeste de Puerto Quepos en la región del Pacífico central de Costa Rica, históricamente. Esta actividad sísmica se presenta a manera de secuencias en las cuales generalmente ocurren al menos dos eventos principales con sus patrones de réplicas respectivos, usualmente espaciados por uno o más días. La característica más importantes de estas secuencias sísmicas, tal como lo propusieran Güendel y McNally (1981), son los períodos de quietud inter-sísmica, de entre 2 y 4 años, que anteceden y preceden a dicha actividad. Durante la revisión e impresión del presente artículo ocurrieron de manera similar, dos nuevos eventos en la misma región. Esta nueva secuencia sísmica inició con un evento de magnitud  $mb=5.1$  el día 10 de agosto de 1999 y 10 días después, el 20 de agosto se presentó el evento de mayor magnitud  $mb=5.7$ ,  $Ms=6.7$ ,  $Mw=7.0$ . Estos dos nuevos eventos sísmicos ocurren tras tres años de “quietud sísmica” que precedieron a los eventos ocurridos en agosto y setiembre de 1996 y que sirvieron como motivación del presente estudio.

## Introducción

Dos sismos de magnitud superior a 5 grados ocurrieron a finales de agosto y principios de setiembre de 1996 al suroeste de Quepos, Costa Rica. Estos sismos representaron el apogeo de una cadena de sismos que se venía presentando en esa región desde julio de ese mismo año y que se extendiera hasta finales de setiembre. El primero de los eventos ocurrió a las 17:16 (UTC) del 28 de agosto, a 24 km. al suroeste de Quepos y tuvo una magnitud  $Mw=5.9$  (Dziewonski et al., 1977). El segundo de ellos ocurrió a las 19:06 (UTC) del 4 de setiembre a 36 Km. al suroeste de Quepos y alcanzó una magnitud de  $Mw=6.2$  (Dziewonski et al., 1977).

La región frente a las costas del Pacífico Central de Costa Rica se ha caracterizado por tener un alto nivel de sismicidad, documentado ampliamente en la base de datos del OVSICORI-UNA, desde abril 1984 ([Figura 1.](#)). No obstante, a pesar de la alta sismicidad, es posible observar una zona de baja actividad sísmica al suroeste de Puerto Quepos (definida aquí como una brecha sísmica). Es precisamente en esta zona donde ocurren los sismos del 28 de agosto y del 4 de setiembre de 1996. La secuencia sísmica de julio a setiembre de 1996, incluyendo los sismos del 28 de agosto y del 4 de setiembre llenó parcialmente esta brecha sísmica.

Güendel y McNally (1981), habían estudiado la actividad sísmica generada a lo largo de la región costera del Pacífico Central, proponiendo la existencia de un comportamiento sísmico que muestra períodos de quietud de 2 a 4 años, seguidos por una fase de reactivación y concluyendo con la ocurrencia de uno a más eventos con magnitudes  $m_b > 5.2$ . Güendel y McNally proponían que, de acuerdo al estudio de los anteriores patrones de sismicidad en esta zona y tras el reinicio de actividad sísmica en 1978-1979, posterior a un período de quietud, podría ocurrir un evento de magnitud superior a los 5.2 grados en la escala de Richter. Siguiendo ese patrón sísmico ese evento debía de presentarse entre febrero de 1979 y julio de 1982. El 17 de agosto de 1982, pocos días después de cerrarse la ventana de tiempo propuesta, ocurre en esta zona el evento esperado, con las características ya apuntadas. Dicho patrón de sismicidad se corrobora una vez más y se complementa en el presente trabajo para el período de abril de 1984 al presente.

### Sismicidad histórica

Historicamente el Pacífico central de Costa Rica ha generado sismos con magnitudes moderadas, tal como el evento del 9 setiembre de 1952 de 6.8 grados de magnitud y una profundidad de 20 km. A pesar de que este sismo produjo algunos daños menores en Parrita y Quepos, no puede compararse con los grandes terremotos que se presentan a lo largo de las Penínsulas de Nicoya y de Osa-Burica, los cuales superan o igualan magnitudes de 7.5 grados. No existe evidencia histórica alguna que sugiera que en la región del Pacífico Central se hayan presentado sismos tan grandes como los ocurridos al noroeste (i.e. Nicoya) y sureste de esta región (i.e. Osa-Burica). Esta observación nos ha llevado a plantear un modelo tectónico según el cual las características irregulares del fondo oceánico, que se subduce como parte de la Placa del Coco bajo la región costera del Pacífico central, reduce el área de acople entre las placas a pequeñas áreas de contacto sin capacidad para soportar la acumulación de grandes esfuerzos y limitando así el potencial sísmico únicamente a eventos de magnitud inferior a los 7 grados (Protti, 1991; Protti et al., 1994 y 1995). Otra característica importante del segmento de subducción del Pacífico central, es su alto nivel de actividad sísmica de fondo (magnitudes  $< 6$  grados) lo cual manifiesta un bajo nivel de acoplamiento en la interfase de subducción.

En la Tabla 1 y [Figura 2](#) se presentan los eventos más importantes, ocurridos desde 1964 en el Pacífico central, con magnitudes superiores a los 5 grados y en su mayoría relocalizados por Güendel (1986). Con excepción del terremoto de Cóbano de 1990, el cual representa el sismo de mayor magnitud que puede generarse a lo largo del segmento costero del Pacífico central, entre las penínsulas de Nicoya y Osa (Protti, 1991), todos estos sismos son de magnitudes moderadas y ocurren con relativa frecuencia, comparado con otras regiones sísmicas del país.

Desde la instalación de la red sismográfica del OVSICORI-UNA en abril de 1984 hasta julio de 1996, se ha presentado sismicidad principalmente al sur de Quepos, frente a punta Herradura y a la entrada al Golfo de Nicoya. Esta actividad se ha dado tanto con eventos de baja magnitud ([ver Figura 1](#)) como con eventos de magnitudes superiores a 4 grados ([ver Figura 3](#)), con un patrón muy similar al que presenta la actividad registrada desde 1966 y mostrada en la Figura 2.

A partir de agosto 27 y hasta el 5 de setiembre de 1996 se presentó una concentración de actividad sísmica al suroeste de Quepos, tal como se muestra en la [Figura 4](#). Esta concentración se debe principalmente a la ocurrencia de los eventos de los días 28 de agosto y 4 de setiembre de 1996, y a las réplicas que acompañaron a dichos eventos. Es importante notar que esta nueva sismicidad se presenta en una zona donde entre 1966 y julio de 1996 no había existido liberación de energía sísmica, existiendo lo que podríamos denominar una pequeña brecha sísmica (entre la sismicidad al sur de Quepos y la que se presenta al suroeste de Herradura). Esta pequeña brecha sísmica de alrededor de  $4,000 \text{ km}^2$ , con una taza

de convergencia de 95 mm/año, un período de retorno máximo de 6 años y un 21% de deslizamiento asísmico (~450 mm de deslizamiento acumulado) podría tener capacidad de generar un sismo de hasta unos 7.1 grados de magnitud de momento sísmico. Sin embargo, se ha documentado la ocurrencia de sismos con magnitudes menores o iguales a los 7 grados, con la modalidad de que pueden ocurrir hasta dos eventos de magnitudes moderadas (entre 5 y 6 grados) muy seguidos en el tiempo, lo que hace menos probable que la energía acumulada en esta pequeña brecha sísmica pueda liberarse como un solo evento de hasta magnitud 7.1. Esta modalidad de ruptura, aunque no sea una regla general, es bastante típica de los temblores que se presentan en la región del Pacífico Central, los cuales ocurren en pares muy cercanos en el espacio y el tiempo y con magnitudes muy similares (ver Tabla 1).

Para la sismicidad registrada entre agosto y setiembre de 1996, y según el modelo antes expuesto por Güendel y McNally (1981) y Güendel (1982), se ha cumplido con la liberación de energía esperada, a través de la ocurrencia de un par de eventos sísmicos ( $M_w$ : 5.9 y 6.2 respectivamente), como parte del proceso de liberación de energía en esta región, producto de la subducción de la placa del Coco bajo la del Caribe. Lo anterior indica que de mantenerse el comportamiento observado históricamente, no deberíamos de esperar en los siguientes meses o varios años otro evento o eventos de magnitudes similares en esta región.

### **Parámetros sísmicos de los temblores del 28 de agosto y 4 de setiembre de 1996**

Los mecanismos focales de los sismos ocurridos el 28 de agosto y 4 de setiembre de 1996 (Figura 4) son completamente congruentes con el mecanismo de ruptura correspondiente a la subducción de la placa del Coco bajo el arco externo del Pacífico central de Costa Rica. Ambos muestran un plano nodal de bajo ángulo, buzando hacia el noreste. Este plano es interpretado aquí como el plano de falla.

Para el sismo del día 28 de agosto de 1996 tenemos los siguientes parámetros para la fuente:

Tiempo de origen = 17 h 16 min 17.27 seg (OVSICORI-UNA)

Latitud=9° 13.3' Longitud=84° 14.9'

Profundidad=35.7 (OVSICORI-UNA)

mb= 5.5 (PDE)  $M_s$ = 5.5 (PDE)

$M_w$ =5.9 (Harvard)

Plano de ruptura= strike: 283° Dip: 25°

Slip: 76° (Harvard)

y para el evento del día 4 de setiembre de 1996 tenemos los siguientes parámetros para la fuente:

Tiempo de origen= 19 h 06 min 50.08 seg (OVSICORI-UNA)

Latitud= 9° 07.3' Longitud= 84° 18.2'

Profundidad= 33.2 (OVSICORI-UNA)

mb= 5.8 (PDE)  $M_s$ = 5.9 (PDE)

$M_w$ = 6.2 (Harvard)

Plano de ruptura= strike: 301° Dip: 21°

Slip: 102° (Harvard)

### **Discusión**

Como se puede apreciar, las soluciones de los mecanismos focales para los dos eventos principales de

la secuencia sísmica de 1996 en el Pacífico Central de Costa Rica, así como sus epicentros y profundidades, son muy similares y junto con los eventos premonitores y las réplicas llenaron parcialmente una pequeña brecha sísmica existente en esa región. Este comportamiento, aunque en menor escala, es también muy similar al ocurrido en marzo de 1990 a la entrada del golfo de Nicoya. Las características principales que comparten la sismicidad de marzo de 1990 y la de julio-setiembre de 1996 son la nucleación de la ruptura en la parte más profunda de la interfase entre las placas y la escasa actividad premonitora y de réplicas hacia la trinchera. Las interpretaciones de Protti et al., 1995 sobre el origen de esa sismicidad de 1990 y las características de la secuencia sísmica de 1996 nos hace considerar la ruptura de una montaña submarina como la aspereza generadora de esta nueva fuente sísmica.

La información mostrada en la [Figura 5](#) y Tabla 2, donde se presentan los sismos con magnitudes superiores a los 5 grados, ocurridos entre 1964 y 1986 (Güendel, 1986) y entre 1986 y 1996 (Dziewonski et al., 1997), nos muestran un proceso de subducción prácticamente continuo y además una gran variedad de mecanismos de ruptura. Podemos notar como la sismicidad ocurrida a lo largo de la región costera del Pacífico Central de Costa Rica corresponde fundamentalmente a eventos inversos, donde la placa del Coco se introduce por debajo de Costa Rica. En otros casos notamos mecanismos focales (# 2, 3, 5, 9, 10 y 15) que sugieren en su mayoría un fallamiento de corrimiento lateral a excepción del mecanismo # 15 que muestra fallamiento normal. Algunos eventos de la segunda modalidad de ruptura más importante, es decir la de corrimiento lateral, en su mayoría dextral para el plano más orientado de norte a sur, podría estar relacionada con la proyección de la fractura de los 84° bajo el arco externo. Otros, tanto, dextrales como sinestrales, podrían marcar las extensiones laterales de las rupturas de montañas submarinas y su efecto en el arco externo, el cual presenta una segmentación en bloques (Fisher et al., 1998).

## Conclusión

Podemos concluir que la sismicidad presentada entre julio y setiembre de 1996 corresponde al proceso normal de subducción de la placa del Coco bajo el arco externo del Pacífico Central de Costa Rica, tal como ha sido documentado por la sismicidad a partir de 1966 y más recientemente por la sismicidad registrada por la red sismográfica del OVSICORI-UNA. No sería anormal que se presentara a mediano plazo la ocurrencia de otros sismos similares en magnitud y ubicación, como producto de la deformación producida por el proceso de subducción. Sin embargo creemos poco posible que ocurra un evento de magnitud mayor que 7 grados en ese segmento de la zona de subducción.

Podemos concluir también que la sismicidad registrada recientemente y asociada a los eventos de agosto y setiembre de 1996 corresponde con el patrón de actividad sísmica propuesto por Güendel y McNally (1981) y Güendel (1982), sugiriendo la ocurrencia de eventos de magnitud moderada  $m_b > 5.2$  al suroeste de Quepos, con un promedio de entre 3 y 4 años. En este caso, la actividad sísmica registrada entre julio y setiembre de 1996 parece llenar parcialmente una pequeña brecha sísmica, localizada al noroeste de la zona donde había ocurrido actividad sísmica desde 1966. Proponemos que esta brecha sísmica es llenada solo parcialmente, por cuanto la aspereza que rompió y dió origen a esta secuencia sísmica, corresponde con el proceso de subducción de una pequeña montaña submarina, la cual tiene capacidad de ruptura elástica solamente en su parte frontal (i.e. la más profunda), ya que la parte posterior de la misma responde a una deformación plástica del eje frontal del arco externo tectónicamente erosionado. Esta situación fue también observada durante la ocurrencia del sismo del 25 de marzo de 1990 en la entrada al golfo de Nicoya (Protti et al., 1995).

Por otra parte parece que, aún cuando no ha sido la regla general, además del patrón cíclico observado, la actividad sísmica también tiende a manifestarse a través de la ocurrencia de dobletes (ver Tabla 1).



**Tabla 1.**  
**Sismos con magnitud mayor que 5 grados ocurridos desde 1964 en el**  
**Pacífico central de Costa Rica.**

FECHA	TIEMPO	LATITUD N	LONGITUD O	PROF	mb	Ms	Mw	FUENTE
66/04/09	2:34	9°11.9'	84°14.1'	30.9	5.3			GÜE
66/04/09	2:42	9°11.1'	84°10.1'	28.2	5.7			GÜE
71/06/05	14:20	8°59.8'	84°13.1'	23.9	5.4			GÜE
71/08/05	22:58	9°12.5'	84°15.2'	32.5	5.1			GUE
73/08/04	0:44	9°27.5'	84°51.4'	38.1	5.3			GÜE
73/10/18	1:09	8°50.7'	84°06.7'	22.2	5.3			GÜE
74/02/28	20:15	8°46.7'	84°11.9'	37.5	5.2			GÜE
74/02/28	20:20	8°57.8'	84°09.9'	33.6	5.8			GÜE
76/11/25	6:45	9°25.7'	84°52.8'	34.6	5.2			GÜE
76/12/01	14:15	9°27.3'	84°55.9'	31.1	5.3			GÜE
76/12/20	10:18	8°57.4'	83°59.1'	48.9	5.5			GÜE
81/05/01	6:17	9°34.4'	85°01.3'	40.3	5.1			GÜE
82/08/17	18:23	9°12.5'	84°14.2'	25.7	5.4	5.5	5.9	GÜE
83/04/03	14:46	8°48.5'	84°06.8'	5.2	5.2	5.2	5.7	GÜE
83/04/04	13:11	8°35.2'	84°02.0'	19.3	4.9	5.1	5.7	GÜE
84/01/28	22:52	8°58.7'	83°53.6'	19.3	5.0	4.3		GÜE
85/09/25	12:09	9°04.3'	84°10.2'	27.1	5.2	4.9	5.5	GÜE
87/03/21	12:08	8°43.5'	83°34.9	35.1	5.3	5.2	5.9	OVSI
87/06/02	3:11	9°03.4'	83°53.1'	33.8	4.9	4.9	5.6	OVSI
88/03/02	7:13	9°27.7'	84°55.1'	30.5	5.0	5.2	5.6	OVSI
89/02/26	12:21	9°39.4'	84°11.5'	28.3	4.7	4.8	5.4	OVSI
90/03/25	13:16	9°36.4'	84°57.1	22.4			6.0*	PRO
90/03/25	13:22	9°38.5'	84°55.6'	20.0	6.3	7.0	7.0*	PRO
90/04/28	1:23	8°43.5'	83°36.5	28.7	5.9	6.4	6.4	OVSI
90/07/23	5:27	9°16.4'	84°46.2'	27.4	5.2	5.1	5.5	OVSI
96/08/28	17:16	9°13.3'	84°14.9'	35.7	5.4	5.4	5.9	OVSI
96/09/04	19:06	9°07.3'	84°18.2	33.2	5.8	5.9	6.1	OVSI
99/0810	14:55	9°20.8	83°58.02	33.0	5.1	4.9		PDE
99/0820	10:02	9°13.02	84°02.70	24.0	6.1	6.9	7.0	PDE

**GÜE:** Güendel, 1986. **OVSI:** Boletines sismológicos del OVSICORI-UNA. **PRO:** Protti et al., 1995.

**PDE** USGS Preliminary Determination of Epicenters.

**Tabla 2.**  
**Mecanismos focales publicados para sismos ocurridos en el**  
**Pacífico central de Costa Rica**

<b>No.</b>	<b>FECHA</b>	<b>STRIKE</b>	<b>DIP</b>	<b>RAKE</b>	<b>MAG (m<sub>b</sub>)</b>	<b>Fuente</b>
1	66/04/09	95	56	86	5.7	MS
2	71/06/05	216	83	146	5.4	DD
3	73/10/18	220	90	46	5.3	DD
4	74/02/28	116	70	90	5.8	GM
5	82/08/17	99	82	130	5.4	GM
6	83/04/03	282	14	81	5.3	GM
7	83/04/04	274	13	73	5.1	GM
8	85/09/25	127	65	90	5.2	GM
9	87/03/21	189	48	-169	5.4	HAR
10	87/06/02	181	77	178	5.0	HAR
11	88/03/02	288	21	66	5.1	HAR
12	89/02/26	288	21	66	5.1	HAR
13	90/03/25	292	26	88	6.0	HAR
14	90/03/25	292	26	88	7.0	HAR
15	90/04/28	317	30	118	6.0	HAR
16	90/07/23	11	20	-87	5.1	HAR
17	96/08/28	344	22	125	5.4	HAR
18	96/09/04	348	24	127	5.8	HAR
19	99/08/20	301	20	89	6.1	HAR

**MS=** Molnar y Sykes (1969); **DD=** Dean y Drake (1978);  
**GM=** Güendel y McNally (1986); **HAR=** Harvard (Dziewonski et al.1987-96)

### **Agradecimientos**

Quisieramos agradecer al personal del OVSICORI-UNA por el apoyo brindado en el procesamiento de la información requerida para el análisis realizado en el presente trabajo. Al proyecto SERCA-SAREC por el apoyo financiero brindado a F. Güendel durante su estancia en la Universidad de Uppsala, Suecia.

## Referencias

- Dean, B. W., and C. L. Drake, 1978, Focal mechanism solutions and tectonics of the Middle America Trench arc, *J. of Geol.*, 86, 111-128.
- Dziewonski et al., Centroid-Moment Tensor Solutions for October - December, 1996, *Phys. Earth Planet. Inter.*, in press.
- Fisher, D., T. W. Gardner, J. S. Marshall, P. B. Sak, and M. Protti, 1998, Effect of subducting sea-floor roughness on fore-arc kinematics, Pacific Coast, Costa Rica, *Geology*, Vol. 26, No. 5, p. 467-470.
- Güendel F., K. C. McNally, 1981, Application of the seismic gap method to the seismicity of Costa Rica, Central America, *American Geophysical Union, EOS, EUA*, Vol. 62, No.45, p. 948.
- Güendel, F., 1982, Aplicación del método de la brecha sísmica para la zona central de Costa Rica, *América Central, Revista Geofísica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)*, Jul-Dic. 1982, No. 17, pp.113-120
- Güendel, F., 1986, Seismotectonics of Costa Rica: An analytical view of the southern terminus of the Middle America Trench, *Tesis de Doctorado, Universidad de California, Santa Cruz, EUA*, Dic. 1986, p. 157.
- Molnar, P., and L. R. Sykes, 1969, Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 80, 1639-1684.
- Protti, M., 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*, 66 p., 1991.
- Protti, M.; Güendel, F.; and McNally, K.; The geometry of the Wadati-Benioff zone under southern Central America and its tectonic significance: results from a high-resolution local seismographic network; *Phys. of the Earth and Planet. Inter.*, 84, p. 271-287, 1994.
- Protti, M.; The Most Recent Large Earthquakes in Costa Rica (1990 Mw 7.0 and 1991 Mw 7.6) and Three-Dimensional Crustal and Uper Mantle P-wave Velocity Structure of Central Costa Rica, *Tesis de Doctorado, University of California, Santa Cruz*, 116 p. 1994.
- Protti, M.; Güendel, F.; and McNally, K.; Correlation between the age of the subducting Cocos Plate and the geometry of the Wadati-Benioff zone under Nicaragua and Costa Rica. In P. Mann (Editor), *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 295*, 309-326, 1995.
- Protti, M.; and 14 other co-authors; The March 25, 1990 (Mw=7.0 MI=6.8) earthquake at the entrance of the Nicoya Gulf, Costa Rica: its prior activity, foreshocks, aftershocks and triggered seismicity; *Jour. Geophys. Res.*; Vol. 100, No. B10, pp. 20345-20358, 1995.