



SISMOTECTÓNICA DEL EXTREMO NORTE DE LA ZONA DE FRACTURA DE PANAMÁ

Eduardo Camacho Astigarrabia

Universidad de Panamá, Laboratorio de Geofísica e Hidrogeología.
e-mail: ecamacho@ancon.up.ac.pa

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los principales elementos estructurales, sismicidad y mecanismos focales del extremo norte de la Zona de Fractura de Panamá, en la parte suroccidental de la República de Panamá. Esta es una de las principales fuentes sísmicas del Istmo y de la región Centroamericana. Con base en los mecanismos focales del sismo del 31 de julio de 2002, y sus réplicas principales y la distribución espacial de los mismos, se confirma que la Zona de Fractura de Panamá se introduce en tierra firme siguiendo el eje de la península de Burica. Esta fuente sísmica constituye un importante elemento a considerar al momento de evaluar la amenaza sísmica en el Occidente de Panamá y la Zona Sur de Costa Rica.

PALABRAS CLAVES

Zona de Fractura de Panamá, sismotectónica, mecanismos focales, sismicidad, amenaza sísmica.

INTRODUCCIÓN

En el extremo sur de la zona fronteriza entre Costa Rica y Panamá se encuentra un punto triple difuso en el que coinciden las placas tectónicas del Caribe, del Coco y Nazca, el cual se ha sugerido que está ubicado bajo la península de Burica o al sur de ella, en la intersección de la zona de subducción de Centroamérica y la Zona de Fractura de Panamá. Esta es una de las zonas sísmicas más activas de Centroamérica y la mayor del Istmo de Panamá.

Esta zona ha originado sismos destructivos a lo largo de la historia. Un ejemplo de estos terremotos lo constituye el gran terremoto de Puerto Armuelles del 18 de julio de 1934, que tuvo una magnitud de momentos M_w 7.6 y un mecanismo focal lateral derecho (ver Fig. 1) causando considerables daños en las ciudades de Puerto Armuelles y David, Provincia de Chiriquí, tal como puede observarse en las Fig. 2 y 3.

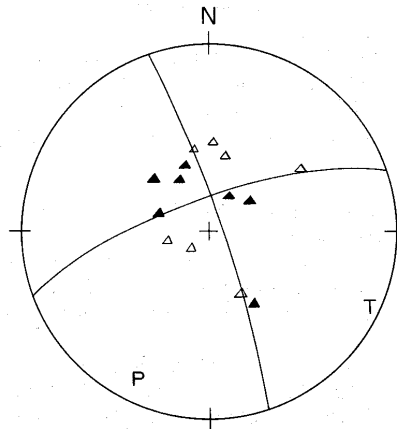


Fig. 1. Mecanismo focal del terremoto de Puerto Armuelles del 18 de julio de 1934 (Camacho, 1991).

En el presente trabajo examinaremos las principales características sismotectónicas de esta zona, haciendo especial énfasis en el más reciente sismo ocurrido en la misma, el sismo de Burica del 31 de julio de 2002, $M_w = 6.5$, ya que una comprensión adecuada de las mismas es crucial para una estimación más exacta de la amenaza sísmica en el Suroeste de la República de Panamá.

TECTONICA REGIONAL

En el Sur Occidente de Chiriquí, bajo la península de Burica o al sur de ella coinciden las placas de Nazca, el Coco y del Caribe en forma de un punto triple difuso (PTNCC). Entre los elementos estructurales de este punto triple tenemos la Cresta del Coco, que subduce bajo Costa Rica, y es una traza boyante del punto caliente de las Islas Galápagos.

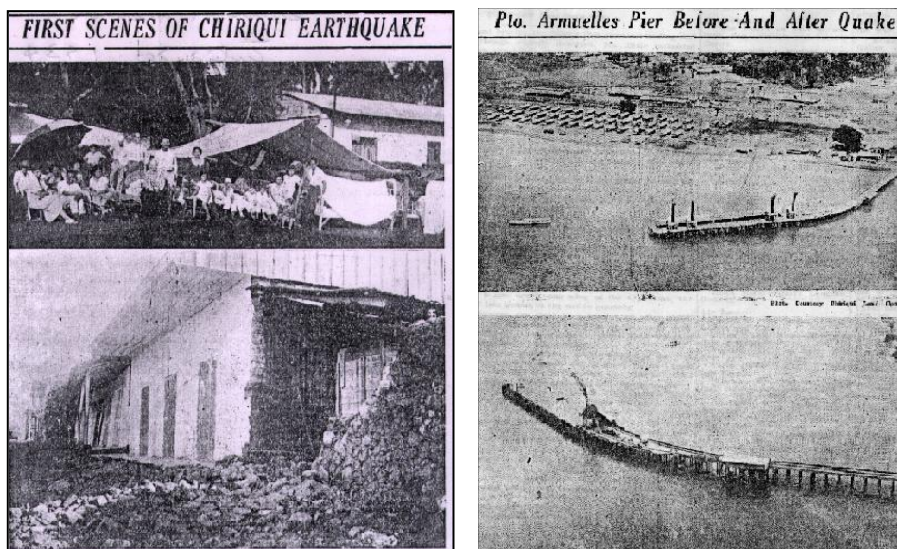


Fig. 2 y 3. Daños en David y Puerto Armuelles causados por el sismo de Puerto Armuelles del 18 de julio de 1934 (Star & Herald, 1934).

El flanco oriental de la Cresta del Coco está truncado por la Zona de Fractura de Panamá (ZFP). Esta es una gran falla de transformación, con rumbo Norte-Sur, que sirve de límite entre las placas de Nazca y del Coco, que se extiende desde la zona de extensión de Costa Rica, en el Sur hasta la península de Burica y parte occidental del Golfo de Chiriquí en su extremo Norte. Esta zona de fractura acomoda movimientos laterales derechos, a una tasa de 57 mm/año (Kellog et al., 1995). En la porción más septentrional de esta zona de falla, alrededor de los 6° de latitud Norte, la misma se ramifica en tres zonas de fracturas más pequeñas con igual tipo de desplazamiento lateral derecho (Lonsdale y Klitgord, 1978; Heil, 1988; Kolarsky y Mann, 1995). Estas son, de Este a Oeste, la Zona de Fractura de Coiba, la Zona de Fractura de Balboa y la Zona de Fractura de Panamá, las cuales subducen oblicuamente, bajo el Bloque de Panamá, al sur y Sureste de la península de Burica, en el Cinturón Deformado del Sur de Panamá (Heil, 1988; Corrigan et al., 1990; Kolarsky et al., 1995^a; Moore & Sender, 1995).

Las extensiones de la Zona de Fractura de Panamá continúan en tierra firme (Camacho, 1991), a lo largo del eje de la península de Burica, y al llegar al anticlinal de Madre Vieja, se curvan hacia el Noroeste.

Las placas del Coco y del Caribe parece que están débilmente acopladas cerca del Punto Triple (PTNCC), tal como sugiere el hecho de que las réplicas del sismo de abril de 1983 Ms 7.3, un sismo con mecanismo inverso asociado a la subducción de la placa del Coco bajo Costa Rica, migraron hacia el sureste bajo la Península de Burica (Adamek et al., 1987).

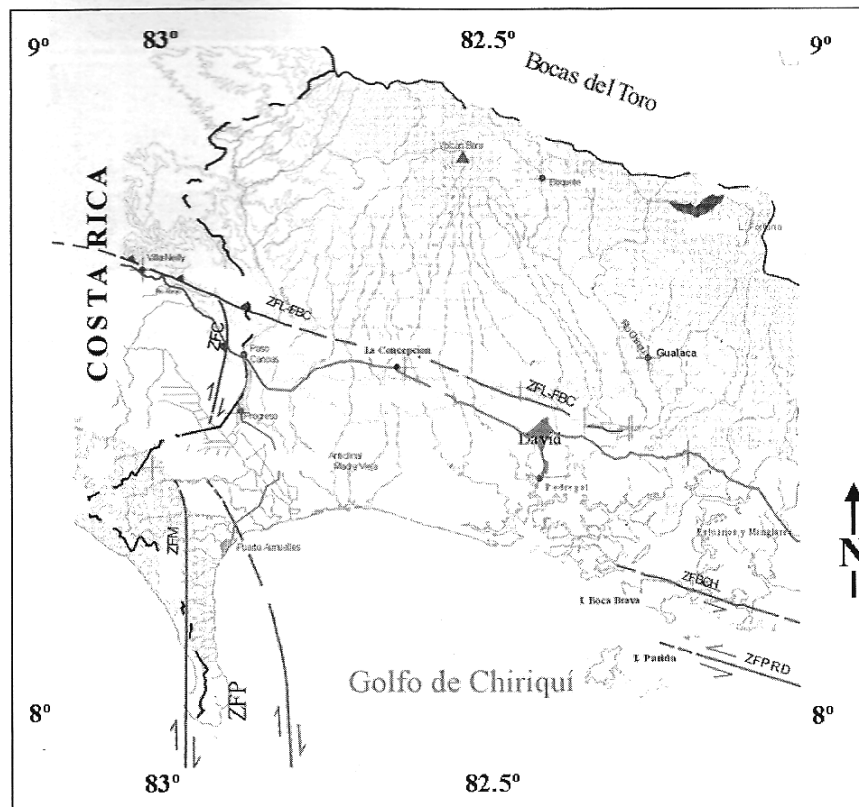


Fig 2. Principales fallas activas de Chiriquí, Suroeste de Panamá (adaptado de Cowan et al 1999), en donde se muestran la Zona de Falla de las Paridas (ZFPRD), Zona de Falla Boca Chica (ZFBC), Zona de Fractura de Panamá (ZFP), Zona de Falla Canoas (ZFC), Zona de Falla Longitudinal (ZFL) y la Zona de Falla Media (ZFM).

Las principales estructuras asociadas con el extremo Norte de la Zona de Fractura de Panamá se muestran en la Fig. 2 y se detallan a continuación

Fallas Relacionadas con la Zona de Fractura de Panamá

Las siguientes fallas están íntimamente relacionadas con los esfuerzos generados por la Zona de Fractura de Panamá:

Zona de Falla Media de Burica

Esta es una falla de corrimiento lateral derecho que se extiende a lo largo del eje de la Península de Burica y la frontera con Costa Rica. La Falla Media es una zona de debilidad que se extiende al Norte de la Zona de Fractura de Panamá y probablemente refleja la presencia de elementos de la misma, subducidos bajo la Península de Burica.

Elementos de la Falla Media fueron cartografiados por geólogos petroleros en la década de 1950, pero la interpretación de esta zona fue realizada por primera vez por Corrigan et al., (1990).

Zona de Falla de Canoas (ZFC)

Cowan (1997) reportó la existencia de la Falla Canoas y la interpretó como una extensión del límite de Placas Cocos-Nazca, al Norte de la Península de Burica. Su traza superficial se extiende ininterrumpidamente a lo largo de 15 Km. desde el Norte de la península de Burica hasta el pie de monte de la Cordillera Talamanca. Esta es una zona de falla de desplazamiento de rumbo lateral derecho, localizada unos 5 km al Oeste de la frontera entre Panamá y Costa Rica, cerca de la población de Paso Canoas, que parece haber generado su último gran evento el 21 de julio de 1934, a raíz del sismo del 18 de julio de 1934 ($M_w 7.6$).

Fallas de la Región de Progreso

Un reciente vigilancia de la sismicidad de esta zona (Cowan et al., 1995) muestra una marcada alineación de microsismos que se extienden desde el Golfo de Chiriquí hasta las Tierras Bajas de Progreso, cerca de la desembocadura del Río Chiriquí Viejo. La alineación de la sismicidad se interpreta como un elemento de la Zona de Fractura de Panamá, el cual probablemente termina cerca del extremo Sur de la Zona de Falla de Canoas. La estructura tectónica bajo la región de Progreso parece ser geoméricamente compleja e inestable, reflejando la dinámica de deformación de un punto triple activo (Andrews, 1989). La inestabilidad de esta área es reflejada por los niveles de alta sismicidad, que incluye el terremoto de julio de 1979 $M_s 6.4$, que tiene un mecanismo focal de tipo normal.

No han sido documentadas evidencias de fallamiento superficial en las tierras bajas de Progreso, pero la sismicidad registrada coincide con un domo pequeño (elevación 10 m) en las tierras bajas aluviales cerca de La Esperanza.

En la Tabla 1 aparecen el potencial sísmico de las fallas asociadas con la Zona de Fractura de Panamá. Para su cálculo se emplearon las relaciones de Wells y Coppersmith (1994), que ligan la magnitud de momentos M_w con la longitud de ruptura L , de la falla en km.

Tabla 1. Potencial Sísmico de las Fallas Relacionadas con el Extremo Norte de la Zona de Fractura de Panamá.

Fuente Sísmica	Tipo de Falla y Longitud (km)	Tasa Inferida de Deslizamiento (mm/año)	Período de Retorno (años) y Deslizamiento por evento (m)	SMC*	Comentarios:
Z F P	Zona de Falla Media	Corrimiento Lateral Derecho (>20)	>15 60-130 1-2	7.3	Elemento activo del límite de placas Nazca-Coco (ZFP), que se extiende a lo largo del eje de la Península de Burica Corrigan et al., (1990). Esta falla probablemente se conecta en profundidad con la Falla Canoas.
	Zona de Falla de Progreso	Mixta (>50)	>15 60-130 1-2	7.6	Elemento activo del límite de placas Nazca-Coco, ubicado al este de la Península de Burica y que se extiende bajo las llanuras de Progreso. Esta asociada a rupturas históricas (Julio de 1934, $M_{7.6}$ y 1979, $M_{6.4}$). Probablemente se conecta en profundidad con las zonas de falla Media y de Canoas.
	Zona de Falla de Canoas	Corrimiento Lateral Derecho (15)	>15 30-100 0.5-1.5	6.9	Falla de transferencia entre la ZFP y la Zona de Falla Longitudinal (ZFL), que muestra trazas superficiales prominentes a través de accidentes del terreno de origen Holoceno (Cowan et al., 1996). Sus desplazamientos probablemente están asociados a los otros elementos activos de la Zona de Fractura de Panamá (ZFP) o la Zona de Falla Longitudinal (ZFL).

- Sismo Máximo Creíble

SISMICIDAD Y MECANISMOS FOCALES

La mayor parte de la sismicidad en el Occidente de Chiriquí (ver Fig. 3), se observa a lo largo del eje de la Zona de Fractura de Panamá, en la Península de Burica y alrededores (Wolters, 1986; Vergara, 1988; Adamek et al., 1988, Cowan et al., 1995). En la porción Norte de la

Zona de Fractura de Panamá, en la península de Burica y alrededores la sismicidad, es somera y en su mayor parte presenta un carácter lateral derecho.

La sismicidad en la corteza y más profunda decrece rápidamente al Este del Río Chiriquí. El decrecimiento de la sismicidad en dirección Este ha sido interpretado por Cowan et al., (1995) como un reflejo del cambio de estructura cortical, que posiblemente está relacionado con la geometría de la Placa de Nazca que está subducida. Esta región ha sido sacudida en tiempos históricos por sismo fuertes. Un listado de los principales eventos asociados a la Zona de Fractura de Panamá aparece en la Tabla 2.

El primer estudio detallado que se ha hecho de mecanismos focales en el occidente de Chiriquí fue realizado por Cowan et al. (1995). En este estudio se encontró que las fallas en las tierras bajas de Chiriquí son principalmente de cabalgamiento, mientras que la deformación en el Golfo de Chiriquí es del tipo normal. Durante este estudio no se observó sismicidad alrededor de la península de Burica, por lo cual no aparecen mecanismos de esta zona.

Tabla 2. Sismos Históricos Sentidos en la Región Fronteriza Panamá-Costa Rica, Originados en la Zona de Fractura de Panamá (ZFP).

EVENTO N°	FECHA	FUENTE	OBSERVACIONES	MAGNITUD M_w
1	1854		Sentido Fuerte	> 6.5
2	1859	ZFP	Grietas en Boquerón, Chiriquí.	> 6.5
3	1871	ZFP	Sentido en David	> 6.5
4	1933	ZFP	Daños en Puerto Armuelles	6.6
5	1934	ZFP	Causó graves daños en David y Puerto Armuelles	7.6
6	1934	F. Canoas	Rajaduras en Bongo, Distrito de Puerto Armuelles	6.7
7	1949	ZFP	Daños en Puerto Armuelles	6.6
8	1962	ZFP	Daños en David y Puerto Armuelles	6.7
9	1979	ZFP	Daños en Puerto Armuelles	6.4
10	2002	ZFP	Daños importantes en Puerto Armuelles	6.5

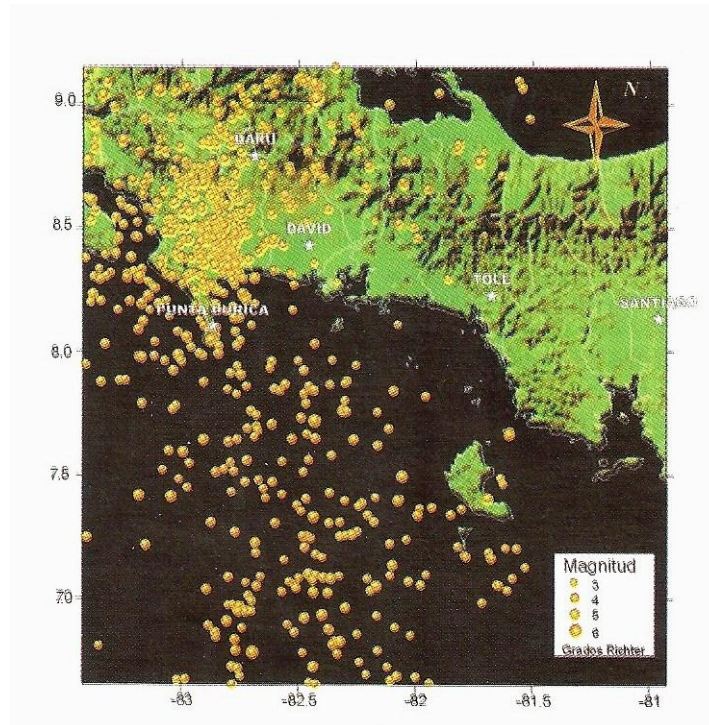


Fig. 3. Sismos con magnitudes mayores a 4.0 registrados en Chiriquí, Suroccidente de Panamá (1995-2000). Nótese como la mayoría de la sismicidad está relacionada con la Zona de Fractura de Panamá.

Nuevamente, el 30 de julio de 2002 la zona fronteriza entre Costa Rica y Panamá fue sacudida por un sismo de magnitud M_w 6.5, con epicentro en las coordenadas 7.9° N y 82.9° O, una profundidad de 12.3 km y que también se conoce como el sismo de Burica. Este sismo causó daños a estructuras mal construidas o con pobre mantenimiento en poblaciones fronterizas ubicadas en la margen Pacífica de la zona fronteriza entre Costa Rica y Panamá. Empleando registros de las redes sísmicas de Colombia, Costa Rica y Panamá se lograron localizar el sismo principal y sus réplicas más importantes. En la Tabla 3 aparece la localización de estos nueve eventos y sus respectivos mecanismos focales. Nótese como los eventos 1 y 9 tienen epicentros coincidentes.

Tabla 3. Parámetros focales del sismo de Burica del 31 de julio de 2002 y sus principales réplicas.

Evento N°	Fecha	h m s	Lat. (°N)	Long. (°O)	Prof. (km)	M_w	Plano de Falla 1			Plano de Falla 2		
							δ	ϕ	λ	δ	ϕ	λ
1	20020731	001646.0	7.955	82.838	12.3	6.5	170.90	67.48	159.64	269.00	71.25	23.86
2	20020731	015424.6	8.192	82.896	1.1	5.3	189.41	86.60	160.28	280.63	70.32	3.62
3	20020731	023155.1	8.308	82.863	6.5	4.8	176.01	71.25	156.14	274.10	67.48	20.36
4	20020731	044517.9	8.050	82.821	10.0	5.3	305.73	60.50	101.51	103.26	31.47	70.57
5	20020731	073826.4	7.810	82.884	9.5	4.7	300.79	48.44	131.93	67.24	56.17	53.00
6	20020731	130815.0	8.205	82.820	2.1	4.8	302.61	79.68-	151.68	207.09	62.17	-11.69
7	20020801	191012.4	7.810	82.886	10.0	5.1	345.41	52.84	-163.99	245.58	77.30	-38.26
8	20020803	023906.2	8.346	82.925	10.0	5.9	350.00	60.00	180.00	80.00	90.00	30.00
9	20020807	235915.6	7.954	82.879	2.8	6.0	16.10	55.15-	176.51	284.10	87.13	-34.90

Rumbo ϕ Buzamiento δ Deslizamiento λ

El estudio de la distribución espacial de las réplicas mejor localizadas indican que la más grande de ellas tuvo una magnitud de $M_w = 6.0$ y que la ruptura de la falla se propagó de Sur a Norte, extendiéndose hasta tierra firme, a lo largo de las extensiones de la Zona de Fractura de Panamá en la península de Burica (Fig. 4), lo cual confirma lo propuesto por Camacho (1991). Como puede observarse, a excepción de un evento que muestra un carácter inverso, el resto de los mecanismos focales son del tipo lateral derecho.

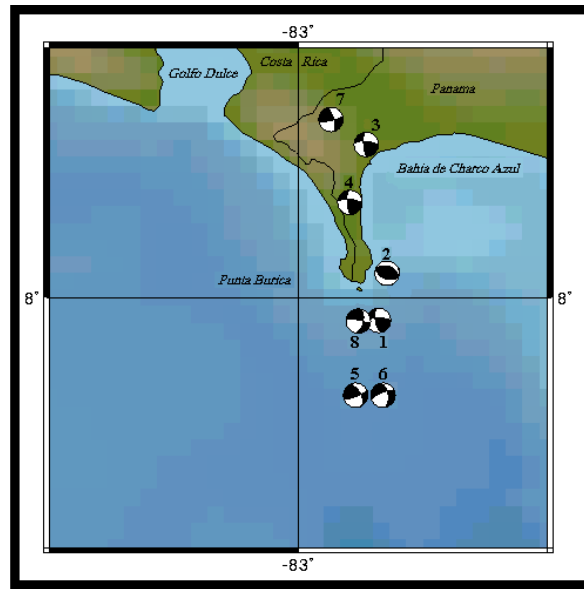


Fig. 4. Evento del 31 de julio de 2002 (M_w 6.2) y réplicas principales.

La intensidad máxima observada para este sismo fue de VII MM y la red de acelerógrafos del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica registró una aceleración máxima de 32.6 gales en la componente transversal, en Golfito a 86.5 km del epicentro (comunicación personal de Víctor Schmidt, 2002).

El estudio de los efectos del sismo indica que ocurrió licuación de terrenos en Puerto Balsa, al sur de la península de Burica y que los daños a edificaciones y estructuras ocurrieron en aquellas mal construidas o con mantenimiento deficiente (ver Figs. 5 y 6).



Figs. 5 y 6. Daños a estructuras en Puerto Armuelles, Panamá.

CONCLUSIONES

- Los sismos fuertes en el suroeste de Panamá son producidos por la Zona de Fractura de Panamá.
- Del estudio del sismo del 31 de julio de 2002 y sus réplicas se comprueba que las extensiones de la ZFP son sísmicamente activas y las mismas se extienden al Norte y Noroeste de Puerto Armuelles, Panamá.
- Daños observados durante el sismo del 31 de julio de 2002, ocurrieron en edificaciones mal construidas, con ausencia de elementos estructurales esenciales para la estabilidad de las edificaciones y/o que fueron mantenidas deficientemente.
- Es necesario fortalecer el monitoreo sísmico de esta región transfronteriza y hacer cumplir de forma más estricta las normas sismoresistentes de diseño y construcción de edificaciones.
- Es fundamental, para garantizar un desarrollo más seguro de esta región transfronteriza, hacer estudios, como el que ya se hizo para David, Chiriquí, de microzonificación sísmica de sus principales poblaciones y preparar mejor a la población.

ABSTRACT

The main structural elements, seismicity and focal mechanisms from the northern terminus of the Panama Fracture Zone, Southwestern Panama, are analyzed. This is one of the main seismic sources of the Isthmus of Panama and the Central American region. Based on the focal mechanisms of the July 31, 2002 Earthquake and its

main aftershocks, plus their spatial distribution it is confirmed that the Panama Fracture Zone extends inland along the axis of the Burica peninsula. This seismic source is a very important element to be taken into account for every seismic hazard evaluation at Western Panama and Southern Costa Rica.

KEYWORDS

Panama Fracture Zone, seismotectonics, focal mechanisms, seismicity, seismic hazard.

REFERENCIAS

Adamek, S., C., Frohlich, & W., D., Pennington, (1988): Seismicity of The Caribbean Nazca Boundary: Constraints On Microplate Tectonics of The Panama Region, *J. Geophys. Res.* *93*, 2053-2075.

Adamek, S., H., F., Tajima & D., Wiens. 1987. Seismic Rupture Associated With Subduction Of The Cocos Ridge, *Tectonics* *6*, 757-774.

Andrews, D.J. 1989. Mechanics of Fault Junctions, *J. Geophys. Res.*, *94*, 9389-9397.

Camacho, E. 1991. The Puerto Armuelles Earthquake of July 18, 1934, *Rev. Geol de Amer. Central* *13*, 1-13.

Corrigan, H.A., P. Mann & J.C. Ingle. 1990. Forearc response to subduction of the Cocos Ridge, Panama-Costa Rica, *Geol Soc. Am. Bull.*, *102*, 628-652.

Cowan, H.A., M.N. Machette, K.M. Haller, & R.L. Dart, 1998. Map of Quaternary Faults and Folds of Panama and its Offshore Regions, U.S. Geological Survey Open-File Report 98-779.

Cowan, H.A. L. Sánchez, E. Camacho, J. Palacios, A. Tapia, D. Irving, D. Esquivel & C. Lindholm. 1995. Seismicity and tectonics of Western Panama from new portable seismic array data, Final Report to the Research Council of Norway, NTN-NORSAR, Kjeller, Norway.

Heil, D. 1988. Response of an accretionary prism to transform ridge collision, south of Panama, *Tesis de Maestría, University of California at Santa Cruz*, 156 p.

Kellog, J.N. V., Vega, T.C. Stallings & C. Aiken. 1995. Tectonic development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: constraints from Global Positioning System geodetic studies

and gravity, en Mann P., (Ed.) Geological and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America, *Geol. Soc. Am., Special Paper 295*, 75-90.

Kolarsky, R.A., Mann, P., & W. Montero. 1995. Island Arc response to shallow subduction of the Cocos Ridge, Costa Rica, *in* Mann P. (Ed.) Geological and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America, *Geol. Soc. Am., Special Paper 295*, 235-262.

Kolarsky, R.A., & P. Mann (1995) Structure and neotectonics of an oblique-subduction margin, southwestern Panama, *in* Mann P. (Ed.) Geological and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America, *Geol. Soc. Am., Special Paper 295*, 131-157.

Lonsdale P. & K.D. Klitgord. 1978. Structure and tectonic history of the eastern Panama Basin, *Geol Soc. Am. Bull.*, 89, 981-999.

Moore, G.F., & K.L. Sender. 1995. Fracture zone collision along the South Panama margin, *in* Mann P. (Ed.) Geological and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America, *Geol. Soc. Am., Special Paper 295*, 201-212.

Star & Herald. 1934. 19 y 20 de julio, Biblioteca de la Comisión del Canal de Panamá, Panamá.

Vergara, A. 1998. Tectonic pattern of the Panama Block deduced from seismicity, gravitational data and earthquake mechanism: Implications to the seismic hazard, *Tectonics*, 154, 253-267.

Wells, D.L., & K.J. Coppersmith (1994) New empirical relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84, 974-1002.

Wolters, B., 1986: Seismicity and Tectonics of Southern Central America and Adjacent Regions with Special Attention to the surroundings of Panama: *Tectonophysics*, 128. 21-46.

Recibido junio del 2003, aceptado junio del 2003.

