

Mónica Segovia¹
Hugo Yepes¹
Javier Pacheco²
Nicolás Shapiro²
José Egred¹

PATRONES SÍSMICOS Y EL TERREMOTO DE BAHÍA EN LA ZONA DE SUBDUCCIÓN ECUATORIANA

1 Instituto Geofísico/
Departamento de
Geofísica. Escuela
Politécnica Nacional,
Quito.

2 Instituto de Geofísica,
UNAM, México D.F.,
México.

Resumen

La zona costera centro-norte del Ecuador se ha visto afectada por varios terremotos con magnitudes mayores a 6.9 Ms como consecuencia del fenómeno de subducción de la Placa de Nazca bajo Sudamérica. El registro de la actividad sísmica desde 1991 ha permitido identificar zonas con mayor actividad sísmica y patrones que precedieron al Terremoto de Bahía de 1998 (6.8 Mw). Estos patrones son gaps y semi-donas simples (Magi, 1985) y compuestas que delimitaron la zona de ruptura de este terremoto y que a su vez, delimitan otra zona entre Jama y Punta Galera donde no se ha registrado importante actividad sísmica y que podría registrar un sismo de hasta 7.5 grados.

Abstract

The coastal zone of central to north Ecuador has been affected by various major earthquakes with magnitudes greater than 6.9 Ms as a consequence of the subduction of the Nazca plate beneath South America. The registry of the seismic activity since 1991 has shown zones with greater seismic activity and patterns that preceded the Bahía Earthquake of 1998 (6.8 Mw). These patterns are gaps and forms of simple and compound half-doughnuts that delimit the rupture zone of this earthquake. They also delimit another zone between Jama and Punta Galera where there has been no important seismic activity and which potentially could register an important earthquake of 7.5 magnitude.

msegovia@igepn.edu.ec

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de subducción frente a las costas ecuatorianas ha generado grandes terremotos con el consecuente impacto socio-económico. Estos terremotos afectaron en su totalidad toda la costa centro-norte, pero como puede verse en la Tabla 1 y en la figura 1, algunos sectores fueron afectados en una segunda ocasión. El primer terremoto del que se tiene noticias y que afectó la zona ocurrió en 1896, luego en 1906 ocurrió un terremoto mucho mayor. Los siguientes terremotos que afectaron la zona, lo hicieron progresivamente, de sur a norte en 1942, luego en 1958 y finalmente en 1979.

El registro sísmico mantenido por la RENSIG (Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional), durante más de 10 años en la zona costera ecuatoriana ha permitido seguir con un buen detalle la actividad sísmica relacionada con la subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana, concretamente la relacionada con los sismos de subducción o sismos registrados en la interfase de las dos placas. El Terremoto de Bahía registrado en el año 1998 permitió reconocer y caracterizar la actividad sísmica, así como los patrones sísmicos relacionados con este terremoto.

Los patrones sísmicos observados comprenden el registro de enjambres sísmicos que delimitaron diferentes áreas y los enjambres premonitores.

Adicionalmente, el estudio particular de este terremoto permitió su comparación con los eventos previos registrados en la zona y comprender su rol en este margen convergente de placas.

| Año | Localidad | Magnitud | Referencia para la magnitud |
|------|----------------------|------------------|---|
| 1896 | Bahía | 7 | IG-EPN, 1999 |
| 1901 | Península | 7.8 Ms | BSSA |
| 1906 | Costa centro y norte | 8.8 Mw | Kanamori y McNally, 1982 |
| 1933 | Península | 6.9 Ms | PAS |
| 1942 | Costa centro | 7.6 Mw | Kanamori y McNally, 1982 |
| 1956 | Bahía | 7.3 Ms | PAS |
| 1958 | Costa norte | 7.7 Mw | Kanamori y McNally, 1982 |
| 1979 | Costa colombiana | 7.7 Ms 8.2 Mw | Mendoza y Dewey, 1984 Kanamori y McNally, 1982; Beck y Ruff, 1984 |

Tabla 1. Catálogo de Terremotos del Ecuador-Hipocentros, recopilación por J. Egred, IG-EPN, 1999.

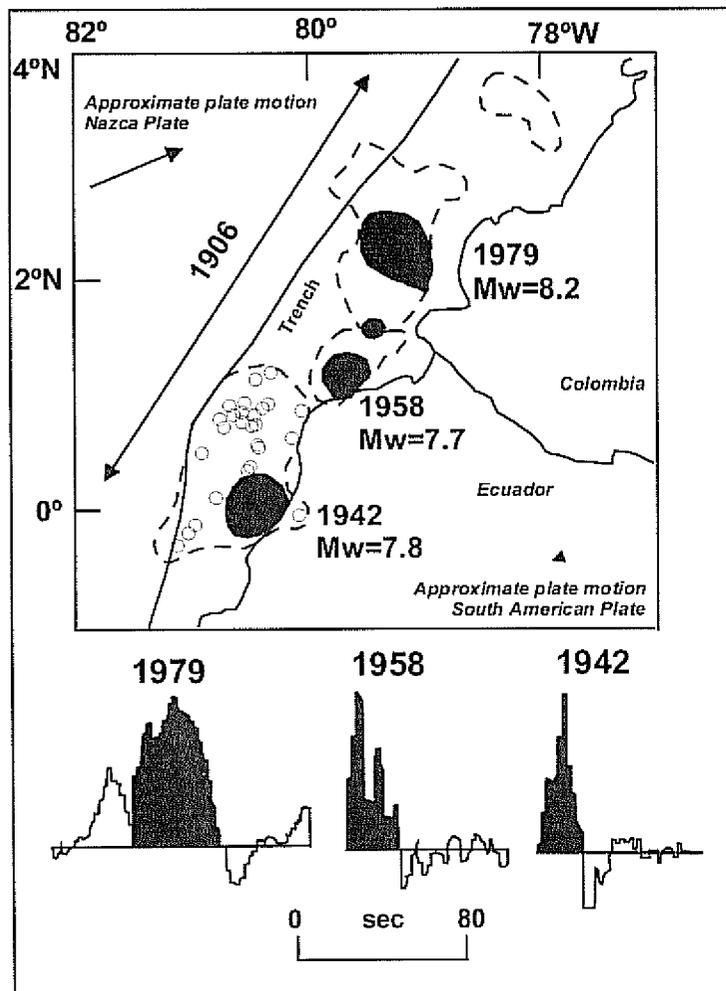


Figura 1. Representación de las zonas de fractura durante los sismos de 1906, 1942, 1958 y 1979 (líneas punteadas) y las zonas de mayor liberación de momento sísmico (áreas oscuras). Se incluye también las funciones de tiempo de las fuentes (historia del mecanismo de ruptura) para los tres últimos sismos (Swenson & Beck, 1996; Mendoza & Dewey, 1984).

Estos enjambres son: Galera y Jama, cuya actividad se dio en varios períodos: Galera en 1993, 1995 y 1998 y Jama entre 1996 y 1997.

El enjambre de Galera, dibuja una línea casi perpendicular a la costa que penetra un poco tierra adentro al sur de Punta Galera. Este enjambre delimita la zona norte de la fractura de 1942 (Kanamori y McNally, 1982), que es también el límite sur de la fractura de 1958.

El enjambre de Jama, muy restringido en el tiempo, forma también una línea perpendicular frente a Cabo Pasado y divide aproximadamente en dos, la ruptura de 1942 (figuras 1 y 2).

La zona de Puerto López que delimita por el sur la zona de fractura de 1942, tuvo una importante actividad entre mayo y julio de 1998. Esta actividad, iniciada tres meses antes del Terremoto de Bahía y que se registró hasta unas tres semanas antes del mismo, fue reconocida a posteriori como un fenómeno premonitor a dicho evento.

En función de esta actividad sísmica observada y de las zonas de ruptura de los grandes terremotos del pasado, se dividió al tramo de subducción ecuatoriano en 4 zonas que son de sur a norte: Puerto López, Bahía, Jama y Punta Galera.

Al analizar la energía sísmica liberada en estas zonas durante estos 10 años de registro, se puede observar cómo en algunos casos, la actividad de una de las zonas definidas, coincide o

PATRONES SÍSMICOS

El estudio de la base de datos de la RENSIG durante períodos de tiempo largos ha permitido caracterizar la actividad sísmica en la zona costera (sismos de subducción). Esta actividad, en el transcurso de los años ha ido delimitando zonas y construido patrones como semi-donas (Mogi, 1985) y enjambres que reflejan las antiguas rupturas de los sismos registrados en el pasado (figura 2).

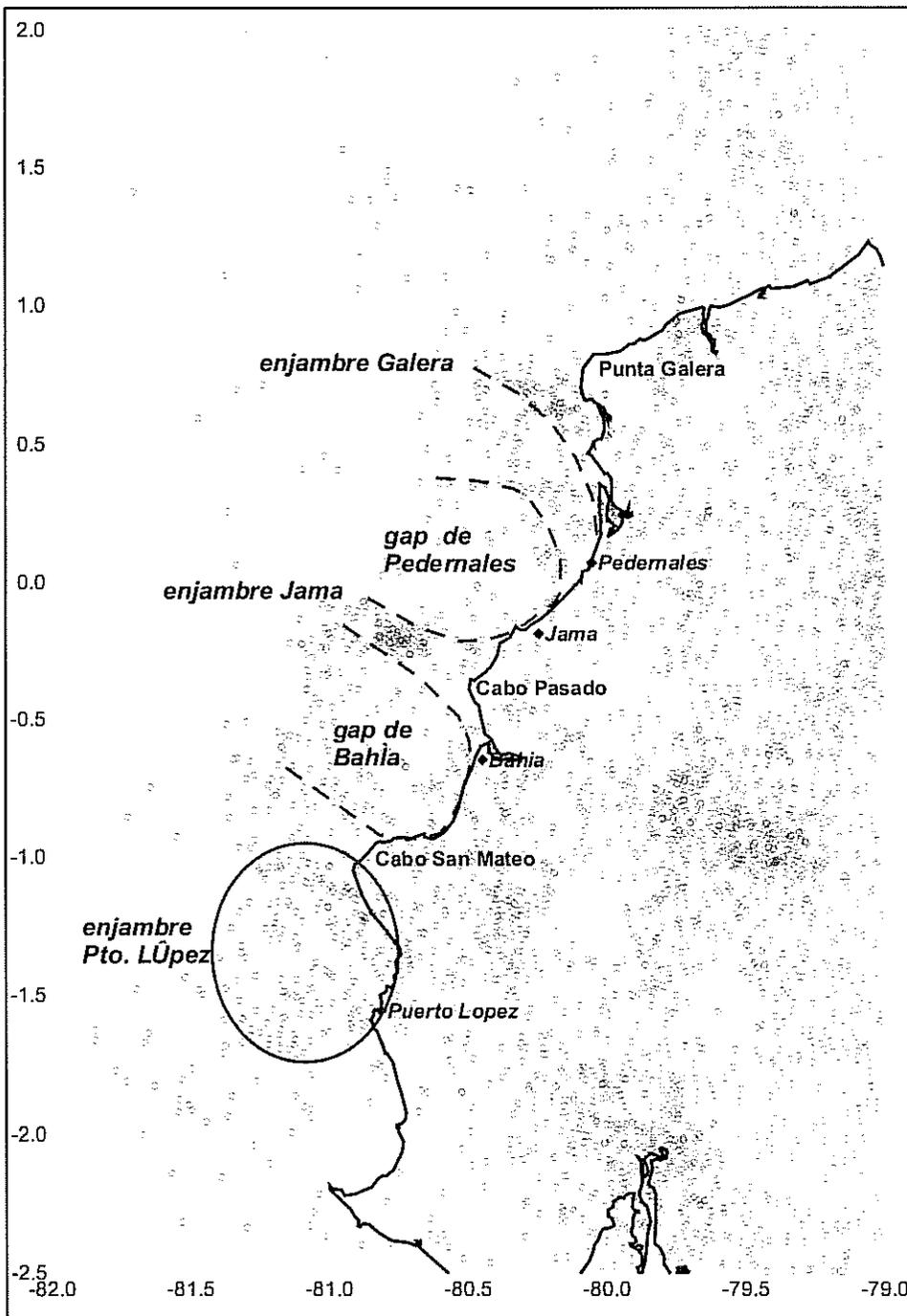


Figura 2. Sismicidad instrumental desde 1991 hasta julio de 1998, justo antes del Terremoto de Bahía. Se presentan todas las ubicaciones obtenidas del reprocesamiento realizado para el estudio. Se marca el patrón de semi-dona compuesta? Entre la zona de Jama y Punta Galera cuya formación abarca este período. La segunda semi-dona marcada (más al sur) se constituyó entre diciembre de 1996 a febrero de 1997 (límite norte) y entre mayo a julio de 1998 (límite sur) (Segovia, 2001).

dispara la actividad en otras. En la figura 3 se observa que la primera zona con actividad fue la de Punta Galera, luego se observan dos períodos de coincidencia entre ésta y el enjambre de Puerto López en febrero de 1993 (1) y en junio de 1996 (2). Entonces, antes de diciembre de 1996, el panorama era de una zona de baja actividad sísmica (*gap*) de aproximadamente 160 km de extensión paralela a la costa entre Punta Galera y Cabo San Mateo. En diciembre de 1996, este panorama cambió con el enjambre de Jama (3) que dividió el anterior *gap* en dos. Paralelamente, la zona de Puerto López presentó una actividad sísmica importante. Un año y medio después, el

gap entre Puerto López y Jama fue cubierto con el sismo de Bahía, previa una importante actividad en Puerto López (4).

EL TERREMOTO DE BAHÍA

Observaciones macro y microsísmicas

El 4 de agosto de 1998, a las 18h59 (GMT), un terremoto de 7.1 Mw (HARVARD CMT) sacudió la costa ecuatoriana. Una hora y veinticuatro minutos antes, un sismo de magnitud 5.4 mb (NEIC), 5.7 mb (RENSIG)

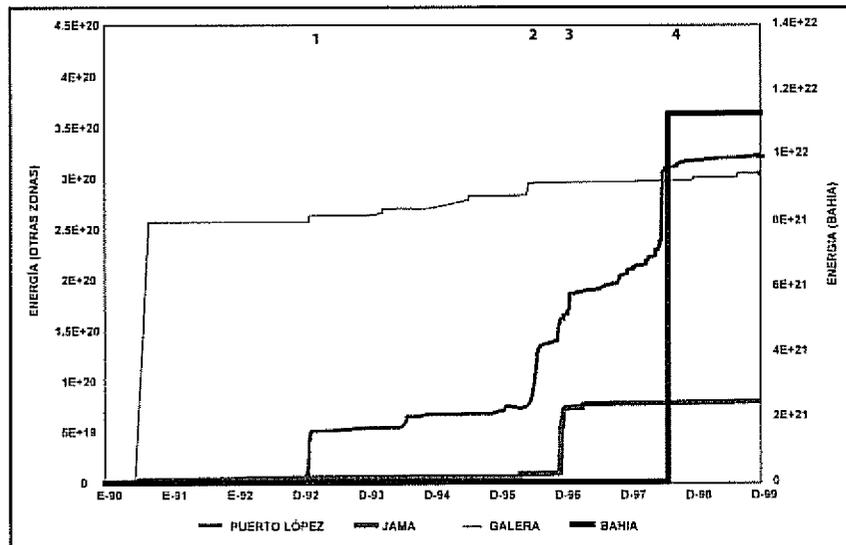


Figura 3. Curvas acumuladas de energía liberadas en las zonas definidas en la zona costera. Considerados únicamente los sismos con magnitud mayor o igual a 4.0 grados. Base RENSIG, 1990-1999 sin selección.

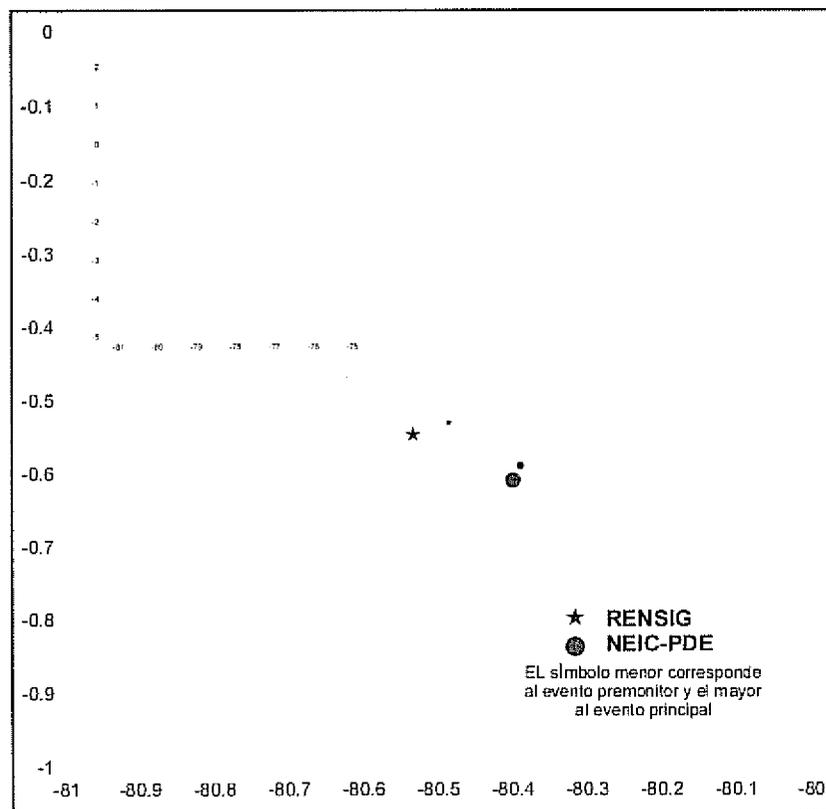


Figura 4. Ubicación de los sismos premonitor y principal determinada por la RENSIG y la Agencia Internacional NEIC.

te, a 350 km de distancia de la zona epicentral (Egred, 1998).

Este terremoto no produjo un tsunami, sólo se registró un pequeño descenso del mar (retroceso) unos 30 minutos luego de registrado el evento.

Cuatro meses después de este terremoto, se contabilizaron alrededor de 100 réplicas de magnitud igual o mayor a 4.0 grados en la escala de Richter y en los meses siguientes, hasta un año después se registraron 10 réplicas más de este tipo.

El total de réplicas localizadas hasta el 31 de diciembre de 1998 asciende a 140 (figura 5). No se registraron muchas réplicas grandes capaces de ser localizadas y el registro más detallado de la actividad sísmica fue seguido en registro analógico de la estación de Cerro de Hojas, cerca de Montecristi (figura 6), contabilizándose un número de alrededor de 800 eventos.

La actividad posterior, no relacionada con el Terremoto de Bahía se registró en el sector de Cojimíes (al sur de Punta Galera), con eventos de entre 4 y 4.4 grados que según reportes de la zona, pasaron desapercibidos (Segovia, 2001).

Observaciones telesísmicas

Utilizando los registros de 19 estaciones de la Red Mundial de Estaciones -Consortio IRIS- (figura 7), el

sacudió la misma zona alertando a la población. Ambos eventos fueron ubicados por la RENSIG a unos catorce kilómetros al Nor-oeste de la ciudad de Bahía de Caráquez (figura 4).

El terremoto y su premonitor fueron sentidos en todo el país; el sismo principal fue sentido en Colombia, hasta Cali y en el Perú, hasta Piura. Las intensidades máximas se registraron en Bahía y alrededores alcanzando valores de VIII MSK. El resto de isosistas presentaron una distribución concéntrica con respecto a la zona epicentral y alargada en forma paralela a la costa. Los valores mínimos reportados fueron de III grados MSK hacia el Es-

método de Nábělek (1984) y el programa BWIDC (Body Wave Inversión Double Couple) se reconstruyó la historia de la fractura y los sismogramas sintéticos (reproducción de sismogramas observados a distancias telesísmicas) de las ondas P y SH (componente de las ondas S en el sensor horizontal y en dirección tangencial a la fuente).

De esta forma, el Terremoto de Bahía tiene un mecanismo inverso cuyo plano tiene un rumbo de 9° , un buzamiento de 14.5° al Este, un slip de 110° (figura 8) y una función de tiempo de la fuente (tiempo que dura la fractura) de aproximadamente 10 segundos. La función de tiempo (figura 9) presenta una mayor liberación de energía entre los 2 y 6 segundos de iniciada la fractura. Considerando una velocidad promedio de propagación de la fractura de 2 km/seg, la zona de mayor liberación corresponde a una pequeña aspereidad de 8 km de longitud y situada a 4 km al Norte del epicentro. El momento sísmico obtenido es un 46% del obtenido por HRV, lo que da una magnitud de 6.8 Mw (Segovia, 2001).

DISCUSIÓN

Los ciclos de ruptura identificados en la zona de subducción Ecuatoriana son dos: el primero representado por la megafractura de 1906 y el segundo con las fracturas de sur a norte de 1942, 1958 y 1979. El terremoto de 1956 y el de 1998, clara-

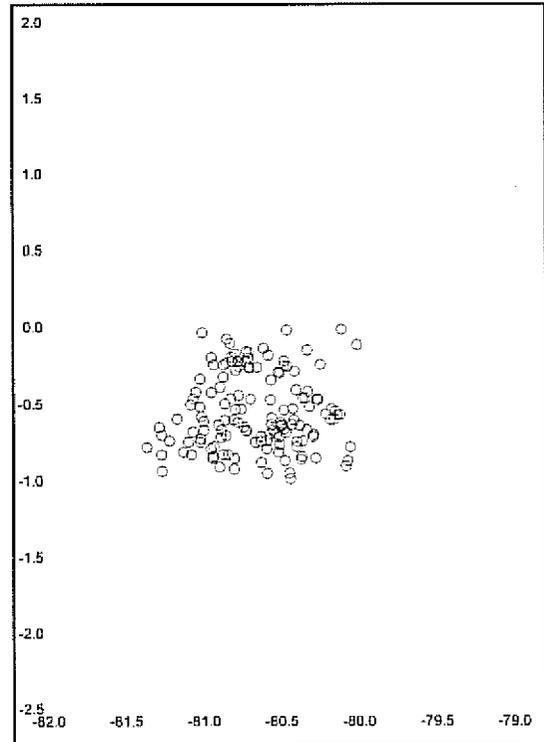
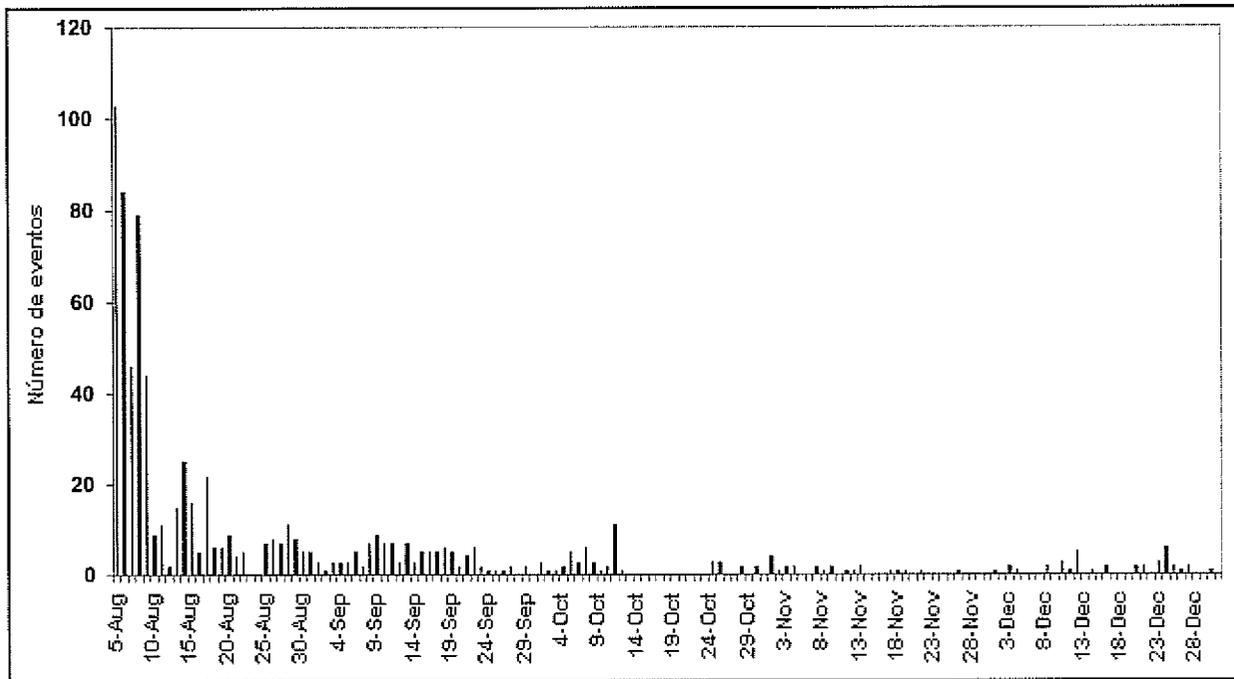


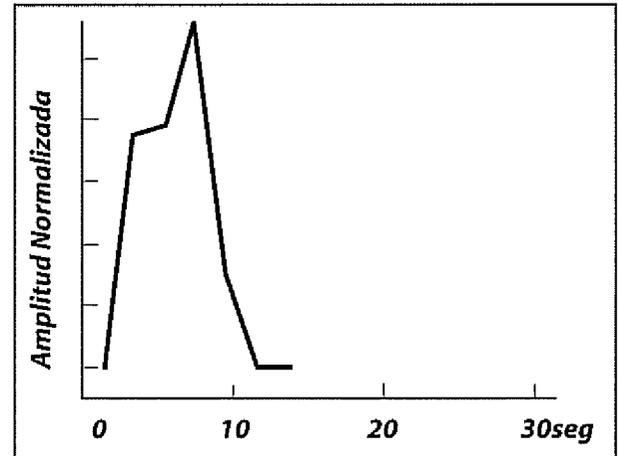
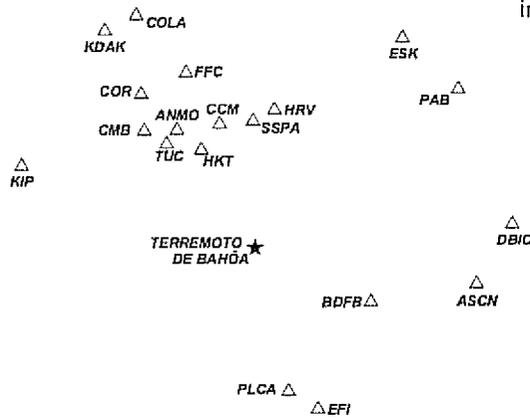
Figura 5. Ubicación epicentral de las réplicas del Terremoto de Bahía hasta el 31 de diciembre. Se incluyen todas las soluciones.



mente rompen el esquema pero podría tratarse de una zona que tiene su propia ciclicidad sin expresión en los segmentos más al norte. La detención de las fracturas durante los terremotos del segundo ciclo responde a barreras que pueden estar asociadas a discontinuidades o irregularidades en la placa oceánica que se subduce y que han sido identificadas en base a la sismicidad local y que son los enjambres de Puerto López y Punta Galera. El enjambre de Ja-

Figura 6. Número de réplicas del Terremoto de Bahía, registradas en la estación sísmica de Cerro de Hojas (Montecristi) hasta el 31 de diciembre de 1998.

Figura 7. Ubicación de las estaciones sísmicas de IRIS empleadas en la inversión de formas de onda.



▲ Figura 9. Función de tiempo obtenida para el Terremoto de Bahía.

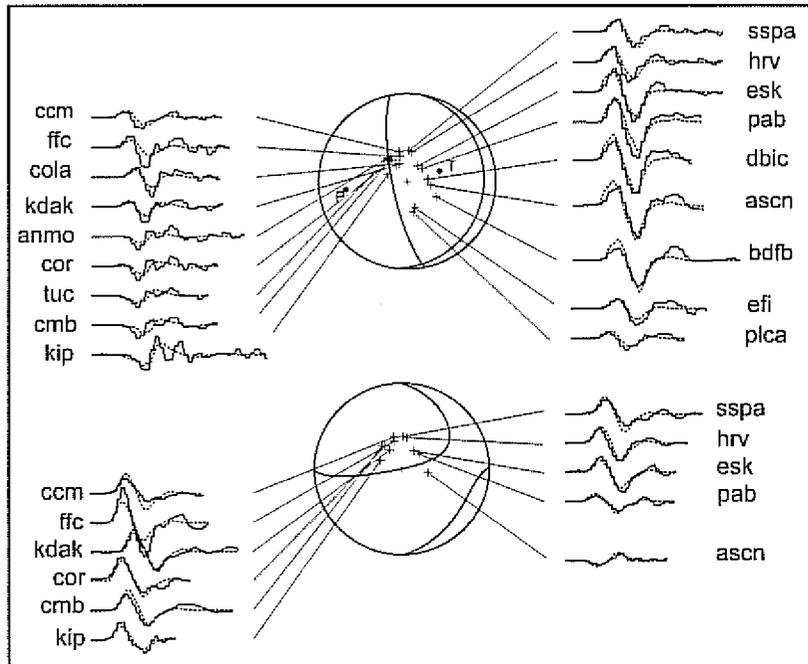


Figura 8. Mecanismo focal obtenido luego de la inversión simultánea de las ondas P y SH. La línea punteada corresponde a los sismogramas sintéticos.

ma claramente divide la zona de fractura de 1942 por lo cual, su papel durante este evento no es muy clara. En cambio, para el terremoto de 1998 sería la aspersion mayor que detiene la fractura.

Sobre los patrones identificados durante 10 años de registro, se observa que las zonas identificadas de sur a norte: Puerto López, Bahía, Jama y Punta Galera en ocasiones registran actividad simultánea o disparan la actividad en otra, así Puerto López es previo al *gap* llenado por el Terremoto de Bahía y sus réplicas.

El Terremoto de Bahía (6,8 Mw) se trata de un evento "pequeño" en función de la historia y la potencialidad sísmica de los segmentos de la subducción en el norte del Ecuador y sur de Colombia. Este evento con un mecanismo inverso (rumbo 9° y buzamiento 14.5°) es un tí-

pico evento de subducción cuya función de tiempo indica una zona de mayor liberación de energía de una extensión de 8 km y situada a 4 km al norte del epicentro.

Sobre el pronóstico de grandes eventos en la zona de subducción, los intentos se ven dificultados puesto que el registro sísmico sólo contiene 500 años de historia y según éste, los sismos grandes como el de 1906 son mas bien raros o no están correctamente identificados en el catálogo histórico. Entonces, el tiempo de recurrencia de eventos como este es muy largo y los eventos menores que se registran son intentos de liberar la energía acumulada pero que son "rápidamente cortados" por las barreras mencionadas. Únicamente con una red de vigilancia sensible, se pueden detectar *gaps* menores y entonces el pronóstico de sismos relativamente grandes

puede presentar menos incertidumbres, al menos en cuanto a la magnitud esperada, siempre y cuando no se sobrepasen los límites de las antiguas fracturas. En este sentido, el Terremoto de Bahía rellenó un gap y el que falta por rellenar, entre Jama y Punta Galera, registraría un terremoto de 7.5 grados.

Finalmente, un tercer gap no muy bien identificado en parte por la cobertura de la RENSIG estaría definido desde Punta Galera hasta la zona de Tumaco en Colombia. Este gap no es muy claro en el sentido de que está abarcando dos zonas de rupturas mayores eg. 1958 y 1979, así que es más difícil pronosticar si será "rellenado" de una vez o si ocurrirá en dos episodios debido a las barreras mayores que debieron controlar el sismo de 1958.

REFERENCIAS

- Beck, S.L. y Ruff, J.F., 1984. *The Rupture Process of the Great 1979 Colombia Earthquake: Evidence for the Asperity Model*, Journal of Geophysical Research, vol. 89, No. B11, pp. 9281-9291.
- BSSA: Boletín de la Sociedad Sismológica de América.
- Egred, J., 1998. *Informe preliminar de intensidades registradas en el sismo de Bahía del 4 de agosto de 1998*, EPN, inédito.
- HARVARD-CMT-CATALOG, <http://www.seismology.harvard.edu>.
- IG-EPN, 1999. *Carálogo de Terremotos del Ecuador-Hipocentros*, recopilación por J. Egred, Quito.
- Kanamori, H. y McNally, K.C., 1982. *Variable rupture mode of the subduction along the Ecuador-Colombia coast*, Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 72, No. 4, pp. 1241-1253.
- Mendoza, C. y Dewey, J., 1984. *Seismicity associated with the great Colombia-Ecuador earthquakes of 1942, 1958 and 1979, Implications for barrier models of earthquake rupture*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 74, No. 2, pp. 577-593.
- Mogi, K., 1985. *Earthquake Prediction*, Academic Press Inc., Orlando, 355 p.
- Nábèlek, J., 1984. *Determination of earthquake source parameters from inversion of body waves*, PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- NEIC, 1994, 1998. <http://wwwneic.cr.usgs.gov>.
- PAS: California Institute of Technology, Pasadena, California, USA.
- Segovia, M., 2001. *El sismo de Bahía del 4 de agosto de 1998: Caracterización del Mecanismo de Ruptura y Análisis de la Sismicidad en la Zona Costera*, Tesis de Ing. Geol., Quito, EPN, 120 p., IV anexos.
- Swenson, J.L. y Beck, S.L., 1996. *Historical 1942 Ecuador and 1942 Peru Subduction Earthquakes and Earthquakes Cycles along Colombia-Ecuador and Peru Subductions Segments*, PAGEOPH, vol. 146, No. 1, pp. 67-101.