

PARÁMETROS DE LA FUENTE DE EVENTOS SÍSMICOS DEL ENJAMBRE DE MANTA-ECUADOR/2005: UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE NABELEK (1984)

Sandro Vaca

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, Aptdo.
2759 Quito - Ecuador

RESUMEN

La subducción de la placa Nazca y de la cordillera asísmica de Carnegie, en la margen ecuatoriana, genera una acumulación importante de esfuerzos, evidenciada por la recurrente sismicidad de la zona interplaca, levantamientos de terrazas marinas y medidas GPS. Sísmicamente en el siglo XX, cuatro sismos de gran magnitud ($M_w > 7.6$) están localizados en la zona norte (norte de 0.5°S) de la interplaca: 1906 (8.8 M_w), 1942 (7.6 M_w), 1958 (7.7 M_w) y 1979 (8.2 M_w). Por el contrario, en la región de Manta (0.5°S y 2.5°S), la sismicidad presenta magnitudes medias ($M_w < 7.1$), además de caracterizarse por la ocurrencia de enjambres sísmicos como los de 1998, 2002 y 2005. De éstos, el de 2005 es el de mayor importancia y se caracterizó por la ocurrencia de cuatro sismos $M_w \geq 6$, 11 sismos con M_w entre 5 y 6 (NEIC) y alrededor de 470 sismos con un m_b entre 4 y 5 (fuente IG-EPN). Los hipocentros y los mecanismos focales de este enjambre, dada la configuración no han sido bien resueltos por el IG-EPN, por lo que no se tiene una buena imagen de la distribución espacial de los eventos, pero se determina que los eventos se distribuyen en una zona extendida. Por otro lado, los tensores de momento (CMTS, Centroid Moment Tensor Solution) publicados por Harvard presentan una calidad variable por lo que se planteó como objetivo del estudio, tener mayor información sobre la fuente a través de la resolución de mecanismos focales por inversión de formas de ondas telesísmicas con el método de Nabelek (1984).

La modelación de formas de onda de los cuatro sismos más fuertes (magnitud 6+) del enjambre sísmico de 2005 indica que los planos de falla tienen azimuts aproximadamente N-S, los buzamientos entre 18° y 24° y los mecanismos son de tipo inverso. Se ha determinado con mejor precisión las profundidades de estos eventos entre 6 y 12 km y las magnitudes M_w entre 5.9 y 6.1.

Finalmente, basados en la presunción de una sismicidad distribuida en una zona relativamente extensa, los parámetros obtenidos a través de la inversión y la información de las estructuras definidas a partir de geofísica marina; se intuye que los sismos estén ligados a “asperezas” (puntos de altos topográficos) de la cordillera de Carnegie en subducción.

INTRODUCCIÓN

La margen ecuatoriana es un límite convergente caracterizado por la subducción de la placa oceánica Nazca bajo la placa continental sudamericana con una velocidad de ~ 6 cm/año (Trenpkamp et al., 2002) y una dirección \sim E-W. La actividad del punto caliente Galápagos

y el desplazamiento hacia el este de la placa Nazca permitieron la formación de la cordillera de Carnegie.

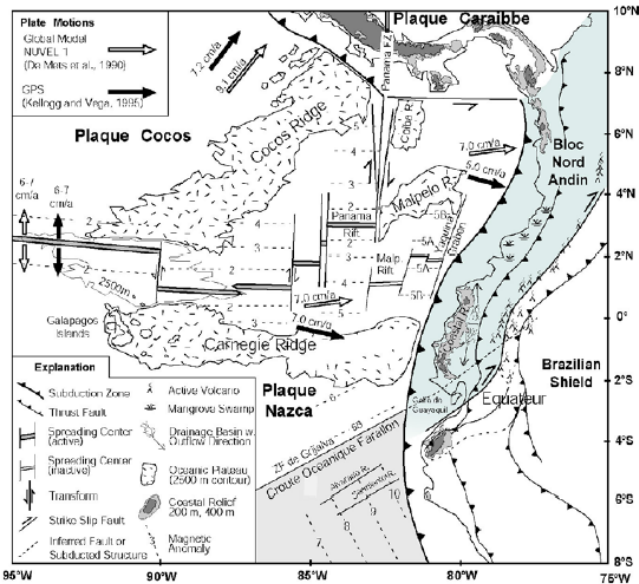
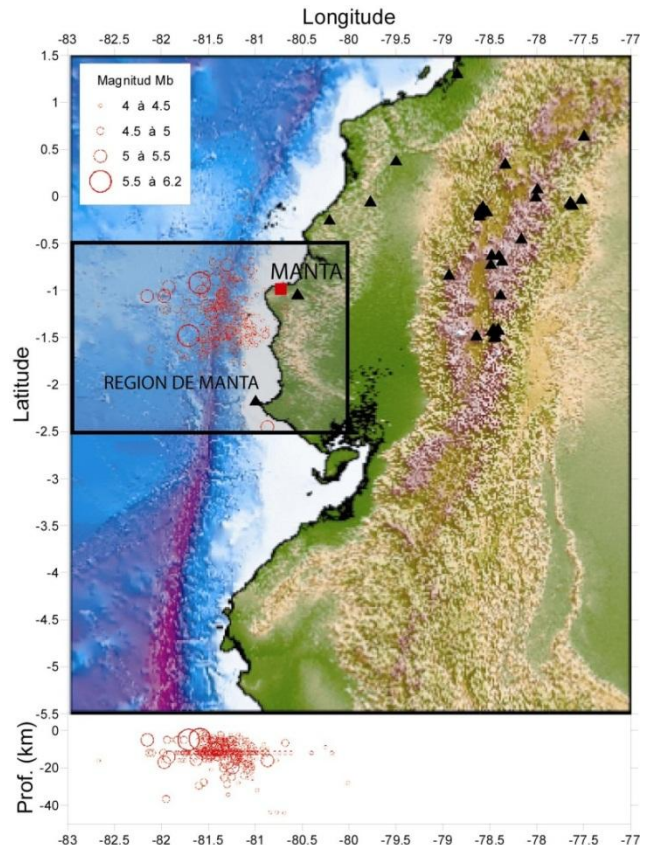


Figura 1. Contexto geodinámico de la subducción a lo largo de los Andes del Norte, mostrando las intersecciones entre las placas Sudamericana y las placas oceánicas de Cocos y Nazca. Frente al Ecuador, la Placa de Nazca porta la Cordillera Asísmica de Carnegie, así como la zona de Fractura Grijalva, que separa dos dominios oceánicos de edades diferentes. (Modificado de Gutscher et al. 1999)

Autores como Cloos (1992) y Gardner et al. (1992) sostienen que la presencia de anomalías morfológicas como los plateaus oceánicos, escarpes de zonas de fractura o cordilleras asísmicas sobre la placa que subduce pueden generar variaciones en el acoplamiento de las placas en contacto, siendo este el

caso de la Cordillera de Carnegie (Gutcher et al., 1999; Calahorrano, 2001; Graindorge et al., 2004; Pedoja et al, 2006) (Fig. 1), la que influiría en la sismicidad y la dinámica de la margen y corroborada con medidas de GPS (Trenpkampt et al., 2002; White et al., 2003) y los levantamientos de las terrazas marinas sobre la costa ecuatoriana (Pedoja et al., 2006). Hacia el norte de la cordillera, la margen Norecuatoriana-Surcolombiana ha sido afectada por sismos de fuerte magnitud (sismos mayores de magnitud $M_w > 7.6$ en el siglo pasado: 1906 (8.8 Mw), 1942 (7.6 Mw), 1958 (7.7 Mw) y 1979 (8.2 Mw)), por el contrario, en la parte sur de la cordillera la sismicidad es moderada pero recurrente. Un ejemplo claro de este comportamiento es el enjambre sísmico registrado entre enero a mayo de 2005 a lo largo de la región frente a las costa de Manta (Fig. 2). Esta actividad sísmica se caracteriza por una secuencia sin sismo principal, una duración importante (-3 meses) y por un gran número de pequeños sismos (~470). Los cuatro eventos más fuertes tienen una magnitud del orden de 6+ (Catálogo NEIC, National Earthquake Information Center).

Figura 2 Mapa y corte W-E de la sismicidad del enjambre sísmico de Manta/2005. El mapa muestra las principales estaciones sismológicas (triángulos negros) que funcionaron durante la el enjambre. La profundidad de una gran parte de los sismos están fijados a 12 km (Sismicidad basada en la información del IG-EPN)



Los sismos más grandes (magnitud > 5) fueron localizados por NEIC-USGS y los momentos sísmicos de esos eventos están calculados y referenciados en el catálogo de CMT (Centroid Moment Tensor) de Harvard. Todos los sismos de magnitud superior a 4 fueron localizados por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional (IG-EPN) con los datos de la Red Nacional de Sismógrafos (RENSIG), observándose que los eventos se distribuyen sobre una zona amplia.

En este trabajo se determinan los parámetros de la fuente sísmica en base a la modelación de las formas de onda de los sismogramas de estaciones lejanas, con la utilización del método de Nabelek (1984). El mejor conocimiento de los parámetros de ruptura permitirá la formulación de hipótesis sobre la significación geodinámica de este enjambre sísmico.

DATOS

En la base de datos de IRIS existe información disponible sobre cinco sismos del enjambre de Manta/2005, de los cuales cuatro eventos son analizados: 0501211345, 0501242323, 0501280926 y 0501281546. Las características de estos sismos son indicadas en la tabla 1.

Fecha (m/d)	Hora (UTM)	Hipocentro (IG)			mb (IG)	Hipocentro (Hrv.)			Mw (Hrv .)	Mo x E25 (Hrv.)	Mecanismo Focal		
		Lat. (°)	Long. (°)	Pf. (km)		Lat. (°)	Long. (°)	Pf. (km)			ϕ (°)	δ (°)	λ (°)
01/21	13 :45	-1.06	-82.15	5.0	5.2	-1.23	-81.05	12	6.0	1.20	3	18	96
01/24	23 :23	-1.48	-81.71	5.0	6.0	-1.53	-80.95	16	6.1	1.76	6	15	100
01/28	09 :26	-0.92	-81.59	4.6	5.5	-1.22	-81.39	12	6.0	1.22	11	20	98
01/28	15 :46	-0.88	-81.42	10.0	5.4	-1.10	-81.20	12	5.9	0.93	10	19	100

Tabla 1. información general sobre los sismos utilizados en este estudio. Notar que la información corresponde al Instituto Geofísico (IG) en Ecuador y Harvard (Hrv).

METODO DE NABELEK

El procedimiento de Nabelek (1984), está basado en la minimización (iterativa) por el método de los medios cuadráticos de las diferencias de las formas de onda de volumen (P, SH) sintéticas y observadas para las estaciones a distancias entre 30° y 90°. Se escoge las estaciones a distancias entre 30° y 90° para evitar los efectos de triplicación en los registros, a causa de la reflexión de las ondas sobre las discontinuidades de 410 y 670 km de profundidad

RESULTADOS

Los resultados son resumidos en la tabla 2, los mecanismos focales son mostrados en la figura 3.

Sismo	Mecanismo focal			Profundidad (km)	Mo.E25 (dyn.cm)	Mw	rms
	Φ (°)	$\bar{\delta}$ (°)	λ (°)				

0501211345	18.36	23.57	104.57	11.56	1.09	6.0	0.49
0501242323	-17.10	18.66	78.98	8.31	1.92	6.1	0.31
0501280926	10.72	21.33	94.73	6.46	1.44	6.0	0.27
0501281546	14.60	20.89	105.31	10.01	0.80	5.9	0.42

Tabla 2. Resumen de la inversión de las formas de onda de cuerpo por el método de Nabelek (1984).

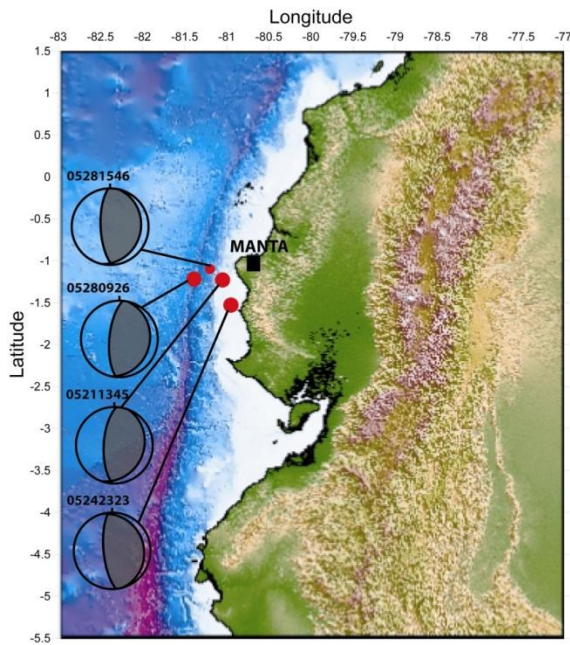


Figura 3. Localizaciones publicadas por Harvard y mecanismos focales encontrados por la inversión con el método de Nabelek (1984).

Discusión de resultados

Los mecanismos focales (tipo cabalgantes) corresponden a la zona de interplaca con ángulos entre 18° y 24°, planos nodales en dirección de la fosa (~N-S), además que los mecanismos estudiados presentan características generales similares a los publicados por Harvard (Mecanismos inversos ~N-S de bajo ángulo) (Fig. 3).

Con la modelación de las formas de onda se ha podido constreñir la profundidad (tabla 2). Además, con los valores de profundidad encontrados en este trabajo y basados en la hipótesis que las localizaciones son aproximadas, se puede decir que los sismos están dentro de la zona sismogénica considerada por Graindorge et al. (2004).

En lo que concierne el momento sísmico, los resultados obtenidos son comparables a los que son presentados por Harvard.

A partir de los momentos sísmicos encontrados y en base al formulismo de Wells y Coppersmith (1994), se puede estimar las superficies de ruptura, diámetros de esas superficies (asumiendo secciones circulares) y desplazamientos medios aproximados (tabla 3).

Evento	Mo.E25 (dyn.cm)	Superficie de ruptura (km ²)	Diámetro de ruptura (km)	Desplazamiento medio (cm)
0501211345	1.09	78	10	46.58
0501242323	1.92	97	11	65.97
0501280926	1.44	78	10	61.53
0501281546	.80	62	9	43.01

Tabla 3. Resumen de parámetros adicionales obtenidos a partir del momento sísmico.

Entonces las estructuras responsables de esta sismicidad serían asperezas (montes submarinos) que entran en subducción según lo explica Cloos (1992). Estas asperezas presentes a poca profundidad y a lo largo de la interfase de subducción (comparables a las profundidades calculadas en la inversión) tendrían formas y tamaños similares a aquellas que se puede reconocer sobre la cordillera de Carnegie (Villamar, 2001; Sage et al., 2006)

CONCLUSIONES

En el contexto tectónico de la margen ecuatoriana, un enjambre sísmico tuvo lugar durante los meses de enero a marzo de 2005. Este enjambre está caracterizado por la ocurrencia de cuatro sismos de magnitud igual o mayor a 6, 11 sismos entre 5 y 6, y alrededor de 470 eventos entre 4 y 5, registrados por la red nacional de sismológica ecuatoriana (RENSIG) y localizados por el IG-EPN.

Los mecanismos de ruptura encontrados por inversión con el método de Nabelek (1984), se determinan funcionamientos inversos, planos en dirección aproximada N-S e inclinaciones bajas del plano de falla. Las profundidades encontradas varían entre ~7 y 12 km y finalmente las magnitudes calculadas a partir de las modelaciones están entre 5.9 y 6.1. Los resultados encontrados son similares a los publicados por Harvard y son coherentes con una localización de sismos en la zona interplaca.

Las superficies de ruptura estimadas estarían comprendidas entre aproximadamente 60 y ~100 km², los diámetros correspondientes a esas áreas (considerando que las asperezas causantes de los eventos tienen bases circulares) estarían entre ~9 y 10 km. De manera similar se estimaron, en función de los datos precedentes, los desplazamientos medios entre ~43 y 66 cm.

A partir de los datos hipocentrales y de la inversión de ondas, se estima que las probables estructuras responsables sobre las cuales se producen las rupturas serían asperezas (montes submarinos) que entran en subducción de acuerdo al criterio de Cloos (1992). Estas asperezas cuyas profundidades de ubicación serían bajas, a lo largo de la interfase de subducción son comparables a las profundidades calculadas en la inversión y podrían tener las formas y tamaños similares a aquellas que se puede reconocer actualmente sobre la cordillera de Carnegie y cuya presencia en subducción es puesta en evidencia por Villamar (2001) y Sage et al. (2006).

Por el momento, persisten incertitudes sobre la estimación del potencial sísmico de la región de Manta. Incertitudes que pueden ser reducidas con la ayuda de programas de investigación que comprendan la recopilación y análisis de más información de las redes sísmicas y geodésicas. A la vez, es necesario se desarrollen mejores modelos de velocidad a partir de datos de las redes local y/o regionales que permitan mejorar las estimaciones hipocentrales.

BIBLIOGRAFÍA

- CLOOS. M., 1992. Thrust-type subduction-zone earthquakes and seamount asperities: A physical model for seismic rupture. *Geology*, v. 20, p. 601-604.

- NABELEK, J., 1984. Determination of source parameters from inversion of body waves, Ph. D. thesis, Mass. Inst. of Technol., Cambridge.
- TRENKAMP, R., KELLOGG, J., FREYMUELLER, J., and MORA, H., 2002, Wide plate margin deformation southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, p. 157-171.
- GARDNER, T., VERDONCK, D., PINTER, N., SLINGERLAND, R., FURLONG, K., BULLARD, T., WELLS, S., 1992. Quaternary uplift astride the aseismic Cocos Ridge, Pacific Coast, Costa Rica. *Geological Society of American Bulletin*, v.104, p. 219-232.
- GUTSCHER, M.-A., MALAVIEILLE, J., LALLEMAND, J., COLLOT, J.-Y., 1999. Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 168, pp. 255-270
- HARVARD SEISMOLOGY: CENTROID-MOMENT TENSOR PROJECT:
<http://www.seismology.harvard.edu/projects/CMT/>
- IG-EPN: <http://www.igepn.edu.ec>
- CALAHORRANO, A., 2001. Subduction de la ride de Carnegie sous la marge de l'Equateur: modélisation de la structure de la croûte à partir des données de sismique grand angle, (Rapport de DEA), Université Pierre et Marie Curie Paris VI.
- GRAINDORGE, D., CALAHORRANO, A., CHARVIS, P., COLLOT, J.-Y., BETHOUX, N., 2004. Deep structure of the Ecuador convergent margin and the Carnegie Ridge, possible consequence on great earthquakes recurrence interval. *Geophysical Research Letters*, v. 31, doi: 10.1029/2003GL018803.
- NEIC: <http://www.neic.usgs.gov>
- PEDOJA, K., DUMONT J.-F., LAMOTHE, M., ORTLIEB, B., COLLOT, J.-Y., GHALEB, B., AUCLAIR, M., ALVAREZ, V. and LABROUSSE, B., 2006. Plio-Quaternary uplift of the Carnegie Ridge, central coast of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 22, p. 1-21.
- SAGE, F., COLLOT, J.-Y., y RANERO, C. R. 2006. Interplate patchiness and subduction-erosion mechanisms: Evidence from depth migrated seismic images at the Central Ecuador convergent margin, *Geology*, 4, 997-1000.
- VILLAMAR, R., 2001, Subduction de la Ride de Carnégie sous la marge de l'Equateur: structure et déformation à partir des données de sismique multitrace (Rapport de DEA):
Villefranche sur mer, Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- WELLS, D. and COPPERSMITH, K., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of Seismological Society of America*, v. 84, p. 974-1002.
- WHITE, S., TRENKAMP, R., and KELLOGG, J., 2003. Recent crustal deformation and the earthquake cycle along the Ecuador-Colombia subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 216, p. 231-242.
- WELLS, D. and COPPERSMITH, K., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of Seismological Society of America*, v. 84, p. 974-1002.