

# Evaluación del mecanismo focal y de la profundidad con una única estación de banda ancha

**Andrés José Alfaro Castillo\***

## RESUMEN

Con el continuo mejoramiento de la instrumentación sismológica y de los sistemas de computación, se ha dado un mayor entendimiento del fenómeno sísmico. Hasta hace poco era necesaria una red sismológica alrededor de la fuente sismogénica para poder determinar el mecanismo focal desde el punto de vista sismológico. Si bien rutinariamente instituciones como la Universidad de Harvard, el United States Geological Survey y el Earthquake Research Institute de la Universidad de Tokio analizan y reportan en tiempo casi real los mecanismos de los eventos ocurridos en cualquier lugar del mundo con magnitudes mayores a 5.5, solo las instituciones regionales o locales analizan los de menor magnitud. En algunos países las redes no son lo suficientemente densas y en otros hay una carencia de equipos de banda ancha, lo cual dificulta en gran medida el estudio de las fuentes sismogénicas. Este artículo presenta la aplicación de la metodología del análisis de mecanismos focales con registros de banda ancha para distancias menores a 5 grados con registros de una sola estación.

**Palabras clave:** mecanismo focal, profundidad, banda ancha, otavalo, Ecuador, Colombia.

## FOCAL MECHANISM AND DEPTH ASSESSMENT BY USING A SINGLE BROADBAND STATION

### ABSTRACT

A better understanding of seismic phenomena has emerged because of the continuous improvement of seismology instruments and computational infrastructure. Until recently a network around the seismogenetic source was needed in order to assess the focal mechanism from a seismological perspective. It is well known that everyday, institutions like Harvard University, The United States Geological Survey and the Earthquake Research Institute from Tokyo University analyse and report, almost in real time, the focal mechanisms of events with magnitudes greater than 5.5 happening anywhere around the world. Only local or regional seismic networks are able to analyze events smaller than 5.5. In some countries seismic networks are not so compact and some others lack of broadband stations. This fact makes the study of seismogenetic sources difficult. This article presents the application of an analysis methodology of focal mechanisms using broadband records for epicentre distances shorter than 5 degrees using a single station.

**Key Words:** Focal Mechanism, Depth, Broadband, Otavalo, Ecuador, Colombia.

\* Ingeniero Civil Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Magíster en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural, Universidad Politécnica de Cataluña. Especialista en Sismología, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tsukuba, Japón.

Correo electrónico: alfaro@ciees.org

Fecha de recepción: mayo 1 de 2006.

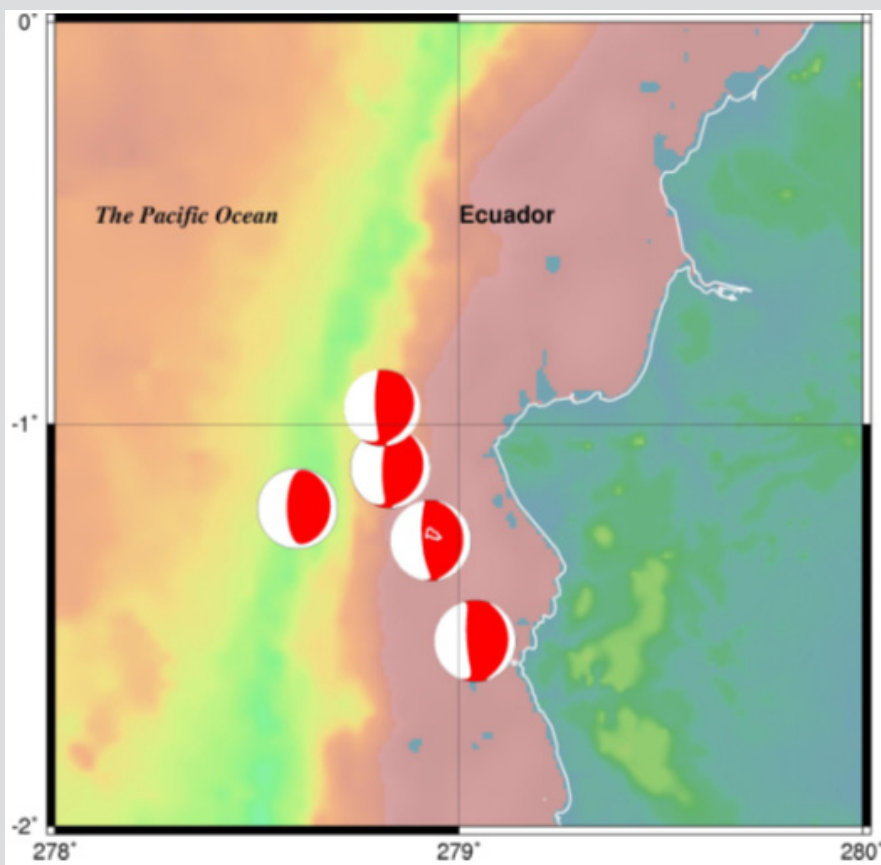
Fecha de aprobación: agosto 1 de 2006.

## INTRODUCCIÓN

Durante el mes de enero de 2005 se presentó una crisis sísmica en la costa de Ecuador con más de 30 eventos con magnitudes  $m_b$  entre 3.7 y  $M_w$  6.2, los eventos más importantes se presentan en la tabla 1 (Iris, 2005; USGS, 2005; Harvard, 2005). Los mecanismos focales son calculados rutinariamente para sismos con magnitudes mayores a 5.5 por Harvard (2005) (Figura 1). Con la metodología que presenta

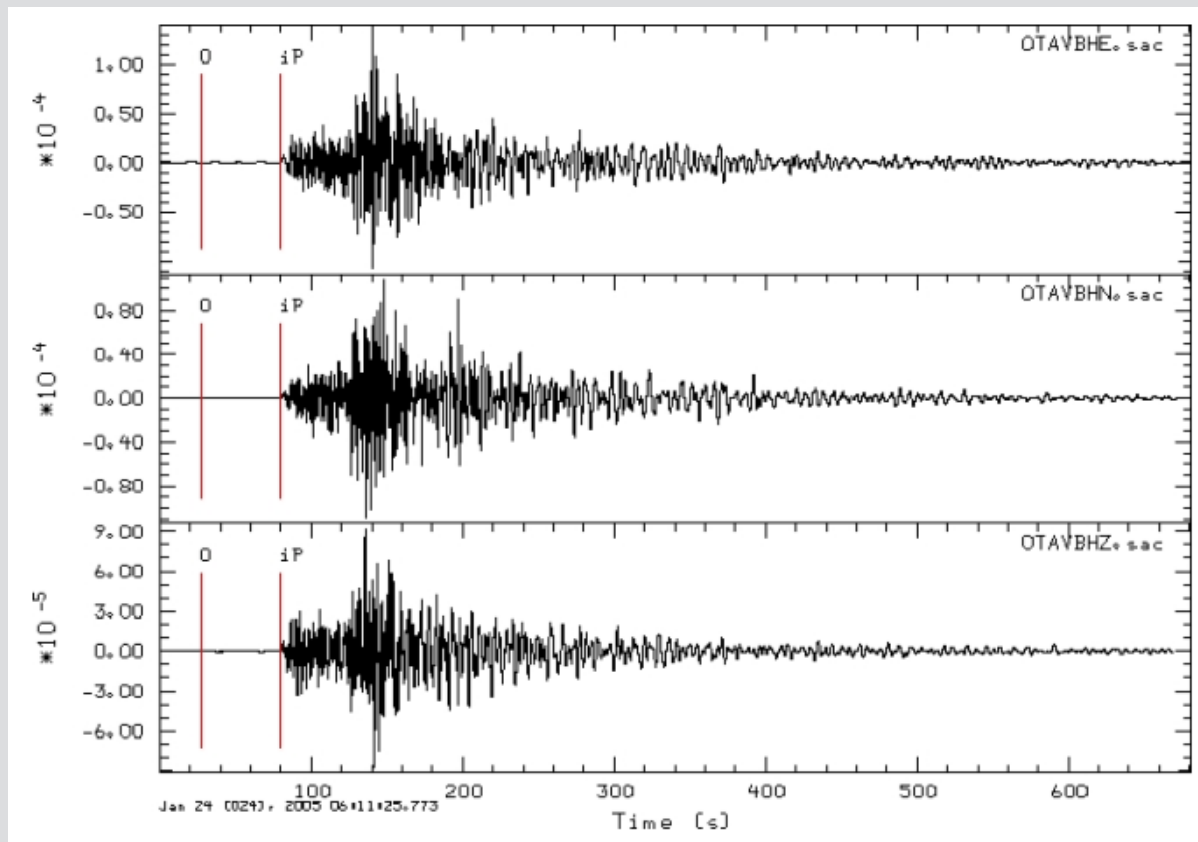
Yagi (2005), es posible, con datos de una sola estación, en este caso Otavalo, analizar los mecanismos focales de los restantes 30 eventos para conocer mejor las fuentes sismogénicas que generaron esta crisis (Alfaro, 2005). En este artículo se presentan los resultados de la evaluación del mecanismo focal y revisión de la profundidad del sismo del 24 de enero de 2005 ( $M_S$  5.6) en Ecuador mediante la utilización de los registros de la estación de banda ancha de Otavalo (OTAV) que se presentan en la Figura 2.

**FIGURA 1.** MECANISMOS FOCALES DE LOS CINCO EVENTOS MAYORES DE LA CRISIS DE ECUADOR.



Fuente de los datos: CMT Project (Harvard, 2005).

**FIGURA 2.** REGISTROS UTILIZADOS.



Fuente: Data Management Center del IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology).

**TABLA 1**

| Fecha    | Hora        | Magnitud Ms | Latitud | Longitud | Profundidad            | Fuente      |
|----------|-------------|-------------|---------|----------|------------------------|-------------|
| 20050121 | 13:45:14.0  | 6.0         | -1.12   | -80.71   | 10.0                   | Spyder-IRIS |
| 20050124 | 06:11:52.1  | 5.6         | -2.35   | -80.59   | 29.6                   | Spyder-IRIS |
| 20050124 | 23:23:26.8  | 6.1         | -1.39   | -80.70   | 25.0                   | Spyder-IRIS |
| 20050128 | 09:26:17.96 | Mw 6.1      | -1.219  | -81.172  | 10.0                   | PDE-USGS    |
| 20050128 | 15:46:46.2  | 6.1         | -1.18   | -81.11   | 10.0                   | Spyder-IRIS |
| 20050130 | 07:06:49.1  | Mw 5.7      | -0.80   | -81.06   | 12.0 (CMT) / 28 (USGS) | PDE-USGS    |

Para eventos de esta magnitud, rutinariamente la Universidad de Harvard y el USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) y eventualmente el ERI (Earthquake Research Institute) de la Univer-

sidad de Tokio, evalúan los mecanismos focales, utilizando para ellos registros de banda ancha.

La Tabla 2 sintetiza el reporte de los mecanismos focales evaluados (Harvard, 2005; USGS, 2005).

**TABLA 2**

|                             | Parámetro     | USGS       | Harvard |
|-----------------------------|---------------|------------|---------|
| <b>20050121-13:45:14.0</b>  |               |            |         |
|                             | Profundidad   |            | 12.0    |
|                             | Azimut 1      | 39         | 6       |
|                             | Buzamiento 1  | 33         | 19      |
|                             | Fallamiento 1 | 143        | 100     |
|                             | Azimut 2      | 162        | 175     |
|                             | Buzamiento 2  | 71         | 71      |
|                             | Fallamiento 2 | 63         | 86      |
|                             | Mo            | 1.2*10*18  |         |
|                             | Mw            | 6.0        | 6.0     |
|                             | Estaciones    | 5          |         |
| <b>20050124-06:11:52.1</b>  |               |            |         |
|                             | Profundidad   |            | 28.4    |
|                             | Azimut 1      |            | 347     |
|                             | Buzamiento 1  |            | 78      |
|                             | Fallamiento 1 |            | 8       |
|                             | Azimut 2      |            | 256     |
|                             | Buzamiento 2  |            | 82      |
|                             | Fallamiento 2 |            | 168     |
|                             | Mo            |            |         |
|                             | Mw            |            | 5.6     |
|                             | Estaciones    |            |         |
| <b>20050124-23:23:26.8</b>  |               |            |         |
|                             | Profundidad   |            | 13.6    |
|                             | Azimut 1      | 339        | 10      |
|                             | Buzamiento 1  | 8          | 18      |
|                             | Fallamiento 1 | 84         | 104     |
|                             | Azimut 2      | 165        | 176     |
|                             | Buzamiento 2  | 82         | 72      |
|                             | Fallamiento 2 | 91         | 86      |
|                             | Mo            | 1.4*10**18 |         |
|                             | Mw            | 6.1        | 6.0     |
|                             | Estaciones    | 19         |         |
| <b>20050128-09:26:17.96</b> |               |            |         |
|                             | Profundidad   |            | 12.0    |
|                             | Azimut 1      | 14         | 12      |
|                             | Buzamiento 1  | 7          | 20      |
|                             | Fallamiento 1 | 100        | 102     |
|                             | Azimut 2      | 184        | 180     |
|                             | Buzamiento 2  | 83         | 70      |
|                             | Fallamiento 2 | 89         | 86      |
|                             | Mo            | 1.6*10**18 |         |
|                             | Mw            | 6.1        | 6.0     |
|                             | Estaciones    | 29         |         |
| <b>20050128-15:46:46.2</b>  |               |            |         |
|                             | Profundidad   |            | 12.0    |
|                             | Azimut 1      | 305        | 23      |
|                             | Buzamiento 1  | 9          | 19      |
|                             | Fallamiento 1 | 35         | 111     |
|                             | Azimut 2      | 180        | 182     |
|                             | Buzamiento 2  | 85         | 72      |
|                             | Fallamiento 2 | 97         | 83      |
|                             | Mo            | 2.0*10**18 |         |

Para la evaluación del mecanismo Focal de sismos regionales (distancias menores a 5 grados) utilizando una sola estación de banda ancha, se utilizó la metodología y el software desarrollado por Yagi (2004a, 2004b, 2004c, 2005).

El modelo de tierra corresponde a las investigaciones de Ocola *et al.* (1975) y Mooney *et al.*, 1979) que se presenta en la Tabla 3, que fueron el resultado de estudios de refracción sísmica a gran escala.

**TABLA 3.** MODELO DE OCOLA *ET AL.* (1975) PARA ECUADOR (ALTIPLANO).

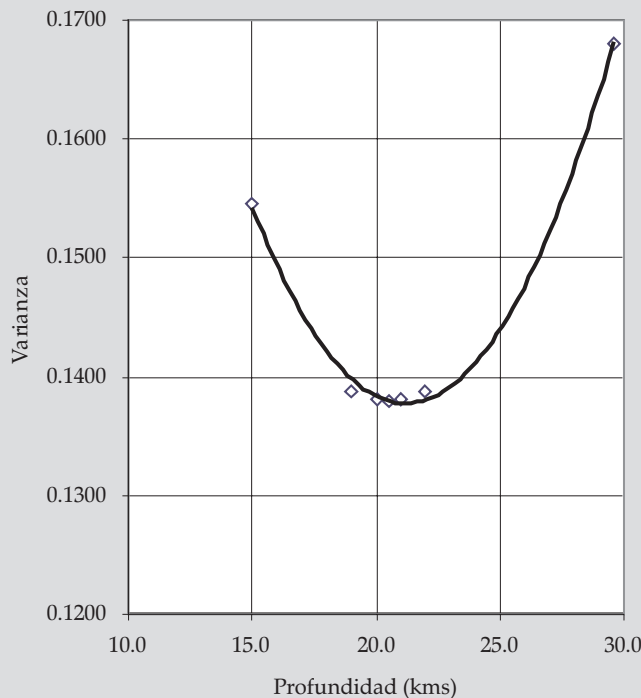
| Espesor (km) | Vp (km/seg) |
|--------------|-------------|
| 6            | 5.5         |
| 23           | 6.2         |
| 24           | 6.7         |
| 13           | 7.4         |
| 42           | 7.8         |
| (10)         | 9.1         |

Siguiendo la metodología propuesta por Yagi (2005) se realizó un análisis de sensibilidad para encontrar la profundidad correspondiente a la mínima varianza, que para este caso correspondió a 20.5 kilómetros, los resultados se pueden ver en la Tabla 4 y en la Figura 3.

**TABLA 4.** PROFUNDIDAD CORRESPONDIENTE A LA MENOR VARIANZA.

| Profundidad | Varianza      |
|-------------|---------------|
| 15.0        | 0.1546        |
| 19.0        | 0.1388        |
| 20.0        | 0.1381        |
| <b>20.5</b> | <b>0.1380</b> |
| 21.0        | 0.1381        |
| 22.0        | 0.1388        |
| 29.6        | 0.1680        |

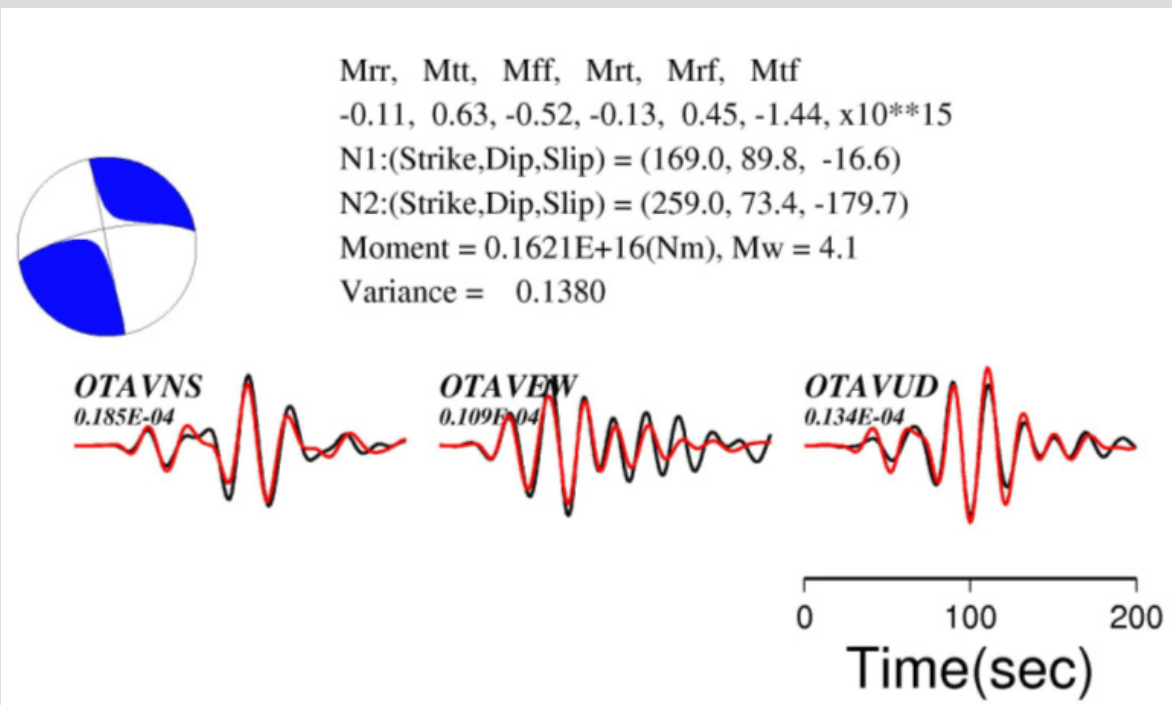
**FIGURA 3.** RELACIÓN VARIANZA-PROFUNDIDAD. EN ESTE CASO LA «MEJOR» PROFUNDIDAD CORRESPONDE A 20.5 KILÓMETROS (ALFARO, 2005).



La solución óptima se presenta en la Figura 4. La comparación con los resultados presentados por Harvard se presentan en la Tabla 5. A su vez la Fi-

gura 5 presenta el mecanismo focal reportado por Harvard (2005).

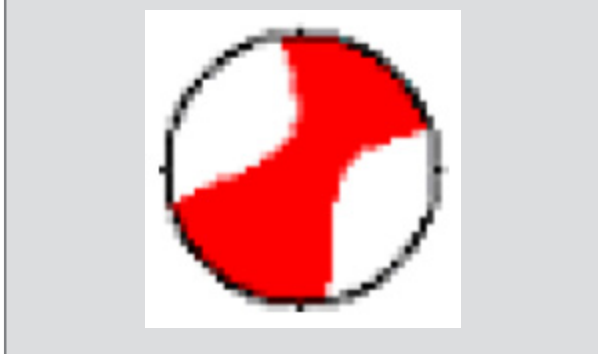
**FIGURA 4.** MECANISMO FOCAL CORRESPONDIENTE A LA MÍNIMA VARIANZA, PROFUNDIDAD 20.5 KILÓMETROS, SISMO DEL 2005/01/24 A LAS 06:11:52.1, LATITUD -2.35, LONGITUD -80.59.



**TABLA 5**

|                     | Parámetro     | USGS | Harvard | Este estudio |
|---------------------|---------------|------|---------|--------------|
| 20050124-06:11:52.1 |               |      |         |              |
|                     | Profundidad   |      | 28.4    | 20.5         |
|                     | Azimut 1      |      | 347     | 169          |
|                     | Buzamiento 1  |      | 78      | 90           |
|                     | Fallamiento 1 |      | 8       | -17          |
|                     | Azimut 2      |      | 256     | 259          |
|                     | Buzamiento 2  |      | 82      | 73           |
|                     | Fallamiento 2 |      | 168     | 180          |
|                     | Mo            |      |         |              |
|                     | Mw            |      | 5.6     | 4.1          |
|                     | Estaciones    |      |         | 1            |

**FIGURA 5.** MECANISMO FOCAL REPORTADO POR HARVARD (2005).



## DISCUSIÓN

Una de las ventajas del método propuesto por Yagi (2005) radica en la posibilidad de utilizar los registros de una única estación de Banda Ancha, en este caso la de Otavalo. Los registros utilizados fueron del tipo Banda Ancha de Alta Ganancia con sus tres componentes. La segunda ventaja corresponde a la revisión de la profundidad focal mediante la minimización de la varianza. Es importante resaltar el hecho de que con un procedimiento relativamente sencillo se pueda analizar los sismos con magnitudes inferiores a 5.5, ya que estos pueden aportar información valiosa acerca de las fuentes sismogénicas. En el caso de la crisis sísmica ocurrida en el Ecuador en enero de 2005, es importante analizar las réplicas y si es posible corroborar con la geología disponible. Los mecanismos focales reportados son consistentes.

## AGRADECIMIENTOS

Los datos de banda ancha utilizados fueron obtenidos del Data Management Center del IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). Los programas utilizados para el preprocesamiento de la señal son el Generic Seismic Application

Coding-GSAC (Herrmann y Ammon, 2004) y *rdseed* y *evalresp* (IRIS, 2005). Los datos de Harvard corresponden al proyecto CMT (Dziewonski *et al.*, 1981; Dziewonski y Woodhouse, 1983; Woodhouse y Dziewonski, 1984). Las Figuras 1 y 3 fueron desarrolladas utilizando GMT (Wessel y Smith, 2004).

## BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, A. *Evaluación del mecanismo focal y revisión de la profundidad del sismo del 24 de enero de 2005 (MS 5.6) en Ecuador mediante la utilización de los registros de la estación de banda ancha de Otavalo (OTAV)*. Informe Técnico. 2005.
- Dziewonski, A. y Woodhouse, J. *An experiment in the systematic study of global seismicity: centroid-moment tensor solutions for 201 moderate and large earthquakes of 1981*, *J. Geophys. Res.*, 88 (1983): 3247-3271.
- - -, Chou, T. y Woodhouse, J. «Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity». *J. Geophys. Res.*, 86 (1981): 2825-2852.
- Harvard (2005) <<http://www.seismology.harvard.edu/projects/CMT/>>
- Herrman, R. y Ammon, C. *Generic Seismic Application Coding GSAC. Version 3.30*. EE.UU.: Saint Louis University, 2004.
- IRIS Incorporated Research Institutions for Seismology <[http://www.iris.washington.edu/cgi-bin/wilberII\\_page1.pl](http://www.iris.washington.edu/cgi-bin/wilberII_page1.pl)> [2005].
- Mooney, W.; Meyer, R.; Laurence, J.; Meyer, H. y Ramirez, J. «Seismic refraction studies of the western Cordillera, Colombia» *Bull. Seism. Soc. Am.* 69 (1979): 1745 -1761.

Ocola, L.; Aldrich, L.; Gettrust, J.; Meyer, R. y Ramírez, J. «Project Nariño I: Crustal structure under southern Colombian - Northern Ecuador Andes from seismic refraction data». *Bull. Seism. Soc. Am.* 65 (1975): 1681 - 1695

USGS <<http://neic.usgs.gov/neis/sopar/>> [2005].

Wessel, P. y Smith, W. ***The Generic Mapping Tools Version 4 - Technical Reference and Cookbook.*** <<http://gmt.soest.hawaii.edu>> [2004].

Woodhouse, J. y Dziewonski, A. «Mapping the upper mantle: three dimensional modelling of Earth structure by inversion of seismic waveforms». *J. Geophys. Res.* 89 (1984): 5953-5986.

Yagi, T. Mikumo, T. Pacheco, J. y Reyes, G. «Source rupture process of the Tecoman, Colima, Mexico earthquake of January 22, 2003, determined by joint inversion of teleseismic body wave and near-field data». *Bull. Seism. Soc. Am.* 94 5 (2004): 1795-1807.

- - -. «Source process of large and significant earthquakes in 2003». *Bull. Int. Ins. Seism. Earthq. Eng.* 145-153: (2004).

- - -. «Source rupture process of the 2003 Tokachi-oki earthquake determined by joint inversion of teleseismic body wave and strong ground motion data». *Earth Planets Space* 56 (2004): 311-316.

- - -. *Source Mechanism.* International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, 2005.