

SISMICIDAD DEL CENTRO Y SUR DE MÉXICO. (PERIODO ENERO A JUNIO, 2004)

Javier Fco. Pacheco, Casiano Jiménez, Jesús Pérez Santana, Jorge A. Estrada, José L. Cruz, Arturo Cárdenas, Tan Li Yi, María de los Ángeles Gutiérrez, Bernardino Rubí, José A. Santiago.

Servicio Sismológico Nacional
Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de
México
Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, C.P. 04510, México
D.F., México

E-mail: javier@ssn.ssn.unam.mx

RESUMEN

Se presenta el reporte de sismos localizados por el Servicio Sismológico Nacional, durante el primer semestre del año 2004, en el centro y sur de México. Durante el semestre se reportaron 661 sismos, concentrados principalmente a lo largo de la costa del Pacífico mexicano, con sismicidad en el interior del continente. Gran parte de la sismicidad registrada se concentra fuera de la red sísmica del SSN, por lo que resulta en soluciones pobres. Con los registros regionales de la red se realizó una inversión del tensor de momento sísmico para 28 eventos importantes, y se listan 26 mecanismos obtenidos y reportados por la Universidad de Harvard (2004). Finalmente se hace una descripción de la sismicidad más importante ocurrida en el primer semestre del 2004, para concluir que la red actual no es suficiente para registrar, estudiar y reportar la sismicidad que ocurre en el país.

INTRODUCCIÓN

Para la localización de los sismos se utiliza el programa SEISAN de Haskov y Ottemöller (1999), que a su vez utiliza el algoritmo de HYPOCENTER de Lieneart y Haskov (1995), con el modelo de velocidades de Jeffrey y Bullen (1940). Distintos pesos se asignan a las lecturas de tiempos de llegada para las ondas P y S en las diversas estaciones. Estas lecturas son las utilizadas para realizar las localizaciones. Debido a la baja densidad de estaciones, la profundidad de los sismos superficiales es pobremente restringida. En caso de que la profundidad no se pueda determinar, se restringe a 5 km para sismos dentro del continente y 10 km para los sismos en el océano. Por falta de cobertura de la red sísmica en el norte de México, sismos localizados con latitud mayor o igual a 24° Norte son tomados del catálogo del National Earthquake Information Center (NEIC) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)(NEIC, 2004).

La determinación de la magnitud se lleva a cabo utilizando la duración de la coda de los registros (Haskov y Macías, 1984). Debido a la saturación de la magnitud de coda para sismos con magnitudes mayores o iguales a 5, la magnitud de estos sismos se determina utilizando los algoritmos para magnitud de amplitud (M_A) y de energía

(M_E) descritos por Singh y Pacheco (1994). En el caso de sismos de importancia, ya sea por haber sido sentidos por una amplia población, por el interés tectónico o simplemente por tener una magnitud mayor a 4.8, se determina el tensor del momento sísmico realizando una inversión de los datos de banda ancha, con los algoritmos descritos por Pacheco y Singh (1998). Estos algoritmos están basados en el trabajo de Randall y otros (1995). Para generar los sismogramas sintéticos se utiliza la estructura cortical de Campillo y otros (1996) si la trayectoria es básicamente continental y un modelo de corteza oceánica joven de Xu y Wiens (1997) en el caso de tener una trayectoria dominada por la placa del Pacífico. La profundidad de centroide se determina a través de una búsqueda del mejor ajuste entre sismogramas sintéticos y observados, realizada a diferentes profundidades espaciadas cada 5 km.

Para los sismos localizados en el centro-sur de México también se reproducen las soluciones obtenidas por la Universidad de Harvard (2004), a través de su programa de inversión rutinaria del tensor de momento sísmico. Los parámetros de fuente que se listan en la Tabla 1, provenientes de Harvard o producto de la inversión del

momento sísmico son: la profundidad de centroide, la magnitud de momento sísmico (M_w) y el mecanismo de la mejor solución de doble par. Los otros parámetros son tomados de la localización reportada por el SSN o el NEIC (2004).

Sismicidad del primer semestre de 2004.

En la Fig. 1 se muestra la distribución de los sismos reportados durante el semestre como una función de la magnitud. Este gráfico nos permite determinar cuál es la magnitud a partir de la cual se puede decir que el catálogo está completo. La mínima magnitud de "complitud" que se deriva de este catálogo es 3.9. A pesar de que el SSN reporta regularmente sismos con magnitudes menores, éstos se localizan en regiones y estados donde la densidad de la red permite localizar este tipo de temblores, principalmente alrededor de la ciudad de México, gracias a la ayuda que presta la red sísmica del Valle de México, y en los estados de Guerrero y Oaxaca, donde la red es más densa. La cobertura insuficiente en regiones más al norte y dentro del Eje Volcánico Transmexicano no permite localizar sismos de menor magnitud en esas regiones. El valor de b , o pendiente de la curva del logaritmo del número de sismos con magnitud mayor o igual a M , contra la magnitud, es de 1.24, en el intervalo entre $M=3.9$ y $M=5.7$. Este valor alto de b indica una sobrevaluación de las bajas magnitudes, por lo que amerita una revisión de la magnitud de coda utilizada por el SSN para evitar esta sobrevaluación de las magnitudes pequeñas.

En la Fig. 2 se muestra la distribución espacial de los sismos ocurridos en el primer semestre del año 2004. En total se reportaron 661 temblores con magnitudes distribuidas entre 3.2 y 6.4. La menor magnitud se registró en Guerrero y la mayor en Oaxaca. Esta última magnitud está sobrestimada debido a la gran energía irradiada por este temblor de Pinotepa Nacional (evento 32, Tabla 1). La magnitud reportada proviene de M_E , que se determina a partir de la energía irradiada, mientras que el momento sísmico estimado arroja una magnitud $M_w = 5.7$ (Harvard, lo reporta como $M_w = 5.9$). Un 70% de los sismos reportados son superficiales (467 eventos) que se representan como esferas en la Fig. 2 y 194 (el 30% restante) se localizaron con profundidades mayores de 40 km. La mayoría de la sismicidad superficial se concentra en las costas del Pacífico Sur de México, en la boca del Golfo de California, y en la Fractura de Rivera. Un alto porcentaje de los sismos reportados provienen de las costas de Chiapas y Guatemala. Los sismos que se localizan a profundidad mayor de 40 km se concentran principalmente en el Istmo de Tehuantepec. Varios sismos se reportaron a profundidad intermedia en Quintana Roo, Zacatecas y Jalisco; éstos podrían ser superficiales, pero por limitaciones de la red, su profundidad no pudo determinarse con precisión. El resto de la sismicidad se localiza dispersa en el noreste de México, centro de Chiapas y Eje Volcánico Transmexicano.

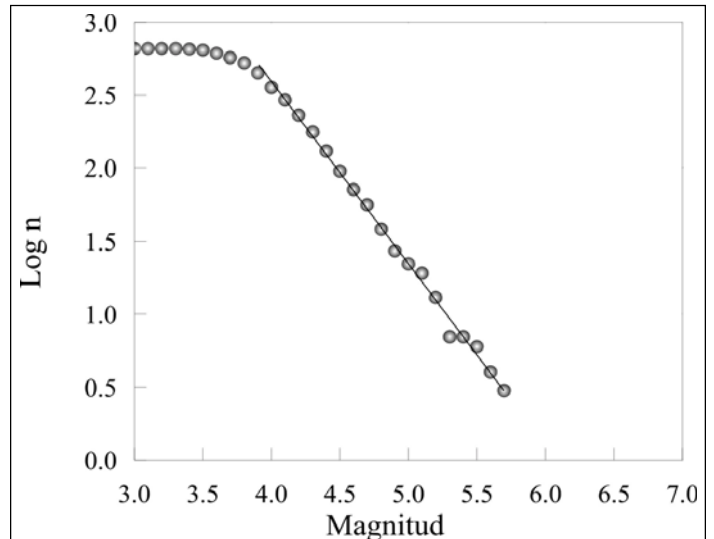


Fig. 1. Distribución del número de sismos (n) con magnitud mayor o igual a M .

La Tabla 1 es una lista de los sismos más importantes ocurridos durante el primer semestre del 2004. En esta tabla se puede leer el tiempo de origen (GMT), la localización, la magnitud de momento sísmico (M_w) y su mecanismo focal para el mejor doble par. En esta tabla también se reproducen todos los mecanismos reportados por la Universidad de Harvard (2003) y aquellos determinados por el SSN. Los mecanismos focales determinados para los sismos más importantes se muestran en la Fig. 3 como bolas de playa oscuras para los mecanismos determinados por el SSN y en un gris más claro aquellos mecanismos determinados por Harvard y que no fue posible determinar un equivalente con los datos del SSN. Algunas de las localizaciones que se listan en la Tabla 1, no coinciden con las que se presentan en la Tabla 2, ya que se relocalizaron los eventos con datos obtenidos de otras redes sísmicas para mejorar la precisión; sin embargo, las profundidades que se reportan son profundidades de centroide, que se obtienen de una búsqueda discreta de la profundidad a la cual los sismogramas sintéticos ajustan mejor los observados, durante la inversión del momento sísmico.

Llama la atención la alta sismicidad reportada con magnitudes moderadas, entre 5.0 y 5.9. La mayoría de estos temblores ocurrieron en Baja California Sur y en las costas de Chiapas, dos zonas donde la cobertura de estaciones sísmicas es muy pobre. Por ello, tanto las localizaciones como el mecanismo focal adolecen de confiabilidad. Igualmente, se presentó una alta sismicidad frente a las costas del estado de Michoacán, otra zona con escasa densidad de estaciones sísmicas. Sin embargo, se logró determinar el tensor de momento sísmico para 28 eventos, con magnitudes M_w entre 4.6 y 5.8. De estos 28 eventos, la Universidad de Harvard, en su proyecto de catálogo del tensor de momento sísmico (<http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>), reporta 24 sismos. Además, Harvard reporta otros 2 sismos ocurridos en el Centro-Sur de México que no pudieron ser estudiados por el SSN, por su ubicación y falta de cobertura.

El año de 2004 se inicia con dos secuencias importantes, ambas sentidas por los habitantes de la ciudad de México. La primera (1 y 2, Tabla 1) ocurrió el día primero de enero, en la tarde (23 horas UT), con dos sismos separados por 20 minutos y de magnitudes 5.8 y 5.5 respectivamente. Ambos temblores se localizaron frente a las costas del estado de Guerrero, cerca de Zihuatanejo y presentan mecanismos de cabalgadura simple, indicando subducción activa de la placa de Cocos, bajo el continente de Norteamérica. Harvard reporta mayores magnitudes y ángulos de buzamiento más someros.

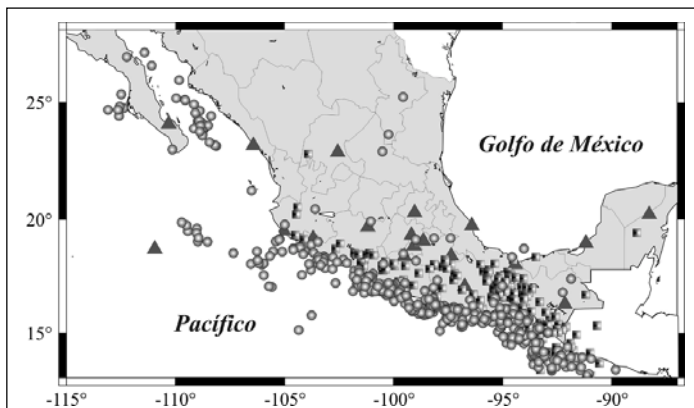


Fig. 2. Sismos reportados durante el primer semestre del 2004. Círculos representan eventos superficiales y cuadrados aquellos con profundidades mayores a 40 km. Las estaciones de la red aparecen como triángulos.

La segunda secuencia sísmica importante ocurrió en las costas de Oaxaca, cerca de Puerto Escondido (4 y 5, Tabla 1). Nuevamente, dos sismos separados por 1 hora y media, de magnitudes 4.9 y 5.3 se localizaron a profundidades entre 20 y 30 km y presentan mecanismos de fallamiento inverso de alto ángulo, lo que indica actividad intraplaca, en la placa subducida de Cocos, más que actividad intraplaca.

Durante el mismo mes de enero se localizó un sismo al norte del estado de Oaxaca con profundidad de 100 km y mecanismo de fallamiento normal (6, Tabla 1). El sismo se reportó con una magnitud M_w 5.0, sin embargo fue sentido fuerte en la ciudad de Oaxaca y otros pueblos aledaños. Su mecanismo indica compresión a lo largo de la placa subducida, a pesar de que el acimut de la falla no es paralelo a la placa misma.

En el mes de febrero se presentaron 2 secuencias sísmicas muy interesantes en el estado de Baja California Sur. Ambas secuencias se inician el 9 de febrero, la primera en la boca del Golfo de California, donde Harvard reporta dos sismos (10 y 11, Tabla 1) con magnitudes 5.1 y 5.2, con mecanismos de fallamiento normal puro. El mecanismo indica actividad sísmica en la dorsal medio-oceánica. El mismo día, una hora más tarde, se reporta un sismo de magnitud M_w 5.4, del lado del Pacífico, frente a la Isla

Magdalena (12, Tabla 1). Este sismo y todas sus réplicas son de gran importancia para el entendimiento de los procesos tectónicos que se llevan a cabo en la Península de Baja California y la evaluación del riesgo sísmico de la región. Los mecanismos determinados por el SSN y Harvard coinciden en fallamiento normal con orientación N-S. Este tipo de fallamiento no coincide con evidencia geológica de Michaud y otros (2004), quienes aseguran observar movimiento transversal a lo largo de la falla de Tosco-Abrejos.

En todo el semestre se registraron 3 sismos importantes frente a las costas de Michoacán. El primero se registró el 6 de febrero (9, Tabla 1) con una magnitud M_w 5.0, y un mecanismo de fallamiento inverso de alto ángulo, similar al sismo del 11 de enero de 1997 (Mikumo y otros, 1999). El 13 de Marzo se registró un sismo (21, Tabla 1) de magnitud M_w 4.9 en las costas de Michoacán, con mecanismo lateral derecho. La profundidad y la localización indican que el rompimiento ocurre en la placa oceánica en subducción. El sismo 30, de la Tabla 1, de magnitud M_w 5, que también se localiza en las afueras de la costa, tiene las características de un temblor en la interfase, con mecanismo de cabalgadura.

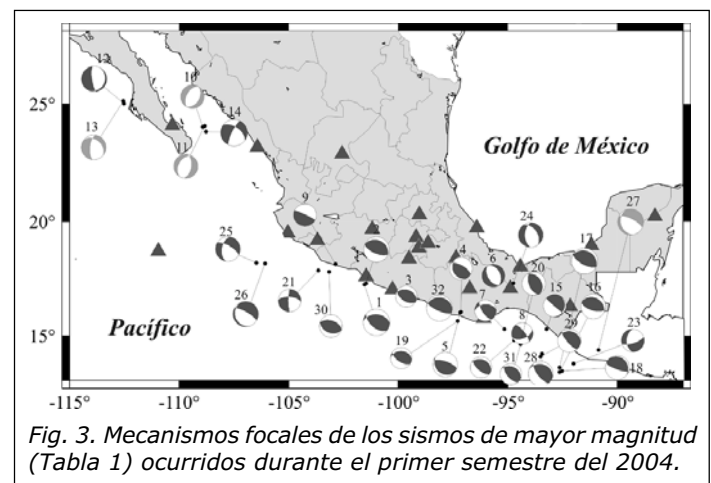


Fig. 3. Mecanismos focales de los sismos de mayor magnitud (Tabla 1) ocurridos durante el primer semestre del 2004.

La actividad más importante por su duración se presentó frente a las costas de Chiapas, en el borde entre México y Guatemala, y dentro del Golfo de Tehuantepec. Los sismos 16, 17 y 18 de la Tabla 1, que ocurrieron entre el 25 y 26 de febrero muestran un mecanismo de cabalgadura, al igual que los eventos 28 y 29 que se localizan más al Oeste y los sismos 8, 22 y 31 que se localizan todavía más al Oeste. Todos ellos presentan características similares; sismos de cabalgadura de bajo ángulo, muy superficiales y asociados a la subducción de la placa del Coco bajo el Caribe-Norte América. El evento 15, Tabla 1, que ocurre antes de la secuencia cercana a la frontera, posee un mecanismo muy diferente. Este evento, de magnitud M_w 5, es similar a otros de mayor magnitud

que se registraron en la misma zona en el 2003 (Pacheco y otros, 2002) con mecanismo de fallamiento inverso de alto ángulo y profundidades entre los 50 y 70 km.

En este semestre se presentaron dos sismos intraplaca importantes en el estado de Oaxaca. El primero de ellos (6, Tabla 1), ya se describió anteriormente. El segundo (24, Tabla 1) se localizó mas hacia el Este y presenta un mecanismo similar, pero una magnitud mayor (M_w 5.3).

Tres sismos importantes y sentidos por poblaciones aledañas se localizaron entre San Luis Potosí y Nuevo León. Desgraciadamente no se tiene cobertura de estaciones en esta región para generar localizaciones confiables, y mucho menos para poder realizar un estudio detallado de los mecanismos generadores de dichos temblores. Igualmente se registró un sismo en Quintana Roo, que fue sentido fuertemente en Tikul, Yucatán. Por falta de una adecuada cobertura de la red no se pudo determinar la localización de este sismo con precisión, ni si puede determinar porqué se sintió tan fuerte en Tikul, a más de 100 km del epicentro.

Tabla 1: Parámetros de fuente

No.	Fecha	hrmi	seg.	Lat.	Long.	Prof.	Mw	Acim.	Buz	Desl.	Fuente
Enero											
1	040101	2331	47	17.27	-101.54	20	5.8	274	40	61	SSN
			53	17.45	-101.40	15	6.0	299	13	92	HRV
2	040101	2358	00	17.32	-101.47	15	5.5	296	26	93	SSN
			06	17.39	-101.32	20	5.6	308	21	104	HRV
3	040104	0501	36	16.74	-99.64	25	4.7	287	37	78	SSN
4	040113	1950	18	16.06	-97.15	20	4.9	155	27	121	SSN
			27	16.45	-96.83	32	5.1	301	49	97	HRV
5	040113	2128	56	16.03	-97.17	22	5.3	132	22	112	SSN
			00	16.26	-96.94	30	5.4	299	50	97	HRV
6	040117	2113	09	17.66	-95.66	100	5.0	335	40	-85	SSN
			10	17.90	-95.49	106	5.2	325	44	-77	HRV
Febrero											
7	040201	2011	47	15.30	-95.16	14	4.7	266	41	38	SSN
			49	15.46	-95.15	17	4.9	300	29	54	HRV
8	040205	1236	53	15.11	-94.34	15	4.7	322	71	139	SSN
9	040206	1911	32	18.17	-102.86	10	5.0	295	85	91	SSN
			36	18.36	-102.80	35	5.1	296	65	88	HRV
10	040209	0001	48	24.04	-108.93	12	5.1	207	49	-93	HRV
11	040209	0004	10	24.09	-108.83	12	5.2	209	39	-75	HRV
12	040209	0124	39	25.02	-112.53	5	5.5	172	76	-99	SSN
			40	25.06	-112.60	12	5.4	211	73	-43	HRV
13	040209	0903	50	25.13	-112.56	12	5.3	186	66	-60	HRV
14	040218	1059	18	23.84	-108.78	13	5.8	206	77	-37	SSN
			25	23.91	-108.75	13	5.8	305	81	179	HRV
15	040220	0835	18	15.30	-93.24	70	5.0	131	86	76	SSN
16	040225	1153	7	13.39	-92.64	10	5.3	300	28	102	SSN
			11	13.62	-92.54	12	5.3	281	18	77	HRV
17	040225	1822	20	13.59	-92.64	5	5.7	296	23	88	SSN
			23	13.65	-92.63	12	5.7	293	17	82	HRV
18	040226	0847	52	13.43	-92.52	10	5.2	316	16	115	SSN
Marzo											
19	040303	0921	30	15.66	-97.30	20	4.6	273	33	64	SSN
20	040303	1221	31	14.94	-94.36	5	5.1	325	35	79	SSN
			33	14.85	-94.36	12	5.2	283	19	69	HRV
21	040313	1402	25	17.88	-103.65	23	4.9	180	82	-28	SSN
			30	18.00	-103.67	20	5.1	178	83	-21	HRV

No.	Fecha	hrmi	seg.	Lat.	Long.	Prof.	Mw	Acim.	Buz	Desl.	Fuente	
Abril												
22	040403	1125	47	14.81	-94.71	10	4.7	293	28	74	SSN	
23	040419	0509	37	13.77	-92.00	50	5.0	72	70	-47	SSN	
			39	14.09	-91.88	45	5.0	234	87	31	HRV	
24	040420	1744	21	17.33	-94.75	130	5.3	324	45	-118	SSN	
			23	17.50	-94.63	146	5.4	310	61	-132	HRV	
Mayo												
25	040502	0419	25	18.23	-106.48	10	5.4	190	50	-29	SSN	
			31	18.02	-106.07	12	5.3	91	87	-164	HRV	
26	040502	0517	28	18.20	-106.08	10	5.5	300	76	-100	SSN	
			32	18.09	-106.08	12	5.4	271	69	-178	HRV	
27	040503	0512	41	14.38	-90.87	96	5.7	297	71	-108	HRV	
28	040515	1930	40	14.21	-93.44	5	5.4	286	25	57	SSN	
			42	14.28	-93.39	13	5.5	288	20	78	HRV	
29	040515	2011	6	14.07	-93.52	10	5.1	277	22	49	SSN	
			9	14.32	-93.44	13	5.1	287	20	71	HRV	
30	040521	0409	54	17.83	-103.16	15	5.0	288	50	88	SSN	
			0410	3	18.06	-103.01	28	5.2	287	24	79	HRV
31	040525	2246	34	14.63	-94.42	10	4.7	294	32	67	SSN	
			36	14.87	-94.28	13	4.8	304	19	84	HRV	
Junio												
32	040614	2254	20	16.23	-98.13	20	5.7	275	19	72	SSN	
			28	16.46	-97.92	18	5.9	277	11	70	HRV	

HRV: <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>
 SSN: <http://www.ssn.unam>.

Durante el primer semestre de este 2004 se reportaron más de 600 temblores que se localizan en el Centro-Sur de México. De estos 600 eventos, se conoce el mecanismo de generación de sismo de al menos 32 de ellos. La mayoría de los eventos registrados se localizaron fuera de la red sísmica del SSN, lo que limita la precisión de la información que se pueda dar sobre ellos. Por otro lado, la distribución de sismos con la magnitud que se presenta para este semestre muestra un sesgo de las magnitudes de sismos pequeños, lo que se podría corregir con una re-calibración de la magnitud coda que reporta el SSN.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de la secretaria Enedina Martínez en la elaboración de este reporte, el cual es posible gracias al proyecto L001 del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Bibliografía

- Campillo, M., Singh, S. K., Shapiro, N., Pacheco, J. And Hermann, R. B., 1996. Crustal structure of the Mexican volcanic belt, based on group velocity dispersion. *Geofísica Internacional*, **35**, No.4, 361-370.
- Fukuyama, E. and Dreger, D. S., 2000. Performance test of an automated moment tensor determination system for the future "Tokai" earthquake, *Earth Planets Space*, **52**, 383-392.
- Harvard Centroid Moment Tensor Solution, CMTS project, 2004. <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>.
- Havskov, J. and Macías. M., 1983. A coda-length magnitude scale for some Mexican stations, *Geofísica Internacional*, **22**, 205-213.
- Havskov, J. and Ottemöller, L., 1999. Seisan earthquake analysis software, *Seismological Research Letters*, **70**, 532-534.
- Jeffreys, H. and Bullen, K. E., 1940. Seismological Tables, British Association Seismological Committee, London.
- Lienart, B.R. and Haskov, J., 1995. A computer program for locating earthquakes both locally and globally, *Seismological Research Letters*, **66**, 26-36.
- Michaud, M., Sosson, J-Y., Royer, A. Bourgois, CH., Calmus, T., Mortera, C., Bigot-Cormier, F., Bandy, W., Dymont, J., Pontoise, B. and Schler, B., 2004. Motion partitioning between the Pacific plate, Baja California and the North America plate: The Tosco-Abreojos fault revisited, *Geophysical Research Letters*, **31**, L080604, doi: 10.1029/2004GL019665.
- Mikumo, T., Singh, S. K. and Santoyo, M. A., 1999. A possible stress interaction between large thrust and normal faulting earthquakes in the Mexican subduction zone, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **89**, 1418-1428.
- National Earthquake Information Center, NEIC earthquake reports, 2004. <http://earthquake.usgs.gov/activity/past.html>.
- Pacheco, J.F. and Singh, S. K., 1998. Source parameters of two moderate earthquakes estimated from a single-station, near-source recording, and from MT inversion of regional data: A comparison of results, *Geofísica Internacional*, **37**, 95-102.
- Pacheco, J. F., Jiménez, C., Iglesias, A., Pérez, J., Estrada, J. A., Cruz, J. L., Cárdenas, A., Gutiérrez. Ma. de los A., Rubí, B. y Santiago J. A., 2002. Sismicidad del Centro Sur de México (Período Enero a Marzo, 2002), *GEOS*, **22**, 49-54.
- Randall, G.E., Ammon, C. J. and Owens, T. J., 1995. Moment tensor estimation using regional seismograms from a Tibetan plateau portable network deployment. *Geophysical Research Letters*, **22**, 1665-1668.
- Singh, S.K. and Pacheco, J.F., 1994. Magnitude of Mexican earthquakes, *Geofísica Internacional*, **33**, 189-198.

Recepción del manuscrito: 25 de octubre, 2004
Aceptación del manuscrito: 5 de enero, 2005