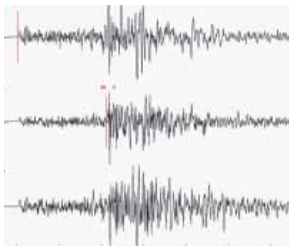


# LNIG: Nueva estación sísmica digital en el noreste de México

Juan Carlos Montalvo Arrieta, Héctor de León Gómez  
Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL  
montalvo@fct.uanl.mx , hdeleon@mail.uanl.mx  
Carlos Valdés González  
Instituto de Geofísica, UNAM  
carlosv@ollin.igefcu.unam.mx



## RESUMEN

*El 2 de febrero de 2006 se inauguró en la Facultad de Ciencias de la Tierra, la primera estación sismológica digital del noreste de México. La estación Linares (LNIG) representa la primera estación de la nueva generación de observatorios sismológicos que se instalarán en todo el territorio nacional para dar cobertura a la actividad sísmica generada en nuestro país.*

## PALABRAS CLAVE

Servicio Sismológico Nacional, riesgo sísmico, sismotectónica, monitoreo sísmico, terremotos intraplaca.

## ABSTRACT

*On February 2<sup>nd</sup>, 2006, at the School of Earth Sciences of the UANL, the first digital seismologic station of northeastern Mexico was officially opened. The Linares site (LNIG) represents the first station of the new generation of seismologic observatories that are situated in overall Mexico, with the goal of trying to cover all the seismic activity that occurs in our contry.*

## KEYWORDS

National Seismological Service, seismic risk, seismotectonics, seismic monitoring, intraplate events.

## ANTECEDENTES

### El Servicio Sismológico Nacional (SSN)

El objetivo principal del SSN es el proporcionar información oportuna sobre la ocurrencia de sismos en el territorio nacional y determinar sus principales parámetros como son la magnitud y el epicentro. De igual manera, el SSN se encarga de proporcionar la información necesaria para mejorar nuestra capacidad de evaluar y prevenir el riesgo sísmico y volcánico a nivel nacional.<sup>1</sup>

### Historia

El primero de abril de 1904 se reunieron en Francia, dieciocho países, entre ellos México, con el fin de crear la Asociación Sismológica Internacional y mejorar la instrumentación sísmica a nivel mundial. Para cumplir con los compromisos adquiridos en esa reunión, el gobierno mexicano decretó la fundación del Servicio

Sismológico Nacional (SSN) el 5 de septiembre de 1910. En ese momento el SSN quedó bajo el cargo del Instituto Geológico Nacional dependiente de la Secretaría de Minería y Fomento.<sup>1</sup>

Entre 1910 y 1923 se instalaron 9 estaciones sísmológicas mecánicas autónomas (figura 1). La central fue instalada en Tacubaya, D. F. y las foráneas en las ciudades de Oaxaca, Mérida, Chihuahua, Veracruz, Guadalajara, Monterrey y Zacatecas (figura 1). Se eligieron sismógrafos “Wiechert” de fabricación alemana. Siete de estos todavía operan en la actualidad y constituyen probablemente, el sistema más antiguo de América que ha operado por mayor tiempo en forma continua.<sup>1</sup>



Fig. 1. Primeras estaciones autónomas de Servicio Sismológico Nacional.

La estación sísmológica de Monterrey, N.L. se localizó en el Cerro del Obispado (figura 2) y fue inaugurada el 7 de junio de 1913 por el entonces gobernador Don Salomé Botello y el Jefe de Armas General Fernando González.

El equipo instalado estuvo compuesto por dos sismógrafos Wiecher (horizontal de 200 kgr de masa, y vertical de 80 kgr de masa, figura 3). La información



Monterrey N. L. Mérida, Yucatán.

Fig. 2. Sedes de algunas de las primeras estaciones sísmológicas en la década de 1910.



Fig. 3. Sismógrafo mecánico tipo Wiecher componente vertical.

generada por la estación no se ha podido rescatar, por lo que, hoy día no se cuenta con el registro histórico analógico de la sismicidad en el noreste de nuestro país. En la actualidad la información sísmica disponible se debe a recopilaciones realizadas en catálogos sísmicos nacionales, internacionales, libros, artículos, periódicos y crónicas. Esta recopilación, se ha llevado a cabo recientemente por profesores-investigadores y estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la UANL.<sup>2</sup>

El SSN pasó a ser parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1929 y desde 1948 quedó adscrito al Instituto de Geofísica de la UNAM. En sus inicios, el SSN contó con los instrumentos más modernos de la época, sin embargo, es hasta los años sesenta que se comienza la instalación de sismógrafos electromagnéticos, llegando a tener aproximadamente 20 instrumentos autónomos, con grabación de las señales sísmicas en papel ahumado y fotográfico.<sup>1</sup>

La instalación de la Red Sísmica de Apertura Continental (RESMARC) se inició en la UNAM a mediados de los años setenta, con el fin de contar con estaciones telemétricas digitales en todo el territorio nacional. En esta red, la transmisión de las señales se realizaba por medio de enlaces de microondas proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (ahora TELECOM). Las operaciones de detección y captura de eventos sísmicos se utilizaba una computadora PDP11-40.<sup>1</sup>

En agosto de 1986, RESMARC pasó a formar parte del SSN. Así, se integraron las dos redes de

cobertura nacional. Esto mejoró el monitoreo sísmico en el país, y por primera vez, permitió al SSN contar con registros en tiempo real desde diferentes puntos de la República Mexicana. Sin embargo, la cobertura nacional aún era insuficiente.<sup>1</sup>

En 1988 se amplió la Red Telemétrica del SSN, recibiendo apoyo de Petróleos Mexicanos (PEMEX), que facilitó canales de su red de microondas para la transmisión de los datos. A inicios de los años 90's el Departamento de Instrumentación del Instituto de Geofísica, comenzó a desarrollar un sistema de adquisición y procesamiento automático de datos y a instrumentar estaciones telemétricas digitales.<sup>1</sup>

A partir de 1992, con apoyo presupuestal de la Secretaría de Gobernación y de la UNAM, se inició la modernización de la Red Sismológica Nacional con la instalación de equipos de nueva tecnología. Así, nació la red de Observatorios Sismológicos de Banda Ancha. Hoy el SSN cuenta con 26 observatorios sísmicos en todo el país y tiene planeado aumentar la red a 33 (figura 4).



Fig. 4. Red Sísmica Nacional de banda ancha<sup>1</sup>.

### Red de Banda Ancha

La Red Sismológica de Banda Ancha está configurada para monitorear la sismicidad en las regiones de mayor potencial sísmico dentro de la República Mexicana. Las estaciones se localizan, en su mayoría, a lo largo de las costas del Océano Pacífico y de Veracruz, así como en el Cinturón Volcánico Mexicano (figura 4).

Las características instrumentales de las estaciones que componen la red de banda ancha son las siguientes:

- Un Sismómetro STS-2. Estos sensores triaxiales permiten registrar ondas sísmicas en una amplia banda de frecuencias, con respuesta plana a la velocidad del suelo entre 0.01 a 30 Hz, y capacidad de registrar sismos en una amplia gama de magnitudes, desde sismos locales pequeños hasta sismos lejanos, sin problemas de saturación.<sup>1</sup>
- Un acelerómetro FBA-23. Estos sensores triaxiales permiten registrar las aceleraciones del suelo dentro de un amplio espectro de frecuencias sin saturación de la señal para sismos locales y regionales de gran magnitud. Estas características de los sensores, permiten estimar con gran precisión la magnitud de sismos grandes que puedan ocurrir en el territorio nacional.<sup>1</sup>
- Un registrador Quanterra con digitalizador de 24 bits.

Las señales del sensor de velocidad y aceleración son muestreadas en forma continua a 20, 1 y 0.1 muestras por segundo (mps), son convertidas a un formato digital y almacenadas en el disco duro del registrador Quanterra. Debido al proceso de modernización de las estaciones de banda ancha, en la actualidad sólo 16 observatorios cuentan con la tecnología de punta para transmitir la información sísmica recabada en tiempo real a la Estación Central. Además de tres estaciones que transmiten en forma satelital desde la Isla Socorro. En el caso de temblores de moderados a grandes de magnitud > 4.5, las señales de velocidad y aceleración se muestrean a 80 mps. Los datos almacenados se transmiten a la Estación Central mediante un programa de comunicación y extracción automática a través de Satélite, Internet o por Teléfono.<sup>1</sup>

Todas las estaciones cuentan además con un reloj GPS que permite obtener una referencia de tiempo de alta precisión, el cual es almacenado junto con la información sísmica. Los equipos se encuentran alojados en casetas especialmente construidas para minimizar el ruido y mantener una temperatura controlada. Las instalaciones cuentan con doble pared y aislamiento de aire para minimizar los cambios de temperatura en el interior. Además los sensores se cubren con material aislante de temperatura y está forrado con papel aluminio para evitar inducciones eléctricas. Para registrar con una buena relación señal a ruido y minimizar los efectos de sitio, se construyó

un pilar el cual se encuentra empotrado sobre el tipo de roca seleccionada, independiente de la estructura de la caseta.<sup>1</sup>

## SISMICIDAD HISTÓRICA EN EL NORESTE DE MÉXICO

El Noreste de México se ha considerado como una región asísmica.<sup>3</sup> La principal regionalización sísmica de la República Mexicana dice que el noreste de México pertenece a la zona A<sup>1</sup> (zona A: en esta región no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores). Sin embargo, estudios recientes muestran que hay evidencia reciente e histórica de actividad sísmica.<sup>2,4,5</sup> Por lo que, esta porción del país se puede definir como una región con baja sismicidad y ausencia de registros de terremotos (figura 5).

Los grandes terremotos intraplaca (o al interior de los continentes) en regiones tectónicamente estables son raros comparados con aquellos originados en los límites de placa. Sin embargo, estos sismos ocasionales pueden ser extremadamente devastadores debido a que las ciudades localizadas en estas regiones son construidas sin tomar en cuenta criterios de diseño sísmicos. Ejemplos de estos sismos, expresados en Magnitud de momento sísmico  $M_w$ , son: Killari (Latur), India (1994,  $M_w = 6.2$ ),<sup>6</sup> Bhuj (Gujarat), India (1994,  $M_w = 7.7$ ) y los eventos de 1811-1812 en la zona de Nuevo Madrid (parte central de Estados Unidos de América).

En el noreste de México se han reportado un total de 146 eventos,<sup>2,5</sup> dentro del periodo 1787-



Fig. 5. Regionalización sísmica de la República Mexicana.<sup>2</sup>

2004 (figura 6), de los cuales los sismos de Bavispe, Sonora ( $M_w = 7.4$ ),<sup>7</sup> Parral, Chihuahua de 1928 ( $M_w = 6.5$ ),<sup>8</sup> Valentine, Texas de 1931 ( $M_w = 6.4$ )<sup>9</sup> y recientemente, el sismo del 14 de abril de 1995, en la región suroeste de Texas ( $M_w 5.7$ ),<sup>10,11</sup> representan los mayores sismos ocurridos en la región de estudio.

La figura 6 muestra las localizaciones epicentrales de estos eventos y los tres principales rasgos estructurales (lineamientos y fallas corticales con direcciones norte-noroeste que han sido identificadas o postuladas para el noreste de México:

- 1) La falla La Babia (incluye el lineamiento Sabinas-Boquillas y la falla de Sabinas) la cual cruza el norte de Coahuila.
- 2) En la parte central de Coahuila, está definida la falla de San Marcos o el lineamiento Sierra Mojada-China (existen dos lineamientos relacionados con esta falla, el lineamiento Caltam y la falla de Monclova).
- 3) Algunos autores han propuesto la existencia de un gran sistema lateral izquierdo en el norte de México: zona de falla Saltillo-Torreón, la falla Torreón-Monterrey y la *mega-falla* de la Mojave-Sonora.<sup>12,13</sup>

Algunos autores<sup>13,14,15</sup> han propuesto que estas fallas han presentado varios periodos de activación a través del tiempo, desde el periodo Jurásico hasta el Terciario, incluyendo el Cuaternario. Se ha observado<sup>16</sup> que la orientación de los esfuerzos horizontales máximos en esta región es paralela a la dirección de los esfuerzos presentes en el *rift*, o sea en el hundimiento del terreno debido a la presencia de fallas de desplazamiento normal: del Río Grande y las fallas de edad Cuaternaria localizadas al oeste del estado de Texas, EEUU y noreste de Chihuahua. Por lo que, la dirección del campo de esfuerzo horizontal mínimo actual en la corteza terrestre es en dirección noroeste-sureste (NNW-SSE, las mediciones realizadas en el noreste de México, incluyen datos en las fallas La Babia y San Marcos), favoreciendo la reactivación de estas fallas con una componente de extensión.

Se ha mencionado<sup>5</sup> que la sismicidad presente en esta región, obtenida a partir de catálogos sísmicos nacionales e internacionales, puede estar relacionada con los sistemas de fallas antes descritos. Recientemente, el 6 de abril de 2004, un sismo de

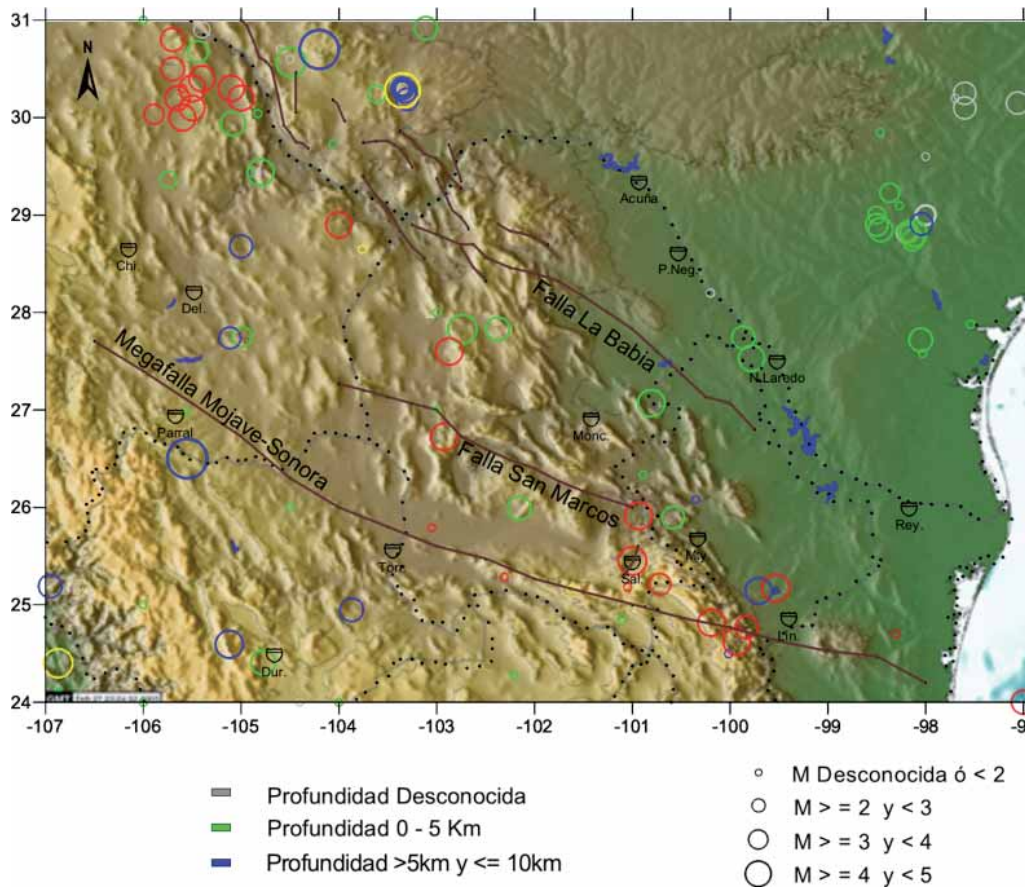


Fig. 6. Sismicidad histórica del noreste de México y sur de Texas (1928-2004) y principales lineamientos y fallas que han sido identificados o postulados en esta región. Los círculos grandes representan los mayores sismos que se han generado en la región. M representa a la magnitud local. Se muestran algunas ciudades (Chi: Chihuahua; Del: Delicias; Dur: Durango; Tor: Torreón; Mon: Monclova; Sal: Saltillo; Mty: Monterrey; Lin: Linares; P. Neg: Piedras Negras; Rey: Reynosa).<sup>4</sup>

magnitud 3.9 (Servicio Sismológico Nacional) se sintió en las localidades de Montemorelos, General Terán, Allende y China localizadas en parte central del estado de Nuevo León. En Montemorelos fueron reportadas fracturas en casas habitación.

Aunque solamente el 5% de la energía sísmica global es liberada en el interior de los continentes,<sup>17,18</sup> el impacto que estos sismos pueden causar a la población y construcciones civiles, justifica grandes esfuerzos en entender y estimar el riesgo sísmico en estas regiones aparentemente estables. Es en este sentido, que para estudiar el efecto de grandes terremotos en esta parte del país, es necesario conocer el ambiente sismotectónico y la respuesta de sitio en las zonas urbanas. Lo cual se lleva a cabo a través de la instrumentación sísmica.

### LA ESTACIÓN SISMOLÓGICA DE LINARES, N.L., MÉXICO

La estación Linares (LNIG, por sus siglas las dos primeras corresponden al sitio LN: Linares,



Fig. 7. Estación sísmológica Linares (Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL).

IG: Instituto de Geofísica, UNAM, nomenclatura estándar de las estaciones del SSN) representa la primera estación (figura 7) de la nueva generación de observatorios sismológicos que se instalarán en todo el territorio para dar cobertura a la actividad sísmica generada en nuestro país, en este esfuerzo participan además de la UNAM, la UANL, la Secretaría de Gobernación quien proporcionó parte del apoyo económico, CENAPRED proporcionó el sensor y el digitizador, la UNAM aportó la caseta, la conexión satelital, toda la parte eléctrica y periférica y la UANL facilitó el sitio (ubicación, seguridad e interés geológico). En la actualidad es la estación más al norte del país.

La inauguración de la estación LNIG se llevó a cabo el 2 de febrero de 2006 en la Facultad de Ciencias de la Tierra de la UANL. En este acto estuvieron presentes: el rector de la UANL, José Antonio González Treviño, el director del Instituto de Geofísica de la UNAM, José Valdés Galicia, representante del rector de la UNAM, Juan Ramón de la Fuente, el alcalde de Linares, Fernando Adame Doria y el director de Protección Civil del Estado de Nuevo León, Jorge Camacho. Además del director de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Héctor de León Gómez y el Jefe del SSN, Carlos Valdés Gómez. En la parte técnica y de investigación los responsables del manejo de la información sísmica registrada serán Juan Carlos Montalvo Arrieta (FCT-UANL) y Carlos Valdés Gómez (SSN-UNAM).



Fig. 8. Inauguración de la LNIG, el 2 de febrero de 2006..

Los datos de la estación LNIG, se sumarán a la información sísmica registrada por los demás observatorios distribuidos en nuestro país. El monitoreo sismológico proporcionará la información oportuna sobre la ocurrencia de los sismos en el territorio nacional, a su vez permitirá determinar su magnitud y localización epicentral. Ambas instituciones (UNAM - UANL) serán las encargadas de procesar y proporcionar la información sísmica necesaria, mejorando nuestra capacidad para la evaluación y prevención del riesgo sísmico.

Se ha elegido a la FCT-UANL, como observatorio sismológico considerando su ubicación geográfica en el estado de Nuevo León, al sur de la ciudad de Monterrey y por sus características geológicas, esto es, rocas de edad mesozoicas muy consolidadas las cuales funcionan como sitios con bajos niveles de ruido, generando registros muy claros, los cuales permitirán realizar otro tipo de estudios especializados sobre el interior de la tierra y la constitución de las rocas presentes en esta porción del país, por ejemplo conocer el espesor de la corteza, un dato que hasta la fecha sólo ha sido extrapolado de otros sitios cercanos. La localización estratégica de la estación Linares permitirá dar cobertura de la actividad sísmica de una región con intereses geológico-petroleros (riesgos por deslizamiento, licuefacción del terreno, sismicidad inducida, reactivación de fallas geológicas entre otros fenómenos) capaces de generar algún tipo de sismicidad.

El equipo instalado en LNIG (figura 9) se encuentra conformado por un sismómetro de banda



Fig. 9. Equipo sismológico instalado y antena de comunicación satelital de la LNIG.

ancha STS-2 y un acelerógrafo tipo FBA-23, un sismógrafo Quanterra Q330 2004 (el cual almacena la información sísmica registrada por los sensores), equipo de comunicación y periféricos. Por otro lado, la estación Linares manejará la información en tiempo real y vía satélite con la sede del Servicio Sismológico Nacional.

**Primeros resultados**

Desde su puesta en marcha (20 de enero de 2006) la estación sismológica Linares ha registrado al menos cinco terremotos importantes que han ocurrido en diversas partes del mundo como el sismo de Tonga del 3 de mayo de 2006 (M = 7.9) el cual fue localizado al norte de Nueva Zelanda. En nuestro estado, se cuenta con el registro del sismo de “Santiago”, el cual representa al primer sismo local registrado de manera digital en la región (Tabla I).

Las figuras 10 y 11 muestran la localización epicentral del sismo de Santiago y los registros de

Tabla I. Parámetros de localización del sismo de Santiago, N.L., México.

Fecha	2006/04/17
Hora local (am)	11:25:10
Latitud °N	25.32
Longitud °W	-100.38
Prof. (km)	20
Magnitud Local	4.3
Localidad	26 km al suroeste de Santiago, N. L.



Fig. 10. Localización epicentral del sismo de Santiago, N.L., y sismicidad del sur del país. Los círculos muestran la localización epicentral de la sismicidad ocurrida del 5 al 17 de abril de 2006. (Servicio Sismológico Nacional).

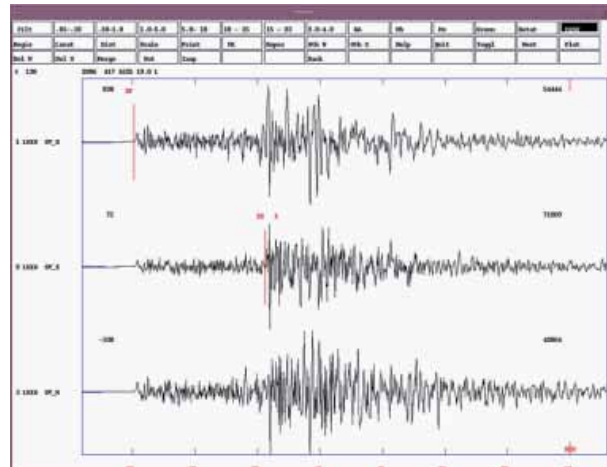


Fig. 11. Registros de velocidad de las tres componentes del movimiento del suelo para el sismo de Santiago (M = 4.3).

velocidad en las tres componentes del movimiento del suelo.

En la página web del SSN se muestra de manera continua la actividad sísmica reciente a través de mapas como la figura 10 y a través de tablas donde se presentan los datos de ubicación geográfica, hora, fecha de ocurrencia, magnitud, profundidad y localidad de los sismos generados en el territorio nacional.

**COMENTARIOS FINALES**

La instalación de la estación Linares (LNIG) permitirá monitorear la actividad sísmica que se genere en la región noreste del país y junto con los registros de otras estaciones del Servicio Sismológico Nacional proporcionará información oportuna sobre la ocurrencia de sismos en el territorio nacional y determinar sus principales parámetros como son la magnitud y el epicentro.

De igual manera, la información sísmica registrada en la estación LNIG servirá para entender el comportamiento de la actividad tectónica del noreste de México una región que por mucho tiempo se ha considerado “asísmica”. De tal manera que los datos proporcionados por la estación, en conjunto con otro tipo información geológica nos permita mejorar nuestra capacidad de evaluar y prevenir el riesgo sísmico de regiones continentales con intereses geológico-petroleros.

## REFERENCIAS

1. Servicio Sismológico Nacional, 2006. Regiones sísmicas de México. <http://www.ssn.unam.mx>
2. Galván Ramírez, I. N., 2005. Sismicidad histórica y predicción del movimiento del suelo en el NE de México (24-31° N, 97-106° W). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. 94 p.
3. Figueroa, J., 1970. Catálogo de sismos ocurridos en la República Mexicana, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 88 pp.
4. Montalvo-Arrieta, J. C., Quintanilla, Y., Tamez, A., Meneses, M., y Ramos, L., 2005. Microzonation of Linares region (northeast México), based on geology and shear-wave velocity ( $\bar{V}_{sD}$ ). *Geofísica Internacional*, 44, 331-340.
5. Galván-Ramírez, I. N., y Montalvo-Arrieta, J. C., 2006. The historical seismicity and prediction of ground motion in Northeast Mexico (24-31°N, 97-106°W). *Journal of South American Earth Sciences*, en revisión.
6. Gupta, H. K., Rastogi, B. K., Mohan, I., Rao, C. V. R. K., Sarma, S. V. S., y Rao, R. U. M., 1998. An investigation into the Latur earthquake of September 29, 1993 in southern India. *Tectonophysics* 287, 299-313.
7. Natali, S. G., y Sbar, M. L., 1982. Seismicity in the epicentral region of the 1887 northeastern Sonora earthquake, Mexico. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72, 181-196.
8. Doser, D. I., 1987. The 16 August 1931 Valentine, Texas, earthquake: evidence for normal faulting in west Texas. *Bulletin of the Seismological Society of America* 77, 2005-2017.
9. Doser, D. I., y Rodriguez, J., 1993. The seismicity of Chihuahua, Mexico, and the 1928 Parral earthquake. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 78, 97-104.
10. Xie, J., 1998. Spectral inversion of Lg from earthquakes: a modified method with applications to the 1995, Western Texas earthquake sequence. *Bulletin of the Seismological Society of America* 88, 1525-1537.
11. Harvard Seismology- Centroid Moment Tensor catalog, 1977 to present, [http://www.seismology.harvard.edu/CMT\\_search.html](http://www.seismology.harvard.edu/CMT_search.html) (enero de 2006).
12. Anderson, T. H. y Schmidt, V. A., 1983. The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time: *Geological Society of America Bulletin*, 94, 941-966.
13. McKee, J. W., Jones, N. W., y Long, L. E., 1990. Stratigraphy and provenance of strata along the San Marcos fault, central Coahuila, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 102, 593-614.
14. Muehlberger, W. R., Belcher, R. C., y Goetz, L. K. (1978). Quaternary faulting in Trans-Pecos Texas. *Geology*, 6, 337-340.
15. McKee, J. W., Jones, N. W., y Long, L. E. (1984). History of recurrent activity along a major fault in northeastern Mexico. *Geology*, 12, 103-107.
16. Suter, M. (1991). State of stress and active deformation in Mexico and western Central America, in Slemmons, D. B., Engdahl, E. R., Zoback, M. D., and Blackwell, D. D., eds., *Neotectonics of North America: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Decade Map Volume I*, 401-421.
17. Talwani, P., 1999. Fault geometry and earthquakes in continental interiors. *Tectonophysics* 305, 371-379.
18. Crone, A. J., De Martini, P. M., Machette, M. N., Okumura, K., y Prescott, J. (2003). Paleoseismicity of two historically quiescent faults in Australia: implications for fault behaviour in stable continental regions. *Bulletin of the Seismological Society of America* 93, 1913-1934.