

Efectos del sismo (7.0=Mw) del 15 de junio de 1999 en Puebla y estados vecinos

Teresa Ramírez-Herrera^{*}
José Lugo-Hubp^{**}

Recibido: 13 de diciembre de 1999
Aceptado en versión final: 4 de abril de 2000

Resumen. El sismo de intensidad Mw=7.0 ocurrido el 15 de junio de 1999, con hipocentro a 80 km de profundidad, a unos 20 km al sur de Tehuacán, Puebla, y 230 km al sureste de la Ciudad de México, se sintió en los estados vecinos al estado de Puebla; provocó serios daños en la ciudad capital y en las poblaciones cercanas a la región del epicentro. Afectó una zona de aproximadamente 230 km de radio, donde 17 personas murieron y cientos perdieron sus casas. Las observaciones de campo indican que la mayoría de los daños provocados se debieron a dos factores: a) la ubicación de las poblaciones más afectadas, en depresiones, llanuras y superficies cubiertas por sedimentos aluviales y tobas volcánicas (sedimentos "suaves"); y b) las construcciones con adobe, abundantes en la región de Puebla-Oaxaca, que son las más débiles y susceptibles a daños o derrumbe por sismos. Se descarta la relación directa del impacto en poblaciones por fallas en la superficie.

Palabras clave: Sismo, Mixteca.

Effects of the earthquake (7.0=Mw) that occurred on June 15, 1999, in Puebla and neighboring States

Abstract. A magnitude Mw=7.0 earthquake occurred 20 km south of Tehuacán, Puebla and approximately 230 km southeast of Mexico City on June 15, 1999, with its hypocenter at a depth of 80 km. The earthquake hit a large area of about 230 km in radius, including Mexico City and Puebla, causing serious damage in the city of Puebla and locations surrounding the epicenter area. Most serious damage affected an area of approximately 120 km in radius, where 17 people died and hundreds were left homeless. Field observations indicate that most of the damage caused by the earthquake were due to two factors: a) the location of the most affected towns on valleys, fluvial terraces and surfaces filled with alluvial sediments ("soft" sediments) and tuff; and b) weak adobe houses and old historical monuments (churches, convents, palaces), which are abundant in Puebla and Oaxaca that are the most vulnerable to suffer damages by earthquakes. This earthquake was a deep event and no surface faulting was associated to damage on population centers.

Key words: Earthquake, Mixteca.

ANTECEDENTES

La gran mayoría de los sismos de gran magnitud que afectan al territorio mexicano tienen su epicentro en el piso oceánico, frente a la costa del Pacífico, entre Jalisco y Chiapas. Poco comunes son los epicentros en el continente, a más de 100 km de la costa. Pero, en la zona continental, este tipo de fenómenos han sido frecuentes en el norte del estado de Oaxaca y en la zona vecina del sur de Puebla (Tabla 1, Figura 1), han ocurrido en 1928, 1937, 1945, 1959, 1973, 1980 y 1999 (Jiménez y Ponce, 1977-78; Yamamoto *et al.*, 1984; USGS, 1999).

El 28 de agosto de 1973 un sismo de magnitud Ms=6.8 afectó una superficie de 350 000 km² (Singh y Wyss, 1976); provocó 625 muertes en Ciudad Serdán y en muchas localidades de los estados de Puebla y Veracruz. El 24 de octubre de 1980 un fuerte sismo causó graves daños en la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, donde 90% de las construcciones fueron seriamente dañadas, murieron 53 personas, más de 1 000 resultaron heridas y los damnificados se contaron en cerca de 15 000 (Jiménez y Ponce, 1978; Yamamoto *et al.*, 1984).

^{*} Department of Geological Sciences, California State University-Long Beach, 1250 Bellflower Boulevard, Long Beach, CA 90840-3902. E-mail: ramirez@csulb.edu

^{**} Instituto de Geografía, UNAM, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510m, México, D. F. E-mail: lugoh@servidor.unam.mx

El sismo más reciente se produjo el 15 de junio de 1999. Los siete movimientos telúricos tuvieron su origen a una profundidad considerable, de 65 a 96 km (Cuadro 1), lo que se explica por una mayor distancia horizontal, unos 350 km con respecto a la trinchera Mesoamericana, límite entre las placas de Cocos y Norteamérica; es el área donde inicia la zona de subducción y se extiende varios kilómetros bajo la placa de Norteamérica. Los daños causados en todos los casos son significativos, aunque menores que los provocados por sismos de la misma magnitud con epicentro cercano a la superficie.

Los epicentros sísmicos que se muestran en la Figura 1 ocurrieron dentro de la placa de Cocos, cuya subducción provoca la formación del Cinturón Volcánico Mexicano (los volcanes en las zonas de subducción generalmente se forman aproximadamente a 100 km de distancia, con respecto a la superficie de la placa que subduce).

El 30 de septiembre de 1999 un movimiento telúrico considerablemente más fuerte que el anterior, Mw=7.4, tuvo su epicentro en la costa oaxaqueña, cerca de Punta Maldonado, ocasionando daños cuantiosos principalmente en la zona costera y en la ciudad de Oaxaca, capital del estado.

CARACTERÍSTICAS DEL SISMO

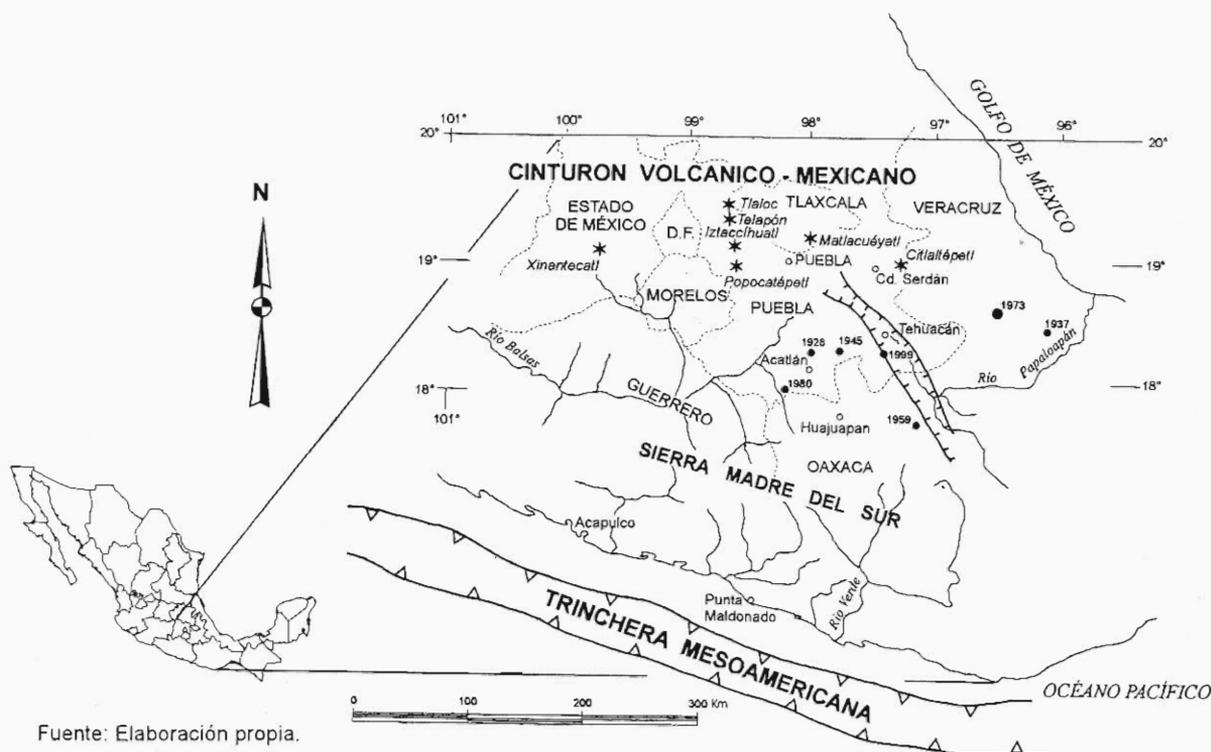
El sismo del 15 de junio de 1999 (Mw=7.0, Ms=6.5, mb= 6.3) ocurrió a las 15:42 horas (tiempo local), con epicentro en el estado de Puebla (Figura 1), 20 km al sur de Tehuacán, aproximadamente 230 km al sureste de la Ciudad de México (USGS, 1999; Singh, *et al.*, 1999). Se sintió especialmente en una región que abarca parte de los estados de Oaxaca, Guerrero, México, Morelos, Tlaxcala y Veracruz (Figura 1). En el plano regional se sitúa al norte de la costa del Pacífico, en la Sierra Madre del Sur, en la zona limítrofe con el Cinturón Volcánico Mexicano.

La longitud de la zona de ruptura se estima en alrededor de 28 km y el rumbo del plano de falla es de 50° NW, lo cual significa la existencia de fallas con esta orientación en la región, a lo largo de las cuales ocurren rupturas periódicamente, de acuerdo con Quintanar *et al.* (1999). Las fallas se localizan dentro de la placa oceánica subducente (de Cocos). El sismo fue de profundidad intermedia a profunda, su mecanismo indica esfuerzos tensionales derivados de la interacción de las placas de Cocos y Norteamérica (Lomas *et al.*, 1999).

Cuadro 1. Sismos que causaron daños, con epicentro en la región Oaxaca-Puebla, en el período 1928-1999.

Fecha	Latitud	Longitud	Profundidad (km)	Magnitud
10-2-1928	18°16'	97°59'	84	6.5 G
26-7-1937	18°27'	96°05'	85	7.3 G
11-10-1945	18°19'	97°39'	96	6.5 G
24-5-1959	17°43'	97°09'	80	6.8 G
28-8-1973	18°18'N	96°31'W	75	7.3 Ms
24-10-1980	18°03'N	98°18'W	65	7.0 Ms
15-6-1999	18°25'N	97°20'W	80	7.0 Mw

Fuente: Singh y Wyss, 1976; Jiménez y Ponce, 1977-78; Yamamoto *et al.*, 1984; USGS, 1999.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Sismos históricos ocurridos en la región Mixteca. Los puntos negros representan el epicentro, la cifra refiere el año de ocurrencia; los asteriscos corresponden a los grandes volcanes. La línea con triángulos representa los límites morfológicos de la trinchera Mesoamericana.

DAÑOS EN POBLACIONES

Los daños mayores ocurrieron en el estado de Puebla, principalmente en la ciudad del mismo nombre, en especial en edificios antiguos de gran valor histórico, entre ellos, el Carolino, de 412 años de antigüedad, el templo de la Compañía, el Palacio de Justicia, el edificio de Correos, la Biblioteca Palafoxiana, el Palacio Municipal y el Museo José Luis Bello. También fueron afectadas las poblaciones de Acatlán, Amozoc, Atlixco, Chachopa, Cholula, Izúcar de Matamoros, Ozolco, Tecamachalco, Tehuacán, Tepeji de Rodríguez y otras (Figura 2). Los templos afectados suman 437, así como 841 escuelas y 88 hospitales (Melgarejo *et al.*, 1999).

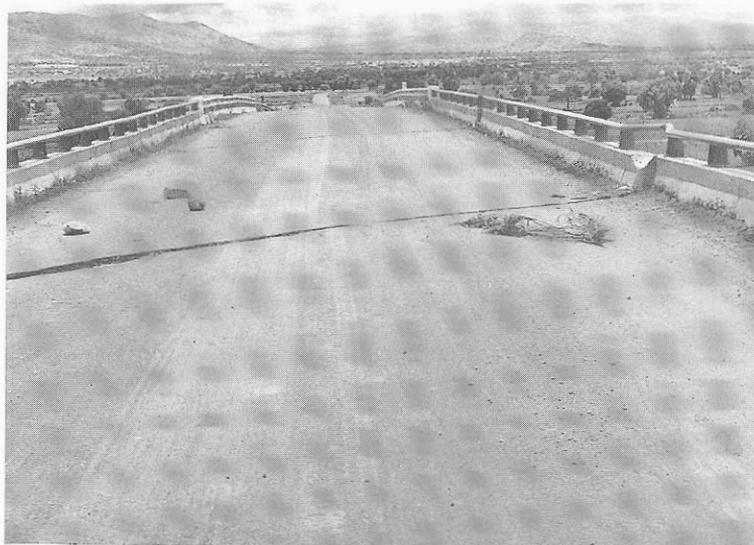
Puebla ya ha sido antes afectada por sismos destructores. La historia los registra en 1667, 1711, 1864 (el más grave), 1937 y 1973, de

acuerdo con Virginia García Acosta (*La Jornada*, 16-6-99), investigadora que realiza una obra sobre los sismos en la historia de México (1996).

La misma fuente señala que en Oaxaca, por el mismo sismo, los daños fueron notables en la zona de la Mixteca, en los distritos de Teposcolula, Huajuapán, Tlaxiaco, Nochixtlán, Cohixtlahuaca, Huautla de Jiménez y Cuicatlán. El 18 de junio hubo lluvias que agravaron los daños y contribuyeron a incrementar la destrucción de casas dañadas. En el Estado de México los daños se registraron principalmente en poblados al pie de los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl (Figura 2), como Amecameca, Atzingo, Ecatingo, Huitzotepic, Ozumba, Tepetlixpa, Tlalmanalco y Tlalmehuapán. Hubo cerca de 100 escuelas dañadas y 47 monumentos históricos. En Morelos fueron afectadas 43 iglesias, 62 escuelas y 235



A)



B)

Figura 3. Puente afectado por el sismo en la carretera federal de Puebla y el cruce con la carretera libre a Morelos Cañada. A) Daños en el puente, B) Se aprecia el desplazamiento lateral izquierdo.

En Tehuacán se observaron daños menores en edificios como el ex convento de San Francisco. En esta ciudad se aprecia un alineamiento de fracturas de rumbo este-

oeste, las cuales atraviesan por lo menos tres manzanas, dañando varias construcciones, entre ellas, el ex convento de San Francisco (Figura 4).



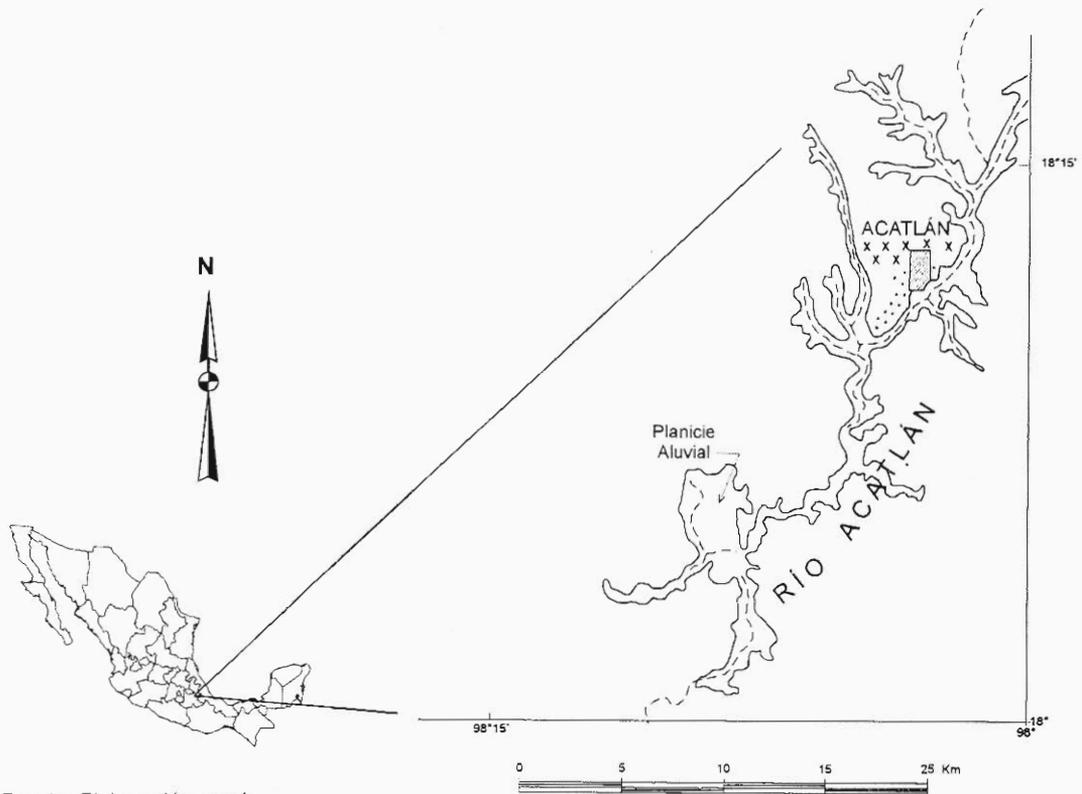
Figura 4. Daños en el ex convento de San Francisco, Tehuacán, Puebla.

La ciudad de Acatlán, Puebla, fue dañada considerablemente. Ésta se encuentra en la margen del río del mismo nombre. La zona céntrica se asienta sobre una ancha llanura aluvial y terrazas (Figura 5). Los daños mayores ocurrieron, por ejemplo, en la esquina de las calles de Independencia e Ignacio Ramírez, donde hubo destrucción parcial y total de casas; en especial en la calle Guillermo Prieto y calle abajo, a partir de la calle de Gómez Farías. Las grietas formadas en los edificios no mostraban una tendencia o dirección preferencial. La destrucción mayor se observó en casas de adobe. En las partes altas del pueblo, que se encuentran en roca firme, no se presentaron daños (Figura 6). Acatlán es un ejemplo de una posible amplifi-

cación de las ondas sísmicas en un terreno aluvial, lo que causó una destrucción mayor que en otras poblaciones.

En Tehuiztzingo se observaron daños en bardas, casas y en la gasolinería; se concentraron en el centro del pueblo y en la calle principal, ambos ubicados en la parte más baja, misma que se asienta también sobre sedimentos aluviales.

La ciudad de Huajuapán de León sufrió pocos daños. Después del sismo de 1980 la reconstrucción se hizo con base en un reglamento de construcción más exigente, lo que en apariencia dio buenos resultados.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Acatlán está construida en terrazas aluviales en contacto con el lecho rocoso. Los puntos representan aluvión; las cruces, la roca masiva.

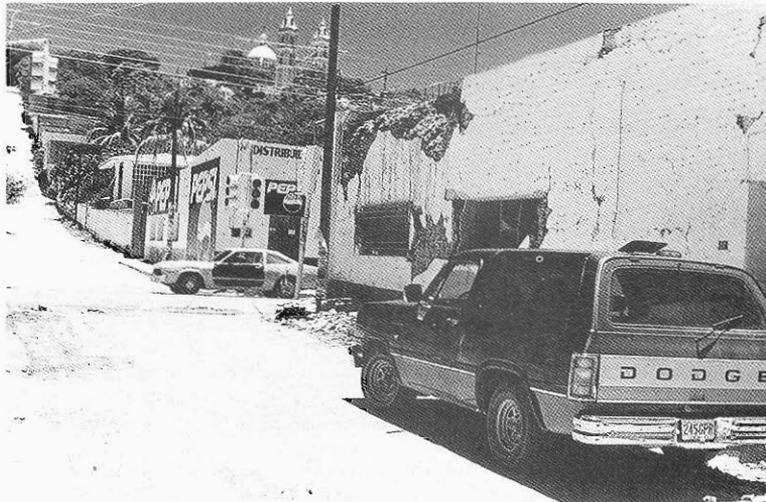


Figura 6. Acatlán. La casa destruida por el sismo se asienta en la planicie aluvial; la zona elevada corresponde al sustrato rocoso, donde no hubo daños.

En Cacaloxtepec, Oaxaca, población cercana a Huajuapán, hubo daños en casas de ladrillo y de adobe. En la carretera que comunica a estas poblaciones se produjeron desprendimientos menores en la carretera, en escarpes con dirección norte-sur y este-oeste. Éstos se relacionan con una alternancia de capas de material volcánico de distinta resistencia a la erosión.

La población de Ozolco, Puebla, está situada en la ladera oriental del Popocatepetl, al norte de San Nicolás de los Ranchos, sobre una cresta volcánica orientada al NW, entre dos barrancos (Figura 7), y constituida por depósitos de pómez y piroclastos, sin consolidación. El pueblo consiste principalmente en dos calles paralelas, a lo largo de las cuales los daños fueron numerosos: la iglesia con fracturas; un 30-40% de las casas fueron destruidas o semidestruidas, prácticamente todas construidas con adobe. Las casas de madera apuntaladas, al igual que las de tabique, no sufrieron daños. En esta población hubo tres muertos. En la calle *Independencia*, la principal, con dirección noroeste, se encontró la mayor parte de las casas caídas. Éstas fueron construidas con ladrillos de adobe y sin cimientos. En proporción al tamaño del pueblo, los daños fueron graves. Además de las deficientes construcciones de adobe, es posible

que la posición frágil de la población en una cresta, delimitada por barrancos a ambos lados y su constitución, en gran parte de material poco consolidado como pómez, haya contribuido a la amplificación de las ondas sísmicas.

San Nicolás de los Ranchos está situado a unos pocos kilómetros, en una posición más baja con respecto a Ozolco, en una superficie de piedemonte; las construcciones son más sólidas y los daños fueron mínimos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las observaciones en las grietas producidas en el puente de la carretera federal de Puebla a Morelos Cañada permiten determinar un desplazamiento básicamente lateral con una componente vertical. Las ondas sísmicas provienen del valle de Tehuacán y se considera que se incrementaron en esta depresión rellena de sedimentos aluviales.

En las poblaciones construidas en terrenos aluviales, donde el grosor de la capa de estos materiales es mayor a los 10-20 m, debe haberse producido una amplificación de las ondas sísmicas, lo que explica que los daños se incrementen en lugares como Acatlán, Tehuiztzingo y el valle de Tehuacán.



Figura 7. Ozolco, Puebla. El terreno de la derecha estaba ocupado por casas de adobe.

En 1978 se instalaron sismógrafos en la región de Puebla-Tlaxcala, decisión muy acertada, pero insuficiente, ya que es necesario incrementar los estudios de la sismicidad en la región de la Mixteca.

Las observaciones realizadas en la zona afectada permitieron reconocer que los daños son selectivos: casas dañadas contiguas a otras que no fueron afectadas en lo más mínimo. El sismo no fue lo suficientemente fuerte como para causar una gran destrucción, la que se presentó se debe a deficiencias en la construcción en general, común en edificios públicos y casas de adobe.

Otro fenómeno interesante es que hubo un daño considerable en iglesias, sobre todo en las cúpulas, que sufrieron agrietamiento y destrucción parcial en una buena cantidad de poblaciones, entre otras, Ozolco, Cholula, Puebla, Tehuacán, Cacaloxtepic y Acatlán. Una explicación razonable a los daños en una buena cantidad de iglesias, la proporcionaron las autoridades de Protección Civil del Estado de Puebla, quienes señalaron que estas construcciones sufrían un considerable deterioro a consecuencia de la humedad, excremento de aves y falta de mantenimiento. La estructura debilitada no presentó la suficiente resistencia al movimiento.

Los daños materiales son considerables, sin embargo, fueron mínimos los casos de derrumbe de construcciones, lo que explica que las víctimas sean sólo 15.

Un mapa de isosistas de Santamaría *et al.* (1999) y de Singh *et al.* (1999), correspondiente a este macrosismo, muestra que las curvas de intensidades VI, VII y VIII en la escala de Mercalli, se ubican en los pueblos más afectados del noroeste de Oaxaca, al sureste de Puebla, con una orientación preferencial noroeste-sureste, lo cual coincide con la alineación del valle de Tehuacán, de las poblaciones que sufrieron más daños y de las grietas observadas en el puente de la carretera federal (Figura 3).

La presencia de siete sismos dañinos en la misma región en el transcurso de 71 años es un dato que refleja una alta peligrosidad. Es necesario aplicar un reglamento de construcción, sobre todo en las poblaciones mayores, como Puebla, Acatlán, Tehuacán, Oaxaca y otras. A esto hay que agregar la educación de la población y en general, las políticas de protección civil. El estado de Oaxaca en los últimos años se ha visto afectado por verdaderos desastres: en octubre de 1997 el huracán *Pauline* causó enorme destrucción en la costa y la vertiente correspondiente de la Sierra Madre del Sur; en junio de 1999 un sismo afectó la zona noroccidental; tres meses y dos semanas después, otro causó una gran destrucción en el sur del estado. En octubre de 1999 lluvias intensas causan graves inundaciones y procesos de remoción en masa en parte de los estados de Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tabasco y Oaxaca. En este último, los desastres naturales son especialmente graves porque las poblaciones pequeñas son muy numerosas y se encuentran enclavadas en la sierra, aisladas entre sí y de las ciudades, y al producirse destrucción de los caminos la ayuda tarda en llegar.

Como ocurre cuando se presentan sismos destructores, las autoridades civiles deciden apoyar proyectos de investigación relacionados con el tema, así como fortalecer los reglamentos de construcción y los organismos de protección civil. Esto ha ocurrido en México, principalmente a raíz de los sismos de 1957 y 1985, al igual que en otros países del mundo.

Las enseñanzas del sismo no son nuevas. Seguramente habrá políticas dirigidas a incrementar los estudios de sismología en la zona en cuestión, lo mismo que la prevención de desastres, con la ventaja de facilitar la identificación de las poblaciones más vulnerables, de acuerdo con el tipo de construcciones, la estructura geológica y el relieve. A esto hay que agregar que la sismicidad está presente a lo largo de todo el Cinturón Volcánico Mexicano, donde se encuentran los mayores núcleos de población, lo que exige las mismas políticas en este enorme territorio.

AGRADECIMIENTOS

A tres árbitros anónimos por sus valiosas críticas. A Miguel Santos y Miguel Castillo por el apoyo en el trabajo de campo, a Liliana de Rafael por su colaboración en la búsqueda de información. A Armando Sánchez y sus colaboradores: Juan Carlos del Olmo, Javier Ortiz y Arturo Reséndiz por su apoyo en el dibujo.

REFERENCIAS

- 📖 CNN, June 15 (1999), "Strong earthquake shakes Mexico City." <http://cnn.com/World/americas/9906/15/mexico.quake.02/>.
- 📖 García Acosta, V. y G. Suárez Reynoso (1996), *Los sismos en la historia de México*, tomo I, Fondo de Cultura Económica, México.
- 📖 Jiménez, Z. y L. Ponce (1977-78), "Focal mechanism of six large earthquakes in Northern Oaxaca, Mexico, for the period 1928-1973", *Geofísica Internacional*, 17 (3): 379-386.
- 📖 Lomas, E., A. Uribe y S. Fernández (1999), "Localización del sismo (99-06-15) de Tehuacán, Puebla, mediante la red sismológica de la CFE", *GEOS*, 19(4): 299.
- 📖 Melgarejo Palafox, G., G. Cesin Sánchez, N. Fueyo McDonald, G. González Pomposo, M. G. Sordo Yunez y Y. Piedras Sánchez (1999), "Puebla, una experiencia inolvidable", *Prevención*, CENAPRED, México, 23:14-17.
- 📖 Quintanar, L., J. Yamamoto, C. J. Rebolgar y Z. Jiménez (1999), "El sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999, semejanzas y diferencias con el sismo ocurrido el 24 de octubre de 1980", *GEOS*, 19(4):299.
- 📖 Santamaría, D., M. Pérez, A. Uribe y S. Fernández (1999), "Macrosismo del 15 de junio de 1999 y el efecto de sitio que presentó el suelo de la ciudad de Oaxaca, ante la presencia de esta excitación sísmica", *GEOS*, 19(4):258.
- 📖 Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, UNAM (1999), <http://www.ssn.unam.mx>.
- 📖 Singh, S.K. y M. Wyss (1976), "Source parameters of the Orizaba earthquake of August 28, 1973", *Geofísica Internacional*, 16(3):165-184.
- 📖 Singh, S. K., M. Ordaz, J. F. Pacheco, R. Quass, L. Alcántara, S. Alcocer, C. Gutiérrez, R. Meli, E. Ovando, G. Aguilar, J. Aguirre, D. Almora, J. G. Anderson, M. Ayala, G. Castro, R. Durán, J. Estrada, L. Flores, G. González, E. Guevara, F. Lazares, J. Lermo, B. López, O. López, M. Macías, T. Mikumo, C. Mortera, M. Ortega, J. L. Ortiz, M.A. Pacheco, C. Pérez, J. Pérez, A. E. Posada, E. Reinoso, R. Ruiz, H. Sandoval, N. Shapiro, M. Torres, C. Uribe, R. Vázquez, J. M. Velasco y J. Ylizaliturri (1999), "A preliminary report on the Tehuacán, México earthquake of June 15, 1999 (Mw 7.0)", *Seismological Research Letters*, 70(5):489-504.
- 📖 USGS National Earthquake Information Center, "99/06/15, 6.7 Mw earthquake, Central Mexico (1999)", *Earthquake Bulletin*, 99/06/16. http://www.neric.cr.usgs.gov/nesi/bulletin/99_events.
- 📖 Yamamoto, J., Z. Jiménez y R. Mota (1984), "El temblor de Huajuapán de León, Oaxaca, México, del 24 de octubre de 1980", *Geofísica Internacional*, 23(1):83-110.