

Registro de la sismicidad del estado de Puebla (diciembre de 1985 a junio de 1991)

G. J. González Pomposo, J. A. De Gante González, P. G. Juárez Serrano y A. E. Posada

Escuela de Ingeniería Civil y Tecnológicas
Universidad Autónoma de Puebla

El conocimiento de la actividad sísmológica y de su distribución geográfica contribuye a la determinación de las fuentes sísmicas de la región y a la elaboración de mapas con fines de ingeniería y prevención de desastres sísmicos y volcánicos.

Nuestro país se encuentra sujeto a la influencia de grandes sismos originados en la costa del Pacífico y en el interior del continente los que, en varias ocasiones, han provocado enormes pérdidas humanas y materiales.¹ En este contexto, el estado de Puebla está situado en una región de mediana actividad y relativamente cercano a otra de mayor actividad, específicamente, la zona de subducción del sureste de la República Mexicana. Actualmente, el estado cuenta con cuatro centros urbanos importantes, incluida la capital del mismo, y su crecimiento poblacional, económico e industrial es acelerado. Estas razones hacen necesaria la realización de estudios de sismicidad en la región.

El estado de Puebla se encuentra localizado entre los paralelos 17.86° y 20.8°N, y entre los meridianos 96.73° y 99.06° W. Colinda al norte y al este con el estado de Veracruz; en la Sierra Norte de Puebla, derivada de prolongaciones de la Sierra Madre Oriental, se levantan el Cofre de Perote, zona de las Derrumbadas y el volcán Citlaltépetl. Al sur, colinda con los estados de Guerrero y Oaxaca. En estos límites se encuentra la Sierra Negra, la Mixteca y las prolongaciones de la Sierra Madre Occidental, constituidas por la Sierra Madre del Sur, que evidencian variados sistemas orogénicos, de los cuales es particularmente importante la falla de Tehuacán. Al oeste, limita con los estados de Morelos y México, donde destacan los

estrato-volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl. Este último límite lo completan los estados de Tlaxcala e Hidalgo; en los límites con el primero se encuentra ubicada la Malintzi (véase Figura 1).

El estado de Puebla es atravesado por cinco fallas originarios del mioceno bajo,² de las cuales las más importantes son: Popocatepetl-Chignahuapan, Malinche y Atoyac-Miñas. Existen además, cuatro fallas menores que se formaron en el mioceno-plioceno (véase Figura 2). De acuerdo con lo anterior, es evidente que la actividad sísmica que se manifiesta en la región debe ser originada por movimientos tectónicos, por vulcanismo o por acomodamientos superficiales de la corteza.³

Antecedentes

El primer estudio de sismicidad en el estado de Puebla y sus inmediaciones fue realizado por Figueroa (1974). El trabajo abarcó el periodo de 1523 a octubre de 1973 y consta de dos catálogos de eventos: el primero, basado en una investigación histórica, reporta únicamente macrosismos para el lapso de 1523 a 1910; el segundo, basado en información instrumental, reporta sismos con magnitudes mayores a los 5.0 grados para el periodo de 1911 a octubre de 1973. El total de sismos reportados es de ciento ocho para el primer periodo y ciento veintitrés para el segundo.

Por otra parte, Gómez y González Pomposo⁴, analizando la información de los boletines preliminares del Sistema de Información Sismotelemétrica de México (SISMEX) y de la Red Sísmica de Apertura Continental



Figura 1. Orografía del estado de Puebla.

(RESMAC), reportan ciento cuatro eventos para el periodo de 1976 a febrero de 1983. En este estudio se tuvieron en consideración todas las magnitudes sísmicas. Si tomamos en cuenta que entre los dos trabajos se reportan solamente doscientos veintisiete even-

tos para el periodo de 1911 a febrero de 1983, podemos establecer que hasta esta última fecha había poca información que nos pudiera conducir a un estudio completo de la sismicidad en el estado, debido fundamentalmente a la falta de instrumentación sísmológica en la región.

Con base en lo anterior, el 29 de noviembre de 1985 se puso en funcionamiento la Red Sísmica del Estado de Puebla (RESEP) de la Universidad Autónoma de Puebla, con la finalidad de monitorear la actividad sísmica generada en el estado y sus inmediaciones. Durante la primera fase de su operación, RESEP contó con tres estaciones sísmológicas ubicadas en las poblaciones de Chiau-tla de Tapia (CHP), Molcaxac (MOP) y Cuyoaco (CUP)⁵. En 1986 se montó otra estación en la población de Coxcatlán, Puebla (CXP). A partir de 1987, se instalaron cuatro estaciones más en las poblaciones de Chila de las Flores (CIP), Coxcatlán (CXP), Puebla (UAP) y Xalitzintla (XLP)⁶ (véase Figura 3). Estas siete estaciones operaron de manera ininterrumpida hasta junio de 1991. Para completar la información sísmica se contó con el apoyo de las estaciones pertenecientes al Sistema de Información Sismotelemétrica de México (SISMEX) y al Servicio Sismológico Nacional (SSN) que en conjunto dan una cobertura adecuada para tener un buen control del origen de la actividad sísmica registrada en la región.

Instrumentación

Las estaciones que se usaron para configurar la Red fueron de tipo analógico de una componente (Z) y con registro en papel ahumado. Cada una de ellas contó con un sísmómetro Ranger SS-1 de marca Kinematics con periodo natural de un segundo, un sísmógrafo MEQ-800-B producido por Sprengnether y un receptor de la señal de radio WWB en 5, 10 y 15 MHz (*Time cube*) de Radio Shack. El diseño de las casetas que albergan las estaciones se realizó en el Centro de Investigación en Ingeniería, de la Escuela de Ingeniería Civil de la UAP, mientras que los sistemas de retroalimentación de energía de los sísmógrafos fueron construidos

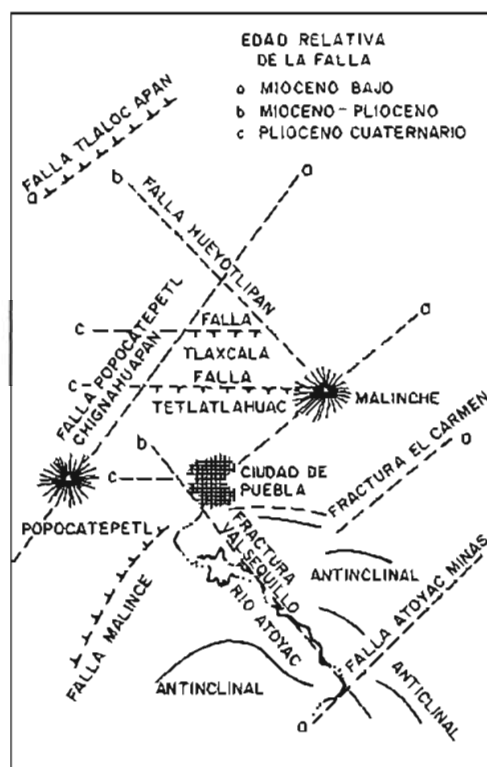


Figura 2. Tectónica del Valle de Puebla.

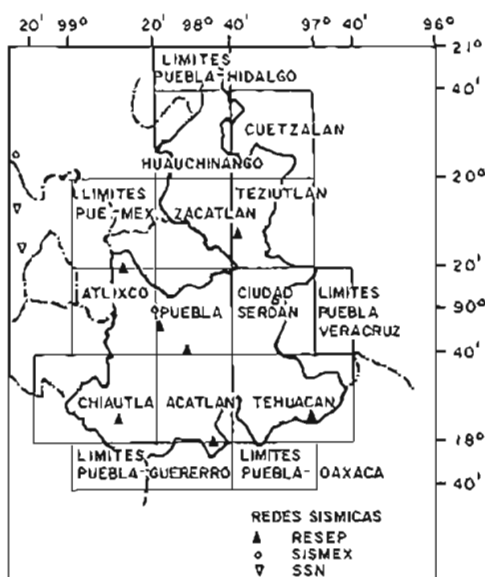


Figura 3. Regionalización y estaciones sismológicas del estado de Puebla

por el Departamento de Mantenimiento Electrónico de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la misma institución.

Las estaciones fueron operadas por personal contratado en cada una de las poblaciones y con apoyo de estudiantes en servicio social.⁷

Procesamiento de datos

Inicialmente, en los sismogramas se realizó la lectura de los tiempos de arribo de las ondas de cuerpo P y S (T_p y T_s , respectivamente), así como de las fases de cada una de las ondas, el tiempo de duración de la señal sísmica y la amplitud máxima de cada uno de los eventos registrados.

El criterio aplicado para la localización final de los eventos fue el siguiente: si la diferencia de tiempo $AT = T_s - T_p$ era menor a 20 segundos, se realizaba la localización, incluyendo las lecturas de las estaciones de apoyo de SISMEEX y SSN.

Si, por el contrario, esta diferencia era mayor, los datos leídos se enviaban al SSN para que sirvieran de apoyo en la localización de los eventos correspondientes.

La utilización de esta diferencia de tiempo es válida debido a que la mayor distancia entre las estaciones de RESEP es menor a los 180 Km.

Programa de localización

Mediante el programa de cómputo HYPO-71 se calculan de manera iterativa los parámetros hipocentrales.⁸ Para ello, el programa emplea la expresión analítica del tiempo de viaje de la onda directa en un modelo de capas planas aplicando el método de mínimos cuadrados no-lineales.

La localización de los eventos sísmicos se realizó en dos etapas. En la primera se utilizó el programa HYPO-BASIC porque ofrece la ventaja de ser ejecutado en cualquier microcomputadora con capacidad de 16 k-bytes de memoria libre.⁹ Para agilizar este programa fue necesario proporcionarle una localización preliminar, misma que se calculó de manera manual, incrementando con ello el tiempo requerido para la localización hipocentral de un evento.

Con una computadora PC-XT se implementó el programa HYPO-PC en lenguaje FORTRAN, optimizando así el tiempo de localización.¹⁰ El primer programa toma cuatro minutos por iteración y diez minutos para localizar un evento; en contraste, el segundo programa toma alrededor de diez segundos para localizar un evento.

El programa HYPO-PC es iterativo, óptimo para el manejo de datos hasta de veinte estaciones y con un modelo de capas de diez velocidades como máximo. Para la corrida del programa fue necesario dar los siguientes datos de entrada.

a) Modelo de cargas planas. El empleado para la región en estudio fue el siguiente:

ESPESOR (Km)	VELOCIDAD (Km/s)
0 - 2	5.59
2 - 18	6.15
18 - 20	6.70
20 - 57	8.18
57 - 00	8.37

b) Nombre de la estación. Clave y coordenadas geográficas.

c) Lectura de los tiempos de arribo. Ésta se refiere a los tiempos de arribo de las ondas P (T_p) y S (T_s), cuya calidad de lectura está establecida de acuerdo al criterio siguiente:

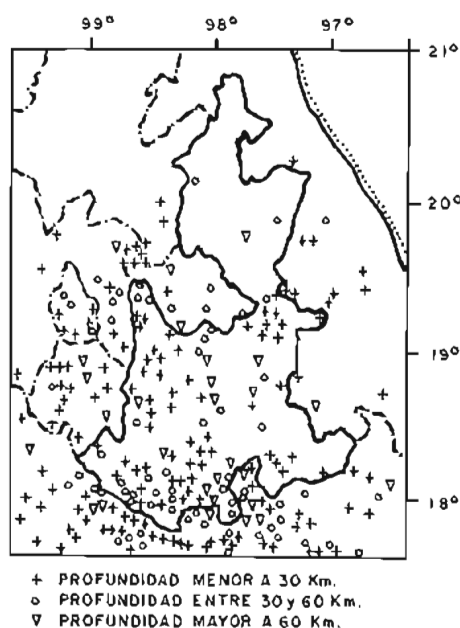


Figura 4. Sismicidad en el estado de Puebla (diciembre de 1985 a junio de 1991).

- 0- confiable 100%.
- 1- confiable 75%.
- 2- confiable 50%.
- 3- confiable 25%.
- 4- lectura inexistente.

d) Tiempo de duración del evento. Este dato se utiliza para el cálculo de la magnitud de coda (M_c), la cual se obtiene de la ecuación dada por Havskov¹¹:

$$M_c = 0.09 + 1.85 \log(Z) + 0.0004 (D)$$

donde:

Z = duración de la señal en segundos.

D = distancia epicentral en kilómetros.

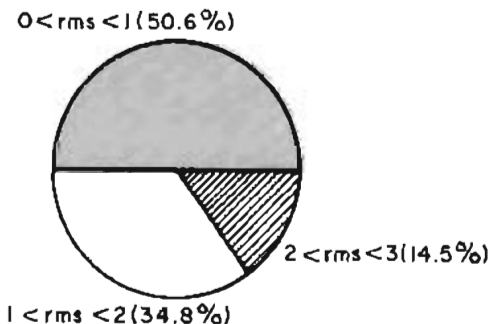


Figura 5. Porcentaje de residuales.

Una vez procesada la información, los datos de salida del programa utilizados para la conformación del catálogo sísmico son los siguientes:

- 1) Año, mes.
- 2) Tiempo de origen (día hora minuto segundo) referido al horario G.M.T.
- 3) Coordenadas geográficas (Lat. N y Long. W).
- 4) Profundidad del hipocentro.
- 5) Magnitud de coda del evento.
- 6) Error cuadrático medio.
- 7) Región donde se originó el evento. La regionalización efectuada para el área de estudio se muestra en la Figura 3.
- 8) Fuente (estaciones empleadas en la localización).

Resultados

En la Figura 4 se presentan los cuatrocientos sesenta y dos eventos registrados y localizados por RESEP en la región, de diciembre de 1985 a junio de 1991, los cuales conforman el Catálogo de la Sismicidad del estado de Puebla. Con respecto al análisis de la información recabada, los aspectos más relevantes que se encontraron son los siguientes:

a) El 50.6% de los eventos localizados tiene un residual entre 0 y 1 seg. en el tiempo de origen; en el 34.8% de los datos éste varía entre 1 y 2 seg. Solamente el 14.5% de la información catalogada se encontró con un residual entre 2 y 3 seg. Lo anterior se muestra en la Figura 5.

b) En cuanto a la magnitud de coda, el 81% de los eventos calculados se encuentra en la banda entre 2 y 4, mientras que para el 2.16% de los eventos está entre 1 y 2. Finalmente, sólo un evento tiene una magnitud mayor a 5 grados, y en los restantes diecisiete no fue posible hacer el cálculo.

c) La mayor sismicidad se registró en los meses de mayo de 1986, 1988 y abril y mayo de 1989. La Figura 6 refleja el periodo de mayor actividad en la región. Sin embargo, esto podría estar asociado a que durante este lapso las estaciones de RESEP funcionaron de manera óptima. Cabe recordar que en la primera etapa de operación de la

red, solamente se contaba con tres estaciones (Chiautla, Molcaxac y Cuyoaco).

d) De acuerdo con la distribución de los eventos dentro de la regionalización hecha en el estado de Puebla por González Pomposo y De Gante¹², el 45% de los temblores se ubicó dentro de las áreas de Chiautla, Tehuacán, Acatlán, límites Puebla-Guerrero y límites Puebla-Oaxaca (véase Figura 7). Esto significa que la mayor actividad sísmica registrada se generó en el sur de la región, en los que se consideran los límites del contacto entre la Placas de Cocos y la Placa Nortamericana. La primera se mueve a una velocidad promedio de 4.1 cm/año al NE, mientras que la segunda lo hace a 2.8 cm/año al SW.¹³

En la zona central de la región sólo se localizó el 14% de los eventos, dentro de las áreas de Zacatlán, Teziutlán, Atlixco, Puebla, Cd. Serdán y límites Puebla y Veracruz, lo que define una baja sismicidad en esta parte de la región.

Por otro lado, fue significativo que en el área de los límites Puebla-México se localizaron treinta y cinco eventos registrados en mayo de 1986.

Finalmente, en las áreas del Norte de la región únicamente se localizó un evento, lo cual demuestra la casi nula actividad sísmica de esta zona. Cabe mencionar que el 32% del total de los eventos se localizó fuera del estado de Puebla y fuera de la región; cincuenta y seis y noventa y tres sismos respectivamente.

A pesar de no encontrarse dentro del área cubierta por las estaciones de RESEP, se tiene una buena localización de estos eventos debido a las lecturas de las estaciones de SISMEM y del SSN, las cuales se encuentran ubicadas alrededor de la zona de estudio: Tonanzintla, Pue. (IIT), Cd. Serdán, Pue. (IIS), Alzomoni, Edo. de México (OXM) y Tepoztlán, Mor. (TPM). En la Figura 4 se grafica de manera global la sismicidad localizada en la región, de diciembre de 1985 a junio de 1991.

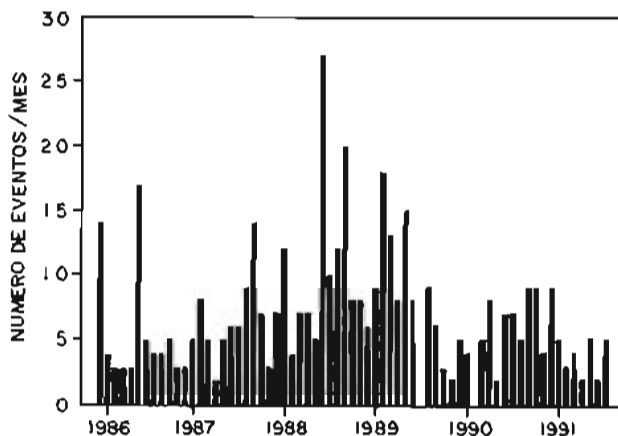


Figura 6. Distribución mensual de la sismicidad.

Conclusiones

La mayor parte de las magnitudes registradas dentro de la región del estado de Puebla en los cinco años y seis meses que abarca este estudio se encontraron en la banda de 2 a 4, y solamente se presenta un evento con magnitud mayor a 5 grados, por lo que se espera que la mayoría de los sismos que se genere en la zona tenga magnitudes pequeñas; excepcionalmente, algunos podrían tener magnitudes mayores a cinco.

La mayor actividad sísmica se localiza en el sur de la región; una mediana sismicidad se observa en la parte central, la que se encuentra asociada a la faja volcánica Trans-Mexicana y una casi nula sismicidad en el norte. Sin embargo, los efectos sísmicos generados por los temblores fuertes de la costa del Pacífico y dentro de la misma región (Orizaba, 1976; Huajuapán, 1980) representan un alto grado de peligrosidad en cualquier lugar del estado y su grado de riesgo se está estudiando con la Red de Acelerógrafos de la ciudad de Puebla (RACP).¹⁴

Finalmente, el periodo de monitoreo realizado por RESEP ha demostrado que la región del estado de Puebla es sísmicamente activa, indicando cuáles son las zonas de mayor sismicidad y las magnitudes esperadas. Sin embargo, para una mayor estimación de la sismicidad y sus posibles efectos, es importante llevar a cabo un monitoreo continuo, ya que las estaciones de RESEP no se encuentran en operación desde julio de 1991. Es indispensable, en lo futuro, poder

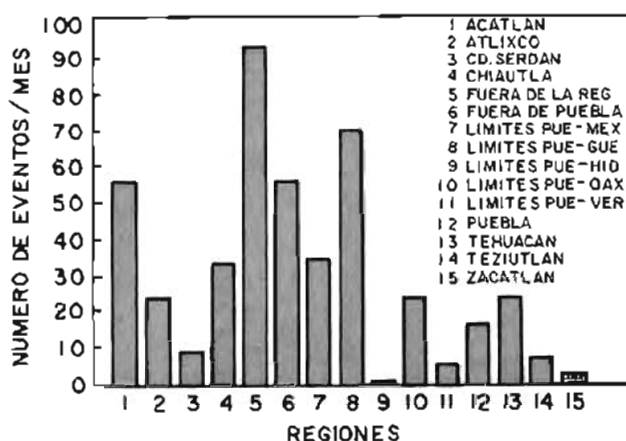


Figura 7. Distribución por regiones de la actividad sísmica.

contar con datos confiables que puedan servir como punto inicial para el conocimiento de los procesos que gobiernan la ocurrencia de efectos destructivos de los temblores que se registran y se generan en la región.

Agradecimientos

Los autores expresan su reconocimiento al doctor Raúl Serrano Lizaola por su entusiasta participación en la creación y operación de RESEP y RACP; a Franco Martínez Sánchez y Gustavo Adolfo Diego Taboada por su participación en la lectura de los sísmogramas; a los estudiantes de servicio social de la Escuela de Ingeniería Civil de la UAP, que participaron en este trabajo contribuyendo significativamente a la operación y mantenimiento de las estaciones de RESEP.

Bibliografía

¹ Gutiérrez, M.C., Miller, P.S., Montoya, D.C. y Tapia, G.R., "Diagnóstico de peligro sísmico para la República Mexicana y evaluación de intensidades para sismos históricos", Coordinación de Investigación Riesgos Geológicos, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 1991.

² Mooser, F. "The Mexican volcanic belt: structure and tectonics", *Geofísica Internacional*, Vol. 12, 1972, pp. 55-70.

³ Figueroa, A.J., "Sismicidad en Puebla - Macrosismos del 28 de agosto de 1973", *Instituto de Ingeniería, UNAM*, N°. 343, 1974.

⁴ Gómez Ramírez, T. y González Pomposo, G.J.,

"Zonificación sísmica del estado de Puebla", *Memorias del VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 1983, pp. 25-38.

⁵ González Pomposo, G.J., "Proyecto para la instalación de la Red Sísmica del estado de Puebla", *Memorias del VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 1983, pp. 537-540.

⁶ González Pomposo, G.J., Serrano Lizaola, R. y De Gante González, J.A., "Ampliación de la Red Sísmica del estado de Puebla", *Reunión Anual Unión Geofísica Mexicana*, 1987, Ensenada, B.C.

⁷ Serrano Lizaola, R. y González Pomposo, G.J., "Instalación de la Red Sísmica del estado de Puebla (RESEP)", *Reporte Técnico 85-2, Centro de Investigación en Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, UAP*, 1985.

⁸ Lee, H.K.W. and Steward, W.S., "HYPO-71 (Revised): a computer program for determining hypocenter magnitude and first motion pattern of local earthquake", *Open File Report 75-311, United States Department of the Interior Geological Survey, National Center for Earthquake Research*, 1975.

⁹ Mendoza, J. and Morgan, D., "BASIC-HYPO: A basic language hypocenter location program", *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 75, 1985, pp. 1211-1215.

¹⁰ Lee, H.K.W. and Valdés, M.C., "HYPO71PC: A personal computer version of the HYPO71 earthquake location program", *Open File Report 85-749, United States Department of the Interior Geological Survey, National Center for Earthquake Research*, 1986.

¹¹ Havskov, J. and Macías, M., "A Coda-Lenght magnitude scale for some Mexican stations", *Geofísica Internacional*, vol. 22, 1983, pp. 205-213.

¹² González Pomposo, G.J. y De Gante González, J.A., "Operación de la Red Sísmica del estado de Puebla", *Reunión Anual Unión Geofísica Mexicana*, 1986.

¹³ Singh, S.K. and Pardo, M., "Geometry of the Benioff Zone and state of stress in the overriding Plate in Central Mexico", *Geophysics Research Letters*, Vol. 20, 1993, p. 1483.

¹⁴ Avilés López, J., De Gante González, J. A., González Pomposo, G. J. y Serrano Lizaola, R., "Instalación de la Red de Acelerógrafos de la Ciudad de Puebla (RACP)", *Reporte Técnico 89-1, Centro de Investigación en Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, UAP*, 1989.