



Zonificación sísmica del Estado de Tlaxcala, México

Javier Lermo-Samaniego*, Isabel Bernal-Esquia

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México,
Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F.

*jles@pumas.iingen.unam.mx

Resumen

Para la evaluación y análisis de la sismicidad que se genera en el Estado de Tlaxcala, se han analizado 45 sismos registrados entre 1984 y 2004 ($M_d < 4.0$). De esta sismicidad, casi el 70% está asociada a la actividad del Graben de Puebla, coincidiendo con las trazas del sistema de fallas, así como con la orientación de los mecanismos focales que es principalmente en dirección E-O. Estas características sismotectónicas permitieron realizar una zonificación sísmica, que consta de zonas de alta (I), media (II) y baja (III) sismicidad. La Zona I, la de mayor peligrosidad contiene las ciudades con mayor densidad poblacional del estado: Tlaxcala, Santa Ana Chiautempan, Contla y Apizaco.

Palabras clave: zonificación sísmica, Estado de Tlaxcala, sismicidad, mecanismos focales.

Abstract

For the evaluation and analysis of the seismicity that is generated in the State of Tlaxcala, we have analyzed 45 earthquakes that occurred between 1984 and 2004 ($M_d < 4.0$). Almost 70% of such earthquakes is associated with the activity of the Puebla Graben. This agrees with the location of fault systems and oriented focal mechanisms, mainly E-W. These seismotectonic characteristics allowed to establish a seismic zonation, that consists of a high (I), medium (II) and low (III) seismicity zones. Zone I, the one that bears greatest potential seismic hazard contains the cities with greater population density of this state: Tlaxcala, Santa Ana Chiautempan, Contla y Apizaco.

Key words: seismic zonation, State of Tlaxcala, seismicity, focal mechanisms.

1. Introducción

El Estado de Tlaxcala, con aproximadamente un millón de habitantes, se ubica en la parte central de la República Mexicana ($19^{\circ}44'N$ a $19^{\circ}06'N$ y $97^{\circ}38'O$ a $98^{\circ}43'O$) dentro de la Faja Volcánica Mexicana (FVM). Este territorio accidentado se caracteriza por la presencia de mesetas, lomeríos, llanuras, un cañón y el volcán La Malinche o Matlacueytl (4461 m.s.n.m.), como se puede observar en la Figura 1. Asimismo, es importante la presencia de plegamientos que se orientan predominantemente en

dirección E-O, dando origen a depresiones, fallas y dislocaciones que en la actualidad están generando sismos de magnitud moderada y pequeña. En la Figura 1, también se muestra los principales sistemas de fallas que existen en esta región, como son las Fallas Tlaxcala, Zacatelco, Huejotzingo y Tepeaca que se localizan, las dos primeras al centro y sur del estado de Tlaxcala, respectivamente; mientras que las otras dos en el estado de Puebla, respectivamente. Las cuatro fallas son de tipo normal y están orientadas en dirección E-O, sin embargo las dos primeras, presentan buzamiento hacia el sur y las otras dos hacia el

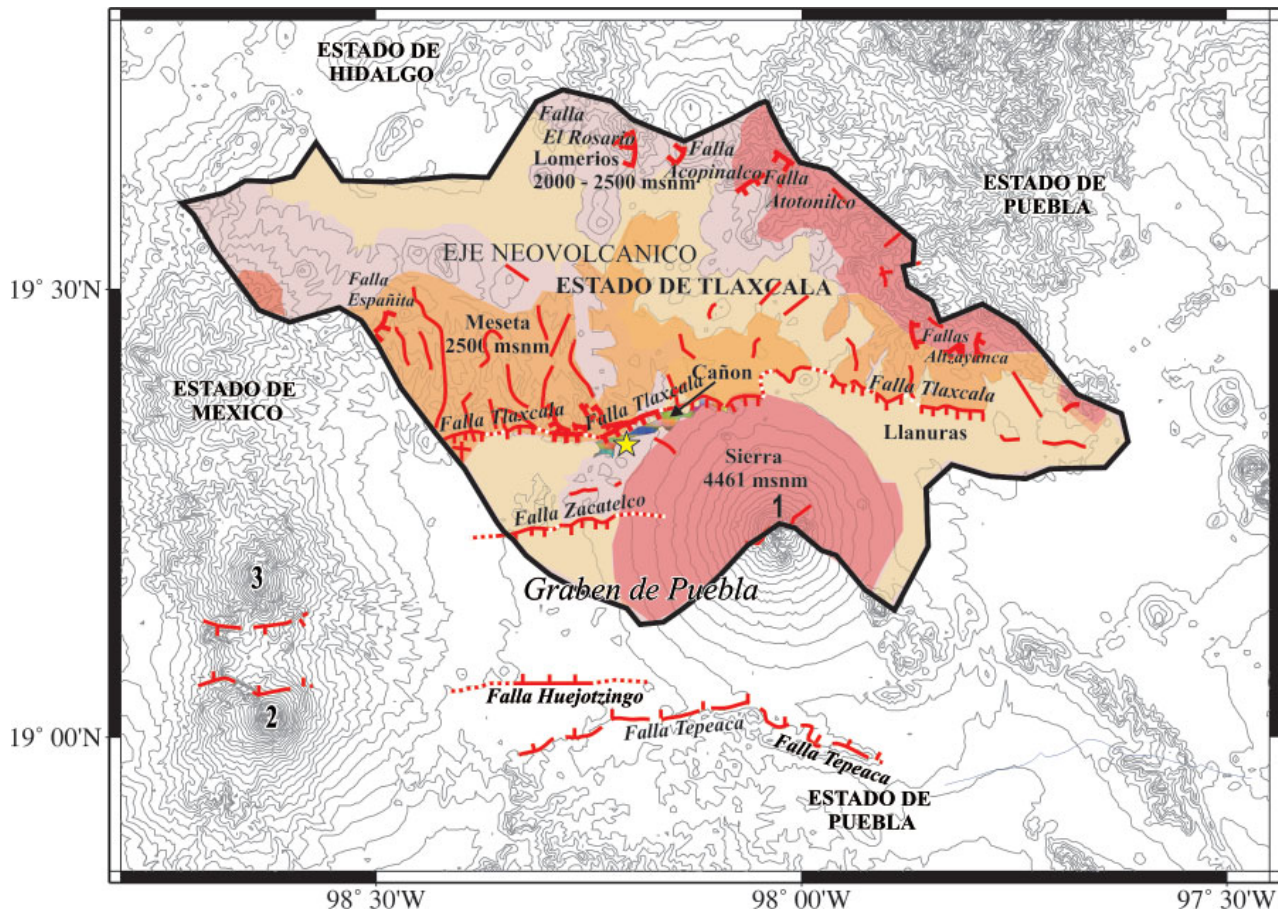


Figura 1. Mapa geomorfológico y tectónico para el estado de Tlaxcala. La estrella indica la ubicación de la ciudad de Tlaxcala (capital de este estado) y los números 1, 2 y 3 la ubicación de los volcanes: La Malinche, Popocatepetl y Iztaccihuatl, respectivamente. Las líneas rojas representan a fallas y lineamientos.

norte, formando el Graben de Puebla (Mooser *et al.*, 1996; Santoyo *et al.*, 2005 y García-Palomo, comunicación personal). Otras fallas menores en longitud son El Rosario, Acopinalco, Atotonilco, Altzayanca y Españita, todas con diversas orientaciones y localizadas en mayor número en el extremo Norte de este estado.

A fin de correlacionar la abrupta topografía del estado de Tlaxcala con la sismicidad local, en este estudio se ha establecido una base de datos de 45 sismos, todos con magnitudes menores a 4.0. Las características de esta sismicidad son analizadas en detalle a fin de proponer una Zonificación Sísmica para el estado de Tlaxcala que sirva como herramienta para la evaluación del riesgo y prevención de daños que pudieran ocurrir debido a la generación de sismos futuros.

2. Sismicidad regional

En general, los sismos que han afectado al estado de Tlaxcala han tenido su origen en tres fuentes sismogénicas. La primera y más importante fuente es

el proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la Norteamericana, misma que da origen a los sismos de gran magnitud ($M > 7.0$) ocurridos en toda la República Mexicana (Suárez y Singh, 1986; Pardo y Suárez, 1995). Los eventos originados por esta fuente han producido en Tlaxcala intensidades del orden de V-VI (MM) causando alarma entre los pobladores además de daños leves en viviendas. El sismo ocurrido el 19 de Septiembre de 1985 ($M_w = 8.1$), localizado en la costa de Michoacán a más de 400 km de Tlaxcala con un mecanismo que indica deformación compresional, es ejemplo de la fuente descrita anteriormente.

La segunda fuente sismogénica la constituye la deformación interna de la placa subducida, esta fuente produce sismos de menor magnitud ($M_w = 7.0$) y frecuencia en comparación con la primera. Ejemplos de esta segunda fuente son los sismos del 3 de Octubre de 1864, 28 de Agosto de 1983, 24 de Octubre de 1980 y 15 de Junio de 1999, mismos que produjeron intensidades máximas de VI-VII (MM) en el área de estudio. El mecanismo focal de estos sismos obedece a una deformación de tipo extensional (Gutiérrez, 1999; Singh *et al.*, 1999).

La tercera fuente la constituye la deformación cortical debida a sistemas de fallas presentes en el estado. Esta fuente daría origen a sismos de magnitudes moderadas a pequeñas que producirían daños locales.

En general, la información disponible sobre la ocurrencia de sismos en el estado de Tlaxcala es escasa debido a la falta de instrumentación en dicho estado. Es por ello que hasta la fecha no se conoce el potencial sísmico real del estado de Tlaxcala.

3. Sismicidad local

Para el estudio de la sismicidad local del estado de Tlaxcala se ha compilado y organizado una base de datos con sismos producidos entre 1984 - 2004. Estos datos provienen de las redes sísmicas del Sistema de Información Sismotelemétrica de México (SISMEX), Servicio Sismológico Nacional (SSN) y de la Red Sísmica del Valle de México (RSVM), teniendo la primera un mayor número de estaciones sísmicas y es la que ofrece una mejor cobertura azimutal sobre el estado de Tlaxcala, como se observa en

la Figura 2. En la red SISMEX se registraron un total de 62 sismos, de los cuales 9 presentan formas de ondas en formato digital.

Para el procesamiento de los 62 sismos, se ha considerado (1) el programa SEISAN (Havskov y Ottemoller, 2003) para la localización hipocentral de los mismos, (2) el modelo de velocidad propuesto por Lermo *et al.* (2001) para la parte central de la FVM, (3) una relación de velocidades ($V_p/V_s=1.73$) determinada en este estudio a partir de 120 lecturas de tiempos de llegada y (4) para estimar el tamaño de los sismos se hace uso de la relación $M_d^* = -1.61947 + 0.00052D + 2.336177 \log_{10}(T)$, propuesta por Chavacán *et al.* (2004), realizada para la parte central del FVM, que considera la duración del registro del sismo.

Una vez obtenidos los parámetros hipocentrales para el total de sismos, se seleccionan aquellos que tienen errores menores en sus parámetros hipocentrales (RMS menor o igual a 1.0 seg.) y por lo menos una lectura obtenida en la estación IIS (Figura 2).

Preliminarmente, la base de datos quedó constituida por 33 sismos locales. A estos se les añadió los parámetros hipocentrales de otros 11 sismos de la base de datos de

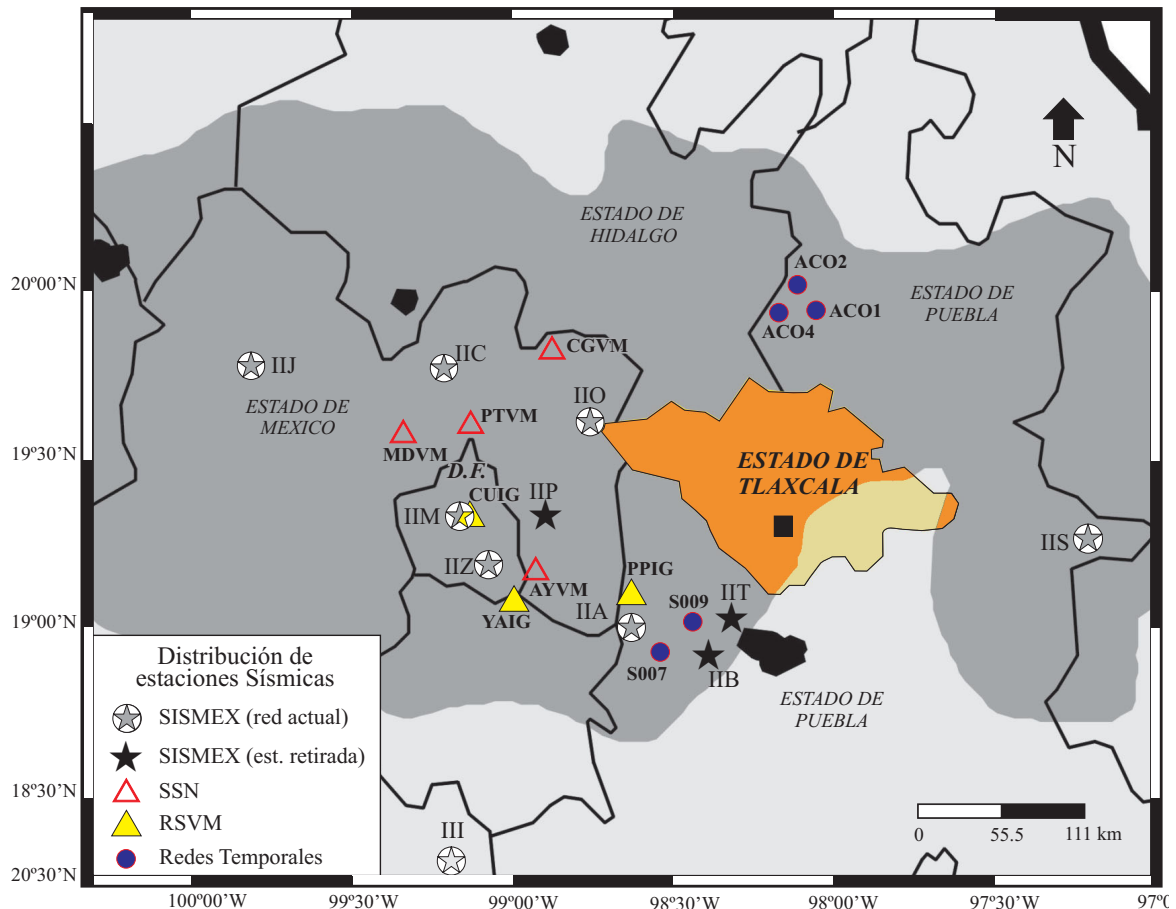


Figura 2. Distribución espacial de las estaciones sísmológicas de las redes SISMEX (Sistema de Información Sismotelemétrica de México), RSVM (Red Sísmica del Valle de México) y SSN (Servicio Sismológico Nacional). La zona sombreada delimita la FVTM.

González-Pomposo y Valdés-González (1995) provenientes de la Red Sísmica local que operó en el Estado de Puebla (RESEP) durante el periodo 1986-1989, compuesta por siete estaciones sismológicas, que junto con las estaciones de SISMEM y SSN, lograron obtener errores hypocentrales menores a los 2 seg.

Finalmente, la base de datos esta compuesta de 45 sismos ocurridos en el estado de Tlaxcala entre los años 1984 a 2004 y sus parámetros hypocentrales se muestran en la Tabla 1. De acuerdo a esta base de datos, casi el 40% de sismos se produjeron entre los meses de Septiembre y Noviembre de 1984 con magnitudes que fluctúan entre 1.6 a 2.8 Md. Para 9 eventos locales, ocurridos entre los años 1994 y 2004, se ha calculado la magnitud M_w a partir de los espectros de la amplitud de desplazamiento de la onda P.

3.1 Análisis de la sismicidad local

En la Figura 3, se presenta la distribución epicentral y en profundidad de los sismos considerados en este estudio. En esta figura se observa que los sismos se distribuyen de manera irregular en todo el estado de Tlaxcala; sin embargo, es posible identificar la presencia de 5 grupos de sismos con diferentes características (grupos de la A a la E).

Los sismos del Grupo A ocurrieron únicamente entre Septiembre y Diciembre de 1984; por lo que pueden ser considerados como un enjambre sísmico asociado posiblemente al sistema de la Falla Tlaxcala. Usando 46 lecturas de polaridad para la onda P se elaboró un mecanismo focal compuesto para este enjambre. El resultado muestra un mecanismo de falla tipo normal con una pequeña componente de desgarre siniestral y planos nodales orientados en dirección NE-SO, buzando ambos con ángulos de 45° en dirección NO y SE respectivamente. Se considera que este último es el plano de falla más adecuado teniendo en cuenta los sistemas de falla predominantes en la zona, el mismo que tiene un acimut de 76° con un corrimiento de -46.1° .

El Grupo B se localiza al Oeste del estado de Tlaxcala. Esta actividad sísmica también podría asociarse al sistema de Falla Tlaxcala. El mecanismo focal compuesto corresponde a una falla normal con planos nodales orientados en dirección NE-SO y buzamientos de 52° y 86° , considerando a este último el plano de falla más adecuado. El acimut de dicho plano de falla es de 80° con un corrimiento de -42.2° .

El Grupo C considera todos los sismos distribuidos de manera irregular en los alrededores del volcán La Malinche, estando el mayor número de sismos localizados sobre la Falla Tlaxcala y la Falla Zacatelco. Para este grupo se elaboraron mecanismos focales compuestos (sismos # 31, 32, 33 y 35) y uno simple (sismo #39), ambos corresponden a fallas normales con planos orientados en dirección NNE-SSO y E-O respectivamente, siendo sus buzamientos del orden de 62° en dirección ESE y de 47° en dirección S.

El Grupo D se ubica en el extremo Norte del estado de Tlaxcala con una aparente alineación de los sismos en dirección NE-SO; sin embargo, no se observa relación con algún elemento tectónico local que tenga una manifestación en superficie. Para este grupo no se pudo realizar su mecanismo focal por carecer de las polaridades de las estaciones que registraron los sismos, ya que solo se tomaron las localizaciones del trabajo de González-Pomposo y Valdés-González (1995).

Por último, los sismos del Grupo E se distribuyen de manera dispersa en el extremo SE del estado de Tlaxcala. El mecanismo focal simple para este grupo corresponde a una falla normal con planos orientados en dirección NNE-SSO y buzamientos del orden de 40° , probablemente asociado con el extremo sur del Graben de Puebla.

En la parte inferior de la Figura 3 se muestra el perfil A-A' de sismicidad orientado en dirección N-S. En este perfil se observa que los sismos se distribuyen de manera irregular alcanzando profundidades de hasta 40 km. En general, es posible identificar la presencia de dos agrupamientos de sismos: (1) se localizan en el extremo inferior izquierdo del perfil a profundidades que oscilan entre los 28 y 40 km. (delimitados por un círculo de línea discontinua), estos eventos se asocian, probablemente, a la deformación interna de la placa; (2) representan el conjunto con mayor número de eventos, se concentran a profundidades menores de los 10 km, son asociados al Graben de Puebla.

De modo general en este segundo agrupamiento se observa que conforme los sismos tienden hacia el Sur del perfil aumentan en profundidad, siguiendo lineamiento con un ángulo de aproximadamente 45° (indicado con una línea discontinua).

Estas observaciones sugieren que en el estado de Tlaxcala, los procesos de deformación cortical son debidos a la presencia de esfuerzos extensionales con ejes principales orientados en dirección NO-SE y E-O, lo cual coincide con lo reportado en los trabajos de Luhr *et al.* (1985), Suter (1991), Mooser *et al.* (1996), García-Palomo *et al.* (2002) y Santoyo *et al.* (2005). Asimismo, estos resultados pondrían en evidencia que la región centro y sur del estado de Tlaxcala está dominada por el Graben de Puebla cuyo rumbo es E-O.

4. Zonificación del Estado de Tlaxcala

De acuerdo a las características de la sismicidad local y geo-tectónicas presentes en el estado de Tlaxcala, es posible proponer un mapa de Zonificación Sísmica para dicho estado. El general, el estado de Tlaxcala puede ser dividido en zonas de alta, media y baja sismicidad, tal como se observa en la Figura 4. La zona I, de alta sismicidad se ubicaría en la región centro y sur del estado, esta actividad sísmica se asocia a la presencia de importantes fallas con orientaciones NE-SO y E-O las cuales conforman el extremo norte del Graben de Puebla. En esta zona se encuentran

Tabla 1. Base de datos para el periodo 1984-2004

N°	Fecha año/mes/día	Hora GMT hora:min:seg	Latitud grados	Longitud grados	Prof. km	RMS seg	Magnitud		Fuente
							Md	Mw	
1	1984 / 9 / 25	10 : 3 : 59.8	19.405	-98.021	12.2	0.7	1.9		SISMEX
2	1984 / 9 / 25	10 : 4 : 56.7	19.440	-97.973	17.6	1	1.8		SISMEX
3	1984 / 9 / 26	17 : 5 : 46.5	19.475	-98.108	6	0.7	2.5		SISMEX
4	1984 / 9 / 29	17 : 8 : 6.9	19.480	-98.149	6.7	0.4	2.3		SISMEX
5	1984 / 9 / 29	17 : 35 : 13.9	19.512	-98.091	4.9	0.9	2.4		SISMEX
6	1984 / 9 / 30	0 : 23 : 35.3	19.478	-98.185	7.3	0.1	2.6		SISMEX
7	1984 / 9 / 30	4 : 9 : 56.6	19.468	-98.193	7.7	0.1	2.6		SISMEX
8	1984 / 9 / 30	14 : 51 : 55.2	19.489	-98.081	4.8	1	2.7		SISMEX
9	1984 / 10 / 1	4 : 35 : 1.4	19.153	-98.189	26.6	0.1	1.9		SISMEX
10	1984 / 10 / 2	0 : 20 : 42.3	19.438	-98.159	6.9	0.7	2.4		SISMEX
11	1984 / 10 / 2	3 : 59 : 39.9	19.325	-98.100	13.7	0.1	1.6		SISMEX
12	1984 / 10 / 2	15 : 16 : 54	19.464	-98.200	7.7	0.1	2.8		SISMEX
13	1984 / 10 / 2	16 : 40 : 20.5	19.476	-98.171	7	0.3	2.8		SISMEX
14	1984 / 10 / 2	19 : 44 : 21.3	19.479	-98.208	0.7	1	2.1		SISMEX
15	1984 / 10 / 2	20 : 10 : 57.3	19.460	-98.165	7	0.9	2.1		SISMEX
16	1984 / 10 / 2	22 : 1 : 56	19.473	-98.133	6.8	0.3	2.1		SISMEX
17	1984 / 10 / 3	1 : 11 : 18.4	19.517	-98.105	5.4	0.8	2.6		SISMEX
18	1984 / 10 / 3	1 : 19 : 34.4	19.488	-98.183	7.4	0.6	2.2		SISMEX
19	1984 / 11 / 6	1 : 55 : 57.8	19.408	-98.266	5.7	0.4	2.0		SISMEX
20	1986 / 3 / 20	10 : 12 : 34	19.340	-97.610	20	1.7	3.4		RESEP
21	1986 / 5 / 8	18 : 44 : 30.2	19.668	-98.667	30	1.9	4.0		RESEP
22	1986 / 5 / 11	12 : 27 : 26.2	19.657	-98.650	29	2	4.1		RESEP
23	1986 / 8 / 30	19 : 23 : 46.6	19.680	-98.571	37	0.4	4.0		RESEP
24	1986 / 8 / 30	22 : 34 : 23.5	19.691	-98.613	37	0.5	3.4		RESEP
25	1986 / 9 / 1	3 : 40 : 33.5	19.636	-98.687	37	1.9	3.4		RESEP
26	1987 / 2 / 18	1 : 26 : 37	19.240	-97.620	24	0.7	3.1		RESEP
27	1987 / 4 / 18	8 : 30 : 42	19.530	-98.330	37	0.7	3.1		RESEP
28	1987 / 8 / 16	9 : 3 : 54	19.390	-98.170	32	1	3.1		RESEP
29	1988 / 2 / 1	7 : 44 : 56	19.250	-97.580	28	1.6	2.0		RESEP
30	1988 / 7 / 25	4 : 31 : 7.5	19.386	-98.167	24	0.9	2.7		SISMEX
31	1988 / 12 / 29	5 : 24 : 33.6	19.320	-98.204	3.1	0.4	2.1		SISMEX
32	1988 / 12 / 29	5 : 25 : 15.8	19.266	-98.256	4.7	0.3	3.0		SISMEX
33	1988 / 12 / 29	5 : 49 : 33.7	19.318	-98.208	3	0.3	2.3		SISMEX
34	1989 / 7 / 8	6 : 27 : 45	19.330	-97.690	32	1.2	3.0		RESEP
35	1989 / 8 / 5	23 : 42 : 16.1	19.269	-98.216	8.5	0.3	3.0		SISMEX
36	1994 / 5 / 17	11 : 21 : 27.6	19.359	-98.416	4.4	0.1	2.2	2.2	SISMEX
37	1995 / 1 / 5	20 : 15 : 49.9	19.362	-98.445	8.6	0.2	2.1	2.1	SISMEX
38	1995 / 4 / 9	15 : 55 : 39.1	19.360	-98.418	10	0.1	2.2	2.2	SISMEX
39	1996 / 9 / 6	6 : 55 : 0	19.148	-98.319	6.6	0.3	3.0	3.0	SISMEX
40	1997 / 4 / 23	12 : 46 : 23.3	19.155	-98.170	4.2	0.1	2.4	2.3	SISMEX
41	1997 / 5 / 6	8 : 0 : 5.9	19.146	-98.184	3.1	0.3	2.7	2.7	SISMEX
42	1997 / 6 / 18	21 : 12 : 2.2	19.327	-98.429	4.4	0.1	2.3	2.3	SISMEX
43	1997 / 6 / 18	21 : 15 : 6.2	19.336	-98.422	5.8	0.1	2.4	2.4	SISMEX
44	2002 / 11 / 3	21 : 35 : 0.4	19.273	-98.219	1	1.3	3.5		RSVM
45	2004 / 8 / 31	7 : 54 : 5.3	19.232	-97.681	5.2	0.5	2.9	3.0	SISMEX

SISMEX: Sistema de Información Sismotelemétrica de México, RESEP: Red Sísmica del Estado de Puebla y RSVM: Red Sísmica del Valle de México.

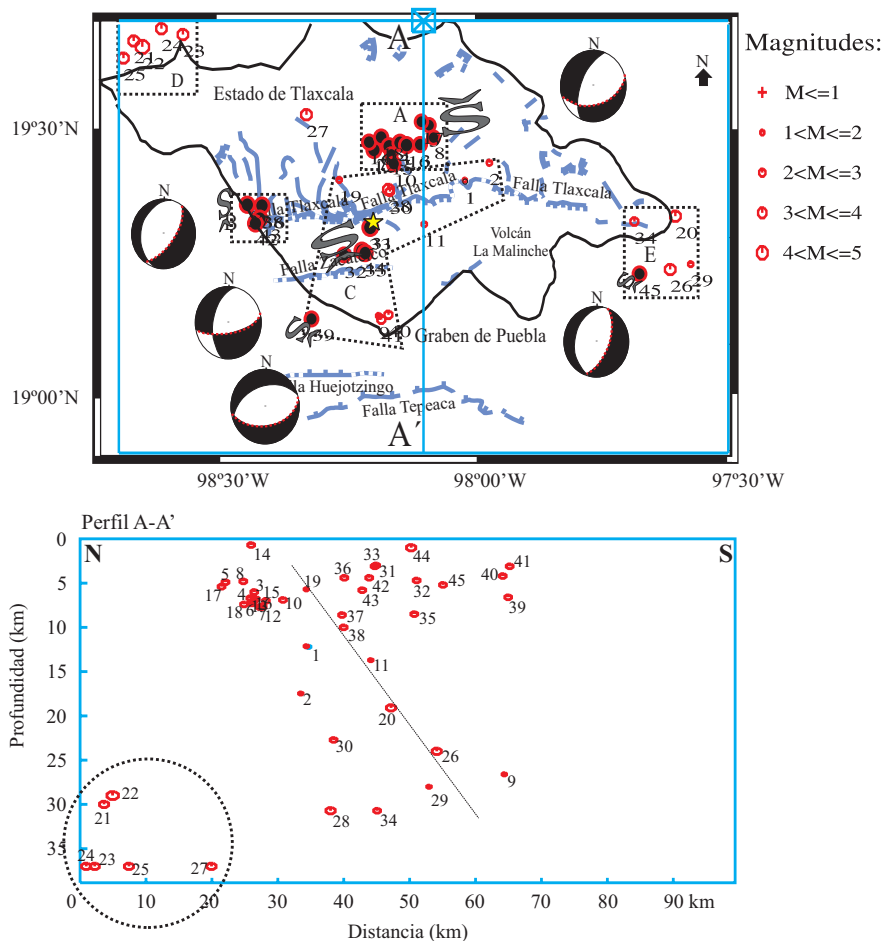


Figura 3. Parte superior: Distribución espacial de la sismicidad (45 eventos). Los recuadros de líneas discontinuas indican los diferentes agrupamientos de esta sismicidad. La estrella indica la localización de la capital de este estado, las líneas continuas indican lineamientos y fallas. Los sismos de color negro, fueron utilizados para los mecanismos focales simples y compuestos. Parte inferior: Perfil A-A', muestra la distribución en profundidad de los 45 sismos. El círculo localizado en el extremo inferior izquierdo del perfil, delimita los eventos localizados en profundidades que oscilan entre los 28 y 40 km y que pueden asociarse a la deformación interna de la placa.

las ciudades más importantes por su densidad poblacional como son: Tlaxcala (capital del estado) Chiautempan, Huamantla y Apizaco. La zona II, de sismicidad media se localiza al NO del estado y abarca un área pequeña en la cual no ha sido posible identificar algunos elementos tectónicos superficiales. La zona III, de baja sismicidad considera las áreas en las cuales no se habrían producido sismos. Así mismo, tampoco se ha identificado la existencia de elementos tectónicos que sugieran la presencia de deformación actual.

El mapa de Zonificación Sísmica propuesta es preliminar debido a que la información sísmica utilizada en este estudio no es representativa del potencial sísmico del estado de Tlaxcala.

5. Conclusiones

La relación entre la distribución espacial de la sismicidad local ocurrida en estado de Tlaxcala (1984-

2004) y la geotectónica del mismo ha permitido proponer un mapa de Zonificación Sísmica para este estado. Según esta zonificación, la Zona I, que abarca la región centro y sur del estado, considera el área en donde se tiene la mayor ocurrencia de sismos y la presencia de varios sistemas de fallas, probablemente asociados al extremo norte del Graben de Puebla.

El mapa de Zonificación Sísmica para el estado de Tlaxcala, sugiere la necesidad de instalar una red sísmica local que permita cuantificar de mejor manera la deformación local que se produce en todo el estado. Asimismo, es importante ampliar y mejorar los estudios geofísicos en el estado de Tlaxcala a fin de entender mejor el comportamiento del Graben de Puebla.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. García-Palomo, por la información proporcionada sobre la tectónica de la zona de estudio.

