



## Los sismos intraplaca de septiembre de 2017: un breve análisis de su impacto en el territorio veracruzano

F. Córdoba<sup>1</sup> - X. Pérez<sup>2</sup> - J.J. Hernández<sup>4</sup> - Grupo de Trabajo del Servicio Sismológico Nacional<sup>3</sup> - K. Sieron<sup>1</sup> - S.G. Pérez<sup>4</sup> - D.G. Cerdán<sup>5</sup>

**RESUMEN:** El Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó un sismo el día 7 de septiembre de 2017 con Mw 8.2 a una profundidad de 59 km y otro con Mw 7.1 y profundidad de 57 km el 19 de septiembre, curiosamente a 32 años del sismo interplaca de 1985 (M 8.1). Ambos eventos presentaron similitudes en cuanto al tipo de fallamiento (normal), profundidad y la placa tectónica donde se originó la ruptura. Para estudiar lo que concierne al impacto de estos sismos en el estado de Veracruz, se obtuvieron los valores máximos observados de aceleración y velocidad (PGA y PGV) durante ambos sismos en cada una de las estaciones de la Red Sísmica de Banda Ancha de Veracruz (RSBAV) y dos estaciones de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional (SSN). Estos fueron rela-

cionados con algunos daños reportados en esta entidad (para Xalapa con apoyo de una encuesta vía web), permitieron observar la atenuación con la distancia y analizar el contenido de frecuencias dominantes a partir de los registros de aceleración.

**Palabras Clave:** Placas tectónicas, sismo intraplaca, magnitud, intensidad, aceleración.

**ABSTRACT:** The National Seismological Service (SSN) reported one earthquake on 7 September 2017 with Mw 8.2 at a depth of 59 km. Another earthquake, with Mw 7.1 and depth of 57 km, occurred on September 19, curiously 32 years after the interplate earthquake of 1985 (Mw 8.1). Both recent events presented simila-

1 Observatorio Sismológico y Vulcanológico del Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana

2 Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México

3 Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México

4 Licenciatura en Geografía, Facultad de Economía, Universidad Veracruzana

5 Licenciatura en Ingeniería en Instrumentación Electrónica, Facultad de Instrumentación Electrónica, Universidad Veracruzana

rities as to the fault type (normal), depth and the tectonic plate where the rupture originated. We study the impact of these earthquakes in the state of Veracruz, by obtaining the peak ground acceleration and velocity (PGA and PGV) at stations of the Veracruz Broadband Seismic Network (RSBAV) and two broadband stations of the National Seismological Service (SSN) during both earthquakes. We relate them to some damages reported in the Veracruz state (for Xalapa city with the support of a web survey), observe the attenuation with distance, and analyze the content of dominant frequencies from the records of acceleration.

**Keywords:** Tectonic Plates, intraplate earthquake, magnitude, intensity, acceleration.

## Introducción

El contexto tectónico de México tiene su origen en la interacción de cinco placas tectónicas: Norteamérica (donde se asienta la mayor parte del país), Pacífico, Rivera, Cocos y Caribe, cuya distribución se ilustra en el mapa de la Figura 1. Los dos principales procesos tectónicos que originan la mayor cantidad de sismos en México son el desplazamiento lateral que se produce en los límites de las placas Norteamérica-Pacífico (a lo largo del Golfo de California) y el de convergencia que da lugar a la subducción de las placas oceánicas Rivera y Cocos por debajo de la Norteamérica (corteza continental). Debido a estos hechos, es notoria la concentración de la sismicidad a lo largo de las costas del Pacífico en México, la cual se caracteriza por ser del tipo interplaca, siendo su origen la zona de contacto entre placas tectónicas. Como consecuencia de la interacción tectónica continua, los periodos de retorno de los sismos interplaca suelen ser cortos en la escala geológica y el fallamiento típico para los esfuerzos de compresión en la zona de subducción es inverso (recuadro en la Figura 1).

Sin embargo, lo anterior no significa que no exista sismicidad en aquellas regiones alejadas

de los límites de placas. Tal es el caso de los sismos cuyos hipocentros (focos) se producen en México dentro de la placa de Norteamérica, caracterizados por tener magnitudes menores que los interplaca y profundidades inferiores a los 40 km (lo que corresponde al espesor promedio de esta placa). Estos sismos intraplaca de poca profundidad (conocidos como corticales), generalmente producen daños severos en las cercanías al epicentro y son generados por el estado de esfuerzos al que se encuentra sometida cierta zona como resultado de las fuerzas de origen tectónico que actúan sobre la placa en la que ocurren. Un par de ejemplos (en algunos eventos que se mencionan a continuación se especifica su magnitud de momento sísmico  $M_w$ , de acuerdo con Hanks y Kanamori, 1979) de este tipo de eventos en el estado de Veracruz (Figura 2, estrellas en color azul) son el sismo del 3 de enero de 1920 ocurrido en la zona centro ( $M_w$  6.4; Suárez, 1992) con fallamiento normal (esfuerzos de tensión) que se estima tuvo una profundidad de  $\sim 10$  km; y el de Jáltipan del 26 de agosto de 1959 al sur de la entidad ( $M_w$  6.4; Suárez, 2000), con fallamiento inverso (esfuerzos de compresión) a una profundidad  $\sim 15$  km. Los periodos de retorno de los sismos corticales son mayores que los de los interplaca, y por lo general, desconocidos.

Por otra parte y de particular interés resultan otro tipo de sismos que ocurren en la placa subducida de Cocos (conocidos como eventos intraplaca) son de profundidad intermedia a alta y los esfuerzos que actúan sobre esta placa son de extensión, lo que produce una sismicidad con fallamiento normal característico (recuadro en la Figura 1). La ocurrencia de este tipo de eventos, como se analiza a continuación, es relativamente alta.

## 2. Sismos intraplaca en la región centro-oriental de México

En 1937 ocurrió en el estado de Veracruz un sismo intraplaca de profundidad intermedia (85 km) cercano a las localidades Acutzingo-Maltrata (Veracruz), con  $M$  7.3 (Jiménez y Ponce, 1978). Otros sismos intraplaca en la historia re-



Figura 1. Mapa tectónico de México que ilustra la interacción entre las placas tectónicas que dan origen a la sismicidad del país. En el recuadro se presentan los dos tipos de fallas mencionadas en el texto (normal e inversa).



Figura 2. Mapa con la ubicación epicentral de los sismos del 7 y 19 de septiembre de 2017 (Mw 8.2 y 7.1, respectivamente, estrellas rojas), las estaciones de la Red Sísmica de Banda Ancha de Veracruz (RSBAV, triángulos amarillos), estaciones del SSN en el estado de Veracruz (triángulos en gris), eventos corticales (estrellas azules) e intraplaca (estrellas color naranja) importantes que afectaron algunas localidades del estado de Veracruz. También se muestra la localización del sismo interplaca (Mw 8.1, estrella verde) del 19 de septiembre de 1985.



ciente son el ocurrido en los límites Puebla-Veracruz conocido como el sismo de Orizaba del 28 de agosto de 1973, de M 7.1 y profundidad intermedia de 82 km (Singh y Wyss, 1976); el sismo de Huajuapán de León del 24 de octubre de 1980 con Mw 7.0 a 65 km de profundidad (Yamamoto et al., 1984); y el de Tehuacán, Puebla ocurrido en 15 de junio de 1999, de Mw 7.0 y profundidad de 60 km (Singh et al., 1999). A estos eventos se añaden los ocurridos en septiembre 2017 (Figura 2).

#### *El sismo del 7 de septiembre de 2017 (Mw 8.2)*

El Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó que este sismo tuvo una magnitud 8.2, localizándose en el Golfo de Tehuantepec, a 133 km al suroeste de Pijijiapan, Chiapas. Este evento, ocurrido a las 23:49:17 horas (04:49 UTM), fue sentido en el sur y centro del país. Las coordenadas del epicentro son 14.761° latitud N y 94.103° longitud W y la profundidad es de 45.9 km (Figura 2). El mecanismo focal del sismo (una representación de la geometría de la falla) muestra una falla de tipo normal. En esta región, la placa de Cocos subduce (se desplaza) por debajo de la placa de Norteamérica y Caribe.

En el Reporte especial: Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 Mw 8.2), actualizado al 28 de noviembre de 2017 (<http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/>), el SSN informó que posterior al sismo principal, se registraron inmediatamente una gran cantidad de réplicas a lo largo del plano de falla que le dio origen (un alineamiento con una longitud de ~230 km). Casi paralelamente, ocurrieron tres enjambres o cúmulos (grupos de sismos) no alineados con el plano de falla antes mencionado pero como consecuencia del evento mayúsculo; que dieron lugar a que en total en la región del Golfo de Tehuantepec se localizaran 9369, de estos 4737 asociados como réplicas del plano de falla del sismo de Mw 8.2 y el resto se localizó en los cúmulos ubicados por el SSN.

Por su parte, el Instituto de Ingeniería de la UNAM elaboró un mapa de intensidades estimadas (Figura 3) para este evento, en el que es posible observar que las intensidades máxi-

mas, como era de esperarse, se encuentran en la región del Golfo de Tehuantepec, por lo que las ciudades ubicadas en la zona costera (más cercanas al epicentro) sufrieron los daños más severos.

#### *El sismo del 19 de septiembre de 2017 (Mw 7.1)*

Para este evento, el SSN reportó un sismo con magnitud 7.1, con epicentro localizado en el límite entre los estados Puebla y Morelos, a 12 km al sureste de Axochiapan, Morelos y a 120 km de la Ciudad de México. El mecanismo focal del sismo muestra una falla de tipo normal que ocurrió en la placa subducida de Cocos. Este evento resulta de particular interés por los efectos ocasionados en la Ciudad de México, dado que a pesar que su magnitud fue menor que la del día 7 de septiembre de 2017, produjo daños severos en una zona de transición del terreno bien delimitada de esta ciudad (Cruz-Atienza et al., 2017); por una parte a causa de la distancia epicentral menor que el primero (600 km contra 120 km del evento en cuestión) y por la otra, el contenido de frecuencias que excitó su suelo y en consecuencia a determinadas estructuras.

Además, a diferencia del evento del día 7, donde prácticamente no se reportaron daños en el estado de Veracruz, para el sismo del día 19, sí se documentaron afectaciones menores en algunos puntos del territorio veracruzano, particularmente en la ciudad de Xalapa, pese a su distancia al epicentro (~225 km).

La Figura 4 reproduce el mapa de intensidades estimadas elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Como se puede apreciar, las intensidades máximas se encuentran en la región del epicentro, entre los estados de Puebla, Morelos y Guerrero.

### 3. Datos

Para este análisis se emplearon datos de la Red Sísmica de Banda Ancha de Veracruz (RS-BAV; Córdoba et al., 2018) conformada de seis estaciones de monitoreo dotadas de cada una de ellas de un sismómetro triaxial de banda



Figura 3. Mapa de intensidades del sismo del 7 de septiembre de 2017 (Mw 8.2) elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

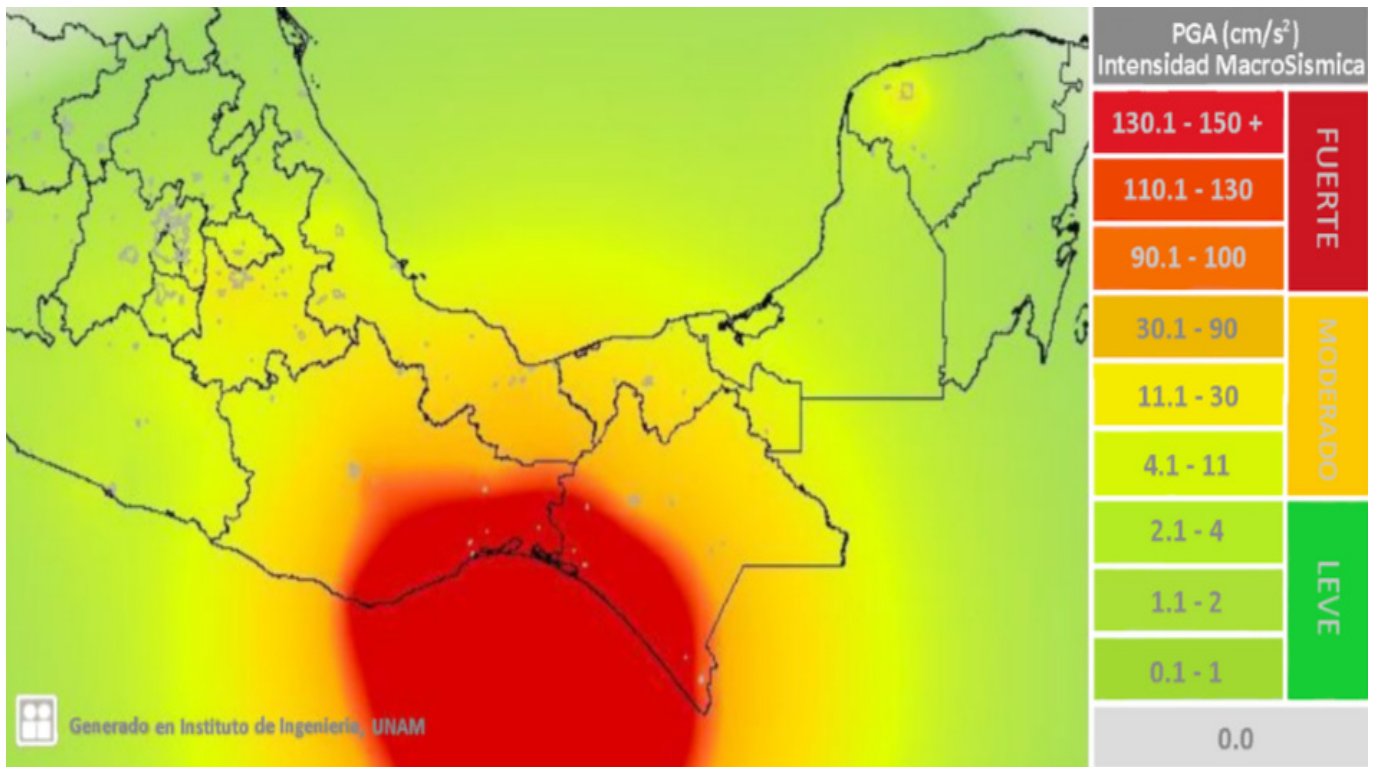
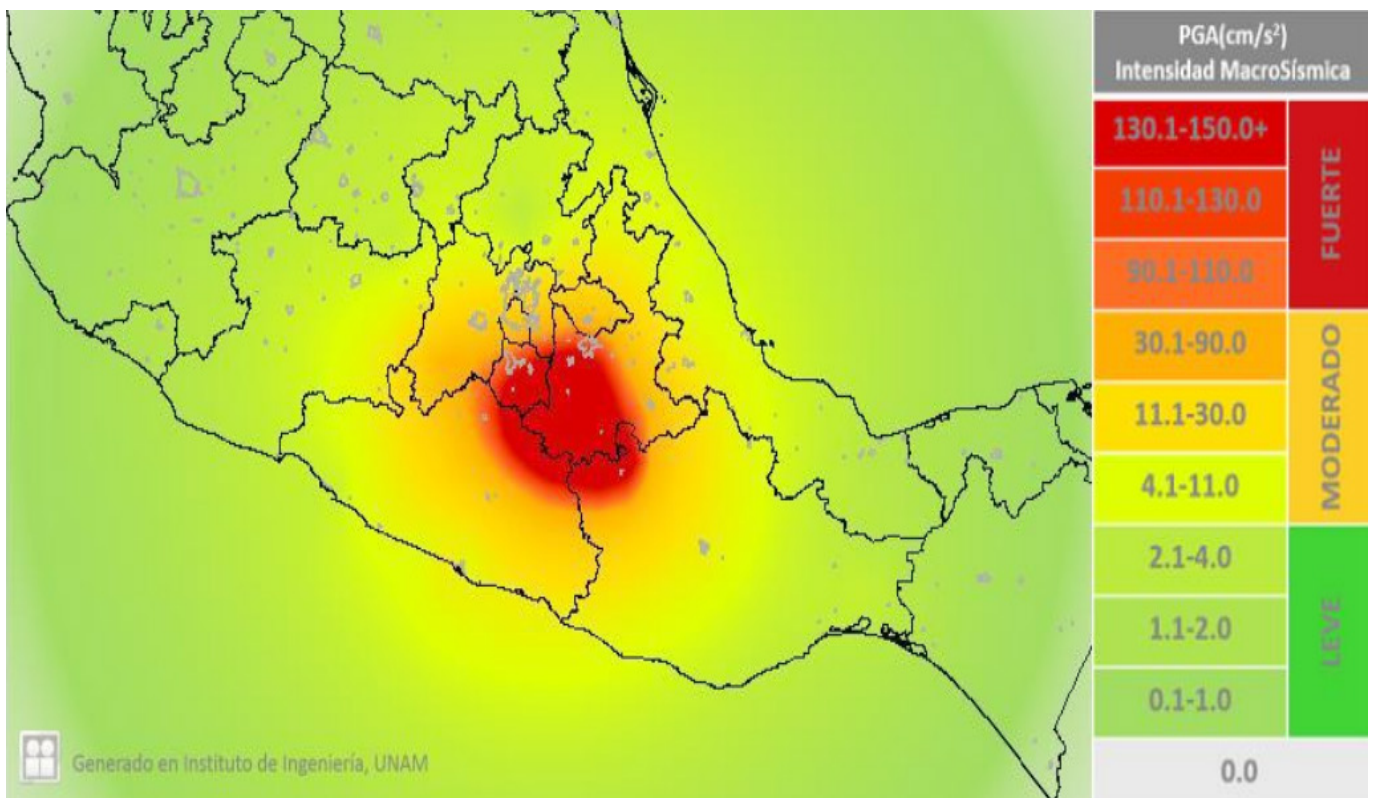


Figura 4. Mapa de intensidades del sismo del 19 de septiembre de 2017 (Mw 7.1) elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.



ancha (STS-2 o Guralp CMG-3T) para medición de la velocidad del movimiento del suelo y un acelerómetro triaxial (Guralp CMG-5T) que cuantifica las aceleraciones que experimenta el terreno con el paso de las ondas sísmicas. El término triaxial significa que ambos instrumentos disponen de sensores en tres ejes, dos de ellos miden movimientos horizontales (oscilatorios) orientados en las direcciones NS y EO y el otro en la dirección vertical, registrando los movimientos trepidatorios. Lo anterior implica que por cada estación sísmica, se tienen seis señales: tres de velocidad y tres de aceleración, dado que son seis estaciones que trabajan bajo el mismo esquema, se dispone de 36 señales sísmicas para la RSBVAV.

#### 4. Metodología

Con la finalidad de determinar los valores pico (máximos) de velocidad (PGV, *Peak Ground Velocity*) y aceleración (PGA, *Peak Ground Acceleration*) del movimiento del terreno para los dos sismos ocurridos en el mes de septiembre de 2017 en las estaciones de la RSBVAV, se procedió a la recolección de los sismogramas y acelerogramas para contar con las trazas de velocidad (HHZ, HHN y HHE) y las correspondientes de aceleración (HLZ, HLN y HLE) a una tasa de 100 muestras por segundo; las que se recortaron a una ventana de tiempo de 10 minutos para observar la parte intensa de los registros. A cada serie de tiempo se le aplicó una corrección de línea de base y se le removió la tendencia; además se efectuó la conversión de unidades en cuentas que entregan los equipos digitalizadores de cada estación sísmica de la RSBVAV (de 24 y 26 bits de acuerdo con la estación; Córdoba-Montiel et al., 2018) como valor de amplitud del movimiento, a las correspondientes unidades de velocidad (cm/s) y aceleración (gales, cm/s<sup>2</sup>). Mediante el código de análisis sísmico SAC (Seismic Analysis Code; Goldstein y Snoke, 2005), se obtuvieron los valores máximos de velocidad y aceleración (PGV y PGA, respectivamente) registrados en cada estación para ambos eventos de septiembre de 2017.

Una vez obtenidos todos los valores de PGV y PGA, se determinaron las distancias de cada estación al epicentro para la elaboración de gráficas que mostraran la variación de PGA (este parámetro está directamente relacionado con la intensidad del evento en el sitio donde fue medido) vs distancia para ambos sismos, con la finalidad de observar la atenuación de las ondas sísmicas que tuvo lugar en cada caso. Por último, se calcularon los espectros de aceleración para las tres componentes de la estación JAUUV (la más próxima a Xalapa, ver mapa de la Figura 2) para efectos de visualización del contenido de frecuencias dominante.

Dado que el crecimiento demográfico de la ciudad de Xalapa ha originado una urbanización desorganizada en un área con una topografía accidentada y que esta zona presenta una geología local complicada que incluye numerosos asentamientos irregulares; se han generado condiciones para que su infraestructura urbana sea afectada ante sismos. Particularmente, como consecuencia del sismo del 19 de septiembre del 2017, hubo algunos reportes de daños en esta ciudad, por lo que se realizó una encuesta preliminar vía internet (titulada "Percepción de la población en la ciudad de Xalapa sobre el sismo del 19 de septiembre de 2017") en la plataforma de formularios de Google para evaluar la percepción de sus habitantes y su comportamiento en este evento.

Para una visualización preliminar de las principales componentes de frecuencias que se produjeron cerca de Xalapa, se calcularon los espectros de aceleración en una estación de la RSBVAV próxima a esta ciudad (JAUUV, a 20 km de distancia de Xalapa).

#### 5. Resultados

La Tabla 1 concentra los valores máximos de aceleración (PGA) observados del movimiento del suelo para las estaciones de la RSBVAV que registraron los eventos de los días 7 y 19 de septiembre de 2017.

La Figura 5 muestra algunos de los acelerogramas (registros de aceleración que representan la variación de la aceleración en función

del tiempo en una estación dada durante el evento) procesados de la manera previamente descrita para este evento del 7 de septiembre de 2017.

De manera análoga al caso anterior, en la Figura 6 se presentan algunos de los registros de estaciones de la RSBV para el evento del 19 de

septiembre de 2017.

Para ilustrar la variación de los valores de PGA observados (intensidad) vs distancia al epicentro, la Figura 7 representa gráficamente este comportamiento para ambos sismos de septiembre de 2017.

Tabla 1. Valores de PGA para los sismos del 7 y 19 septiembre de 2017.

Clave de la estación	Sismo 07/09/2017 Mw 8.2				Sismo 19/09/2017 Mw 7.1			
	Distancia epicentral (km)	HLZ	HLN	HLE	Distancia epicentral (km)	HLZ	HLN	HLE
CTUV	868	1.22	2.24	1.56	340	ND	ND	ND
CXUV	704	1.81	-	1.68	226	4.44	ND	4.43
LVIG	604	2.37	2.81	3.21	283	1.62	1.51	1.66
JAUV	585	5.96	8.28	8.58	225	4.07	5.47	4.32
PMUV	473	22.44	37.79	32.35	378	8.65	7.26	6.26
NEUV	374	15.99	23.53	26.18	316	4.3	9.88	8.88
TUIG	365	16.6	41.31	47.23	456	1.07	1.98	1.74
UXUV	283	32.65	67.48	58.55	497	ND	ND	ND

ND: No disponible

Figura 5. Acelerogramas de la componente vertical de las estaciones sísmicas de la RSBV: CTUV, JAUV y UXUV (localizadas en el norte, centro y sur de Veracruz, respectivamente).

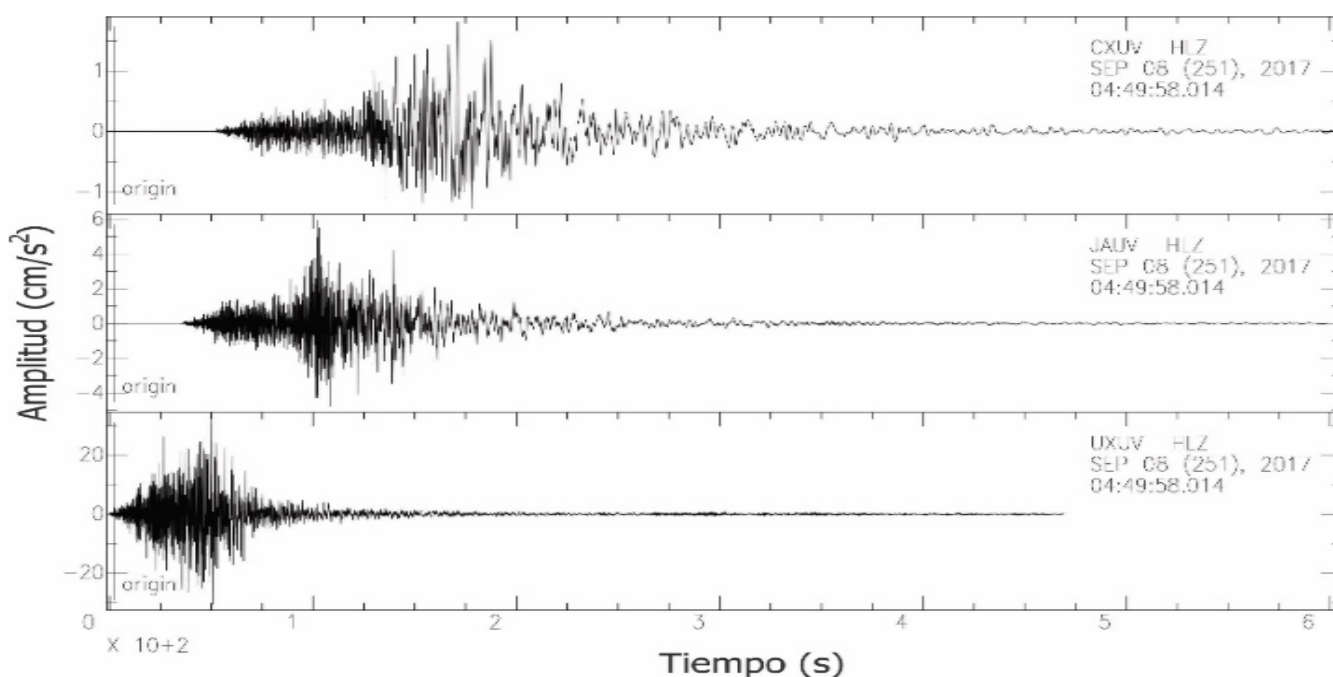


Figura 6. Acelerogramas de la RSBV correspondientes a las estaciones sísmicas CXUV, JAUV NEUV y UXUV (localizadas en el norte, centro y sur de Veracruz, respectivamente).

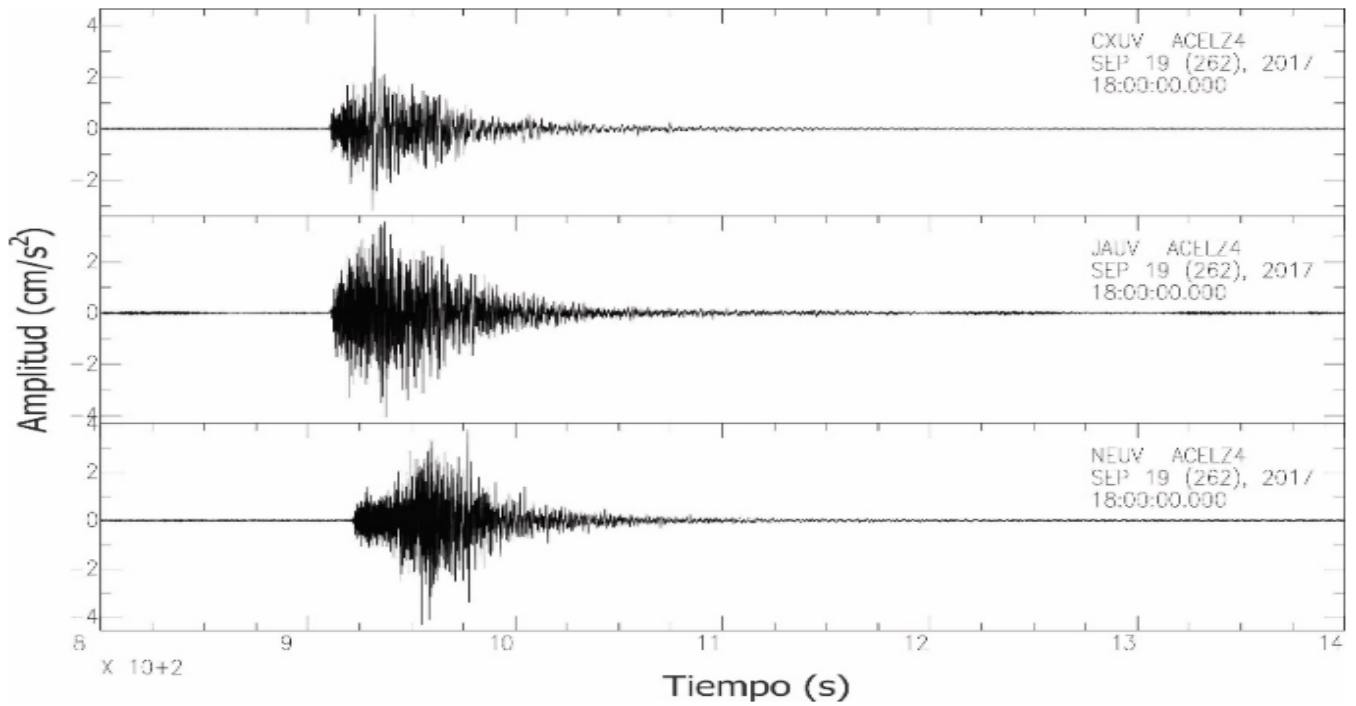
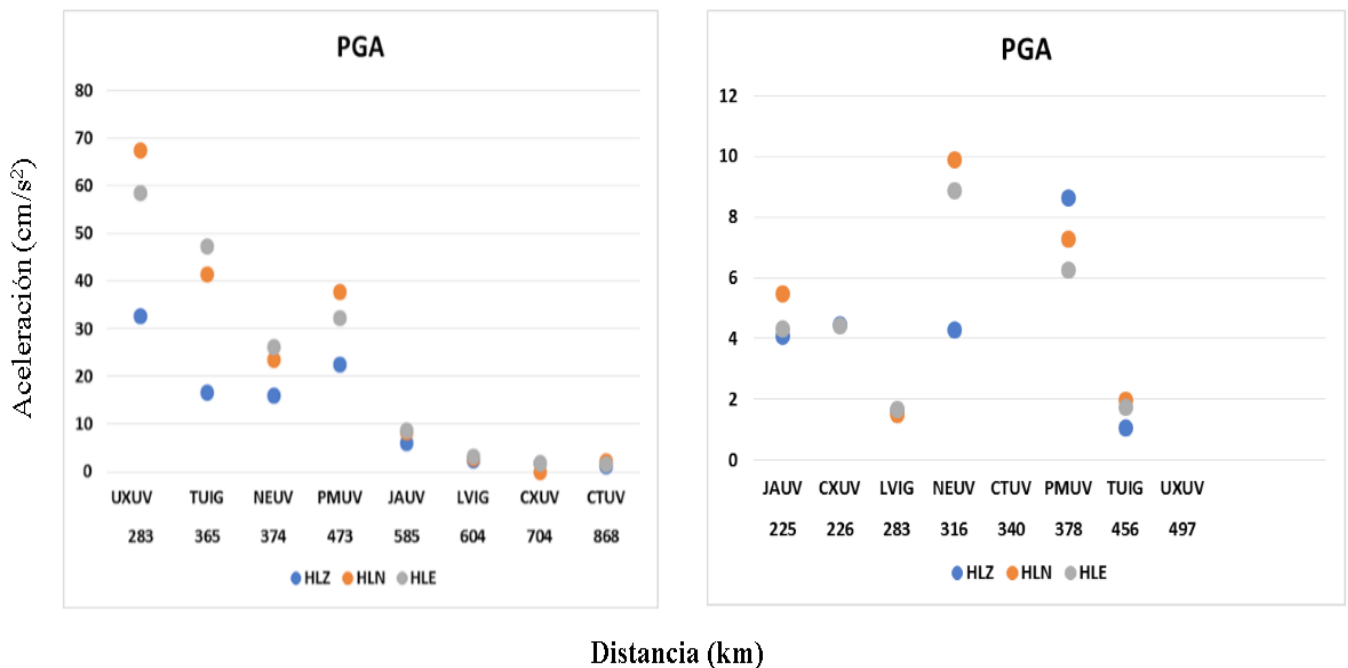


Figura 7. Gráficas de valores máximos de aceleración (PGA) con la distancia al epicentro para: (izquierda), sismo del 7 de septiembre de 2017, (derecha) sismo del 19 de septiembre 2017.





## 6. Espectros de aceleración en JAUV y reportes de daños en Xalapa

Considerando que se documentaron algunos daños en Xalapa por efecto del sismo del 19 de septiembre 2017 y su corta distancia a la estación sísmica JAUV de la RSBV (Figura 2), se calcularon los espectros de aceleración para observar las diferencias en el contenido de frecuencias dominante para cada uno de los sismos de septiembre en este sitio; obteniéndose para el caso de la componente vertical, las gráficas que se presentan en la Figura 8.

Por otra parte, los resultados obtenidos a partir de la encuesta efectuada con motivo del sismo del 19 de septiembre, que fue respondida por un total de 264 personas, fueron los siguientes: en general la mayoría de la población ubicada en cualquier punto de la ciudad sintió el sismo a excepción de aquellos que se trasladaban en algún medio de transporte terrestre; los que se encontraban en su casa-habitación o en un edificio trataron de evacuar rápidamente, pero tardaron aproximadamente más de 15 segundos en hacerlo. El 51.5% de los encuestados se manifestaron atemorizados y asombra-

dos por la duración del sismo, pero a pesar de ello sólo el 56.9% buscó las rutas de evacuación o abandonar su vivienda, mientras que el resto no reaccionó durante la sacudida. En algunos casos, otras personas se percataron del evento debido a que le gente mostró alguna situación de consternación. De la población que se percató del sismo, el 64.1% notó un balanceo en las puertas, así como oscilaciones de objetos que se encontraban en muebles, un 19.8% no observó movimiento alguno y un 13% escuchó un fuerte ruido. Un 10.3% indicó que tanto muebles como aparatos se deslizaron, volcaron o cambiaron de lugar.

En cuanto a estructuras dañadas, el 21% reportó grietas en bardas y cercas. De aquellos que hicieron referencia a los edificios con alguna anomalía, el 26.4% indicó la aparición de grietas minúsculas en las paredes, 9.6% grietas grandes, 1.2% muchas grietas grandes, 1.2% ventanas rotas o con grietas, 0.4% se manifestó sobre una separación de porche (balcón o alguna adición al edificio y sólo el 0.8% mencionó que el edificio se movió permanentemente de sus cimientos. La Figura 9 ilustra la distribución de daños según la encuesta realizada.

Figura 8. Espectros de aceleración obtenidos a partir de los registros de la componente vertical de la estación JAUV: (línea azul) sismo del 7 de septiembre de 2017, (línea negra) sismo del 19 de septiembre de 2017.

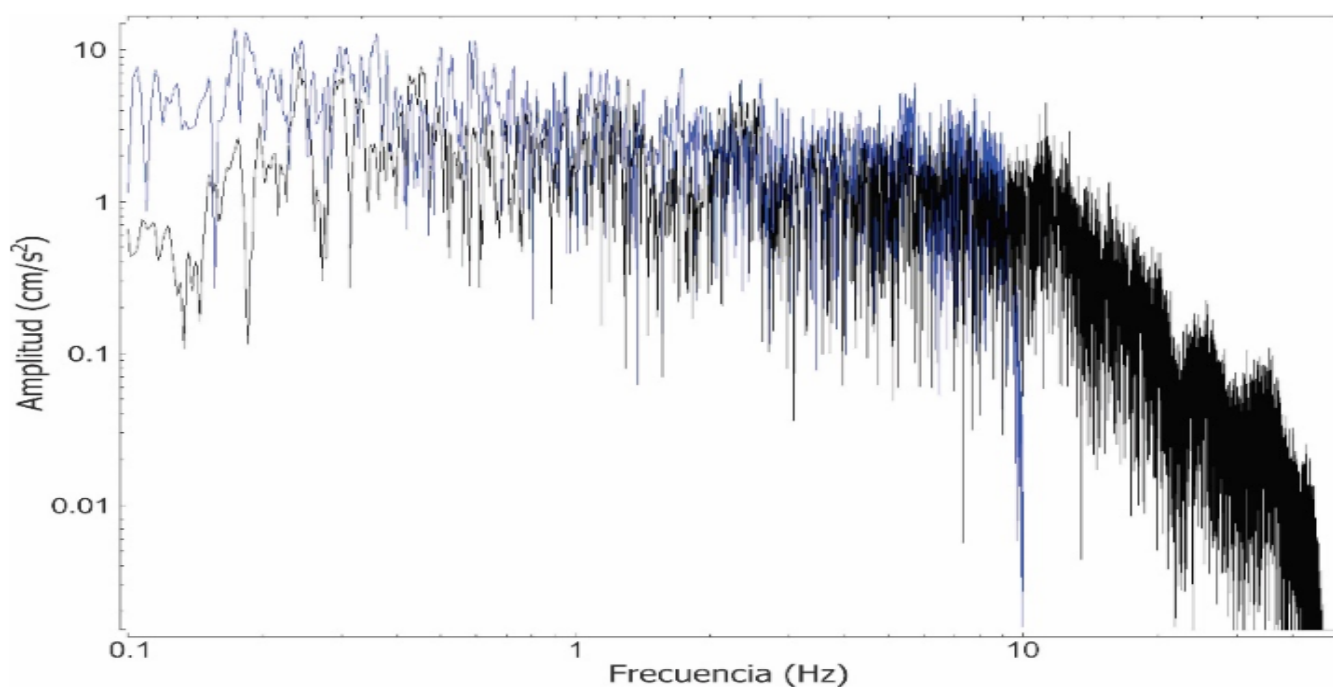
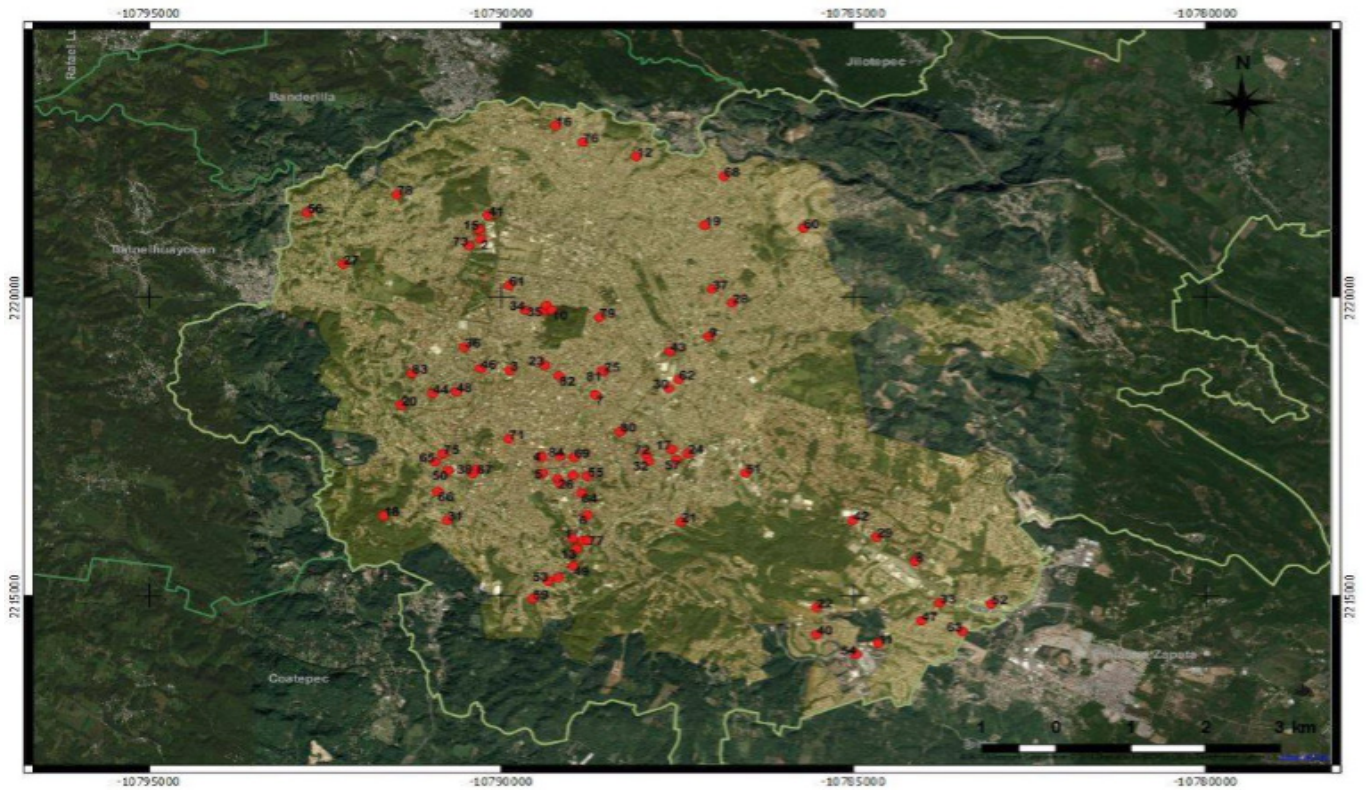


Figura 9. Ubicación de daños en Xalapa debidos al sismo del 19 de septiembre de 2017 de acuerdo con la encuesta realizada por el Observatorio Sismológico y Vulcanológico del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana (OSV-CCTUV).



## 7. Discusión y conclusiones

Los sismos intraplaca de gran magnitud ( $M \sim 7$ ) han ocurrido con relativa frecuencia en la región centro-oriente del país en los últimos 44 años, tomando en cuenta a los eventos de 1973, 1980, 1999 antes mencionados y al suscitado el 19 de septiembre de 2017, por lo que este tipo de sismos deben ser considerados dentro de las evaluaciones de peligro y riesgo sísmico. Del análisis de cada uno de ellos, se resaltan los daños en las poblaciones en función de su distancia al epicentro, pero no se descartan los factibles por fenómenos como la directividad y las condiciones geológicas locales.

De acuerdo con la revisión de los datos máximos de velocidad y aceleración del movimiento del suelo que se registraron en las estaciones de la RSBV, se observa que en el caso del evento del día 7 de septiembre de 2017 ( $M_w$  8.2), los valores mayores de PGA se presentaron en las estaciones de la zona sur UXUV, PMUV y NEUV, cuyo rango de aceleración se encuentra

entre 16-81 gales, lo cual está de acuerdo con el factor distancia al epicentro y con el mapa de intensidades elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Figura 3), pero es notorio el efecto de amplificación de ondas sísmicas que se observa en la región de Los Tuxtlas, donde también se ha identificado una anomalía de baja velocidad (Córdoba et al., 2014). En cuanto a la estación JAUUV localizada en el centro de Veracruz y las dos ubicadas al norte de la entidad (CXUV y CTUV), la disminución de PGA con el incremento de la distancia corresponde al efecto de atenuación esperado de las ondas sísmicas (Figura 7).

Para el sismo de Puebla-Morelos, el intervalo de valores de PGA se ubicó entre 4-10 gales, siendo más intenso el movimiento para la estación NEUV (Playa Vicente) y menor en las estaciones del norte y sur de Veracruz, lo que también se ilustra en el mapa de intensidades del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Figura 4). Al realizar una comparación directa de valores máximos de aceleración producidos en

Veracruz por los dos sismos, se observa que el del Istmo de Tehuantepec ocasionó mayores valores de PGA que el de Puebla-Morelos; lo que corresponde en buena medida a la percepción que la gente tuvo sobre la intensidad de los eventos; sin embargo, para el segundo evento se reportaron mayores daños (aunque ligeros a moderados). Uno de los factores que contribuyó a esta situación es el contenido de frecuencias diferente que generó cada sismo, lo que se observa en sus espectros de aceleración obtenidos de la estación JAUUV y que en consecuencia, excitaron de forma diferente al suelo y este a su vez a las construcciones.

## Referencias

- Córdoba-Montiel, F., Iglesias A., Singh S. K., Spica Z., Legrand D., 2014. Tomografía de Velocidad de Grupo de Ondas de Rayleigh para el Oriente de México y el Istmo de Tehuantepec, *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 66, 441-457.
- Córdoba-Montiel, F., Iglesias A., Pérez-Campos X., Sieron K., Grupo de Trabajo del Servicio Sismológico Nacional, Valdés-González C., Singh S. K., Pacheco J. F., 2018. The Broadband Seismological Network of Veracruz, Mexico: towards a regional seismotectonic interpretation, *Seism. Res. Lett.*, 89, 345-355. doi:10.1785/0220170195
- Cruz Atienza, V. M., Singh S. K., Ordaz M., 2017. ¿Qué ocurrió de septiembre de 2017 en México?, *Ciencia UNAM*, <http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-de-septiembre-de-2017-en-mexico->.
- Goldstein, P., Snoke A., 2005. SAC Availability for the IRIS Community, Incorporated Institutions For Seismology Data Management Center Electronic Newsletter.
- Hanks, T. C., Kanamori H., 1979. A moment magnitude scale, *Journal of Geophysical Research*, 84, 5, 2348-2350, 9B0059, doi:10.1029/JB084iB05p02348.
- Jiménez, Z., Ponce L., 1978. Focal mechanism of six large earthquakes in northern Oaxaca, Mexico, of the period 1928-1973. *Geofísica Internacional*, 17, 379-386.
- Singh, S. K., Ordaz M., Pacheco J. F., Quaas R., Alcántara L., Alcocer S., Gutiérrez C., Meli R., Ovando E., 1999. A preliminary report on the Tehuacán México earthquake of June 15, 1999 (Mw = 7.0). *Seism. Res. Lett.*, 70, 489-504.
- Singh S. K., Wyss M., 1976. Source parameters of the Orizaba earthquake of August 28, 1973. *Geofísica Internacional*, 16, 165-184.
- Suárez G., 1992. El sismo de Jalapa del 3 de enero de 1920. *Rev. Mex. de Ing. Sísmica*, 42, 3-15.
- Suárez, G. (2000). Reverse faulting in the Isthmus of Tehuantepec: Backarc deformation induced by the subduction of the Tehuantepec ridge, in Delgado, H., Aguirre, G., Stock, J., (eds), *Cenozoic Tectonics and Volcanism of Mexico*, *Spec. Pap. Geol. Soc. Am.*, 334, 263-268.
- Yamamoto J., Jiménez Z., Mota R., 1984. El temblor de Huajuapán de León, Oaxaca, México, del 24 de octubre de 1980. *Geofísica Internacional*, 23, 83-110.