

Sismicidad en el estado de Oaxaca de 2015 a 2019

Recibido: 28-01-2020 Aceptado: 29-10-2021 (Artículo Arbitrado)

Resumen

La mayoría de los sismos en México reportados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) se ubican en la zona que corre casi paralelamente a la costa del Pacífico, donde las placas de Rivera y Cocos se sumergen por debajo de la placa Norteamericana. Generalmente, el Estado de Oaxaca ocupa el primer lugar en sismos, con magnitud mayor o igual que 1.2, reportados con 30 % del total de los registrados en el territorio mexicano. El objetivo de este estudio es revisar la distribución espacial y temporal para ocho regiones en el estado, a partir de los catálogos sísmicos del SSN en el periodo de 2015 a 2019. Esta revisión se hizo mediante la construcción de histogramas de magnitud y de series de tiempo respecto al número de sismos por día para identificar cambios espacio-temporales. Los resultados muestran que la región de la costa es la que históricamente tiene mayor cantidad de sismos, y actualmente, hacia la región del istmo, se observa un incremento en el número de sismos registrados después de los sismos de septiembre de 2017, mientras que, en otras regiones del estado, el nivel de sismicidad sigue constante.

Abstract

Most of the earthquakes in Mexico reported by the National Seismological Service (SSN) are located at the zone that runs almost parallel to the Pacific coast, where the Rivera and Cocos plates subduct below the North American plate. Generally, the State of Oaxaca occupies the first place in earthquakes, with a magnitude greater than or equal to 1.2, reported with 30 % of the total number of earthquakes registered in the Mexican territory. The objective of this study is to review the spatial and temporal distribution for eight regions in this State, using the SSN seismic catalogs in the period from 2015 to 2019. This review was done by constructing magnitude histograms and the time series versus the number of earthquakes per day to identify spatiotemporal changes. The results show that the coastal region has, historically, the highest number of earthquakes and currently, the isthmus region has been observed an increase in the number of earthquakes recorded after the September 2017 earthquake, while, in other regions of the state, the level of seismicity remains constant.

Résumé

La plupart des tremblements de terre signalés au Mexique par le Service sismologique national (SSN) se situent dans une zone presque parallèle à la côte du Pacifique, où les plaques Rivera et Cocos s'immergent sous la plaque nord-américaine. Généralement, l'État d'Oaxaca occupe la première place des séismes, avec une magnitude supérieure ou égale à 1.2, rapporté avec 30 % du total de ceux enregistrés sur le territoire mexicain. L'objectif de cette étude est de passer en revue la distribution spatiale et temporelle pour huit régions de l'état, sur la base des catalogues sismiques du SSN dans la période de 2015 à 2019. Cette revue a été faite à travers la construction d'histogrammes de magnitude et de séries temporelles. rapport au nombre de séismes par jour pour identifier les changements spatio-temporels. Les résultats montrent que la région côtière est celle qui a historiquement le plus grand nombre de séismes, et actuellement, vers la région de l'isthme, il y a une augmentation du nombre de séismes enregistrés après les séismes de septembre 2017, tandis que, dans d'autres régions du état, le niveau de sismicité reste constant.

Ericka Alinne Solano Hernández^{1*}
Avith Mendoza Ponce²

Palabras clave: Epicentro, magnitud, placas tectónicas, subducción.

Keywords: Epicenter, magnitude, tectonic plates, subduction.

Mots-clés: Epicentre, magnitude, tectonique des plaques, subduction.

Introducción

México es un país que cotidianamente experimenta sismos por la interacción de cinco placas tectónicas: placa del Pacífico, placa de Rivera, placa de Cocos, placa Norteamericana y placa del Caribe. En la parte noroeste del país, en la península de Baja California y el Golfo de California, la sismicidad es el resultado del movimiento relativo transversal de la placa oceánica del Pacífico (dirección noroeste) respecto a la placa continental Norteamericana (dirección sureste). Hacia el sur, la mayoría de

¹Instituto de Industrias
Universidad del Mar

²Instituto de Minería
Universidad Tecnológica de la Mixteca

Correspondencia:

*alinne@angel.umar.mx

los sismos reportados son consecuencia de la interacción entre las placas de Rivera y Cocos que se sumergen por debajo de la placa Norteamericana. Este límite de placas que corre paralelamente a la costa del Pacífico se conoce como la zona de subducción mexicana o Trinchera Mesoamericana. A nivel nacional, el Estado de Oaxaca ocupa el primer lugar con 30 % del total de los sismos reportados por el Servicio Sismológico Nacional. Esta cifra se incrementó a casi 50 % de la totalidad de sismos reportados, a consecuencia de las réplicas del sismo de magnitud 8.2 del 7 de septiembre de 2017, localizado en el Golfo de Tehuantepec. Es importante mencionar que, si se revisa la sismicidad histórica del estado, pareciera que está temblando más, sin embargo, la realidad es que se han colocado más estaciones para vigilancia sísmica. Oaxaca ocupa el quinto lugar en extensión territorial del país y en la actualidad, el Servicio Sismológico Nacional tiene 10 estaciones sismológicas en el Estado, lo que representa una sexta parte del total de estaciones de su red de banda ancha. Sin embargo, este número de estaciones es insuficiente para monitorear la sismicidad a nivel local, es decir, sismos con magnitudes menores que 3.

Sismos y su relación con los límites de las placas

Un sismo es un movimiento súbito de la corteza terrestre ocasionado por la liberación de energía elástica producto del movimiento entre las placas tectónicas que se deslizan sobre un plano de falla. Existen dos características fundamentales de un sismo: el tipo de falla que lo genera y dónde inicia dicho movimiento.

Sobre la primera característica de un sismo, los tres tipos de fallas principales que los generan son: las fallas transformantes, las fallas normales y las fallas inversas. En una falla transformante el plano de deslizamiento es casi vertical y el movimiento relativo entre ambos lados de la falla es horizontal y puede ser lateral derecho o izquierdo (ver la Figura 1). Por ejemplo, la falla de San Andrés que se localiza en la interacción de las Placas Pacífico y Norteamérica en el noroeste de México. Ahora bien, si los bloques se deslizan uno respecto a otro de manera oblicua o vertical puede ser una falla inversa o una falla normal. La diferencia estriba en que en una falla inversa uno de los bloques sube respecto al otro, mientras que, en las fallas normales, un bloque desciende respecto al otro (ver la Figura 1).

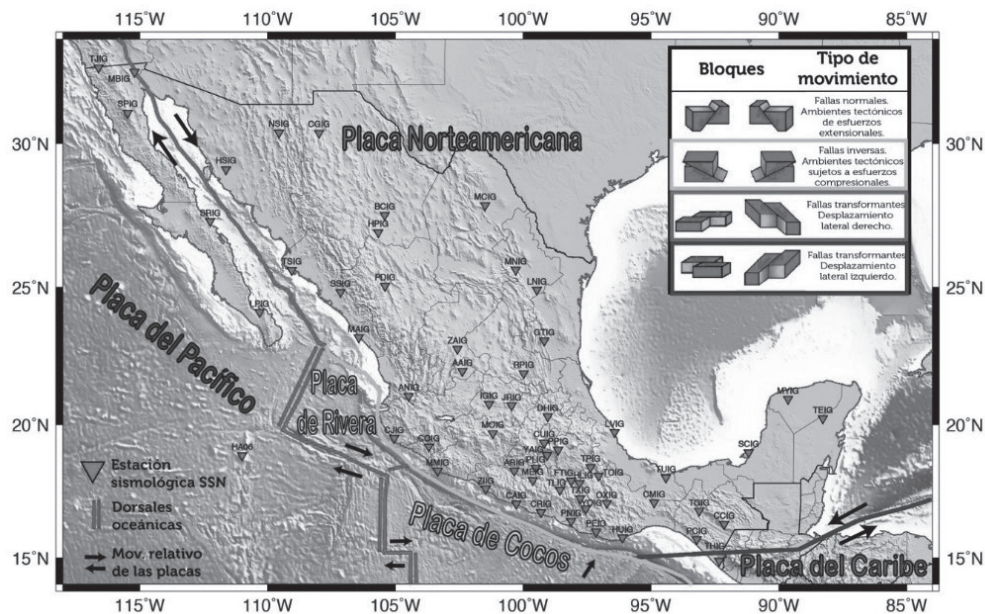


Figura 1. Las cinco placas tectónicas que conforman el territorio mexicano y sus límites. En el recuadro se observan los diagramas de bloques de los tres tipos de fallas: normales, inversas y transformantes. Las flechas indican el movimiento relativo de una placa tectónica respecto a otra. En triángulos invertidos se muestran las ubicaciones de estaciones de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional (SSN). (Mapa realizado con GMT mapping tools).

En zonas de subducción, los bloques son las placas tectónicas y ahí la placa que se desliza por debajo de otra, lo hace en un plano de falla con distintos ángulos de inclinación, que se miden a partir del horizonte. En el caso de la zona de subducción mexicana, las placas tanto de Rivera como de Cocos tienen ángulos de inclinación del plano de deslizamiento de la falla muy variables (Manea et al., 2005; Pardo y Suárez, 1995; Singh et al., 2002). Por lo general, la mayor parte de los sismos ocurre en el contacto entre placas y se llaman sismos interplaca, mientras que los sismos intraplaca son ocasionados por rupturas dentro de la placa.

Sismos de septiembre de 2017 en Oaxaca

El sismo del 7 de septiembre de magnitud 8.2 fue uno de los más grandes ocurridos en México en los últimos cien años. Aunque los grandes terremotos que han ocurrido son sismos de subducción o interplaca, este sismo ocurrió dentro de la placa de Cocos, es decir, fue un sismo intraplaca originado por una falla normal, cuyo plano de falla es casi vertical. El foco o hipocentro se localizó alrededor de 45 km de profundidad (SSN, 2017) y la longitud de ruptura fue de casi 100 km en dirección noroeste (ver la Figura 2) la cual se delinea con las réplicas de los días posteriores. El fuerte sacudimiento que se sintió fue debido no sólo a su gran magnitud, sino también a la gran cantidad

de energía sísmica liberada en la fuente (Ye et al., 2017), comparado con otros sismos de igual magnitud. Este sismo fue más energético de lo normal, lo que contribuyó a los daños en la región del Istmo y golfo de Tehuantepec. Usualmente se observa en los registros que cuando suceden sismos intraplaca, la secuencia de réplicas es corta, comparada con los sismos interplaca; sin embargo, debido a su magnitud, este sismo causó una cantidad significativamente grande de réplicas. El SSN registró 4326 réplicas en los primeros quince días (SSN, 2017), lo cual lo convierte en el sismo con más réplicas registradas en la era instrumental de México. La presencia de sismos corticales posteriores al sismo del 7 de septiembre en el Istmo de Tehuantepec, como el sismo del 23 de septiembre de 2017 de magnitud 6.1 con epicentro cerca de Ixtepec y Juchitán, dan evidencia de los esfuerzos compresivos que prevalecen en la región inducidos por la subducción de la placa de Cocos (Suárez y Aguilar, 2019).

Metodología

Para observar los cambios espacio-temporales más significativos, a nivel regional en el estado de Oaxaca, y considerando las zonas donde se han presentado sismos históricos de importancia, se propusieron ocho regiones circulares (ver la Figura 2) con radio de 35 km. El radio propuesto en este estudio implica dividir el territorio en varios volúmenes, centrados en fuentes generadoras de sismos históricos para visualizar la cantidad de sismos en cada una de ellas.

Se descartaron los datos de sismos para el periodo del 1 de enero de 2015 al 31 de diciembre de 2019 del catálogo del SSN. En la Tabla 1 se muestra el centro (latitud, longitud) de cada uno de los círculos que se contemplan como áreas de estudio, también se registra el número total de sismos encerrados por dicho círculo y el número de sismos mayores o iguales a 5 de magnitud.

Posteriormente se hacen los gráficos de las series de tiempo de los epicentros contra la profundidad, los cuales nos muestran los cambios drásticos o sutiles de la ocurrencia de sismos en cada una de las regiones. En estas gráficas, se indican las magnitudes de los sismos para observar cambios en la distribución espacial respecto a la profundidad. Cabe mencionar que las profundidades de los epicentros son obtenidas de los catálogos del SSN, es decir, para este estu-

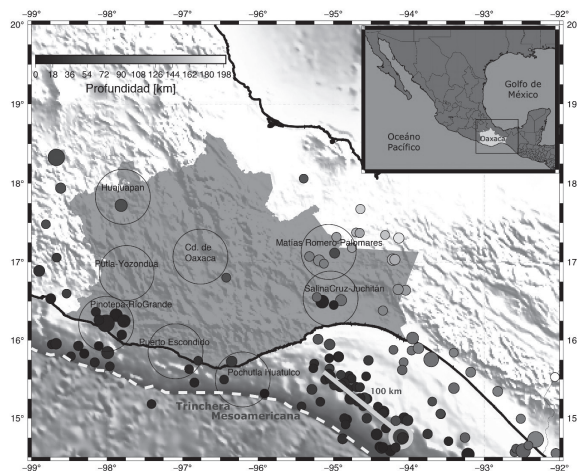


Figura 2. Áreas de estudio. Se muestran ocho círculos de 35 km de radio que abarcan las zonas de estudio. Los círculos llenos indican los epicentros de sismos mayores o iguales a 5 (146), ocurridos entre 2015 a 2019 en toda el área del mapa y las tonalidades indican su profundidad (km). La circunferencia unida a la línea gruesa gris claro indica el epicentro del sismo del 7 de septiembre de 2017 (M8.2) y la longitud de ruptura del sismo (100 km), respectivamente. Se muestra con líneas discontinuas la trinchera o fosa Mesoamericana donde la placa oceánica de Cocos subduce por debajo de la placa continental Norteamericana. (Mapa realizado con GMT mapping tools).

dio, no se hizo relocalización de eventos. Después, para examinar si el número de sismos incrementa o disminuye en alguna fecha específica, como en el caso de la secuencia sísmica del 21 de marzo de 2019 en Huatulco, o por algún evento sísmico como el del 19 de julio de 2018 cerca de Huajuapán de León (M 5.9), se elaboran gráficos de las series de tiempo de los epicentros respecto al número de sismos reportados por día. En estas mismas gráficas, se indican en escala de grises las magnitudes de los sismos. Finalmente, se realizaron los histogramas de magnitudes para el periodo de estudio, con el objetivo de ver las magnitudes que más se repiten en cada uno de los volúmenes. Para cada histograma se calculó la Función de Densidad de Probabilidad a partir de la media y desviación estándar de cada región asumiendo una distribución normal a partir de lo observado en los sismogramas.

Tabla 1. Sismos ocurridos en el estado de Oaxaca de enero de 2015 a diciembre de 2019 en cada área de estudio.

Zona	Latitud N [°]	Longitud W [°]	No. de sismos	Sismos M $\geq$ 5.0
Cd. de Oaxaca	17.07	96.76	118	0
Huajuapán de León	17.83	97.79	221	1
Putla - Yozondúa	16.92	97.74	316	0
Pochutla - Huatulco	15.6	96.2	728	2
Matías Romero - Palomares	17.13	95.06	1739	6
Puerto Escondido	15.86	97.09	1891	2
Salina Cruz - Juchitán	16.49	95.14	6632	4
Pinotepa Nacional - Río Grande	16.21	98.1	17128	7

Fuente: Catálogo del SSN.

Resultados y Discusión

Durante el periodo de estudio ocurrieron nueve sismos de magnitud mayor o igual que 5.5 (ver la Tabla 2), cuyos epicentros reportados por el SSN están en las áreas de estudio seleccionadas; siendo el de mayor magnitud el sismo del 16 de febrero de 2018 (M 7.2) en la región de Pinotepa Nacional. Se escogieron los sismos de magnitud mayor o igual que 5.5 porque de acuerdo con la escala de intensidad de Mercalli modificada (MMI), estos sismos son sentidos con mayor intensidad por la población cercana al epicentro. La zona de Ometepec - Pinotepa Nacional concentra el 60 % de los sismos registrados en las ocho áreas de estudio. Regularmente la actividad en Pinotepa es la más alta aún sin presencia de sismos grandes y, en consecuencia, de réplicas.

Ometepec - Pinotepa Nacional - Río Grande

En esta región se tiene la mayor concentración de sismos de la costa oeste de México, la cual, ha sufrido daños severos en los últimos 50 años (Yamamoto et al., 2013). Se ha observado que sismos de magnitud considerable (M~6-7) con profundidades menores a 35 km, generan un número grande de réplicas (UNAM Seismology Group, 2013), como fue el caso del sismo del 20 de marzo de 2012 de Ometepec-Pinotepa Nacional de 20 km de profundidad y magnitud 7.5, originado por un movimiento de tipo falla inversa. El 8 de mayo de 2016 se registró un sismo de magnitud 6.0 (A en la Figura 3), con epicentro al este de Pinotepa Nacional, fue sentido en los estados de Oaxaca, Guerrero, Puebla y Ciudad de México (SSN, 2016). Este sismo tuvo alrededor de 200 réplicas en una semana, tres de ellas con magnitud mayor o igual que 4. Dos años más tarde, a las 17:39 horas del 16 de febrero de 2018, ocurrió un sismo de magnitud 7.2 al sureste

Tabla 2. Epicentros de los sismos de magnitud mayor o igual a 5.5 en las regiones de estudio durante el periodo 2015-2019, ordenados de mayor a menor magnitud.

Fecha	Hora Local	Región de estudio	Latitud N [°]	Longitud W [°]	Profundidad [km]	Magnitud
2018-02-16	17:39:39	Pinotepa Nacional	16.218	-98.0135	16.0	7.2
2017-09-23	07:53:04	Salina Cruz-Juchitán	16.496	-95.146	22.0	6.1
2016-05-08	02:33:59	Pinotepa Nacional	16.323	-97.8773	7.4	6.0
2018-02-19	00:56:58	Pinotepa Nacional	16.2477	-97.775	10.2	6.0
2018-07-19	08:31:55	Huajuapán de León	17.721	-97.812	55.6	5.9
2016-06-27	15:50:31	Pinotepa Nacional	16.208	-98.003	4.4	5.7
2015-04-28	13:56:54	Matías Romero	17.021	-95.186	112.9	5.6
2015-06-28	10:54:41	Salina Cruz-Juchitán	16.5138	-94.896	88.2	5.6
2016-04-10	02:11:20	Pochutla-Huatulco	15.7297	-96.347	37.3	5.5

Fuente: Catálogo del SSN.

de Pinotepa Nacional, donde después de tres días se habían registrado 2140 réplicas y el máximo de temblores en un día fue de 300 (B en la Figura 3). La réplica mayor fue el día 19 de febrero a las 00:56 con magnitud 6.0 (SSN, 2018). Este último sismo ocurrió en la misma zona de ruptura que el sismo de 1968 de magnitud 7.3 como lo indica la recopilación de Kostoglodov y Pacheco (1999) de los grandes sismos en los últimos cien años. Los tres sismos de 2012, 2016 y 2018 son sismos de falla inversa de acuerdo con el catálogo del *Global CMT* (Ekström et al., 2012) y los reportes especiales del SSN de dichos eventos. Se observa que los hipocentros tienen profundidades someras (Figura 3, izquierda.), lo que concuerda con el contacto en profundidad de las placas de Cocos y la Norteamericana y la magnitud que más se repite es 3.3 (Figura 3, derecha).

Puerto Escondido

El 21 de abril de 2015 se registró un sismo de magnitud 4.8 en el municipio de Santa María Colotepec (C en la Figura 4), al sureste de Puerto Escondido, seguido por 16 sismos más en la misma región, el más grande de magnitud 4.1. Los sismos de magnitud 5.0 ocurridos el 10 de julio del 2015 (D en la Figura 4) y el 10 de octubre de 2019 (E en la Figura 4), ocurrieron muy cerca de la zona epicentral de la secuencia sísmica antes mencionada, en la costa de los municipios de Colotepec y Tonameca. Estos dos últimos sismos generaron un número menor de réplicas en comparación con el sismo C (líneas inferiores gris oscuro en la Figura 4, en medio). De los sismos significativos recientes que han sacudido la región, destaca el sismo del 30 de septiembre de 1999 (M 7.5), el cual fue un sismo intraplaca que rompió un segmento de la placa de Cocos a 45 km de profundidad. Este sismo fue sentido fuertemente en las ciudades de Oaxaca y México. Cabe mencionar que el sismo de 1999 ocasionó severos daños en las comunidades oaxaqueñas y las intensas lluvias antes y después del evento, complicaron más la entrega de ayuda (Singh, et al., 2000). De la distribución espacial en profundidad de los sismos, se observa que la mayoría de los sismos están por encima de los 30 km de profundidad, mismos que podrían estar ubicados en el contacto de la placa de Cocos con la placa Norteamericana. La magnitud que más se repite en esta zona es 3.4 (ver la Figura 4, derecha).

Pochutla - Huatulco

El 10 de abril de 2016 ocurrió un sismo de magnitud 5.5 cerca de la costa en el municipio de San Pedro Pochutla, del cual se registraron más de 35 réplicas el mismo día, la mayor de magnitud 4.3 (F en la Figura 5). El 8 de febrero de 2017 el SSN reportó un sismo de magnitud 4.7 que tuvo pocas réplicas (G en la Figura 5). El 23 de febrero hubo dos sismos de magnitud 4.9 (H en la Figura 5) que se observan como un leve aumento de sismicidad de 10 sismos por día (líneas inferiores gris oscuro en la Figura 5, en medio). En 2019, se observa un enjambre sísmico que inició en la madrugada del 21 de marzo cerca de Huatulco (línea I, Fig. 5). El conjunto de 42 sismos (reporte SSN, 2019) tuvo magnitudes entre 1.9 y 4.4, con profundidades entre 4 y 20 km. Puede ser consecuencia de movimiento de fluidos a altas presiones de confinamiento y no necesariamente son causados por deslizamientos sobre la falla (e.g. Miller, 2020; Ross et al., 2017). En cuanto a sismos históricos, la zona costera entre Puerto Ángel y Huatulco experimentó un sismo de magnitud 6.4 el 2 de febrero de 1998 (Sismo del Día de la Candelaria), el cual ocurrió a 33 km de profundidad. Además de los daños en obras civiles y en la población, tuvo consecuencias ecológicas ya que el levantamiento post-sísmico observado en la costa, específicamente en Puerto Ángel, causó mortandad de algas coralinas (Ramírez-Herrera y Zamorano-Orozco, 2002). La magnitud que más se repite aquí es de 3.8 (ver la Figura 5, derecha).

Salina Cruz - Juchitán

La mañana del 28 de junio de 2015, ocurrió un sismo al noreste de Juchitán (M5.6) con profundidad de 88.2 km (J en la Figura 6) y no se observa mayor cambio en la sismicidad local debida al evento en los catálogos. El área de Salina Cruz - Juchitán - Ixtotec era una zona con niveles bajos de sismicidad, tanto en ocurrencia como en magnitud, hasta antes del 7 de septiembre de 2017. Pasó de menos de 5 sismos al día a más de 100 sismos durante los primeros días después del terremoto, que se observa como un cambio abrupto en la cuenta de eventos por día (línea K, Figura 6) y en la densidad de sismos a diversas profundidades (ver la Figura 6, izquierda). La tarde del 28 de enero de 2019 se sintió un sismo de magnitud 5.1 con epicentro 12 km al oeste de Ixtotec (L en la Figura 6). El sismo del 7 de septiembre

de 2017 ocurrió por el rompimiento de un segmento débil de la placa de Cocos, donde la placa se desgarró por efecto de la fuerza de gravedad (e.g. Melgar et al., 2018; Suárez et al., 2019) que atrae, como a todos nosotros, hacia el centro de la Tierra. La placa se encuentra bajo un esfuerzo tensional a lo largo de su viaje a las profundidades del manto y esto provoca transmisión de esfuerzos hacia la corteza continental (Suárez y Aguilar, 2019) que se ven reflejados en actividad sísmica en la región del istmo posterior a los sismos de septiembre de 2017. Lo anterior se observa en la distribución de los sismos en profundidad, donde están distribuidos en profundidades someras (menores que 25 km) y sismos profundos más allá de 60 km (ver la Figura 6, izquierda). Aunque la actividad sísmica se ha reducido sustancialmente, de manera exponencial (líneas inferiores gris oscuro en la Figura 6, en medio), es necesario continuar el monitoreo sísmico en la zona usando una red sísmológica más densa. Finalmente, aquí la magnitud que más se repite es 3.7 (ver la Figura 6, derecha).

Ciudad de Oaxaca

Los niveles de sismicidad en la zona alrededor de la ciudad de Oaxaca son los más bajos en cuanto a eventos por día, usualmente un sismo (líneas inferiores gris oscuro en la Figura 7, en medio). Más del 80 % de los sismos en esta zona son de magnitud menor que 4 y profundidades de más de 40 km, aunque también se presentan sismos de profundidad somera (ver la Figura 7, izquierda). El sismo de mayor magnitud registrado en el periodo fue de magnitud 4.6 y profundidad de 67 km. (M en la Figura 7), sucedido el 28 de noviembre de 2015 a 3 km al oeste de la zona arqueológica de Monte Albán. En esta región, existe la posibilidad de sismos de magnitudes grandes, pero con periodos de recurrencia largos. Por ejemplo, el último temblor grande cercano a la zona ocurrió el 15 de enero de 1931, con magnitud estimada de 8 y profundidad aproximada de 40 km (Singh et al., 1985). Éste fue un sismo intraplaca dentro de la placa de Cocos que, aunque no son frecuentes los sismos alejados del límite de placas, si llegan a ocurrir; tal es el caso del sismo del 19 de septiembre de 2017 en Puebla-Morelos. En esta región, la magnitud que más se repite es 3.7 (ver la Figura 7, derecha).

Matías Romero - Palomares

En la región que enmarca las poblaciones de Matías Romero y Palomares, colindantes con el Estado de Veracruz, se tienen sismos frecuentes a lo largo del periodo de estudio. Se observa que el 90 % de sismos está en el rango de magnitud de 3.3 a 4.2, siendo 3.8 la magnitud que más se repite (ver la Figura 8, derecha). y la mayoría se sitúa por debajo de los 90 km de profundidad. En el transcurso de 2015 a 2019 sucedieron cinco sismos de magnitud mayor o igual que 5, el mayor de ellos 5.6, ocurrido el 28 de abril de 2015 con profundidad de 112 km (N en la Figura 8). Sin embargo, para este sismo en particular, no se observa aumento de sismicidad en la región, como con el sismo de 5.3 del 15 de septiembre de 2016 y profundidad de 52 km, donde se observa un incremento de siete sismos por día (P en la Figura 8). Quizá la diferencia en la generación de réplicas no sólo es la magnitud de los eventos sino también la profundidad de estos, porque las propiedades mecánicas del medio son distintas. Otro factor podría ser si la estación sísmológica cercana a Matías Romero estaba funcionando durante el evento (N) y que por ello no haya mayor registro de réplicas menores. De los sismos de mayor magnitud sucedidos en la región, anteriores al periodo de estudio, es el sismo con magnitud 6.7 de la mañana del 7 de abril de 2011, cuyo hipocentro estuvo a 171 km de profundidad, en los límites de Oaxaca - Veracruz, en el istmo de Tehuantepec. La gráfica de hipocentros (Figura 8, izquierda) refleja la profundidad a la que está el contacto a profundidad de la placa de Cocos y la placa Norteamericana.

Huajuapán de León

La ocurrencia de sismos en el área es escasa y con profundidades menores que 70 km. El sismo de mayor magnitud en la región, durante el periodo de estudio, tuvo lugar el 19 de julio de 2018 a 10 km al suroeste de Huajuapán de León con magnitud 5.9 y profundidad de 56 km (Q en la Figura 9). Después del sismo, se observa un leve cambio en los niveles de sismicidad en la región (líneas inferiores a la derecha de Q, Figura 9). Sin considerar este último evento, el 90 % de la sismicidad de la región se mantiene por debajo de magnitudes de 4.0, siendo 3.4 la magnitud que más se repite (Figura 9, derecha.). En esta región, se observa el mismo patrón de distribución de profundidades de sismos que en el área de la Ciudad de Oaxaca, sismos

someros e intermedios. En la región hubo dos sismos previos, muy cercanos entre sí, que dejaron daños materiales y pérdidas humanas: uno el 15 de junio 1999, con epicentro en Tehuacán (M 7.0); el segundo, el 24 de octubre de 1980 (M 7.2); ambos de profundidad intermedia y de falla normal que rompieron segmentos de la placa de Cocos (Singh et al., 1999).

Putla - Yozondúa - Tlaxiaco

Durante los meses de octubre y noviembre de 2017 se observa una secuencia sísmica, de poca duración (R en la Figura 10) pero de más de 50 sismos. Se registraron durante la secuencia cinco sismos de magnitud mayor o igual que 4. La mayoría de los sismos que ocurren en el área son sismos de profundidad somera, menor que 40 km (ver la Figura 10, izquierda). Los niveles de sismicidad son de magnitudes menores que 4.0 con la magnitud que más se repite igual a 3.4 (ver la Figura 10, derecha). Se observa que hay más sismos después de mayo de 2018, con un máximo de sismos por día de 7 en diciembre del mismo año (S en la Figura 10). En esta zona han ocurrido sismos de magnitud ($M > 6.9$) en el siglo pasado (1928, 1937, 1948, 1950) con profundidades estimadas entre 30 y 80 km. El estudio de estos sismos es de vital importancia porque pueden estar relacionados con la actividad de la falla geológica Juchatengo. En esta región también se observa un periodo de seis meses con ausencia de sismos en 2015 (ver la Figura 10). Es un efecto que no se observa en ninguna otra de las zonas de estudio. Quizá si las estaciones sismológicas cercanas de Yozondúa y Tlaxiaco, instaladas en 2014 y 2012, respectivamente, no estuvieran funcionando en ese momento, podría considerarse como consecuencia de la ausencia de datos transmitidos.

En general, se observan sismos (a) con profundidades no mayores a 20 km (sismos someros), e.g., sismo del 16 de febrero de 2018 cerca de Pinotepa Nacional (M7.2) (Fielding et al., 2018); (b) sismos en el rango de profundidades de 65 a 115 km, profundidad intermedia a profunda que ocurren dentro de la placa de Cocos y que son de falla normal, e.g., sismo del 15 de junio de 1999 (M6.9) entre Huajuapán de León y Tehuacán; y (c) sismos de profundidad somera entre 25 y 45 km, como el sismo del 7 de septiembre de 2017 cuya ruptura fue dentro de la placa de Cocos.

De los histogramas se observa que el grueso de la población de sismos registrados en las áreas de estudio está por debajo de magnitud 4.2, con sismos puntuales de magnitudes mayores a 5.5. Como se observó una distribución normal al realizar los histogramas, se obtuvieron las funciones de densidad de probabilidad a partir del método de Gauss con la media y la desviación estándar en cada caso. La ausencia de sismos de magnitudes pequeñas, menores que 3, no significa que no haya, sino que, al no existir una mayor densidad de estaciones sismológicas, es difícil ver sismos pequeños a distancias lejanas. Los sismos de menor magnitud tienen amplitudes pequeñas en el sismograma y en ocasiones se ven enmascaradas por vibraciones generadas por fuentes antropogénicas como tráfico vehicular, aires acondicionados y plantas generadoras, por mencionar algunas.

Conclusiones

Se obtuvieron variaciones de la distribución espacio-temporal para las ocho regiones estudiadas en el periodo de 2015 a 2019. Esto probablemente se debe a las diferencias tectónicas y geológicas de cada región. Sin embargo, no se pudo determinar con exactitud a qué se deben dichas variaciones principalmente por la falta de datos de sismos con magnitudes menores que 3. Estos resultados sugieren continuar con el estudio individual y continuo de cada una de las áreas para saber la posible causa del aumento o disminución de los niveles de sismicidad, ya sean de origen antropogénico, instrumental o natural como fallas geológicas o subsidencia por extracción en los mantos freáticos.

Como se mencionó, en esta investigación, se escogieron áreas donde existen reportes de sismos históricos que han causado daños, porque en muchos casos, aún la gente recuerda y cuenta lo sucedido. Por lo tanto, se puede saber que han ocurrido sismos y que estos se repiten en el tiempo. Si se incorporan nuevas estaciones sísmicas en lugares estratégicos entonces se podrán hacer estimaciones de lo que se conoce como ciclos sísmicos; es decir, conocer dónde se acumula y se libera energía en forma de sismos. Además, de que la sismicidad local se podría describir con menor incertidumbre mediante la ley de Gutenberg-Richter.

Este trabajo fue realizado como parte del proyecto interno UMAR 2II2003 de EAS.

Bibliografía

- Ekström, G., Nettles, M., Dziewóński A. (2012). The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 200: 1-9.
- Fielding, E., Gonzalez-Ortega, J. A., Gombert, B., Duputel, Z., Liang, C., Bekaert, D. P., Jolivet, R., Ampuero, J. P. (2018). The February 2018 Mw 7.2 Pinotepa Earthquake in Mexico Ruptured a Small Patch of the Oaxaca Megathrust. *Earth and Space Science Open Archive*. Recuperado el 20 de febrero de 2020, de <https://www.essoar.org/doi/10.1002/essoar.10500290.2>
- Kostoglodov, V., Pacheco, J. (1999). Cien años de sismicidad en México. *Instituto de Geofísica, UNAM*.
- Manea, M., Manea, V. C., Kostoglodov, V., Guzmán-Speziale, M. (2005). Elastic Thickness of the Lithosphere below the Tehuantepec Ridge. *Geofísica Internacional*. 44(2): 157-168.
- Melgar, D., Ruiz-Angulo, A., Garcia, E. S., Manea, M., Manea, V. C., Xu, X., Ramirez-Herrera, M. T., Zavala-Hidalgo, J., Geng, J., Corona, N., Pérez-Campos, X., Cabral-Cano, E., Ramirez-Guzmán, L. (2018). Deep embrittlement and complete rupture of the lithosphere during the Mw8.2 Tehuantepec earthquake. *Nature Geoscience*. 11(12): 955-960.
- Miller, S.A. (2020). Aftershocks are fluid-driven and decay rates controlled by permeability dynamics. *Nature Communications*. 11(1): 1-11.
- Pardo, M., Suárez, G. (1995). Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*. 100(B7), 12: 357-12,373.
- Ramírez-Herrera, M. T. Zamorano-Orozco, J. J. (2002). Coastal uplift and mortality of coralline algae caused by a 6.3Mw earthquake, Oaxaca, Mexico. *Journal of Coastal Research*. 18(1): 75-81.
- Ross, Z. E., Rollins, C., Cochran, E. S., Hauksson, E., Avouac, J.-P., & Ben-Zion, Y. (2017). Aftershocks driven by afterslip and fluid pressure sweeping through a fault-fracture mesh. *Geophys. Res. Lett.* 44: 8260-8267.
- SSN (2016): Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Consultado el 10 de noviembre de 2021, de <http://www.ssn.unam.mx> Reporte Especial del Sismo del día 8 de mayo de 2016, Oaxaca (M 6.0).
- SSN (2017): Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Consultado el 10 de noviembre de 2021, de <http://www.ssn.unam.mx> Reporte Especial del Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 Mw 8.2).
- SSN (2018): Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Consultado el 10 de noviembre de 2021, de <http://www.ssn.unam.mx> Reporte Especial del Sismo del día 16 de febrero de 2018 Costa de Oaxaca (M7.2).
- SSN (2019): Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Consultado el 10 de noviembre de 2021, de <http://www.ssn.unam.mx> Reporte especial: Secuencia sísmica del 21 de marzo de 2019, Costa de Oaxaca.
- Singh, S. K., Kostoglodov, V. Pacheco, F. J., (2002). "Intraslab earthquakes in the subducting oceanic plates below Mexico" in *The Cascadia Subduction Zone and Related Subduction Systems, U.S. Geological Survey Open-file report* 02-328.
- Singh, S. K., Suárez, G. Domínguez, T., (1985). The Oaxaca, Mexico, earthquake of 1931: lithospheric normal faulting in the subducted Cocos plate. *Nature*. 317(6032): 56-58.
- Singh, S. K., Ordaz, M., Pacheco, J. F., Quaa, R., Alcantara, L., Alcocer, S., Gutierrez, C., Meli, R. Ovando, E., (1999). A Preliminary Report on the Tehuacan, Mexico Earthquake of June 15, 1999 (Mw = 7.0). *Seismological Research Letters*. 70(5): 489-504.
- Singh, S. K., Ordaz, M., Alcántara, L., Shapiro, N., Kostoglodov, V., Pacheco, J. F., Ovando, E. (2000). The Oaxaca Earthquake of 30 September 1999 (Mw= 7.5): a normal-faulting event in the subducted Cocos plate. *Seismological Research Letters*. 71(1): 67-78.
- Suárez, G., Aguilar, S. (2019). The subduction zone in the Isthmus of Tehuantepec: A region affected by the compressional stress induced by the subduction of the Tehuantepec Ridge. *GEOS, Unión Geofísica Mexicana*. 39(2): 292.
- Suárez, G., Santoyo, M.A, Hjörleifsdóttir, V., Iglesias, A., Villafuerte, C., Cruz-Atienza, V.M., (2019). Large scale lithospheric detachment of the downing Cocos plate: The 8 September 2017 earthquake (Mw 8.2). *Earth and Planetary Science Letters*. 509: 9-14.
- UNAM Seismology Group. (2013). Ometepe-Pinotepa Nacional, Mexico Earthquake of 20 March 2012 (Mw7.5): A preliminary report. *Geofísica Internacional*. 52(2): 173-196.
- Yamamoto, J., González-Moran, T., Quintanar, L., Zavaleta, A. B., Zamora, A., Espindola, V. H. (2013). Seismic patterns of the Guerrero-Oaxaca, Mexico region, and its relationship to the continental margin structure. *Geophysical Journal International*. 192(1): 375-389.
- Ye, L., Lay, T., Bai, Y., Cheung, K. F., Kanamori, H. (2017). The 2017 Mw 8.2 Chiapas, Mexico, earthquake: energetic slab detachment. *Geophysical Research Letters*. 44(23): 11-824.

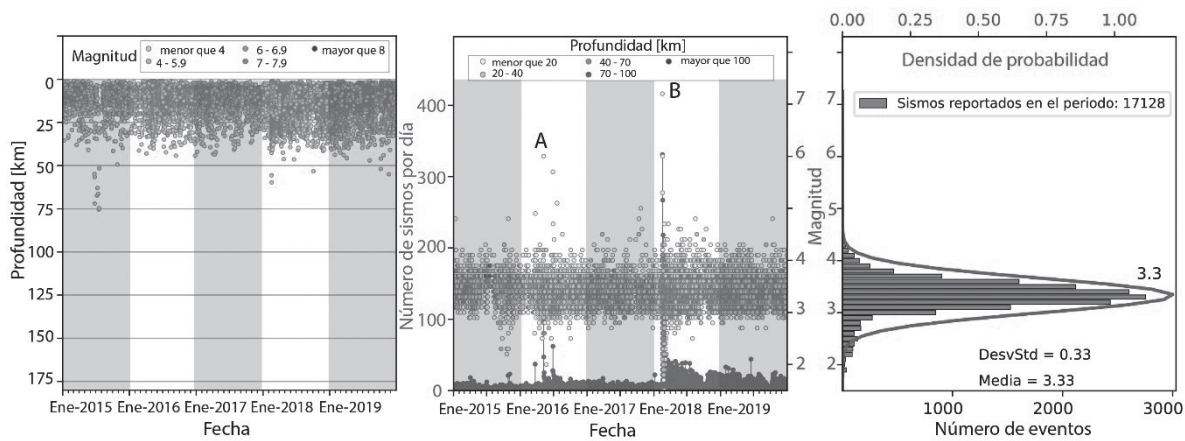


Figura 3. Ometepec-Pinotepa Nacional-Río Grande. (Izq.) Serie de tiempo versus profundidad, (centro) Serie de tiempo versus magnitud junto con número de sismos por día (lollipop), e histograma de magnitudes con función de densidad de probabilidad para el área de estudio de Ometepec-Pinotepa Nacional-Río Grande (der.). Las fechas están en tiempo local.

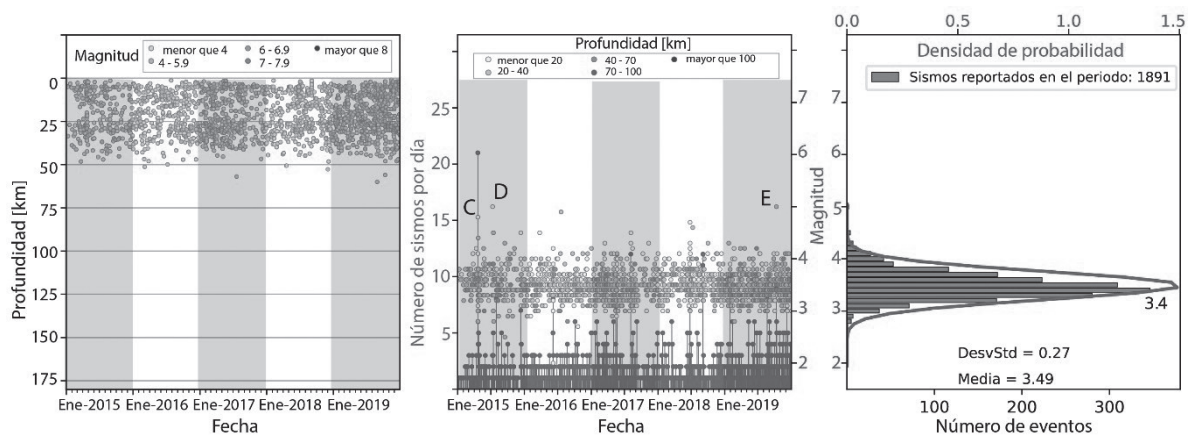


Figura 4. Puerto Escondido. (Izq.) Serie de tiempo versus profundidad, (centro) Serie de tiempo versus magnitud junto con número de sismos por día (lollipop), e histograma de magnitudes con función de densidad de probabilidad para el área de estudio de Puerto Escondido (der.). Las fechas están en tiempo local.

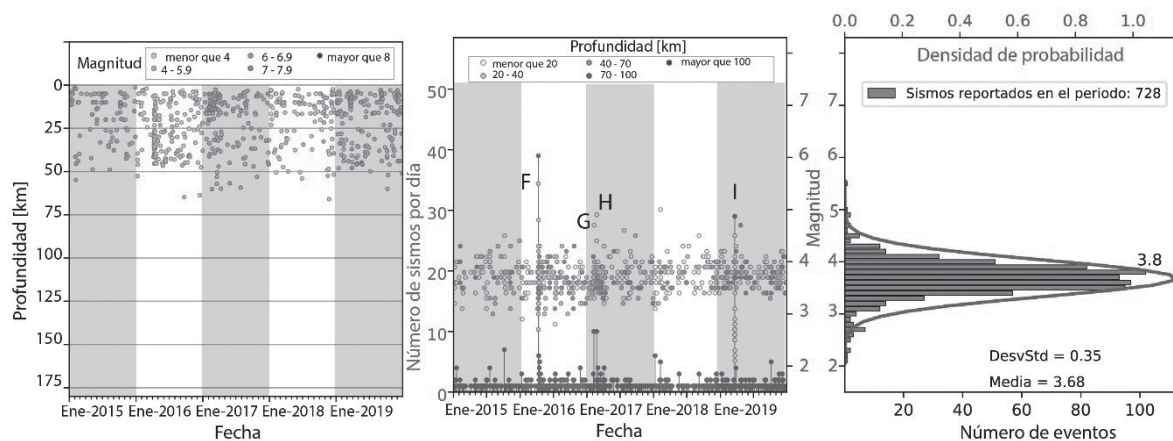


Figura 5. Pochutla-Huatulco. (Izq.) Serie de tiempo versus profundidad, (centro) Serie de tiempo versus magnitud junto con número de sismos por día (lollipop), e histograma de magnitudes con función de densidad de probabilidad para el área de estudio de Pochutla - Huatulco (der.). Las fechas están en tiempo local.

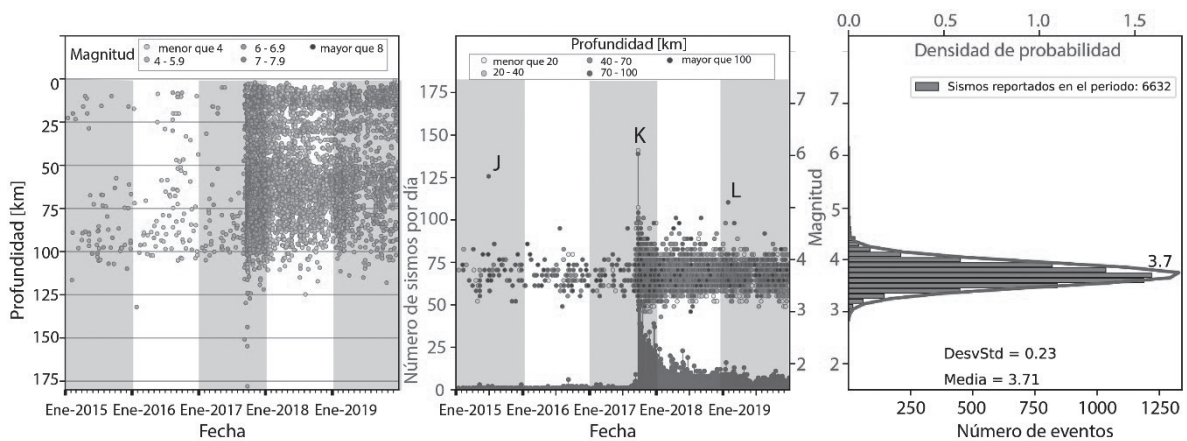


Figura 6. Salina Cruz-Juchitán. (Izq.) Serie de tiempo versus profundidad, (centro) Serie de tiempo versus magnitud junto con número de sismos por día (lollipops), e histograma de magnitudes con función de densidad de probabilidad para el área de estudio de Salina Cruz - Juchitán (der.). Las fechas están en tiempo local.

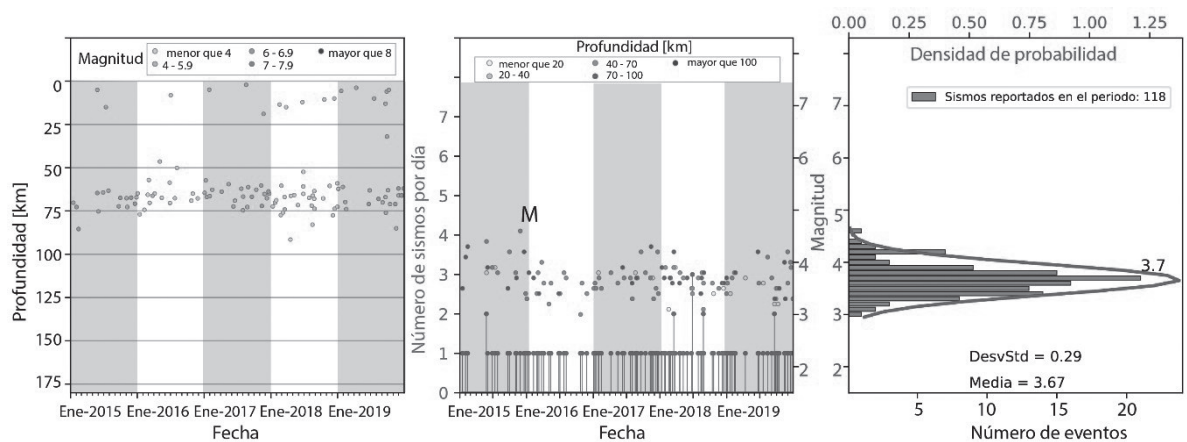


Figura 7. Ciudad de Oaxaca. (Izq.) Serie de tiempo versus profundidad, (centro) Serie de tiempo versus magnitud junto con número de sismos por día (lollipops), e histograma de magnitudes con función de densidad de probabilidad para el área de estudio de Ometepec-Pinotepa Nacional-Río Grande (der.). Las fechas están en tiempo local.

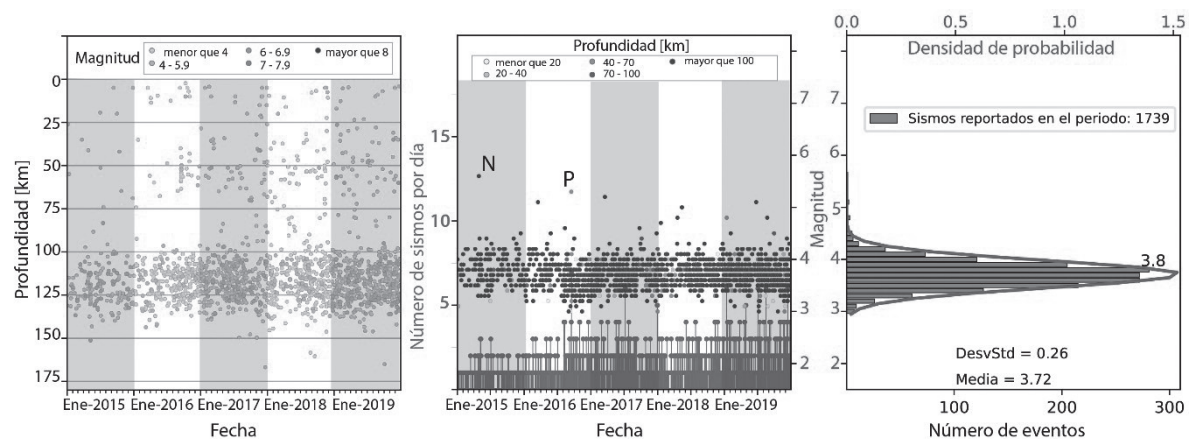


Figura 8. Matías Romero-Palomares. (Izq.) Serie de tiempo versus profundidad, (centro) Serie de tiempo versus magnitud junto con número de sismos por día (lollipops), e histograma de magnitudes con función de densidad de probabilidad para el área de estudio de Ometepec-Pinotepa Nacional-Río Grande (der.). Las fechas están en tiempo local.

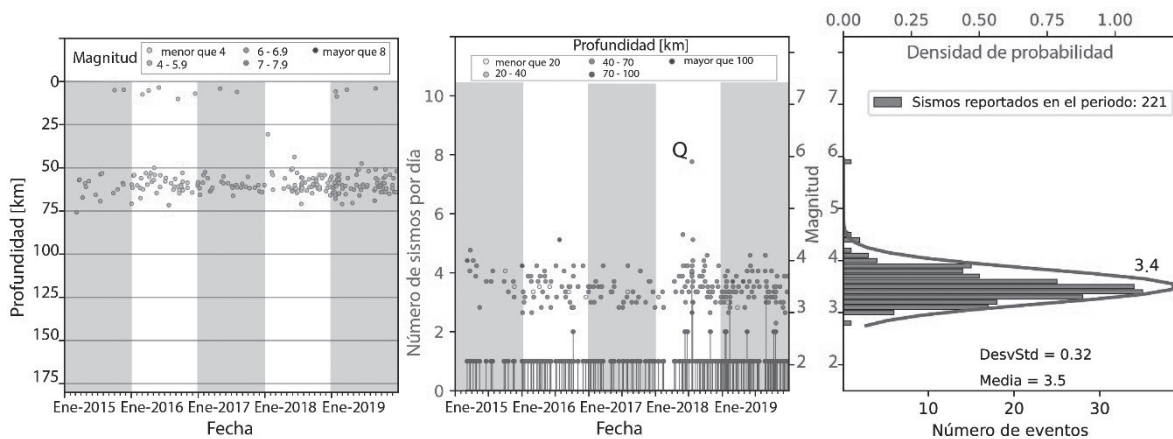


Figura 9. Huajuapán de León. (Izq.) Serie de tiempo versus profundidad, (centro) Serie de tiempo versus magnitud junto con número de sismos por día (lollipop), e histograma de magnitudes con función de densidad de probabilidad para el área de estudio de Salina Cruz - Juchitán (der.). Las fechas están en tiempo local.

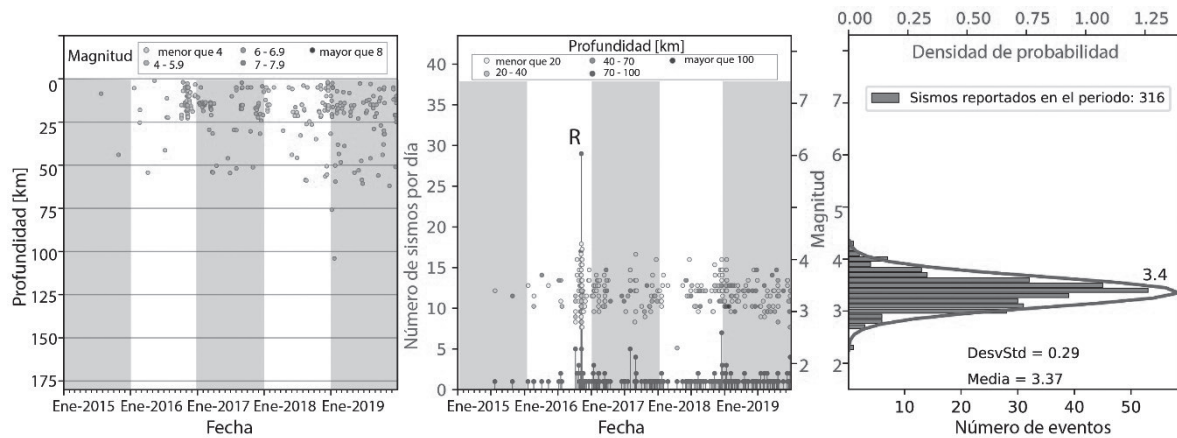


Figura 10. Putla-Yozondúa-Tlaxiaco. (Izq.) Serie de tiempo versus profundidad, (centro) Serie de tiempo versus magnitud junto con número de sismos por día (lollipop), e histograma de magnitudes con función de densidad de probabilidad para el área de estudio de Salina Cruz - Juchitán (der.). Las fechas están en tiempo local.

Universidad Tecnológica de la Mixteca UTM



Infraestructura

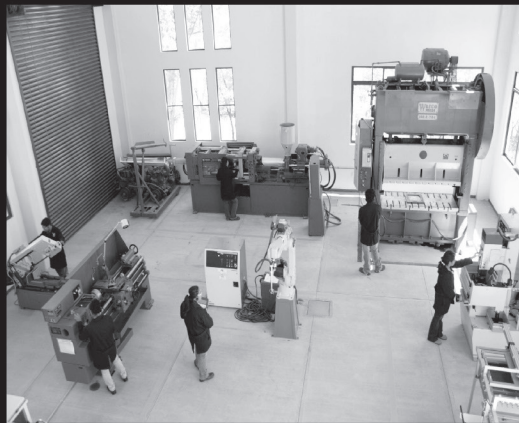
104 Ha. de dimensión
113 Edificios
48 Laboratorios
9 Talleres
Parque Tecnológico
Parque Solar Fotovoltaico
Agavetum



9 Institutos de Investigación

Instituto de Agroindustrias
Instituto de Computación
Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades
Instituto de Diseño
Instituto de Electrónica y Mecatrónica
Instituto de Física y Matemáticas
Instituto de Hidrología
Instituto de Minería
Instituto de Ingeniería Industrial y Mecánica Automotriz

Oferta Educativa



Licenciaturas

Ingeniería en Electrónica
Ingeniería en Computación
Ingeniería en Diseño
Ingeniería en Alimentos
Ingeniería Industrial
Ingeniería en Mecatrónica
Ingeniería en Física Aplicada
Ingeniería en Mecánica Automotriz
Ingeniería Civil
Licenciatura en Ciencias Empresariales
Licenciatura en Matemáticas Aplicadas
Licenciatura en Estudios Mexicanos (modalidad virtual)



INFORMES

Consulta las bases y requisitos en
www.utm.mx

Posgrado

Doctorado en Robótica
Doctorado en Modelación Matemática
Doctorado en Tecnologías de Cómputo Aplicado
Doctorado en Electrónica con especialidad en Sistemas Inteligentes Aplicados
Maestría en Robótica
Maestría en Medios Interactivos
Maestría en Administración de Negocios
Maestría en Tecnologías de Cómputo Aplicado
Maestría en Tecnología Avanzada de Manufactura
Maestría en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos
Maestría en Modelación Matemática
Maestría en diseño de Muebles
Maestría en diseño de Modas
Maestría en Ciencias de Materiales
Maestría en Electrónica con opción en Sistemas Inteligentes Aplicados
Maestría en Computación con especialidad en Sistemas Distribuidos (modalidad virtual)

