

# ESTRUCTURA DE VELOCIDADES BAJO EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO UNIVERSITARIO *TLAPIANI* DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Juan Carlos Montalvo-Arrieta<sup>1,\*</sup>, Luis Gerardo Ramos-Zuñiga<sup>1</sup> & Eduardo Pérez-Tijerina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

\* [juan.montalvoarr@uanl.edu.mx](mailto:juan.montalvoarr@uanl.edu.mx)

## Resumen

La estación ITCT instalada en el observatorio astronómico universitario *Tlapiani* de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, forma parte de una red regional de monitoreo sísmológico instalada por la Facultad de Ciencias de la Tierra. Por su ubicación privilegiada en el Cerro de Picachos, el observatorio astronómico ofrece además de la exploración del espacio, un sitio de roca para el estudio de la estructura interna de la Tierra, el monitoreo de la sismicidad local y la evaluación del peligro sísmico de los principales centros urbanos en el NE de México.

## Palabras clave

Sismicidad intraplaca, estructura interna de la Tierra, trayectorias sísmicas, peligro sísmico, Noreste de México

## Abstract

The ITCT station installed at the Tlapiani University Astronomical Observatory of the Faculty of Physical and Mathematical Sciences of the Universidad Autónoma de Nuevo León is part of a regional seismological monitoring network installed by the Faculty of Earth Sciences. Due to its privileged location on the Cerro de Picachos, the astronomical observatory offers, besides space exploration, a rock site for the study of the internal structure of the Earth, the monitoring of local seismicity, and the evaluation of the seismic hazard of the main urban centers in NE Mexico.

## Keywords

Intraplate seismicity, Earth's internal structure, seismic paths, seismic hazard, northeastern Mexico

## Introducción

El observatorio astronómico universitario Tlapiani de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL, Figura 1) localizado en el Cerro de Picachos a una altura de 2,284 metros

sobre el nivel medio del mar en el municipio de Iturbide, N. L., ha sido desarrollado para la exploración espacial, entre sus actividades principales se encuentran el monitoreo de asteroides, el clima y basura espacial. Este Observatorio representa uno de los mejores sitios para la observación astronómica en México

---

Montalvo-Arrieta, J.C., Ramos-Zuñiga, L.G. & Pérez-Tijerina, E. (2023): Estructura de velocidades bajo el Observatorio Astronómico Universitario Tlapiani de la Universidad Autónoma de Nuevo León. – en: Montalvo Arrieta, J.C., Ramírez Fernández, J.A., Aguilar-Madera, C.G., Jenchen, U., Salinas Jasso, J.A., Velasco-Tapia, F. & Navarro-de León, I. (eds.): Número especial en conmemoración del 90° Aniversario de la Universidad Autónoma de Nuevo León y del 40° Aniversario de la Facultad de Ciencias de la Tierra. – Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, Linares, **9** (2023): 103-109.

debido a que se encuentra lejos de la influencia urbana y con un 65% de noches despejadas, situado por debajo del observatorio de San Pedro Mártir coordinado por la Universidad Nacional Autónoma de México el cual cuenta con un 75% de noches despejadas.

El observatorio se encuentra cimentado sobre calizas de la Formación Cupido/Tamaulipas Inferior, lo que lo define como sitio de referencia desde un punto de vista sismológico y un excelente lugar para el monitoreo de la actividad sísmica a nivel local y para estudios de la estructura interna de la Tierra.

El conocimiento de la estructura interna de la Tierra es de gran interés para entender los procesos dinámicos que rigen la tectónica de placas. Desde un punto de vista sismológico, esto se lleva a cabo a partir de determinar la distribución de las

velocidades con respecto a la profundidad e identificar las principales discontinuidades (corteza, manto, núcleo). Se presentan resultados preliminares de la distribución de velocidades hasta la frontera entre la corteza continental y el manto superior conocida como la discontinuidad de Mohorovičić debajo del observatorio astronómico universitario (ITCT, Iturbide – Ciencias de la Tierra, siglas para la estación sismológica) obtenida a partir del registro de microtemores o vibración sísmica ambiental, así mismo por el tipo de sensor sismológico instalado, se presentan el registro de un telesismo, junto con la identificación de diferentes fases sísmicas profundas que han viajado por las diferentes discontinuidades del interior de la Tierra y el registro de un terremoto local por la red regional instalada en la porción central del estado de Nuevo León.



Figura 1: Observatorio astronómico universitario Tlapiani.

La estación ITCT forma parte de la red regional de monitoreo sísmico instalada por la Facultad de Ciencias de la Tierra de la UANL en la parte central del estado de Nuevo León. El equipo instalado desde enero de 2021 graba de manera continua con una velocidad de 100 muestras/s. Está conformado por un registrador digital de alto rango dinámico y de alta resolución modelo Obsidian 4X de Kinematics. Un mini sismómetro triaxial de banda ancha portátil de 120 segundos, modelo MBB-2 de Metrozet. Sistema de posicionamiento satelital GPS y suministro eléctrico para corriente alterna de 110V para alimentación autónoma.

## Estructura de velocidades

El procesado de registros de vibración sísmica ambiental ha sido de utilidad para estimar el espesor de la corteza y la profundidad del manto. Aquí se presenta el resultado de la determinación de la estructura de velocidades hasta la frontera entre la corteza continental y el manto superior debajo del

observatorio astronómico, se utilizó la secuencia de procesado descrita en [Montalvo-Arrieta et al. \(2023\)](#). Para esto, se seleccionaron de manera aleatoria, 5 horas continuas del registro de microtemores tomadas a partir de las 20:00 horas (hora local) del 01/07/2021. Se procesaron ventanas de 180 segundos, las cuales fueron corregidas por tendencia, suavizadas con una ventana de Konno y Ohmachi tipo coseno al 40% y filtradas en el rango de frecuencias de 0.01 a 20 Hz, para la generación de los cocientes espectrales H/V (horizontal/vertical). Estos fueron calculados con el software GEOPSY (*Geophysical Signal Database for Noise Array Processing*, [Wathelet et al., 2020](#)). A partir de los cocientes espectrales se obtuvieron las curvas de elipticidad. En el proceso de inversión de estas curvas se utilizó un algoritmo de vecindad condicional ([Sambrige, 1999](#); [Wathelet et al., 2004](#); [Wathelet, 2008](#)). El proceso de inversión produce un número definido de curvas de elipticidad del modo fundamental de ondas Rayleigh, para cada modelo se genera una curva teórica y luego se compara con la observada, cada curva representa una estructura de velocidades. La curva que presente el mejor ajuste

con el error más pequeño definirá el modelo final. La estructura de velocidades en el observatorio astronómico fue estimada a

partir de la generación de 20151 modelos. La Figura 2 presenta el modelo con el mejor ajuste.

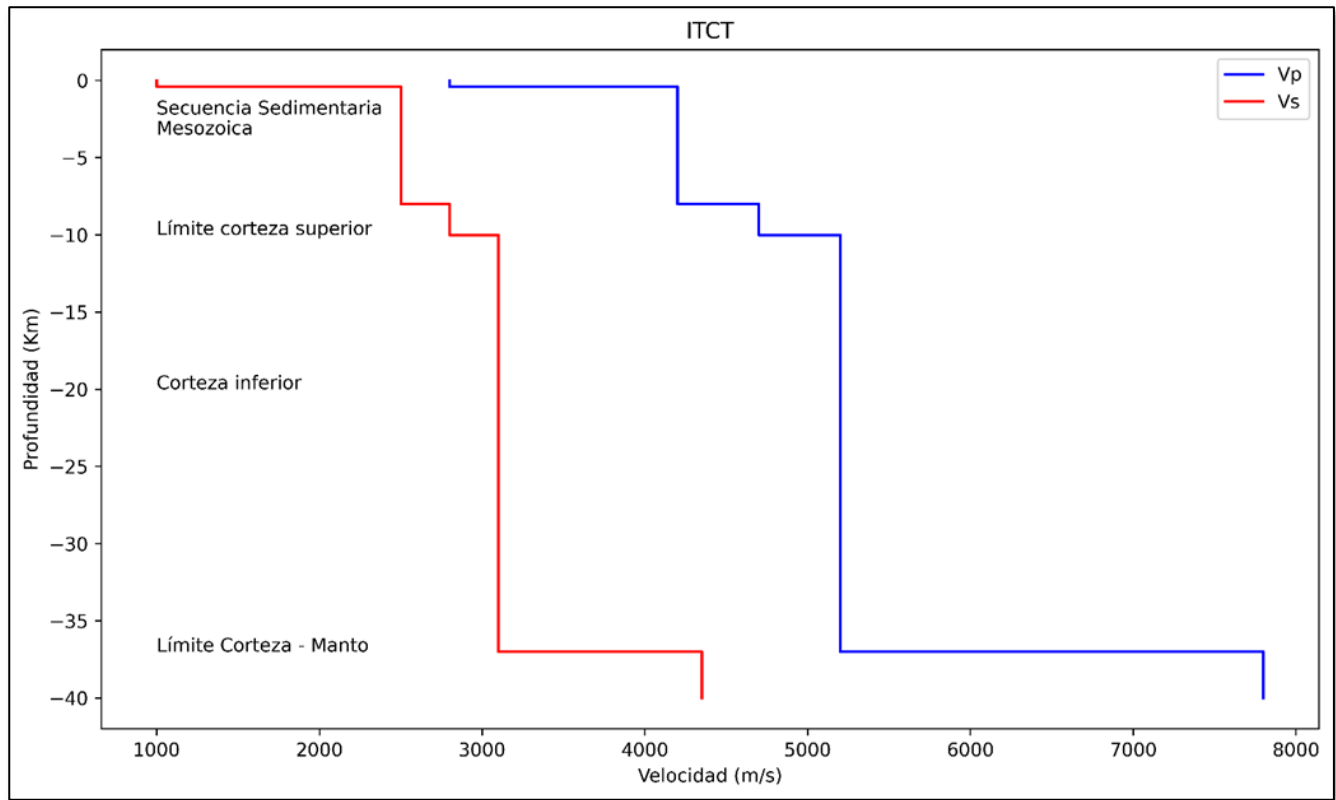


Figura 2: Estructura de velocidades de  $V_P$  y  $V_S$  para el observatorio astronómico universitario.

La estructura de velocidades de ondas  $P$  y  $S$  ( $V_P$  y  $V_S$ ) determinada está compuesta de 4 capas y un semiespacio (Tabla 1). Las velocidades  $V_P$  y  $V_S$  estimadas para la primera capa de 400 metros de espesor presentan valores de velocidad característicos de sitios de roca.

Tabla 1: Espesores y velocidades de propagación en ITCT.

Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	$V_P$ (m/s)	$V_S$ (m/s)
1	400	400	2,800	1,000
2	8,000	7,600	4,200	2,500
3	10,000	2,000	4,700	2,800
4	37,000	27,000	5,200	3,100
5	-	-	7,800	4,350

La segunda capa presenta un espesor de 7,600 m, que de acuerdo con Bartolini & Mickus (2001) se correlaciona con la secuencia sedimentaria de edad del Mesozoica. La tercera capa con un espesor de 2,000 m, representa el límite entre la corteza inferior y superior. La cuarta capa con un espesor de 27,000 m corresponde a la corteza inferior. Mientras que, el límite entre la corteza continental y manto superior se ubicó a una profundidad de 37,000 m, el cual coincide con valor estimado por Bartolini & Mickus (2001), a partir de realizar un modelo gravimétrico regional en la misma región.

En las siguientes secciones se presentan los tiempos de arribo y trayectorias en el manto y el núcleo exterior de diferentes fases sísmicas registradas en ITCT, a partir del telesismo generado en la región de Chignik, Alaska. Así mismo, se muestran las formas de onda de un terremoto local registrado en algunas de las estaciones que componen la red sísmológica regional y sus implicaciones en términos de peligro sísmico para las áreas metropolitanas de Monterrey y Saltillo-Ramos Arizpe.

### El terremoto de Alaska del 11/10/2021 (M6.9, Prof. 69.1 km)

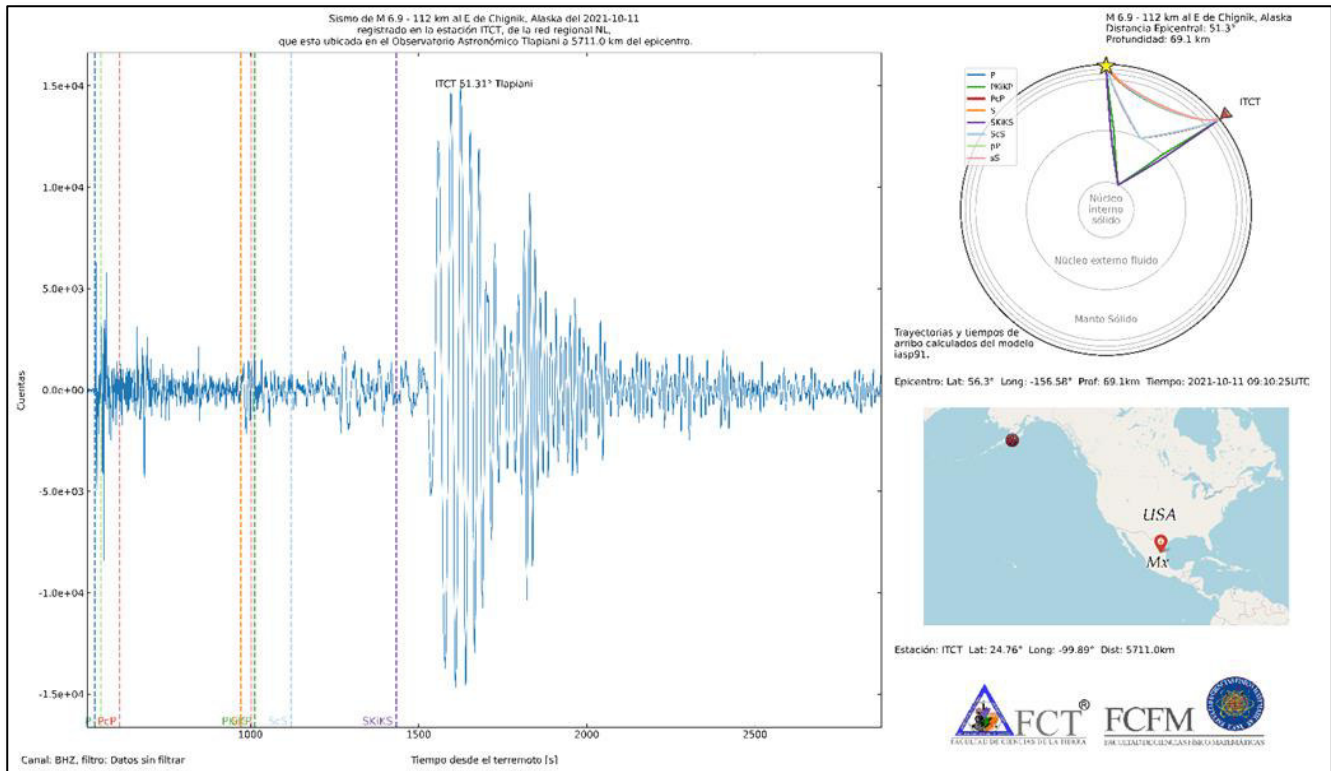
Debido a su ubicación y a la baja contribución de ruido urbano que puede ser registrado en la estación ITCT, la hacen una buena candidata para el estudio de la estructura interna de la Tierra. Mediante el uso del software *TauP* (Crotwell et al. 1999) se realizó el cálculo de los tiempos de viaje y las trayectorias de diversas fases sísmicas entre la ubicación del terremoto ocurrido el 11/10/2021 (56.3°N y 156.58°W) en la península de Alaska de M6.9 y la estación ITCT. La determinación de los tiempo de viaje y trayectorias es una de las actividades fundamentales en sísmología, ya que permite evaluar si los modelos de las

estructuras de velocidades a nivel regional o global son válidos para los lugares dónde se apliquen, así mismo, la comparación (similitud o diferencias) entre los tiempos de viaje calculados por modelos y los observados para terremotos determinados puede ayudar a identificar procesos tectónicos de interés relacionados con la dinámica interna del planeta.

El software *TauP* implementa el método de [Buland & Chapman \(1983\)](#) que permite el cálculo de tiempos de viaje y trayectorias para cualquier rayo que pase a través de modelos arbitrarios de velocidad con simetría esférica. Tomado en

consideración las características sobre esta simetría esférica, se modelaron los tiempos de viaje y trayectorias de algunas fases sísmicas usando el modelo de estructura interna de la Tierra IASP91 ([Kennett & Engdahl, 1991](#)).

El terremoto de Alaska se originó a 51.3° de distancia (5711 km) de la estación ITCT de acuerdo con el Centro Nacional de Información de Terremotos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (NEIC-USGS por sus siglas en inglés). La Figura 3 muestra las trayectorias de las fases P, pP, PcP, PKiKP, S, sS, ScS y SKiKS registradas en el observatorio astronómico.



**Figura 3:** Registro de la componente vertical del movimiento del suelo en ITCT, en líneas punteadas se identifican el arribo ondas sísmicas (imagen izquierda). Trayectorias en el interior de la Tierra de las fases P, pP, PcP, PKiKP, S, sS, ScS y SKiKS (superior derecha). Localización epicentral del terremoto de Alaska y de la estación ITCT (imagen inferior derecha).

El tiempo de arribo de la primera onda en llegar (fase *P*) a ITCT fue de 8.94 minutos (536.79 segundos) y corresponde a una trayectoria por el manto superior. Las siguientes fases en llegar fueron *pP*, *PcP*, *S*, *sS*, *PKiKP*, *ScS*, *SKiKS*. Las fases *pP* y *sS* tuvieron trayectorias por la corteza y el manto superior. Las fases profundas que se reflejaron en la frontera Manto – Núcleo exterior fueron *PcP* y *ScS*. Así mismo también se registraron las fases *PKiKP* y *SKiKS* que representan reflexiones de ondas *P* y *S* en la frontera entre el núcleo exterior e interior de la Tierra a una profundidad aproximada de 5000 km.

Contar con una base de datos de terremotos lejanos mejor conocidos como telesismos, permitirá identificar aspectos importantes sobre cambios en la composición mineralógica de

las diferentes fronteras presentes en la parte profunda de la Tierra debajo del estado de Nuevo León.

### Sismicidad local y peligro sísmico en las áreas metropolitanas de Monterrey, N. L., y Saltillo, Coahuila

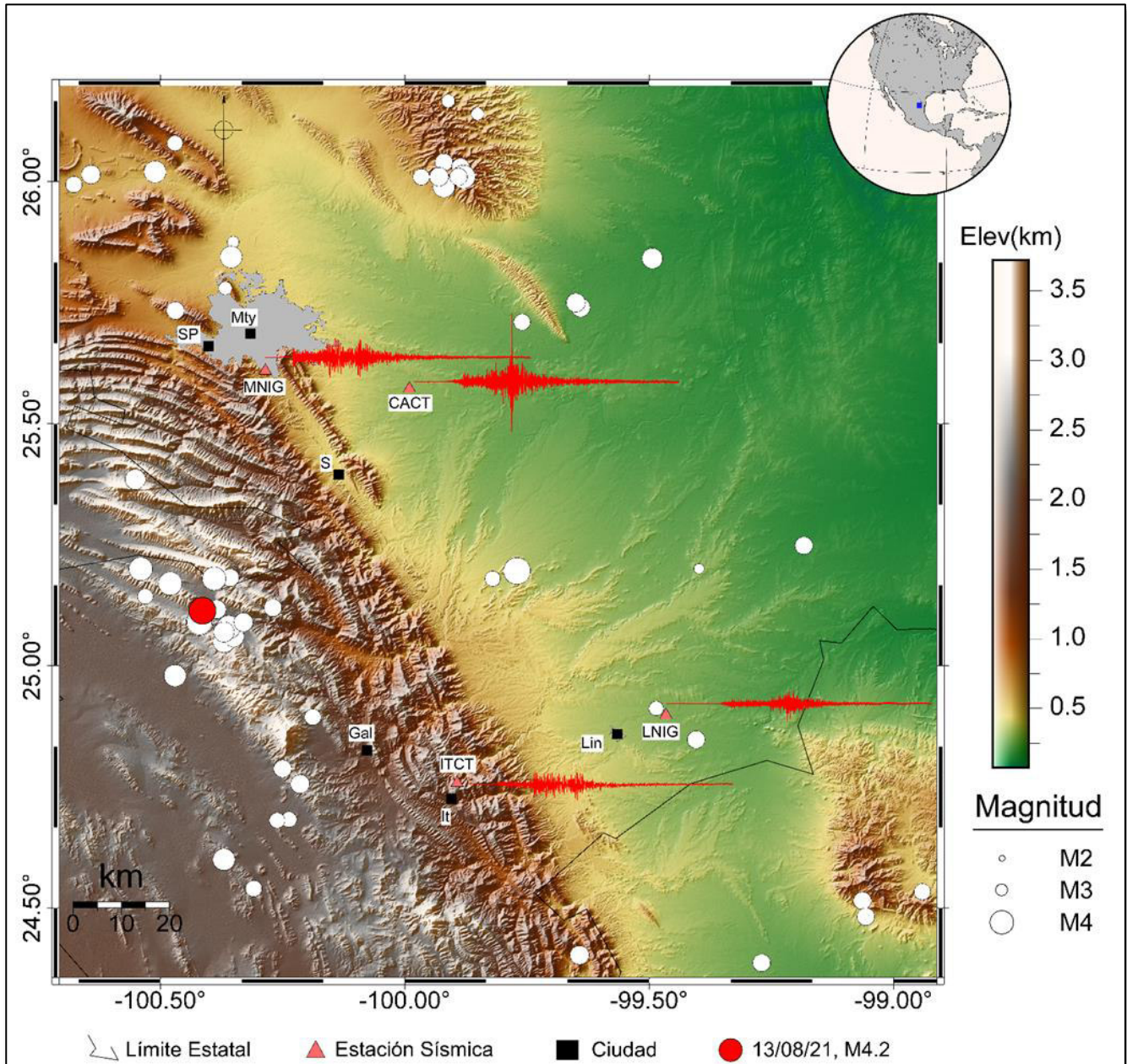
Como se mencionó anteriormente, la estación ITCT forma parte de una red regional (compuesta de seis estaciones de banda ancha) de monitoreo sísmico ubicada en la parte central del estado. La red tiene como objetivos: (a) identificar la naturaleza (tectónica y/o inducida) de la sismicidad local, (b) actualizar las localizaciones y el catálogo sísmológico generado por el



Servicio Sismológico Nacional, (c) determinar el tensor de momento sísmico para sismos con  $M \geq 3.9$  y (d) evaluar el entorno sismotectónico de la región para el estudio del peligro sísmico al que están expuestas las áreas metropolitanas de Monterrey, N. L. (AMM), y Saltillo, Coah. (AMS).

Durante el 2021 se originaron 101 sismos ( $2.8 \leq M \leq 4.3$ ) en los estados de Coahuila y Nuevo León, algunos de ellos fueron

sentidos en las AMM y AMS. Cabe mencionar que dentro de este periodo el área presentada en la Figura 4 fue dónde se concentró la mayor parte de la sismicidad (59 eventos). Principalmente en el sector suroeste de la Curvatura de Monterrey entre las ciudades de Galeana, N. L., y Saltillo, Coahuila. Como se puede observar en la figura algunos de estos terremotos tuvieron sus epicentros dentro del área metropolitana de Monterrey.



En la misma figura se muestra además el registro en velocidad del movimiento del suelo (componente N-S) grabados en las estaciones ITCT, CACT (Cadereyta), MNIG (Monterrey), y LNIG (Linares) del terremoto del 13/08/2021 M4.2 originado a 63 km al suroeste de Monterrey. Los registros de velocidad se presentan con un contenido muy fuerte en altas frecuencias, algo que se ha observado en otros sismos ocurridos en la región en distancias epicentrales menores a 150 km de las AMM y AMS. La baja atenuación de las ondas sísmicas a estas distancias tiene como consecuencia que en ambas áreas urbanas, las edificaciones con niveles menores a 10 pisos y que estén edificadas sobre un subsuelo parcial o pobremente consolidado estén más expuestas a experimentar fuertes sacudidas ante la ocurrencia de sismos moderados ( $M \leq 6.9$ ). Cabe mencionar que en la región se tiene evidencia de la ocurrencia del terremoto de Punta Santa Elena (M6.2) en el año de 1841 (Sosa-Ramírez et al., 2021) que causó el deceso de 8 personas. Durante este terremoto se reportaron colapsos y daños en Haciendas y casas en las cercanías del AMS. Es por eso, que el estudio de sismos con  $M \leq 4.5$  como los ocurridos en la región es de gran interés, ya que a través de estos eventos se puede modelar los efectos de terremotos con magnitudes similares al de Punta Santa Elena o mayores y su impacto en las diferentes zonas urbanas localizadas en el noreste de México.

## Conclusiones

La estación ITCT instalada en el observatorio astronómico universitario Tlapiani de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la UANL forma parte de una red regional de monitoreo sísmológico instalada por la Facultad de Ciencias de la Tierra en la parte central del estado de Nuevo León. Por su ubicación privilegiada en el Cerro de Picachos, el observatorio astronómico proporciona además de la exploración del espacio, un sitio de roca para el estudio de la estructura interna de la Tierra, el monitoreo de la sismicidad local y la evaluación del peligro sísmico de los principales centros urbanos en el NE de México.

A partir del procesado de microtemores se determinó la estructura de velocidades bajo el observatorio astronómico y se pudieron identificar las discontinuidades del Conrad (límite de la corteza continental superior y corteza continental inferior) a una profundidad de 10 km, mientras que el límite entre la corteza continental inferior debajo de la Sierra Madre Oriental y el manto superior (discontinuidad de Mohorovičić) se ubica a 37 km.

El registro de telesismo de Alaska (M6.9) a una distancia de  $51.3^\circ$  (5711 km) permitió identificar las trayectorias de las fases  $P$ ,  $pP$ ,  $PcP$ ,  $PKiKP$ ,  $S$ ,  $sS$ ,  $ScS$  y  $SKiKS$  en el observatorio astronómico.

Durante el periodo de monitoreo de la actividad sísmológica local del 01/01/2021 al 31/12/2021 se encontró una intensa actividad al sur de la curvatura de Monterrey. La actividad sísmica se caracteriza por ser de alta frecuencia y con una baja atenuación como lo muestra el terremoto del 13/08/2021, esto significa que el entorno geológico funciona de manera eficiente para la transmisión de las ondas sísmicas en distancias locales a regionales.

Finalmente, los datos proporcionados por esta red regional permitirán comprender mejor la naturaleza de sismicidad local (tectónica y/o inducida), a través de mejores localizaciones, determinación del tensor de momento sísmico de terremotos moderados y la evaluación del peligro sísmico en el NE de México.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de los proyectos: Estudio del origen de la Sismicidad local (es natural o inducida) y de la estructura de velocidades de la corteza y el manto superior en el Noreste de México, a partir de una Red Temporal. Parte I y II claves: PAICYT-UANL CT1251-20 y PAICYT-UANL CT1629-21 y Estudio del origen de la sismicidad local (es natural o inducida) y de la estructura de velocidades de la corteza y el manto superior en el noreste de México, a partir de una red temporal. Convocatoria Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica 2017. CONACYT clave 280657.

## Referencias

- Bartolini, C. & Mickus, K. (2001): Tectonic blocks, magmatic arcs, and oceanic terrains: A preliminary interpretation based on gravity, outcrop, and subsurface data, Northeast-Central Mexico. – American Association of Petroleum Geologists, *Memoirs*, **75**: 29-44.
- Buland, R. & Chapman, C.H. (1983): The Computation of Seismic Travel Times. – *Bulletin of the Seismological Society of America*, **73**(5): 1271-1302.
- Crotwell, H.P., Owens, T.J. & Ritsema, J. (1999): The TauP toolkit: flexible seismic travel-time and ray-path utilities. – *Seismological Research Letters*, **70**(2): 154-160.
- Kennett B.L.N. & Engdahl, E.R. (1991): Traveltimes for global earthquake location and phase identification. – *Geophysical Journal International*, **105**(1): 429-465.
- Ramos-Zuñiga, L.G. & Espíndola, V.H. (2023): Seismological evidence of basement and detachment fault reactivations in the northern sector of the front of the Salient of Monterrey, Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico. – *Acta Geophysica*. <https://doi.org/10.1007/s11600-023-01220-3>

- Sambridge, M. (1999): Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm—I. Searching a parameter space. – *Geophysical Journal International*, **138(2)**: 479-494. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.1999.00876x>
- Sosa-Ramírez, R.L., Paz Martínez, E.G. & Montalvo Arrieta, J.C. (2021): The  $M_w$  6.2 Punta Santa Elena (Coahuila-Zacatecas) earthquake of 28 April 1841, the largest documented pre-instrumental event and its implications on seismic hazard in Northeastern Mexico. – *Journal of Seismology*, **25(2)**: 477-485.
- Wathelet, M., Jongmans, D. & Ohrnberger, M. (2004): Surface-wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements. – *Near Surface Geophysics*: 211-221.
- Wathelet, M. (2008): An improved neighborhood algorithm: parameter conditions and dynamic scaling. – *Geophysical Research Letter*, **35**: L09301. <https://doi.org/10.1029/2008GL033256>
- Wathelet, M., Chatelain, J.-L., Cornou, C., Di Giulio, G., Guillier, B., Ohrnberger, M. & Savvaidis, A. (2020). Geopsy: A User-Friendly Open-Source Tool Set for Ambient Vibration Processing. – *Seismological Research Letters*. **91(3)**: 1878-1889, <https://doi.org/10.1785/0220190360>