

Análisis de la actividad sísmica en el noroeste de México durante el periodo de julio 2023 a julio 2024.

María Alejandra Núñez Leal*, Oscar Alberto Castro Artola, Luis Alejandro Yegres Herrera, Carlos Eduardo Reinoza Gómez, Francisco Javier Farfán Sánchez, Rogelio Arce Villa, Sergio Manuel Arregui Ojeda, Rogelio Ojeda Arechiga.

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

División de Ciencias de la Tierra, Departamento de Sismología.

Carretera Ensenada – Tijuana No. 3918, Zona Playitas, C. P. 22860, Ensenada, Baja California, México

*E-mail: anunez@cicese.mx

Resumen

La Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM), operada por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), realiza un monitoreo continuo de la actividad sísmica en el noroeste de México. Durante el periodo comprendido entre julio de 2023 y julio de 2024, la RESNOM registró un total de 4,100 eventos sísmicos, con magnitudes que variaron entre ML 0.4 y MW 5.6. Esta actividad sísmica se concentró principalmente en tres regiones: el Valle de la Trinidad, el Valle de Mexicali y frente a las costas cercanas a Loreto, Baja California Sur, en el Golfo de California. Entre los sismos registrados, se identificaron cinco eventos con magnitudes mayores o iguales a 5 ($M \geq 5$). De éstos, cuatro ocurrieron en el Golfo de California y uno en el Valle de Mexicali, cerca del poblado Delta. La actividad sísmica restante se distribuyó de la siguiente manera: 98 sismos con magnitudes entre 4 y 5 ($4 \leq M < 5$), 510 eventos con magnitudes entre 3 y 4 ($3 \leq M < 4$), 1,030 eventos con magnitudes entre 2 y 3 ($2 \leq M < 3$), 2,107 eventos con magnitudes entre 1 y 2 ($1 \leq M < 2$) y 218 sismos con magnitudes menores a 1 ($M < 1$).

En este trabajo se presenta un análisis temporal y espacial de la liberación de energía asociada a estas secuencias sísmicas, asumiendo una equivalencia entre ML y MW. Se destacan patrones de actividad sísmica y clusters principales, los cuales están directamente vinculados a sistemas de fallas tectónicas activas en la región.

Introducción

La RESNOM ha operado durante más de cuatro décadas y forma parte importante de la infraestructura del Departamento de Sismología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE). Esta red detecta y registra en forma continua la actividad sísmica que ocurre en los estados de Baja California, Sonora, Baja California Sur y Sinaloa. Esta región está caracterizada por un alto nivel de actividad tectónica debido a la interacción entre las placas Pacífico y Norteamérica. Esta frontera tectónica incluye al Sistema de Fallas San Andrés y a los sistemas asociados al proceso de apertura del Golfo de California.

Para llevar a cabo este monitoreo, la RESNOM procesa las señales de 116 estaciones (Figura 1) de las siguientes subredes: Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM) (CICESE, 2024), Red Sismológica de Banda Ancha del Golfo de California (RESBAN) (Castro et al., 2018), Redes Acelerométricas Urbanas de Baja California (RAUBC), RANOM (Red Acelerométrica del Noroeste de México) y la Red Sismológica de La Paz (RSLP). A través de convenios de colaboración interinstitucionales, también se integran datos de la Red de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional (SSN-UNAM, 1998) y de la Red Sísmica del Sur de California (SCSN; Caltech, 2013). Estas estaciones contribuyen al procesamiento inicial automatizado que genera localización, magnitud y un mapa preliminar

de intensidades. Posteriormente, los analistas realizan un refinamiento manual que incluye la determinación de parámetros avanzados, como el mecanismo focal y el tensor de momento sísmico (TMS) para eventos sísmicos significativos (Vidal-Villegas et al., 2018).

Distribución de la Sismicidad y patrones de liberación de energía

Durante el periodo de estudio, se localizaron 4,100 sismos con magnitudes entre ML 0.4 y MW 5.6. El análisis temporal de la actividad sísmica muestra que los periodos de mayor liberación de energía coincidieron con la ocurrencia de clusters, destacando la influencia de procesos tectónicos locales y regionales en las siguientes tres áreas:

1. Valle de la Trinidad

Se registraron 654 sismos de magnitudes $1.0 \leq M \leq 4.2$. El 27 y 28 de mayo de 2024, se registraron dos sismos M 4.2, (Grupo de trabajo RESNOM, 2024a). En la figura 2A se muestran los dos principales clusteres (C1 y C2) identificados en esta secuencia. El primero de ellos guarda relación con un aumento de sismicidad en julio de 2023, luego de la ocurrencia de un sismo de M 3.9. Por espacio de meses, la actividad permanece constante, hasta finales de mayo de 2024, donde se presentan los sismos de M 4.2 y se reporta un incremento importante en la sismicidad que ha sido agrupada en el clúster C2. El mecanismo focal revela una fuerte componente normal para el evento del 27 de mayo de 2024. Si bien, la falla de San Miguel es reconocida como una estructura transcurrente lateral derecha; el fallamiento cruzado, la presencia de pequeñas cuencas de tracción y, por ende, el fallamiento normal juegan un rol importante en la sismicidad de esta zona (Doser et al. 1992, Martínez et al. 2023a).

Se observa constante actividad sísmica en esta región durante todo el año de análisis (Figura

2B); pero que, además, es continuación de un incremento de la sismicidad desde el 17 de agosto de 2021, con la ocurrencia de un sismo de ML 5.1 en el Valle de Trinidad, específicamente en la intersección de la Falla San Miguel con una “fractura” orientada ortogonalmente (Martínez González, 2023b).

2. Secuencia del Valle de Mexicali

El 12 de mayo de 2024, comenzó una secuencia sísmica en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, cercano al poblado Estación Delta, en el valle de Mexicali, Baja California (Figura 3A). Esta actividad se concentró en el extremo noroeste de la falla Cerro Prieto y en la región comprendida entre las fallas Morelia y Nuevo León, dentro de una cuenca tipo pull-apart (Suárez-Vidal et al., 2010).

El sismo de mayor magnitud (M 5.0) ocurrió el 12 de mayo de 2024, el mecanismo focal de este evento revela fallamiento normal con componente de deslizamiento lateral, consistente con el régimen tectónico transtensional característico de la región (Grupo de trabajo RESNOM, 2024b). Durante el periodo analizado, se registraron en total 242 sismos con magnitudes comprendidas entre 1 y 5. Si bien, la actividad sísmica tuvo un comportamiento relevante a lo largo del año, como se puede observar en la Figura 3B, destacan dos clusters principales: el primero en agosto de 2023 (C3) y el segundo en mayo de 2024 (C4).

3. Secuencia del Golfo de California, costas de Loreto, BCS

En enero de 2024 se inició una serie de eventos sísmicos en la Cuenca Carmen, ubicada en el Golfo de California, aproximadamente a 70 km al noreste de la ciudad de Loreto, Baja California Sur (Figura 4A). La actividad sísmica se concentró entre las fallas transformantes Carmen y Farallón, delimitando los márgenes de la cuenca Carmen de tipo pull-apart (Bennett et al., 2013).

Durante el periodo analizado se registraron 509 eventos sísmicos con magnitudes entre M 1.0 y M 5.6. El evento de mayor magnitud (M 5.6) ocurrió el 18 de abril de 2024, acompañado por intensa actividad sísmica: 55 sismos se localizaron ese mismo día y, entre enero y abril de 2024, se contabilizaron 80 eventos con magnitud $M \geq 4$ (Figura 4B).

Los mecanismos focales obtenidos mediante la inversión del tensor de momento para los eventos más significativos revelan fallamiento normal y transformante, consistente con la tectónica activa de la región (Grupo de trabajo RESNOM, 2024c).

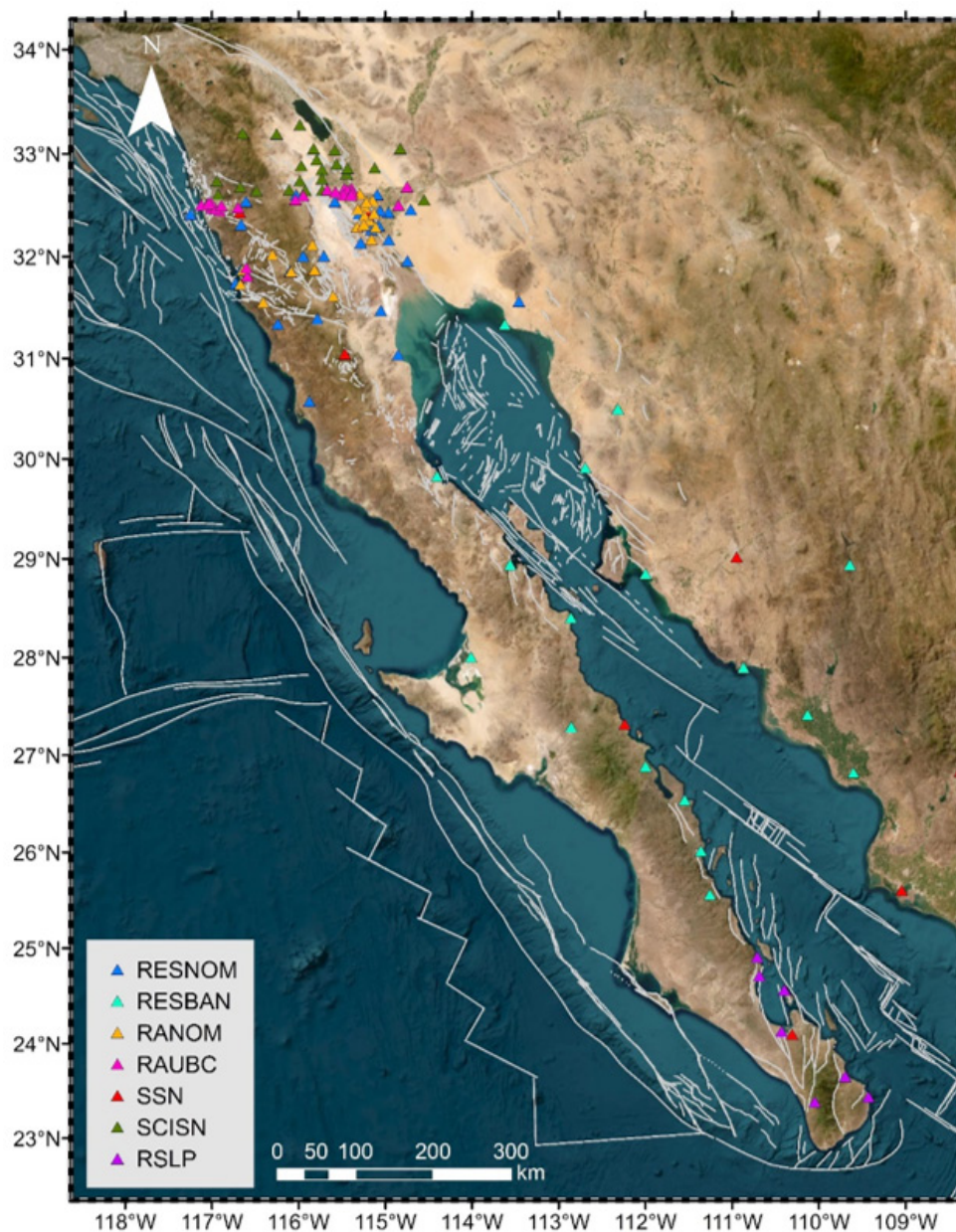


Figura 1. Estaciones de la Red Sísmica del CICESE, Servicio Sismológico Nacional (SSN) y Red del Sur de California (SCISN), utilizadas por la RESNOM, para localizaciones epicentrales y cálculo de magnitudes.

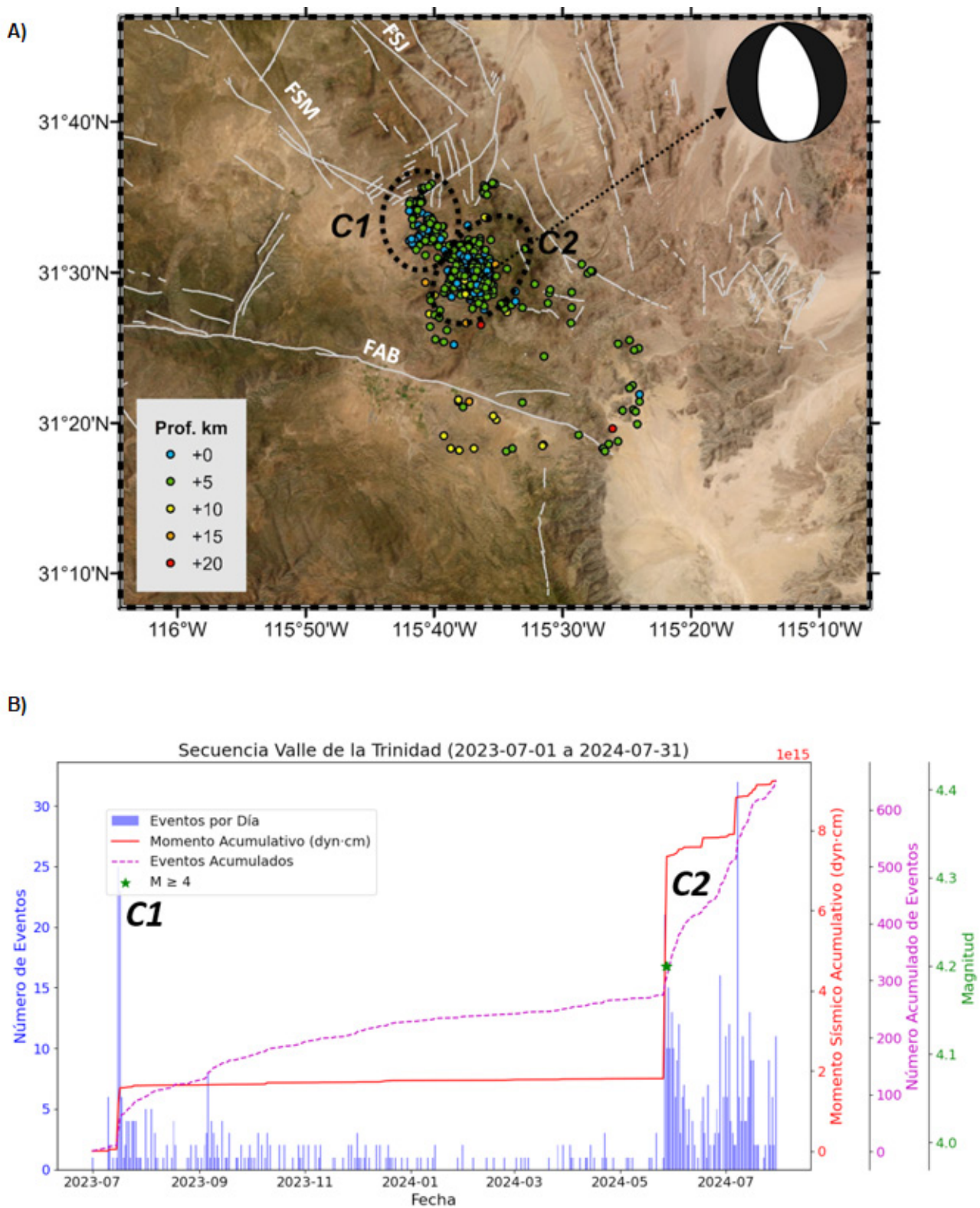


Figura 2. (A) Mapa que muestra la actividad sísmica registrada en el Valle de la Trinidad durante el periodo de julio de 2023 a julio de 2024, indicando la distribución espacial de los eventos sísmicos. (B) Gráfica del número de sismos registrados, el momento sísmico liberado y el número acumulado de eventos en el periodo analizado. FSI=Falla Sierra Juárez, FSM=Falla San Miguel, FAB=Falla Agua Blanca.

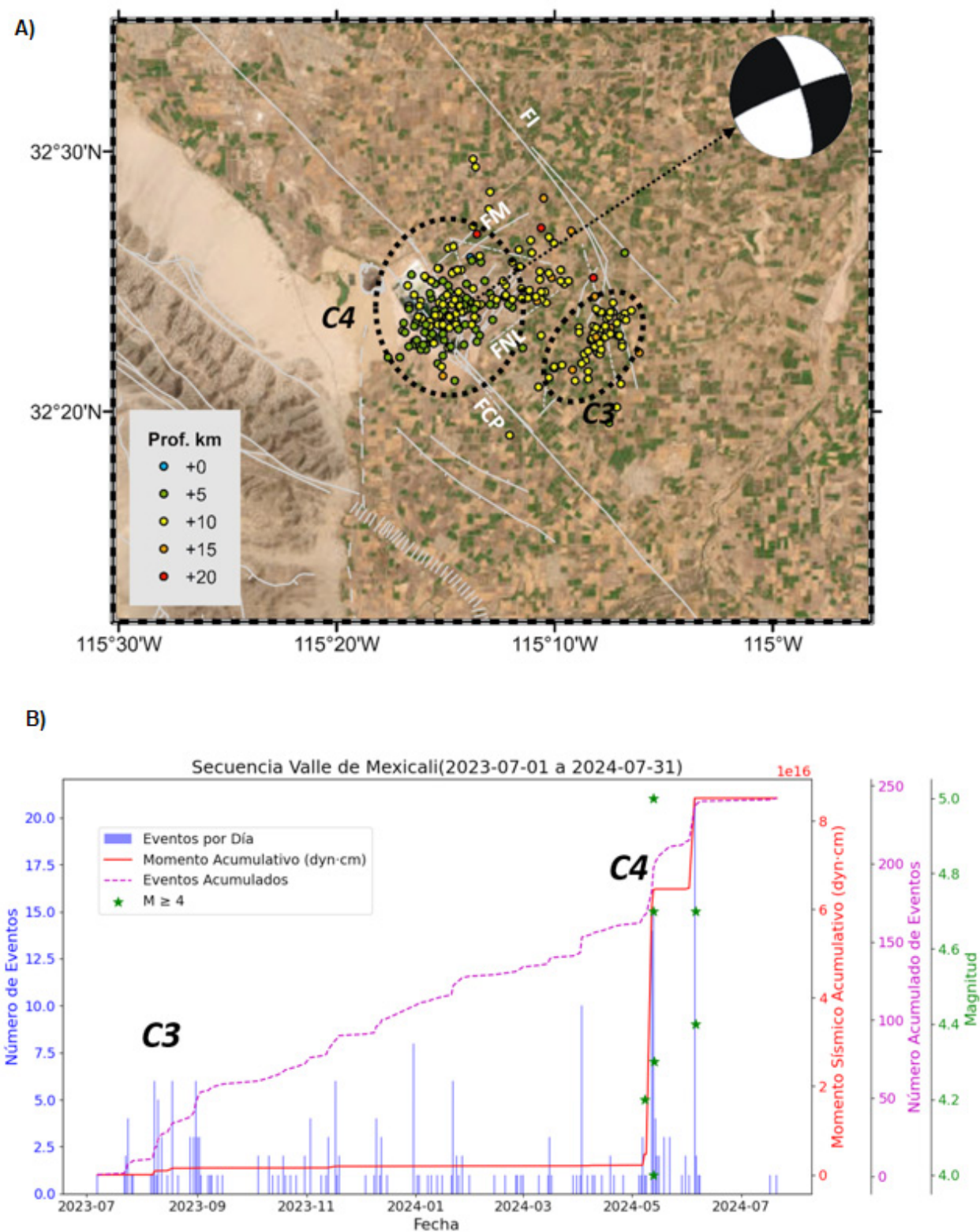


Figura 3. (A) Mapa de la actividad sísmica registrada en el Valle de Mexicali durante el periodo de julio de 2023 a julio de 2024, indicando la distribución espacial de los eventos sísmicos. (B) Gráfica del número de sismos registrados, el momento sísmico liberado y el número acumulado de eventos en el periodo analizado. FI=Falla Imperial, FM=Falla Morelia, FNL=Falla Nuevo León, FCP=Falla Cerro Prieto.

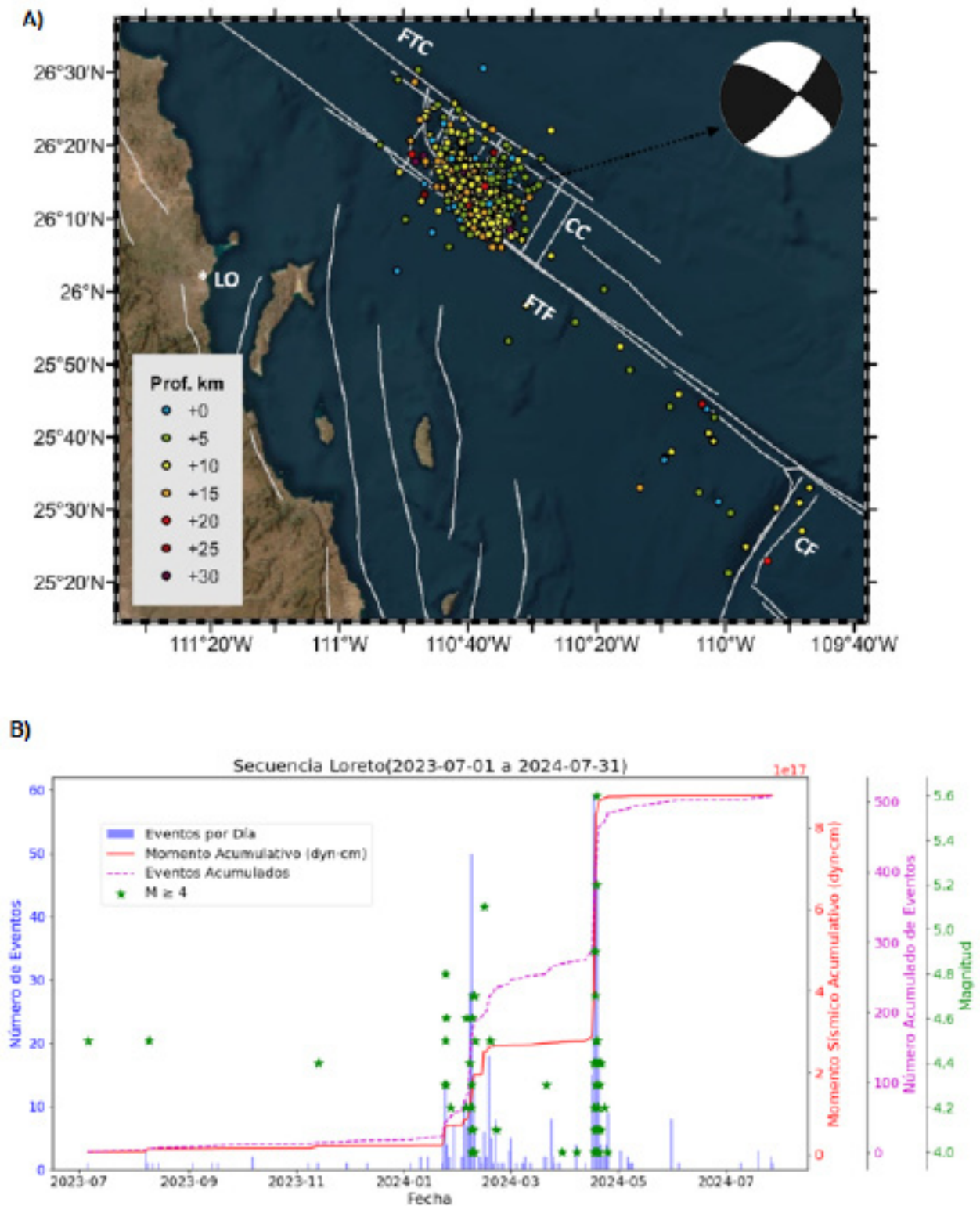


Figura 4. (A) Mapa de la actividad sísmica registrada en el Golfo de California, frente a las costas de Loreto BCS, durante el periodo de julio de 2023 a julio de 2024. (B) Representación gráfica del número de sismos registrados, el momento sísmico liberado y el número acumulativo de eventos en el periodo analizado. FTC=Falla Transformante Carmen, CC=Cuenca Carmen, FTF=Falla Transformante Farallón, CF=Cuenca Farallón, LO=Loreto.

Conclusiones

El periodo de julio de 2023 a julio de 2024 estuvo marcado por una actividad sísmica significativa en el noroeste de México, particularmente en el Valle de la Trinidad, Valle de Mexicali, Golfo de California frente a Loreto. Este estudio subraya la necesidad de continuar con el monitoreo detallado de estas áreas y de implementar estrategias que reduzcan los riesgos asociados a eventos sísmicos.

El análisis temporal de la actividad sísmica muestra que los periodos de mayor liberación de energía coincidieron con la ocurrencia de clusters, destacando la influencia de procesos tectónicos locales y regionales. Por ejemplo, los eventos en el Valle de Mexicali están asociados al Sistema de Fallas Cerro Prieto, mientras que la actividad en Loreto parece estar vinculada a procesos de extensión en el Golfo de California. El Valle de la Trinidad por su parte, está asociado a la zona de confluencia de cuatro sistemas de fallas principales de las Sierras Peninsulares de Baja California: Agua Blanca, San Miguel, Sierra Juárez y San Pedro Mártir.

Agradecimientos

Al CONAHCYT y al CICESE por el soporte económico para la operación y mantenimiento de la RSC, bajo el proyecto C0F117 “Redes Sismológicas del CICESE”. Al personal administrativo y de apoyo del CICESE. Al personal técnico y coordinadores de las subredes de la RSC: RESBAN RANOM, RAUBC, REGNOM y RSLP. A los directores y personal técnico del Servicio Sismológico Nacional de México (SSN) y la Red Sísmica del Sur de California (SCSN) en los EE.UU., por su disposición y apoyo para el intercambio de datos en tiempo real. A Luis Delgado Argote y el equipo editorial de GEOS.

Referencias

Bennett, S. & Oskin, M. & Iriondo, A. (2013). Transtensional rifting in the proto-Gulf of California near Bahía Kino, Sonora, México. *Geological Society of America Bulletin*, 125. 1752-1782. 10.1130/B30676.1.

Caltech (2013). Southern California Earthquake Center. <https://doi.org/10.7909/C3WD3xH1>

Castro, R. R., Mendoza-Camberos, A. and Pérez-Vertti, A. (2018). The Broad Band Seismological Network (RESBAN) of the Gulf of California, México. *Seismological Research Letters*, Vol. 89, No. 2A, pp. 338-344. <https://doi.org/10.1785/0220170117>

CICESE. (2024). Red Sísmica del Noroeste de México. <https://doi.org/10.7914/SN/BC>

Doser, D. I. (1992). Faulting processes of the 1956 San Miguel, Baja California, earthquake sequence. *Pure and Applied Geophysics*, 139(1), 3–16. <https://doi.org/10.1007/BF00876824>.

Grupo de trabajo RESNOM (2024a) Reporte del sismo del 27 de mayo de 2024 M4.2 https://resnom.cicese.mx/sitio/ui/img/Boletines/reporte_20240527_M4.2_v.1.1.pdf

Grupo de trabajo RESNOM (2024b) Reporte preliminar del sismo del 12 de mayo de 2024 M5. https://resnom.cicese.mx/sitio/ui/img/Boletines/reporte_20240512_M5.0_v.2.0.pdf

Grupo de trabajo RESNOM (2024c) Reporte de la secuencia sísmica del 23 de enero al 18 de abril de 2024. <https://resnom.cicese.mx/sitio/ui/img/Boletines/Golfo18abril.pdf>

Martínez González, A. I., Reinoza Gómez, C. E., Vidal Villegas, J. A., & Audemard M., F. A. (2023a). Evidencias de fallamiento ortogonal como responsable de la secuencia sísmica de Valle de la Trinidad, Baja California, 2020-2022. *Reunión anual UGM 2023*, 1–2.

Martínez González, A.I. (2023b). Relocalización hipocentral por doble-diferencia y cálculo del momento sísmico para la secuencia sísmica de Valle de la Trinidad, Baja California, para el período 2020-2022. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 91 pp.

Suárez-Vidal, F., Mendoza-Borunda, R., Nafarrete-Zamarripa, L., Ramírez-Hernández, J., & Glowacka, E. (2010). Shape and dimensions of the Cerro Prieto pull-apart basin, Mexicali, Baja California, Mexico, based on the regional seismic record and surface structures. *International Geology Review*, 50(7), 636-649. doi: 10.2747/0020-6814.50.7.636.

UNAM (1998). Servicio Sismológico Nacional. UNAM. URL <http://www.ssn.unam.mx/> (accedida el 5.17.21).

Vidal Villegas, J. A., Munguía Orozco, L., González Ortega, J. A., Nuñez Leal, M. A., Ramírez Ramos, E. E., Mendoza Garcilazo, L. H., Castro Escamilla, R. R., and Wong Ortega, V. M. (2018). The Northwest Mexico Seismic Network: real time seismic monitoring in northern Baja California and northwestern Sonora, Mexico. *Seismological Research Letters*, 89(2A), 324–337 <https://doi.org/10.1785/0220170183>