

Boletín de Sismicidad registrada por la Red Sismológica del Noroeste de México Enero – diciembre 2023

Correo electrónico y página web RESNOM: resnor@cicese.mx; resnom.cicese.mx

Grupo RESNOM

Oscar Alberto Castro Artola (Coordinador), Rogelio Arce Villa, Sergio Manuel Arregui Ojeda, Guillermo Eduardo Díaz de Cossío Batani, Francisco Javier Farfán Sánchez, Jesús Oscar Gálvez Valdez, *María Alejandra Núñez Leal, Rogelio Ojeda Aréchiga, Luis Alejandro Yegres Herrera.

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

Introducción

La Red Sísmica del Noroeste de México (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 (CICESE). Esta red, detecta y registra en forma continua la actividad sísmica que ocurre en Baja California, Sonora, Golfo de California, Baja California Sur y Sinaloa, para lo cual se procesan las señales de 116 estaciones (83 en tiempo real) de las siguientes subredes: Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM) (CICESE, 1980), 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), Red Sismológica de La Paz (RSLP). A través de convenios de colaboración interinstitucionales, la Red de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional (SSN-UNAM, 1998) y la Red Sísmica del Sur de California (SCSN, por sus siglas en inglés, Caltech, 2013) envían datos de estaciones de interés para la región. Todas las señales se procesan inicialmente de manera automática para obtener localización, magnitud y mapa preliminar de intensidades. Posteriormente se realiza un post-procesamiento donde intervienen analistas para obtener datos más precisos de localización, magnitud (ML, MC y, para los sismos de magnitud $M > 6$, se calcula MW),

mecanismo focal y tensor de momento sísmico (TMS) para los sismos importantes.

Durante el año 2023 la RESNOM registró un total de 3 027 sismos de magnitudes entre ML 0.4 y Mw 6.4. El sismo de mayor magnitud (6.4), ocurrió el 18 de junio de 2023 a las 20:30:22 hora UTC en el Golfo de California, a 106 km al este de las costas de San José del Cabo, Baja California Sur.

Estaciones RESNOM

Actualmente la RESNOM cuenta con 28 estaciones de banda ancha, 13 de las cuales están integradas por un sensor de velocidad triaxial marca Guralp 3ESPC y un sensor de aceleración triaxial marca Kinematics, modelo Episensor FBA ES-T. Las señales se digitalizan utilizando digitalizadores Reftek 130-01 de seis canales con 24 bits de resolución. Otras 13 estaciones cuentan con un sismómetro de banda ancha marca Nanometrics modelo Trillium Compact 120S, un sensor de aceleración triaxial marca Kinematics Episensor FBA ES-T y un digitalizador Reftek 130-01 de seis canales con 24 bits de resolución. Una estación cuenta con un sismómetro de banda ancha Nanometrics, Trillium Compact 120S, un sensor de aceleración triaxial Nanometrics modelo Titan y un digitalizador Nanometrics Centaur de seis canales. La estación restante, está conformada

por un sensor de velocidad marca Guralp CM-40T y un digitalizador DAS Reftek 130 de tres canales. Todas las señales se digitalizan a 100 muestras por segundo y, para el control de tiempo universal, se utilizan Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). Las señales digitalizadas se transmiten de manera continua en tiempo real al centro de procesamiento de datos de la RESNOM en el CICESE utilizando enlaces de internet convencional, celular o satelital.

Para la localización de los sismos y el cálculo de magnitudes, además de las estaciones propias de RESNOM, se procesan 17 estaciones de RESBAN (banda ancha y aceleración), 25 estaciones de RAUBC (aceleración), una estación de la RSLP (banda ancha), ocho estaciones del Servicio Sismológico Nacional (banda ancha) y 16 estaciones de la Red del Sur de California (banda ancha y periodo corto). La cobertura de todas las estaciones procesadas se muestra en la Figura 1.

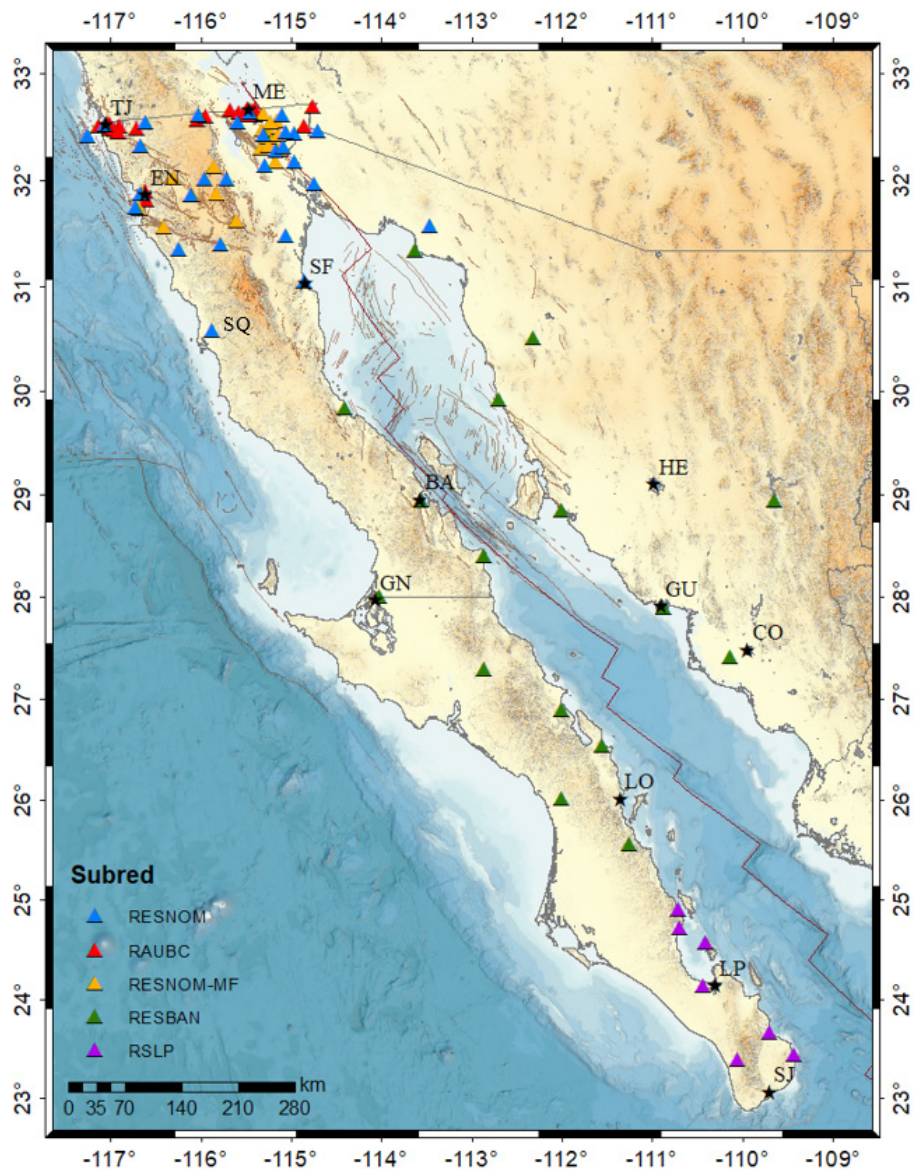


Figura 1. Ubicación de las estaciones procesadas por RESNOM para la detección de actividad sísmica en el noroeste de México durante 2023. Ciudades importantes: BA-Bahía de los Ángeles, CO-Ciudad Obregón, EN-Ensenada, GN-Guerrero Negro, GU-Guaymas, HE-Hermosillo, LO-Loreto, LP-La Paz, ME-Mexicali, SF-San Felipe, SJ-San José del Cabo, SQ-San Quintín, TJ-Tijuana.

Procesamiento de Datos

Automático

Las señales sísmicas se reciben en el centro de procesamiento de la RESNOM y se analizan y procesan automáticamente utilizando el sistema AQMS/Earthworm (Hartog *et al.*, 2020 y Johnson *et al.*, 1995) para la detección, el cálculo de tiempos de arribo, la localización hipocentral y el cálculo de magnitudes M_L y M_c (en la sección Magnitud se describen los detalles). Además, para los sismos de magnitud $M > 3$ se generan mapas de intensidad utilizando el programa Shakemap (Worden y Wald, 2016).

Manual

Después del proceso automático, un analista revisa los datos para obtener tiempo de origen, localización hipocentral y magnitudes con una incertidumbre menor que la del sistema automático. Además, para los sismos importantes se complementa la información con la obtención de mecanismos focales utilizando el programa FMHASH y/o ISOLA (Kalafat *et al.*, 2019). Los programas utilizados para el post-procesamiento son Seisan (Havskov *et al.*, 2020) y Jiggle (Hartog *et al.*, 2020).

Localizaciones Hipocentrales

El cálculo de la localización hipocentral automática es realizado con el programa Earthworm en conjunto con ANSS Quake Monitoring System (AQMS, por sus siglas en inglés) y con el programa Hypoinverse (Kleim, 2002). Para el cálculo manual, el cual es el reportado en este boletín y en el catálogo de RESNOM, se utilizan los programas Jiggle y Seisan (Vidal *et al.*, 2018).

Modelos de Velocidades

Para el proceso de localización de eventos locales y regionales se usan cinco modelos de velocidades que se muestran en la Tabla 1. Para los sismos en el Macizo Rocos de Baja California se utiliza el modelo de velocidades de Nava y Brune (1982) y, para el Valle de Mexicali, una versión modificada del modelo de velocidades propuesto para el Valle Imperial por McMechan y Mooney (1980). En el Golfo de California se utilizan tres modelos de velocidades: en el sur se usa el modelo propuesto por Fabriol y colaboradores (1999) y, para el resto del Golfo, se toman los modelos de Dorsey y colaboradores (2013).

Tabla 1.- Modelos de Velocidades Sísmicas utilizados por RESNOM.

Macizo Rcoso (O)		Valle de Mexicali (V)		Bahía (F)		Golfo Centro (G)		Golfo Sur (L)	
Profundidad Km	Velocidad km/s	Profundidad Km	Velocidad km/s	Profundidad Km	Velocidad km/s	Profundidad Km	Velocidad km/s	Profundidad Km	Velocidad km/s
0.0 – 5.0	5.6	0.0 – 0.1	1.7	0.0	1.96	0.0	4.0	0.0	4.0
5.0 – 19.8	6.6	0.10 – 0.73	2.0	2.0	4.60	4.0	5.7	2.0	6.0
19.8 – 41.8	7.0	0.73 – 1.8	2.3	8.0	5.52	8.0	6.7	7.0	6.40
41.8 –	8.0	1.8 – 2.9	2.6	19.0	6.66	24.0	8.0	14.0	6.90
		2.9 – 5.6	3.0	24.0	7.90			24.0	7.60
		5.62 – 10.0	5.0	55.0	8.30			80.0	8.0
		10.0 – 20.0	6.1						
		20.0 – 30.0	7.8						
		30.0 –	8.0						

Magnitudes reportadas

En este boletín se reportan tres tipos de magnitudes: Magnitud local (ML), Magnitud de coda (MC) y, para los sismos de magnitud > 5 , se reporta la magnitud de momento (Mw).

Magnitud Local (ML)

ML se calcula con base en las amplitudes registradas corregidas por la respuesta instrumental (amplitudes Wood-Anderson sintéticas en nm). Para este cálculo, son utilizadas las fórmulas de Vidal y Munguía (1999) que se muestran enseguidas.

Para los sismos en el Valle de Mexicali:

$$ML = \log_{10}(amp) + 1.0134 \log_{10}(dist) + 0.0025(dist) - 1.96$$

Para los sismos en el Macizo Rocosos:

$$ML = \log_{10}(amp) + 1.1319 \log_{10}(dist) + 0.0017(dist) - 2.11$$

donde *dist* es la distancia hipocentral en km y *amp* es la amplitud corregida por la respuesta instrumental (amplitudes Wood-Anderson sintéticas en nm).

Magnitud de coda (Mc)

Esta se calcula con base en la duración de la señal. Se obtiene con la fórmula propuesta por González y García (1986):

$$Mc = -0.85 + 2.24 \log_{10}(T)$$

Donde T es la longitud de coda en segundos.

Magnitud Momento (Mw)

El cálculo de la Magnitud Momento se basa en el momento sísmico escalar (Mo).

$$Mw = 2/3 (\log_{10}(Mo) - 9.1)$$

Descripción de la sismicidad Enero a Diciembre de 2023

Durante el año 2023 la Red Sísmica del Noroeste de México registró y procesó un total de 3 027 eventos dentro de un rango de $0.4 \leq M \leq 6.4$. En la Tabla 2 se muestra la distribución de los sismos por mes y magnitud.

En los mapas de las Figuras 3 y 4 se muestran los epicentros de la actividad sísmica registrada en Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Golfo de California (Figura 3). El color del círculo de los epicentros indica la profundidad, el tamaño y la magnitud. El sismo de mayor magnitud registrado fue de $Mw \sim 6.4$ y se localiza a 106 km al este del poblado de San José del Cabo, Los Cabos, Baja California Sur. En la Figura 4 se muestra un acercamiento de la región correspondiente al norte de Baja California y sur de California, E.U.A.

Disponibilidad de datos

El catálogo completo de la RESNOM se encuentra disponible y abierto al público en su página web resnom.cicese.mx. Además, mensualmente se generan boletines de localizaciones y tiempos de arribo, los cuales también están disponibles en la sección de Boletines de la misma página web y son enviados al Centro Internacional de Sismología (ISC por sus siglas en inglés). Los tiempos de arribo mensuales de la RESNOM, están disponibles al público en su página web <http://www.isc.ac.uk/>.

Agradecimientos y financiamiento

Al CONAHCYT y al CICESE por el soporte económico para la operación y mantenimiento de la RSC, bajo el proyecto COF117 “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

Tabla 2.- Sismos registrados por RESNOM durante 2023

Mes	No. Sismos	M<1	1≤M<2	2≤M<3	3≤M<4	4≤M<5	5≤M<6	6≤M<7	M≥7
Enero	191	3	113	59	16	0	0	0	0
Febrero	237	7	100	107	22	1	0	0	0
Marzo	191	2	94	78	16	1	0	0	0
Abril	244	3	136	86	13	6	0	0	0
Mayo	266	7	116	88	42	13	0	0	0
Junio	244	17	144	58	23	1	0	1	0
Julio	298	12	166	87	25	8	0	0	0
Agosto	303	16	174	89	22	2	0	0	0
Septiembre	251	16	152	70	11	2	0	0	0
Octubre	226	7	144	56	19	0	0	0	0
Noviembre	234	13	139	63	17	2	0	0	0
Diciembre	342	23	225	72	20	2	0	0	0
Total	3027	126	1703	913	246	38	0	1	0

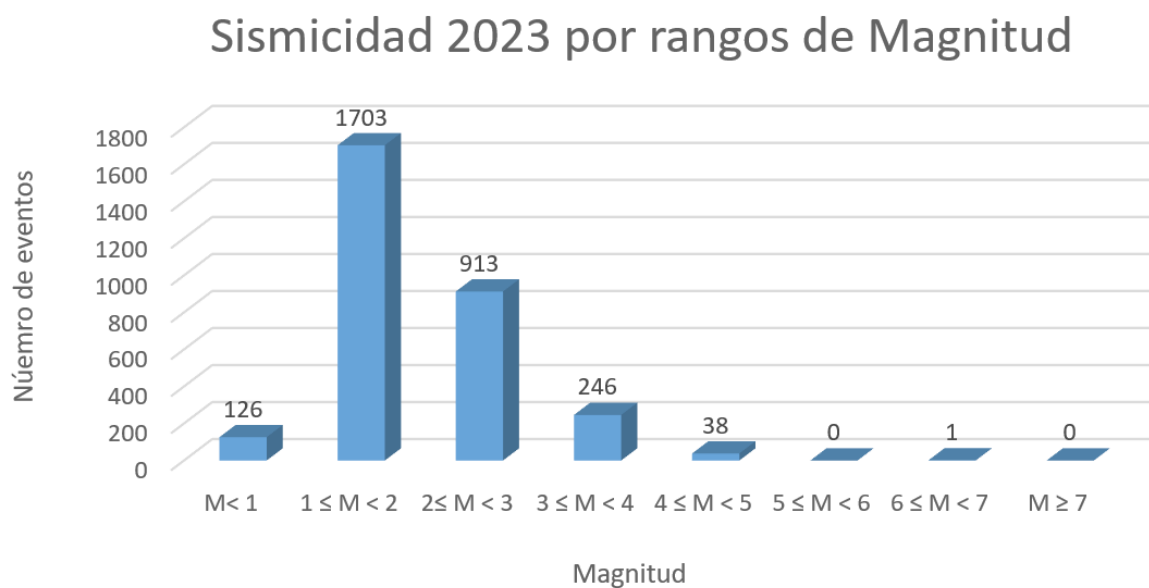


Figura 2.- Distribución por magnitud de sismos registrados por RESNOM durante 2023.

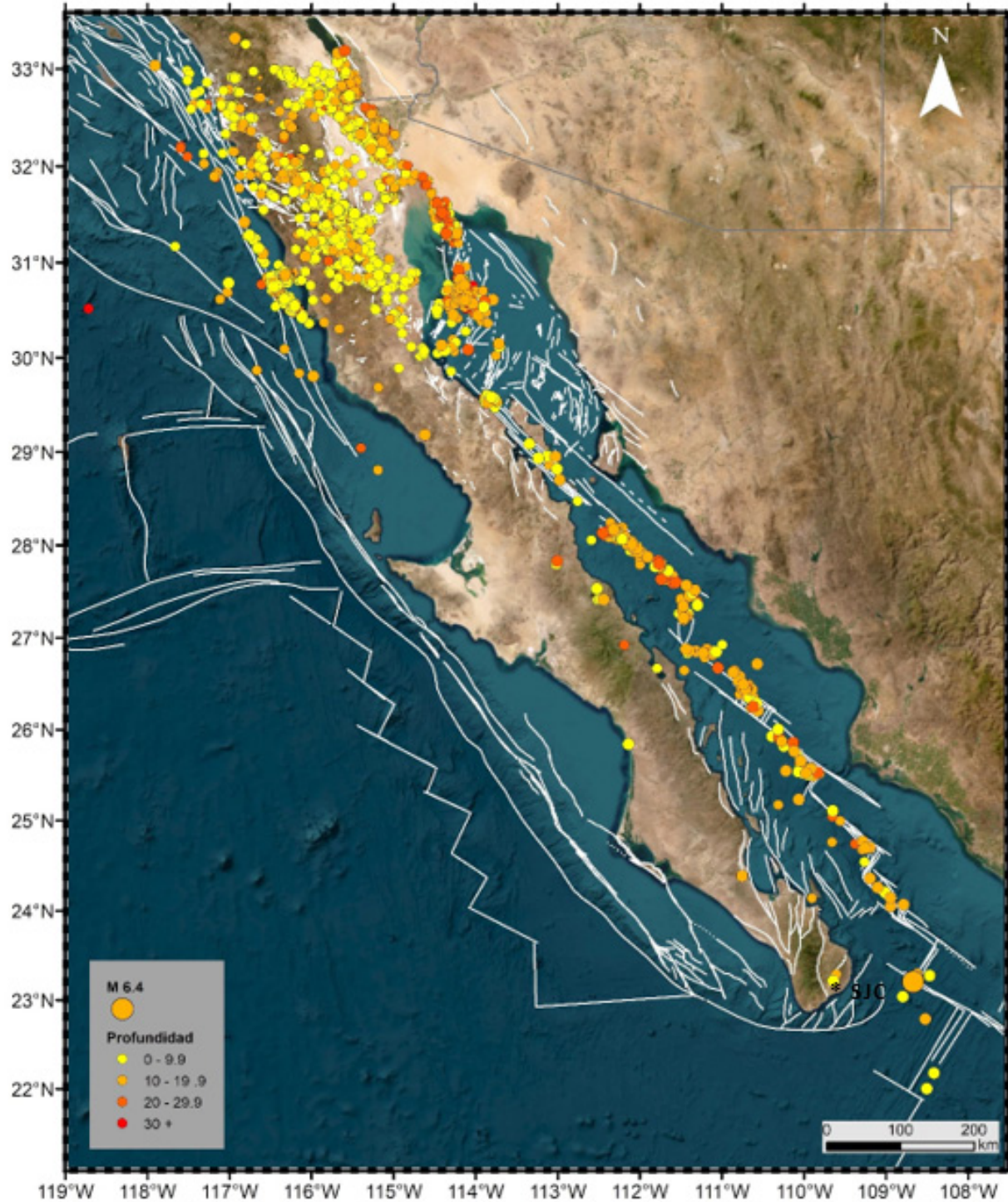


Figura 3. Mapa de sismos registrados por RESNOM durante el periodo Enero-Diciembre de 2023. SJC-San José del Cabo, Los Cabos, Baja California Sur.

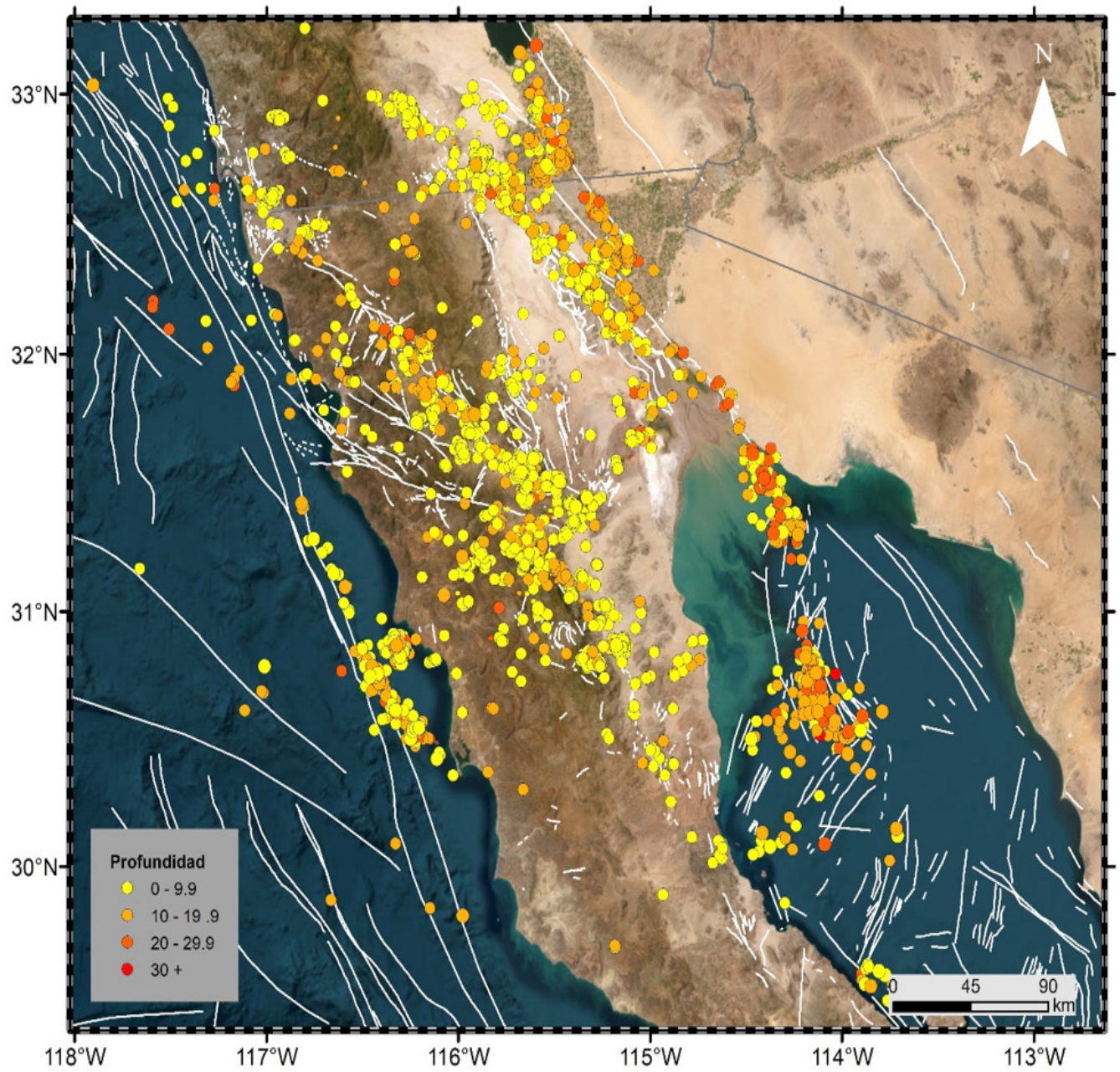


Figura 4. Sismicidad registrada por RESNOM, en el norte de Baja California durante el periodo Enero-Diciembre de 2023.

los EE.UU., por su disposición y apoyo para el intercambio de datos en tiempo real.

Referencias

- 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 (1980). Red Sísmica del Noroeste de México. <http://www.fdsn.org/networks/detail/BC/> (accedida el 5.17.21).
- Dorsey, R. J., Umhoefer, P.J., Oskin, M.E., and Arrowsmith, R. (2013). Rupturing Continental Lithosphere in the Gulf of California and Salton Trough. *GeoPRIMS Newsletter*, no. 30.
- González-Fernández, A., J. J. Dañobeitia, L. A. Delgado-Argote, F. Michaud, D. Cordoba, and R. Bartolomé (2005). Mode of extension and rifting history of upper Tiburón and upper Delfin basins, northern Gulf of California, *J. Geophys. Res.* 110, B01313, <https://doi.org/10.1029/2003JB002941>
- González-G., J.J. y García-A., R. (1986). Escala de Magnitud-Coda para Estaciones Sismográficas en el Norte de Baja California. *Memorias de la Reunión 1986 de la Unión Geofísica Mexicana*, 399-406 (resumen extenso).
- Havskov, J., Voss, P. H. and Ottemöler, L. (2020). Seismological Observatory Software: 30 Yr of SEISAN. *Seismological Research Letters*, Vol. 91 No.3, pp. 1846-1852. <https://doi.org/10.1785/0220190313>.
- Johnson, C. E., Bittenbinder, A., Bogaert, B., Dietz, L. and Kohler, W. (1995). Earthworm: A flexible approach to seismic network processing. *Iris Newsl.* 14, pp. 1-4.
- Kalafat, D., Kekovali, K. and Pinar, A. (2019). *Moment Tensor Solutions* SPRINGER 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77359-9>
- Kleim, F. W. (2002). User's guide to Hypoinverse-2000, a FORTRAN program to solve for earthquake locations and magnitude, U.S. Geological Survey Open-File Rept. 02-171, 121.
- McMechan, G. A. and Mooney, W.D. (1980). Asymptotic ray theory and synthetic seismograms for laterally varying structure s: theory and application to the Imperial Valley, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 70, 2021-2035.
- Nava, F.A., and Brune, J.N. (1982). An earthquake-explosion reversed refraction line in the Peninsular Ranges of southern California and Baja California Norte, *Bulletin of the Seismological Society of America* 72, no. 4, 1195-1206.
- Renate Hartog, J., Friberg, P. A., Kress, V. C., Bodin, P. and Bhadha, R. (2020). Open-Source ANSS Quake Monitoring System Software. *Seismological Research Letters*, Vol. 91, No. 2A, pp. 677-686. <https://doi.org/10.1785/0220190219>

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

Vidal Villegas, J. A., and Munguía Orozco, L. (1999). The ML scale in northern Baja California, Mexico. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(3), 750-763.

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>

Worden, C.B., and Wald, D. J. (2016). ShakeMap manual online: Technical manual, user's guide, and software guide, U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/F7D21VPQ>

Manuscrito recibido: 14 de marzo, 2024

Recepción del manuscrito corregido: 12 de abril, 2024

Manuscrito aceptado: 18 de abril, 2024