

Boletín de Sismicidad registrada por la Red Sismológica del Noroeste de México Enero – diciembre 2022

Grupo de Trabajo RESNOM¹

Personal que integra el Grupo de Trabajo RESNOM

Personal Académico: Luis Humberto Mendoza Garcilazo

Personal Técnico: 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.

¹Centro 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 de 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 (72 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), RESNOM Movimientos Fuertes (RESNOM-MF), Red Sismológica de La Paz (RSLP). A través de convenios de colaboración interinstitucionales, se procesan las señales de 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). Las señales se procesan inicialmente de manera automática para obtener la localización, magnitud y el mapa preliminar de intensidades. Posteriormente, se realiza un post-procesamiento donde intervienen analistas para obtener datos más precisos de localización y magnitud ML, MC, y MW para los sismos de magnitud $M > 6$, así como mecanismo

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

Durante el año 2022 RESNOM registró un total de 2611 sismos de magnitudes entre ML 0.5 y Mw 6.1. El sismo de mayor magnitud (6.1), ocurrió el 22 de noviembre de 2022 a las 09:39:04 hora local (Pacífico) frente a las costas de San Quintín, Baja California, 128 km al sur de la ciudad de Ensenada.

Estaciones RESNOM

Actualmente RESNOM cuenta con 28 estaciones de banda ancha, de las cuales, 13 están integradas por un sensor de velocidad triaxial marca Guralp 3ESPC y un sensor de aceleración triaxial marca Kinometrics, 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 Kinometrics 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 RESNOM en el CICESE utilizando 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 procesada se muestra en la Figura 1.

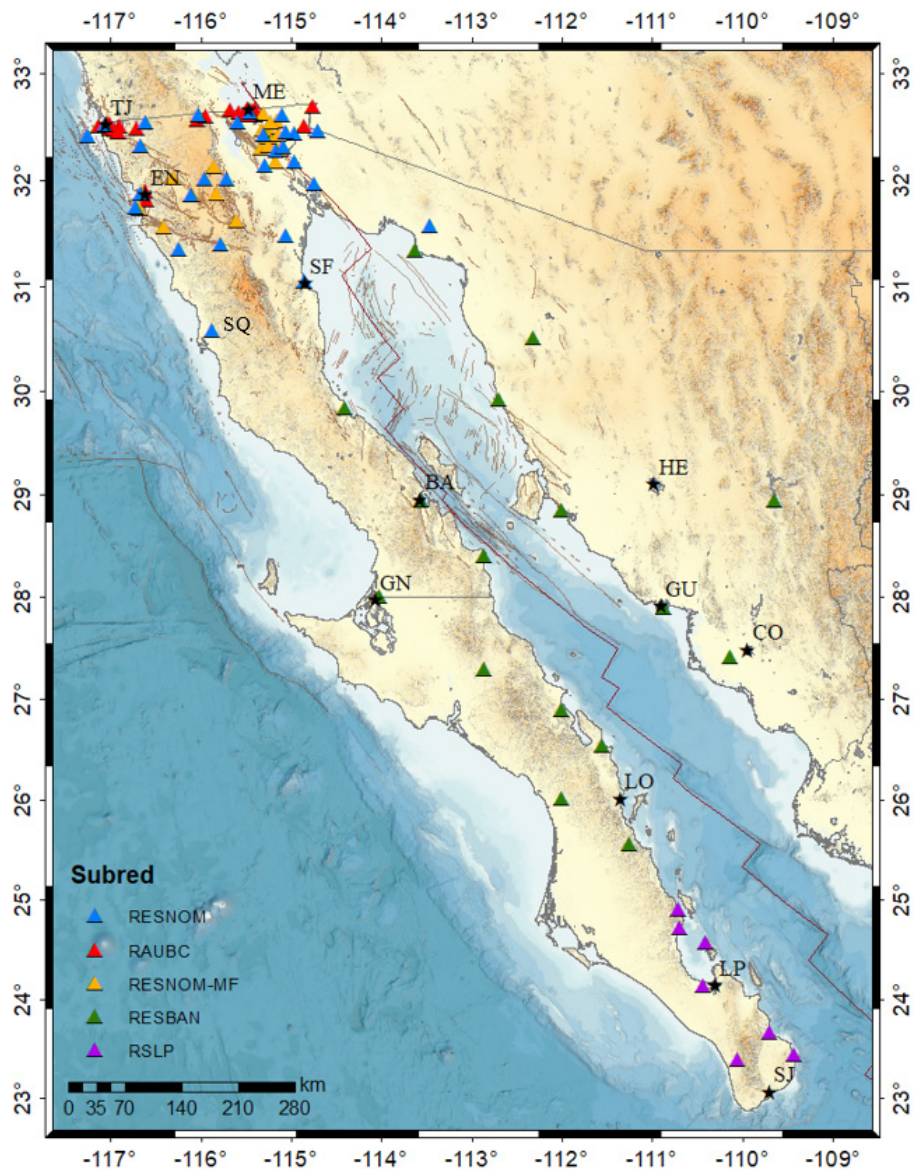


Figura .1 Ubicación de las estaciones procesadas por RESNOM para la detección de actividad sísmica en el noroeste de México durante el año 2022. Ciudades importantes: ME-Mexicali, TJ-Tijuana, EN-Ensenada, SF-San Felipe, SQ-San Quintín, GN-Guerrero Negro, BA-Bahía de los Ángeles, LO-Loreto, LP-La Paz, SJ-San José del Cabo, HE-Hermosillo, GU-Guaymas, CO-Ciudad Obregón.

Procesamiento de Datos

Automático

Tras el arribo de las señales sísmicas al centro de procesamiento de RESNOM, éstas 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, localización hipocentral y cálculo de magnitudes M_L y M_C de los sismos, los detalles se describen en la sección Magnitud. Además, para los sismos de magnitud $M > 3$ se generan mapas de intensidades 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 precisión mayor que la del sistema automático. Además, para los sismos importantes se complementa la información con la obtención de mecanismos focales utilizando el programa FMHASH. Para el postprocesamiento se utilizan los programas Seisan (Havskov et al., 2020) y Jiggle (Hartog et al., 2020).

Localizaciones Hipocentrales

El cálculo de la localización hipocentral automática se realiza con el programa Earthworm junto 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, los cuales se muestran en la Tabla 1. Para los sismos en el Macizo Rocosó se utiliza el modelo de velocidades de Nava y Brune (1982) y para el Valle de Mexicali se utiliza una versión modificada del modelo de velocidades propuesto por McMechan y Mooney (1980) para el Valle Imperial. Para el Golfo de California son utilizados tres modelos de velocidades: en el Sur se utiliza el modelo propuesto por Fabriol y colaboradores (1999) y, para el resto del Golfo, se tomaron los modelos de Dorsey y colaboradores (2013).

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

Macizo Rocosó		Valle de Mexicali		Bahía		Golfo Centro		Golfo Sur	
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

RESNOM reporta tres tipos de magnitudes: Magnitud local (ML), Magnitud de coda (Mc) y para los sismos de magnitud > 5, la Magnitud 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).

Para los sismos en el Valle de Mexicali:

$$M_L = \log_{10}(amp) + 1.0134 \log_{10}(dist) + 0.0025(dist) - 2.11$$

Para los sismos en el Macizo Rocosco:

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

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)

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

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

Donde T es la longitud de coda en segundos.

Magnitud Momento (Mw)

El cálculo de la Magnitud Momento se basa en la medición de la energía total que se libera en un sismo y está definida por el momento sísmico (Mo).

$$M_w = 2/3 (\log_{10}(M_o) - 9.1)$$

Tabla 2.- Sismos registrados por RESNOM en el año 2022

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	186	6	120	39	17	3	1	0	0
Febrero	159	1	90	45	20	3	0	0	0
Marzo	171	4	96	49	20	2	0	0	0
Abril	255	8	142	78	23	4	0	0	0
Mayo	168	10	92	55	11	0	0	0	0
Junio	281	12	155	49	58	4	3	0	0
Julio	276	22	161	65	25	3	0	0	0
Agosto	192	14	108	50	19	1	0	0	0
Septiembre	208	7	131	50	17	2	1	0	0
Octubre	147	3	88	32	22	2	0	0	0
Noviembre	309	7	121	100	70	8	1	2	0
Diciembre	259	17	134	76	27	5	0	0	0
Total	2611	111	1438	688	329	37	6	2	0

Descripción de la sismicidad Enero a Diciembre de 2022

Durante el año 2022 la Red Sísmica del Noroeste de México registró y procesó 2611 eventos dentro de un rango de $0.5 \leq M \leq 6$. 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). En la Figura 4 se presenta un acercamiento de la región correspondiente al norte de Baja California y sur de California, E.U.A. El color y tamaño del círculo de los epicentros indica la magnitud. En color rojo oscuro se muestran dos sismos de magnitud $M > 6$

registrados, uno en el Pacífico, frente a las costas de San Quintín, Baja California, y otro en el Golfo de California, al sur de Bahía Kino, Sonora.

Disponibilidad de datos

El catálogo completo de RESNOM está 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 se encuentran disponibles en la sección de Boletines de la Página web y son enviados al Centro Internacional de Sismología (ISC por sus siglas en inglés). Los tiempos de arribo mensuales de RESNOM, están disponibles al público en su página web <http://www.isc.ac.uk/>.

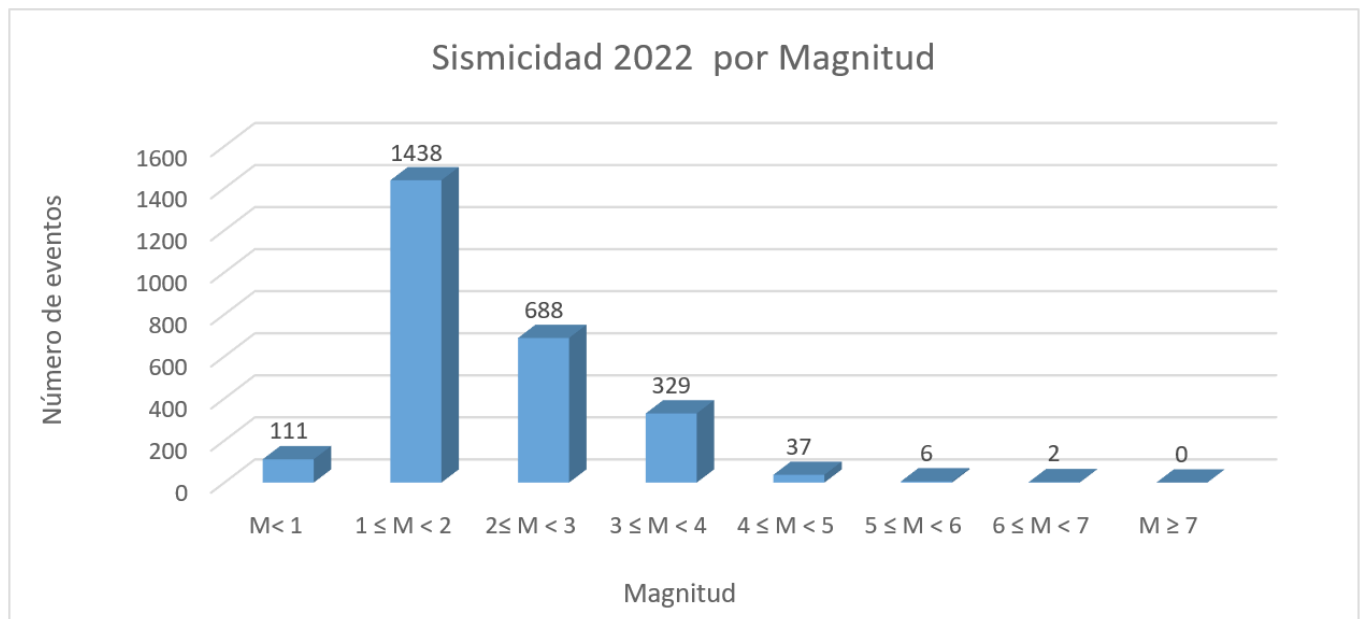


Figura 2.- Distribución por magnitud de sismos registrados por RESNOM en el año 2022.

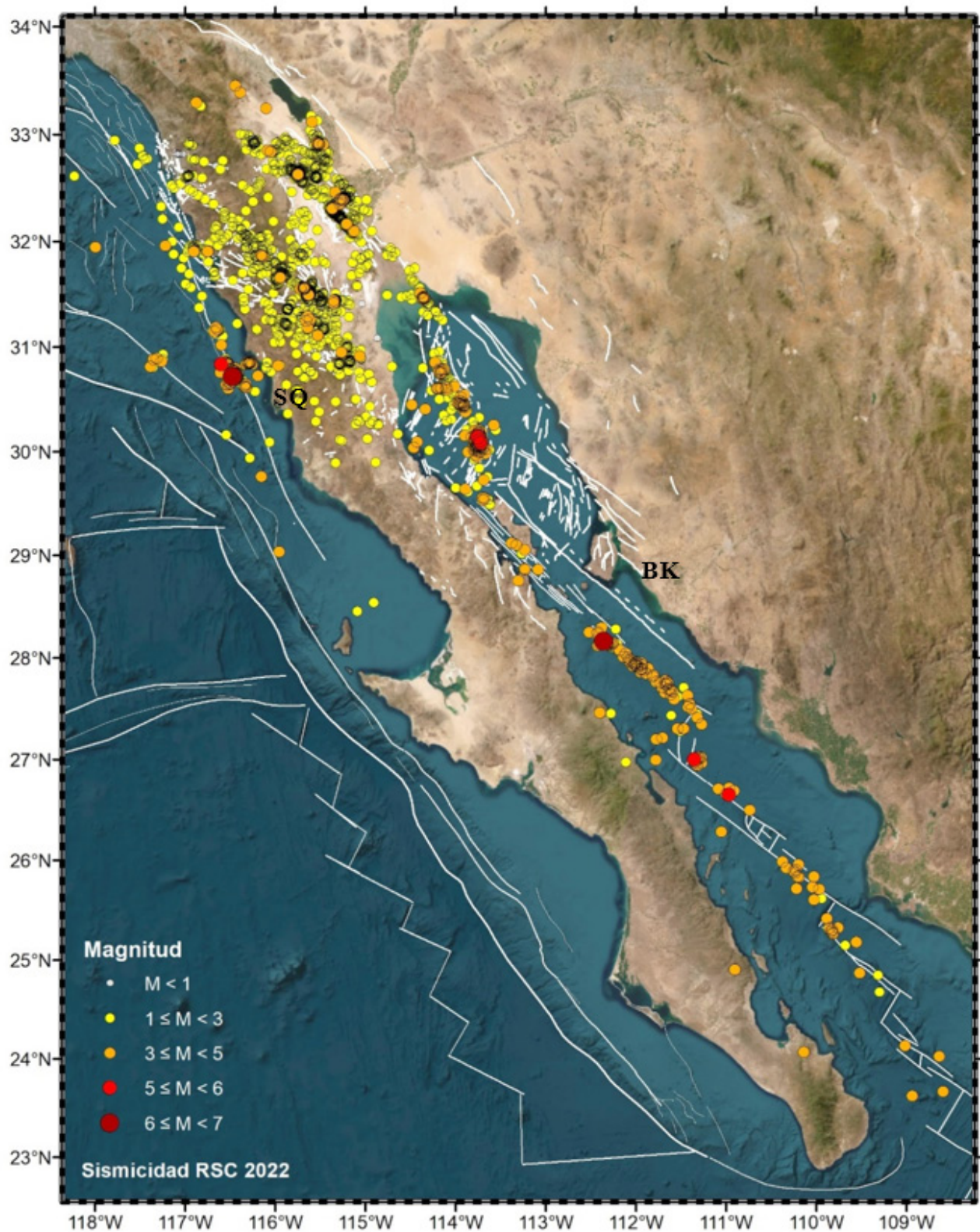


Figura 3. Mapa de Sismos registrados por RESNOM durante el periodo Enero-Diciembre de 2022.

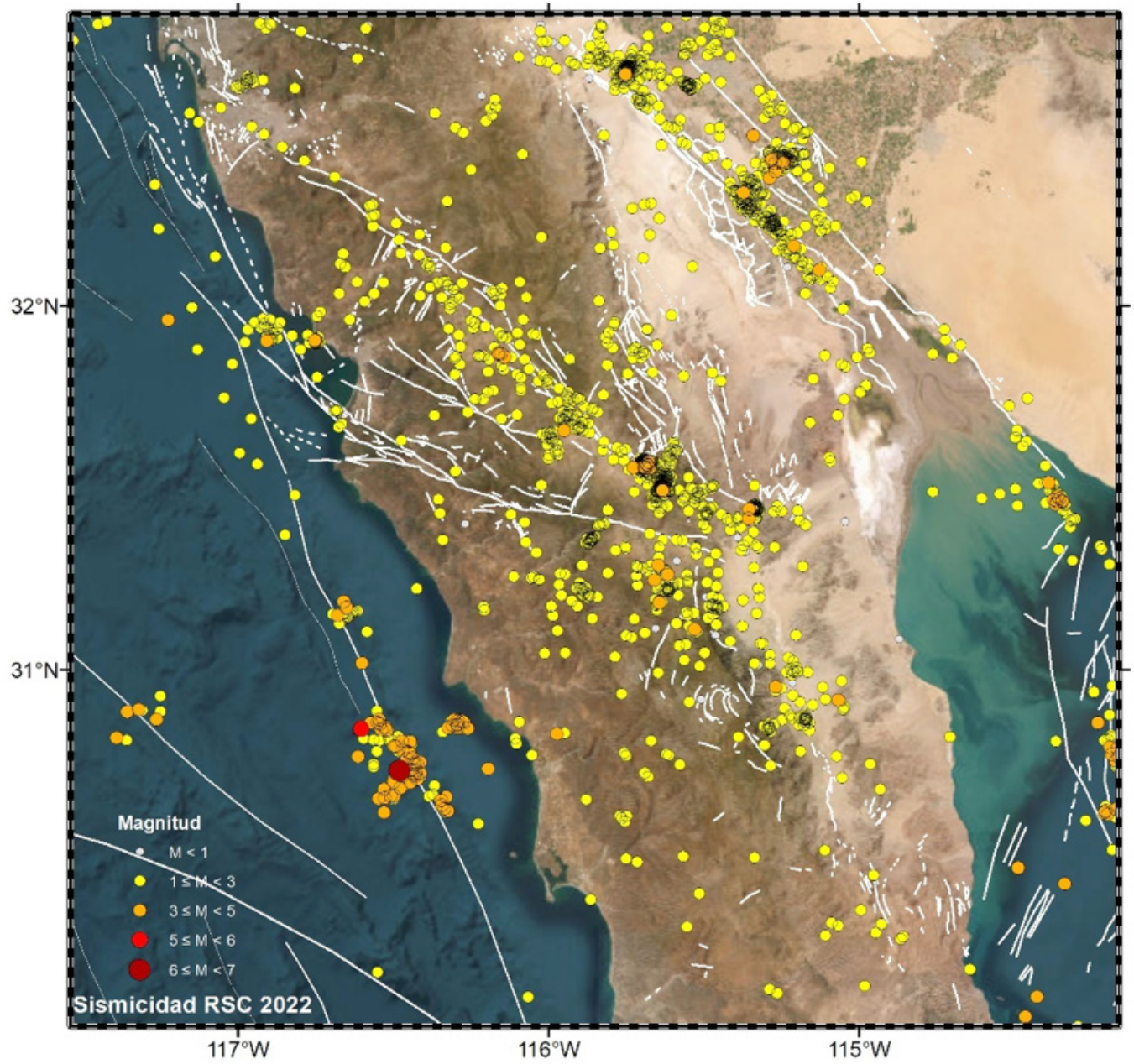


Figura .4. Sismicidad registrada por RESNOM, en el norte de Baja California durante el periodo Enero-Diciembre de 2022.

Referencias

- Caltech (2013), Southern California Earthquake Center. <https://doi.org/10.7909/C3WD3xH1>.
- Castro, R. R., Mendoza-Camberos, A. y 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/https://doi.org/10.1785/0220170117>
- CICESE (1980), Red Sísmica del Noroeste de México. <http://www.fdsn.org/networks/detail/BC/> (accessed 5.17.21).
- Dorsey, R. J., P. J. Umhoefer, P. J., Oskin, M. E., and Arrowsmith, R. (2013), Rupturing Continental Lithosphere in the Gulf of California & Salton Trough. *GeoPRIMS Newsletter*, no. 30.
- Fabriol, H., y Munguía, L. (1997), Seismic activity at the Cerro Prieto Geothermal area (México) from August 1994 to December 1995, and the relationship with tectonics and fluid exploitation. *Geophysical Research Letters* 24, no. 14, 1807-1810. doi: 10.1029/97GL01669.
- González-G., J. J. y R. García-A., 1986. Escala de Magnitud-Coda para Estaciones Sismográficas en el Norte de Baja California. *Resumen extenso, Memorias de la Reunión 1986 de la Unión Geofísica Mexicana*, 399-406.
- Hartog, J. R., Friber, P. A. Kres, V. C. Bodin y 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>
- Havskov, J., Voss P. H. y Ottemöler L. (2020), *Seismological Observatory Software: 30 Yr of SEISAN*. *Seismological Research Letters*, Vol. 91 No.3, pp. 1846-1852
- Johnson, C E, A Bittenbinder, B Bogaert, L Dietz y W Kohler (1995), “Earthworm: A flexible approach to seismic network processing”. *Iris Newsl.* 14, pp. 1-4.
- 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.
- UNAM (1998), Servicio Sismológico Nacional. UNAM. URL <http://www.ssn.unam.mx/> (accessed 5.17.21).
- Vidal Villegas, J. A., & Munguía Orozco, L. (1999), The ML scale in northern Baja California, Mexico. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(3), 750-763. (ID: 2916).

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., & 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. doi: 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, doi: 10.5066/F7D21VPQ

Manuscrito recibido: 31 de julio de 2023

Recepción del manuscrito corregido: 11 de agosto de 2023

Manuscrito aceptado: 15 de agosto de 2023