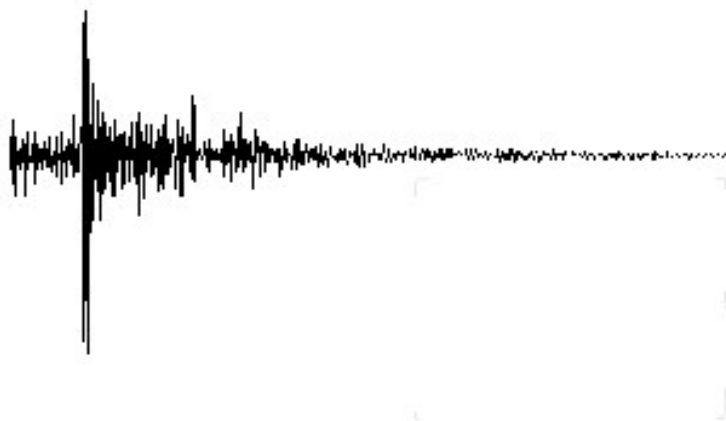


Reporte de Sismos registrados por la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México Durante el Año 2019

Rogelio Arce, Boris Rösler, Andres Navarro y Alejandra Nuñez



Departamento de Sismología
División de Ciencias de la Tierra
CICESE

Registrado el: 02/05/25

ID: 20826

Índice

Resumen	2
1 Introducción	3
2 Información general acerca de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México	3
3 Instrumentación	4
3.1 Memoria Pre-evento y Pos-evento en estaciones ETNA y K2	6
3.2 Sincronización del tiempo de los instrumentos	7
3.3 Orientación de los sensores	7
3.4 Características de las estaciones	7
4 Mantenimiento de la Red y Recolección de Datos	7
4.1 Verificación en Laboratorio	8
4.2 Actividades de Mantenimiento en Campo	8
4.2.1 Mantenimiento General	8
5 Procesamiento de Registros	9
5.1 Identificación de eventos del catálogo	9
5.2 Búsqueda y lectura de archivos MiniSEED y EVT	9
5.3 Corrección instrumental y estandarización de trazas	10
5.4 Obtención de velocidad y desplazamiento	10
5.5 Espectros de Fourier y espectros de respuesta	10
5.6 Generación de tablas y análisis estadístico	10
5.7 Organización de productos generados	11
6 Sismos registrados	11
Apéndice A. Encabezado de los archivos de las series de tiempo procesadas (Volumen I)	18
Apéndice B. Cronología de la instrumentación de la red durante el año 2019	19

Resumen

El presente reporte de datos de aceleración se elaboró con la finalidad de dar a conocer los resultados del funcionamiento de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México durante el año 2019. Los registros de aceleración del presente año, fueron obtenidos con equipos digitales con resoluciones de 18 y 24 bits, fabricados por las compañías Kinemetrics y GeoSIG. Durante el año se obtuvieron 44 registros de aceleración de 3 componentes cada uno, corregidos por la sensibilidad del instrumento (Volumen I), que corresponden a 37 sismos registrados. La obtención del Volumen I, II y III de los datos fue realizada con los programas desarrollados en la RED. De los **37** sismos registrados, se localizaron 14 en la región de las Sierras, 1 en el Sur de California y 21 en el Valle de Mexicali.

Respecto a las magnitudes de los sismos localizados, éstas estuvieron comprendidas en un intervalo de 2.1 a 7.1. La aceleración máxima absoluta registrada durante el año 2019 fue de 0.2671 gales, registrada en la estación GEO. Los archivos que contienen el Volumen I de los datos de aceleración son archivos tipo texto (ASCII) organizados de acuerdo al Formato Estándar de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes (versión 2.0). Estos archivos fueron agrupados y comprimidos por evento, organizados por año, mes y día y están almacenados en un servidor.

1 Introducción

Con el propósito de registrar los movimientos fuertes causados por sismos relevantes de la región norte de Baja California, durante los últimos 40 años ha estado en funcionamiento la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México (RANM). La finalidad del presente reporte es dar a conocer los aspectos más relevantes y generales del funcionamiento de la red y de la información registrada por ésta durante el año 2019. Para ello, el reporte se encuentra dividido en seis partes principales:

La primera parte, **Información general acerca de la red**, ubica al lector dentro del marco de alcance comprendido por esta red, así como de su organización.

La segunda parte, **Instrumentación**, describe algunos aspectos importantes en cuanto a la forma de adquisición de los datos, el tipo de instrumentos que forman la red y algunas de sus características generales de funcionamiento.

En la tercera parte, **Mantenimiento de la red y recolección de los datos**, se describe el procedimiento general de revisión que se realiza a cada una de las estaciones, para el buen funcionamiento de éstas.

En la cuarta parte, **Procesamiento de los datos**, se describe tanto la secuencia utilizada en el procesamiento de los datos, como la nomenclatura para asignarle un identificador único a cada archivo de registro.

En la quinta parte, **Almacenamiento de la información**, se indica la nomenclatura para la asignación de los nombres de cada uno de los archivos comprimidos por evento, así como de su contenido.

Finalmente, en la sexta parte, **Sismos registrados**, se presenta un mapa con la localización de los epicentros de los sismos registrados y localizados en el período y se realiza un análisis descriptivo sencillo de las características de estos sismos. Adicionalmente, se presenta una tabla con las coordenadas y las magnitudes de los sismos localizados, así como las aceleraciones máximas, por canal, para cada uno de los sismos registrados en las diferentes estaciones acelerográficas.

2 Información general acerca de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México

La distribución geográfica actual de las estaciones que conforman a RANM abarca principalmente la región norte del estado de Baja California y la parte noroccidental del estado de Sonora. La mayor densidad de estaciones se encuentra a lo largo del sistema de fallas Imperial-Cerro Prieto, debido a que este sistema genera con mayor frecuencia los sismos más fuertes de la región, (algunos ejemplos son: el sismo del Valle Imperial del 15 de octubre de 1979 [$M = 6.6$], el sismo de Victoria del 9 de junio de 1980 [$M = 6.1$] y el sismo El Mayor-Cucapah del 4 de abril de 2010 [$M = 7.2$]). Otros sistemas con potencial para generar sismos de intensidad moderada a fuerte son el formado por las fallas San Miguel-Vallecitos, Sierra Juárez y la región de Pino Solo, ubicados en la región del Macizo Rcoso Peninsular (MRP), además de la falla Laguna Salada, ubicada en la región oeste del Valle de Mexicali-Imperial (VMI). La distribución geográfica de las estaciones de la red, durante el año 2019, puede observarse en la Figura 1.

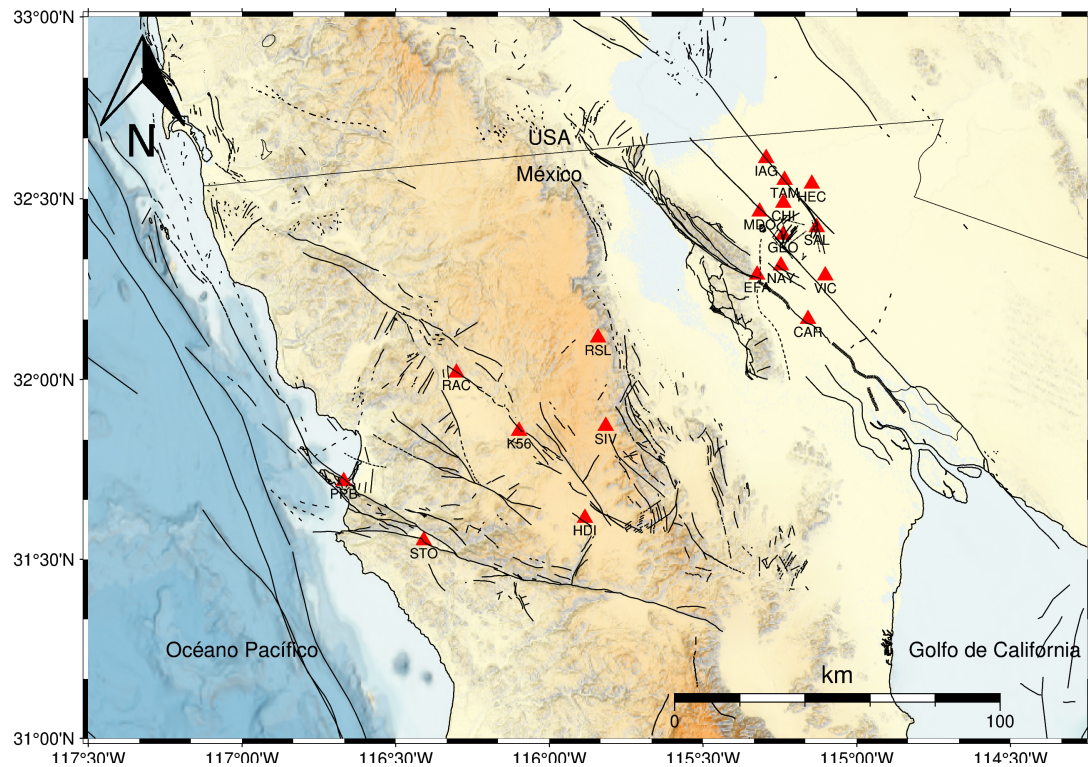


Figura 1: Estaciones de RANOM

3 Instrumentación

Durante el año 2019 la red funcionó con 20 instrumentos de tipo digital (3 ALTUS-ETNA, 5 ALTUS-K2, 11 GMS-18 y 1 130-SMA). Los equipos ALTUS-ETNA y ALTUS-K2, fueron fabricados por la compañía Kinemetrics, mientras que los instrumentos GMS-18 los fabricó la compañía GeoSig y el instrumento 130-SMA la compañía Reftek Systems Inc. Las características de todos los instrumentos fueron ya descritas en los catálogos previos al presente por Vidal et al. (1996), Luna et al. (1996), Luna et al. (2010) y, Luna et al. (2012), por lo que se sugiere revisar las referencias anteriores para una descripción general de algunas de las características más sobresalientes de los instrumentos mencionados.

Tabla 1: Datos de las estaciones sísmicas activas al 30 de diciembre de 2019

Nombre Estación	Latitud	Longitud	Elevación	Sensor	Or. ¹	Grabadora	NS ²	Frecuencia	Am. ³
Islas Agrarias IAG	32.61167	-115.29424	13	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix ETNA	168	50.8	0.64
					C2 - NS		168	50.6	0.65
					C3 - V		168	50.7	0.64
Heroes de la Independencia HDI	31.61539	-115.88407	1069	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix ETNA	169	51.2	0.64
					C2 - NS		169	52.3	0.64
					C3 - V		169	51.0	0.66
Punta Banda PPB	31.71749	-116.66896	14	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix ETNA	1747	198.0	0.7
					C2 - NS		1747	210.0	0.7
					C3 - V		1747	210.0	0.7
Carrancitas CAR	32.16722	-115.15824	10	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix K2	1580	204.0	0.7
					C2 - NS		1580	208.0	0.7
					C3 - V		1580	206.0	0.7
El Faro EFA	32.29031	-115.32389	19	Geosig AC-63	C1 - EW	Kinemetrix K2	1155	208.0	0.0
					C2 - NS		1155	222.0	0.0
					C3 - V		1155	220.0	0.0
Santo Tomas STO	31.55283	-116.40863	163	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix K2	1158	222.0	0.0
					C2 - NS		1158	218.0	0.0
					C3 - V		1158	216.0	0.0
Hechicera HEC	32.54083	-115.14574	13	FBA-23	C1 - EW	Kinemetrix K2	1156	214.0	0.0
					C2 - NS		1156	210.0	0.0
					C3 - V		1156	218.0	0.0
Geotermica GEO	32.40011	-115.2391	7	Geosig AC-63	C1 - NS	Kinemetrix K2	1026	51.4	0.68
					C2 - V		1026	53.6	0.67
					C3 - EW		1026	53.4	0.68
Rancho Agua Caliente RAC	32.01901	-116.30233	736	Geosig AC-63	C1 - EW	GeoSig GMS-18	126791	400.0	0.7
					C2 - NS		126791	400.0	0.7
					C3 - V		126791	400.0	0.7
Rancho San Luis RSL	32.11597	-115.84165	1492	Geosig AC-63	C1 - EW	GeoSig GMS-18	121441	400.0	0.7
					C2 - NS		121441	400.0	0.7
					C3 - V		121441	400.0	0.7
Nayarit NAY	32.31512	-115.24648	11	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100204	400.0	0.7
					C2 - NS		100204	400.0	0.7
					C3 - V		100204	400.0	0.7
Santa Isabel Viejo SIV	31.87116	-115.81637	1506	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100205	400.0	0.7
					C2 - NS		100205	400.0	0.7
					C3 - V		100205	400.0	0.7
Kilometro 56 K56	31.85736	-116.09852	893	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7
					C2 - NS		100207	400.0	0.7
					C3 - V		100207	400.0	0.7
Tamaulipas TAM	32.55127	-115.23463	14	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7
					C2 - NS		100207	400.0	0.7
					C3 - V		100207	400.0	0.7
Victoria VIC	32.28788	-115.10204	14	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7
					C2 - NS		100207	400.0	0.7
					C3 - V		100207	400.0	0.7
Saltillo SAL	32.42106	-115.13001	15	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7
					C2 - NS		100207	400.0	0.7
					C3 - V		100207	400.0	0.7
Chihuahua CHI	32.48828	-115.2386	65	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	126791	400.0	0.7
					C2 - NS		126791	400.0	0.7
					C3 - V		126791	400.0	0.7
Michoacan de Ocampo MDO	32.46409	-115.31561	13	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100903	400.0	0.7
					C2 - NS		100903	400.0	0.7
					C3 - V		100903	400.0	0.7

Nota: ¹ Or. representa la orientación del sensor en cada estación.

² NS representa el número de serie del digitalizador.

³ Am. representa el amortiguamiento del sensor.

Tabla 2: Cambios de instrumentación durante el año

No.	Estación	Sensor Anterior	Grabadora Anterior	NS	Cambio/Remoción	Sensor Nuevo	Grabadora Nueva	NS
1	RAC	Geosig AC-63	GeoSig GMS-18	100200	2019-10-19	Geosig AC-63	GeoSig GMS-18	126791
2	RSL	Geosig AC-63	GeoSig GMS-18	100205	2019-04-19	Geosig AC-63	GeoSig GMS-18	121441
3	CHI	Geosig AC-63	Geosig GMS-18	100202	2019-08-28	Geosig AC-63	Geosig GMS-18	126791

3.1 Memoria Pre-evento y Pos-evento en estaciones ETNA y K2

Durante el presente año, el instrumento digital 130-SMA operó con una memoria pre-evento de 30.0 s, los instrumentos GMS-18 también operaron con 30.0 s, y los instrumentos Altus-ETNA y Altus-K2, aunque trabajaron con una memoria pre-evento inicial de 30.00 s, sus registros reciben, en su caso, un ajuste que incrementa este tiempo. Este ajuste se realiza sumándole al tiempo pre-evento inicial, las décimas de segundo del tiempo de disparo del instrumento. De esta forma, el tiempo de pre-evento efectivo es igual o mayor al de los 30.00 s definidos inicialmente en el instrumento (ver Figura 2).

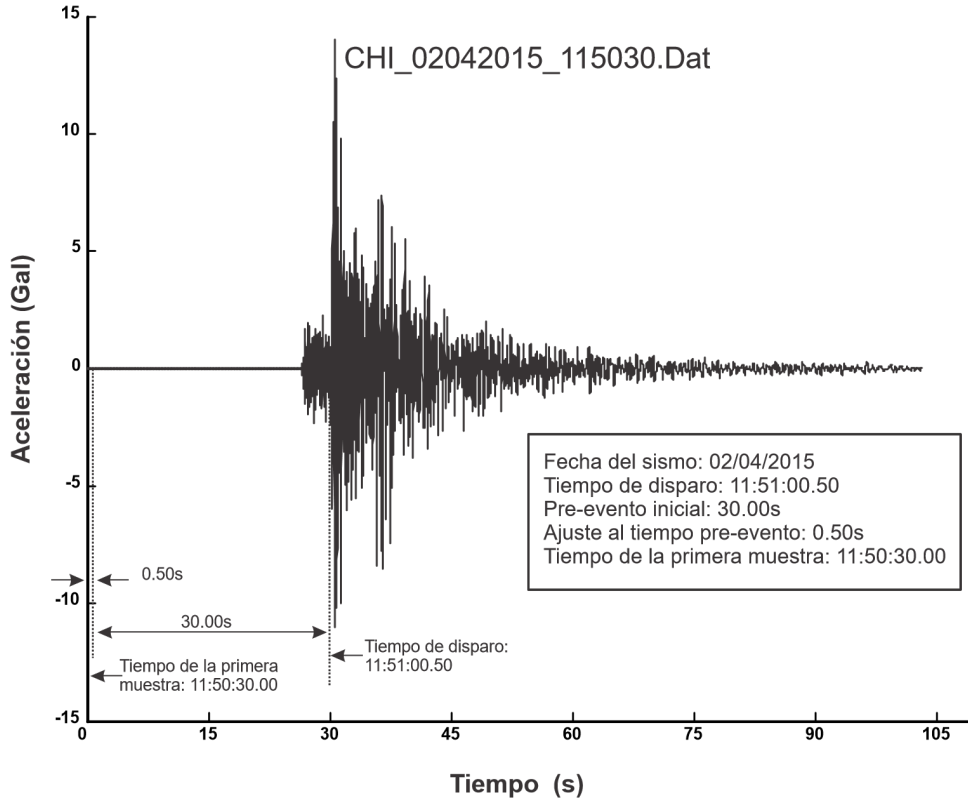


Figura 2: Determinación de primera muestra.

Por otro lado, los instrumentos operaron con la siguiente memoria post-evento: 90.0 s para el 130-SMA; 60.0 s para los ETNA y los K2 y 90.0 s para los GMS-18. Estos parámetros se han elegido de acuerdo a la experiencia adquirida en la operación de los equipos y aseguran el registro apropiado de la señal sísmica, tanto de los primeros arribos como de la longitud de la señal. Un resumen de los tiempos pre-evento y pos-evento de los instrumentos que conformaron la red durante el año 2019, se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Tiempos pre-evento y post-evento de los equipos de la red en el año 2019.

Instrumento	Pre-evento (s)	Post-evento (s)
130-SMA	30.0	90.0
Altus-ETNA	30.0	60.0
Altus-K2	30.0	60.0
GMS-18	30.0	90.0

3.2 Sincronización del tiempo de los instrumentos

Actualmente todos los instrumentos que conforman la red (RANM), cuentan con un sistema de sincronización automática de su tiempo interno por medio de un GPS que forma parte del mismo acelerógrafo.

3.3 Orientación de los sensores

Todos los instrumentos Altus con sensores FBA, siguen el orden Norte-Sur, vertical y Este-Oeste, para los canales 1, 2 y 3 respectivamente, (ver Tabla 2).

Los instrumentos Altus con sensores Episensor, siguen el orden Este-Oeste, Norte-Sur y vertical para los mismos canales 1, 2 y 3, en este orden.

En los instrumentos GMS-18 con sensores AC-63, el canal Norte-Sur, está identificado con el número de canal 1, el canal Este-Oeste con el canal número 2 y el vertical con el canal 3.

En cuanto al instrumento 130-SMA, se tiene el siguiente orden: El canal número 1 está orientado verticalmente, el canal 2 está orientado hacia el Este-Oeste y el canal 3 hacia el Norte-Sur.

3.4 Características de las estaciones

La información concerniente a las estaciones de la red se presenta en la Tabla 1. En esta tabla se incluye el nombre y código de las estaciones, sus coordenadas geográficas, el nombre y la orientación de las tres componentes, el tipo y número de serie del instrumento instalado y algunas otras características, tales como: la frecuencia natural, el amortiguamiento y la sensibilidad de los acelerómetros. Los datos anotados en la Tabla corresponden a la instrumentación instalada a finales de 2019. Los cambios hechos en la instrumentación de cada estación durante el período enero-diciembre del año 2019, se pueden consultar en la cronología de la instrumentación de la red, listada en el Apéndice B de este documento.

4 Mantenimiento de la Red y Recolección de Datos

El mantenimiento de la red de estaciones y la recolección de datos están planificados desde el inicio de cada año, con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y la integridad de la información registrada. Actualmente, los recorridos de mantenimiento se realizan aproximadamente cada tres meses. Sin embargo, si se registra

un sismo de magnitud significativa (4.0 o mayor), se prioriza la recuperación de datos de las estaciones para su procesamiento y análisis lo antes posible.

La mayoría de los instrumentos transmiten sus datos de forma remota al servidor de la **Red Sismológica del Noroeste de México (RESNOM)**, como se describe en *Vidal-Villegas et al.* (2018). No obstante, en algunos casos, debido a la falta de conectividad a Internet, la recolección de datos debe realizarse de manera presencial en la estación.

4.1 Verificación en Laboratorio

Antes de realizar el mantenimiento preventivo o correctivo en campo, se llevan a cabo una serie de pruebas y verificaciones en laboratorio para optimizar el tiempo de intervención y minimizar fallas en el sistema:

- **Revisión del sistema de energía:**

- Medición de voltajes y corrientes en baterías, paneles solares y cargas conectadas.
- Estado y capacidad de las baterías de los UPS utilizados en las estaciones.

- **Verificación del sistema de adquisición y transmisión de datos:**

- Comprobación del estado de conexión del acelerógrafo y la Raspberry Pi al servidor del CICESE.
- Validación de la sincronización de tiempo del instrumento con los servidores de referencia.

4.2 Actividades de Mantenimiento en Campo

Durante cada visita a una estación, se realizan las siguientes actividades:

4.2.1 Mantenimiento General

- **Limpieza profunda de la estación:**

- Aspirado interno del contenedor para evitar acumulación de polvo y humedad.
- Sopleado de la Raspberry Pi y componentes electrónicos para eliminar partículas que puedan afectar la ventilación.
- Limpieza de los paneles solares para garantizar una óptima captación de energía.

- **Verificación del sistema de energía:**

- Revisión de conexiones y terminales de las baterías.
- Medición del estado de carga y funcionamiento de los reguladores de voltaje.

5 Procesamiento de Registros

Durante el periodo de análisis, la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México (RANOM) ha mantenido un flujo automatizado de recuperación, corrección y análisis de registros de movimiento fuerte asociados a eventos sísmicos locales. Este sistema permite procesar grandes volúmenes de datos de forma eficiente y estandarizada. Además, todos los productos generados son sometidos a una revisión manual con el fin de verificar su calidad antes de su integración en el boletín técnico y su difusión pública. El procesamiento consiste en la obtención de tres volúmenes de información. El Volumen I corresponde a los registros de aceleración que han sido corregidos únicamente por la sensibilidad del instrumento y por la línea de base. El Volumen II se refiere a los registros de velocidad y desplazamiento, generados a partir de la integración de los acelerogramas ya corregidos. Finalmente, el Volumen III incluye los espectros de Fourier y los espectros de respuesta. A continuación, se presenta una descripción general del procesamiento y productos.

5.1 Identificación de eventos del catálogo

El proceso inicia con una consulta automatizada a la **base de datos MySQL del sistema RESNOM**, en la que se seleccionan todos los sismos ocurridos durante el año de interés (por ejemplo, 2020) cuya magnitud local (ML) sea superior a 2.0. Para cada evento se extraen:

- ID del evento
- Fecha y hora origen
- Coordenadas epicentrales (latitud y longitud)
- Profundidad
- Magnitud

Esta información se utiliza como base para buscar los archivos de registro correspondientes en el almacenamiento local.

5.2 Búsqueda y lectura de archivos MiniSEED y EVT

Cada evento identificado se vincula con sus posibles registros acelerográficos en formato `.msd` (MiniSEED) o `.evt` (Kinematics EVT), almacenados localmente. La búsqueda se basa en el nombre del archivo y en su cercanía temporal con el arribo teórico de la onda P, estimado con el modelo IASPEI 91.

- Archivos MiniSEED: `<ESTACION>_<SERIE>_<YYYYMMDD>_<HHMMSS>.msd`
- Archivos EVT: `<ESTACION>_<YYYYMMDD>_<HHMMSS>.evt`

La búsqueda se realiza dentro de carpetas estructuradas por año y mes. Si alguno de estos archivos coincide con la ventana temporal del evento, se procede a su lectura y procesamiento.

5.3 Corrección instrumental y estandarización de trazas

Una vez leído el registro, se aplica una cadena de procesamiento que incluye:

- Remoción de la media (orden cero)
- Aplicación del factor de escala (cuentas a gal) según tablas específicas por estación
- Renombramiento de componentes a HHN, HHE y HHZ
- Asignación del código de red “BC”

5.4 Obtención de velocidad y desplazamiento

A partir de los registros corregidos de aceleración, se generan los datos derivados de velocidad y desplazamiento mediante el siguiente flujo (realizado en MATLAB):

1. **Filtrado:** Butterworth entre 0.1 Hz y 30 Hz
2. **Integración:**
 - Velocidad: integración simple
 - Desplazamiento: doble integración
3. **Validación visual** mediante trazas comparativas

5.5 Espectros de Fourier y espectros de respuesta

Se generan productos espectrales complementarios:

- **Espectros de Fourier:**
 - FFT por componente
 - Suavizado en bandas de 1/3 de octava
- **Espectros de respuesta:**
 - Oscilador de un grado de libertad con 5% de amortiguamiento
 - Cálculo de Aceleración Espectral (S_a por sus siglas en inglés) para 0.05–5.0 s

Los espectros se grafican y se integran en los productos visuales generados.

5.6 Generación de tablas y análisis estadístico

A partir de los encabezados de los archivos corregidos, se extraen:

- Magnitud
- Distancia epicentral
- Aceleraciones máximas (N, E, Z)
- Estación y fecha

Estos datos se organizan en:

- Tablas $\text{\LaTeX}$ de eventos y estaciones
- Histogramas de magnitud
- Gráficas por estación y por mes
- Mapa de epicentros y estaciones
- Tabla de cambios instrumentales del año

5.7 Organización de productos generados

Todos los productos se almacenan por evento y por estación, incluyendo:

- Archivos `.dat`: registros corregidos con encabezado
- Archivos `.mseed`: formas de onda corregidas
- Archivos `.pdf`: aceleración, velocidad y desplazamiento por componente
- Archivos `.png`: trazas, espectros de Fourier y de respuesta
- Archivos `.jpg`: histogramas, mapas y resúmenes
- Tablas `.tex`: tablas de eventos y estaciones
- Boletín anual digital:
 - Tabla principal de eventos
 - Estadísticas de actividad sísmica
 - Cambios instrumentales
 - Mapas y gráficos de resumen

6 Sismos registrados

Durante el año 2019 se localizaron 42 de los 67 sismos registrados por la red. Los datos de las localizaciones fueron obtenidos de la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM) y del United States Geological Survey (USGS).

El modelo de corteza utilizado por la Red Sísmica del Noroeste de México en la localización de hipocentros en el Valle de Mexicali, es el reportado por Munguía (1995) y está basado en la estructura de velocidades propuesta por McMechan y Mooney (1980) para el Valle Imperial. Para el caso de sismos del Macizo Rocos Peninsular, el modelo de velocidades que se usó es el propuesto por Nava y Brune (1982). Estos modelos se usaron en combinación con el programa HYPOCENTER V. 4.0 de Lienert (1995). Los epicentros obtenidos se muestran en el mapa de la Figura 4 y se listan en la Tabla 4, en donde además se proporciona la profundidad y la magnitud correspondiente.

Adicionalmente, en la Tabla 4 se incluye información sobre las estaciones de RANM que registraron cada sismo, la distancia epicentral y los v valores máximos de aceleración registrados en cada una de las componentes de las estaciones.

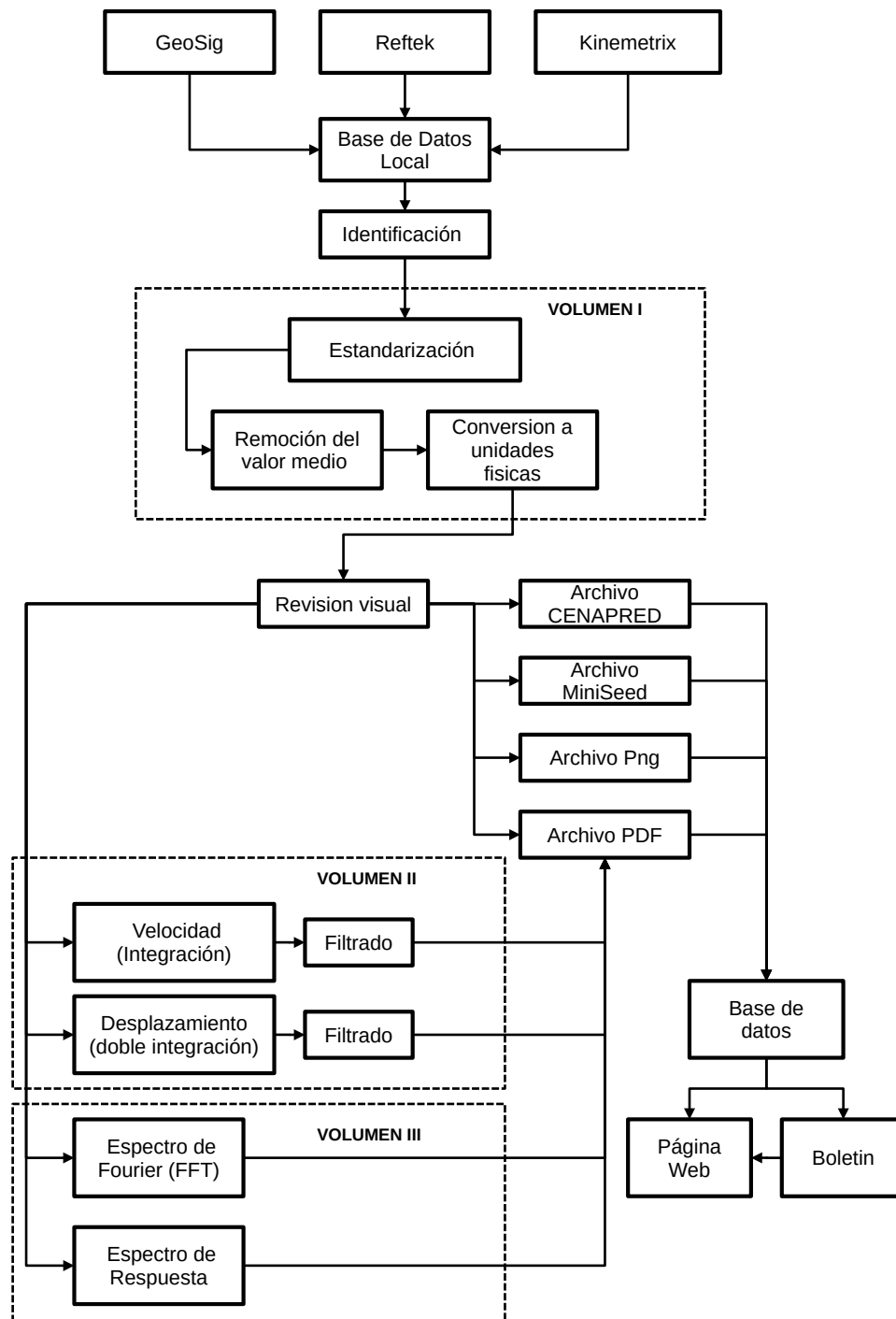


Figura 3: Diagrama de flujo del procesamiento de datos de la red.

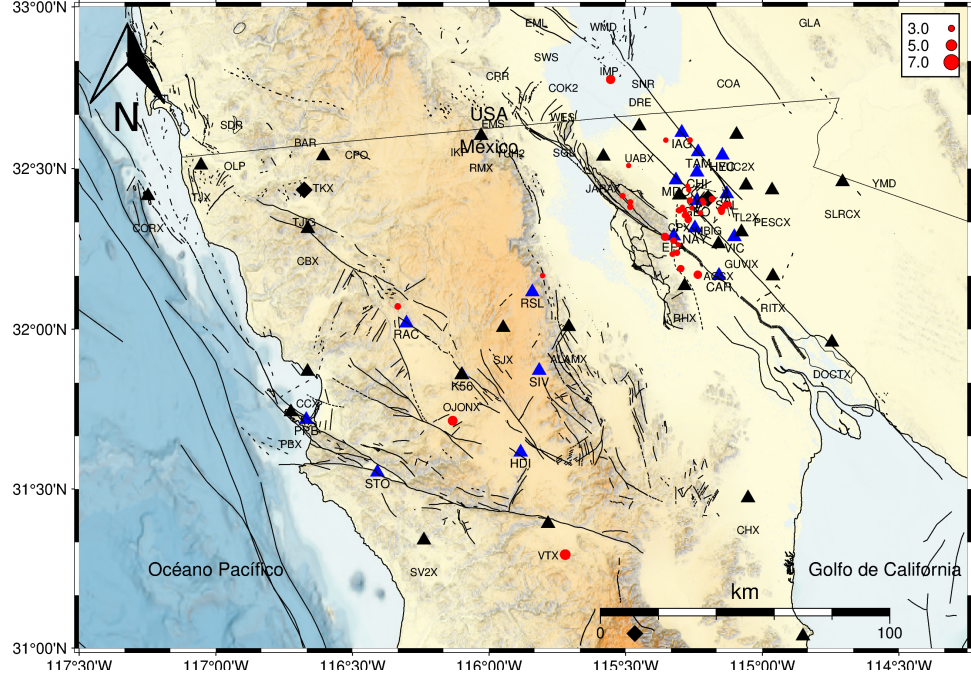


Figura 4: Epicentros (círculos) de sismos registrados por RANM y localizados en su mayoría, a partir de los datos de las estaciones de RESNOM y de la Red del Sur de California. Las estaciones de RANM están representadas por triángulos, en tanto que las estaciones de RESNOM y de la Red del Sur de California, se encuentran representadas por pentágonos y cuadros respectivamente.

De los **37** sismos registrados, se localizaron 14 en la región de las Sierras, 1 en el Sur de California y 21 en el Valle de Mexicali.

Las profundidades obtenidas están comprendidas entre -0.9 y 17.1 km. De los sismos registrados, 10 fueron de magnitud $M_L \geq 4.0$. Estos eventos ocurrieron en las regiones de desconocida. De los 37 sismos localizados, 28 en una sola estación, 5 en 2 estaciones, 2 en 3 estaciones y 2 en 4 estaciones. Los valores máximos de aceleración observados durante el periodo, fueron producidos por el sismo ocurrido el 13 de septiembre de 2019 a las 02:02:06 h. Este sismo de magnitud $M_L = 2.9$, produjo una aceleración máxima absoluta de 0.3 gales en la componente horizontal NS de la estación GEO, a una distancia epicentral de 6.869 km.

Tabla 4: Resumen de eventos sísmicos registrados en el año 2019

Evento	Fecha	Lat ¹	Lon ¹	Prof ²	ML ³	Est ⁴	Dist ⁵	Amax N ⁶	Amax E ⁶	Amax Z ⁶
Si20190105_055556	2019-01-05 05:55:56	32.588	115.265	17.1	2.6	IAG	3.807	0.0133	0.0133	-0.0122
Si20190124_065328	2019-01-24 06:53:28	32.402	115.219	6.7	2.2	GEO	1.991	-0.0939	0.0921	-0.0645
Si20190127_074225	2019-01-27 07:42:25	32.396	115.483	12.3	2.5	MDO	17.423	0.0039	0.0039	0.0021
Si20190206_210753	2019-02-06 21:07:53	32.372	115.15	12.9	3.4	SAL	5.897	-0.0534	-0.0534	-0.0335
						CHI	15.375	0.0049	0.0049	-0.0027
Si20190212_010808	2019-02-12 01:08:08	32.386	115.135	13.3	3.1	SAL	4.064	0.0217	0.0217	0.0146
Si20190226_193134	2019-02-26 19:31:34	32.071	116.334	17.0	3.0	RAC	6.477	-0.0054	-0.0054	-0.0026
Si20190306_135639	2019-03-06 13:56:39	32.446	115.273	10.5	2.1	GEO	5.99	0.0279	-0.0419	-0.0254
Si20190306_143109	2019-03-06 14:31:09	32.434	115.269	10.0	2.3	GEO	4.672	0.0481	-0.0632	0.0456
Si20190325_021529	2019-03-25 02:15:29	32.167	115.804	1.8	2.4	RSL	6.646	0.0033	0.0033	-0.0029
Si20190402_083203	2019-04-02 08:32:03	32.366	115.149	13.1	3.0	SAL	6.505	0.0144	0.0144	-0.0087
Si20190413_003914	2019-04-13 00:39:14	32.189	115.298	7.5	3.2	EFA	11.465	0.0225	0.0225	-0.0349

(Continuación de la tabla anterior)

Evento	Fecha	Lat ¹	Lon ¹	Prof ²	ML ³	Est ⁴	Dist ⁵	Amax N ⁶	Amax E ⁶	Amax Z ⁶
						CAR	13.332	-0.0386	-0.0386	0.0181
Si20190418_225350	2019-04-18 22:53:50	32.405	115.184	13.2	3.0	SAL	5.434	-0.0103	-0.0103	0.0057
Si20190419_082859	2019-04-19 08:28:59	32.389	115.121	12.9	2.3	SAL	3.799	0.0121	0.0121	0.0106
Si20190420_144151	2019-04-20 14:41:51	31.294	115.721	11.7	4.7	HDI	37.346	-0.027	-0.027	0.0346
						STO	71.353	-0.0115	-0.0115	0.008
						MDO	135.276	-0.0041	-0.0041	0.0023
Si20190511_091812	2019-05-11 09:18:12	32.394	115.215	11.2	2.7	NAY	9.4	-0.0024	-0.0024	-0.001
Si20190513_225519	2019-05-13 22:55:19	32.362	115.226	11.1	2.4	GEO	4.394	-0.1367	-0.0939	0.0475
Si20190522_082307	2019-05-22 08:23:07	32.415	115.511	8.1	2.6	MDO	19.126	-0.0047	-0.0047	0.0054
Si20190523_234121	2019-05-23 23:41:21	32.234	115.329	8.2	2.5	NAY	11.702	0.0029	0.0029	-0.0022
Si20190627_010735	2019-06-27 01:07:35	32.356	115.278	8.9	2.7	GEO	6.032	0.0236	-0.0354	0.0156
Si20190627_010942	2019-06-27 01:09:42	32.355	115.283	8.0	2.8	NAY	5.615	-0.0032	-0.0032	0.0056
Si20190627_062120	2019-06-27 06:21:20	32.342	115.271	8.5	3.3	NAY	3.786	-0.0112	-0.0112	-0.0087
						GEO	7.042	-0.0788	0.1008	-0.0496
						MDO	14.176	-0.0027	-0.0027	0.0016
						CHI	16.501	0.0045	0.0045	0.0019
Si20190628_052407	2019-06-28 05:24:07	32.263	115.307	9.0	2.2	NAY	7.929	0.0067	0.0067	0.0045
Si20190704_195607	2019-07-04 19:56:07	32.17	115.236	10.1	3.7	CAR	7.27	-0.113	-0.113	-0.0561
						NAY	16.008	0.0042	0.0042	-0.0028
Si20190706_031952	2019-07-06 03:19:52	35.766	117.605	-0.9	7.1	GEO	432.472	0.0867	-0.1082	0.0541
Si20190721_011833	2019-07-21 01:18:33	32.288	115.356	10.1	3.6	EFA	3.022	-0.0146	-0.0146	0.0252
						NAY	10.573	-0.0077	-0.0077	0.0189
						GEO	16.521	0.0368	-0.0532	0.0155
Si20190913_020206	2019-09-13 02:02:06	32.37	115.304	11.6	2.9	GEO	6.869	0.2671	-0.1767	0.2216
Si20190916_181751	2019-09-16 18:17:51	32.38	115.292	5.7	2.2	GEO	5.363	-0.0895	0.0673	-0.0707
Si20190919_221219	2019-09-19 22:12:19	32.276	115.325	10.11	3.0	NAY	8.416	-0.0048	-0.0048	-0.0037
Si20191003_020229	2019-10-03 02:02:29	32.238	115.312	8.4	2.8	EFA	5.876	-0.0188	-0.0188	0.0288
						NAY	10.362	0.0184	0.0184	0.0079
Si20191023_155652	2019-10-23 15:56:52	32.369	115.284	10.0	2.1	GEO	5.367	0.0399	0.0408	-0.034
Si20191028_145833	2019-10-28 14:58:33	32.381	115.483	10.3	2.8	MDO	18.206	0.0032	0.0032	-0.0028
Si20191101_211419	2019-11-01 21:14:19	32.401	115.265	8.9	2.8	CHI	9.985	0.0043	0.0043	-0.0048
Si20191111_144105	2019-11-11 14:41:05	32.377	115.258	11.1	2.2	GEO	3.043	-0.0587	0.0559	0.05
Si20191112_021352	2019-11-12 02:13:52	32.776	115.555	17.1	4.1	IAG	30.493	0.012	0.012	-0.0317
						MDO	41.235	-0.0043	-0.0043	0.0026
						TAM	41.657	-0.0043	-0.0043	0.0018
						CHI	43.557	0.0118	0.0118	0.003
Si20191120_030645	2019-11-20 03:06:45	32.509	115.489	9.7	2.3	MDO	17.009	-0.0051	-0.0051	0.0039
Si20191211_024820	2019-12-11 02:48:20	31.714	116.133	5.2	4.3	STO	31.612	-0.021	-0.021	-0.015
						HDI	51.54	0.0245	0.0245	-0.0585
Si20191219_141816	2019-12-19 14:18:16	32.588	115.353	16.8	2.4	IAG	6.145	-0.013	-0.013	-0.0283

Nota: ¹ Latitud y longitud expresada en grados.

² Prof. Profundidad expresada en kilometros.

³ ML se refiere a la Magnitud Local.

⁴ Est. Se refiere al codigo de la estación.

⁵ Dist. Distancia epicentral expresada en kilometros.

⁶ Amax. Amplitud máxima expresada en gales.

Para tener una mayor claridad de los sismos registrados por RANOM y con localización durante el año 2019, En la Figura 7 se muestra una gráfica de la cantidad de sismos registrados por me contra los sismos que se registraron y se pudieron localizar durante el mismo periodo.

Por otro lado, la mayoría de los registros obtenidos durante este año, como se puede apreciar en la Figura 9, son de buena calidad, es decir, se encuentran completos y sin saturación en las amplitudes de las ondas.

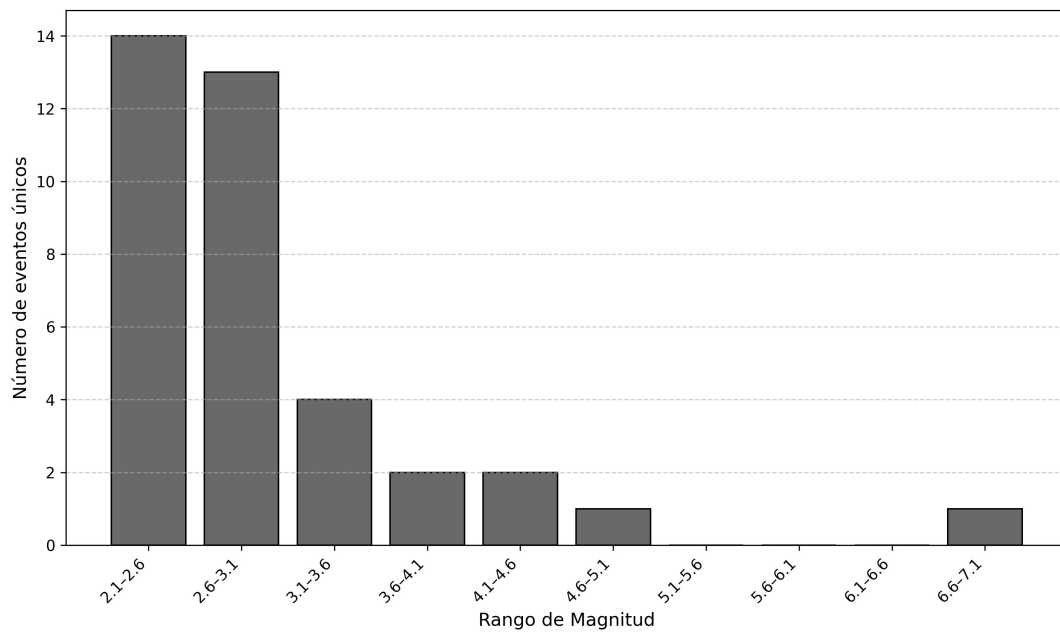


Figura 5: Magnitudes de los sismos registrados durante el año

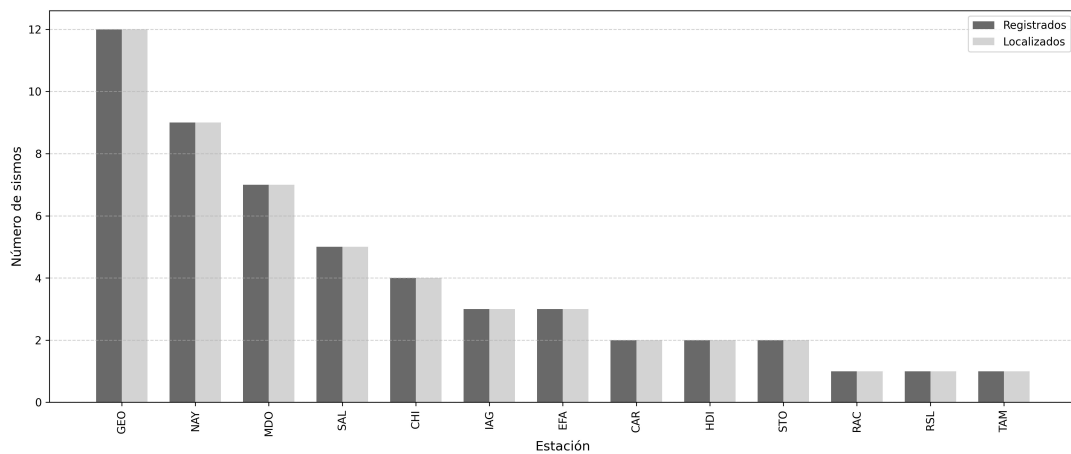


Figura 6: Número de registros anuales y con localización obtenidos por cada estación de RANOM en el año.

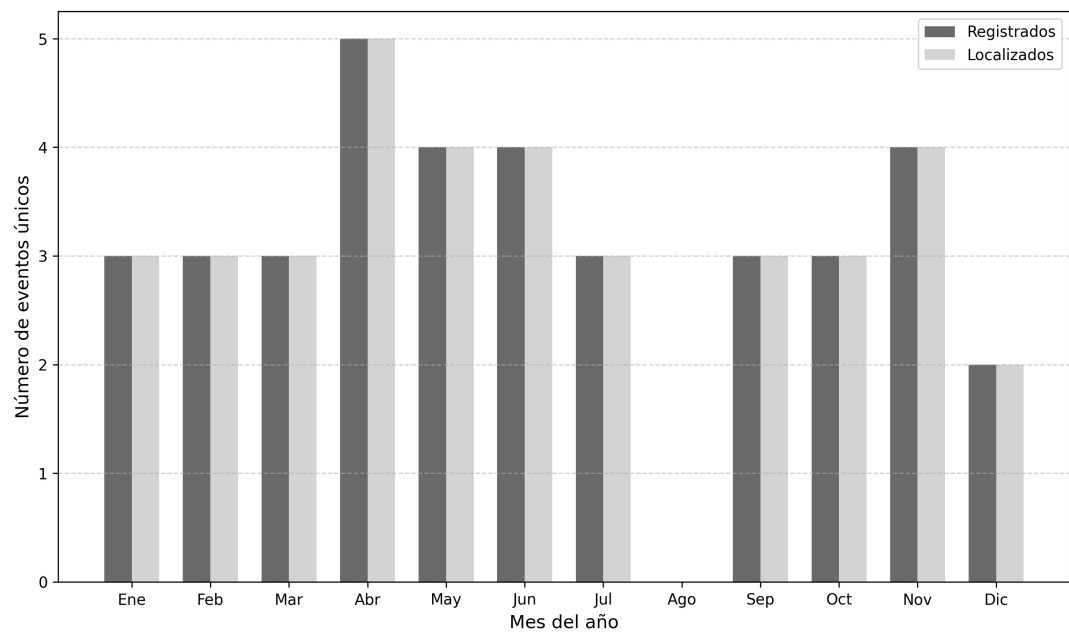


Figura 7: Sismos registrados y localizados por mes durante el año.

Referencias

- [1] Luna, M., L. Munguía, M. Navarro y T. Valdéz. (2012). *Caracterización de la respuesta sísmica de suelos mediante registros de aceleración*. Revista de Ingeniería Sísmica, 86, 1–21.
- [2] Luna, M., L. Munguía y T. Valdéz. (2010). *Corrección de registros de aceleración sísmica: una metodología integral*. Boletín de Geofísica, 55(2), 33–44.
- [3] Luna, M., L. Munguía y R. Vidal. (1996). *Red de acelerógrafos del noroeste de México (RANM): instalación y funcionamiento*. Informe técnico, CICESE.
- [4] Vidal, R., L. Munguía y M. Luna. (1996). *Especificaciones técnicas y operación de la red de acelerógrafos del noroeste de México*. Informe técnico, CICESE.
- [5] Alcántara, L., M. Navarro y M. Luna. (2000). *Formato estándar para la base mexicana de datos de sismos fuertes (versión 2.0)*. CICESE, Departamento de Sismología.
- [6] Trifunac, M. D., y W. J. Lee. (1973). *Routine computer analysis of strong-motion accelerograms*. Bulletin of the Seismological Society of America, 63(2), 473–482.
- [7] Munguía, L. (1995). *Modelos de velocidad para la región del Valle de Mexicali*. Informe interno, CICESE.
- [8] McMechan, G. A. y W. D. Mooney. (1980). *Seismic structure and tectonics of the Imperial Valley region, California*. Journal of Geophysical Research, 85(B5), 2633–2642.
- [9] Nava, S. J. y J. N. Brune. (1982). *Strong motion characteristics of earthquakes in the northern Baja California region*. Bulletin of the Seismological Society of America, 72(3), 1117–1130.
- [10] Lienert, B. R. (1995). *HYPOCENTER 4.0: A computer program for locating earthquakes*. University of Hawaii, SOEST Technical Report 95–01.
- [11] Vidal-Villegas, J. A., L. Munguía, J. A. González-Ortega, M. A. Nuñez Leal, E. Ramírez, L. Mendoza, R. R. Castro y V. Wong. (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>.

Apéndice A. Encabezado de los archivos de las series de tiempo procesadas (Volumen I)

```

1 *****
2 CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA
3 GRUPO DE SISMOLOGIA DE MOVIMIENTOS FUERTES
4 CARR. ENSENADA-TIJUANA No. 3918 ZONA PLAYITAS, ENSENADA B. C. MEXICO, C.P. 22860
5 APDO. POSTAL No. 360, TEL.: 01 (646) 175-05-00, FAX: 01 (646) 175-05-59
6 *****
7 ARCHIVO ESTANDAR DE ACELERACION:
8 VERSION DEL FORMATO : 2.0
9 NOMBRE DEL ARCHIVO : DEL_15072015_070414.Dat
10 FECHA Y HORA DE CREACION : 12 DE MAYO DE 2016
11 REF. CATALOGO ACELEROGRAMAS, SMIS 1995 : Reg. Num.
12
13
14 =====
15 DATOS DE LA ESTACION:
16 NOMBRE DE LA ESTACION : DELTA
17 CLAVE DE LA ESTACION : DEL
18 LOCALIZACION DE LA ESTACION : Valle de Mexicali, Baja California.
19 :
20 :
21 :
22 :
23 COORDENADAS DE LA ESTACION : 32.355 Lat. N
24 : 115.187 Long. 0
25 ALTITUD (msnm) : 28
26 TIPO DE SUELO : Sedimentos (aluvion)
27 :
28 :
29 INSTITUCION RESPONSABLE : Departamento de Sismologia, CICESE
30 :
31
32 =====
33 DATOS DEL ACELEROGRAFO:
34 MODELO DEL ACELEROGRAFO : GMS-18
35 NUMERO DE SERIE DEL ACELEROGRAFO : 100204
36 NUMERO DE CANALES : 3
37 ORIENTACION C1-C6 (rumbo;orientacion) : /N00E;/N90E;/V;+
38 ORIENTACION C7-C12 (rumbo;orientacion) :
39 VEL. DE MUESTREO, C1-C6 (muestras/s) : /200/200/200
40 VEL. DE MUESTREO, C7-C12 (muestras/s) :
41 ESC. COMPLETA DE SENSORES, C1-C6, (g) : /2.00/2.00/2.00
42 ESC. COMPLETA DE SENSORES, C7-C12, (g) :
43 FREC. NAT. DE SENSORES, C1-C6, (Hz) : /400.00/400.00/400.00
44 FREC. NAT. DE SENSORES, C7-C12, (Hz) :
45 AMORTIGUAMIENTO DE SENSORES, C1-C6 : /0.70/0.70/0.70
46 AMORTIGUAMIENTO DE SENSORES, C7-C12 :
47 INTERVALO DE MUESTREO, C1-C6, (s) : /0.005/0.005/0.005
48 INTERVALO DE MUESTREO, C7-C12, (s) :
49 UMBRAL DE DISPARO, C1-C6, (Gal) :
50 UMBRAL DE DISPARO, C7-C12, (Gal) :
51 MEMORIA DE PREEVENTO (s) : 30.00
52 TIEMPO DE POSEVENTO (s) : 90.00
53
54
55 =====
56 DATOS DEL SISMO:
57 FECHA DEL SISMO (GMT) : 15 de JULIO del 2015
58 HORA EPICENTRO (GMT) : 07:04:33.00
59 MAGNITUD(ES) : /M1=2.7
60 COORDENADAS DEL EPICENTRO : 32.234 LAT. N
61 : 115.282 LONG. 0
62 PROFUNDIDAD FOCAL (km) : 7.0
63 FUENTE DE LOS DATOS EPICENTRALES : Departamento de Sismologia, CICESE
64 : RESNOM

```

```

65
66 =====
67 DATOS DE ESTE REGISTRO:
68 HORA DE LA PRIMERA MUESTRA (GMT)      : 07:04:14.059
69 EXACTITUD DEL TIEMPO (s)              : 0.001
70 DURACION DEL REGISTRO (s), C1-C6      : /123.20/123.20/123.20 71 DURACION DEL
REGISTRO (s), C7-C12      :
72 NUM. TOTAL DE MUESTRAS, C1-C6        : /24640/24640/24640 73 NUM. TOTAL DE
MUESTRAS, C7-C12      :
74 ACEL. MAX. (Gal), C1-C6              : /2.3663/-3.9278/-4.2710
75 ACEL. MAX., C1-C6, EN LA MUESTRA     : /5952/6014/5400 76 ACEL. MAX. (Gal), C7-
C12      :
77 ACEL. MAX., C7-C12, EN LA MUESTRA    :
78 UNIDADES DE LOS DATOS                 : Gal (cm/s/s)
79 FACTOR DE DECIMACION                  : 1
80 FORMATO DATOS (FORTRAN,10 campos/dato) : 3F10.4
81
82
83 =====
84 CALIDAD DEL ACELEROGRAMA:
85 Registro digital completo. Tiempo absoluto correcto.
86
87
88 =====
89 COMENTARIOS: 90
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104 =====
105 DATOS DE ACCELERACION:
106 -----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
107 CANAL -1   CANAL -2   CANAL -3   CANAL -4   CANAL -5   CANAL -6   CANAL -7   CANAL -8
108 NOOE;      N9OE;      V;+

```

Apéndice B. Cronología de la instrumentación de la red durante el año 2019

En la Tabla B1 se detallan los cambios de instrumentación hechos a cada una de las estaciones. Para ello, se utiliza una serie de abreviaturas cuyo significado se proporciona a continuación para que el lector interprete correctamente la información contenida.

- **Cod.** = Código de la estación.
- **N.Serie.** = Número de serie del instrumento.
- **Latitud (ggg.ggg) y Longitud (ggg.ggg)** = Latitud y longitud correspondientes a las coordenadas geográficas de la estación en grados (ggg.ggg).
- **Elevac. (m)** = Elevación expresada en metros.
- **Fecha de Instal. (dd/mm/aa)** = Día, mes y año de la fecha de instalación.

- **Fecha de u/revisión.** (dd/mm/aa) = Día, mes y año de la última revisión realizada a la instrumentación de la estación.

Los datos anteriores están contenidos en los primeros dos renglones de cada estación. En los siguientes tres, está contenida la información relativa a los parámetros del instrumento, de acuerdo a la siguiente nomenclatura.

- **Comp. 1, 2 ó 3** = Número de canal del instrumento.
- **Orientación** = Indican la orientación de las dos componentes horizontales (N-S y E-O) y la polaridad de la componente vertical (vert), que es indicada por el símbolo "+".
- **Sensibilidad** = Es la sensibilidad del acelerómetro en cada componente. Estos valores son expresados en Volt/g.
- **F. natural** = Frecuencia natural del acelerómetro expresada en Hertz.
- **Amort.** = Valor del amortiguamiento del acelerómetro (expresado como una fracción del valor crítico).
- **Tipo de sensor** = Acelerómetro utilizado para el registro de la señal.

La información que va precedida de la letra "c", indica que los datos corresponden a instrumentos que dejaron de funcionar durante el periodo (ver fechas de instalación y cambio). En los casos en que el renglón no empieza con la letra "c", significa que los datos anotados son de la instrumentación que funcionaba a la fecha de la última revisión.

Tabla 6: Historial de instrumentación por estación y canal

Nombre Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación	Sensor	Or. ¹	Grabadora	NS ²	Frecuencia	Am. ³	Inicio	Fin
Islas Agrarias	IAG	32.61167	-115.29424	13	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix ETNA	168	50.8	0.64	12/07/2018	11/10/2021
						C2 - NS		168	50.6	0.65		
						C3 - V		168	50.7	0.64		
		32.61167	-115.29424	13	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix K2	2678	204.0	0.7	12/10/2021	Activa
						C2 - NS		2678	198.0	0.7		
						C3 - V		2678	204.0	0.7		
Heroes de la Independencia	HDI	31.61539	-115.88407	1069	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix ETNA	169	51.2	0.64	12/07/2018	19/09/2020
						C2 - NS		169	52.3	0.64		
						C3 - V		169	51.0	0.66		
		31.61539	-115.88407	1069	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix K2	1159	212.0	0.0	20/09/2020	Activa
						C2 - NS		1159	214.0	0.0		
						C3 - V		1159	214.0	0.0		
Punta Banda	PPB	31.71749	-116.66896	14	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix ETNA	1747	198.0	0.7	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		1747	210.0	0.7		
						C3 - V		1747	210.0	0.7		
Carrancitas	CAR	32.16722	-115.15824	10	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix K2	1580	204.0	0.7	12/07/2018	28/10/2020
						C2 - NS		1580	208.0	0.7		
						C3 - V		1580	206.0	0.7		
		32.16722	-115.15824	10	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix K2	1155	208.0	0.0	29/10/2020	Activa
						C2 - NS		1155	222.0	0.0		
						C3 - V		1155	222.0	0.0		
El Faro	EFA	32.29031	-115.32389	19	Geosig AC-63	C1 - EW	Kinemetrix K2	1155	208.0	0.0	12/07/2018	28/10/2020
						C2 - NS		1155	222.0	0.0		
						C3 - V		1155	220.0	0.0		
		32.29031	-115.32389	19	Geosig AC-63	C1 - EW	GeoSig GMS-18	100200	400.0	0.7	29/10/2020	Activa
						C2 - NS		100200	400.0	0.7		
						C3 - V		100200	400.0	0.7		
Santo Tomas	STO	31.55283	-116.40863	163	Episensor	C1 - EW	Kinemetrix K2	1158	222.0	0.0	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		1158	218.0	0.0		
						C3 - V		1158	216.0	0.0		
Hechicera	HEC	32.54083	-115.14574	13	FBA-23	C1 - EW	Kinemetrix K2	1156	214.0	0.0	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		1156	210.0	0.0		
						C3 - V		1156	218.0	0.0		
Geotermica	GEO	32.40011	-115.2391	7	Geosig AC-63	C1 - NS	Kinemetrix K2	1026	51.4	0.68	12/07/2018	Activa
						C2 - V		1026	53.6	0.67		
						C3 - EW		1026	53.4	0.68		
Rancho Agua Caliente	RAC	32.01901	-116.30233	736	Geosig AC-63	C1 - EW	GeoSig GMS-18	100200	400.0	0.7	12/07/2018	18/10/2019
						C2 - NS		100200	400.0	0.7		
						C3 - V		100200	400.0	0.7		
		32.01901	-116.30233	736	Geosig AC-63	C1 - EW	GeoSig GMS-18	126791	400.0	0.7	19/10/2019	Activa
						C2 - NS		126791	400.0	0.7		
						C3 - V		126791	400.0	0.7		
Rancho San Luis	RSL	32.11597	-115.84165	1492	Geosig AC-63	C1 - EW	GeoSig GMS-18	100205	400.0	0.7	12/07/2018	18/04/2019
						C2 - NS		100205	400.0	0.7		
						C3 - V		100205	400.0	0.7		
		32.11597	-115.84165	1492	Geosig AC-63	C1 - EW	GeoSig GMS-18	121441	400.0	0.7	19/04/2019	Activa
						C2 - NS		121441	400.0	0.7		
						C3 - V		121441	400.0	0.7		
Nayarit	NAY	32.31512	-115.24648	11	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100204	400.0	0.7	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		100204	400.0	0.7		
						C3 - V		100204	400.0	0.7		
Santa Isabel Viejo	SIV	31.87116	-115.81637	1506	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100205	400.0	0.7	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		100205	400.0	0.7		
						C3 - V		100205	400.0	0.7		
Kilometro 56	K56	31.85736	-116.09852	893	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		100207	400.0	0.7		
						C3 - V		100207	400.0	0.7		
Tamaulipas	TAM	32.55127	-115.23463	14	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		100207	400.0	0.7		
						C3 - V		100207	400.0	0.7		
Victoria	VIC	32.28788	-115.10204	14	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		100207	400.0	0.7		
						C3 - V		100207	400.0	0.7		
Saltillo	SAL	32.42106	-115.13001	15	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100207	400.0	0.7	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		100207	400.0	0.7		
						C3 - V		100207	400.0	0.7		
Chihuahua	CHI	32.48828	-115.2386	65	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100202	400.0	0.7	12/07/2018	27/08/2019
						C2 - NS		100202	400.0	0.7		
						C3 - V		100202	400.0	0.7		
		32.48828	-115.2386	65	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	126791	400.0	0.7	28/08/2019	Activa
						C2 - NS		126791	400.0	0.7		
						C3 - V		126791	400.0	0.7		
Michoacan de Ocampo	MDO	32.46409	-115.31561	13	Geosig AC-63	C1 - EW	Geosig GMS-18	100903	400.0	0.7	12/07/2018	Activa
						C2 - NS		100903	400.0	0.7		
						C3 - V		100903	400.0	0.7		

Nota: ¹ Or. representa la orientación del sensor en cada estación.

² NS representa el número de serie del digitalizador.

³ Am. representa el amortiguamiento del sensor.