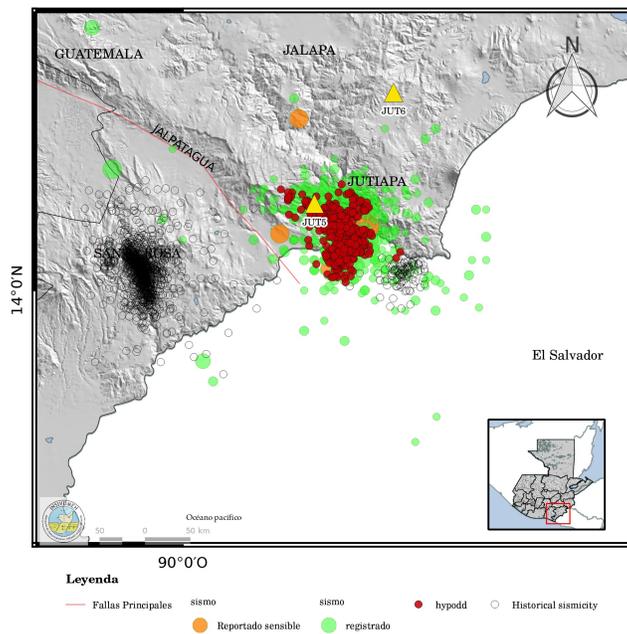




## Secuencia Sísmica en el Departamento de Jutiapa

Enero de 2023

INS-DG-SS-RT-2023-02



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS  
GEOFÍSICOS

SECCIÓN DE SISMOLOGÍA

01 DE FEBRERO DE 2023

**INSIVUMEH**  
**DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS**  
**GEOFÍSICOS**

**SECCIÓN DE SISMOLOGÍA**

**SUBDIRECTOR GENERAL:**

Ing. José Juan Ochoa Quezada

**JEFE DEL DEPARTAMENTO:**

Lic. Robin Onelio Yani Quiyuch

**COORDINADOR DE SISMOLOGÍA**

Ing. Diego Andrés Castro Rojas

**MONITOREO SÍSMICO:**

Lic. José Antonio Tojil Jiménez

Brando Leonel Coc Chen

Carlos Enrique Perez Tórtola

Dulce Pamela Calán Chon

Helen Marina Morán Chén

Irene Almadaly Ligorria Sierra

Juan Fernando Tobar Castro

Luis Alberto Arriola

Nancy Gabriela Xol Castellanos

**INSTRUMENTACIÓN Y COMPUTACIÓN:**

Ing. Oscar Anibal Chamalé Grijalva

Joshua David Paz Garcia

Byron Alfonso Paiz Cardenaz

Williams Alexander Juarez Jimenez

Walter René Perez Morales

Pablo Roberto Castellanos Diéguez

## Índice

<b>1. Descripción de la actividad</b>	<b>4</b>
1.1. Secuencia de sismos . . . . .	4
<b>2. Contexto geológico del departamento de Jutiapa</b>	<b>6</b>
2.1. Descripción . . . . .	6
2.2. Antecedentes de la actividad sísmica del departamento de Jutiapa . . . . .	8
<b>3. Desarrollo de la Actividad</b>	<b>10</b>
3.1. Mecanismo Focal . . . . .	10
3.2. Descripción estadística del evento . . . . .	12
3.2.1. Inicio de la secuencia sísmica . . . . .	12
3.2.2. Análisis de la actividad . . . . .	14
<b>4. Instalación de sensores temporales</b>	<b>19</b>
4.1. Proceso de instalación . . . . .	19
4.2. Registro de eventos y análisis de ruido sísmico . . . . .	20
<b>5. Reporte instrumental de intensidades</b>	<b>22</b>
5.1. Información macrosísmica del sismo . . . . .	22

## 1. Descripción de la actividad

### 1.1. Secuencia de sismos

El día domingo 15 de enero a las 17:07 (hora local), se registró un sismo de magnitud M5.2 con epicentro en el departamento de Jutiapa. Hasta el día de hoy 01 de febrero de 2023 se han localizado 707 réplicas de este sismo, con magnitudes entre M1.5 y M4.7, algunos de ellos reportados sensibles por la población.

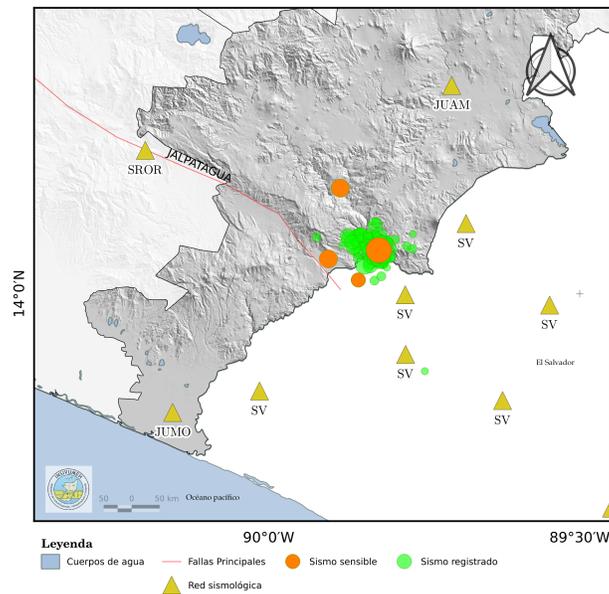


Figura 1: Mapa del departamento de Jutiapa con los epicentros del enjambre sísmico.

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), se encuentra procesando la información de las estaciones de la Red Sísmica Nacional (RSN), Red Sísmica Temporal (RST) y estaciones regionales como parte del monitoreo continuo. Para mostrar como se ha desarrollado la actividad sísmica, se presenta la figura 2.

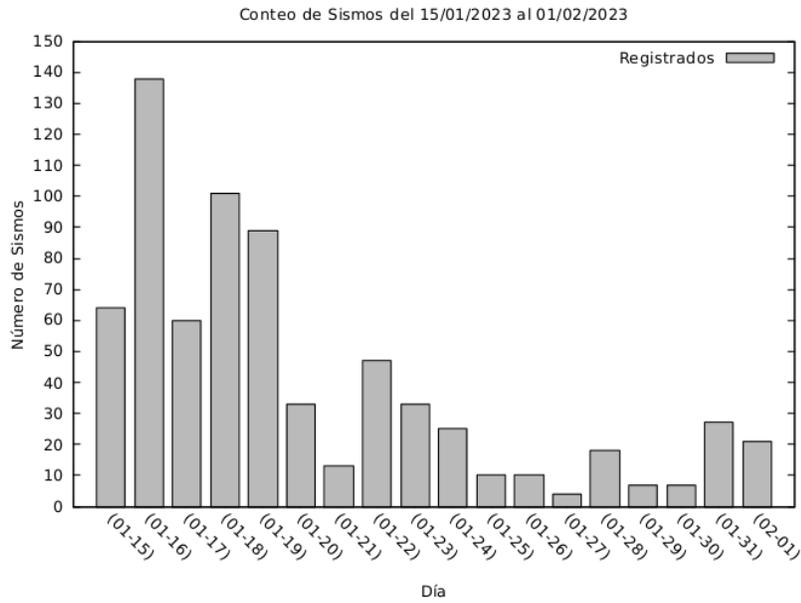


Figura 2: Histograma de la actividad sísmica del departamento de Jutiapa del día 15 de enero a la fecha.

## 2. Contexto geológico del departamento de Jutiapa

### 2.1. Descripción

Hacia el sureste del país, se encuentra la falla de Jalpatagua, que se encuentra paralela a la costa del Pacífico y sigue de cerca el arco volcánico activo cuyos depósitos volcánicos del Cuaternario se ven afectados por el desplazamiento lateral derecho de la falla [Wunderman and Rose, 1984]. El movimiento dextral que se produce en la falla de Jalpatagua, comienza cerca de la frontera entre Guatemala y El Salvador y continúa durante casi 70 km antes de terminar en la extensión sur del graben de Ciudad de Guatemala (Falla Jalpatagua en figura 3).

Este movimiento dextral se observa a lo largo de estructuras que se ubican en la continuación de la falla de Jalpatagua en Costa Rica, Nicaragua y El Salvador [LaFemina et al., 2009]. Las fallas menores a lo largo de la sección central de la falla incluyen: **1.** fallas normales de rumbo N-S que acomodan el alargamiento E-O; y **2.** cuatro conjuntos de fallas de deslizamiento (orientadas a 330°, 20°, 55° y 295°, paralelas a la traza de la falla de Jalpatagua) [Guzmán-Speziale and Molina, 2022].

Los conjuntos de fallas menores apoyan el movimiento dextral a lo largo de una falla mayor en la orientación de la falla de Jalpatagua [Garnier et al., 2021]. En El Salvador, este sistema de fallas se estrecha progresivamente hacia el noreste y consiste en una zona de fallas de desprendimiento de rumbo hacia la derecha en cuencas de desprendimiento relacionadas, volcanes activos y calderas.

Estudios recientes de velocidades con sitios de GPS a lo largo de la falla de Jalpatagua, han encontrado una consistencia en la tasa de deslizamiento de  $7,1 \pm 1,8$  mm anuales ([Garnier et al., 2021]). Los datos del GPS y de la falla indican que la falla de Jalpatagua termina hacia el este, cerca de la frontera entre Guatemala y El Salvador. Los datos delinean una cuenca separada al sureste de la terminación de la falla, que está sufriendo una transtensión a medida que la falla de Jalpatagua transita hacia el sistema de fallas de El Salvador hacia el este.

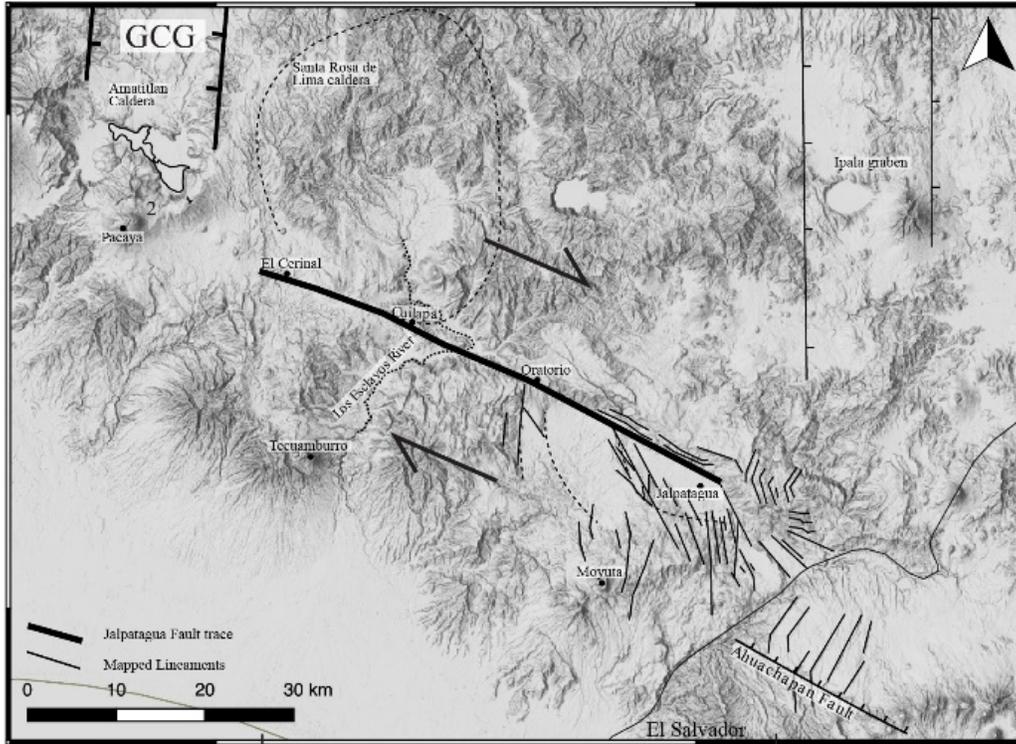


Figura 3: Modelo de elevación digital de 20 m de Guatemala y El Salvador (colaboradores de OpenStreetMap, 2015). GCG: Graben de la ciudad de Guatemala. Modificado de [Garnier et al., 2021].

## 2.2. Antecedentes de la actividad sísmica del departamento de Jutiapa

En los últimos dos años se ha registrado actividad sísmica relevante en los alrededores de la Falla Jalpatagua, en el cuadro 1 se muestra una descripción cronológica de algunos eventos asociados a dicha falla, cuyo sistema se extiende hacia El Salvador.

De las actividades sísmicas asociadas a la falla Jalpatagua, las más recientes son el enjambre sísmico ocurrido en Conguaco Jutiapa en el año 2021, durante el cual se registraron más de 1,300 sismos y la secuencia sísmica ocurrida en la frontera con El Salvador en el año 2022 con más de 150 sismos.

Estas actividades sísmicas, junto a la que se encuentra en desarrollo se ilustran en la figura 4

Fecha	Magnitud	Región afectada	Origen
14/07/1930	6.9	Conguaco y Jalpatagua	Falla Jalpatagua
03/08/1961	6.1	Conguaco y Jalpatagua	Falla Jalpatagua
12/05/1970	7.2	Santa Rosa, Jutiapa y Sonsonate	Falla Jalpatagua
02/07/1992	3.8	La Sorpresa, Moyuta	Falla Jalpatagua
17/10/2021	3.8	Conguaco, Jutiapa	Falla Jalpatagua
15/07/2022	4.4	Territorio de El Salvador	Falla Jalpatagua
Actual	5.2	Jutiapa	Falla Jalpatagua

Cuadro 1: Cronología de eventos registrados asociados a la falla Jalpatagua.

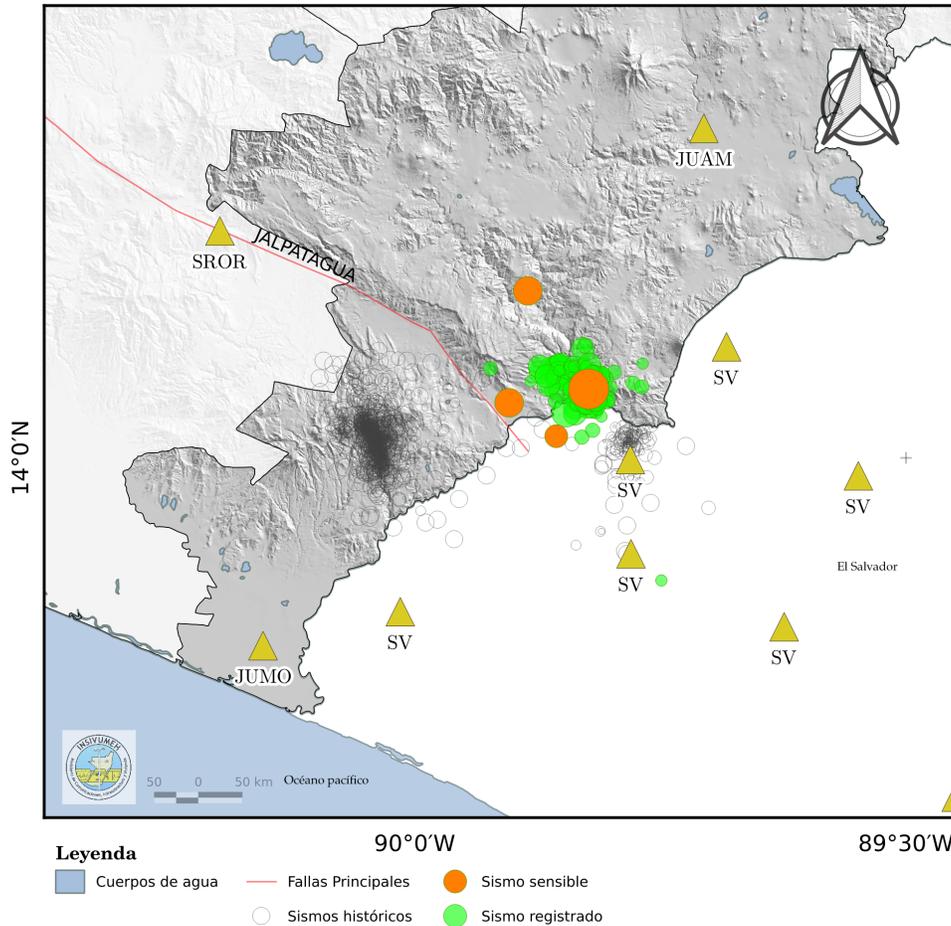


Figura 4: En negro a la izquierda se muestra el enjambre sísmico desarrollado en Conguaco. En negro a la derecha la secuencia sísmica desarrollada en la frontera con El Salvador. En verde y naranja la actividad sísmica que se encuentra en desarrollo.

## 3. Desarrollo de la Actividad

### 3.1. Mecanismo Focal

El evento registrado por la RSN el día 15 de enero en el departamento de Jutiapa con magnitud 5.2, permitió definir un mecanismo focal mediante el método de First Motion, tomando las polaridades (dilatación y compresión), de las primeras llegadas de la onda P, dando como resultado un mecanismo correspondiente a una falla transcurrente con movimiento lateral derecho (Figura 5), que puede estar asociado a la falla de Jalpatagua.

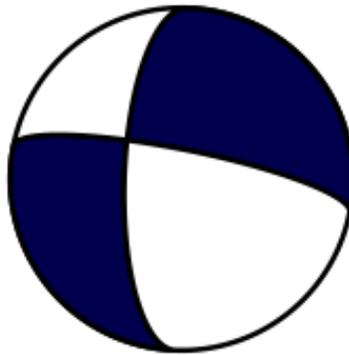


Figura 5: Mecanismo focal obtenido para el evento de las 17:07 hora local, en el departamento de Jutiapa.

Para este mecanismo focal se obtuvo el siguiente plano nodal:

Strike	Dip	Rake
281	74	-149

Cuadro 2: Plano nodal para el mecanismo focal del evento del 15 de enero de 2023 a las 17:07 hora local.

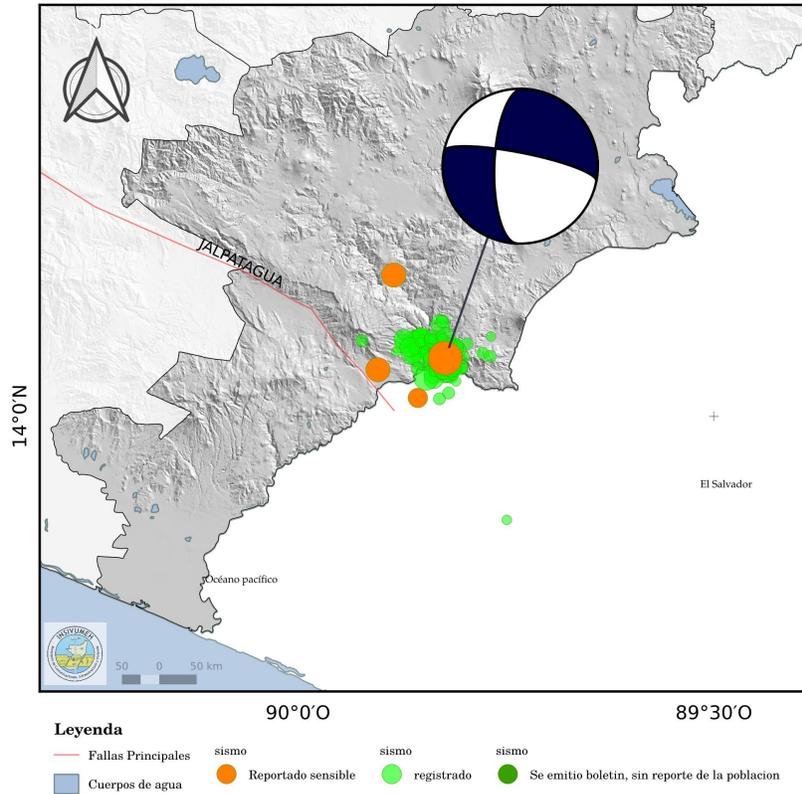


Figura 6: Mapa que muestra el mecanismo focal del evento de magnitud 5.2 con epicentro en el departamento de Jutiapa.

## 3.2. Descripción estadística del evento

Considerando la gran cantidad de datos recopilados gracias a la localización realizada por el equipo de monitoreo sismológico de INSIVUMEH es posible realizar distintos productos gráficos que muestren el comportamiento de esta actividad especial.

### 3.2.1. Inicio de la secuencia sísmica

Tal como se describe en la sección 1 de este reporte, se presenta la llegada de onda del sismo con magnitud 5.2 M el día 15 de enero a las 17:07 horas. Para mostrar el registro del inicio de esta secuencia se presenta el helicorder de la estación SROR, ubicada en Santa Rosa, Oratorio cuyo sensor es de tipo Banda Ancha (ver figura 7).

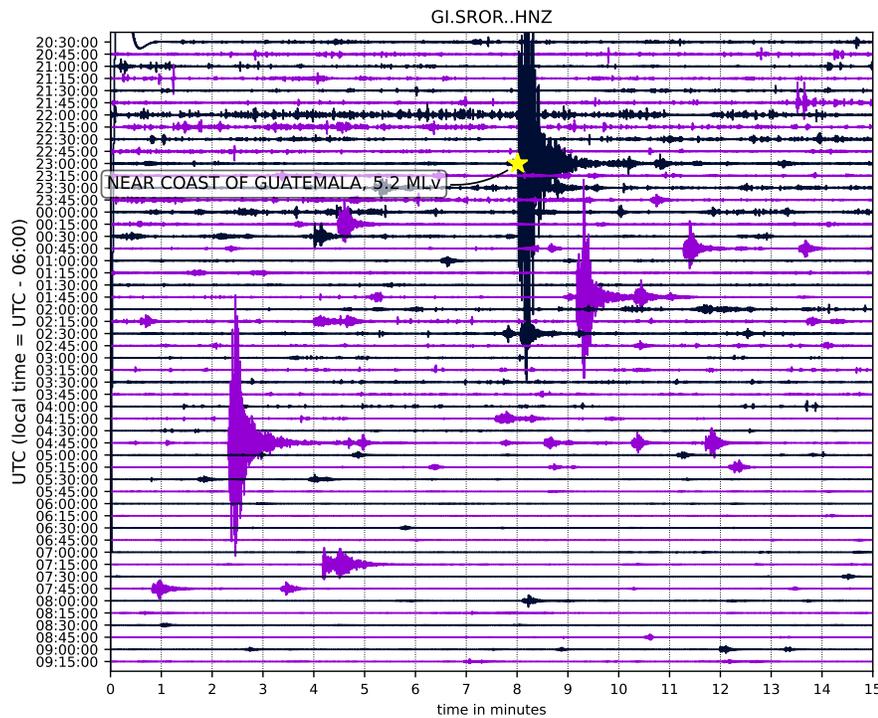


Figura 7: Helicorder o registro sísmico de la estación Santa Rosa, Oratorio, se muestra el evento principal de magnitud 5.2 MLV con un indicador en forma de estrella.

Se puede observar además algunos sismos de menor magnitud asociadas a la misma fuente sísmica, donde podemos hacer una comparación según su proporción en el tamaño de su amplitud de onda. Tomando en cuenta que no se contaba mayor cobertura de este evento sísmico, se tomo la decisión de realizar una instalación temporal de dos sensores de periodo corto EHZ, nombrados JUT5 y JUT6, describiéndose a mayor detalle en las siguientes secciones. La instalación de estos equipos permitió una mayor cobertura, así como ampliar el registro sísmico, con apoyo de la red sísmica del MARN, en El Salvador.

La decisión de la ubicación temporal de estos sensores se baso en las localización realizadas a los días del inicio de la secuencia, siendo así que a las 14:21 horas del día 18 de enero se obtuvo los primeros registros sísmicos del área, llegando a tener un registro extenso de actividad, esto es posible verificarlo visualizando el helicorder asociado a JUT5, a partir del día de su instalación (ver figura 8).

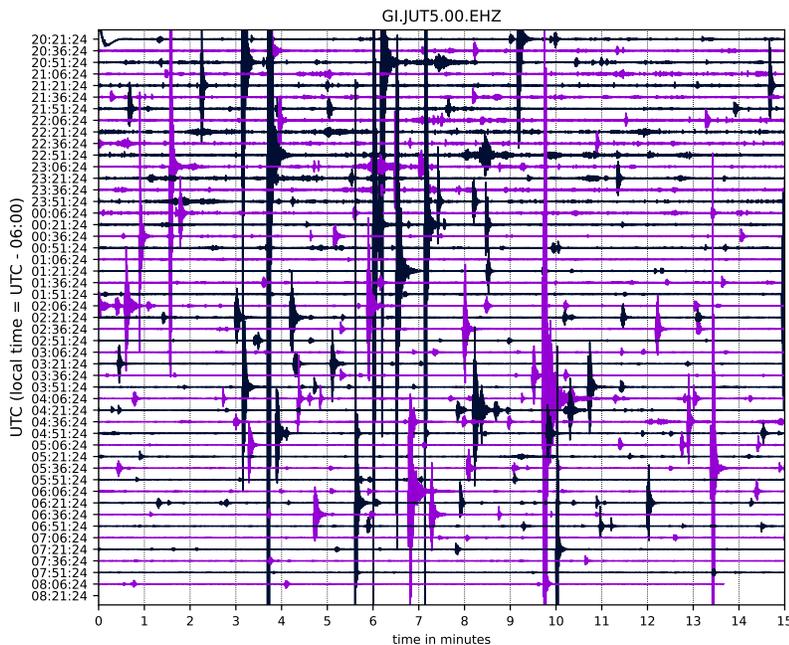


Figura 8: Helicorder o registro sísmico de la estación JUT5, localizado en Jutiapa, Comapa. Se muestra el evento principal de magnitud 5.2 MLv con un indicador en forma de estrella.

### 3.2.2. Análisis de la actividad

Tomando como tiempo inicial el día 15 de enero, y siguiendo de cerca el monitoreo en esa región, se muestra los datos ya depurados en forma de barras tipo histograma según la cantidad de eventos vs tiempo, y un gráfico de dispersión temporal de los eventos según su magnitud vs tiempo como se muestra en la siguiente imagen (ver figura 9).

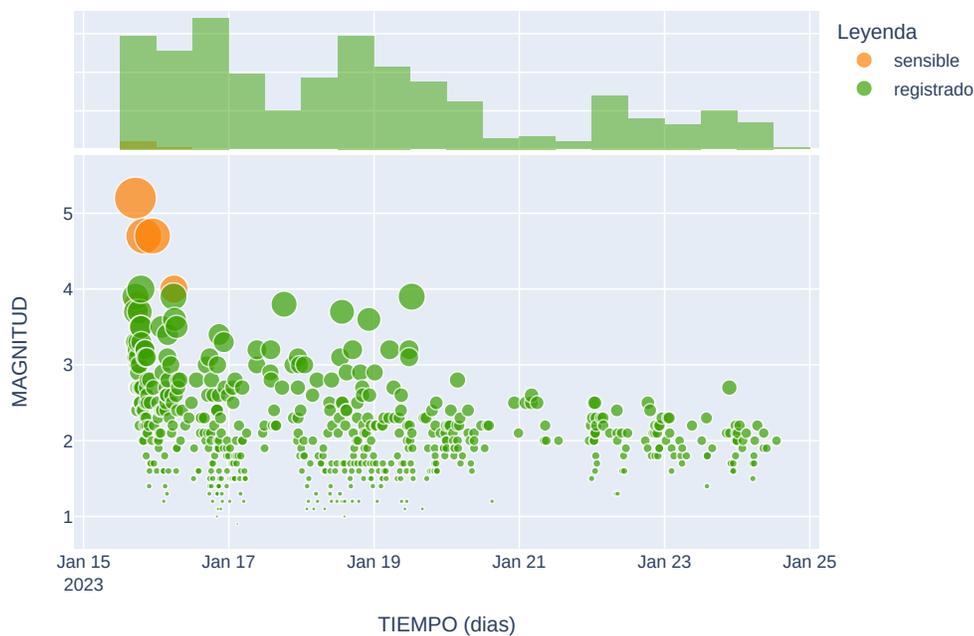


Figura 9: Histograma de la actividad en Jutiapa, así como gráfico de dispersión temporal. En el eje vertical observamos la magnitud de los eventos y el eje horizontal el tiempo en días; El tamaño de las circunferencias depende de un filtro log. Se observa con color verde los sismos registrados por el equipo de monitoreo de INSIVUMEH y de color naranja los eventos sensibles reportados por la población.

A partir de 9, es posible observar un cierto decaimiento de la magnitud a través del tiempo, así mismo, un decaimiento de los eventos sísmicos al pasar el tiempo. Realizando un gráfico de dispersión, aplicando una escala

log a cada evento según su magnitud, es posible obtener un una vista de la profundidad vs tiempo (ver figura 10).

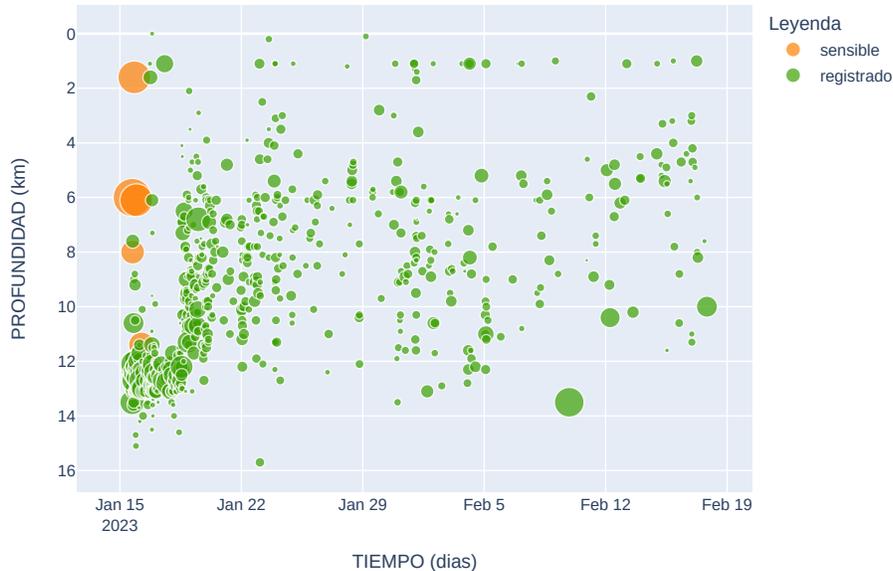


Figura 10: Se muestra un gráfico de dispersión siendo el eje vertical la Profundidad en kilómetros y eje horizontal el Tiempo en días. Se observa con color verde los sismos registrados por el equipo de monitoreo de INSIVUMEH y de color naranja los eventos sensibles reportados por la población.

Observando a detalle, podemos encontrar una agrupación en los eventos en los primeros días, siendo desde el 15 de enero hasta aproximadamente el 21 de enero, podemos observar una aparente tendencia a incrementarse la altura de los eventos, casi de forma progresiva, partiendo de profundidades aproximadas de 12-14 km a 6 km, siguiendo una tendencia en 'arco ascendente' con el tiempo. Esto puede indicar la tendencia de elevación a lo largo de la fuente sísmica y variar su profundidad con el tiempo.

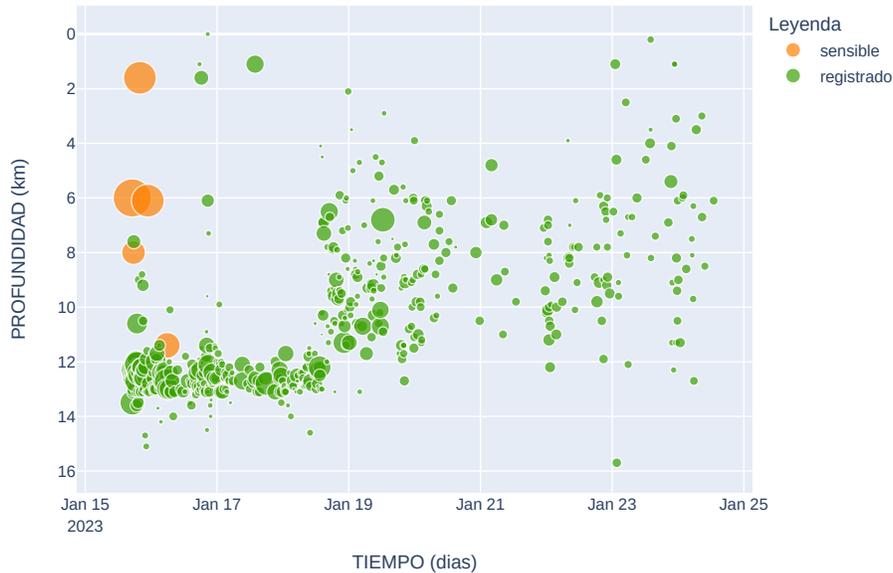


Figura 11: Se muestra un gráfico de dispersión siendo el eje vertical la Profundidad en kilómetros y eje horizontal el Tiempo en días. Se observa con color verde los sismos registrados por el equipo de monitoreo de INSIVUMEH y de color naranja los eventos sensibles reportados por la población.

También es posible observar como, a partir de días mayores del 21 de enero existe una notoria dispersión de los eventos, así como una disminución en la cantidad de eventos, siendo así, a mayores días, menos eventos registrados. Acerca de la observación comprendida entre los días 15 al 21 de enero, es posible corroborarlo, viendo la figura 12 se describe entonces que la agrupación en las profundidades más lejanas, es decir 12-14 km de profundidad, con el tiempo los eventos fueron elevándose, disminuyendo su profundidad hasta establecerse la actividad como un fenómeno meramente cortical (profundidad de los eventos  $< 10$  km).

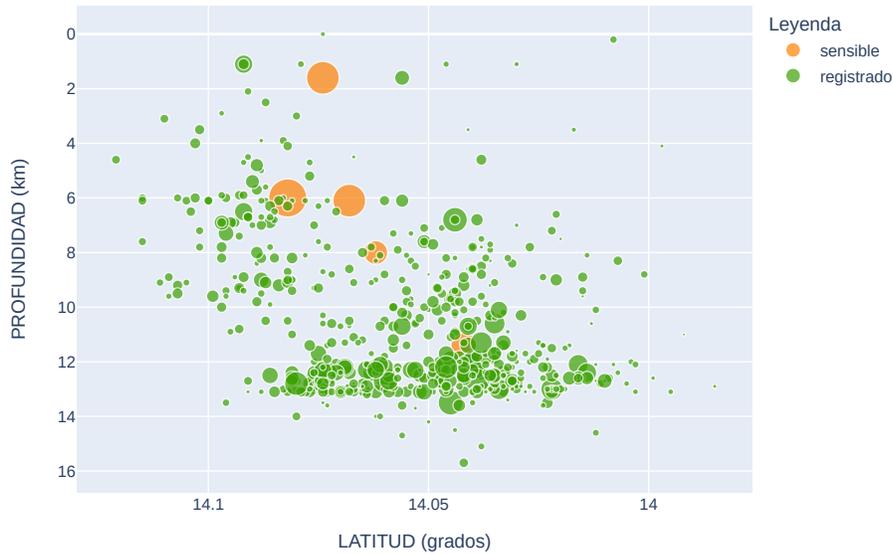


Figura 12: Se muestra un gráfico de dispersión, representando un perfil cuyo corte depende de la profundidad en km y Latitud en grados, con orientación de sur a norte. Se observa con color verde los sismos registrados por el equipo de monitoreo de INSIVUMEH y de color naranja los eventos sensibles reportados por la población.

En la figura 13, sigue el mismo comportamiento antes descrito, a profundidades mayores, la fuente sísmica tiende a elevarse por medio de estructuras bien definidas, partiendo de igual forma desde los 12-14 km hacia profundidades menores. Estas observaciones, acompañadas con *hypoDD* sera posible confirmarlas, dando mayor resolución a esta secuencia y dando mayor detalle a estas descripciones.

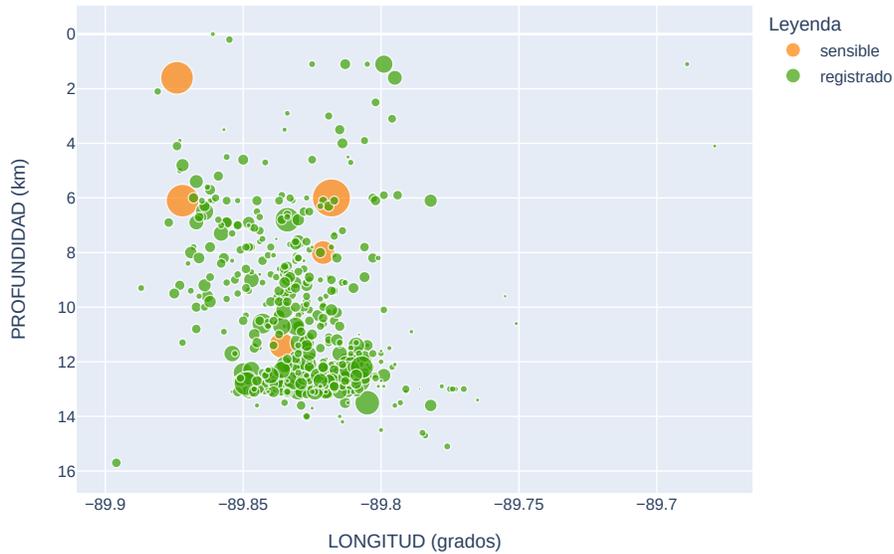


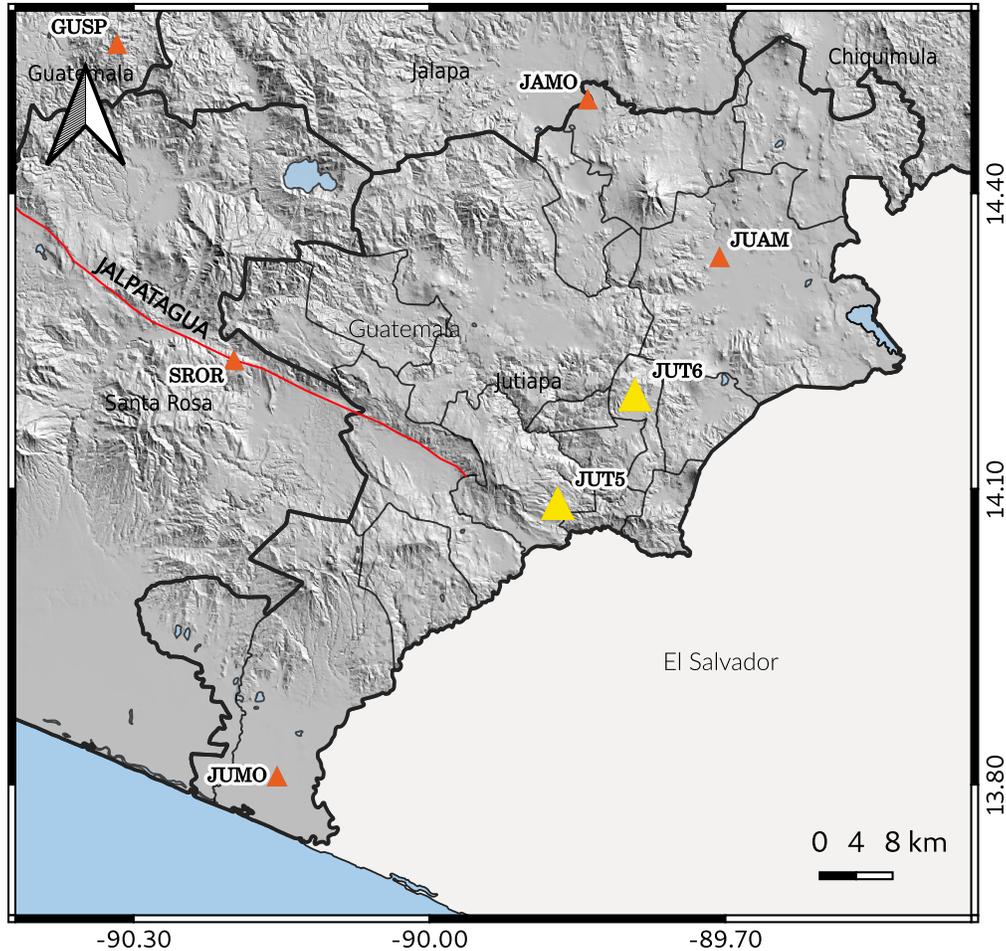
Figura 13: Se muestra un gráfico de dispersión, representando un perfil cuyo corte depende de la profundidad en km y Longitud en grados, con orientación de este a oeste. Se observa con color verde los sismos registrados por el equipo de monitoreo de INSIVUMEH y de color naranja los eventos sensibles reportados por la población.

## 4. Instalación de sensores temporales

### 4.1. Proceso de instalación

El día martes 18 de enero, personal de la sección de sismología y computación científica del Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos instaló dos sensores sísmicos tipo Raspberry Shake, debido a la actividad sísmica que se estaba desarrollando. Los sensores instalados forman parte del proyecto "Aumento de la resiliencia ante riesgos geológicos en Guatemala", que se lleva a cabo en conjunto con la Universidad de Tulsa, Oklahoma EE.UU., financiado por Geocientíficos sin fronteras (GWB, por sus siglas en inglés).

Los sitios elegidos se muestran en la cuadro 2 y la ubicación de la instalación observa en la figura 14).



## LEYENDA

- ▲ Red Sísmica Nacional
- ▲ Red Sísmica Temporal
- Limite departamental
- Delimitación municipal
- Fallas Jalpatagua
- Cuerpos de agua

Figura 14: Mapa de ubicación sensores sísmicos temporales en el departamento de Jutiapa

## 4.2. Registro de eventos y análisis de ruido sísmico

Los sensores instalados fueron monitoreados por parte del personal de sismología. Para la evaluación de los niveles de ruido de las estaciones tem-

porales, se realizaron gráficos de *Power Spectral Desnsity* (PSD, por sus siglas en inglés), que brinda el analisis de ruido para cada una de las estaciones.

En la figura 15, se puede observar que en estas estaciones el espectro de ruido (curva colorida), se encuentra dentro de las cotas superior e inferior (color gris), por lo tanto se puede considerar que las estaciones se enecenuntran en sitios adecuados para la recepción de eventos sísmicos.

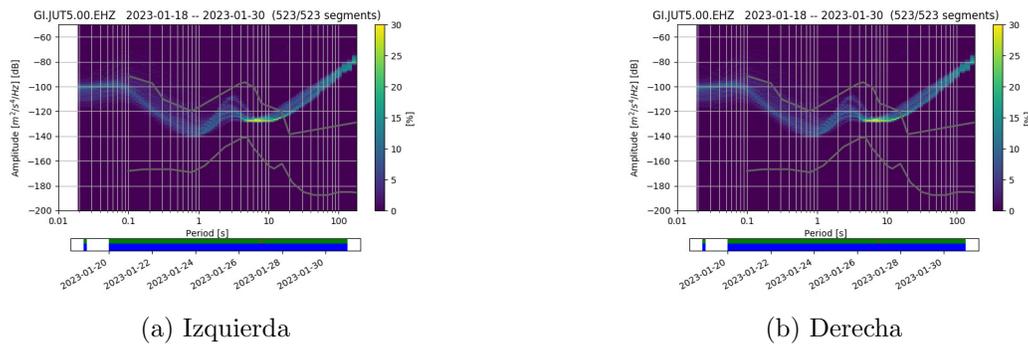


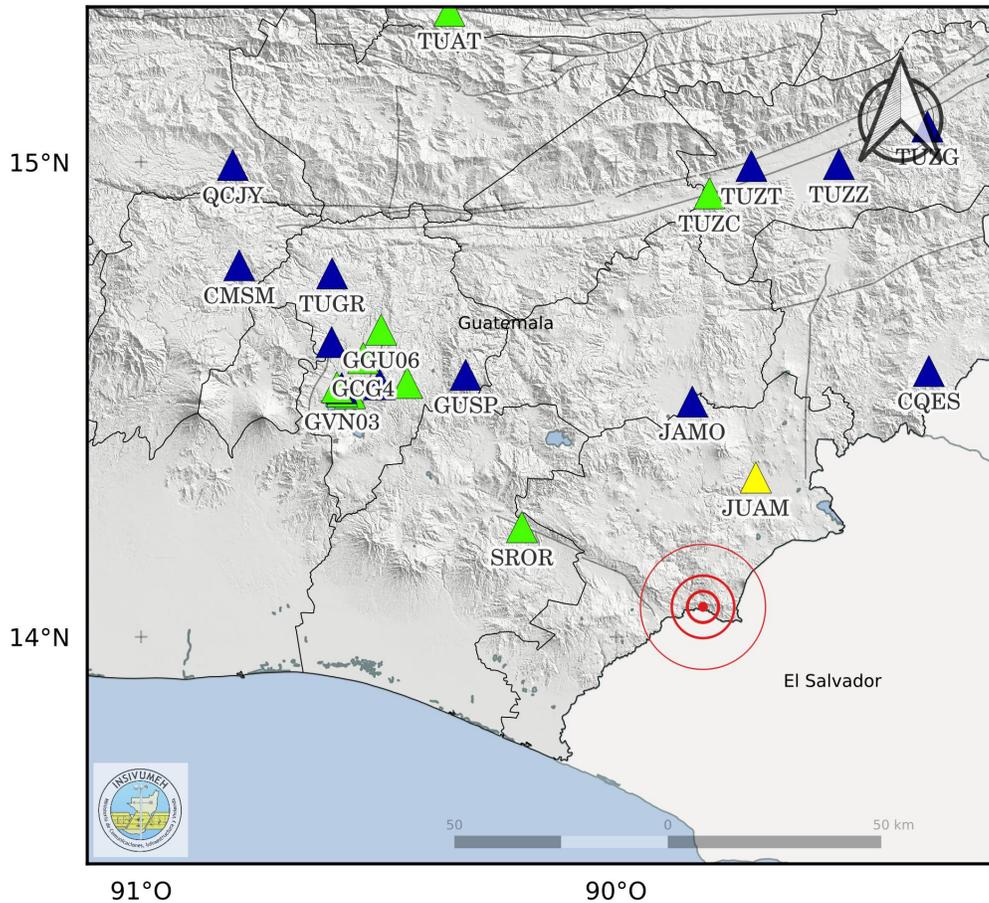
Figura 15: Gráfico de *Power Spectral Desnsity* (PSD), para las estaciones JUT5 (**Izquierda**) y JUT6 (**Derecha**).

## 5. Reporte instrumental de intensidades

### 5.1. Información macrosísmica del sismo

En la figura 16 se muestra un mapa regional simplificado con el epicentro del sismo principal y parte de las estaciones que forman la Red Sísmica Nacional (RSN), de INSIVUMEH. En el mapa se observa la escala de intensidades dada en la escala IMM, Intensidad de Mercalli Modificada, la cual describe la percepción subjetiva que tiene la población ante un sismo en un lugar determinado, la cual consta de 12 rangos medidos en números romanos desde el I al XII, la cual relaciona la percepción del movimiento del suelo de las personas, así como también los daños en edificaciones del lugar.

El evento principal (15/01/2023 17:07 hora local;  $M=5.2$ ), fue registrado por la RSN, de las cuales nueve estaciones que se localizan a menos de 100 km de distancia del epicentro registraron un valor IMM igual o superior a II (ver figura 17 ). El siguiente evento de mayor magnitud (15/01/2023 19:54 hora local;  $M=4.6$ ), fue registrado por la RSN, de las cuales nueve estaciones que se localizan a menos de 85 km de distancia del epicentro registraron un valor IMM igual o superior a II. Estas intensidades fueron estimadas automáticamente con los datos registrados por las estaciones de la RSN que transmiten en tiempo real.



**INFORMACIÓN DEL EVENTO SÍSMICO**

ID	TO-LOCAL	latitudo	longitudo	DEPTH	MAG
15-2307-53L.S202301	2023-01-15T17:07:00.000	14.063	-89.817	0.8	5.2

Relación de Sacudida percibida e intensidad de la escala de Mercali Modificada, según Wald, et al (1999)

**Valor IMM en la Estación**

▲ I (no percibido)	▲ II-III (debil)	▲ V (moderado)	▲ VII (muy fuerte)	▲ IX (violento)
	▲ IV (suave)	▲ VI (fuerte)	▲ VIII (severo)	▲ X (extremo)

Figura 16: Mapa de intensidades para el evento de M5.2 del evento 15/01/2023 17:07.

Departamento	Ubicación	Código	Dist	PGV	PGA	IMM
Jutiapa	Asuncion Mita	JUAM	32	1.086	1.728	IV
Santa Rosa	Oratorio	SROR	45	0.878	1.272	II-III
Jalapa	Monjas	JAMO	47	0.153	0.130	I
Chiquimula	Esquipulas	CQES	75	0.115	0.127	I
Guatemala	San Jose Pinula	GUSP	76	0.243	0.167	I
Guatemala	Colegio Julio Verne	GUJV	85	0.100	0.157	II-III
Guatemala	Villa Canales	GUVC	89	0.137	0.136	I
Guatemala	La Toscana Villa Nueva	GVN04	94	0.130	0.156	II-III
Guatemala	El Tabacal Villa Nueva	GVN03	96	0.109	0.126	II-III
Zacapa	Cabañas	TUZC	96	0.254	0.510	II-III
Guatemala	INSIVUMEH	GCG4	96	0.554	0.608	II-III
Guatemala	COVITGSS Villa Nueva	GVN02	96	0.083	0.139	I
Guatemala	Alcaldia auxiliar Zona 6	GGU06	97	0.114	0.214	II-III
Guatemala	Municipalidad de Villa Nueva	GVN01	97	0.117	0.150	II-III

(fin del cuadro)

Figura 17: Los valores máximos de Aceleración Pico (PGA) y Velocidad Pico del Terreno (PGV) de las componentes horizontales registradas durante el evento principal (15/01/2023 17:07 hora local; M=5.2), se muestran en el cuadro 3 que esta ordenado por distancias epicentrales. Los valores PGA altos se deben a la cercanía al sismo, los cuales decaen conforme la distancia.

Código	Código que identifica la estación.
Dist.	Distancia epicentral a la estación sísmica en km.
PGV	Valor de velocidad pico del suelo en m/s.
PGA	Valor de aceleración pico del suelo en de % g.
IMM	Valor de intensidad sísmica según la escala de Mercalli Modificada.

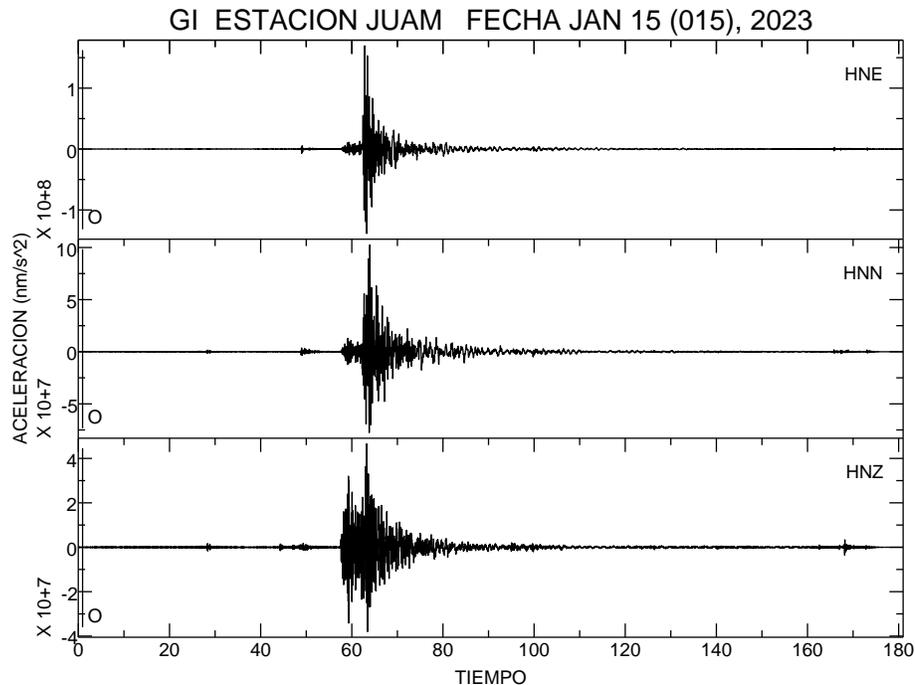
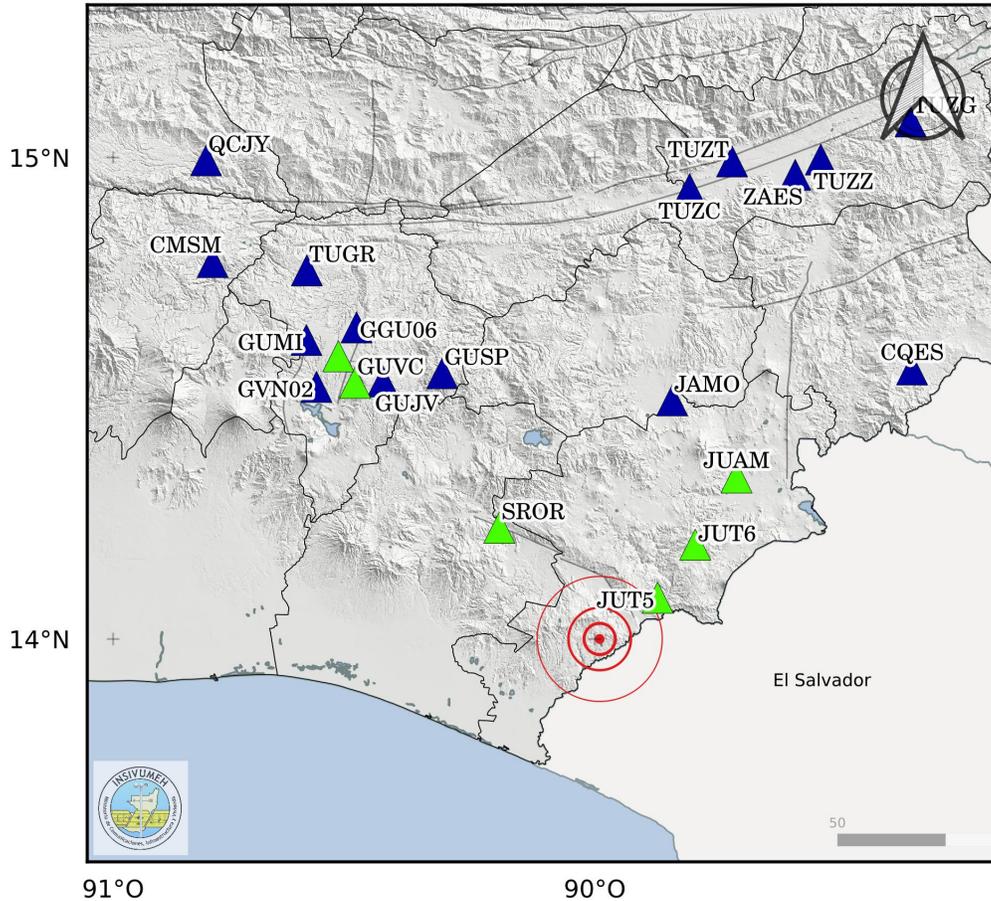


Figura 18: Acelerograma de la estación cercana al evento principal a una distancia de 32 y 45 km, mostrando los componentes E, N y Z (Este, Norte y vertical respectivamente)

Debido al incremento de la actividad sísmica del lugar se instalaron dos sensores temporales en los municipios de Comapa y Yupiltepeque que fueron de gran ayuda para la localización de eventos con magnitudes pequeñas. Con estos sensores se registraron dos eventos sensibles para la población el evento de mayor magnitud 4.7 (01/02/2023 17:10 hora local), fue registrado por la RSN, de las cuales siete estaciones que se localizan a 87 km de distancia del epicentro registraron un valor IMM igual o superior a II (ver figura 19 y figura 20).



### INFORMACIÓN DEL EVENTO SÍSMICO

ID	TO-LOCAL	latitud	longitud	DEPTH	MAG	REG
01-2310-57L.S202302	2023-02-01T17:10:00.000	14	-89.99	0	4.7	NULL

Relación de Sacudida percibida e intensidad de la escala de Mercalli Modificada, según Wald, et al (1999)

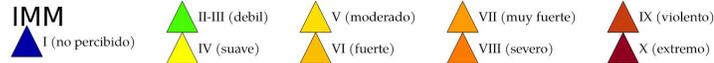


Figura 19: Mapa de intensidades para el evento de M4.7 del evento 01/02/2023 17:10

Departamento	Ubicación	Código	Dist	PGV	PGA	IMM
Jutiapa	Comapa	JUT5	16	0.434	0.821	II-III
Jutiapa	Montufar	JUMO	27	5.885	8.379	V
Jutiapa	Yupiltepeque	JUT6	30	0.206	0.461	II-III
Santa Rosa	Oratorio	SROR	34	0.207	0.327	II-III
Jutiapa	Asuncion Mita	JUAM	48	3.036	0.334	II-III
Jalapa	Monjas	JAMO	57	0.027	0.038	I
Guatemala	San Jose Pinula	GUSP	70	0.065	0.028	I
Guatemala	Colegio Julio Verne	GUJV	76	0.041	0.072	I
Guatemala	Villa Canales	GUVC	80	0.105	0.188	II-III
Guatemala	COVITGSS Villa Nueva	GVN02	85	0.044	0.075	I
Guatemala	INSIVUMEH	GCG4	87	0.214	0.355	II-III

Figura 20: Los valores máximos de Aceleración Pico (PGA) y Velocidad Pico del Terreno (PGV) de las componentes horizontales registradas durante este evento (01/02/2023 17:10 hora local; M=4.7), se muestran en el cuadro 4 que esta ordenado por distancias epicentrales. Los valores PGA altos se deben a la cercanía al sismo, los cuales decaen conforme la distancia

Código	Código que identifica la estación.
Dist.	Distancia epicentral a la estación sísmica en km.
PGV	Valor de velocidad pico del suelo en m/s.
PGA	Valor de aceleración pico del suelo en de % g.
IMM	Valor de intensidad sísmica según la escala de Mercali Modificada.

## Referencias

- [Authemayou et al., 2011] Authemayou, C., Brocard, G., Teyssier, C., Simon-Labric, T., Guttierrez, A., Chiquín, E., and Morn, S. (2011). The caribbean-north america-cocos triple junction and the dynamics of the polochic-motagua fault systems: Pull-up and zipper models. *Tectonics*, 30(3).
- [Duffield et al., 1992] Duffield, W., Heiken, G., Wohletz, K., Maassen, L., Dengo, G., Mckee, E., and Castañeda, O. (1992). Geology and geothermal potential of the tecuamburro volcano area, guatemala. *Geothermics*, 21(4):425–446.
- [Garnier et al., 2021] Garnier, B., Tikoff, B., Flores, O., Jicha, B., DeMets, C., Cosenza-Murales, B., Hernandez, D., Marroquin, G., Mixco, L., and Hernandez, W. (2021). An integrated structural and gps study of the jalpatagua fault, southeastern guatemala. *Geosphere*, 17(1):201–225.
- [Guzmán-Speziale and Molina, 2022] Guzmán-Speziale, M. and Molina, E. (2022). Seismicity and seismically active faulting of guatemala: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 115:103740.
- [LaFemina et al., 2009] LaFemina, P., Dixon, T. H., Govers, R., Norabuena, E., Turner, H., Saballos, A., Mattioli, G., Protti, M., and Strauch, W. (2009). Arc motion and collision of cocos ridge in central america. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(5).
- [Martínez-Diéz et al., 2004] Martínez-Diéz, J. J., Alvarez-Gómez, J. A., Benito, B., and Hernández, D. (2004). Triggering of destructive earthquakes in el salvador. *Geology*, 32(1):65–68.
- [Wald et al., 1999] Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., and Kanamori, H. (1999). Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and modified mercalli intensity in california. *Earthquake Spectra*, 15(3):557–564.
- [Wunderman and Rose, 1984] Wunderman, R. L. and Rose, W. I. (1984). Amatitlán, an actively resurging cauldron 10 km south of guatemala city. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 89(B10):8525–8539.