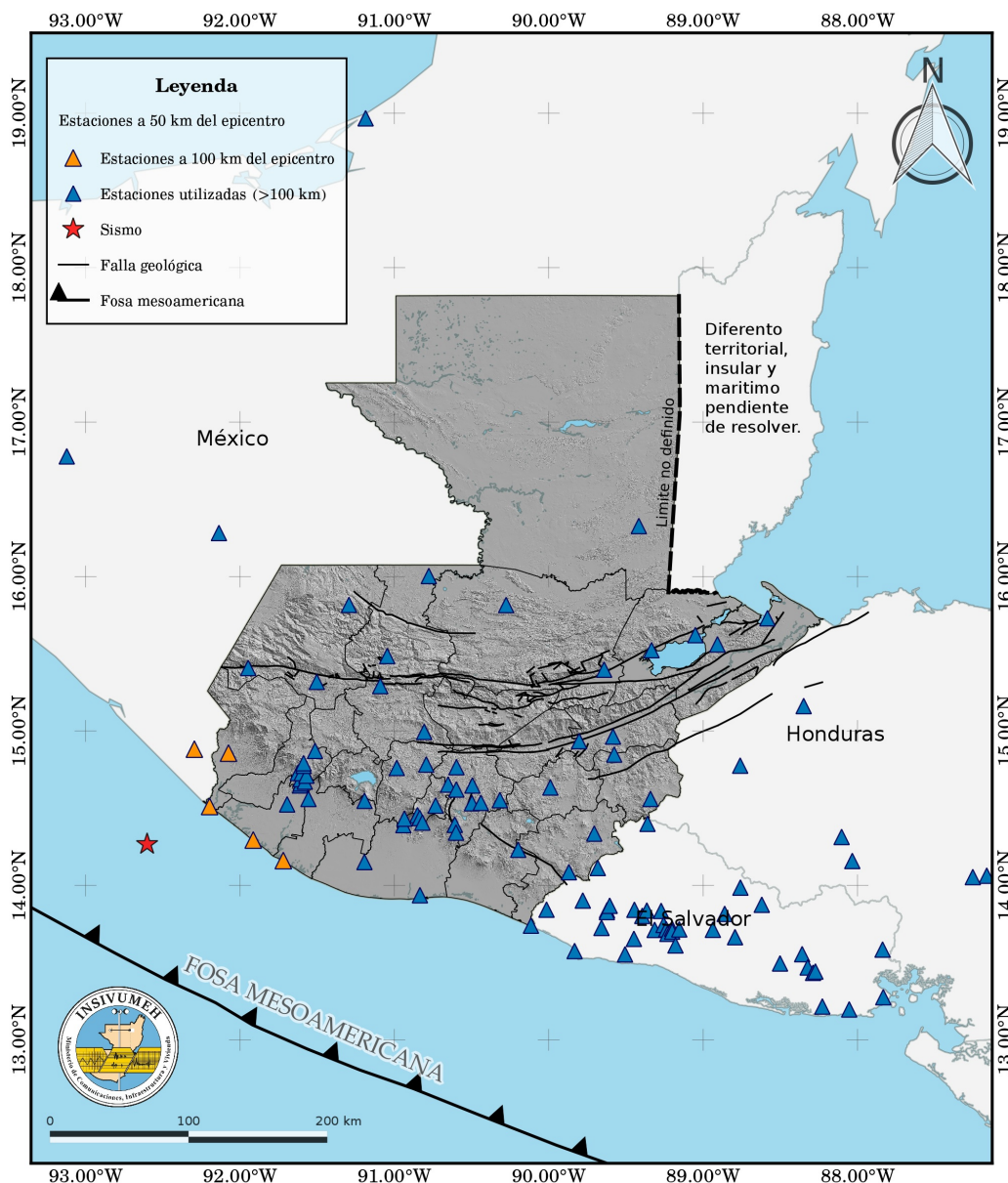




REPORTE TÉCNICO

Evento de magnitud Mw 6.4 registrado en la zona de Subducción del Océano Pacífico, frontera México y Guatemala



INS-DG-SS-RT-2024-03
Mayo de 2024

INSIVUMEH

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS GEOFÍSICOS

SECCIÓN DE SISMOLOGÍA

DIRECTOR GENERAL:

Ing. Edwin Aroldo Rojas Domingo

SUBDIRECTOR GENERAL:

Ing. Mario Rene Mejía Clara

JEFE DEL DEPARTAMENTO:

Lic. Robin Onelio Yani Quiyuch

COORDINADOR DE SISMOLOGÍA

Ing. Diego Andrés Castro Rojas

MONITOREO SÍSMICO:

Tec. Luis Alberto Arriola

Tec. Dulce Pamela Calán Chon

Tec. Irene Almadaly Ligorria Sierra

Tec. Brando Leonel Coc Chen

Tec. Carlos Enrique Perez Tórtola

Tec. Héctor David Barral Padilla

INSTRUMENTACIÓN Y COMPUTACIÓN:

Ing. Oscar Anibal Chamalé Grijalva

Joshua David Paz Garcia

Williams Alexander Juarez Jimenez

Walter René Perez Morales

DISEÑO GRÁFICO:

Tec. Carlos Enrique Perez Tórtola

Índice

1. Introducción	2
2. Parámetros principales	2
2.1. Información hipocentral	2
2.2. Marco tectónico	2
2.3. Sismos históricos	3
3. Procesamiento sismológico	5
3.1. Red Sismológica Nacional -RSN-	5
3.2. Caracterización	6
3.3. Alerta Temprana y Seiscomp	6
3.3.1. Procesamiento de alerta temprana	6
3.3.2. Procesamiento en tiempo real	7
3.4. Localización manual	8
4. Análisis instrumental	8
4.1. Reporte de intensidades	8
4.2. Análisis instrumental (IMM) usuarios alerta temprana de terremotos	10
4.2.1. Mapas de Intensidad por Departamento	11
4.3. Mapa de sacudidas	12
5. Fuente Sísmica	14
5.1. Análisis en el campo cercano: FMNEAR	14
5.2. Análisis en el campo lejano: Inversión de la Fase W	14
6. Conclusiones	17
7. Agradecimientos	17
8. Anexos	18

PAGINA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

1. Introducción

El presente reporte contiene información sobre los distintos parámetros, que permiten caracterizar el evento de magnitud Mw 6.4, ocurrido el día domingo 12 de mayo de 2024, a las 05:39h (hora local), con epicentro en las costas de Chiapas, cercano a la frontera con Guatemala, mecanismo focal, mediciones de intensidades sísmicas instrumentales y mapas de sacudida de dicho evento. Estos productos fueron obtenidos en la Sección de Sismología de INSIVUMEH a través del análisis de los registros de la Red Sismológica Nacional (RSN) y estaciones que comparten información con INSIVUMEH.

Entre los productos presentados en este informe se encuentran los mapas de sacudida, las mediciones de intensidades sísmicas instrumentales y la determinación del mecanismo focal del evento. Estos productos son fundamentales para comprender el impacto del sismo y proporcionar información útil para la gestión del riesgo sísmico en la región.

El informe está organizado en varias secciones que describen en detalle la metodología empleada, los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas del estudio. Al presentar estos productos, se pretende no solo documentar el evento sino también ofrecer herramientas que puedan ser utilizadas por autoridades y comunidades para mejorar la preparación y respuesta ante futuros sismos.

La divulgación de estos resultados es crucial para aumentar la conciencia sobre la sismología en la región y para fomentar la aplicación de medidas de mitigación y prevención basadas en datos científicos precisos.

2. Parámetros principales

2.1. Información hipocentral

El evento sísmico de magnitud Mw 6.4 ocurrió el día domingo 12 de mayo de 2024 a las 05:39h (hora local), con epicentro localizado en las costas de Chiapas, cercano a la frontera con Guatemala. Este sismo tuvo una profundidad de 38 km, de acuerdo con los registros de la Red Sismológica Nacional (RSN) y las estaciones de otras redes sismológicas de la región, adquiridas gracias a los convenios de cooperación internacional.

Cuadro 1: Resumen de la información hipocentral del evento del día 12 de mayo de 2024.

Fecha	Mw	Lat.	Lon.	Prof.
2024:05:12:05:39:12	6.4	14.37	-92.56	38 km

2.2. Marco tectónico

Debido al movimiento de las placas que en esta zona se produce acumulación de energía la cual es liberada en forma de terremotos. Los eventos sísmicos que ocurren en subducción con profundidades no mayores a 40 km son asociados directamente al contacto entre las placas y se conocen como sismos interplaca, entre los 70 y 300 km de profundidad se da lugar a los terremotos de foco intermedio los cuales ocurren dentro de la placa subductora, y se tiene pocos estudios sobre la dinámica de los terremotos de foco profundo (Figura 1).

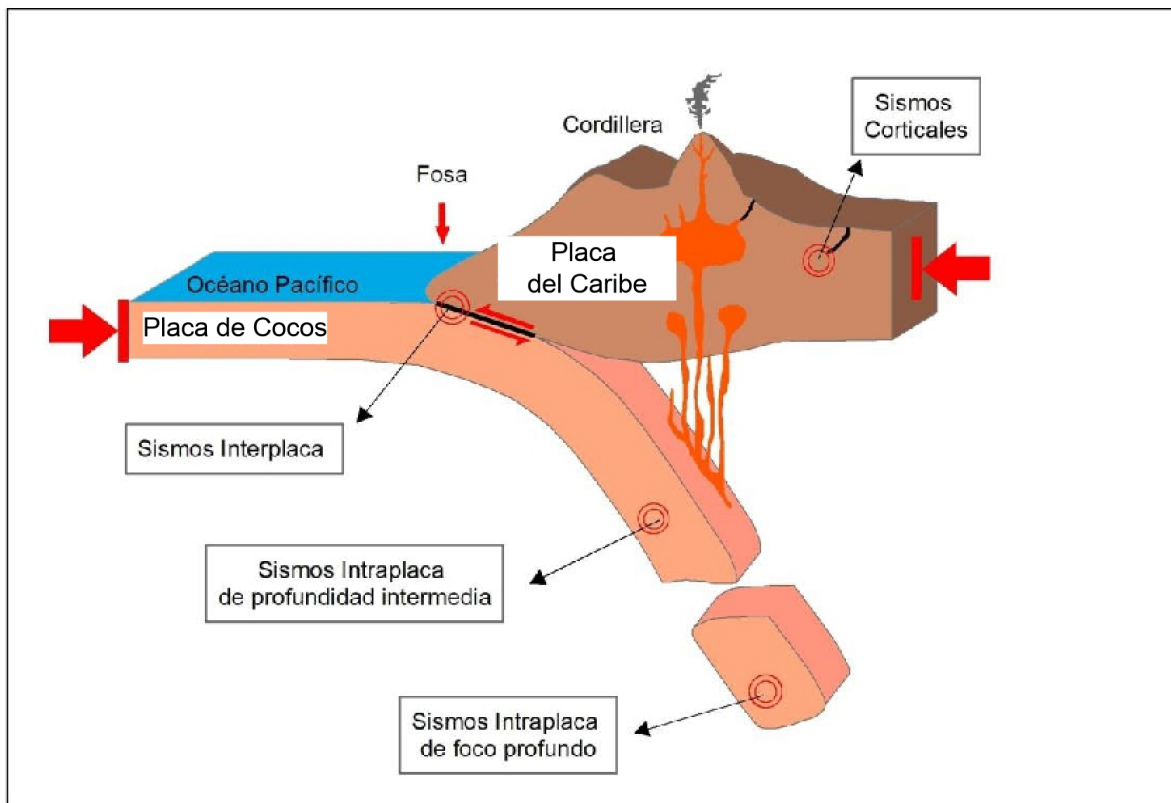


Figura 1: Esquema que muestra a los diferentes tipos de sismos que ocurren en zonas de convergencia de placas: Placas de Cocos y Caribe. Imagen tomada y modificada de Tavera [2020].

2.3. Sismos históricos

En Guatemala debido a los sistemas de fallas y convergencia de las placas tectónicas (Caribe, Cocos y Norteamericana) se tiene un historial de eventos sísmicos importantes, entre ellos varios de carácter destructivo según Molina and Benito [2009]. En este reporte únicamente mencionaremos los eventos asociados a la zona de subducción.

- 19 de abril de 1902:
 Región afectada: zona sur-occidente; Ms 7.9; IMM VIII; Origen: zona de subducción. Generó los mayores daños en Quetzaltenango, San Marcos y San Pedro Sacatepéquez (San Marcos). Se reportaron derrumbes en Cerro Quemado y licuefacción en Ocos. Se estima que murieron alrededor de 1500 personas. Se percibieron un gran número de réplicas, principalmente en las zona costera.
- 6 de agosto de 1942:
 Región afectada: zona del altiplano; Ms 7.9; IMM VIII; Origen: zona de subducción. Los peores daños se reportaron en Chimaltenango y Sacatepéquez, fue sensible en el sureste de México. Las réplicas se sintieron hasta el mes de septiembre. Murieron 38 personas y las pérdidas fueron estimadas en 1 millón de dólares americanos. Se produjeron deslizamientos que bloquearon la carretera CA-1.

- 7 de noviembre de 2012:
Región afectada: zona sur-occidente; Mw 7.4; IMM VII; Origen: zona de subducción. El sismo fue localizado en el Océano Pacífico en las costas de Retalhuleu a aproximadamente 50 km de la costa y a una profundidad de 33.2 km. El fuerte sismo dejó un saldo de 45 personas fallecidas y se tuvo el recuento de 133 municipios afectados (aproximadamente el 40 % de municipios del país) de 11 departamentos del territorio nacional, los departamentos afectados: Huehuetenango, Quetzaltenango, Quiché, Retalhuleu, Sacatepéquez, San Marcos, Sololá, Suchitepéquez, Totonicapán, Chimaltenango y Guatemala.

3. Procesamiento sísmológico

3.1. Red Sísmológica Nacional -RSN-

Las principales características de un sismo se determinan mediante sensores sísmicos, instrumentos fundamentales de la RSN y las redes sísmológicas de la región. Para analizar eventos de mayor magnitud, se cuenta con el apoyo de redes sísmológicas de países vecinos, como México, El Salvador, Honduras y Nicaragua.

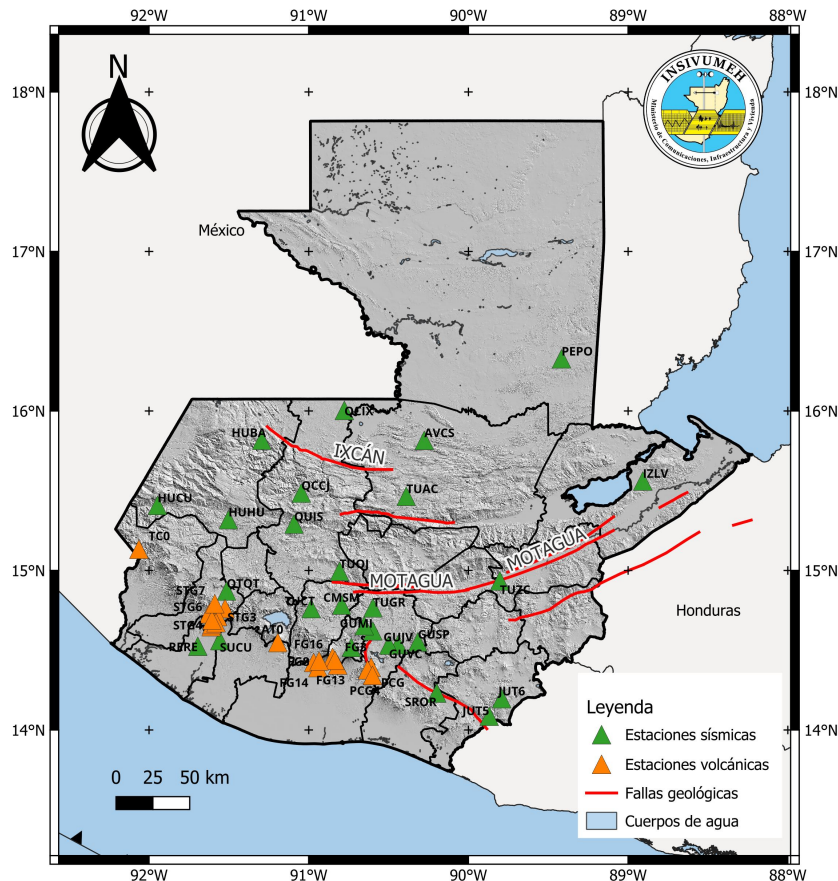


Figura 2: Estaciones sísmicas utilizadas para la caracterización del evento sísmico.

Analizando las señales sísmicas, podemos comenzar con el procesamiento de los datos, esto es *caracterizar* y *localizar* el evento sísmico y brindar su localización hipocentral. Estos aspectos se describen con mayor detalle en la siguiente sección.

3.2. Caracterización

Ante la ocurrencia de un evento sísmico, el personal de la Sección de Sismología del Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos del INSIVUMEH, realiza una serie de procedimientos automáticos y manuales, para poder determinar las características del evento sísmico en cuestión y poder informar a la población en el menor tiempo posible. Esta información sirve para diversos objetivos, entre los más importantes están la toma de decisiones, la atención de emergencias y la comprensión de las fuentes sísmicas.

La Figura 3, muestra las acciones realizadas para la caracterización de los eventos registrados en el territorio guatemalteco que se mencionan en este reporte. Se muestran los pasos empleados para la obtención de resultados, preliminares y revisados.

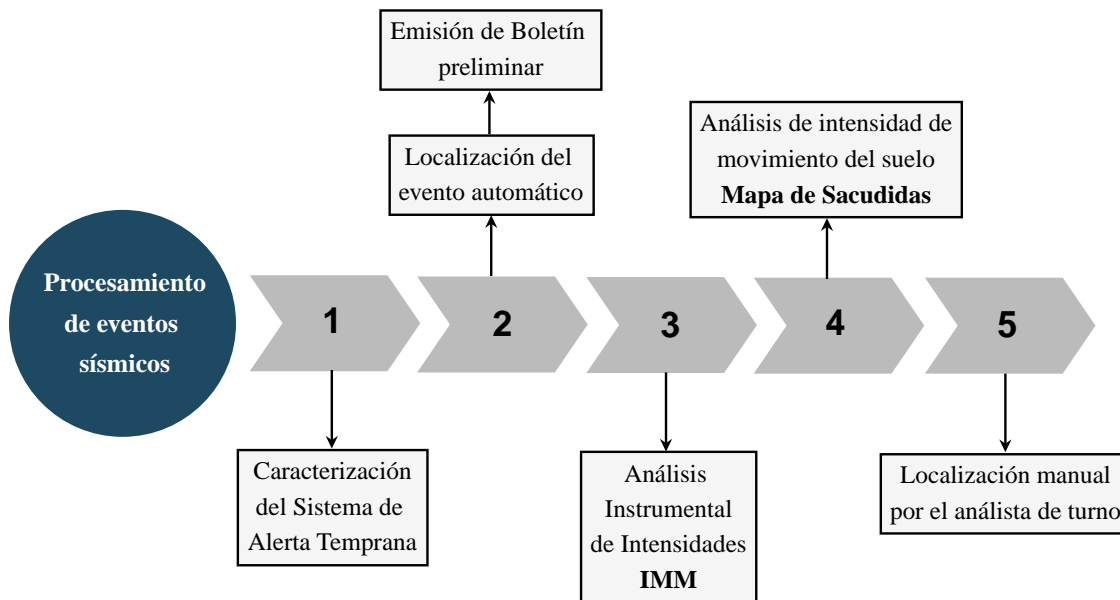


Figura 3: Imagen que muestra los pasos de la caracterización de un evento sísmico.

3.3. Alerta Temprana y Seiscomp

3.3.1. Procesamiento de alerta temprana

La alerta temprana para terremotos es una herramienta que INSIVUMEH ha estado desarrollando en los últimos años con el apoyo del servicio sismológico suizo ETHZ. Esta herramienta estuvo en fase de prueba en el año 2023, y el 7 de febrero del presente año, fue lanzada al público, con el reto de conseguir que la sociedad guatemalteca cuente con una herramienta que alerte ante la ocurrencia de un evento sísmico.

Esta herramienta toma los primeros segundos del registro de los sensores de la Red Sismológica Nacional (RSN) y con esta información se busca caracterizar el evento sísmico (hipocentro, magnitud). Este procesamiento se

lleva a cabo en el Centro Nacional de Datos (CND).

Para el evento asociado a la zona de subducción del 12 de mayo de 2024 a las 05:39:12 hora local, la Figure 4 muestra el tiempo que le tomó a la alerta temprana obtener una magnitud. Se requirieron 23 segundos para obtener una localización y magnitud confiables. El rango temporal observado puede dividirse en cuatro etapas: primero, el tiempo hasta el arribo de la señal a la primera estación; segundo, el tiempo hasta que se registraron las señales en cuatro estaciones adicionales (en ambas etapas es posible obtener una estimación de la intensidad instrumental); tercero, la determinación del epicentro; y finalmente, la obtención de la magnitud.

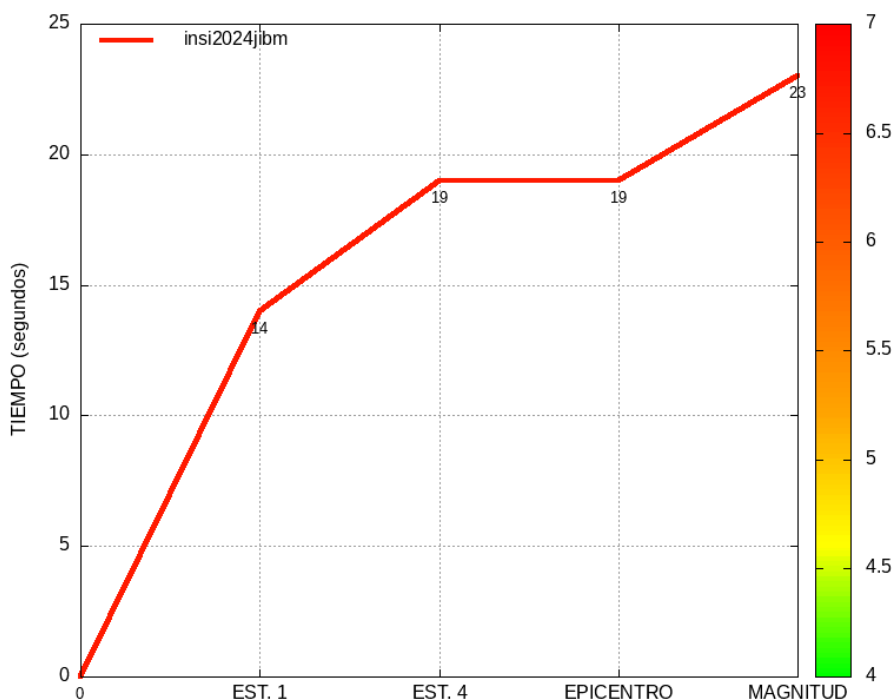


Figura 4: Tiempo de procesamiento de la alerta temprana, color variando según la magnitud.

3.3.2. Procesamiento en tiempo real

Uno de los softwares de utilidad para la localización de sismos es SeisComp [for Geosciences and gempa GmbH, 2008], cuya característica principal es el procesamiento de gran cantidad de señales sísmicas en un periodo cercano al tiempo real, el cual consiste en la localización y caracterización de un eventos sísmico y esta se va actualizando con el arribo de más señales sísmicas.

Para el evento del día 12 de mayo a las 5:39:12 hora local, la primera localización del sismo fue creada utilizando 7 fases y 1 minuto después se generaron 58 nuevas relocalizaciones automáticas, la ultima de éstas soluciones utilizó 50 fases, la cual fue seleccionada como preliminar ya que contaba con los parámetros mínimos del control de calidad.

3.4. Localización manual

Para refinar el análisis de la localización automática, luego de la información preliminar se realizó el procesamiento manual por parte del operador, donde se analizaron para el evento 2024/05/12 a las 05:39:12 (hora local) un total de 120 fases, localizando las llegadas de ondas P y S, indicando también la polaridad de la onda P para las estaciones donde dicha polaridad fuera clara. En la sección 5 se detalla la información de los mecanismos focales de cada evento y la metodología utilizada.

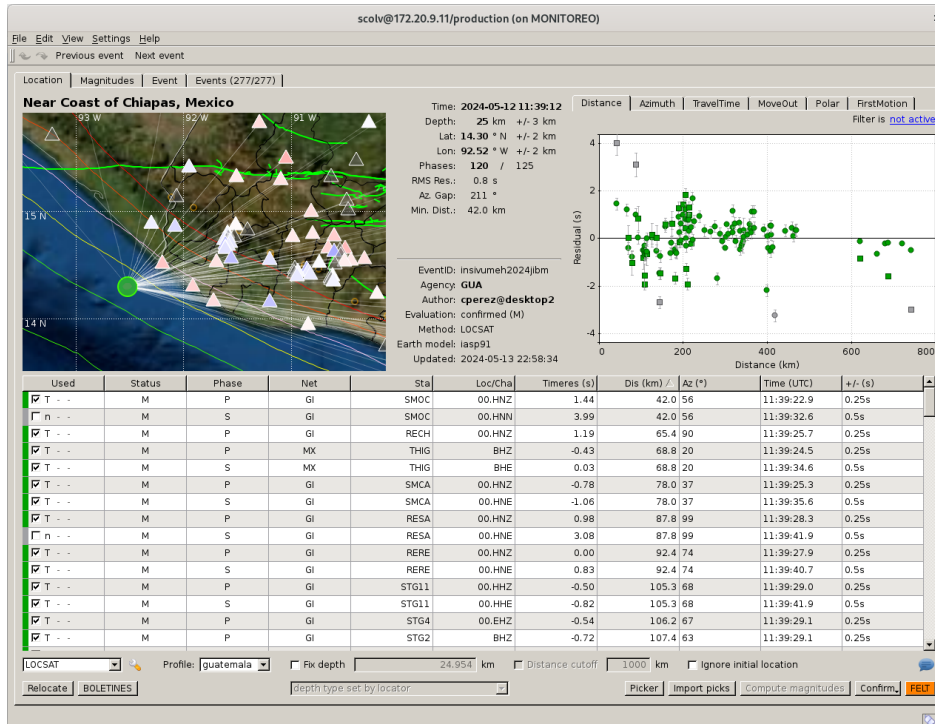


Figura 5: Localización automática del evento 2024/05/12 a las 05:39:12 (hora local), realizada en SeisComp, utilizando la localización manual con 120 fases captadas por la red sísmica de nacional (RSN) y estaciones adscritas por convenio.

4. Análisis instrumental

4.1. Reporte de intensidades

El análisis instrumental de intensidades sísmicas, es un procesamiento que la sección de sismología realiza de forma automática en un período cercano al tiempo real, posterior a la ocurrencia de un evento sísmico. Los mapas presentados muestran el movimiento del terreno y los posibles efectos del sismo directamente en términos de los niveles de intensidad instrumental usando la escala de Mecalli Modificada, en donde expresa mediante una escala de colores la sacudida del suelo

Este procesamiento se aplicó a las estaciones de la RSN (Red Sismológica Nacional) distribuidas dentro el territorio nacional, el tiempo estipulado de procesamiento es entre 2 a 3 minutos posteriores al sismo.

El procedimiento consiste en remover la respuesta instrumental de la forma de onda y luego obtener el valor máximo de aceleración y velocidad registrados por el sensor sísmico.

Con esta información se procede a realizar un mapa de IMM discreto que da una idea del nivel de sacudida en distintos puntos del territorio nacional en este caso para el primer evento sensible (ver tabla 4), útil para las acciones de respuesta de la CONRED y otros organismos nacionales. Es necesario resaltar que al contar con un mayor número de estaciones (p. ej. uno por municipio) se podría tener una mejor resolución, como es el caso del Departamento de Guatemala (Figura 8). Por otra parte, esta información de intensidades instrumentales también es útil para la generación o validación de modelos de predicción del movimiento del suelo (GMPE, *Ground motion prediction equations*) que son de utilidad para diversos objetivos, entre ellos el sistema de alerta temprana de terremotos.

Cuadro 2: Para este sismo la máxima intensidad captada en la estación RECH (obtenido de la tabla 4), siendo de valor V en la escala IMM.

Fecha y hora	IMM Max.	ShakeMap
2024/05/12 05:39:12	V	Figura 11

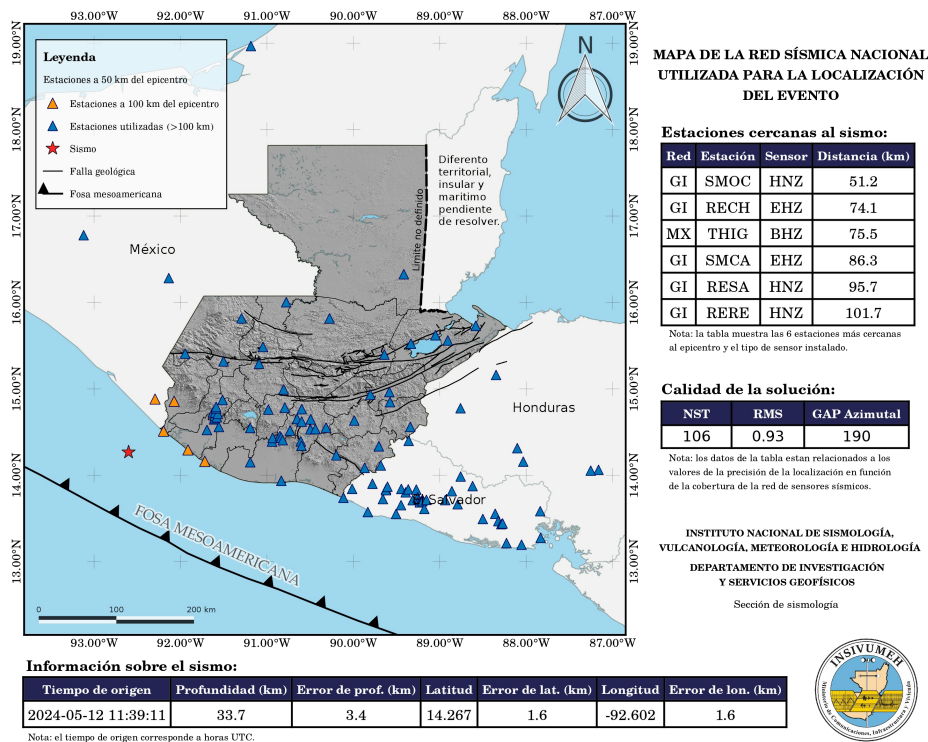
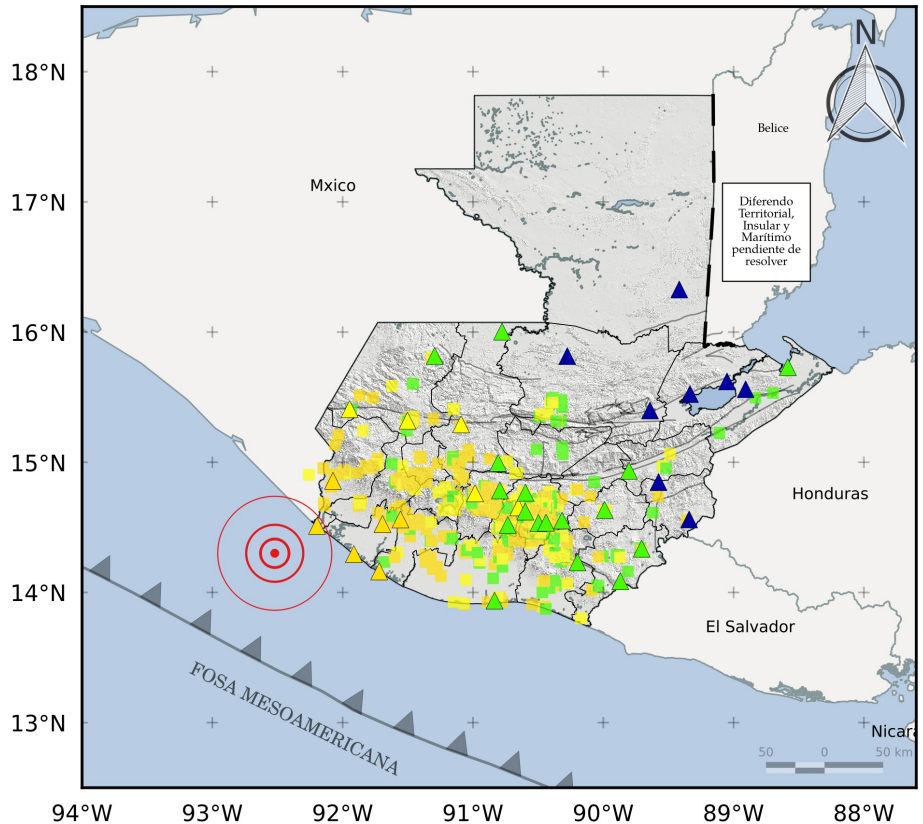


Figura 6: Distribución de las estaciones sísmicas en la RSN y servicios sismológicos regionales. A la derecha, se observa un cuadro con las estaciones más cercanas, así como la calidad de la solución.

4.2. Análisis instrumental (IMM) usuarios alerta temprana de terremotos

El análisis instrumental de la Intensidad Mercalli Modificada (IMM) basado en los reportes de los usuarios de la alerta temprana de terremotos ha proporcionado una valiosa visión sobre la percepción y el impacto de este evento en particular. En total, se recibieron informes de 3114 usuarios, lo que permitió generar mapas detallados de IMM para diversas regiones del país. Estos mapas son fundamentales para comprender la distribución espacial de la intensidad del sismo y mejorar las estrategias de mitigación y respuesta ante futuros eventos sísmicos.



INFORMACIÓN DEL EVENTO SÍSMICO

Tiempo de origen (hora local)	Latitud (N)	Longitud (O)	Profundidad (km)	Magnitud
2024-05-12 05:39:12	14.30019951	-92.52186584	25	6.4

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

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

Figura 7: Mapa del territorio nacional, donde se muestran los 3,114 reportes de la polbación. Guatemala

4.2.1. Mapas de Intensidad por Departamento

Departamento de Guatemala: Se enfoca específicamente en el departamento de Guatemala (Figura 8), proporcionando un desglose más detallado de la intensidad sísmica en esta región clave, que incluye la capital del país.

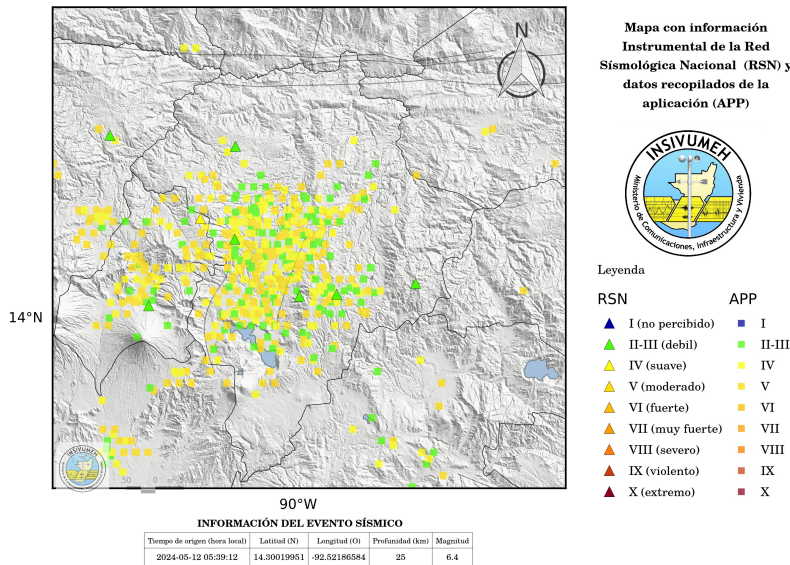


Figura 8: Mapa de IMM para el departamento de Guatemala

Departamento de San Marcos: Centrado en San Marcos (Figura 9), una región frecuentemente afectada por sismos, este mapa es crucial para entender el impacto sísmico local.

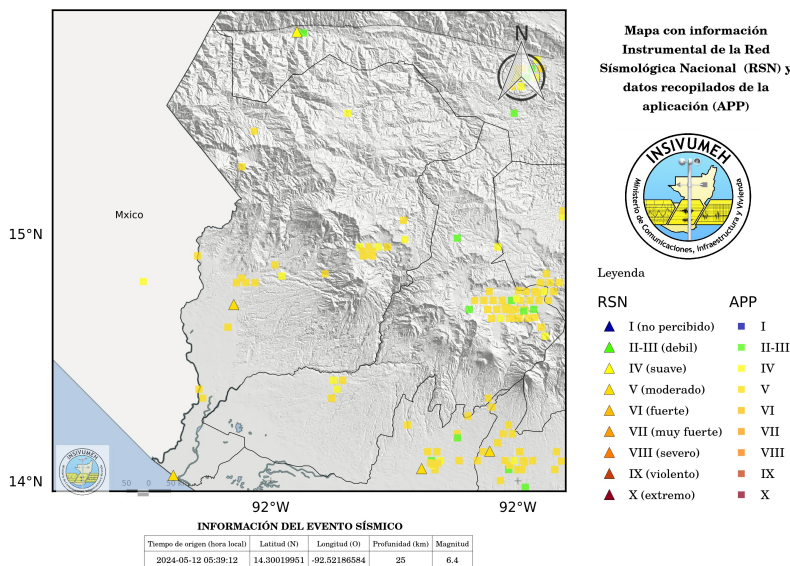


Figura 9: Mapa de IMM para el departamento de San Marcos

Departamento Escuintla: Presenta la intensidad sísmica en Escuintla (Figura 10). Este mapa es esencial para la gestión de riesgos y la preparación ante desastres en la región.

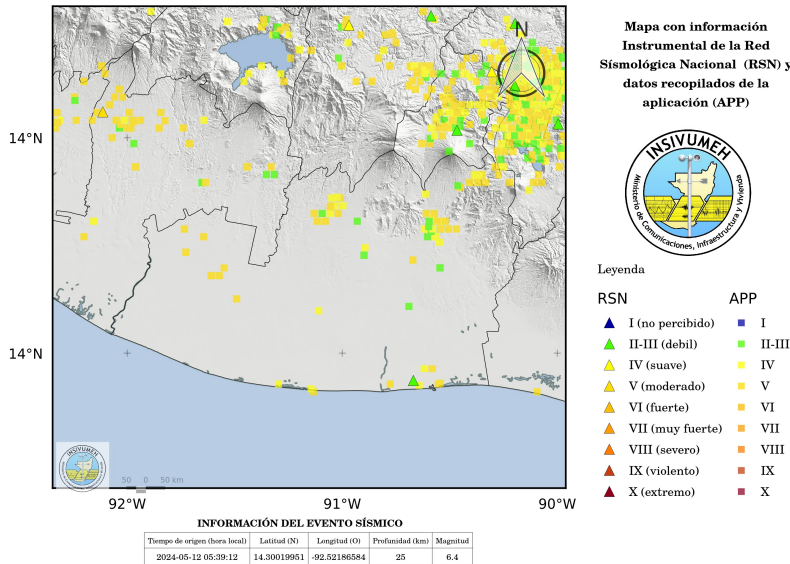


Figura 10: Mapa de IMM para el departamento de Escuintla

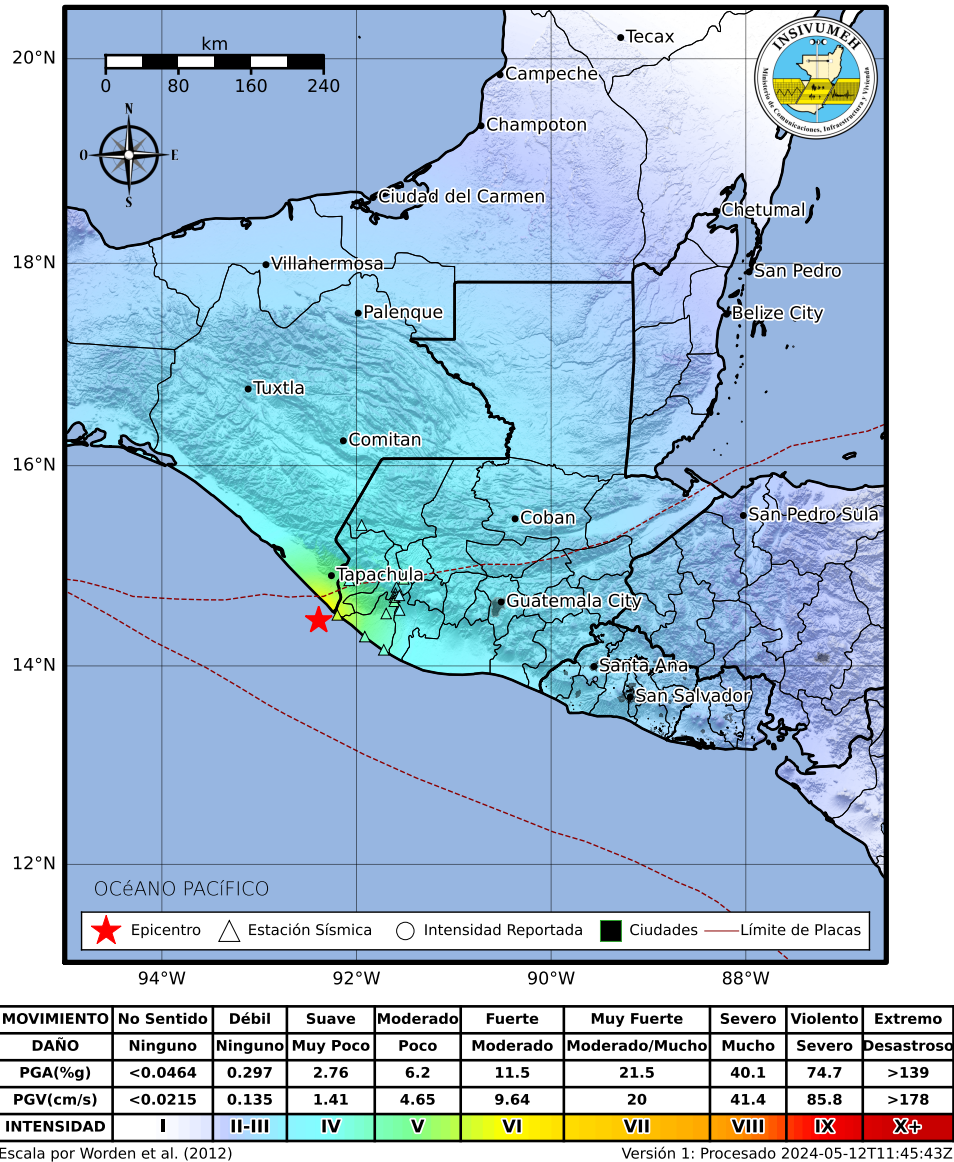
Estos mapas detallados proporcionan información crítica que ayuda a las autoridades y a la población a prepararse mejor y responder de manera efectiva a los sismos. Además, son herramientas clave para la planificación urbana y la construcción segura en las regiones más vulnerables.

4.3. Mapa de sacudidas

El mapa de sacudida o *ShakeMap* (ver figura 11) en inglés, es una herramienta que se utiliza para representar el alcance de las sacudidas después de un terremoto, «Esta información es fundamental para medir la extensión de las áreas afectadas, determinar qué áreas son potencialmente más afectadas y permitir una estimación rápida de las pérdidas» Worden et al. [2012].

El *ShakeMap*, que fue desarrollado por primera vez para terremotos en el sur de California, como parte del Proyecto TriNet, un esfuerzo conjunto del Servicio Geológico de EE.UU. En Guatemala se ha implementado en el monitoreo sísmico en INSIVUMEH a partir del año 2023.

EL centro de datos en INSIVUMEH de la sección de sismología del Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos, recopila datos de aceleración del suelo registrados por la Red Sismológica Nacional (RSN) y socios locales, así de otros centros sismológicos internacionales, de los cuales se calculan los valores de intensidad instrumental que experimenta el suelo, esta intensidad se mide en la escala de Mercali Modificada (IMM, ver sección 6).



© Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala, C.A. (INSIVUMEH 2024.)

Figura 11: Mapa de Guatemala con la distribución espacial de las intensidades. El degradado de colores hace referencia a la intensidad de movimiento del suelo en escala de Mercali Modificada, de acuerdo a su aceleración y velocidad pico registrados, propuesto por [Worden et al., 2012]

5. Fuente Sísmica

5.1. Análisis en el campo cercano: FMNEAR

Uno de los métodos utilizados para el cálculo del mecanismo focal fue la inversión de formas de onda con el software FMNEAR, con el cual se estimaron: la magnitud de momento (M_w), el mecanismo de doble par (rumbo, buzamiento e inclinación) y la distribución del momento sísmico a lo largo del rumbo, lo cual proporciona una estimación de primer orden de la longitud de ruptura y directividad [Delouis, 2014].

Para el caso del sismo del 12 de mayo del 2024 se logró obtener un mecanismo focal bien restringido con un RMS de 0.63 y un índice de confianza de 73 % al utilizar 35 componentes, resultando una solución tipo B con profundidad de 33.7 km como se muestra en la figura 12 (en la sección de anexos se muestra la solución completa donde se observa la inversión de las estaciones utilizadas), en la cual se muestra un mecanismo focal, correspondiente a una falla normal inversa.

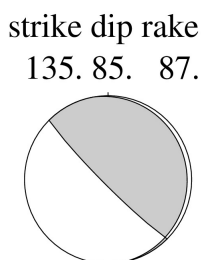



Figura 12: Solución obtenida para el sismo del 12/05/2024 05:39 (hora local), con el software FMNEAR [Delouis, 2014], cuyas magnitud de momento sísmico es M_w 6.3 y sus planos nodales obtenidos.

5.2. Análisis en el campo lejano: Inversión de la Fase W

La fase W es una onda de largo período que arriba antes de la llegada de la onda S. Los rangos de velocidad de esta se encuentran entre 4.5 a 9.0 km/s y el rango de períodos entre 100 a 1 000 s. Debido a ello no se ve muy afectada por las heterogeneidades en el interior de la Tierra [Kanamori and Rivera, 2008] y resulta relativamente sencillo modelarla con gran precisión. Es posible realizar esta inversión con sismogramas saturados por el arribo de las ondas superficiales, debido a que la fase W se encuentra antes de la llegada de la onda S, por lo que se pueden utilizar estaciones locales, regionales y globales.

Actualmente el INSIVUMEH obtiene soluciones estables usando el método de inversión de fase W, para sismos con magnitudes mayores de M_w 5.8. Para este análisis se utiliza el software *W-phase* [Kanamori and Rivera, 2008, Hayes et al., 2009, Duputel et al., 2012], ejecutado de forma manual, con él se obtiene una descripción del tensor de momento, el momento sísmico, la magnitud de momento (M_w , magnitud de momento basada en la fase W), información de los planos nodales, parámetros de ajuste, entre otros (ver Figuras 13 y 14). Los planos nodales encontrados con *W-phase* se muestran a continuación:

Método	PN1(°)	PN2 (°)	M_w	Prof (km)	MF
WPHASE	127.0/36.4/-101.4	321.1/54.4/-81.7	6.35	17.5	

Cuadro 3: Datos obtenidos por el método de inversión de Fase W.

Actualmente se trabaja en automatizar este proceso y poder obtener soluciones en el menor tiempo posible, ya que estas pueden ser de utilidad para la identificación de sismos con posibilidad de generar tsunamis y una elección apropiada de modelos de atenuación o de predicción del movimiento del suelo, para generar mapas de intensidad sísmica, entre otros.

insivumeh2024jibm, filter = (0.0040, 0.0100, 4, 1), p 1/3

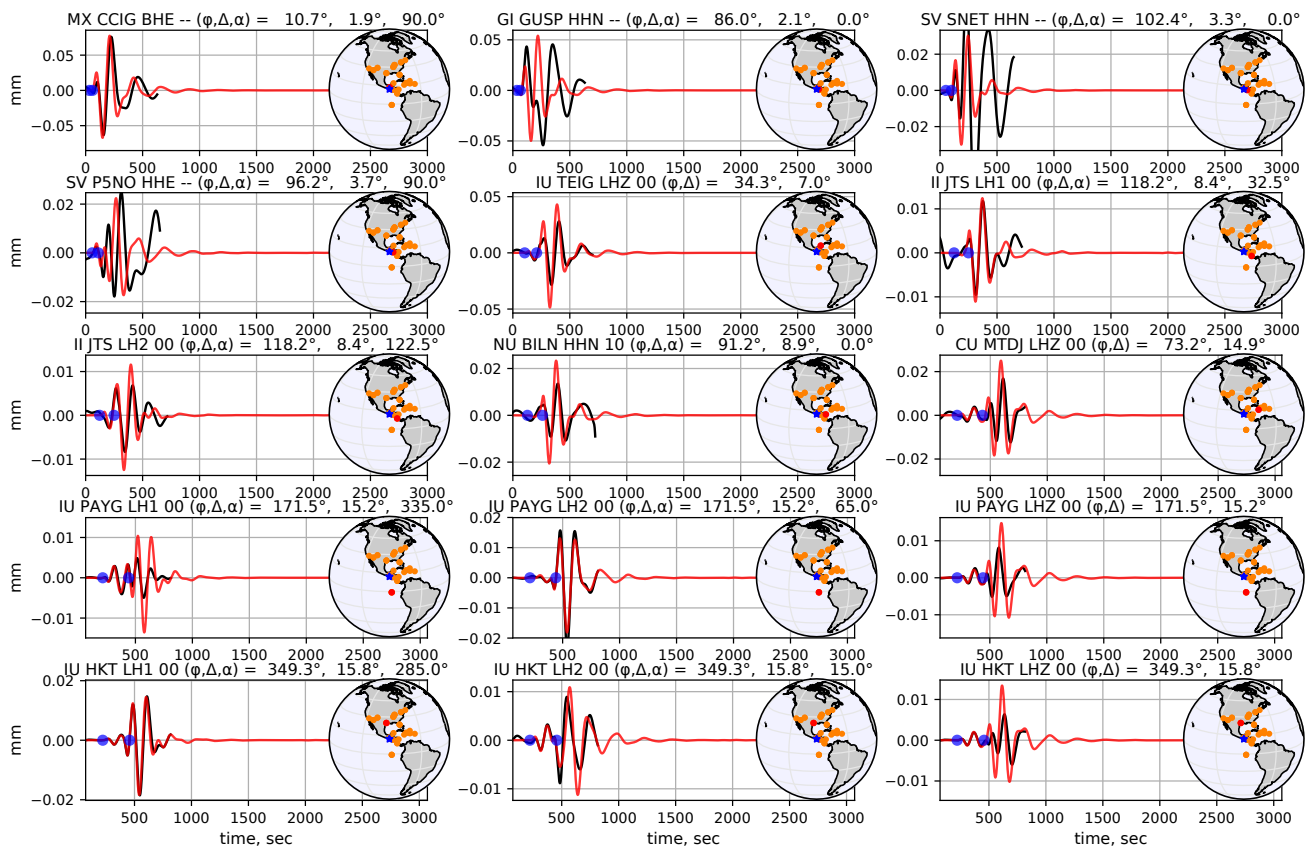


Figura 14: Imagen donde se muestra el ajuste del sismograma registrado (negro) y el sismograma sintético (rojo) en algunas de las estaciones sísmicas utilizadas. Los puntos azules sobre el sismograma delimitan la ventana de tiempo donde se modela la fase W.

6. Conclusiones

El sismo ocurrido el 12 de mayo de 2024 en las costas del Pacífico de Guatemala, es asociado a la zona de subducción. Subraya la importancia de las herramientas avanzadas de monitoreo y análisis sísmico implementadas por el INSIVUMEH. Los mapas de Intensidad Mercalli Modificada (IMM) y el ShakeMap son fundamentales para evaluar la intensidad del movimiento del suelo y la extensión de las áreas afectadas.

Por medio del software WPHASE se obtuvo una magnitud estimada de M_{ww} 6.35, con características de mecanismo tipo normal inverso, reforzando de esta manera que el sismo pertenece a la subducción con mayor precisión y detalle en sus coordenadas hipocentrales.

Los mapas IMM proporcionan información crítica sobre la aceleración y velocidad pico del suelo, permitiendo una representación detallada de la intensidad del movimiento sísmico, en este caso alcanzando intensidad máxima IMM en la estación RECH de V en la escala de Mercalli Modificada (ver tabla 4). Esta información es esencial para la planificación urbana y la construcción segura en regiones vulnerables, ayudando a las autoridades y a la población a prepararse mejor y a responder de manera efectiva a los sismos.

7. Agradecimientos

Para generar la información incluida en este reporte, además de la utilización de los registros sísmicos de la Red Sismológica Nacional (RSN) operada por el INSIVUMEH, se utilizó información del Servicio Sismológico de México (SSN), del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el Salvador, del Comité Permanente de Contingencias (COPECO) de Honduras y del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). También se han integrado a la RSN estaciones sismológicas de socios locales: Municipalidad de Guatemala y Colegio Julio Verne. Además, para los análisis con registros telesísmicos se utilizaron registros sísmicos obtenidos a través de la plataforma Wilber 3, del consorcio EarthScope, con el que el INSIVUMEH intercambia información de forma permanente.

Por otro lado la cooperación internacional ha significado un fortalecimiento de la RSN y en consecuencia en la calidad de la información sismológica generada por el INSIVUMEH, entre los que cabe destacar el Proyecto de Alerta Temprana de Terremotos para América Central (ATTAC), con el apoyo del ETHZ/COSUDE y un especial agradecimiento a: Griselda Marroquin y al Msc. Ing Luis Mixco personal del (MARN) quienes en el marco del proyecto ATTAC no han apoyado en la implementación el ShakeMap. El Programa de Asistencia para Desastres Volcánicos (VDAP, por sus siglas en inglés) del Servicio Sismológico de los Estados Unidos y del proyecto Aumentando la Resiliencia ante Amenazas Naturales en Guatemala, con la Universidad de Tulsa, Oklahoma y Geocientíficos Sin Fronteras. Agradecemos a la Universidad de Chile, que por medio del Programa Riesgo Sísmico ha brindado apoyo al INSIVUMEH para la implementación del FMNEAR.

También resaltamos el apoyo de la SE-CONRED, quienes comunican al INSIVUMEH los reportes de la población a través de sus delegados en todo el territorio nacional.

Cuadro 4: Valores de velocidad y aceleración instrumental y su relación con la intensidad sísmica según [Wald et al., 1999] para el evento sensible del 05-03-2024 08:52 (hora local).

Departamento	Ubicación	Código	Dist	PGV	PGA	IMM
Retalhuleu	Champerico	RECH	65	4.174	6.343	V
San Marcos	Catarina	SMCA	78	2.548	6.386	V
Suchitepequez	Cuyotenango	SUCU	107	1.753	5.349	V
Huehuetenango	Cuilco	HUCU	137	1.840	2.677	IV
Quiche	Sacapulas	QUIS	188	1.221	1.190	II-III
Sacatepéquez	San José Pacul	TUSP	205	1.357	1.932	IV
Quiche	Chajul	QCCJ	205	0.540	1.408	IV
Guatemala	Lo de Coy - Mixco	GUMI	210	0.930	1.255	II-III
Huehuetenango	Santa Cruz Barillas	HUBA	213	0.511	0.839	II-III
Guatemala	San Jose Pinula	GUSP	239	0.236	0.174	II-III
Santa Rosa	Oratorio	SROR	250	0.749	0.911	II-III
Jalapa	Jalapa	TUJJ	275	0.220	0.229	II-III
Alta Verapaz	Chisec	AVCS	293	0.117	0.080	I
Alta Verapaz	Panzos	TUAP	332	0.089	0.100	II-III
Chiquimula	Esquipulas	CQES	344	0.239	0.075	I
Izabal	El Estor	TUIE	368	0.172	0.123	II-III
Izabal	Rio Dulce	IZRD	400	0.205	0.106	I
Izabal	Aldea Buenos Aires	IZLV	413	0.112	0.056	I
Izabal	Puerto Barrios	IZPB	452	0.993	0.436	II-III

(fin del cuadro)

Referencias

Bertrand Delouis. Fmnear: Determination of focal mechanism and first estimate of rupture directivity using near-source records and a linear distribution of point sources. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104:1479–1500, 06 2014. doi: 10.1785/0120130151.

Z. Duputel, L. Rivera, H. Kanamori, and G. Hayes. W phase source inversion for moderate to large earthquakes (1990–2010). *Geophysical Journal International*, 189:1125–1147, May 2012. doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05419.x. URL <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05419.x>.

Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences and gempa GmbH. The seiscomp seismological software package, 2008. URL <https://doi.org/10.5880/GFZ.2.4.2020.003>.

G. Hayes, L. Rivera, and H. Kanamori. Source Inversion of the W-Phase: Real-time Implementation and Extension to Low Magnitudes. *Seismological Research Letters*, 80(5):817–822, September 2009. doi: 10.1785/gssrl.80.5.817. URL <https://doi.org/10.1785/gssrl.80.5.817>.

- H. Kanamori and L. Rivera. Source inversion of Wphase: speeding up seismic tsunami warning. *Geophysical Journal International*, 175:222–238, October 2008. doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03887.x. URL <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03887.x>.
- E. Molina and Ma. B. Benito. Capítulo 6: Estudio de la amenaza sísmica en Guatemala. In Ma. B. Benito and Y. Torres, editors, *Amenaza sísmica en América Central*, pages 145–167. Entimema, Madrid, 2009.
- Hernando Tavera. Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú. -, 2020.
- David J Wald, Vincent Quitoriano, Thomas H Heaton, and Hiroo Kanamori. Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity, and modified mercalli intensity in California. *Earthquake spectra*, 15(3):557–564, 1999.
- C. B. Worden, M. C. Gerstenberger, D. A. Rhoades, and D. J. Wald. Probabilistic Relationships between Ground-Motion Parameters and Modified Mercalli Intensity in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(1):204–221, 02 2012. ISSN 0037-1106. doi: 10.1785/0120110156. URL <https://doi.org/10.1785/0120110156>.