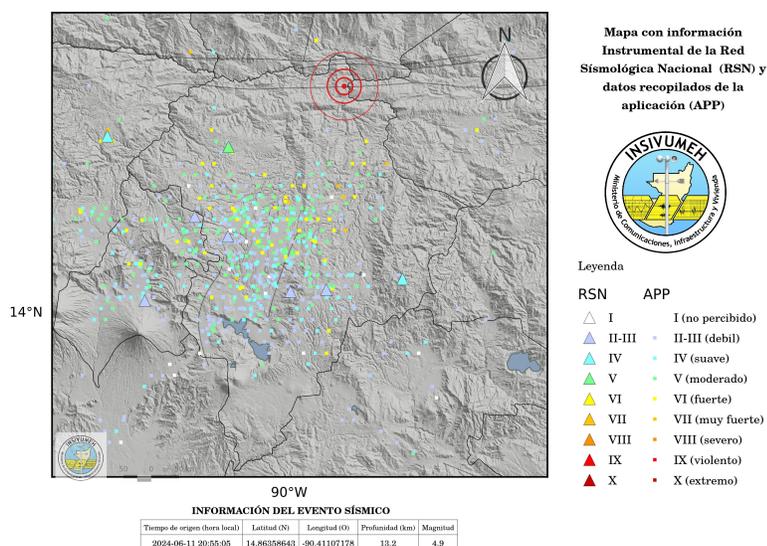


EVENTO DE MAGNITUD M_w 4.8 ASOCIADO A LA FALLA DE MOTAGUA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

INS-DG-SS-RT-2024-05



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS
GEOFÍSICOS

SECCIÓN DE SISMOLOGÍA

JUNIO DE 2024

Elaborado por:

Héctor David Barral Padilla

Brando Leonel Coc Chen

Dulce Pamela Calán Chon

REPORTE TÉCNICO

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS GEOFÍSICOS. SECCIÓN DE SISMOLOGÍA.

DIRECTOR GENERAL:

Ing. Edwin Aroldo Rojas Domingo

SUBDIRECTOR GENERAL:

Ing. Mario René Mejía Clara

JEFE DEL DEPARTAMENTO:

Lic. Robin Onelio Yani Quiyuch

COORDINADOR DE SISMOLOGÍA

Ing. Diego Andrés Castro Rojas

MONITOREO SÍSMICO:

Nancy Gabriela Xol Castellanos

Luis Alberto Arriola

Dulce Pamela Calán Chon

Irene Almadaly Ligorria Sierra

Brando Leonel Coc Chen

Carlos Enrique Perez Tórtola

Héctor David Barral Padilla

INSTRUMENTACIÓN Y COMPUTACIÓN:

Ing. Oscar Anibal Chamalé Grijalva

Joshua David Paz Garcia

Williams Alexander Juarez Jimenez

Walter René Perez Morales

Pablo Roberto Castellanos Diéguez

Josué Onan Rodriguez Chiroy

Índice

1. Introducción	3
2. Contexto Geológico	4
2.1. Sismicidad Histórica	6
3. Caracterización	7
4. Procesamiento	8
4.1. Procesamiento de alerta temprana	9
4.2. Procesamiento en tiempo real	10
4.3. Localización manual	10
5. Análisis instrumental (IMM)	11
5.1. Intensidad instrumental y reportes de usuarios de la aplicación de la alerta temprana de terremotos	15
5.1.1. Mapas de Intensidad por Departamento	16
6. Mapa de sacudida (<i>ShakeMap</i>)	17
7. Mecanismo focal	19
7.1. Polaridad del Primer arribo	19
7.1.1. Inversión de la forma de onda en el campo cercano con FMNEAR	21
8. Conclusiones	23
9. Agradecimientos	24
10. Anexos	25

1. Introducción

El presente informe tiene como objetivo dar a conocer los productos derivados del análisis del evento sísmico de magnitud M_w 4.8 ocurrido el martes 11 de junio de 2024 a las 20:55 horas (hora local), con epicentro en el departamento de Guatemala. Este evento ha sido estudiado por la Sección de Sismología del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), utilizando los registros de la Red Sismológica Nacional (RSN) y estaciones sísmicas de instituciones colaboradoras, nacionales e internacionales.

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. Contexto Geológico

La Falla del Motagua es una falla transformante que atraviesa Guatemala y el sureste de México siendo una de las estructuras geológicas más importantes y activas de Centroamérica. Esta falla forma parte de la zona de falla Motagua-Polochic según Simon-Labric et al. (2013), que es la principal estructura límite de la placa tectónica del Caribe y la placa Norteamericana que se vincula con las fallas transformantes de la corteza oceánica al este del país Styron et al. (2020).

Se extiende aproximadamente 200 kilómetros desde la costa del Caribe hasta el suroeste de Guatemala, pasando por varios departamentos, incluyendo Izabal, Zacapa, El Progreso, Guatemala y Chimaltenango. Es una falla transformante, lo que significa que los bloques de la corteza terrestre se deslizan horizontalmente uno respecto al otro, el movimiento predominante es el de deslizamiento lateral izquierdo, donde el bloque del Caribe se desplaza hacia el oeste y el bloque Norteamericano hacia el este.

Varios terremotos han sido producidos en esta falla, siendo uno de los más conocidos el sismo de Guatemala del 4 de febrero de 1976, de características superficiales, alrededor de 5 km de profundidad y magnitud $M_s=7.5$.

REPORTE TÉCNICO

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS GEOFÍSICOS. SECCIÓN DE SISMOLOGÍA.

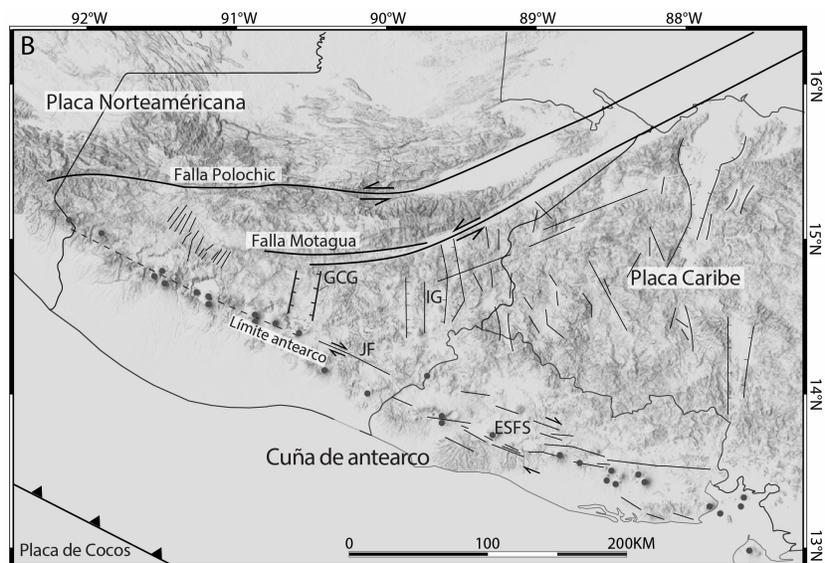


Figura 1: Visión general de las principales placas tectónicas y la zona de falla Motagua-Polochic (Authemayou et al., 2011). Nombres abreviados, JF-Falla de Jalpatagua; ESF-Sistema de fallas de El Salvador; GCG graben de la Ciudad de Guatemala; IG graben de Ipala. Imagen modificada de Garnier et al. (2021)

2.1. Sismicidad Histórica

Desde el año 2020 a la actualidad INSIVUMEH ha reportado 42 sismos corticales con epicentro en la parte central de la Falla Motagua (ver figura 2) entre magnitudes de 1.4 a 4.8. El sismo de mayor magnitud se registro el día 11 de junio de 2024 a las 20:55:05, su epicentro se localizó en el municipio de Chuarrancho del departamento de Guatemala, se trato de un sismo somero con una profundidad de 6.1 km.

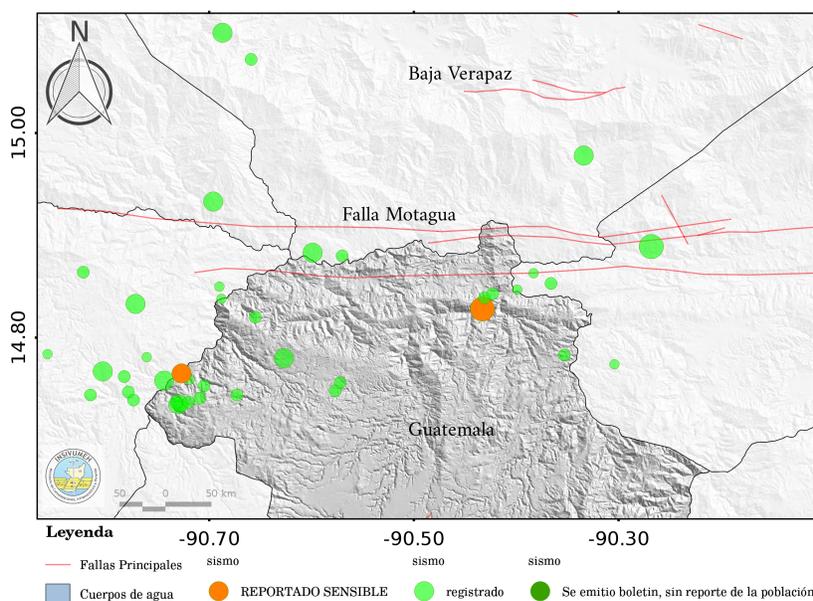


Figura 2: Mapa de sismos registrados desde 2020 hasta la actualidad.

3. Caracterización

Ante la ocurrencia de un evento sísmico, el personal de la Sección de Sismología del Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos del INSI-VUMEH, 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.

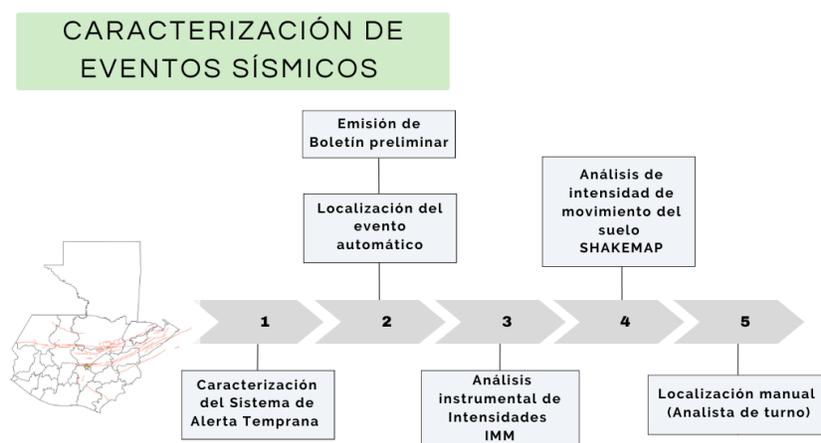


Figura 3: Imagen que muestra los pasos de la caracterización de un evento sísmico.

4. Procesamiento

La descripción inicial de las características del sismo se obtiene mediante la utilización de sensores sísmicos en el territorio nacional y países vecinos como México, El Salvador, Honduras y Nicaragua. En la figura 4, se muestra los productos obtenidos a través del análisis de dicha información.



Figura 4: Procesamiento de datos sísmicos.

4.1. Procesamiento de alerta temprana

La alerta temprana para terremotos es una herramienta que INSIVUMEH ha estado desarrollando en los últimos años en colaboración con el Servicio Sismológico Suizo (SED-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.

Para el evento sensible del día 2024:06:11:20:55:05 (hora local), este con una magnitud local de 4.8 y Mw 4.8, se puede verificar el tiempo que toma la alerta temprana en la figura 5; se observa que toma 6 segundos llegar a la primera estación, 8 segundos en llegar a la cuarta estación y dar la primera localización esto haciendo un total de 14 segundos aproximadamente, para alertar a la población en este caso por medio de la aplicación.

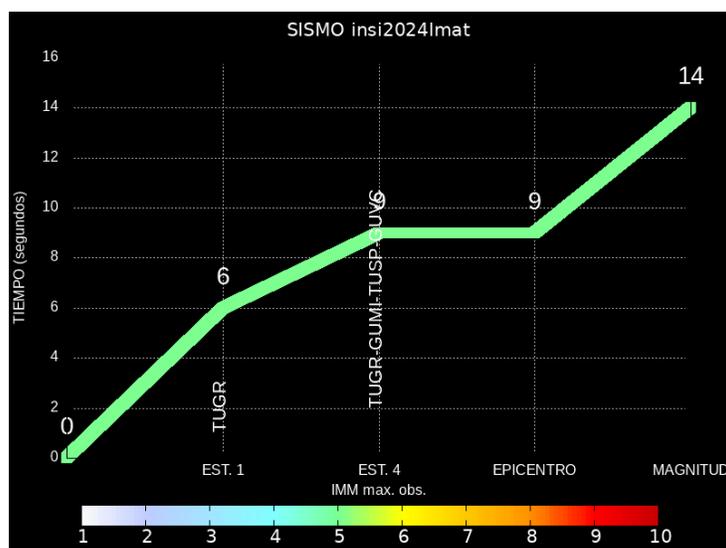


Figura 5: Tiempo de procesamiento de la alerta temprana, color variando según la escala de intensidades de Mercalli Modificada.

4.2. Procesamiento en tiempo real

Uno de los *software* de utilidad para la localización de sismos es SeisComp (Weides), 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 sensible del día 11 de junio a las 20:55:05 hora local de magnitud ML 4.8, la primera localización del sismo fue creada utilizando 6 fases y 1 minuto después se generaron 65 nuevas relocalizaciones automáticas, la ultima de éstas soluciones utilizó 82 fases, la cual fue seleccionada como preliminar ya que contaba con los parámetros mínimos del control de calidad.

4.3. 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 2024:06:11:20:55:05 (hora local) de magnitud ML 4.8, 86 fases (Figura 6), 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 7 se detalla la información de los mecanismos focales de cada evento y la metodología utilizada.

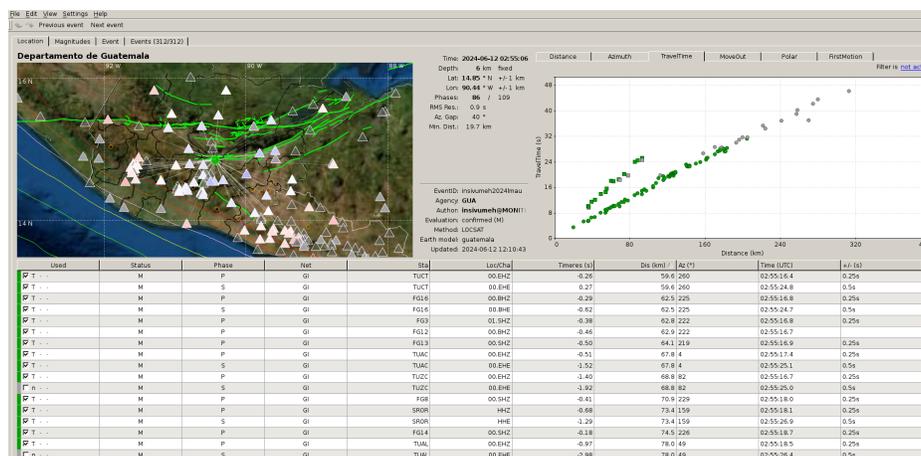


Figura 6: Localización manual del evento 2024:06:11:20:55:05 de magnitud ML 4.8, realizada en SeisComp, utilizando la localización manual con 86 fases captadas por la Red Sismológica Nacional (RSN) y estaciones adscritas por convenios interinstitucionales.

5. Análisis instrumental (IMM)

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 Mealli 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 del sensor sísmico y luego obtener el valor máximo de aceleración y velocidad registrados para el evento de ML 4.8 y Mw 4.8, puede observarse que se alcanzaron intensidades sísmicas de V en la escala de Mercalli Modificada (IMM) para algunas ubicaciones.

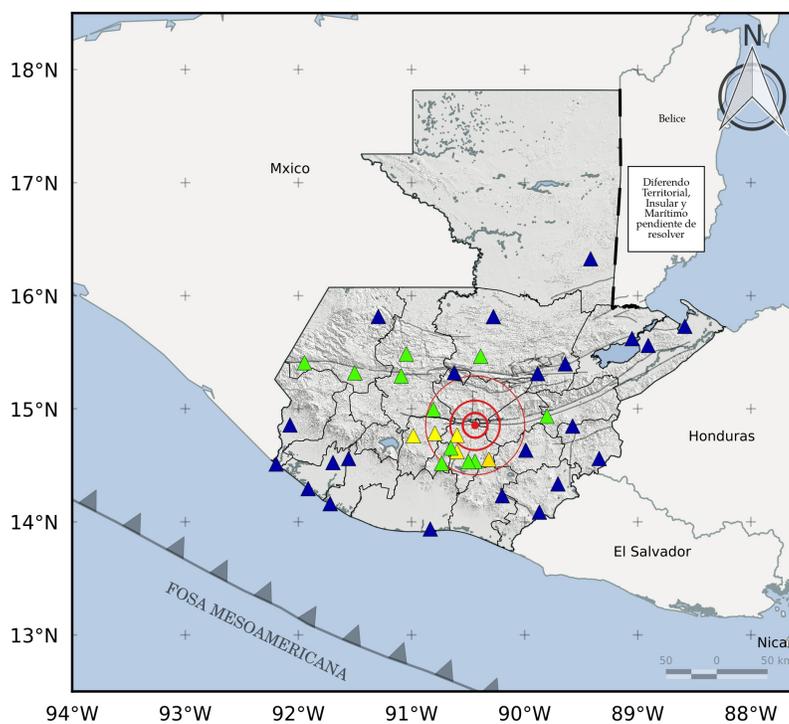
Con esta información se procede a realizar un mapa de IMM discreto que da una idea del nivel de sacudida en distintos puntos del territorio nacional en este caso para el primer evento sensible (Figura 7), útil para las acciones de respuesta de la CONRED y otros organismos nacionales. Es necesario resaltar 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.

Fecha	Mw.	Lat.	Lon.	Prof.	IMM Max.	ShakeMap
2024:06:11:20:55:05	4.8	14.85	-90.44	6 km	V	Figura 11

Cuadro 1: Resumen del evento del día 11 de Junio del 2024 sensible en 13 departamentos del territorio guatemalteco según la CONRED.

REPORTE TÉCNICO

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS GEOFÍSICOS. SECCIÓN DE SISMOLOGÍA.



Mapa con información Instrumental de la Red Sísmológica Nacional (RSN) y datos recopilados de la aplicación (APP)

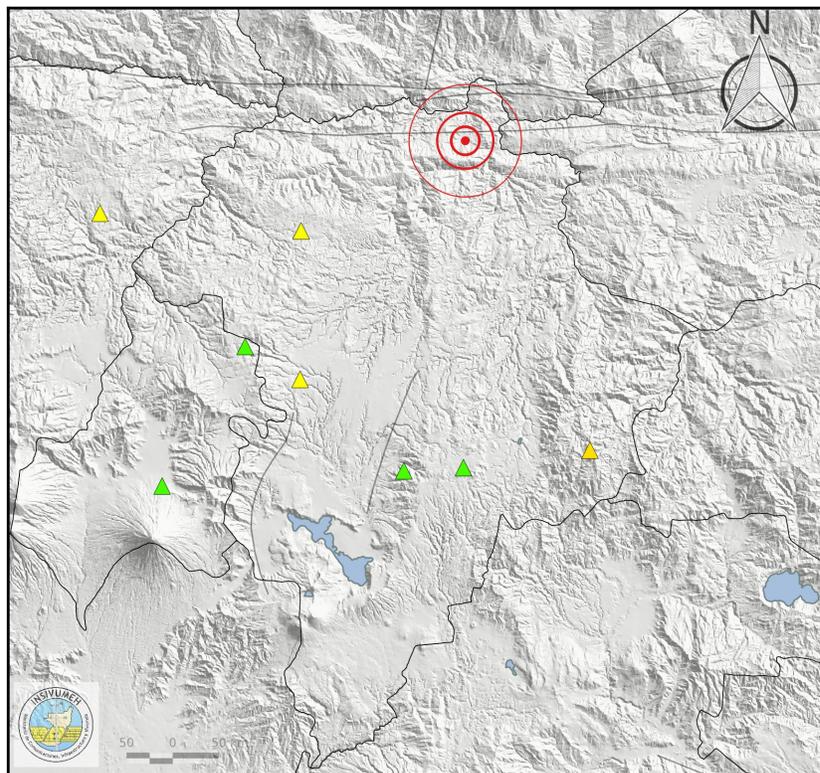
Leyenda

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

INFORMACIÓN DEL EVENTO SÍSMICO

Tiempo de origen (hora local)	Latitud (N)	Longitud (O)	Profundidad (km)	Magnitud
2024-06-11 20:55:06	14.85334396	-90.43821716	6.1	4.7

Figura 7: Mapa de Guatemala con la distribución espacial de las estaciones de la red sísmológica nacional. Cada estación se muestra con un color que hace referencia al movimiento de suelo de acuerdo a su aceleración y velocidad pico registrados, propuesto por (Wald et al., 1999)



INFORMACIÓN DEL EVENTO SÍSMICO

Tiempo de origen (hora local)	Latitud (N)	Longitud (O)	Profundidad (km)	Magnitud
2024-06-11 20:55:06	14.85334396	-90.43821716	6.1	4.7

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

Sacudida percibida	No sentido	Débil	Suave	Moderado	Fuerte	Muy fuerte	Severo	Violento	Extremo
IMM	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Figura 8: Mapa del departamento de Guatemala con la distribución espacial de las estaciones de la red sismológica nacional. Cada estación se muestra con un color que hace referencia al movimiento de suelo de acuerdo a su aceleración y velocidad pico registrados, propuesto por (Wald et al., 1999)

5.1. Intensidad instrumental y reportes de usuarios de la aplicación de la alerta temprana de terremotos

El análisis 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 reportes de 3774 usuarios, lo que permitió complementar los mapas 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. Puede observarse la buena correspondencia entre los reportes de la población y las mediciones instrumentales en la Figura (9).

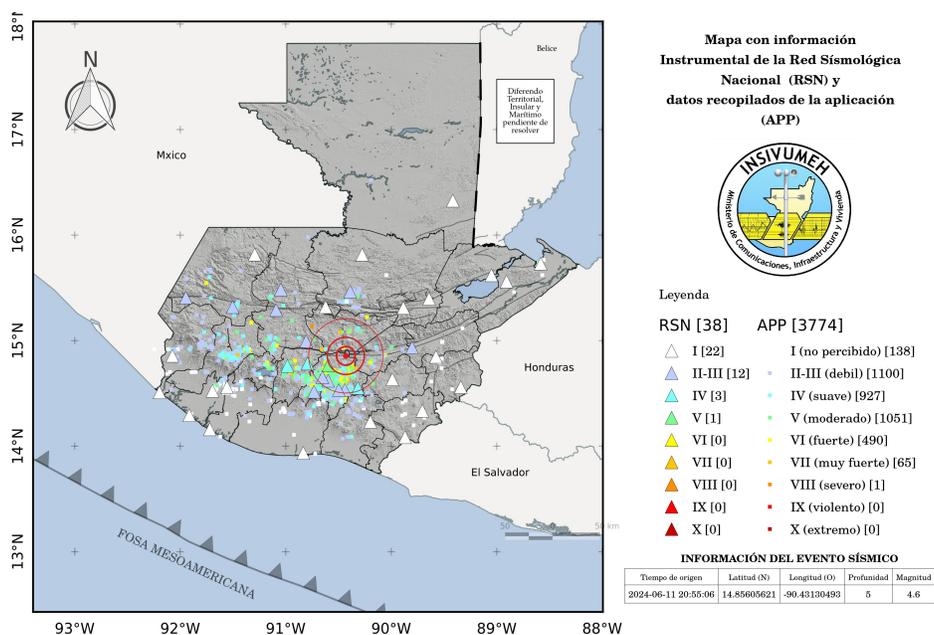


Figura 9: Mapa del territorio nacional, donde se muestran los 3,774 reportes de la población a través de la aplicación de la alerta temprana de terremotos.

5.1.1. Mapas de Intensidad por Departamento

Departamento de Guatemala: Se enfoca específicamente en el departamento de Guatemala (Figura 10), proporcionando un desglose más detallado de la intensidad sísmica en esta región clave, que incluye la capital del país.

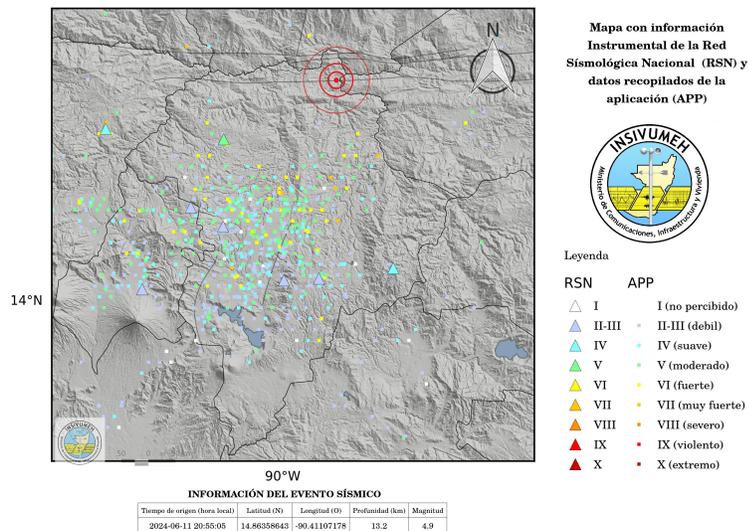


Figura 10: Mapa de IMM para el departamento de Guatemala

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.

6. Mapa de sacudida (*ShakeMap*)

El mapa de sacudida o *ShakeMap* 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.

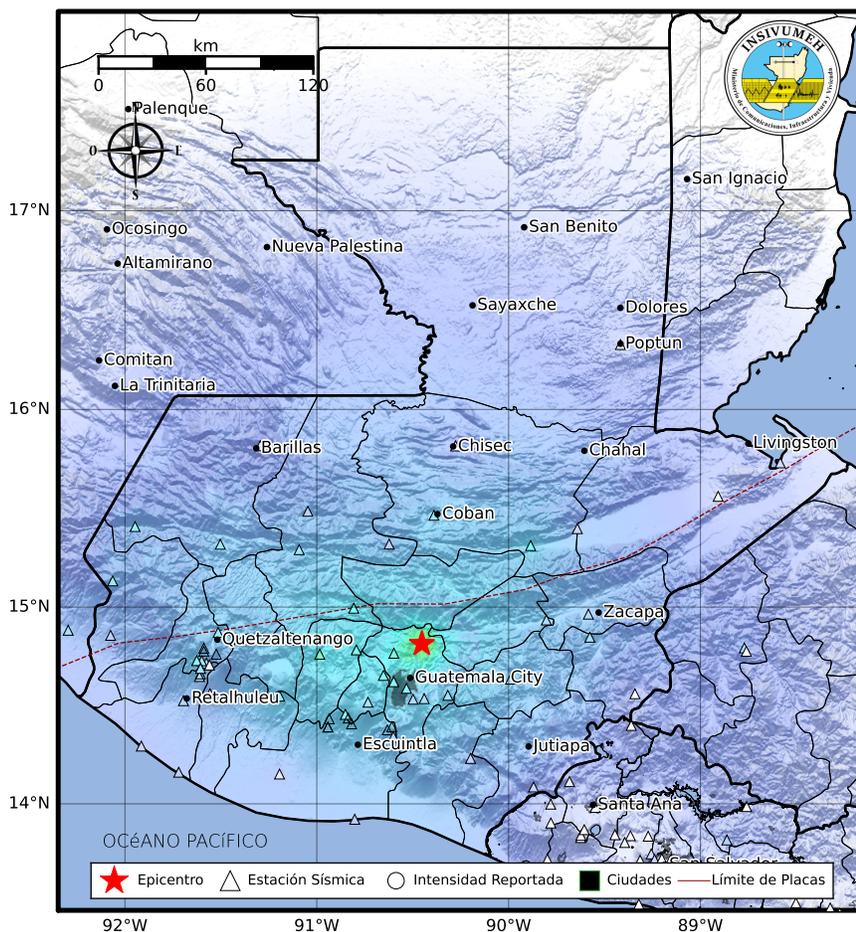
En el centro de procesamiento del INSIVUMEH se recopilan datos de aceleración del suelo registrados por la Red Sismológica Nacional (RSN) y socios locales e internacionales, obteniendo los valores instrumentales que, combinados con modelos teóricos, ayudan a complementar el mapa de intensidades en la escala de Mercalli Modificada (IMM, ver sección 6).

Para el evento de Mw 4.8 asociado a la falla de Motagua, el mapa de sacudidas, fue generado automáticamente y el resultado se muestra en la figura 11.

REPORTE TÉCNICO

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS GEOFÍSICOS. SECCIÓN DE SISMOLOGÍA.

Mapa de Intensidad Instrumental
 Fecha: martes, 11 de junio de 2024 | Hora Local: 20:55:08
 Magnitud: 4.8 | Latitud N: 14.814 | Longitud O: -90.452 | Prof.: 5.0km |
 ID:INSIVUMEH



MOVIMIENTO	No Sentido	Débil	Suave	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte	Severo	Violento	Extremo
DAÑO	Ninguno	Ninguno	Muy Poco	Poco	Moderado	Moderado/Mucho	Mucho	Severo	Desastroso
PGA(%g)	<0.0464	0.297	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	74.7	>139
PGV(cm/s)	<0.0215	0.135	1.41	4.65	9.64	20	41.4	85.8	>178
INTENSIDAD	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Escala por Worden et al. (2012)

Versión 1: Procesado 2024-06-12T03:04:31Z



© 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)



7. Mecanismo focal

Con las estaciones sísmicas utilizadas en el campo cercano fue posible el uso de las polaridades de las ondas P y la localización manual del hipocentro para obtener el mecanismo focal, que describe los planos nodales o los posibles planos de la falla sísmica que generó el evento (Figura 13). Este método es una buena opción cuando no se dispone de otras herramientas más precisas, pero se limita a la descripción de los planos nodales, únicamente.

Por otra parte, existen métodos de inversión, donde se trata de ajustar ciertas frecuencias de las ondas sísmicas registradas con modelos teóricos y así obtener una buena descripción no solo de los planos nodales, sino también de la liberación de momento sísmico, la función fuente temporal y parámetros que describen la calidad de los ajustes. En el presente reporte se describe el uso del *software* FMNEAR (Delouis, 2014), un método basado en los registros sísmicos en el campo cercano, tanto de velocidad como de aceleración. Como punto de partida también se utiliza la localización manual del hipocentro

7.1. Polaridad del Primer arribo

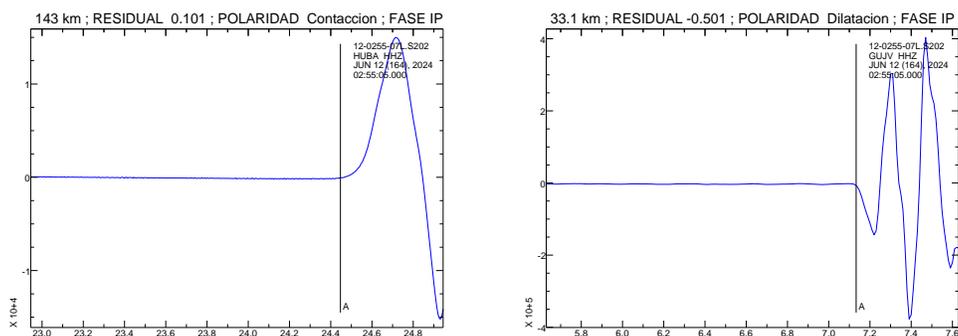
Cuando ocurre un sismo se libera energía la cual se propaga en todas direcciones en forma de ondas, entre las cuales se encuentran las ondas de cuerpo longitudinales "P" y transversales "S". Uno de los métodos que se utilizan para estimar el mecanismo focal, se basa en el patrón de radiación o polaridad de las ondas de cuerpo que se registran en las estaciones sismológicas Stein and Wysession (2003a).

La polaridad del primer arribo de la onda P varía dependiendo de la dirección en la que se encuentra la estación respecto del epicentro. El primer movimiento observado en cada una de las estaciones, ayuda a definir cuatro cuadrantes de una esfera, que se proyectan en dos dimensiones para obtener el mecanismo focal. Estos definen los planos nodales o planos de falla que son perpendiculares entre sí. Dos de los cuadrantes se definen de compresión y dos de dilatación. Si el primer movimiento de la onda se acerca a la estación, el cuadrante al que corresponde esa estación será compresivo, mientras que, si la onda se aleja de la estación, su cuadrante correspondiente será de

dilatación.

Visto en un sismograma el movimiento hacia arriba de la componente vertical de una estación sísmica representa el cuadrante de compresión (Figura 12a), mientras que el movimiento hacia abajo representa el cuadrante de dilatación (Figura 12b).

Con esta información fue posible generar el mecanismo focal para el evento del 2024-06-11 08:55:05 (figura 13), en la que se utilizaron 18 polaridades de compresión y 19 polaridades de dilatación.



(a) Polaridad de compresión. Estación HUBA, ubicada en el departamento de Huehuetenango.

(b) Polaridad de dilatación. Estación GUJV, ubicada en el departamento de Guatemala.

Figura 12: Sismogramas donde se puede comparar una polaridad de *compresión* 12a y una polaridad de *dilatación* 12b.

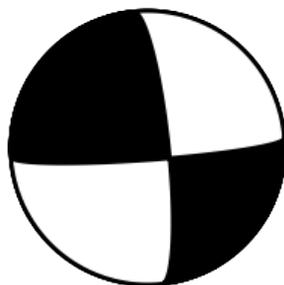


Figura 13: Solución del mecanismo focal. Los cuadrantes negros representan la compresión y los cuadrantes en blanco representan la dilatación. El mecanismo focal describe un movimiento de rumbo de lateral izquierdo. El *beach ball* corresponde a la solución obtenida utilizando los programa FOCMEC y FPFIT dentro del *software* Seisan.

Método	Strike	Dip	Rake
FOCMEC	86.17	82.08	13.95
FPFIT	81.00	88.00	-02.0

Cuadro 2: Datos obtenidos por el método de Polaridad del Primer Arribo.

7.1.1. Inversión de la forma de onda en el campo cercano con FMNEAR

Otro 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).

Como parte del procesamiento de este *software*, los registros se convierten a desplazamiento, ya sea que estén en velocidad o en aceleración. Esto significa que en el caso de los registros de estaciones banda ancha se aplica solo una integración y filtros pasa banda específicos que van del rango de 0.01 a 0.8 Hz, por cada componente de los sismogramas (norte, este y vertical). La inversión se lleva a cabo en pasos sucesivos que combinan búsquedas rápidas

de cuadrícula en los parámetros de rumbo, buzamiento e inclinación para determinar los tiempos de inicio de ruptura y la función fuente temporal local. La búsqueda en cuadrícula no lineal ofrece la posibilidad de evaluar el grado de unicidad de la solución y define un índice de confianza que va de 0 a 100 %.

Para el caso del sismo del 11 de junio se logró obtener un resultado de buena calidad con un RMS de 0.25 y un índice de confianza de 97 %. En la sección de anexos se muestra la solución completa donde se observa la inversión de las 20 estaciones utilizadas.

La magnitud de momento M_w estimada fue de 4,79, mientras que los planos nodales encontrados con FMNEAR se muestran a continuación:

Plano	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)
1	90.0	90.0	6.5
2	0.0	83.5.0	180.0

Cuadro 3: Planos nodales encontrados usando el método de inversión de FMNEAR.

8. Conclusiones

El sismo de magnitud M_w 4.8 ocurrido el 11 de junio de 2024 al norte del departamento de Guatemala, asociado a la falla de Motagua, 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.

Los mapas IMM y *shakemap* 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 de V en la escala de Mercalli Modificada, cabe recalcar que el informe de los 3774 usuarios que reportaron la sensibilidad del sismo permitió detallar el mapa de IMM con datos recopilados de la aplicación, ayudando a las autoridades y a la población a prepararse mejor y a responder de manera efectiva a los sismos.

El análisis del mecanismo focal calculado con el *software* FMNEAR, muestra un plano nodal con dirección N90 y buzamiento de 90° , el cual indica una falla de rumbo con una componente lateral izquierda, la cual puede ser asociada a la Falla Motagua de desplazamiento lateral izquierdo. Esta solución es rectificadada con los programas FOCMEC y FPFIT que muestran un plano nodal con dirección aproximada de N86E y buzamiento de 82° . El mecanismo focal con RMS de 0.25, calculado con FMNEAR, refuerza la precisión y fiabilidad de los datos obtenidos.

9. 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.

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. 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 2024-06-11 20:55:05 (hora local).

Departamento	Ubicación	Código	Dist	PGV	PGA	IMM
Guatemala	San Raymundo	TUGR	19	2.132	6.564	IV
Guatemala	Lo de Coy - Mixco	GUMI	30	0.711	1.458	IV
Sacatepéquez	San José Pacul	TUSP	31	0.787	1.591	II-III
Guatemala	Colegio Julio Verne	GUJV	35	0.203	0.503	II-III
Guatemala	San Jose Pinula	GUSP	35	1.219	5.226	V
Guatemala	Villa Canales	GUVC	36	0.152	0.344	II-III
Chimaltenango	San Martin Jilotepeque	CMSM	39	1.820	3.131	IV
Quiché	Joyabaj	TUQJ	42	0.831	2.518	II-III
Sacatepequez	San Juan del Obispo	SAOB	48	0.300	0.636	II-III
Jalapa	Jalapa	TUJJ	54	0.038	0.081	I
Quiche	Chicaman	QCT04	55	0.054	0.193	I
Chimaltenango	Tecpán	TUCT	59	1.889	4.769	IV
Alta Verapaz	Coban	TUAC	67	0.160	0.511	II-III
Zacapa	Cabanas	TUZC	68	0.158	0.584	II-III
Santa Rosa	Oratorio	SROR	73	0.037	0.090	I
Alta Verapaz	La Tinta	TUAL	78	0.034	0.125	I
Quiche	Sacapulas	QUIS	85	1.456	1.268	II-III
Chiquimula	Chiquimula	TUCH	92	0.021	0.043	I
Quiche	Chajul	QCCJ	95	0.195	0.719	II-III
Jutiapa	Asuncion Mita	TUJA	97	0.019	0.037	I
Alta Verapaz	Panzos	TUAP	104	0.021	0.080	I
Jutiapa	Comapa	JUT5	104	0.014	0.049	I
Alta Verapaz	Chisec	AVCS	107	0.034	0.119	I
Escuintla	San Jose	ESSJ	110	0.078	0.040	I
Chiquimula	Esquipulas	CQES	122	0.014	0.019	I
Suchitepequez	Cuyotenango	SUCU	124	0.046	0.124	I
Huehuetenango	Huehuetenango	HUHU	125	0.331	0.766	II-III
Retalhuleu	Retalhuleu	RERE	140	0.110	0.091	I
Huehuetenango	Santa Cruz Barillas	HUBA	140	0.046	0.128	I
Retalhuleu	San Andres Villa Seca	RESA	157	0.065	0.089	I
Retalhuleu	Champerico	RECH	170	0.054	0.039	I

continua en la siguiente página...

Departamento	Ubicación	Código	Dist	PGV	PGA	IMM
Izabal	Rio Dulce	IZRD	171	0.016	0.032	I
Huehuetenango	Cuilco	HUCU	173	0.442	0.727	II-III
San Marcos	Catarina	SMCA	176	0.217	0.115	I
Izabal	Aldea Buenos Aires	IZLV	182	0.034	0.025	I
San Marcos	Ocos	SMOC	193	1.977	0.123	I
Petén	Poptún	PEPO	196	0.007	0.015	I
Izabal	Puerto Barrios	IZPB	221	0.244	0.054	I

(fin del cuadro)

Referencias

Christine Authemayou, Gilles Brocard, Ch Teyssier, T Simon-Labric, A Gutiérrez, EN Chiquín, and S Morán. The caribbean–north america–cocos triple junction and the dynamics of the polochic–motagua fault systems: Pull-up and zipper models. *Tectonics*, 30(3), 2011.

Christine Authemayou, Gilles Brocard, Christian Teyssier, Barbara Suski, Beatriz Cosenza, Sergio Morán-Ical, Claussen Walther González-Véliz, Miguel Angel Aguilar-Hengstenberg, and Klaus Holliger. Quaternary seismotectonic activity of the polochic fault, guatemala. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B7), 2012.

James E Case and TL Holcombe. Preliminary geologic-tectonic and bathymetric maps of the caribbean region. Technical report, –, 1975.

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.

Gabriel Dengo. *Estructura geológica, historia tectónica y morfología de América Central*. Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional, 1968.

Gabriel Dengo and Otto Bohnenberger. Structural development of northern central america. –, 1969.

- 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>.
- Aurore Franco, Cécile Lasserre, H Lyon-Caen, Vladimir Kostoglodov, E Molina, M Guzman-Speziale, D Monterosso, V Robles, C Figueroa, W Amaya, et al. Fault kinematics in northern central america and coupling along the subduction interface of the cocos plate, from gps data in chiapas (mexico), guatemala and el salvador. *Geophysical Journal International*, 189(3): 1223–1236, 2012.
- Bridget Garnier, Basil Tikoff, Omar Flores, Brian Jicha, Charles DeMets, Beatriz Cosenza-Murales, Douglas Hernandez, Griselda Marroquin, Luis Mixco, and Walter Hernandez. An integrated structural and gps study of the jalpatagua fault, southeastern guatemala. *Geosphere*, 17(1):201–225, 2021.
- Marco Guzmán-Speziale. Active seismic deformation in the grabens of northern central america and its relationship to the relative motion of the north america–caribbean plate boundary. *Tectonophysics*, 337(1-2):39–51, 2001.
- 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>.
- INSIVUMEH. Reporte del sismo de mw 6.9 del 14 de junio de 2017 y la actividad sísmica asociada a la zona de subducción, en guatemala, Aug 2017. URL https://geo.insivumeh.gob.gt/REPORTES_SECCION_SISMOLOGIA/REPORTES_TECNICOS/2017/reporte_M69_20170614_SMarcos.pdf.
- INSIVUMEH. Reporte del sismo de mw 6.6 del 01 de febrero de 2019 asociada a la zona de subducción, en las costas de chiapas, méxico, Aug 2019. URL https://geo.insivumeh.gob.gt/REPORTES_SECCION_SISMOLOGIA/REPORTES_TECNICOS/2019/reporte_M6.6_2019_Chiapas.pdf.

- 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>.
- H Lyon-Caen, E Barrier, C Lasserre, A Franco, I Arzu, L Chiquin, M Chiquin, T Duquesnoy, Olivier Flores, O Galicia, et al. Kinematics of the north american–caribbean–cocos plates in central america from new gps measurements across the polochic–motagua fault system. *Geophysical Research Letters*, 33(19), 2006.
- 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.
- Peter Molnar and Lynn R Sykes. Tectonics of the caribbean and middle america regions from focal mechanisms and seismicity. *Geological Society of America Bulletin*, 80(9):1639–1684, 1969.
- T. Simon-Labric, Gilles Brocard, Christian Teyssier, Peter Beek, Maria Fellin, P. Reiners, and Christine Authemayou. Geothermal asymmetry across a continental transform fault inferred from thermochronology: the motagua fault zone, guatemala. pages 9033–, 04 2013.
- S. Stein and M. Wysession. An introduction to seismology earthquakes and earth structure. 2003a.
- Seth Stein and M Wysession. *Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Blackwell Publishing, 2003b.
- Richard Styron, Julio Garcia Pelaez, and Marco Pagani. Ccaf-db: the caribbean and central american active fault database. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20:831–857, 03 2020. doi: 10.5194/nhess-20-831-2020.
- 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.

S Weides. Helmholtz centre potsdam gfz german research centre for geosciences.

Randall A White. Catalog of historic seismicity in the vicinity of the chixoy-polochic and motagua faults, guatemala. Technical report, US Geological Survey,, 1984.

Randall A White and David H Harlow. Destructive upper-crustal earthquakes of central america since 1900. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(4):1115–1142, 1993.

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>.