Instituto Nacional de Sismología,
Vulcanología, Meteorología e Hidrología

Reporte de la actividad sísmica tipo enjambre en el Departamento de Sacatepéquez, durante los meses de marzo y abril de 2019

INS-DG-US-RT-002-2019

Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos

Unidad de Sismología

2019-08-16

PERSONAL DE LA UNIDAD DE SISMOLOGÍA,
DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN
Y SERVICIOS GEOFÍSICOS:

JEFE DEL DEPARTAMENTO:
Robin Onelio Yani Quiyuch

SISMOLOGÍA Y MONITOREO SÍSMICO:
Robin Onelio Yani Quiyuch
Rodolfo Alvarado Sosa
Luis Alberto Arriola
Diego Andrés Castro Rojas
Ludwing Osmar Asturias Alquijay
Joshua Raphael Lemus Castillo

MONITOREO SÍSMICO:
Mitsa Marisol Castellanos Pineda
Josue Daniel Cuzco Rivera
César Javier López Monterroso

GEOLOGÍA:
Edgar Roberto Mérida Boogher

Índice general

1. Introducción **4**

2. Enjambre sísmico de Sacatepéquez **5**
2.1. Descripción general 5
2.2. Monitoreo de la Actividad Sísmica 5
2.3. Sismos asociados al enjambre de Sacatepéquez 7
2.4. Mecanismo focal 9
2.5. Ley de Gutenberg-Richter 9
2.6. Marco tectónico 11
2.7. Intensidades sísmicas 14

3. Conclusiones **17**

4. Recomendaciones **19**

5. Agradecimientos **20**

6. Anexo I: Listado de sismos **21**

Bibliografía **23**

Introducción

En el presente reporte se describen las características básicas más relevantes del enjambre sísmico ocurrido entre marzo y abril de 2019 en el Departamento de Sacatepéquez, obtenidas a través del análisis llevado a cabo por el personal del Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos del INSIVUMEH.

Se resalta el papel de la Red Sismológica Nacional (RSN) y la importancia de su densificación en la búsqueda de la comprensión detallada de este tipo de fenómenos sísmicos en distintas regiones del país.

La posibilidad de estimar un mecanismo focal y la relocalización de los hipocentros con los datos adquiridos por una estación sísmica portátil instalada cerca de la región epicentral, han permitido asociar la actividad sísmica a los fallamientos tectónicos con movimiento lateral derecho, paralelos a la cadena volcánica, producto de la interacción de las tres mayores placas tectónicas en las que se encuentra la región noroeste de Centro América. El valor de b estimado a través de la ley de Gutenberg-Richter, es consistente con valores obtenidos en regiones tectónicas activas.

A través de encuesta fue posible estimar en V la intensidad sísmica en la escala de Mercalli Modificada en Santa Catarina Bobadilla, la Antigua Guatemala, Sacatepéquez, y para la Ciudad Capital, mediciones instrumentales en la estación central, arrojaron valores de aceleración pico que sugieren intensidades entre II y III para los sismos más grandes del enjambre.

Enjambre sísmico de Sacatepéquez

2.1. Descripción general

Durante los meses de marzo y abril de 2019, los departamentos de Sacatepéquez, Guatemala y Escuintla se vieron afectados por la ocurrencia de más de 400 eventos sísmicos de poca profundidad, todas menores a los 10 km. Prácticamente, toda la actividad sísmica fue localizada en el departamento de Sacatepéquez, en el flanco noreste del volcán de Agua; unos pocos sismos aislados se localizaron en el departamento de Guatemala y Escuintla (Figuras 2.1 y 2.2).

De toda la sismicidad registrada, solamente 6 de los eventos asociados a este enjambre alcanzaron magnitudes mayores o iguales a 4.0, siendo el más grande el de magnitud 4.6 que tuvo lugar la noche del 15 de abril. Éstos fueron reportados sensibles en diferentes regiones de los departamentos de Sacatepéquez, Guatemala y Escuintla, mientras que los de menores magnitudes alarmaban constantemente a los pobladores de municipios como Antigua Guatemala, Amatitlán y Villa Nueva. Pese a su baja magnitud, la poca profundidad de los sismos favorecía la percepción de las sacudidas del suelo provocadas por las ondas sísmicas.

2.2. Monitoreo de la Actividad Sísmica

La Red Sismológica Nacional (RSN) del INSIVUMEH mantiene un monitoreo permanente en tiempo real de la actividad sísmica relevante para el territorio de la República de Guatemala. Por lo general, eventos con magnitudes relativamente grandes (p.ej. mayores a 3.5) son detectados y declarados de forma automática (para posterior revisión manual), mientras que eventos de menores magnitudes solamente son detectados si ocurren en regiones

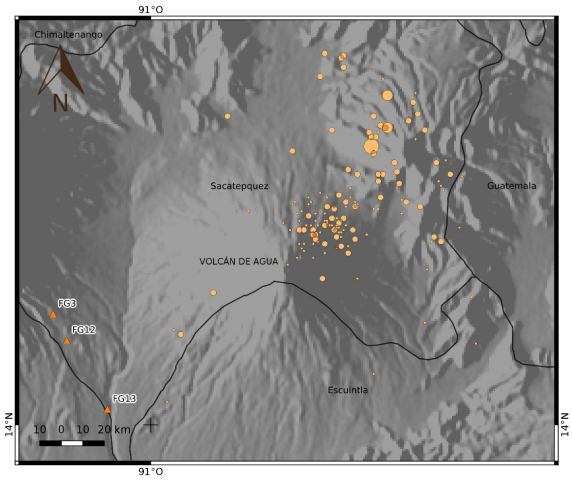


Figura 2.1: Ubicaciones preliminares de los epicentros del enjambre sísmico de Sacatepéquez, utilizando los registros sísmicos de la RSN.

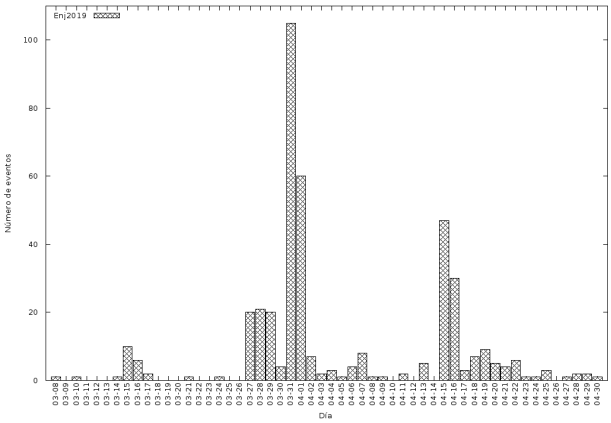


Figura 2.2: Número de sismos por día, asociados al enjambre sísmico de Sacatepéquez.

cercanas a las estaciones sísmicas de la RSN o bien, deben ser declarados de forma manual. Lo anterior es debido principalmente a la baja densidad de estaciones sísmicas en el país (considerando su extensión territorial y su complejidad geológica) y a las condiciones de ruido ambiental a las que están

sujetas las estaciones sísmicas actuales (Figura 2.3). Además, algunas de las estaciones sísmicas no se encuentran operando en la actualidad.

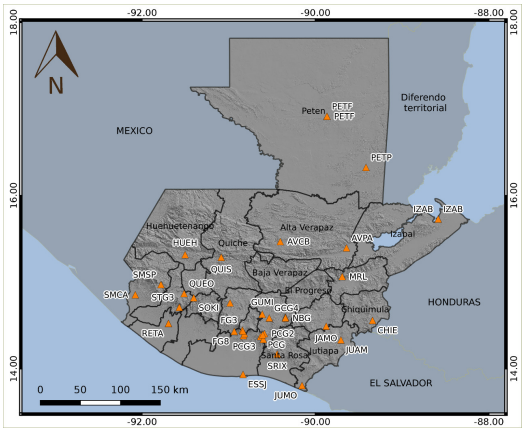


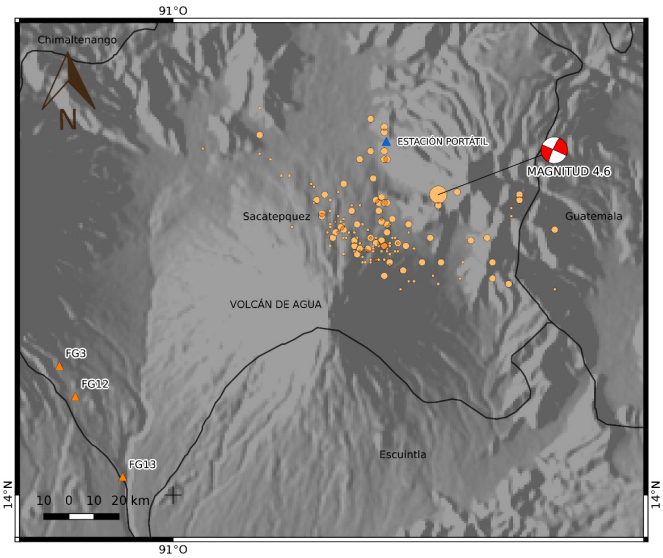
Figura 2.3: Red Sismológica Nacional de Guatemala, a cargo del INSIVUMEH.

2.3. Sismos asociados al enjambre de Sacatepéquez

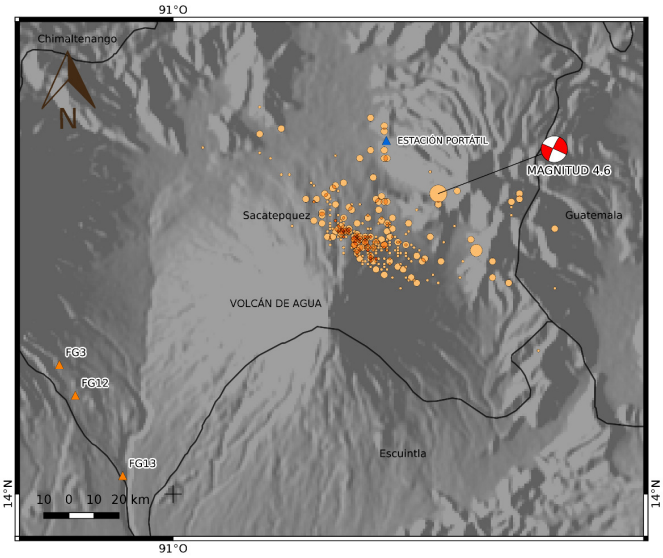
Eventos asociados al enjambre sísmico de Sacatepéquez comenzaron a generarse de forma esporádica con magnitudes detectables por la RSN el día 8 de marzo y de forma más notable el 15 del mismo mes. En la tarde del 27 de marzo, la actividad aumentó considerablemente (Figura 2.2), con eventos sísmicos mas recurrentes y de mayor magnitud, por lo que se tomó la decisión de instalar una estación sísmica portátil en una región cercana a los epicentros del enjambre, con el fin de mejorar la vigilancia de la actividad.

La estación sísmica se ubicó en Santa Catarina Bobadilla, La Antigua Guatemala, Sacatepéquez (Figura 2.4) y comenzó a registrar datos sísmicos la tarde del 28 de marzo. A partir de entonces se comenzaron a registrar eventos sísmicos asociados al enjambre de magnitudes menores y se lograron mejores localizaciones para los sismos registrados por la RSN, definiendo de forma más clara el área de actividad (Figura 2.4(a)).

Posteriormente, con sismos identificados en la estación sísmica portátil y las estaciones sísmicas más cercanas, se lograron nuevas localizaciones de



(a) Re-localización de los sismos utilizando la estación sísmica portátil (triángulo azul)



(b) Sismicidad total, incluyendo sismos tegistrados solamente por las estaciones más cercanas y la estación sísmica portátil.

Figura 2.4: Distribución geográfica del enjambre de Sacatepéquez.

sismos de menor magnitud. Tomando esto en consideración, entre el 8 de marzo y el 30 de abril, más de 400 sismos fueron asociados al enjambre sísmico (Figura 2.4(b)), con magnitudes entre 1.6 y 4.6, y profundidades en su mayoría, menores a los 8 km (Figuras 2.5(a) y 2.5(b), respectivamente).

La actividad en la región continúa de forma muy esporádica y con magnitudes muy bajas, por lo que no se asocian a dicho enjambre. No es posible descartar un nuevo aumento de actividad en la región ni es posible descartar la ocurrencia de sismos de magnitudes mayores a las generadas en este enjambre.

2.4. Mecanismo focal

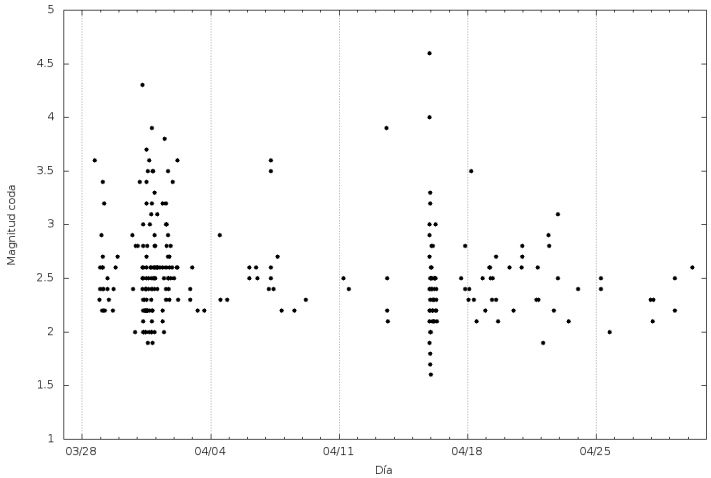
El sismo de magnitud 4.6 ocurrido el 15 de abril, fue lo suficientemente fuerte para permitir la estimación del mecanismo focal utilizando la técnica de las polaridades (de compresión o dilatación) de los primeros arribos de las ondas sísmicas (onda P) a las estaciones sísmicas, tanto nacionales como de México y El Salvador. Dada su naturaleza cortical y su ubicación respecto de la RSN, la cobertura azimutal de las estaciones sísmicas fue bastante aceptable. El mecanismo focal obtenido puede verse en la Figura 2.6 el cual corresponde a una falla transcurrente, con movimiento lateral derecho (inserto en figuras 2.4(a) y 2.4(b)), característico de las fallas corticales paralelas a la cadena volcánica centroamericana (Cáceres, *et al.*, 2005; Corti, *et al.*, 2005; Guzmán-Speziale, *et al.*, 2005; Álvarez-Gómez, *et al.*, 2006). Otra posible solución de plano de falla, representada por el mecanismo focal sería una falla con orientación noreste-suroeste, con movimiento lateral izquierdo.

2.5. Ley de Gutenberg-Richter

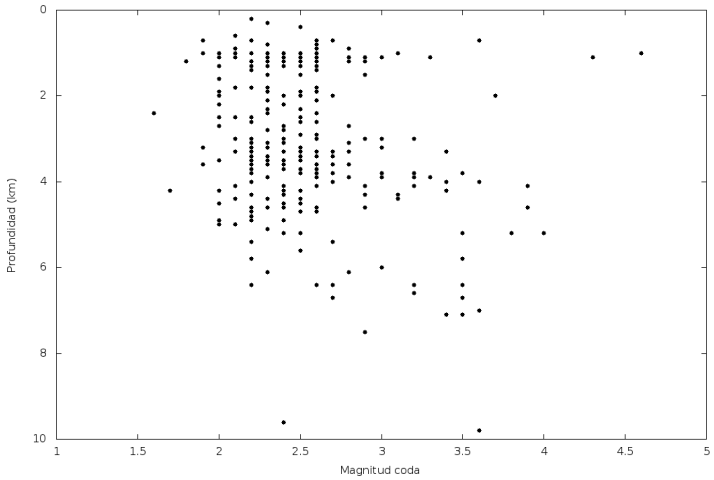
La distribución del tamaño de los sismos satisface una ley de potencias dada por la relación empírica (Ishimoto e Iida, 1939; Gutenberg y Richter, 1944):

$$logN = a - bM \tag{2.1}$$

donde N es el número de eventos sísmicos cumulativos que ocurren en una ventana de tiempo t con magnitudes mayores o iguales a M. Los parámetros



(a) Distribución de las magnitudes sísmicas en el tiempo



(b) Distribución de las profundidades hipocentrales respecto de la magnitud sísmica

Figura 2.5: Evolución temporal de los eventos del enjambre sísmico de Sacatepéquez, a partir de la instalación de la estación sísmica portátil.

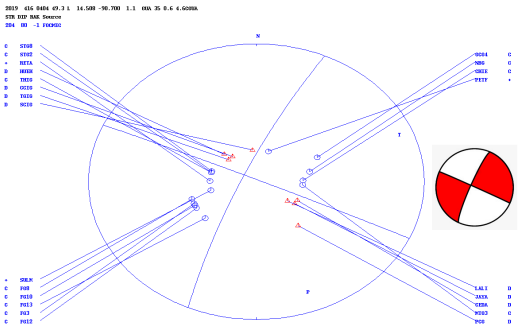


Figura 2.6: Mecanismo focal del sismo de M 4.6 del 15 de abril de 2019.

a y b describen la productividad y la distribución de tamaño relativo de los terremotos, respectivamente (El-Isa y Eaton, 2013).

Los valores de a y b han sido parámetros ampliamente usados en estudios de sismicidad, sismotectónica y amenaza sísmica (El-Isa y Eaton, 2013). Por otro lado, existe un amplio consenso en apoyar la idea sobre la ocurrencia de variaciones espaciales y temporales de b (ó *b-value*). Se ha demostrado que dicha variabilidad está relacionado con la condición de esfuerzos en el medio analizado (Farrell, *et al.*, 2009).

Varios estudios han estimado que el valor de b observado en regiones tectónicas activas tiene un valor cercano a 1, sin embargo, las zonas volcánicas se caracterizan por tener valores de b menores y mayores (tan grandes como 3,0) que los observados en ambientes tectónicos (Farrell, *et al.*, 2009).

Utilizando el catálogo obtenido del enjambre sísmico, se obtuvo una estimación preliminar para los valores de a y b utilizando el método de los mínimos cuadrados (Fig 2.7), siendo 4.66 y 1.02, respectivamente. Tal valor de b es característico de ambientes tectónicos.

2.6. Marco tectónico

La región sur de la República de Guatemala, ubicada en la placa del Caribe, según es descrita por Escobar, R. (2010), está sujeta a una extensión cortical este-oeste de 8 mm/año (y también una posible rotación de bloque), la cual ha formado una serie de grabens con tendencia norte-sur (Burkart y Self, 1985; Guzman-Speziale, 2001; Guzman-Speziale, *et al.*, 2005; Cáceres,

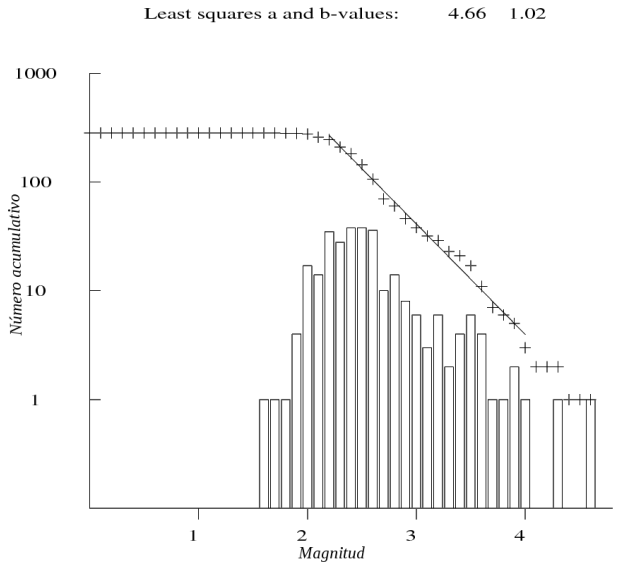


Figura 2.7: Ajuste por mínimos cuadrados de la distribución de Gutenberg-Richter, para el enjambre sísmico de Sacatepéquez.

et al., 2005; Lyon-Caen, *et al.*, 2006).

La placa del Caribe en esta región también está dividida por la zona de falla de Jalpatagua, de movimiento lateral derecho, que coincide ampliamente con la tendencia noroeste-sureste del arco volcánico, y se mueve a una tasa relativa de 10 mm/año (Carr, 1976; White y Harlow, 1993; DeMets, 2001; Guzman-Speziale, *et al.*, 2005; Lyon-Caen, *et al.*, 2006). Un conjunto de fallas conjugadas de noreste a suroeste que muestran movimiento lateral izquierdo (Carr, 1976; White y Harlow, 1993) intersectan la zona de la falla de Jalpatagua y el arco volcánico en un alto ángulo (Figura 2.8).

La zona de falla de Jalpatagua aparece como una falla lateral, de aspecto claramente lineal y rasgos topográficos jóvenes (Muehlberger y Ritchie, 1975), extendiéndose por 150 km entre El Salvador y el borde sureste de la caldera de Amatitlán, siguiendo un rumbo N 65 O (Wunderman, 1983).

La falla de Jalpatagua atraviesa la caldera de Amatitlán (Wunderman, 1983), y si bien la ubicación de la misma hacia el oeste no está bien establecida, hay evidencia de su posible continuación hacia el área de Santa María de Jesús en el flanco noroeste del volcán de Agua (Wunderman, 1983). El volcán de Agua podría asentarse sobre una fractura de rumbo noroeste

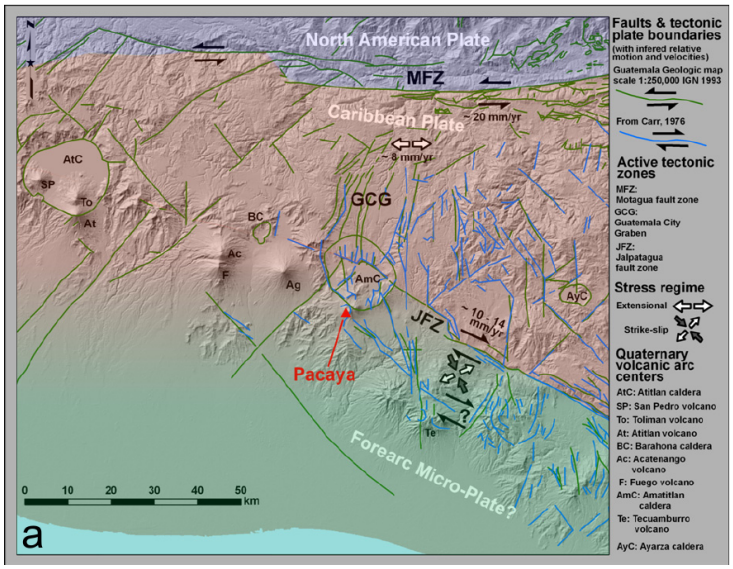


Figura 2.8: Marco tectónico del sur de Guatemala donde se muestran las fallas geológicas identificadas en la región y las velocidades relativas entre los bloques corticales. Al noreste del volcán de Agua (Ag) puede observarse una falla geológica propuesta por Carr (1976), en la zona de actividad del enjambre de Sacatepéquez. Imagen tomada de: Escobar, R. (2010).

según Eggers (1971) si se considera la alineación de un dique en el área de Palín, los conos parásitos en las faldas del volcán y su cráter (información más detallada puede consultarse en el reporte elaborado por Mérida, E.R., (2019)).

El mecanismo focal estimado para el sismo de mayor magnitud y la alineación noroeste-sureste del enjambre, concuerda con la tendencia descrita por distintos estudios y sugiere un comportamiento de falla con movimiento lateral derecho (Figura 2.9), como se mencionó anteriormente.

Ahora bien, como puede observarse en la Figura 2.9, la actividad sísmica parece estar agrupada en dos regiones levemente separadas, pero con la misma orientación (noroeste-sureste). La primera comprende un conjunto de sismos con magnitudes relativamente grandes, donde se incluye el sismo más grande, y al suroeste de ésta, el conjunto con el mayor número de sismos registrados pero que en su mayoría, son de baja magnitud.

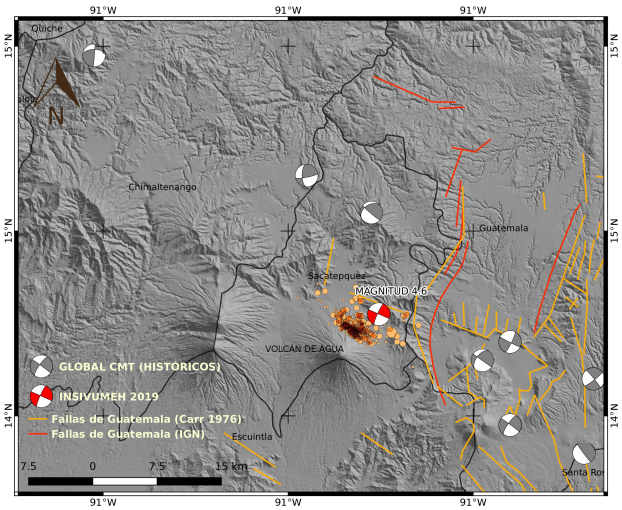


Figura 2.9: Área de actividad del enjambre de Sacatepéquez. Se muestran algunas fallas tectónicas propuestas por Carr (1976) y mecanismos focales históricos obtenidos del Global CMT.

La figura 2.10 muestra una vista de perfil de la actividad, la distinción de las agrupaciones mencionadas anteriormente también pueden observarse acá. La agrupación a la izquierda de la figura muestra una leve inclinación respecto de la línea horizontal y a la derecha están ubicados los sismos en su mayoría más grandes (tonos azules oscuros). A profundidades que rondan los 8 km (según las profundidades estimadas, no mostradas en la figura) esta distinción no es evidente. Por otro lado, la actividad en su conjunto podría ser consistente con uno de los planos de falla derivados del mecanismo focal.

2.7. Intensidades sísmicas

Muchos de los sismos generados durante el enjambre fueron perceptibles en las comunidades cercanas al área de actividad, los de mayor magnitud, de forma más violenta, lo que mantuvo alarmada a la población. Desafortunadamente, para la mayoría de sismos no se cuenta con tal información macrosísmica.

Sin embargo, por medio de encuesta (de elaboración local), fue posible

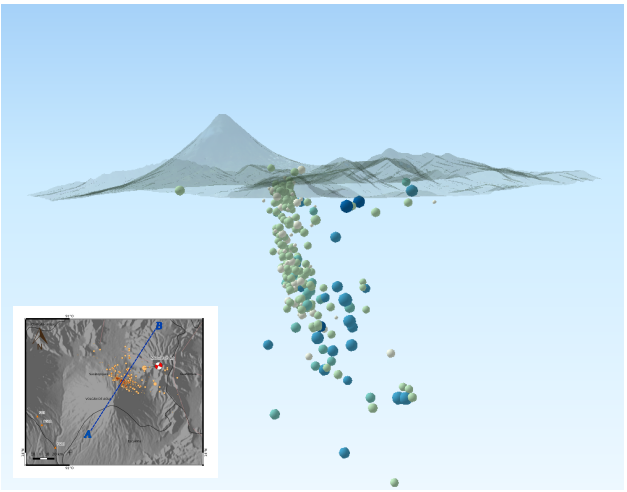


Figura 2.10: Vista de perfil de los hipocentros del enjambre de Sacatepéquez, el perfil es perpendicular a la orientación de la actividad, mostrada con la línea AB en el mapa incrustado. Imagen en 3D elaborada por Carla Chun.

estimar en V la intensidad sísmica en la escala de Mercalli Modificada en el sitio de instalación del sensor sísmico portátil, en Santa Catarina Bobadilla, La Antigua Guatemala, Sacatepéquez.

Para tener idea del nivel de sacudida del suelo en la Ciudad de Guatemala, se analizaron los registros del acelerómetro instalado en la Estación Central, en las instalaciones del INSIVUEMH (GCG4), para los sismos con magnitudes mayores o iguales a 4. Las estimaciones de intensidades sísmicas se realizan a través la medición de aceleraciones máximas o aceleraciones pico de las componentes de registro horizontal de tal instrumento, que da una idea de la sacudida del suelo en las cercanías de dicho punto y pueden relacionarse con la tradicional escala de Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) como se muestra en el Cuadro 2.1 (Wald, *et al.*, 1999).

Los registros son corregidos y deconvolucionados (extracción de la respuesta instrumental) para obtener el movimiento real del terreno. Los resultados del procesamiento de acelerogramas se muestran en el Cuadro 2.2. Puede observarse que 5 de los 6 sismos analizados registraron valores de PGA equivalentes a intensidades entre II y III en la escala de Mercalli Modificada, por lo que posiblemente fueron sensibles en la Ciudad Capital.

Cuadro 2.1: Relación de PGA (aceleración pico) y PGV (velocidad pico) con la IMM según Wald, *et al.* (1999).

Sacudida percibida	No sentido	débil	suave	moderado	fuerte	muy fuerte	severo	violento	extremo
Daño potencial	ninguno	ninguno	ninguno	muy poco	poco	moderado	moderado a alto	alto	muy alto
PGA (% g)	<0.17	0.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PGV (cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
IMM	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Cuadro 2.2: Estimaciones de PGA e IMM en la estación GCG4.

Tiempo de origen (UTC)	Magnitud (Mc)	DEpi (km)	PGA (%g)	IMM
20190327 22:45:59	4.1	18.6	0.33	II-III
20190328 00:34:59	4.1	19.0	0.18	II-III
20190331 12:54:59	4.0	19.3	0.53	II-III
20190401 01:31:59	4.0	19.4	0.17	II-III
20190416 03:35:59	4.0	20.6	0.05	I
20190416 04:03:59	4.6	20.0	0.94	II-III

Conclusiones

- Las localizaciones preliminares de la sismicidad asociada al enjambre pueden dar una idea del área de actividad, sin embargo, la inclusión de los registros sísmicos de la estación sísmica portátil cerca de los epicentros, mejoró notablemente la definición de dicha área, permitió la detección de sismos de menor magnitud y además, contribuyó a una mejor estimación de las profundidades hipocentrales, demostrando la importancia de contar con estaciones sísmicas en el campo cercano a las fuentes sismogénicas del país.

- La Red Sísmica Nacional no cuenta actualmente con la capacidad de monitorear este tipo de actividad sísmica a detalle, debido a la cantidad de instrumentos (poca cobertura geográfica) y al nivel de ruido sísmico en los sitios de registro. La complejidad geológica del territorio, derivado de la interacción de tres placas tectónicas, hace necesaria una red densa para estudiar a detalle las áreas sísmicas activas.

- La estimación del mecanismo focal sugiere que la falla que generó el sismo de mayor tamaño es de tipo transcurrente, con movimiento lateral derecho. Esto es consistente con los ambientes corticales a lo largo de la cadena volcánica centroamericana, descrito por diferentes autores.

- Para la relación de Gutenberg-Richter se estimaron los siguientes parámetros: $a = 4{,}66$ y $b = 1{,}02$, siendo este último un valor característico de ambientes tectónicos.

- Observando la distribución hipocentral de los eventos sísmicos, es posible identificar dos agrupaciones de actividad, ambas con tendencia noroeste-sureste, característico de los fallamientos identificados en zonas aledañas. Sugiriendo la posibilidad de dos fuentes sismogénicas distintas, conectadas a profundidad, o bien, una misma fuente con un

plano de falla menos definido. Sin embargo, esta apreciación puede deberse también a la falta datos de otras estaciones sísmicas cercanas, con lo que las localizaciones podrían quedar aún mejor definidas.

- Para el sismo de mayor tamaño (Mc 4.6) se estimó una intensidad de V en la escala de Mercalli Modificada en Santa Catarina Bobadilla, Antigua Guatemala (sitio donde se ubicó la estación sísmica portátil), esta fue obtenida mediante encuesta. Las mediciones instrumentales en la Ciudad Capital resultaron en intensidades entre II y III en la misma escala de intensidad para cinco de los seis sismos de mayor tamaño.

Recomendaciones

- La utlización de estaciones sísmicas portátiles siempre es una buena opción para el estudio de la sismicidad con características locales. Sin embargo, es de vital importancia la instalación de estaciones sísmicas permanentes en zonas de actividad como la descrita en este reporte, con transmisión de datos en tiempo real. Esto permitirá identificar aumentos de actividad en tiempos menores y contribuirá a tener mejor conocimiento de tales fuentes sísmicas, orientado a la planificación y disminución de desastres.

- Cerca de la zona de actividad se encuentran comunidades densamente pobladas, por lo que debe considerarse seriamente la realización de estudios posteriores para una mejor comprensión de la tal fuente sísmica. La instalación de acelerómetros en dichas poblaciones podrá generar datos importantes directamente utilizables en el campo de la ingeniería sismo-resistente.

- Considerar la utilización de otros métodos de ajuste de datos y el análisis de incertidumbre para la estimación del *b-value*, así como considerar una mejor completitud del catálogo para la fuente sísmica analizada. Los valores obtenidos pueden ser utilizados para el análisis de la amenaza sísmica en la región.

- Llevar a cabo estudios posteriores, para una mejor comprensión de la tectónica local, utilizando otras técnicas no abordadas en el presente reporte.

- El sistema CONRED tiene a su disposición la información generada en el presente informe, para tomarlo en cuenta en cualquier actividad encaminada a la reducción de desastres en la región.

Agradecimientos

La mejor calidad de datos sísmicos obtenidos en INSIVUMEH en la actualidad también ha sido posible por la colaboración con agencias sismológicas internacionales. Para el presente reporte se utilizaron datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN) de México y la Red de Monitoreo Sísmico del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en El Salvador.

Al señor Alejandro Barillas, por proporcionar un sitio para la instalación de la estación sísmica portátil.

Anexo I: Listado de sismos

Cuadro 6.1: Sismos con M≥3.4 registrados durante el enjambre sísmico de Sacatepéquez.

No.	Tiempo de origen (UTC)		Lat	Lon	Prof	M
	Fecha	Hora	N	W	(km)	
1	2019-03-08	14:16:56	14.697	-90.62	6.1	3.9
2	2019-03-10	22:38:06	14.679	-90.691	6.3	3.4
3	2019-03-14	19:51:35	14.538	-90.67	6.2	3.6
4	2019-03-15	07:03:48	14.537	-90.642	6.1	3.4
5	2019-03-15	09:18:24	14.553	-90.682	6.1	3.6
6	2019-03-15	14:14:41	14.564	-90.684	6.2	3.4
7	2019-03-15	17:17:04	14.557	-90.7	6	3.4
8	2019-03-15	20:17:37	14.549	-90.682	5.2	3.5
9	2019-03-16	12:01:59	14.537	-90.67	7.6	3.6
10	2019-03-17	00:56:39	14.548	-90.685	6.1	4.0
11	2019-03-24	13:45:00	14.537	-90.683	1	3.6
12	2019-03-27	15:06:12	14.481	-90.678	6.9	3.6
13	2019-03-27	16:46:26	14.542	-90.698	1.9	4.1
14	2019-03-27	16:52:10	14.558	-90.718	1.1	3.8
15	2019-03-27	16:59:12	14.55	-90.727	0	3.8
16	2019-03-27	17:05:55	14.479	-90.675	6	3.6
17	2019-03-27	17:29:27	14.528	-90.699	3.2	3.5
18	2019-03-27	17:31:53	14.489	-90.717	0	3.7
19	2019-03-27	17:44:58	14.527	-90.722	0.1	3.8
20	2019-03-27	18:35:43	14.528	-90.698	1.1	4.1
21	2019-03-28	03:29:43	14.531	-90.689	1	3.8
22	2019-03-28	07:59:55	14.478	-90.725	6.3	3.4

(continua en la página siguiente...)

Cuadro 6.1: ...continuación

No.	Tiempo de origen(UTC)		Lat	Lon	Prof	M
	Fecha	Hora	N	W	(km)	
23	2019-03-28	16:27:22	14.527	-90.727	9.8	3.6
24	2019-03-29	03:16:17	14.5	-90.732	3.3	3.4
25	2019-03-31	03:30:27	14.524	-90.722	7.1	3.4
26	2019-03-31	06:55:09	14.49	-90.688	1.1	4.3
27	2019-03-31	11:43:07	14.524	-90.731	2	3.7
28	2019-03-31	12:13:17	14.536	-90.722	4	3.4
29	2019-03-31	14:05:13	14.486	-90.701	5.2	3.5
30	2019-03-31	15:46:53	14.533	-90.768	0.7	3.6
31	2019-03-31	19:32:20	14.515	-90.72	3.7	3.9
32	2019-03-31	20:02:14	14.508	-90.721	6.7	3.5
33	2019-03-31	21:14:24	14.516	-90.724	6	3.5
34	2019-04-01	11:45:22	14.527	-90.722	5.2	3.8
35	2019-04-01	16:27:26	14.478	-90.676	3.8	3.5
36	2019-04-01	22:28:17	14.51	-90.723	4.2	3.4
37	2019-04-02	04:09:24	14.505	-90.734	4	3.6
38	2019-04-07	06:14:56	14.509	-90.672	7	3.6
39	2019-04-07	06:14:56	14.508	-90.675	7.1	3.5
40	2019-04-13	14:09:58	14.494	-90.69	4.6	3.9
41	2019-04-15	21:36:08	14.508	-90.724	5.2	4.0
42	2019-04-15	22:04:49	14.511	-90.702	1	4.6
43	2019-04-18	04:12:34	14.507	-90.702	5.8	3.5

(fin del cuadro)

Donde:

Tiempo de origen	Hora en que se generó el sismo en el epicentro (horario UTC, para hora local restar 6 h).
Lat N, Lon W	Coordenadas geográficas del epicentro.
Prof (km)	Profundidad del sismo en kilómetros.
M	Magnitud sísmica estimada.

Bibliografía

[1] Álvarez-Gómez, J., Insua, J., Capote, R., Bejar, M., Canora-Catalán, C., Hernández, W. (2006) *Evidencias morfotectónicas de actividad reciente de la zona de falla de El Salvador en el segmento Ilopango-San Vicente*, Geogaceta 39, 3-6, ISSN: 0213683X.

[2] Burkart, B. and Self, S. (1985) *Extension and rotation of crustal blocks in northern Central America and effect on the volcanic arc.* Geology, v. 13, pp. 22 – 26.

[3] Cáceres, D., Monterroso, D., Tavakoli, B. (2005) *Crustal deformation in northern Central America*, Tectonophysics 404, 119-131.

[4] Corti, G., Carminati, E., Mazzarini, F., García, M. (2005) *Active strike-slip faulting in El Salvador, Central America*, GSA, v. 33; no. 12; p 989-992; doi: 10.1130/G21992.1.

[5] DeMets, C. (2001) *A new estimate for present-day Cocos-Caribbean plate motion: implications for slip along the Central American volcanic arc.*, Geophysical Research Letters. V. 28, pp. 4043 – 4046.

[6] Eggers, A. A., (1971) *The geology and petrology of the Amatitlán quadrangle, Guatemala*, Ph.D. thesis, Dartmouth College, 221 pp.

[7] El-Isa, Z. H. and Eaton, D. W., (2013) *Spatiotemporal variations in the b-value of earhquake magnitude-frequency distributions. Clasification and causes*, Tectonophysics 615-616 (2014), 1-11.

[8] Farrell, J., Husen, S. and Smith, R. (2009) *Earthquake swarm and b-value characterization of the Yellowstone volcano-tectonic system*, Journal of Volcanology and Geothermal Research 188, 260–276. doi:10.1016/j.jvolgeores.2009.08.008.

[9] Escobar, R. (2010) *The eruption of Volcán de Pacaya on May-June, 2010*, Report in progress, Michigan Technological University.

[10] Gutenberg, B. and Richter, C.F., (1944) *Frequency of earthquakes in California*, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.4, No. 34, pp. 185-188.

[11] Guzmán-Speziale, M. (2001) *Active seismic deformation in the grabens of northern Central America and its relationship to the relative motion of the North American - Caribbean plate boundary*, Tectonophysics 337, 39-51.

[12] Guzmán-Speziale, M., Valdéz-González, C., Molina, E., Gómez, J. (2005) *Seismic activity along the Central America volcanic arc: Is it related to subduction of the Cocos plate?*, Tectonophysics 400, 241-254.

[13] Ishimoto, M and Iida, K., (1939) *Observations of earthquakes registered with the microseismograph constructed recently*, Bull. Earthq. Res. Inst. 17, 443-478.

[14] Lyon-Caen, H., Barrier, E., Lasserre, C., Franco, A., Arzu, I., Chiquin, L., Chiquin, M., Duquensoy, T., Flores, O., Galicia, O., Luna, J., Molina, E., Porras, O., Requena, J., Robles, V., Romero, J., Wolf, R. (2006) *Kinematics of the North American–Caribbean-Cocos plates in Central America from new GPS measurements across the Polochic-Motagua fault system*, Geophysical Research Letters. V. 33, L19309.

[15] Mérida, E. R., (2019) *Informe preliminar del contexto geológico del área en donde se distribuyen los epicentros del enjambre sísmico en el Departamento de Sacatepéquez durante los meses de marzo y abril de 2019*, Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos, INSIVUMEH.

[16] Muehlberger, W. y Ritchie, A. , (1975) *Caribbean–Americas plate boundary in Guatemala and southern Mexico as seen on Skylab IV orbital photography*, Geology 3(5):232-235.

[17] Wald, D., Quitoriano, V., Heaton, T. and Kanamori, H. (1999) *Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity and Modified Mercalli Intensity in California*, Earthquake Spectra, Vol. 15, No. 3.

[18] White, R., and D. Harlow, (1993) *Destructive upper-crustal earthquakes of Central America since 1900*, Bulletin of the Seismological Society of America. V. 83, pp. 1115 – 1142 .

[19] Wunderman, R. L., (1983) *Amatitlan, an active resurgent caldera immediately south of Guatemala City, Guatemala*, M. S. thesis, Michigan Technological University, 192 pp.