

## Actividad sísmica y volcánica en El Salvador: el caso del terremoto y la erupción del volcán de San Salvador en 1917

### Participantes:

Denis Legrand, Instituto de Geofísica,  
Universidad Nacional Autónoma México, México  
Griselda Marroquín, Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales,  
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador

El objetivo del proyecto es entender la relación entre la actividad sísmica y volcánica en El Salvador, con un enfoque al terremoto de 1917 en particular.

Descripción del trabajo: el proyecto se desarrolló de manera presencial con la visita de cada responsable en el país anfitrión y también de manera remota. El proyecto tuvo una duración de dos años (2019 y 2020), debido a la anulación de estaciones de intercambio de trabajo por la pandemia de COVID-19. Los principales logros del proyecto fueron un artículo científico publicado en la revista *Journal of South American Earth Sciences*, en la traducción de un libro sobre Montessus de Ballore, un sismólogo francés quien vivió cuatro años en El Salvador y cuyos trabajos fueron usados en nuestro trabajo (no previsto en el proyecto original, pero se pidió autorización para realizar ese trabajo extra) y en la formación de varias personas (estudiantes y personal del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)) de El Salvador.

### **Preparación de bases de datos sísmicos y volcánicos (tres meses)**

Con ayuda del programa Common Vulnerability Score System (CVSS), se recopilaron todos los datos de sismos tanto aislados como en enjambres, de los 10 últimos años y de la descripción de la actividad volcánica para construir una base de datos (fecha, localización y magnitud de cada evento sísmico y volcánico). Se clasificó también las variaciones de la actividad volcánica en los registros de monitoreo visual, geoquímico y de gases. Además de la información existente del sismo del 6 de junio de 1917 en bases de datos sísmicos locales e internacionales, así como la información histórica detallada de la erupción del volcán Boquerón (CVSS).

### *Comentarios*

Hemos realizados una base de datos sísmicos, en particular de los enjambres sísmicos de 1965 a 2017. Habíamos planificado hacerla sobre una duración de 10

años, pero nos dimos cuenta de que era importante extenderla a un poco más de 50 años (Figura 1).

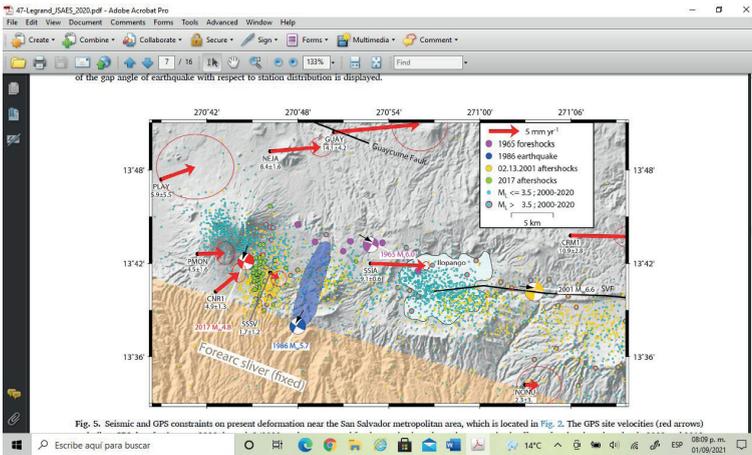


Figura 1. Sísmos de 1965 a 2017, correspondiendo a la base de sísmos compilada.

Se hizo también una compilación de los grandes terremotos que afectaron la ciudad de San Salvador, de 1526 a 2017. Respecto a la información sísmica y volcánica del volcán Boquerón de 1917, se recopiló la información que se relató en el artículo en la Tabla 1 mencionada y en la introducción y la discusión del artículo (Figura 2).

**Table 1**  
List of earthquakes from 1526 that affected San Salvador metropolitan area from 1526 to 2017.

Year	Month	Day	Magnitude	References
1526	July	20		1
1556	?	?		1
1575	June	2		1,3,3
1576	it is in fact the 1575 earthquake			4,5
1581	?	?		1
1594	April	21	M <sub>s</sub> = 6 - 7	1,3,4
1650	September	30		1, 10
1656 or 1658	?	?		1
1659	September	30		3,5
1671	August	16		1
1707?	?	?		1,5
1712	December	14	M <sub>l</sub> = 6.2	6
1719	March	6	M <sub>w</sub> = -7+	1,5,7
1748	March	3	M <sub>l</sub> = 6.4	6
1765	April	?	M <sub>l</sub> = 6.1	6
1776	July	6	M <sub>l</sub> = 6.0	1
1776	November	15	M <sub>l</sub> = 7.0	1
1783	November	29	M <sub>l</sub> = 5.9	6
1790	February	2	M <sub>l</sub> = 6.2	3,5,6
1831	?	?		1
1839	March	22	M <sub>l</sub> = 6.2	3,5,6
1839	October	1	M <sub>l</sub> = 5.9	3,5,6
1847	June	23	M <sub>l</sub> = 6.3	6
1854	April	16	M <sub>l</sub> = 6.6	3,5,6,0
1854	June	11	M <sub>l</sub> = 6.2	3,5,6,0
1857	November	6	M <sub>l</sub> = 6.4	6
1860	June	21	M <sub>l</sub> = 6.1	6
1867	March	21	M <sub>l</sub> = 5.0	6
1867	June	30	M <sub>l</sub> = 7.1	1
1872	December	29	M <sub>l</sub> = 5.0	6
1873	February	22		3,0
1873	March	4	M <sub>l</sub> = 6.4	3,5,6,0
1873	March	19	M <sub>l</sub> = 7.1	1,3
1879	December	27		11
1879-1880	Several between 20 December and 19 March			4,5,11
1899	March	25	M <sub>l</sub> = 6.1	6
1917	June	0	M <sub>s</sub> = 6.4	3,5,6,0
1917	June	0	M <sub>s</sub> = 6.3	3,5,6,0
1919	April	23	M <sub>l</sub> = 6.0	3,5,6
1936	December	20	M <sub>l</sub> = 6.1	6
1965	May	3	M <sub>l</sub> = 6.0	3,5,6
1966	October	10	M <sub>w</sub> = 5.7	3,6
2001	February	13	M <sub>w</sub> = 6.6	9
2017	April	10	M <sub>w</sub> = 4.8	

Figura 2. Lista de los grandes terremotos que afectaron la ciudad de San Salvador, de 1526 a 2017.

## Tratamiento de datos (5 meses)

La base de datos generada en la etapa anterior e implementación y aplicación de los métodos para la discriminación de la sismicidad tectónica y de la sismicidad volcánica, con *software* especializado disponible en el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (IGF, UNAM), que será facilitado a la Dirección General del Observatorio de Amazonas (DGOA). Esta etapa iniciará con una asesoría presencial del especialista de la UNAM a la DGOA-MARN (El Salvador), para validar la base de datos y capacitar al personal de este centro y a los estudiantes involucrados en el uso del *software*. Se incluyó el tratamiento de datos, los sismos de junio de 1917. Los resultados de esta etapa son la depuración de la base de datos, la obtención de los mecanismos fuente de los sismos y la capacitación del personal participante.

## Comentarios

Se procesaron los datos de la etapa 1 de diferentes maneras. Primero la información fue presentada como en la figura presentada anteriormente donde están presentados también los mecanismos fuente de los sismos (en forma de pelotas blancas y negras). Hemos también analizado en particular el enjambre de 2017 para entender el origen (tectónico o volcánico) de ese enjambre. Los resultados de este análisis están representados en la Figura 3. La Figura a la izquierda a) representa la distribución de las magnitudes de los sismos a lo largo del tiempo; b) es un zoom sobre los sismos precursorales al evento principal; c) es la energía sísmica liberada a lo largo del tiempo. A la derecha se representa arriba el número de sismos ( $N(t)$ ) en función de la magnitud y abajo el número de sismos a lo largo del tiempo.

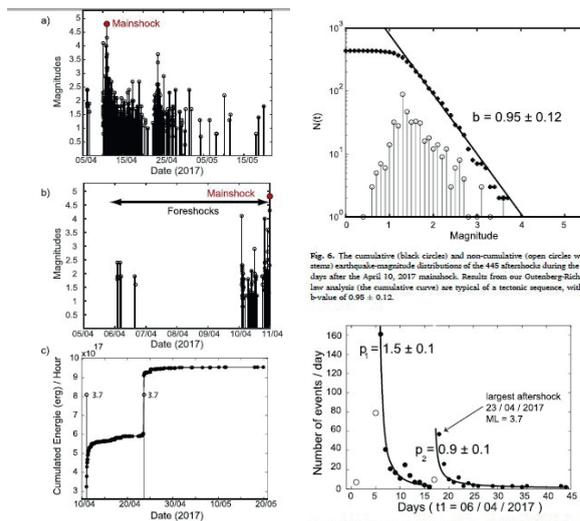


Fig. 6. The cumulative (black circles) and non-cumulative (open circles with error bars) earthquake-magnitude distributions of the 445 aftershocks during the 39 days after the April 10, 2017 mainshock. Results from our Gutenberg-Richter law analysis (the cumulative curve) are typical of a tectonic sequence, with a b-value of  $0.95 \pm 0.12$ .

Figura 3.

a) distribución de las magnitudes de los sismos a lo largo del tiempo (b) zoom sobre los sismos precursorales al evento principal (c) energía sísmica liberada a lo largo del tiempo, así como el número de sismos en función de la magnitud y del tiempo (en la figura inferior).

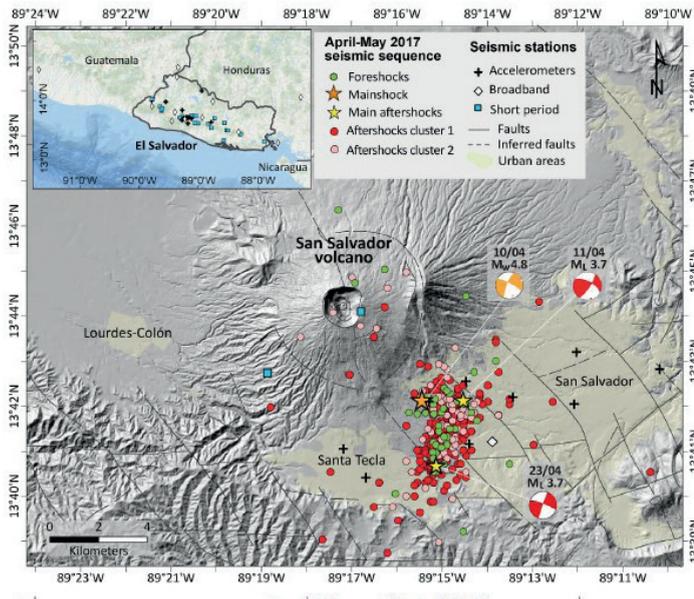
En este trabajo se formó personal y comparto experiencia con las personas del MARN, incluyendo estudiantes, que están en la lista de los coautores del artículo mencionado.

### **Interpretación de los resultado (5 meses)**

Estudio detallado para la discriminación entre la sismicidad tectónica y volcánica. El técnico especialista en sismicidad volcánica de la DGOA-MARN visitó el IGF, UNAM para revisar todo el trabajo desarrollado en la etapa anterior y concluirlo, junto con dos especialistas en México (un sismólogo y una volcanóloga para la parte interpretación).

### **Comentarios**

Los resultados fueron interpretados y publicados en un artículo científico. Se resume a continuación. Sin entrar en los detalles, la interpretación de los datos es que el origen de la sismicidad es tectónico, a pesar de estar cerca (a 5-7 km) del volcán San Salvador/Boquerón que erupcionó en 1917. Esa conclusión fue importante porque en general enjambres sísmicos tan cerca de un volcán pueden resultar de origen volcánico e indicar una reactivación del volcán muy cerca de San Salvador. Pero no fue el caso del enjambre de 2017. Se muestra a continuación la distribución espacial de estos sismos cerca del volcán San Salvador/Boquerón.



**Figura 4.** Distribución espacial de los sismos del enjambre del 2017.

## Preparación de productos finales (5 meses)

Se propone sistematizar el trabajo realizado elaborando un manual para el observatorio sobre la aplicación de los métodos, así como los informes del proyecto. También se trabajó el índice de contenidos de un artículo científico sobre los resultados obtenidos, el cual se escribirá en los tres últimos meses del proyecto.

Hemos dejado la metodología para poder procesar otros enjambres sísmicos de El Salvador y se prevé hacerlo en los próximos años y publicado los resultados en un artículo mencionado, en 2020, que ya fue citado por un grupo de geólogos españoles expertos de El Salvador.

## Traducción del libro sobre Montessus de Ballore

Esa parte no era contemplada en la propuesta original, pero debido a la pandemia COVID-19, hemos decidido usar los recursos para presentar en español la labor de ese sismólogo quien trabajo cuatro años en El Salvador. Este libro tiene como título: *Fernand de Montessus de Ballore (1851-1923)*, pionero francés de la ciencia de los terremotos.

Escrito por el doctor Jean-Paul Poirier, miembro de la Academia de Ciencias de París. Es un libro muy interesante porque habla de uno de los primeros sismólogos del mundo. El empezó su carrera científica, una vez jubilado, a vivir en El Salvador, donde experimentó su primer terremoto, lo que motivó su pasión futura. Después fue a crear el Observatorio Sismológico de Santiago de Chile. Hizo un catálogo de los sismos de América Latina, de México a Chile, que usamos en nuestro proyecto. Fui en contacto con el autor (que nos otorgo los derechos de autores) y Hervé Le Ferrand.

Debo mencionar que fui también en contacto con un nieto de Montessus de Ballore en Chile, y con Hervé Le Ferrand nos gustaría presentar el libro durante un homenaje que se hará en 2023 en Chile para conmemorar los 100 años de su muerte.

## Visitas

- Se realizaron los siguientes intercambios:
- Visita de Denis Legrand, del 25 marzo al 3 abril 2019, al MARN, El Salvador.
- Visita de Griselda Marroquín, del 20 al 24 de mayo 2019 al Instituto de Geofísica, UNAM.
- Visita de Denis Legrand, del 30 de septiembre al 4 de octubre 2019 al MARN, El Salvador.