



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

**SUBSECRETARÍA DE PLANEACIÓN, INFORMACIÓN Y PROTECCIÓN CIVIL
COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES**

**Cálculo de la energía en explosiones volcánicas en los volcanes
Popocatepetl y Fuego de Colima.**

Subdirección de Riesgos Volcánicos

Dirección de Investigación

Contenido

- Resumen
- Introducción
- Energía sísmica radiada
- Energía de las explosiones en el volcán Popocatepetl
- Energía de las explosiones en el Volcán de Fuego de Colima
- Conclusiones
- Referencias

Resumen

En este trabajo se analizaron las explosiones del volcán Popocatepetl, registradas durante el 2018. La explosión más energética se registró el 30 de enero de 2018, a las 16:21 h, esta explosión generó una columna eruptiva que superó los 3 km de altura, la energía de este evento fue de 1.18×10^9 J. En general en el caso de este volcán y para el periodo analizado, las explosiones estuvieron asociadas a la destrucción de domos.

Para el caso del volcán de Colima se analizaron 15 explosiones registradas durante el 2015, año en el que el volcán presentó la mayor actividad de los últimos 100 años. La explosión más energética fue la registrada el día 30 de diciembre de 2015 con un valor de 6.38×10^8 J, la cual generó una columna de aproximadamente 2.5 km sobre el nivel del cráter. Además, el cálculo de la potencia nos indica, en términos prácticos, la distribución de la energía en el tiempo de duración del evento.

Es importante seguir calculando la energía sísmica de las explosiones, ya que este parámetro nos indica de una manera cuantitativa la energía involucrada en la actividad volcánica.



Introducción

El acumulado de la energía sísmica asociada a las explosiones registradas en el volcán Popocatepetl durante el 2018 fue de 1.49×10^{13} , la explosión más energética se registró el 30 de enero, el mes con mayor número de explosiones fue septiembre y las explosiones registradas durante noviembre y diciembre fueron de las más energéticas.

Energía sísmica radiada

Obtener información cuantitativa de las explosiones ayuda a mejorar el diagnóstico y pronóstico de la actividad volcánica asociada a los volcanes Popocatepetl y Fuego de Colima; al calcular la energía podemos saber que tan grande o pequeña es una explosión y evaluar rápidamente los posibles escenarios que pudieran presentarse.

El cálculo de la energía sísmica radiada resulta difícil de estimar debido a las complicaciones siguientes (Johnson y Aster, 2005):

- a) La propagación elástica de las funciones de Green es compleja, en especial a estructuras con impedancias complicadas como los sistemas volcánicos.
- b) El campo de ondas está compuesto de ondas de cuerpo como de ondas superficiales.
- c) Fuertes respuestas de sitio son creadas por las condiciones cerca de la superficie.

Para dar solución a los problemas antes mencionados, se adapta un enfoque que asume que la forma de onda es representada por la densidad de la energía cinética en un lugar específico del volcán. Así que, la energía sísmica total es proporcional al producto de la densidad del volcán (ρ_{Tierra}) y al cuadrado de la velocidad (U^2) integrado sobre el volumen de un volcán. La energía sísmica para una fuente isotrópica localizada en la parte superior de un semiespacio homogéneo puede ser escrita como (e.g., Boatwright, 1980):

$$E_{sismica} = 2\pi r^2 \rho_{Tierra} c_{Tierra} \frac{1}{A} \int S^2 U(t)^2 dt \quad (1)$$

En la ecuación, (S) es la corrección la respuesta sísmica del sitio y (A) la atenuación. Donde la atenuación puede ser expresada como, $A(r) = e^{(-\pi f r)/(c_{Tierra} Q)}$, f es la frecuencia de la onda y Q es el factor de calidad. La integral de la ecuación (1) es resuelta en la longitud de tiempo que abarca el evento, tomando en consideración las siguientes asunciones:



1. El tratamiento de las señales de velocidad es puramente de ondas de cuerpo,
2. Radiación radial e isotrópica,
3. Atenuación despreciable, y
4. Asignación de la velocidad de onda P (c_{Tierra}).

Por lo que el contenido de la energía sísmica se sobreestimaré cuando exista mayor aporte de ondas superficiales, si la energía no se propaga radialmente hacia afuera, o si se sobrestima la velocidad de cuerpo (Johnson y Aster, 2005).

Energía de las explosiones en el volcán Popocatépetl.

Durante el 2018, en el volcán Popocatépetl, se registraron un total de 550 explosiones, de las cuales, a 477 eventos se pudo obtener su energía sísmica (Figura 1). La energía total acumulada liberada por estos eventos fue de 1.49×10^{13} J. Las estaciones empleadas fueron Canario (PBPN) y Juncos (PPJU), ambas en la componente norte.

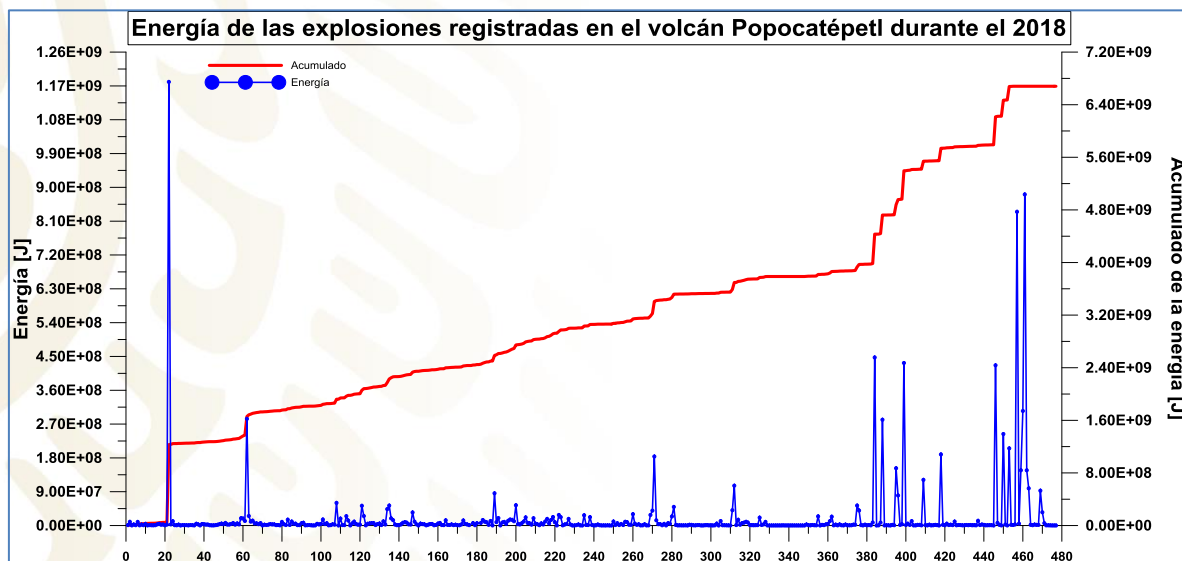


Figura 1 Energía y acumulado de la energía sísmica de las explosiones registradas en el volcán Popocatépetl durante el 2018

La explosión más energética se registró el 30 de enero de 2018, a las 16:21 h, esta explosión generó una columna eruptiva que superó los 3 km de altura, la energía de este evento fue de 1.18×10^9 J (figuras 1 y 2). Otras dos explosiones importantes fueron las registradas el 28 de noviembre y el 5 de diciembre, con energía sísmica de 8.38×10^8 y 8.81×10^8 , respectivamente.

Septiembre fue el mes con mayor número de explosiones (126), el acumulado de la energía sísmica de estos eventos es de 2.01×10^9 , energía comparable con calculada para la explosión más grande registrada en el año. Las explosiones de finales de noviembre y principios de diciembre, así mismo la energía acumulada



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

por las explosiones registradas durante noviembre y diciembre es de 2.57×10^9 J, cabe mencionar que estas últimas explosiones estuvieron asociadas a la destrucción del domo número 81, mientras que la explosión registrada el 30 de enero, no se pudo confirmar que haya sido producto de la destrucción de un domo.

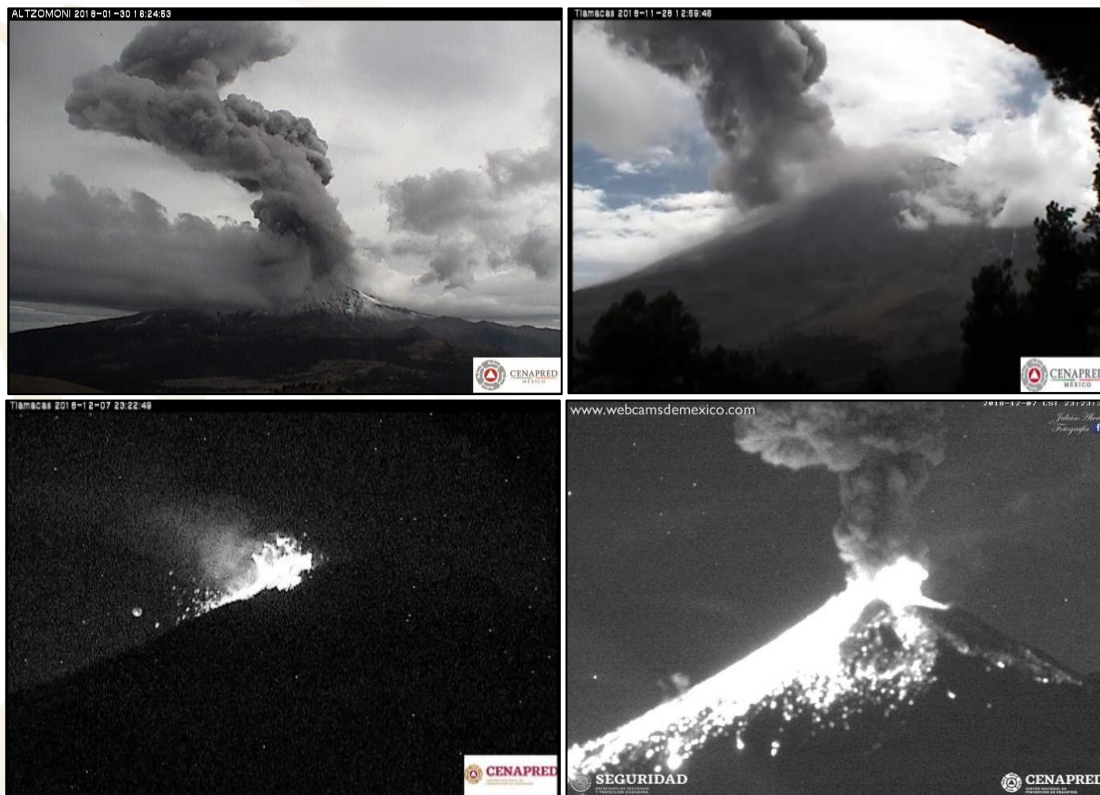


Figura 2 Imágenes de dos de las explosiones más energéticas registradas el 30 de enero, el 28 de noviembre y 7 de diciembre de 2018

Energía de las explosiones en el volcán Fuego de Colima.

En este trabajo se analizaron las señales sísmicas de explosiones registradas en el Volcán de Fuego de Colima para el periodo de agosto a diciembre del año 2015. Durante este año se presentó el episodio más importante registrado en los últimos 100 años, con los eventos de los días 10 y 11 de julio. Los meses siguientes estuvieron caracterizados por explosiones vulcanianas que presentaron, en su mayoría, columnas de gases y ceniza con alturas superiores a los 2 km desde la base del cráter del volcán. Solo algunos eventos produjeron pequeños flujos piroclásticos. El análisis de las señales sísmicas se realizó en el dominio del tiempo (amplitud y duración de la señal) y en el de la frecuencia (frecuencias características y el contenido espectral).



En total se analizaron 15 explosiones (Tabla 1) a las que además se les calculó su energía [J] y potencia [W]. Este último valor se obtuvo considerando tanto su energía (E) como el tiempo de duración (t). Así $P=E/t$.

Los datos sísmicos con los que se realizó el análisis fueron los obtenidos de dos de las estaciones sísmicas de la Red de Monitoreo del volcán de Fuego de Colima, EFRE, ubicada aproximadamente a cuatro kilómetros y SOMA, ubicada a 1.7 kilómetros del cráter (Figura 3), ambas en su componente norte. Estas estaciones son compartidas con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

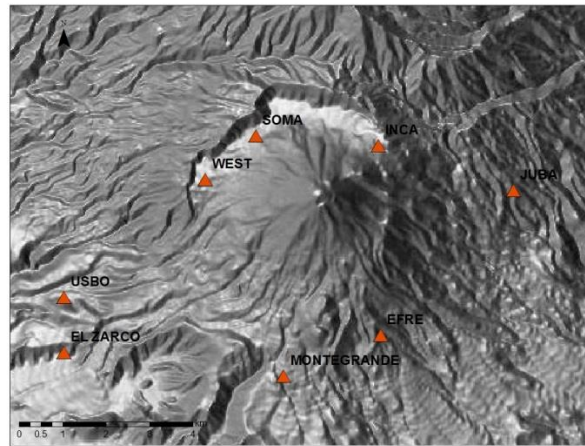


Figura 3 Red de estaciones sísmológicas del Volcán de Fuego de Colima

Fecha	Hora (GMT)	Amplitud (Cuentas/Volt)
17/08/15	13:09:30	57000
03/09/15	12:18:57	196000
05/09/15	15:48:11	2900
11/09/15	14:44:21	161500
18/09/15	12:35:15	224700
23/09/15	13:18:14	175000
24/09/15	06:11:14	158000
02/10/15	19:28:42	125000
12/11/15	15:01:49	225000
14/11/15	09:52:22	290000
16/11/15	12:14:24	120300
23/11/15	03:07:39	240000
02/12/15	08:01:53	126000
24/12/15	02:14:12	270500
30/12/15	15:08:15	258000

Tabla 1 Fechas y amplitudes de las explosiones analizadas



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

El cálculo de la energía sísmica para las dos estaciones muestra que para las 15 explosiones la energía siempre fue mayor en la estación SOMA. Además se observa que la relación entre la energía calculada para estación SOMA no guarda una relación lineal con respecto a la estación EFRE, es decir, las explosiones de mayor energía no corresponden al mismo caso en la estación EFRE y viceversa. Por ejemplo, la explosión de menor valor registrada en SOMA (2 de octubre de 2015) con un valor de $1.33\text{E}+08$ [J] no corresponde a la de menor energía registrada en EFRE (17 de agosto de 2015) con un valor de $1.20\text{E}+07$ [J] (Fig 4).

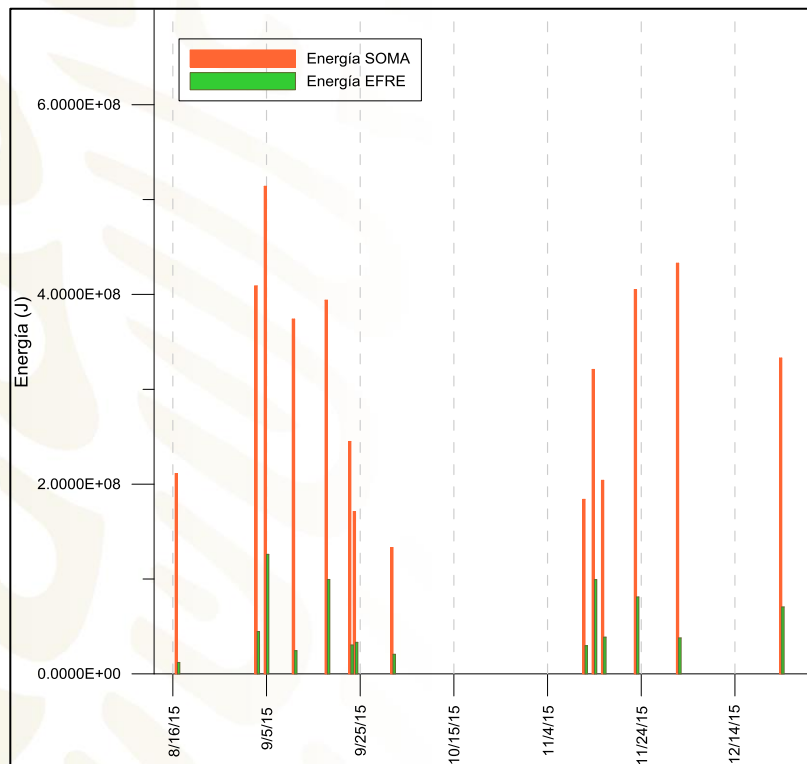


Figura 4 Comparación de la energía sísmica calculada para las estaciones SOMA y EFRE

Al comparar los valores de la energía y potencia (figuras 5 y 6) obtenidos para la estación SOMA y EFRE se observa que estas magnitudes tampoco guardan una relación lineal, es decir, en el caso del valor máximo de energía (explosión registrada el 30 de diciembre de 2015) $6.38\text{E}+08$ J para la estación SOMA, no corresponde al valor máximo de potencia en la estación SOMA $1.66\text{E}+07$ W (explosión registrada el 5 de septiembre de 2015), esto en términos prácticos, nos indica que, para el primer caso, la energía estuvo distribuida en un mayor tiempo, mientras que en el segundo caso, la energía liberada fue en un menor tiempo. La Figura 7 muestra la comparación entre la explosión de mayor energía y la de mayor potencia. La altura de la columna eruptiva fue ligeramente menor en el caso de la explosión de mayor energía.



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

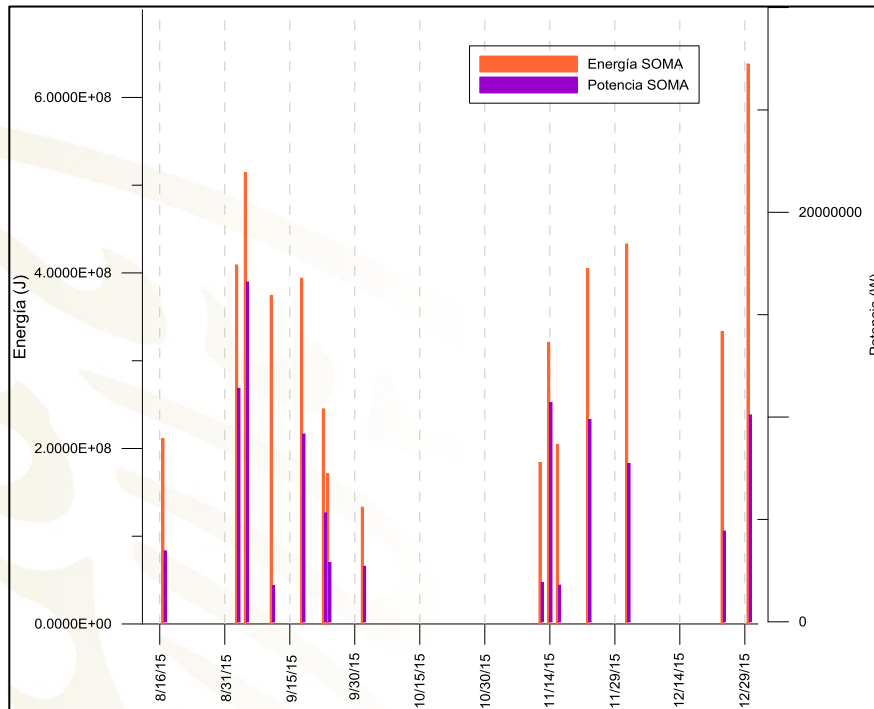


Figura 5 Comparación entre la energía y potencia de las 15 explosiones analizadas. Estación SOMA

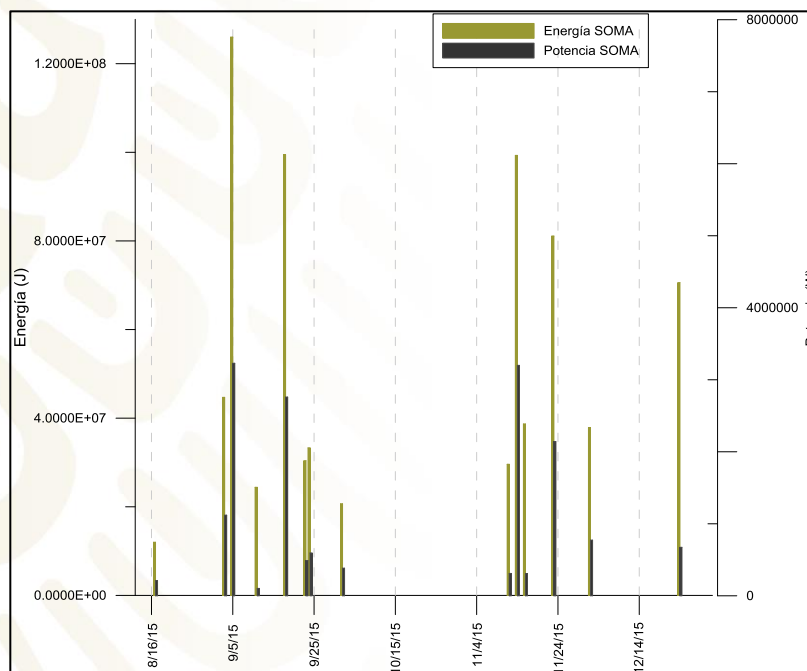


Figura 6 Comparación entre la energía y potencia de las 15 explosiones analizadas. Estación EFRE



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

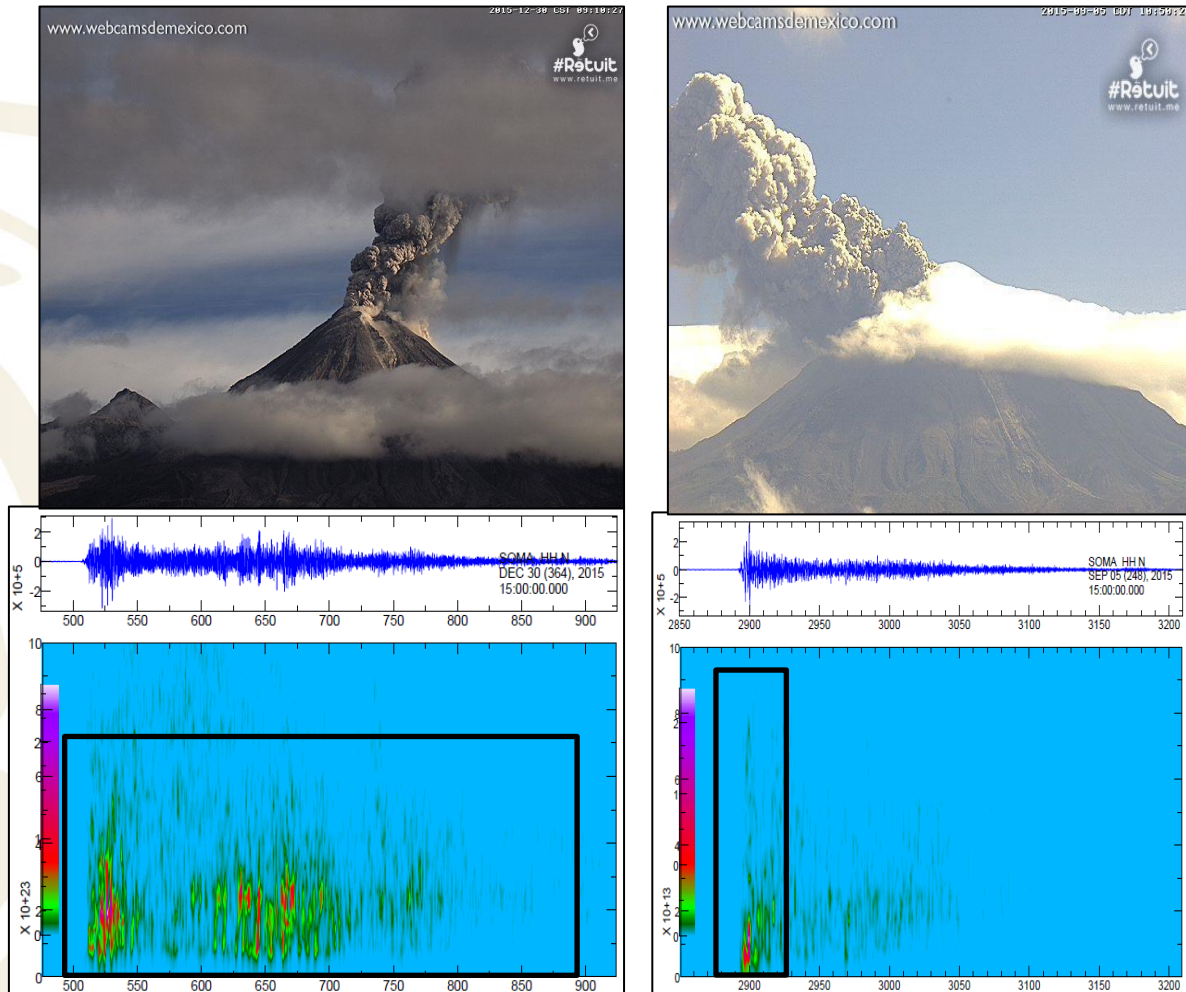


Figura 7 Comparación entre la explosión que presentó mayor energía (izquierda) y mayor potencia (derecha). Los recuadros negros en el espectrograma indican la distribución de la energía en el tiempo

Conclusiones

Para el caso del volcán Popocatepetl, las explosiones asociadas a la destrucción de domos son las más energéticas, y esto nos habla de una acumulación de presión dentro de los conductos volcánicos que se genera por la obstrucción de los mismos y culmina en un evento explosivo. Es importante seguir calculando la energía sísmica de las explosiones ya que este parámetro nos indica de una manera cuantitativa parte de la energía involucrada en la actividad volcánica.

En el caso del volcán de Colima se calculó tanto la energía como la potencia de 15 explosiones registradas durante el 2015, año de la actividad más intensa que el volcán ha presentado en los últimos 100 años. De acuerdo a los resultados, se observó que la energía calculada siempre es mayor en la estación más cercana, por otro lado. La potencia y la energía son dos magnitudes que no guardan una



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

relación lineal, ya que la duración del evento es determinante en el caso de la potencia. El ejemplo analizado (Fig 6) muestra que aun siendo la altura de la columna similar entre dos eventos tanto la energía como la potencia muestran valores distintos. Además en el caso del evento de mayor potencia se observa como la energía involucrada es repartida en un menor tiempo con respecto al primer evento.

Referencias:

- Boatwright, J., 1980. A spectral theory for circular seismic sources: simple estimates of source dimension, dynamic stress drop, and radiated seismic energy. Bull. Seismol. Soc. Am. 70 (1), 1 – 27.
- Johnson, J.B., Aster, R.C., 2005. Relative partitioning of acoustic and seismic energy during Strombolian eruptions. J. Volcanol. Geotherm. Res. 148, 334-354.

Elaboraron: Gema Victoria Caballero Jiménez y Elizabeth Castañeda Bastida
