

# CAMPAÑA SÍSMICA DEL 2010 EN EL VOLCÁN HUAYNAPUTINA (MOQUEGUA)

Yanet Antayhua & Domingo Ramos

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Av. Canadá N° 1470, San Borja –Lima, yantayhua@ingemmet.gob.pe

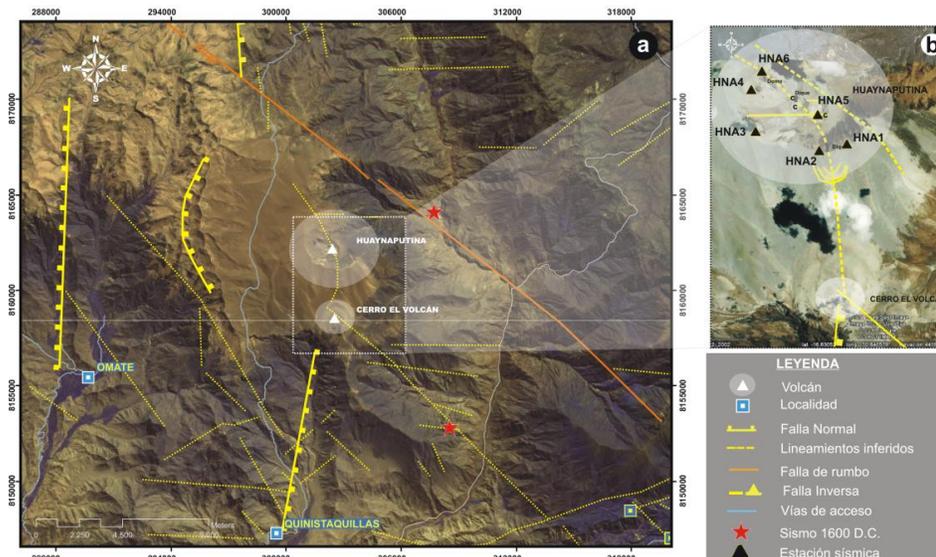
## INTRODUCCIÓN

Entre el 19 de febrero y 6 de marzo de 1600 D.C. el volcán Huaynaputina ( $16^{\circ}36'S$ ,  $70^{\circ}51'O$ ; 4800 m.s.n.m.), presentó una de las erupciones más grandes registradas en tiempos históricos. Esta erupción fue considerada con IEV de 6 (Thouret et al., 1999, 2002; De Silva and Zielinski, 1998). Las crónicas y relatos sobre la erupción del volcán Huaynaputina de 1600 D.C., describen que esta erupción estuvo acompañada de explosiones y numerosos sismos sentidos a nivel local y regional (Ceresis, 1985). Este estudio presenta los primeros resultados de la campaña sísmica realizada al volcán Huaynaputina entre el 15 de mayo y 27 de octubre de 2010.

## TECTÓNICA REGIONAL Y LOCAL

El análisis tectónico realizado por Lavallée et al. (2006; 2009), a escala regional y local, mediante imágenes satelitales Landsat, trabajos de campo in situ y la información obtenida de los cuadrángulos de Omate e Ichuña (INGEMMET 2000a,b), muestran que en el volcán Huaynaputina existen cuatro sistemas de fallas y lineamientos importantes, orientados en direcciones: N-S, NE-SO, E-O y NO-SE; este último consiste de una serie de fallas de rumbo, con longitudes que varían entre 2-3 km hasta 25 km (Fig. 1a). Las observaciones realizadas en la caldera del volcán Huaynaputina y sus alrededores, muestran la influencia de las fracturas NO-SE y E-O en el emplazamiento de un domo, diques y la localización de los 3 cráteres en el anfiteatro del volcán (Fig. 1b).

**Fig.1.-** a) Distribución de los principales sistemas de fallas y lineamientos identificados en la zona del volcán Huaynaputina. b) Estaciones sísmicas instaladas durante el 2010 (Modificado de Lavallée et al., 2006; 2009).



## DATOS SÍSMICOS

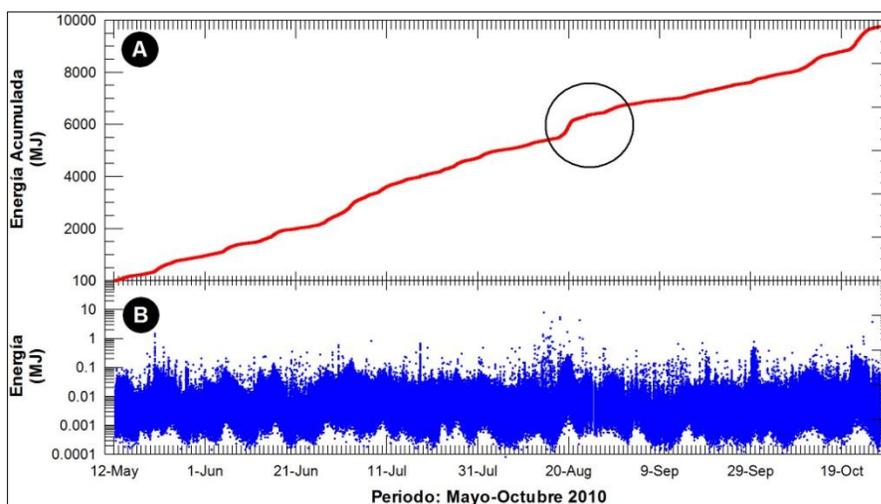
Los datos provienen de seis estaciones sísmicas temporales (HNA1 a HNA6) instaladas en torno al anfiteatro volcánico del Huaynaputina (Fig. 1b) y estuvieron operativas entre el 15 de mayo y 27 de octubre de 2010. Para el cálculo de la cantidad de energía liberada se utilizó la ecuación propuesta por

Boatwright (1980) y la información sísmica de las estaciones HNA4 y HNA5. La localización hipocentral fue realizada para 107 sismos, utilizando el programa Seisan (Ottemoller et al., 2010), el modelo de velocidad de Metaxian et al (1998), la  $V_p/V_s=1.6$  y la ecuación de Klein (1978) para el cálculo de la magnitud de coda  $M_c = -1.1 + 2 \log (T) + 0.007 D + 0.0035 (Z)$ , donde D es la distancia epicentral en km y Z la profundidad del hipocentro en km. Cabe mencionar que, aún cuando estos parámetros fueron obtenidos para otras zonas volcánicas y tectónicas, en este estudio, ha permitido estimar los parámetros hipocentrales de los sismos registrados por la red instalada en el volcán Huaynaputina.

## RESULTADOS

### ENERGÍA SÍSMICA

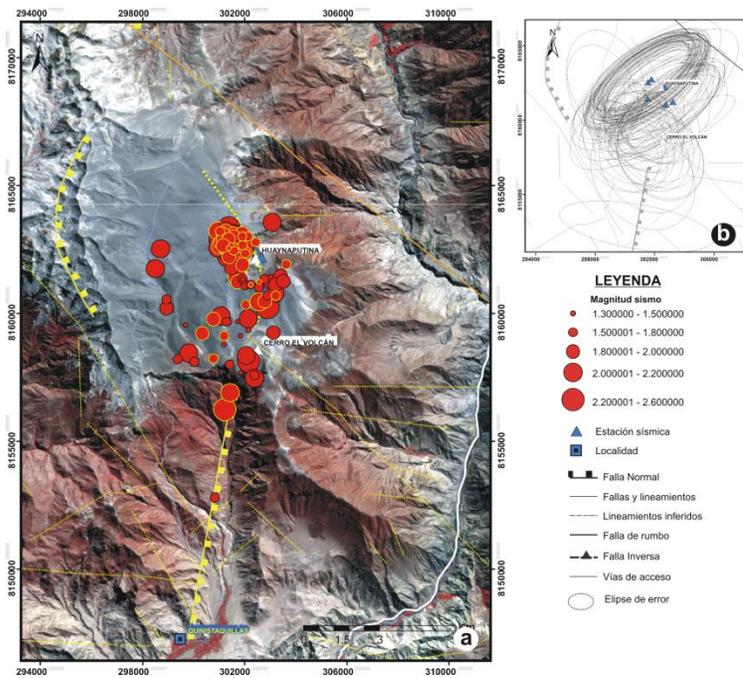
La energía acumulada, estimada del 15 de mayo a 27 de octubre de 2010 fue de 9765 MJ, a razón de 58 MJ por día (Fig. 2a) con un ligero incremento de energía en el mes de agosto correlacionado con incremento de la sismicidad durante este mes. Los resultados del cálculo de energía diaria para el mismo periodo muestra que la mayor cantidad de energía estimada, se encuentra por debajo de 0,1 MJ, con algunos pulsos en agosto e inicios de octubre (Fig. 2b). Este valor está por debajo de los niveles de energía liberado por el volcán Ubinas (3137 MJ) entre el 18 y 20 de agosto de 2006 (Macedo et al., 2010).



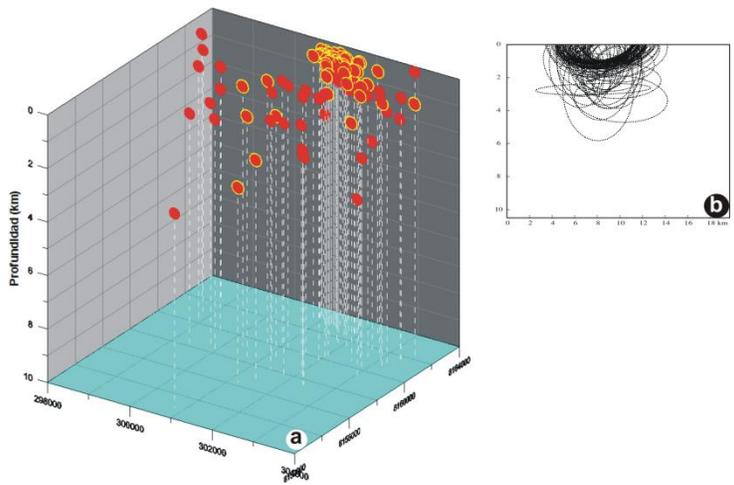
**Fig.2.-** Cálculo de la energía en Megajoule (MJ) en los registros de las estaciones HNA4 y HNA5, para el periodo 12 de mayo a 27 de octubre de 2010. A) Energía acumulada. B) Energía diaria.

### SISMICIDAD

En las Figs. 3 y 4, se presentan los resultados de la relocalización de los 107 sismos registrados en la campaña sísmica del volcán Huaynaputina (15 de mayo al 27 de octubre de 2010). La distribución en superficie (Fig. 3a) y en profundidad (Fig. 4a), con sus respectivas elipses de error (Fig. 3b, Fig. 4b), así como sus magnitudes pequeñas (0.9 a 2.7 Md) muestran que estos sismos podrían estar asociados a la activación y/o reactivación de los sistemas de fallas y lineamientos descritos por Lavallée et al. (2006; 2009), probablemente al lineamiento NO-SE que corta el cráter del volcán Huaynaputina y se extiende hasta el Cerro El Volcán. Evidentemente, el análisis de tensor de momento, mecanismos focales y estudios de deformación mediante InSAR, habría permitido definir, con mayor detalle, la fuente generador a de estos sismos; sin embargo, esto no fue posible pues no se ha obtenido suficiente información sísmica.



**Fig. 3.-** Distribución en superficie de los 107 sismos registrados y relocalizados en la zona del volcán Huaynaputina. El borde amarillo de los epicentros resalta los sismos registrados en el mes de agosto de 2010.

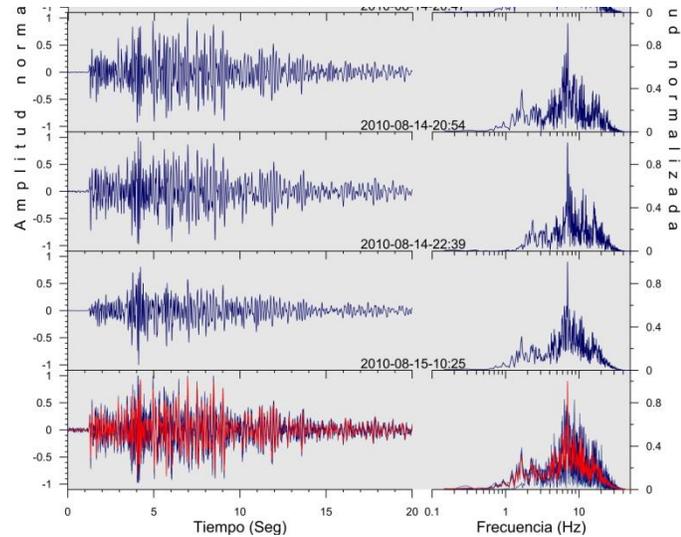


**Fig. 4.-** a) Distribución en profundidad de los 107 sismos. El mayor número de sismos se localizan a profundidades menores a 6 km. Los círculos rojos con amarillo corresponden a los sismos registrados en el mes de agosto de 2010. b) Elipses de error

## ENJAMBRE SÍSMICO DE AGOSTO 2010

De los 107 hipocentros localizados en este estudio, 67 eventos corresponden a los registrados en el mes de agosto 2010 (círculos rojos con amarillo). De éstos, 22 señales tienen una frecuencia principal de 7 Hz, mientras que los demás eventos tienen frecuencias pico entre 5.8 y 10.1 Hz. Estas 22 señales sísmicas tienen una forma de onda muy similar y un espectro de frecuencias también muy parecido (Fig. 5). Estas características particulares indican que estas señales se generaron bajo circunstancias similares, por lo tanto, proceden de la misma fuente sísmica.

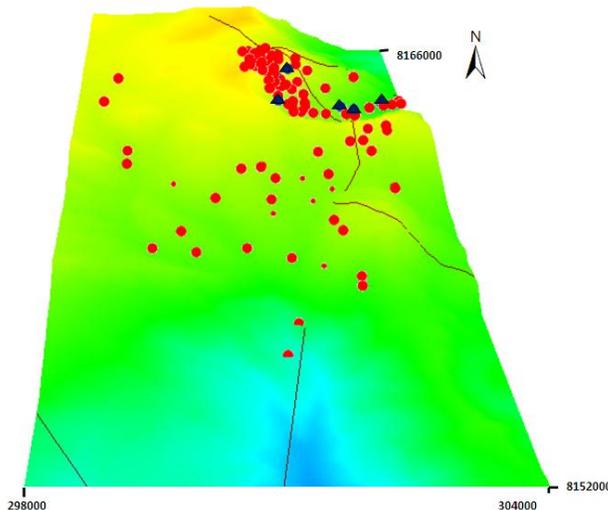
**Fig. 5.-** Ejemplos de sismos registrados por la estación HPNA4 con sus espectros de frecuencia respectivos. En rojo, apilamiento de las señales.



## CONCLUSIONES

De la campaña sísmica de realizada al volcán Huaynaputina entre el 15 de mayo y 27 de octubre de 2010, se concluye que la energía sísmica diaria (0,1 MJ) y acumulada (9765 MJ), estimadas, estuvieron por debajo de los niveles de energía estimados para otros volcanes activos. La localización hipocentral de los 107 sismos muestra sismos pequeños en magnitud (0.9 y 2.7 Mc) y profundidades focales menores a 6

km. Su distribución en superficie, en profundidad, así como sus magnitudes pequeñas sugieren que estos sismos podrían estar asociados a la activación y/o reactivación de los sistemas de fallas y lineamientos presentes en toda la zona de estudio. El mayor agrupamiento y enjambre de agosto podría estar asociado, al lineamiento NO-SE que corta el cráter del volcán Huaynaputina y se extiende hasta el Cerro El Volcán (Fig. 6).



**Fig. 6.-** Agrupamiento de sismos a lo largo del lineamiento NO-SE que cruza el cráter del volcán Huaynaputina.

## 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.

Ceresis (1985).- *Cataloge of earthquakes for South America: description of the catalog and national reports.* Asociación de Publicaciones Educativas, Perú, Lima. 191 pp.

De Silva, S.L. and Zielinski, G (1998).- The global impact of the 1600 AD eruption of Huaynaputina, southern Peru. *Nature*, 293: 455-458.

Lavallée, Y., de Silva, S.L., Salas G., Byrnes, J-M. (2006).- Explosive Volcanism (VEI 6) without caldera formation: insight from Huaynaputina volcano, southern Peru. Bull of Vul. 68, 4: 333-348.

Lavallée Y., L. de Silva S.L., Salas G., Byrnes J. (2009).- Structural control on volcanism at the Ubina, Huaynaputina, and Ticsani Volcanic Group (THTVG), southern Peru. Jour. Vol. and Geoth. Res. 186:253-264.

Ottmoller, L., Voss, P. and Havskov, J. (2010).- SEISAN. Earthquake Analysis Software for Windows, Solaris, Linux and Macosx. Versión 8.3. Departamente Earth Science. University of Bergen, Bergen, Norway. 348 p.

Thouret, J-C., Dávila, J., Eissen, J-P. (1999).- Largest explosive eruption in historical times in the Andes at Huaynaputina volcano A.D. 1600, southern Peru. Geology 27: p. 435-438.