

LOCALIZACIÓN DE LA FUENTE DE EVENTOS DE MUY LARGO PERIODO (VLP) ASOCIADA A EXPLOSIONES EN EL VOLCÁN UBINAS, DURANTE EL 2014.

Machacca R.^{1,2}, Lesage P.², Macedo O.³, Ancasi R.¹, Ortega M.¹, Ramos D.¹ y Ccallata B.¹

¹ Observatorio Vulcanológico del Ingemmet - OVI, Sede Regional INGEMMET-Arequipa, roger.machacca@gmail.com

² ISTerre, CNRS, Université Savoie-Mont Blanc, IRD, Le Bourget du Lac, Francia.

³ Instituto Geofísico del Perú, Urb. La Marina B-19, Cayma, Arequipa, Perú.

1. INTRODUCCIÓN

El volcán Ubinas, considerado el más activo del Perú (Rivera et al., 2014); luego de cuatro años de inactividad desde la erupción del 2006-2009, el día 02 de setiembre de 2013 inicio una nueva fase eruptiva con explosiones freáticas. Esta actividad se incrementó durante los primeros días del mes de febrero de 2014, llegando a su mayor periodo de actividad durante el mes de abril de 2014, la actividad asociada a este nuevo proceso eruptivo continúa hasta la actualidad.

Durante el proceso eruptivo 2013-2015 del volcán Ubinas, un intenso episodio de explosiones se observó entre el 29 de marzo al 11 de setiembre de 2014. En este mismo período, se han detectado 86 eventos de muy largo periodo (VLPs) que acompañaron a las explosiones mayores. Estos eventos VLP, se han presentado con periodos mayores a 5 segundos, con pocos ciclos y un rápido decaimiento de la coda. Este tipo de actividad se ha observado en muchos volcanes acompañando explosiones tipo Estrombolianas y Vulcanianas (Aster et al., 2003; Lesage et al. 2006, Inza et al., 2014) y se les ha asociado a posibles cambios volumétricos en una región específica del conducto volcánico.

La característica de este tipo señales sísmicas, es que es posible determinar el ángulo de incidencia y el back-azimut del primer arribo de la onda, a partir del análisis de movimiento de partículas, lo cual permite estimar con bastante precisión la fuente de este tipo de señales, estas localizaciones sirven para caracterizar las explosiones observadas durante el actual proceso eruptivo.

2. ADQUISICION DE DATOS

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) en respuesta a esta nueva crisis eruptiva, ha desplegado una red sísmica constituida de 07 estaciones sísmicas en el volcán Ubinas. Esta red estuvo equipada con sismómetros Guralp-6TD (30s) cada una de tres componentes, los datos son adquiridos y grabados a 100 muestras/s por canal. La estación sísmica UBN04 cuenta con transmisión de datos en tiempo real.

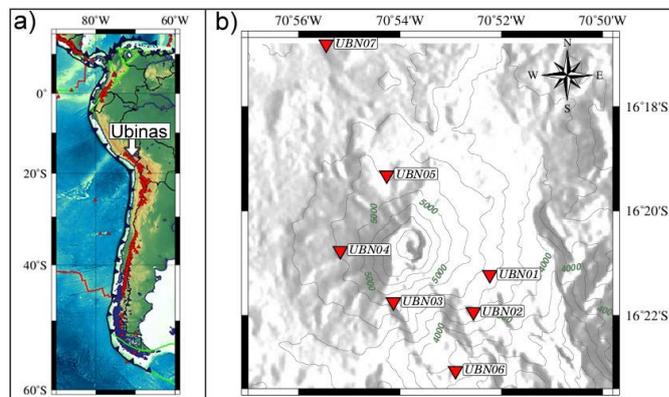
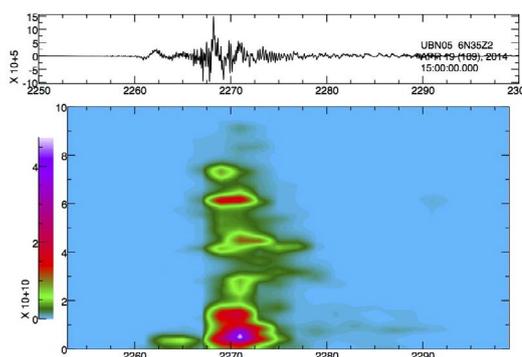


Figura 1. a) Mapa de ubicación del volcán Ubinas dentro de la Zona Volcánica Central (CVZ) de los Andes. b) Mapa de ubicación de las estaciones sísmicas desplegadas por el OVI-INGEMMET durante el año 2014, representados con triángulos invertidos de color rojos.

3. SEÑALES TIPO VLP

Durante la crisis eruptiva 2013-2015 del volcán Ubinas, se han registrado cerca de 200 Explosiones tipo vulcanianas o menores (Catalogo sísmico OVI), observándose en alguna de estas explosiones la presencia de sismos de muy bajas frecuencias VLP (very long period events), la frecuencia comprendida de estos eventos está en el rango de 30s y 5s. Para el periodo de análisis se ha creado un catálogo de eventos tipo VLP registrados en en más de 4 estaciones y con una buena relación Señal/Ruido, identificándose un total de 86 eventos en el catálogo. Una característica de estos eventos VLP es que han sido observados solo en estaciones cercanas al cráter, menores a 4.5 km, además han sido observados en las explosiones de mayor energía (> 10 MJ).





como también el respectivo ángulo de incidencia θ^k (x,y,z) y el valor correspondiente de ρ_1 (θ^k) pueden ser calculados. Por lo tanto, los resultados de la función de densidad de probabilidad (PDF) de la fuente se obtienen derivado los diferentes PDF del back-azimut así como del ángulo de incidencia (Metaxian J-P et al. 2002 y Inza et al. 2014).

$$\rho_2(x,y,z) = \prod_{k=1}^N \rho_1(\theta^k(x,y,z)) \cdot \rho_1(\phi^k(x,y,z))$$

donde N es el número de estaciones. La probabilidad máxima de la PDF produce una estimación de la ubicación de la fuente, tal como se puede observar en la Figura 4.

Figura 2. (Arriba), forma de onda y espectrograma de un sismo tipo VLP registrado en la estación UBN05 del volcán Ubina, explosión principal del 19 de abril de 2014 15:37 Horas UTC. (Abajo) columna eruptiva de explosiones asociadas a las señales tipo VLP.

Utilizando el método de la matriz de covarianza de Kanasevich [1981], se analizó el movimiento de partículas de las señales VLP, para ello se realizó la corrección de las señales a desplazamiento en el rango de frecuencias 0.05 Hz a 1 Hz, con las respectivas funciones de transferencia. Obteniendo para cada estación valores de Angulo de Incidencia y Back-azimut.

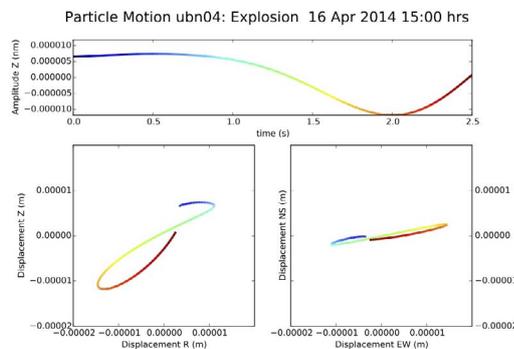


Figura 3. En la parte superior se observa un ejemplo de VLP registrado en la estación UBN04 (desplazamiento en la componente vertical). En la parte inferior se observa los movimientos de partícula en los planos Vertical - Radial y Norte – Sur, respectivamente. El rango de colores entre el azul y el rojo, muestra el tiempo del evento VLP, su inicio (azul) y el final (rojo) de la señal.

La localización de las fuentes sísmicas de los eventos VLP, consiste en localizar la fuente mediante el uso de la información obtenida del análisis de movimiento de partículas para cada estación. Para cada punto con coordenadas geográficas (x, y, z) en la región de origen y para cada estación k , el back-azimut $\theta^k(x,y,z)$ y el correspondiente valor de $\rho_1(\theta^k)$,

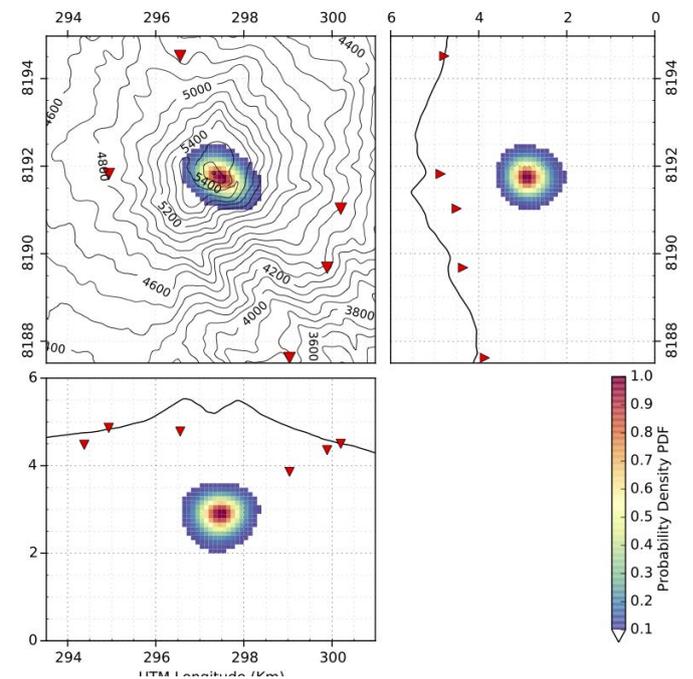


Figura 4. Máxima verosimilitud de la ubicación del hipocentro (arriba) vista de planta (abajo) sección vertical en longitud, y (derecha) sección vertical en latitud. Las regiones de colores bordean los niveles de confianza del 70%.

4. DISCUSIONES

De las 86 señales VLP en el catálogo, asociados con Explosiones, solo 58 han mostrado gran confianza en la localización hipocentral. Los resultados se muestran en la Figura 5, donde todos los hipocentros están estrechamente agrupados en un volumen pequeño, cuyo baricentro se encuentra por debajo del cráter del volcán, a una profundidad media de 1000-2000 m bajo la superficie de la caldera, y unos 500-1000 m SE del Cráter, que tiene una buena relación con resultados obtenidos para la anterior erupción 2006-2009 de este volcán, Inza et al. [2014].

En este procesamiento, no se ha considerado la distorsión del movimiento de las partículas, como conse-

cuencia de la interacción de superficie libre [Puntero y Neuberg, 2000]. Por lo que las localizaciones preliminares de las explosiones presentadas en este trabajo, podrían estar localizadas a menor profundidad, sin embargo, tales efectos son relativamente pequeños, por ejemplo, del orden de unos pocos grados (aproximadamente 2°) lo que implica un error máximo de la profundidad de la fuente del orden de 50 a 100 m.

Inza L.A., Métaixian J.P., Mars J.I., Bean C.J., O'Brien G.S., Macedo O. and Zandomenighi D. (2014). Analysis of dynamics of vulcanian activity of Ubinas volcano, using multicomponent seismic antennas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 270, 35–52.

Metaxian J-P., Lesage P., Valette B., (2002). Locating sources of volcanic tremor and emergent events by seismic triangulation: Application to Arenal volcano, Costa Rica. *Journal of Geophysical Research*, vol. 107, 18 p

Neuberg, J., and T. Pointer (2000). Effects of volcano topography on seismic broad-band waveforms, *Geophys. J. Int.*, 143, 239– 248.

Rivera M., Thouret J-C, Samaniego P. and Le Pennec J-L (2014). The 2006–2009 activity of the Ubinas volcano (Peru): Petrology of the 2006 eruptive products and insights into genesis of andesite magmas, magma recharge and plumbing system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 270, 122-141.

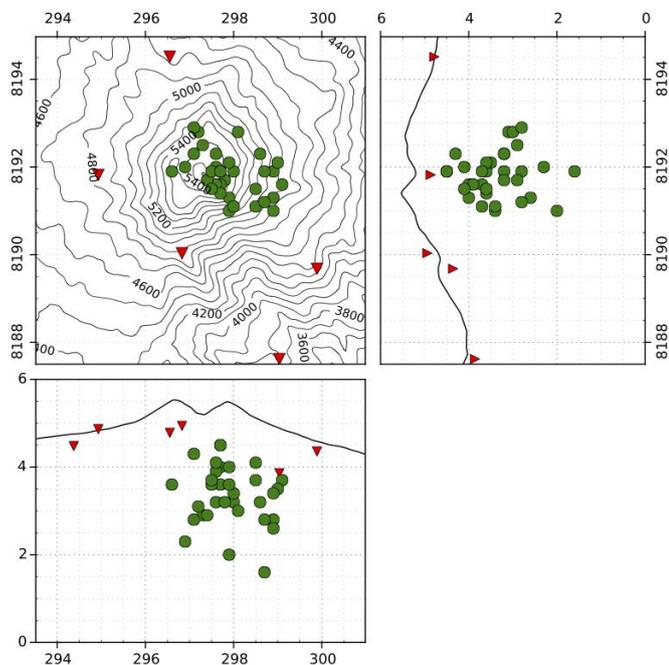


Figura 5. Mapa de hipocentros de las principales explosiones ocurridas durante la crisis eruptiva 2014, en el volcán Ubina, representada con círculos de color verde. (Arriba) vista de planta (abajo) sección vertical en longitud, y (derecha) sección vertical en latitud.

5. CONCLUSIONES

El uso de las componentes VLP registrados en las principales explosiones del volcán Ubina durante el 2014, ha permitido localizar la fuente de 58 explosiones, mostrando un agrupamiento de la fuente sísmica entre 1000-2000 m de profundidad debajo del cráter del volcán. La profundidad máxima encontrada para la Explosión principal del 19 de abril de 2014, es de 3 km debajo del cráter, esta observación podría sugerirnos que la profundidad de las explosiones posiblemente este asociado con la altura de la columna eruptiva que forman, así como con la densidad de las emisiones, en el caso del volcán Ubina 2014.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lesage P., Mora M., Alvarado G., Pacheco J. and Métaixian J-P (2006). Complex behavior and source model of the tremor at Arenal volcano, Costa Rica. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 157, 49–59.