



## Características sísmicas de la actividad explosiva del volcán Ubinas ocurrida en septiembre de 2013

**Orlando Macedo, José Alberto Del Carpio, Riky Centeno, Roger Machacca, David Portugal, Orlando Huancco, y Rolando Chijcheapaza**

Observatorio Vulcanológico de Arequipa (OVA), Instituto Geofísico del Perú (IGP), Urb. La Marina B-19, Cayma, Arequipa, Perú

### 1. Introducción

El volcán Ubinas es conocido por ser un volcán muy activo, con 25 episodios eruptivos de baja a moderada magnitud (VEI 1-3) desde el año 1550, siendo la frecuencia de erupciones de 6 a 7 por siglo. La más reciente erupción tuvo lugar en 2006, siendo en su inicio una crisis dominada por actividad freática.

El 19 de Abril de 2006, por primera vez se observó un cuerpo de lava que alcanzó la superficie y, en adelante la actividad devino en vulcaniana con emisión de ceniza y algunos proyectiles balísticos andesíticos-básicos. La actividad explosiva, que alcanzó una magnitud VEI2, se prolongó hasta el 14 de Junio de 2009 en que ocurrió la última explosión (Macedo et al., 2009; Anca, 2013).

Luego de 4 años y 2 meses de tranquilidad, el volcán Ubinas ha presentado una nueva actividad explosiva, esta vez de tipo freático, desde el 2 de septiembre de 2013. En efecto, la red sísmica-telemétrica del Observatorio Vulcanológico de Arequipa (OVA), del Instituto Geofísico del Perú (IGP), registró la primera explosión a las 03:46 UTC, con una energía de 1765 MJ.

Este trabajo muestra los resultados de las observaciones de carácter sismovolcánico efectuadas en relación a esta reactivación, así como de una visita *in-situ* a las inmediaciones del cráter.

En un radio de 25 km alrededor del volcán habitan aproximadamente unas 6000 personas, siendo su principal actividad económica la agricultura y la

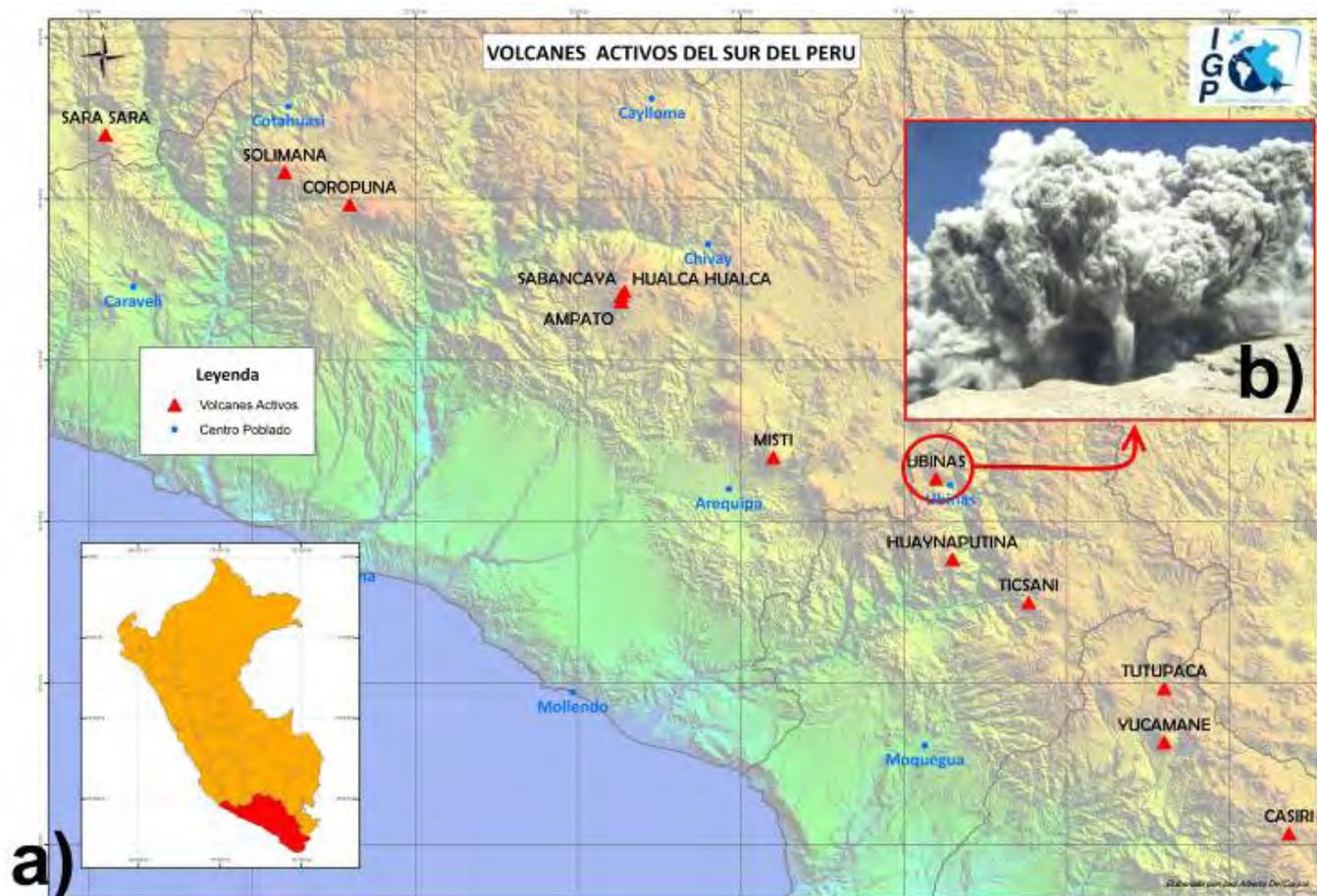
ganadería. La ciudad de Arequipa se encuentra a 75 km al oeste. Por lo tanto, las explosiones de este volcán representan una seria amenaza para las poblaciones aledañas.

Asimismo, la presencia de ceniza volcánica constituye un peligro para el transporte aéreo comercial. La Oficina de Vigilancia Meteorológica de CORPAC ha reportado plumas elevándose de 7 a 9,000 msnm el 02/09/2013.

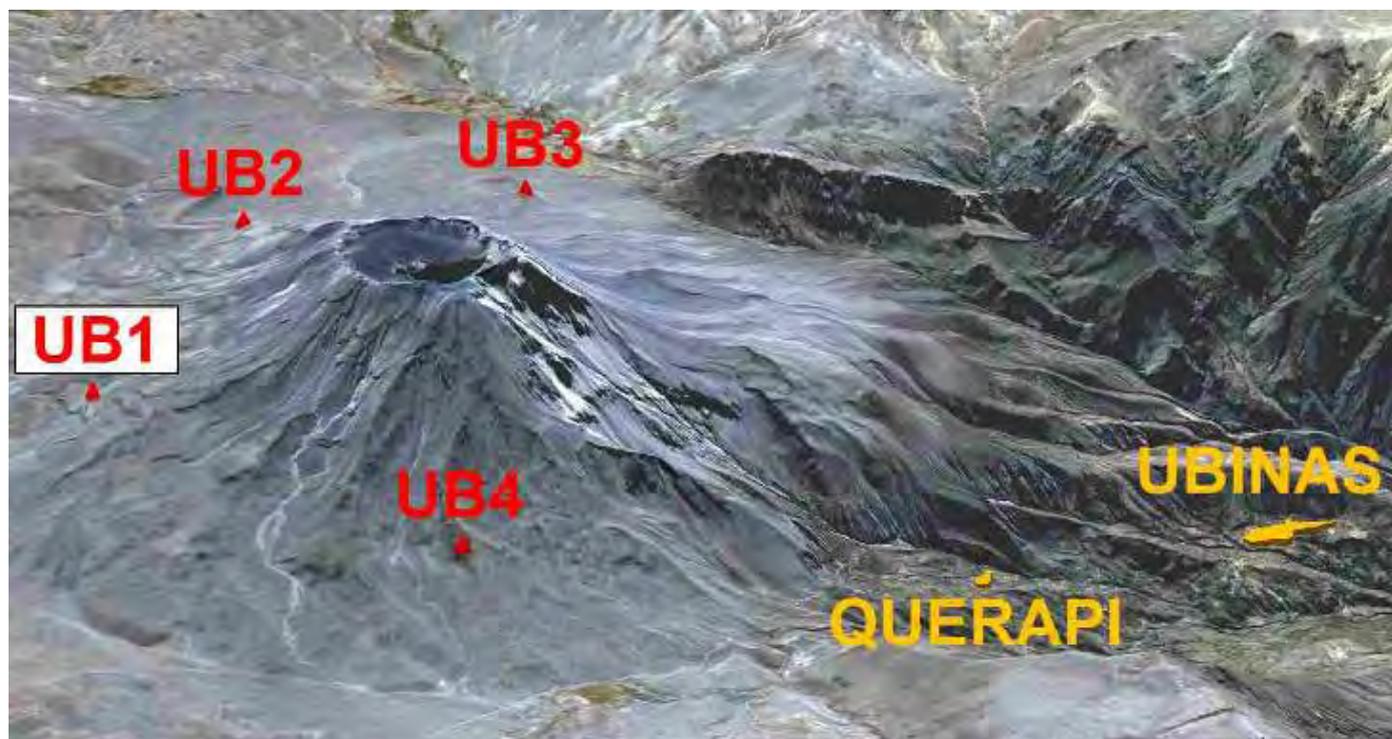
### 2. Características de la actividad sísmica

La red sísmica del IGP consta de 4 estaciones sísmicas digitales permanentes (UB1, UB2, UB3 y UB4; Fig. 2) que, desde 2006, transmiten en tiempo real hasta el Observatorio Vulcanológico de Arequipa (OVA) del IGP. Las estaciones están equipadas con sensores Guralp 3C de banda ancha modelo CMG-40T, de 0.03 a 50 Hz, y sensores Lennartz modelo LE-3DLITE, de 1 Hz, y registradores RefTek.

Los resultados de este trabajo están basados en los registros de la estación sísmica UB1 (16.332°S, 70.917°W, 4830 msnm) ubicada en el flanco NNO del volcán. La Figura 3 muestra la sismicidad principal en el volcán Ubinas ocurrida 8 meses anteriores a las explosiones de septiembre de 2013 y durante las mismas.



**Figura 1. (a)** Mapa de ubicación del volcán Ubinas, en la cadena de volcanes activos del Perú. **(b)** Explosión ocurrida el 02/09/2013 a las 20:52 UTC, que alcanzó 666 MJ de energía (foto: A. Ramos, IGP).



**Figura 2.** Red de estaciones sísmicas UB1, UB2, UB3 y UB4 del Observatorio Vulcanológico de Arequipa (OVA) del IGP. Se observa también la ubicación de los poblados más próximos al cráter (Querapi, a 4 km, y Ubinas a 6 km).

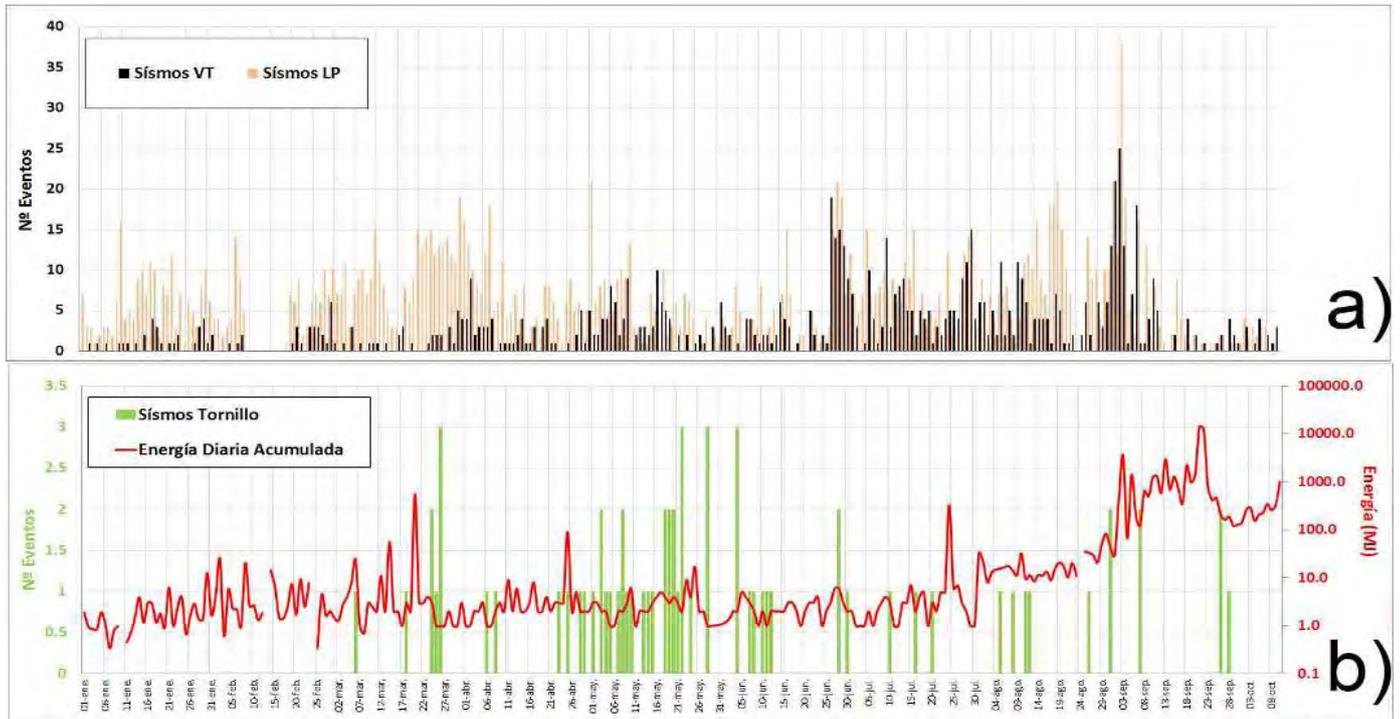


Figura 3. Sismicidad en el volcán Ubinas, durante el periodo enero–octubre de 2013.

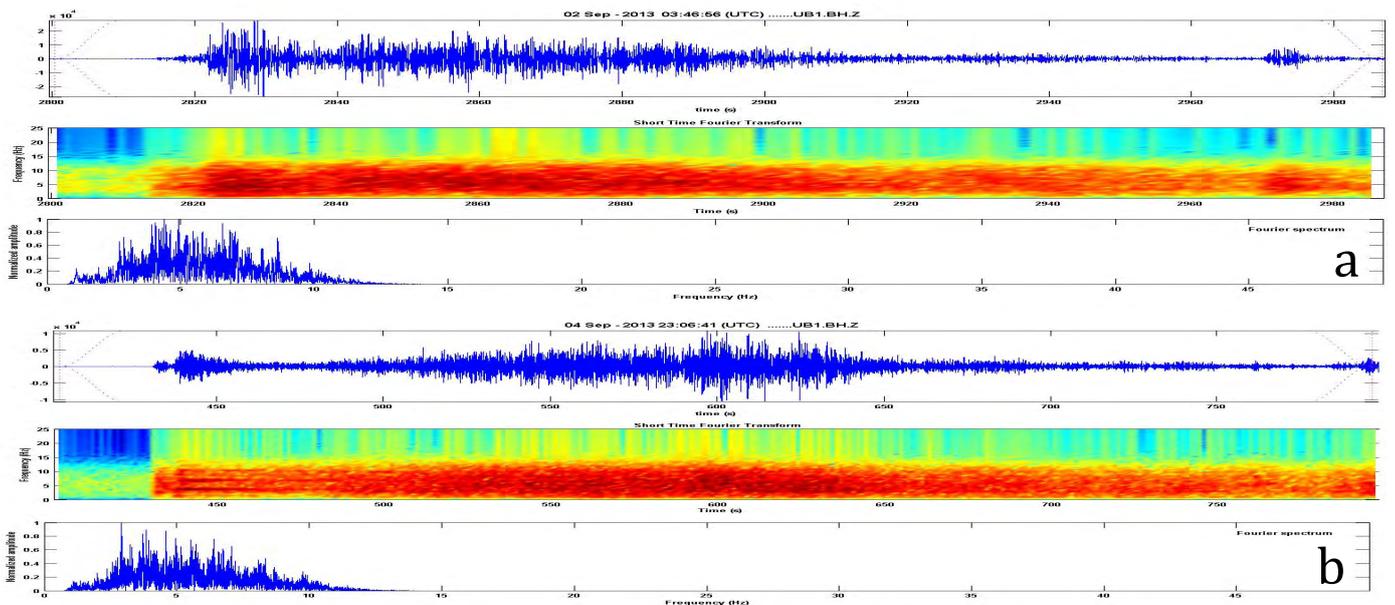


Figura 4. Formas de onda, espectro y espectrograma de dos explosiones registradas. La explosión ocurrida el 02/09 a las 03:46 hrs (a) tiene duración menor que la explosión ocurrida el 04/09 a las 23:07 hrs (b). Ambas explosiones difieren notoriamente no sólo en cuanto a formas de onda sino también en cuanto a espectros.

En general se observó una tasa diaria de LPs que se mantuvo baja (<10-15 eventos/día), lo cual corresponde a un movimiento de fluidos moderado. Por el contrario, la tasa de VTs aumentó progresivamente, de menos de 3 a cerca de 20 sismos/día (Fig. 3a), sobre todo a partir de la última semana de junio, lo que correspondería a un estadio de presurización del sistema y finalmente fracturamiento del sello. Por otro lado, sismos “tornillo” (barras verdes – Fig. 3b) aparecieron y se mantuvieron frecuentes entre el 8 de Marzo y el 15 junio de 2013, es decir previamente al notorio aumento de VTs ocurrido en la última semana de junio. Estos sismos “tornillo”

constituyen un indicio a favor de un estado de presurización del sistema (Torres et al., 2002). Todo este conjunto de características sísmicas es concordante con la evolución de un sistema cerrado que pasa a abrirse, manifestando finalmente una explosividad de tipo freática (White, 2011) observada en septiembre. Cabe indicar que al llegar la etapa explosiva la actividad tremórica pasó a ser importante llegando inclusive a ser permanente, 24h/24h, en varios días. La energía diaria acumulada (línea roja – Fig. 3b), que previa a septiembre se mantenía en promedio de 30 MJ por día, pasó a más de 2000 MJ el 02/09, y llegó hasta 12 700 MJ el día 22/09.

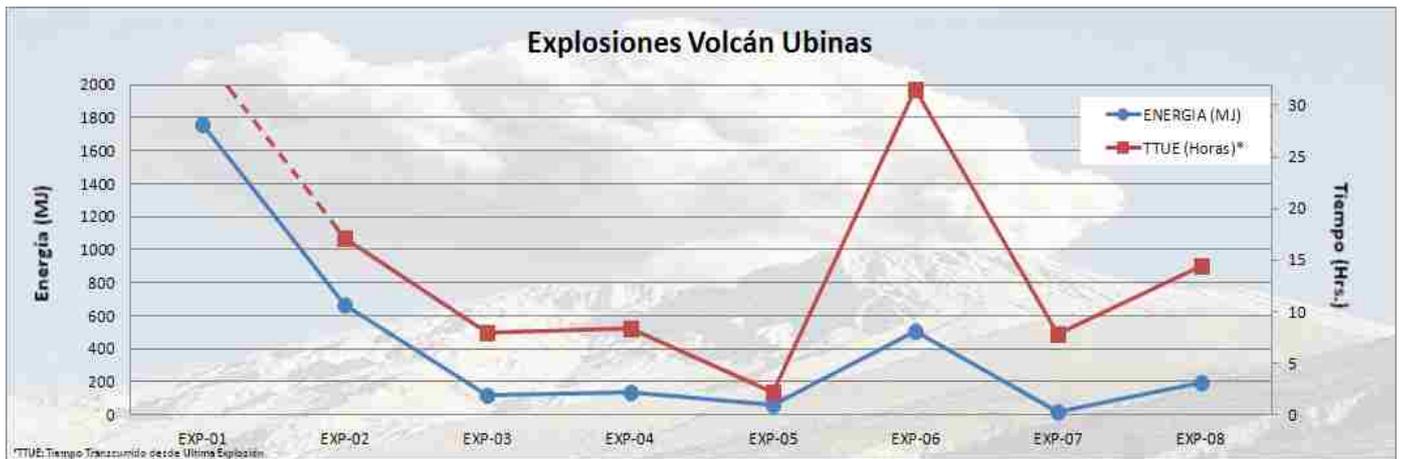


Figura 5. Diagramas de energía y tiempo transcurrido desde la última explosión (TTUE), versus explosiones.

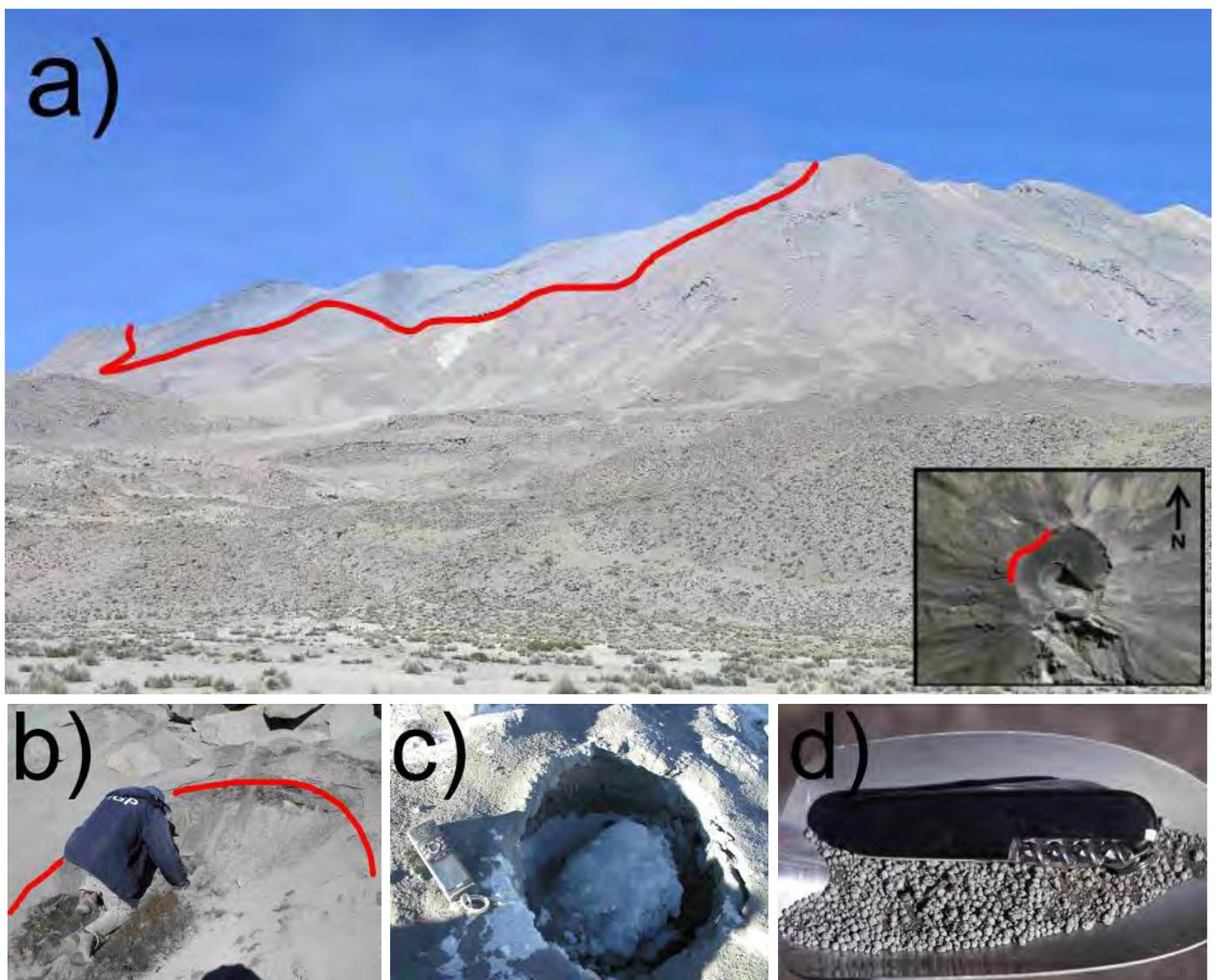


Figura 6. (a) Depósitos de caída de tefras observados el 02/09/2013 luego de la 1ra explosión del volcán Ubina. La línea roja muestra el límite de los depósitos. (b) Cráter de impacto de proyectil balístico en flanco NNO. (c) Proyectil en borde de caldera. (d) Lapilli acrecional evidenciado en el flanco NNE del volcán. La navaja sirve de escala.

La Figura 4 muestra los registros sísmicos de dos de las nueve explosiones registradas. Comparando ambos casos, se puede observar importantes diferencias tanto en su

forma de onda como en sus características espectrales, poniendo en evidencia cambios físicos (destrucción) al nivel del cráter.

Los días 20, 21 y 22 de septiembre resaltaron por la ocurrencia de tremores prolongados (24h/24h) y sobre todo por las mayores amplitudes registradas. Estos tremores presentaron frecuencias de 4 a 5 Hz. Tremores de este tipo, con registros que tienen aumentos y disminuciones de amplitud en el tiempo (tremor bandedo), son frecuentemente registrados durante las erupciones volcánicas y corresponden, en general, a un calentamiento del sistema hidrotermal.

Una característica importante asociada a las explosiones ocurridas puede ser observada en la Figura 5, en donde están ploteados la energía total (MJ) de la explosión y el tiempo transcurrido desde la última explosión (TTUE, en horas) *versus* las explosiones en orden correlativo. Se observa fácilmente que existe una relación directa entre el "tiempo de reposo entre explosiones" y la energía. A mayor tiempo de reposo transcurrido, corresponde una mayor energía en la siguiente explosión, y *vice-versa*. Esto puede ser interpretado como debido al efecto de la acumulación, mayor o menor, de gases magmáticos por debajo de un tapón o sello que se forma con el transcurso de las horas luego de cada explosión, y que son liberados violentamente al momento de la explosión.

### 3. Observaciones *in-situ*

El día 02/09/2013, durante la visita de reconocimiento a la zona del volcán, se observó lo siguiente:

- La explosión del día anterior había eyectado ceniza y lapilli de coloración grisácea oscura que aparecía cubriendo únicamente la cumbre del edificio siguiendo un lóbulo de dispersión en dirección N o NNE (Fig. 6a).
- Se observó numerosos cráteres de impacto de proyectiles balísticos en la parte superior del edificio. Las dimensiones de dichos cráteres son en general menores a los 1.5 m de diámetro en los flancos N y NNO con altitudes mayores a los 5360 m. La mayor distancia a la que cayó un bloque en el sector NNO fue 900 m del cráter, dejando un cráter de impacto de 2 m de diámetro (Fig. 6b).
- Se observaron bloques que cayeron en la zona N de la caldera, a 700 m del cráter (Figura 6c). Así mismo se pudo observar numerosos cráteres de impacto con diámetro próximos a los 2 m o mayores, siempre preferencialmente dispersos siguiendo una trayectoria hacia el norte.
- En inspección sobre los flancos E y NNE del volcán se evidenció la presencia de "lapilli acrecional", es decir, partículas humedecidas y aglomeradas en torno a un núcleo (Fig. 6d).

Todas estas observaciones son compatibles con características de la ocurrencia de una explosión de tipo freático.

### 4. Conclusiones

La red sísmica-telemétrica del volcán Ubina del IGP, que desde el 2006 registra en continuo las señales sísmicas provenientes de este volcán, ha registrado 9 explosiones ocurridas entre el 2 y 7 Setiembre de 2013.

Los registros sísmicos muestran que varios meses antes (de marzo a junio de 2013) de las explosiones, se presentaron cambios en la sismicidad asociada a la actividad del volcán al aparecer sismos de tipo "tornillo" y al incrementarse visiblemente la sismicidad VT. Este tipo de sismos indicaría una posible presurización del sistema que, finalmente, devino en actividad explosiva.

Respecto de la fuerte actividad ocurrida en setiembre, aparte de las explosiones, las señales sísmicas más notables correspondieron a los tremores de frecuencias notadas en 4-5Hz, que aumentaron o disminuyeron en el tiempo formando "tremores bandedos". Se observaron picos máximos de actividad tremórica los días 21 y 22 de setiembre, y prácticamente desaparecieron a partir del día 23 de setiembre. El análisis de los registros sísmicos de las explosiones evidencian que se trató de fuentes destructivas.

Se ha determinado que existe una clara relación directa entre el tiempo "de reposo" entre explosiones, y la energía de la siguiente explosión. Los gases magmáticos se acumulan durante el tiempo de reposo para luego salir al ocurrir las explosiones: a más tiempo de acumulación, mayor energía en la siguiente explosión.

Las observaciones *in-situ* efectuadas en las inmediaciones del cono volcánico indican que se trata de explosiones de tipo esencialmente freático.

Finalmente, tanto la baja energía involucrada en esta reactivación, como la frecuencia y pequeña magnitud de las explosiones, indican que los volúmenes de material magmático asociados a la actividad sísmica son relativamente menores.

### Referencias

- Anca, J. 2013. Análisis y clasificación de la sismicidad asociada a la erupción del volcán Ubina 2006-2009. Tesis de Ingeniero Geofísico, UNSA, 114 p.
- Macedo, O., Métaixian, J.-P., Taipei, E., Ramos, D., Inza, A. 2009. Seismicity associated with the 2006-2008 eruption, Ubina volcano. VOLUME Project, ISBN 978-1-905254-39-2, p. 262-270.
- Torres, R., Gómez, D., Ortega, A., Seidl, D. 2002. Señales sísmicas tipo tornillo en Galeras y otros volcanes activos. I Simposio Colombiano de Sismología, Bogotá, p. 9-11.
- White, R. 2011. Monitoring volcanoes and forecasting eruptions. Volcano Observatory Best Practices Workshop: Eruption Forecasting, Erice, Italy.