

CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS DE LA ACTIVIDAD EXPLOSIVA DEL VOLCÁN UBINAS OCURRIDA EN SEPTIEMBRE 2013

Orlando Macedo, José Alberto Del Carpio, Riky Centeno, Roger Machacca, David Portugal, Orlando Huanco, Rolando Chijcheapaza

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

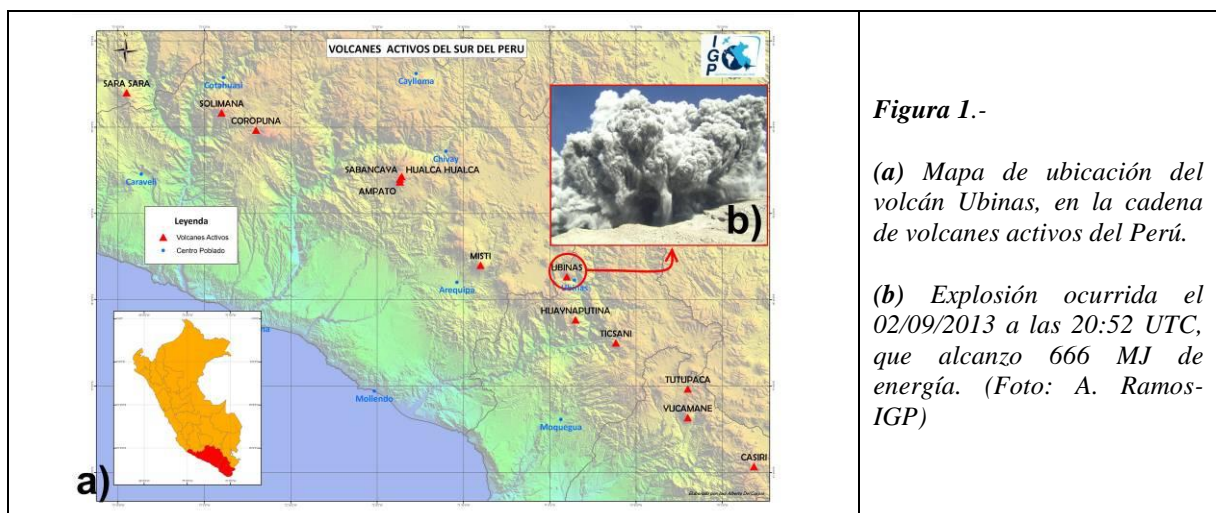
INTRODUCCIÓN

El volcán Ubinas es conocido por ser un volcán muy activo, con 25 episodios eruptivos de baja a moderada magnitud (VEI 1-3) desde 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 observa un cuerpo de lava que alcanza la superficie y, en adelante la actividad deviene 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 02 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.



CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA

La red sísmica del IGP consta de 4 estaciones sísmicas digitales permanentes (UB1, UB2, UB3 y UB4, ver Figura 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, 0.03 a 50 Hz. y sensores Lennartz modelo LE-3DLITE, 1 Hz, y registradores RefTek.

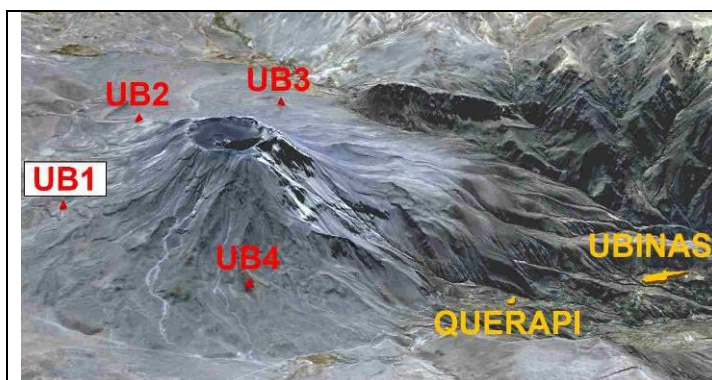


Figura 2.- Red de estaciones sísmicas UB1, UB2, UB3 y UB4 del Observatorio Vulcanológico de Arequipa (OVA) del IGP. Se observa también la ubicación de los poblados más próximos al cráter (Querapi, a 4 km, y Ubinas a 6km).

Los resultados de este trabajo están basados en los registros de la estación sísmica UB1 (-16.332° Lat., -70.917° Long., 4830 msnm) ubicada en el flanco NNO del volcán. La Figura 3 muestra la sismicidad principal en el volcán Ubinas ocurrida 08 meses anteriores a las explosiones de Septiembre 2013 y durante las mismas.

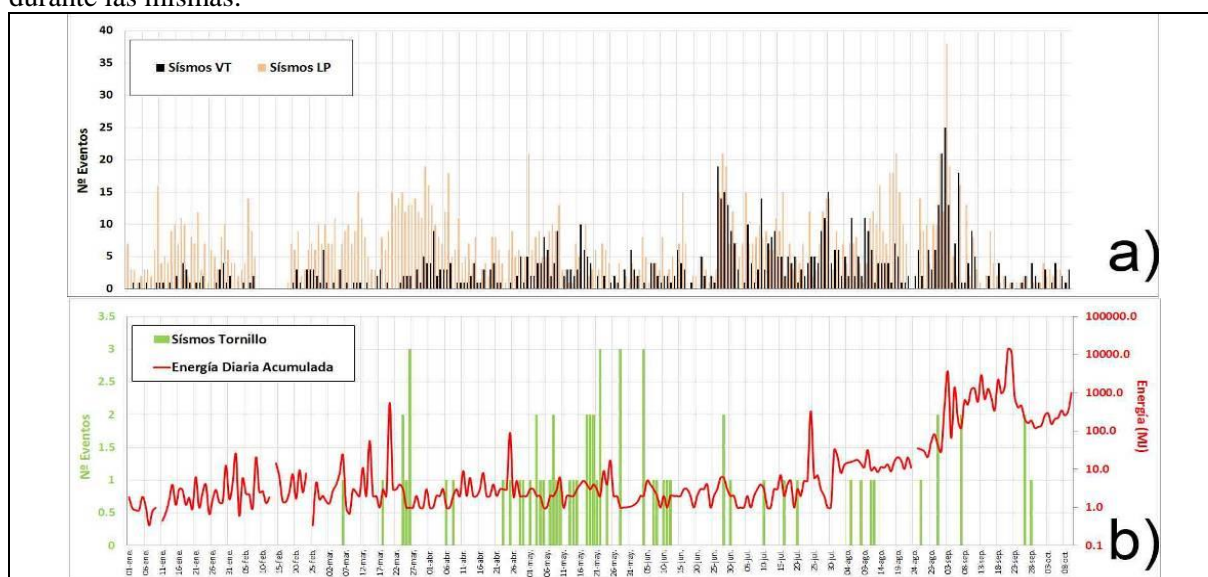


Figura 3.- Sismicidad en el volcán Ubinas, periodo Enero-Octubre 2013

En general se observa una tasa diaria de LPs que se ha mantenido baja (<10-15 eventos /día), lo cual corresponde a un movimiento de fluidos moderado. Por el contrario, la tasa de VTs aumenta progresivamente, de menos de 3 a cerca de 20 sismos/día (Figura 03a), 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 – figura 3b) aparecieron y se mantuvieron frecuentes entre el 8 de Marzo – 15 junio 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 pasa a ser importante llegando inclusive a ser permanente, 24h/24h, en varios días. La energía diaria acumulada (línea roja – figura 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.

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 resaltan por la ocurrencia de tremores prolongados (24/24h) y sobre todo por las mayores amplitudes registradas. Estos tremores presentan frecuencias de 4 a 5 Hz. Tremores de este tipo, con registros que tienen aumentos y disminuciones de amplitud en el tiempo

(tremor bandeado) son frecuentemente registrados durante las erupciones volcánicas y corresponden, en general, a calentamiento del sistema hidrotermal.

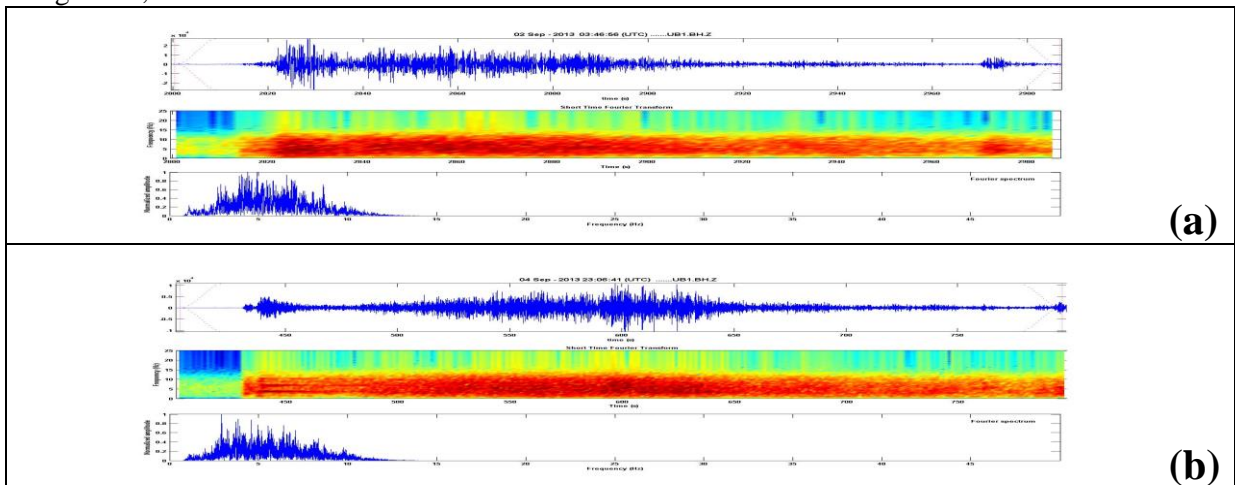


Figura 4:- Formas de onda, espectro y espectrograma de dos explosiones registradas. La explosión ocurrida el 02/09 a las 03:46 hrs (a), tiene duración menor que la explosión ocurrida el 04/09 a las 23:07 hrs (b). Ambas explosiones difieren notoriamente no solo en cuanto a formas de onda sino también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

Una característica importante asociada a las explosiones ocurridas, puede ser observado en la figura 05 en donde están ploteados la Energía Total (MJ) de la explosión y el Tiempo transcurrido desde la última explosión TTUE (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 viceversa. 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.

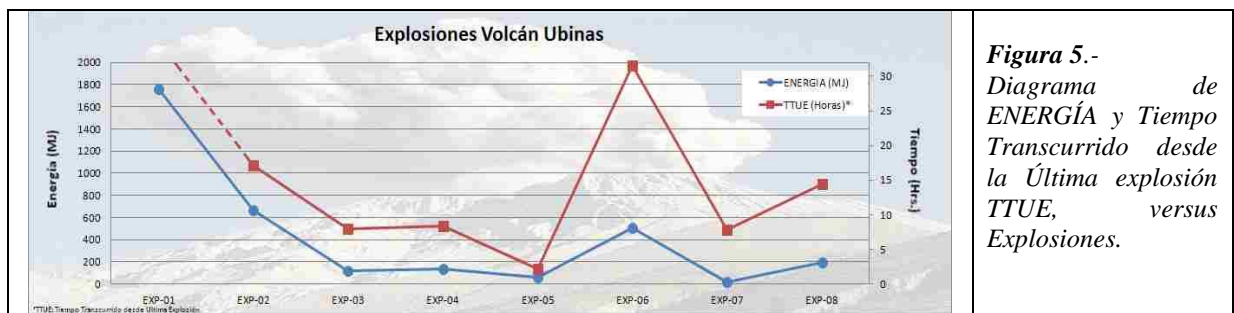


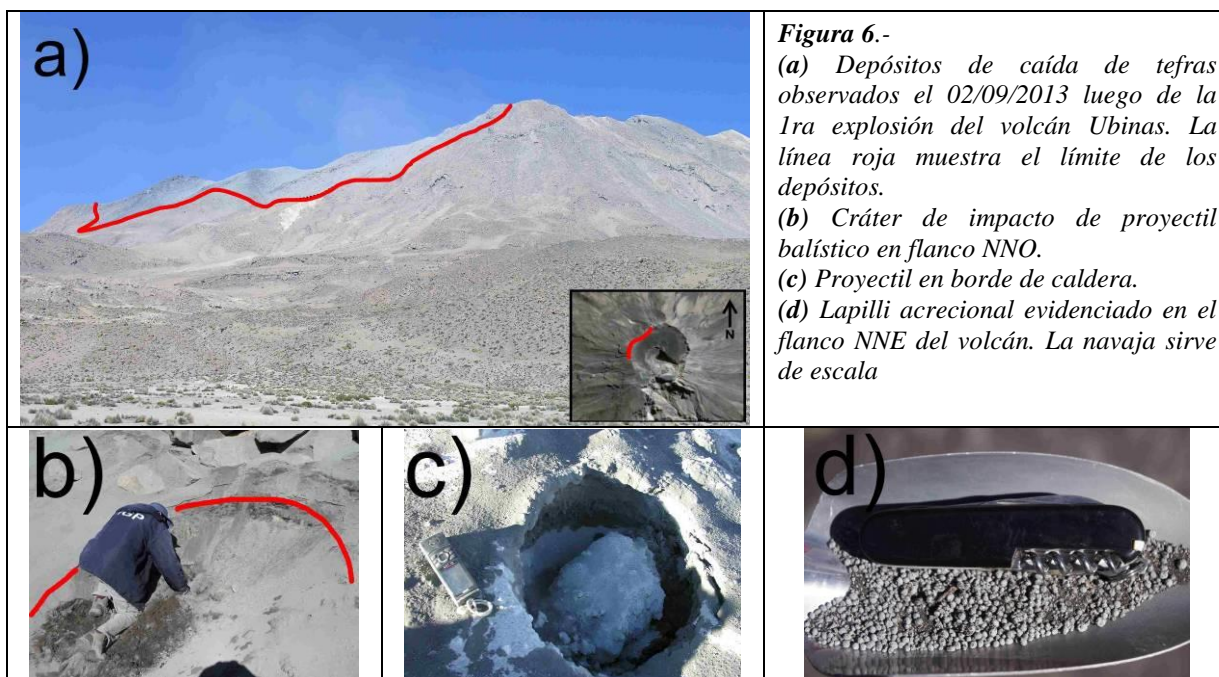
Figura 5.- Diagrama de ENERGÍA y Tiempo Transcurrido desde la Última explosión TTUE, versus Explosiones.

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 (Figura 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 1.5m. 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 a 900 m del cráter, dejando un cráter de impacto de 2 m de diámetro (Figura 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 (Figura 6d).

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



CONCLUSIONES

- La Red Sísmica-Telemétrica del volcán Ubinas del IGP, que desde el 2006 registra en continuo las señales sísmicas provenientes de este volcán, ha registrado 9 explosiones ocurridas entre el 02 y 07 Setiembre 2013.
- Los registros sísmicos muestran que varios meses antes (Marzo a Junio 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 indicarían 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 corresponden a los temores de frecuencias centradas en 4-5Hz, que aumentan o disminuyen en el tiempo formando “temores bandeados”. Se observaron picos máximos de actividad tremórica los días 21 y 22 de Setiembre, y prácticamente desaparecieron a partir del día 23 Setiembre. El análisis de los registros sísmicos de las explosiones evidencian que se trata 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 asociado a la actividad sísmica son relativamente menores.

REFERENCIAS

1. Anca J. (2013).- Análisis y clasificación de la sismicidad asociada a la erupción del volcán Ubinas 2006-2009.- Tesis Ingeniero Geofísico, UNSA, 114 pág.
2. Macedo O, Métaxian J-Ph, Taïpe E., Ramos D, Inza A. (2009).- “Seismicity associated with the 2006-2008 eruption, Ubinas volcano.- VOLUME Project ISBN 978-1-905254-39-2, p.p. 262-270.
3. Torres R., Gómez D., Ortega A. and Seidl D.(2002).- Señales sísmicas tipo tornillo en Galeras y otros volcanes activos, Primer Simposio Colombiano de Sismología, Bogotá, 9-11 Octubre 2002.
4. White R. (2011).-“Monitoring volcanoes and forecasting eruptions”. Volcano Observatory Best Practices Workshop: Eruption Forecasting, 11-15 September 2011, Erice, Italy.

CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS DE LA ACTIVIDAD EXPLOSIVA DEL VOLCÁN UBINAS OCURRIDAS EN SEPTIEMBRE 2013

Orlando MACEDO, José Alberto DEL CARPIO, Ricky CENTENO, Roger MACHACCA, David PORTUGAL, Orlando HUANCOCO, Rolando CHUCHEAPAZA

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

1. INTRODUCCIÓN



Figura 01.- (a) Mapa de ubicación del volcán Ubinas, en la cordillera de volcanes activos del Perú. (b) Explosión ocurrida el 02/09/2013 a las 03:52 UTC, que alcanzó 588 MJ de energía. (Foto: A. Ramos-IGP).

En los alrededores del volcán Ubinas viven 600 personas aproximadamente, dedicadas a la agricultura y ganadería; la ciudad de Arequipa se localiza a 75 Km al Oeste. Por lo tanto, las explosiones de este volcán representan una seria amenaza para la población aledañas (Figura 02), asimismo la presencia de

El volcán Ubinas es el más activo del sur del Perú y cuenta con 25 episodios eruptivos de baja a moderada (VEI 1-3) desde 1550.

Erupción Reciente.

- 2006-2009. Inicia (19 de abril) con actividad fréatica, se observa cuerpo de lava en superficie; posteriormente actividad vulcaniana; la última erupción sucedió el 14 de junio 2009.
- 2013. Inicia actividad el 02 de septiembre y se registra la primera explosión a las 03:46 UTC, con energía 1765 (MJ) ver Figura 1.

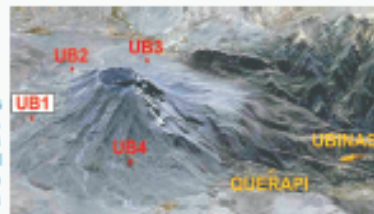


Figura 02.- Red de Estaciones Sísmicas UB1, UB2, UB3 y UB4 del Observatorio Vulcanológico de Arequipa (OVA) del IGP. Se observa también la ubicación de las poblaciones más próximas al cráter (Quemp, a 4km, y Ubinas a 6km).

2. CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD

El Observatorio Vulcanológico Arequipa del IGP (OVA) cuenta con 04 estaciones digitales que transmiten en tiempo real (UB1, UB2, UB3 y UB4) ver Figura 2.

Los resultados se basan en los registros UB1 (-16.332° Lat., -70.917° Long., 4830 msnm) ver Figura 02.

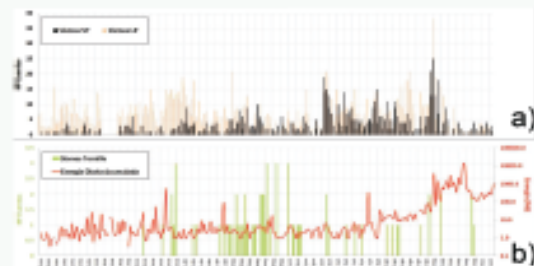


Figura 3.- Sismicidad en el volcán Ubinas, periodo Enero-Octubre 2013

En general en la figura 03 se observa:

- Los eventos LP (movimiento moderado de fluidos), ha sido baja (<10-15 LP/día) Fig. 03a.
- Los eventos VTs (Fig. 03a) aumentan progresivamente (<3 hasta 20 VT/día), sobre todo a partir de la última semana de Junio, lo que correspondiente a un estado de presurización del sistema y finalmente fractura del sello.
- Los eventos "Tomillos" (Fig. 03b), se mantuvieron frecuentes (8 de marzo -15 de junio del 2013), previamente al incremento de VTs (última semana de junio). Estos sismos "tomillo" constituyen un indicio a favor de un estado de presurización del sistema (Torres et al., 2002).

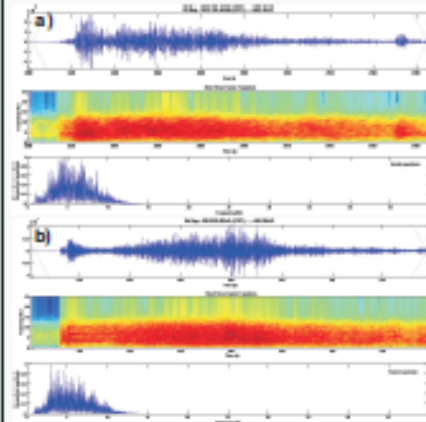
Todo este conjunto de características sísmicas es concordante con la evolución de un sistema cerrado que pasa a abrirse, manifestando finalmente una explosividad de tipo fréatico (White, 2011) jobs evada en Septiembre.

Cabe indicar que la actividad frémica se incrementa antes de llegar a la etapa explosiva (hasta ser permanente), además la energía diaria acumulada (Línea roja Figura 03b) antes de septiembre se mantenía en 30 MJ por día pero a mas de 2000MJ el 02/09 y luego hasta 12700 el día 22/09.



Figura 5.- Diagrama de ENERGÍA y Tiempo Transcurrido desde la Última explosión TTUE, versus Explosiones.

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 viceversa (Fig. 05).



En la figura 04, se observa 02 de las 9 explosiones ocurridas, se puede notar la diferencias importantes tanto en forma de onda y características espectrales, evidenciando cambios físicos (destrucción) al nivel del cráter. Los días 20, 21, y 22 resaltan la ocurrencia de temblores prolongados (24/24h) y con mayores amplitudes (Frecuencias 5-4 Hz). Estos temblores son frecuentemente registrado durante las explosiones volcánicas corresponden, en general, a calentamiento del sistema hidrotermal.

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).

3. OBSERVACIONES IN-SITU (02/09/2013)



Figura 5.- (a) Depósitos de caída de cenizas observados el 02/09/2013 luego de la explosión del volcán Ubinas. La línea roja muestra el límite de los depósitos. (b) Criterio de impacto de proyectil balístico en flanco NNO. (c) Proyectil en borde de caldera. (d) Lapilli accionados evidenciado en el flanco NNE del volcán. La naveje roja de escala.

La explosión eyecta ceniza y lapilli (coloración Grisácea oscura), cubrió la cumbre ver Fig. 06a. Se observo numerosos cráteres de impacto (<1.5m de diámetro en general) en los flancos N y NNO. La mayor distancia alcanzada por un bloque (sector NNO) fue de 900 m del cráter, dejando un cráter de 2 m de diámetro (Fig. 06b). En la zona N, se observo numerosos cráteres de impactos (Fig. 06c) con protomas 2 m de diámetros.

Se evidenciando la presencia de "lapilli accionados", partículas humedecidas y aglomeradas de torno al núcleo (Fig. 06d).

Estas observaciones son compatibles con una explosión de tipo fréatico.

4. CONCLUSIONES

- La Red Sísmica-Telemétrica ha registrado 9 explosiones ocurridas entre el 02 y 07 Septiembre 2013.
- Los registros sísmicos muestran que varios meses antes (Marzo a Junio 2013) de las explosiones, se presentaron cambios en la sismicidad asociada a la actividad del volcán al aparecer sismos de tipo "tomillo" y al incrementarse visiblemente la sismicidad VT. Este tipo de sismos indicarían una posible presurización del sistema que, finalmente, devino en actividad explosiva.
- Respecto de la fuerte actividad ocurrida en Septiembre, aparte de las explosiones, las señales sísmicas más notables corresponden a los temblores de frecuencias centradas en 4-5Hz, que aumentan o disminuyen en el tiempo formando "temblores bandeados". Se observaron picos máximos de actividad frémica los días 21 y 22 de Septiembre, y prácticamente desaparecieron a partir del día 23 Septiembre. El análisis de los registros sísmicos de las explosiones evidencian que se trata de fuentes de estructuras.
- 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 fréatico.
- 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 asociado a la actividad sísmica son relativamente menores.

5. REFERENCIAS

Anco J. (2013) - Análisis y clasificación de la sismicidad asociada a la erupción del volcán Ubinas 2006-2009. Tesis Ingeniero Geofísico, UNSA, 114 pág.
 - Macedo O., Mitoican J-PH, Tajpe E., Ramos D., Inza A. (2009) - "Sismicity associated with the 2006-2008 eruption, Ubinas volcano - VOLUME Project ISBN 978-1-905294-39-2, p.p. 262-270.
 - Torres R., Gómez D., Ortega A. and Sotillo D. (2002) - "Señales sísmicas tipo tomillo en Galeras y otros volcanes activos. Primer Simposio Colombiano de Sismología, Bogotá, 9-11 Octubre 2002.
 - White R. (2011) - "Monitoring volcanoes and forecasting eruptions". Volcano Observatory Best Practices Workshop onruption Forecasting, 11-15 September 2011, Erlax, Italy.