

CARACTERIZACIÓN DE SISMOS TIPO TORNILLO REGISTRADOS DURANTE LA CRISIS DEL VOLCÁN SABANCAYA 2013 Y DEL VOLCÁN UBINAS 2014.

Ortega¹M. A., ¹Antayhua Y. T., ²Londoño J. M., ¹Taipe E., ¹Machacca R., ¹Ancasi R. M.,
¹Ccallata B. E.

¹Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, Av. Canadá 1470, Lima, Perú.

²Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, Av. 12 de Octubre # 15 – 47, Bogotá, Colombia.

RESUMEN

Durante las crisis sísmicas de los volcanes Sabancaya (Mayo - Julio de 2013) y Ubinas (Enero - Abril de 2014), se observó la ocurrencia de eventos sísmicos de largo periodo tipo “Tornillo” (TOR), los cuales fueron asociadas a la interacción de mezclas de gas, líquido y sólido, a altas presiones, en una fuente resonadora. Se utilizó el método de análisis espectral SOMPI que se basa en una ecuación autorregresiva homogénea y usa espectros en el espacio de la frecuencia compleja para proveer las características del decaimiento y los periodos de oscilación de una señal. El método se aplicó a los eventos tipo TOR y se realizó un análisis de los resultados de los valores de frecuencia (f) y del factor de calidad (Q_r) obtenidos. Para ambos volcanes, se encontraron valores bajos de Q_r (30 - 60), lo que implicaría altas fracciones de volúmenes de gas, entre 60 – 70 %. El modelo conceptual para este estudio, indica que posiblemente una composición importante del fluido que genera los tornillos en ambos volcanes, sea una fase gaseosa, producto de la interacción del sistema magmático e hidrotermal. La fuente dónde se encuentran las mezclas de fluidos, posee tamaños entre 20 y 40 m y se localizan a profundidades entre 500 m y 1 km desde la cima del volcán. La correlación de los resultados con otros métodos de monitoreo, muestran que es probable que sea la fase inicial de una actividad importante para ambos volcanes, en el cual fluidos magmáticos y/o magma, estén en un proceso de ascenso y/o emplazamiento.

PALABRAS CLAVES: Tornillos, SOMPI, Proceso magmático

1. INTRODUCCIÓN

La actividad tectónica y volcánica en América del Sur está influenciada, principalmente, por la subducción de la Placa Oceánica de Nazca bajo la Placa Continental de Sudamérica. El Perú forma parte de la ZVAC, donde actualmente, 14 volcanes son considerados como activos (Fidel et al., 1997) de los cuales destacan los volcanes Sabancaya y Ubinas ubicados en los departamentos de Arequipa y Moquegua respectivamente. Durante el año 2013 se registro un incremento de la actividad sísmica y fumarólica en el volcán Sabancaya y en el 2014 para el volcán Ubinas; en ambos volcanes se registraron sismos de largo periodo tipo “TORNILLO”.

2. DATOS SÍSMICOS

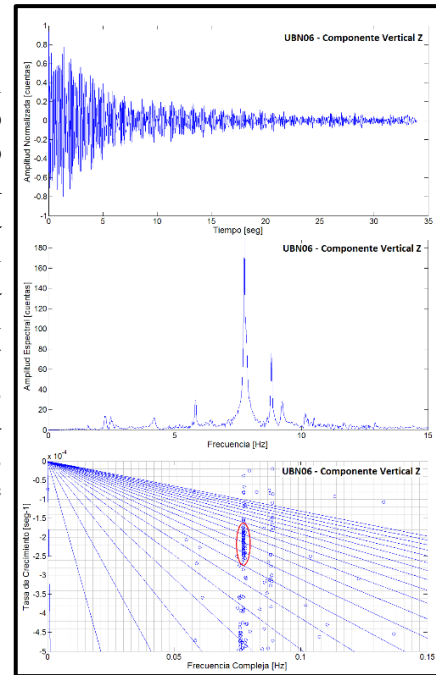
Para la estimación de las frecuencias complejas y factores de calidad de los resonantes Q_r , se seleccionaron señales Tornillos (TOR) con formas de onda caracterizadas por un decaimiento (atenuación) lento de las ondas de coda y bajos niveles de ruido. Este método puede ser utilizado con una sola estación. En total se procesaron 68 eventos, 48 del volcán Sabancaya y 20 del volcán Ubinas. A dichas señales se les aplicó el algoritmo de análisis **SOMPI** escrito en la plataforma

MATLAB como **Qsompí** (Servicio Geológico Colombiano – Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales).

3. METODOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Se planteó un modelo geométrico de fuente donde el decaimiento armónico en la forma de onda está relacionado con la respuesta acústica de un sistema resonador. El método de análisis espectral sompi: está basado en el método de AR (autoregresión) que junto con el principio de máxima verosimilitud da lugar al algoritmo de estimación espectral Kumagai & Chouet (2000), acerca del factor Q y la frecuencia adimensional $\nu = fL/a$. Por último el modelamiento de Q para diferentes tamaños de grietas y profundidades mediante los trabajos de Aki et al. (1977, 1978), han permitido modelar el Factor de calidad Q_r para poder estimar la geometría de la fuente (longitud), profundidad a la que se encuentra y la fracción de gas que debería haber dentro de la fuente.

Figura 3.1. Análisis SOMPI a la señal de tipo Tornillo registrada el día 29/01/2014 por la estación UBN06 (volcán Ubinas) componente vertical (Z).



4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. MÉTODO DE ANÁLISIS ESPECTRAL SOMPI: FACTOR DE CALIDAD Q Y FRECUENCIAS COMPLEJAS f

Los valores de Q_r para el volcán Sabancaya oscilaron entre 30 – 60 en promedio, aunque se presentaron valores por encima de 100 y para el caso del volcán Ubinas los valores variaron entre 40 y 100, y en ocasiones <100. Estos valores encontrados para ambos volcanes, son en general, BAJOS en comparación con otros volcanes, como el Puracé, en Colombia. Las frecuencias complejas f , presentaron picos espectrales entre 0 y 6 Hz para el volcán Sabancaya, para el volcán Ubinas las frecuencias dominantes entre 3 y 9 Hz y asu vez comparando con el volcán Puracé – Colombia (2 y 12 Hz).

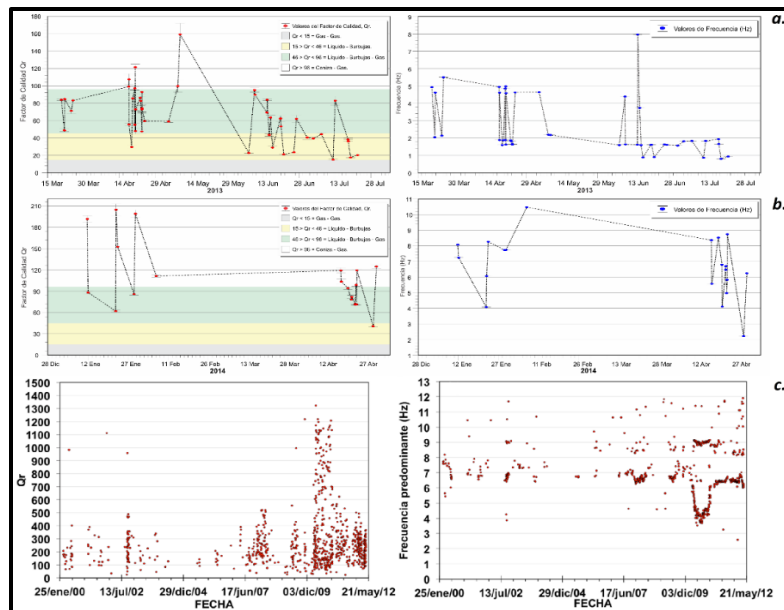


Figura 4.1. a. Variación temporal de Q_r y f , volcán Sabancaya (2013); **b.** Variación temporal de Q_r y f , volcán Ubinas (2014). **c.** Variación temporal de Q_r y f , volcán Puracé - Colombia 1994 – 2012 (Alpata et al, 2013).

4.2. MODELAMIENTO DEL Q_r Y DE f PARA DIFERENTES PROFUNDIDADES Y FRACCIONES DE VOLUMEN DE GAS

Los valores de Q_r , en general, son valores BAJOS, lo que implicaría fracciones de volumen de gas altas; se estimaron valores entre 60 y 70 % de fracción de volumen de gas. Así mismo, la fuente estaría a profundidades entre 500 y 1000 m del fondo del cráter y los tamaños de las longitudes de las grieta entre 20 y 40 m. En la Figura 4.2a, se aprecia el modelamiento del Factor de calidad (Q_r) y las frecuencias (f) para diferentes profundidades y fracciones de volumen de gas, las líneas punteadas indican valores del análisis SOMPI. La Figura 4.2b muestra la distribución espacial de los sismos tipo Tornillos registrados en el volcán Ubinas para el periodo marzo – abril 1998 (Taipe, 2008), los eventos Tornillo presentaron una localización superficial, encontrándose dentro de los primeros 1000 metros de profundidad a partir de la base de la caldera (5400 msnm)

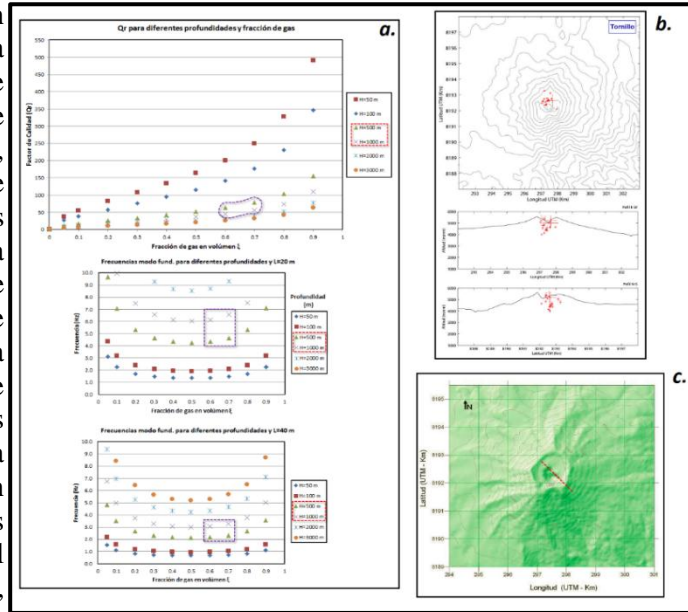


Figura 4.2. Modelamiento de Q_r y f para diferentes profundidades y fracciones de volumen de gas (Roberto Torres et al., 1977, 1978); **b.** Distribución espacial de los sismos Tornillos, volcán Ubinas, marzo – abril del 1998 (Taipe, 2008); **c.** Falla del volcán Ubinas (Rivera, 1997) y la posible fuente generadora de los Tornillo (Taipe, 2008).

4.3. ANÁLISIS DE SISMOS TORNILLO Y SU CORRELACIÓN CON EL MONITOREO GEOQUÍMICO, LA ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y ESTUDIOS GEOLOGICOS

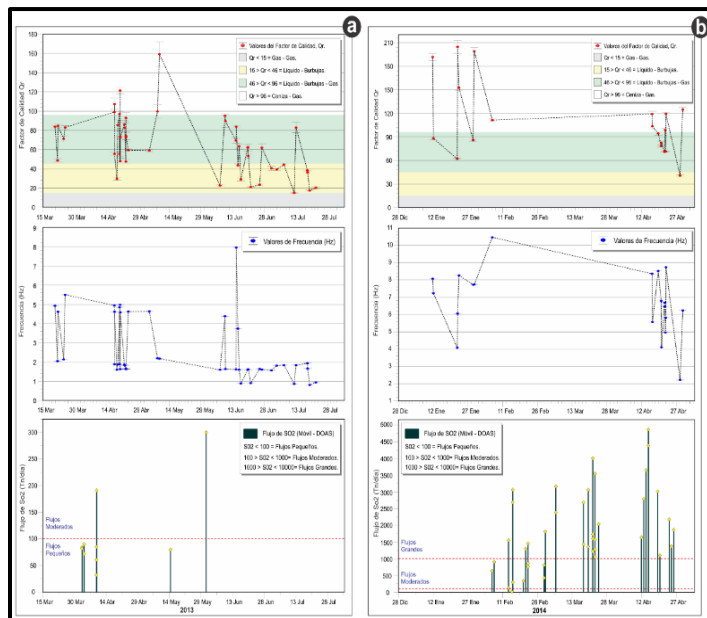


Figura 4.3. a. Correlación del Q_r y f con emisiones de flujo de SO_2 , volcán Sabancaya. **b.** Correlación del Q_r y f con emisiones de flujo de SO_2 volcán Ubinas.

En la Figura 4.3a, se muestra las variaciones temporales en Q_r y f para el volcán Sabancaya y la evolución temporal de las emisiones de flujo de SO_2 , si bien es cierto, no se aprecia una relación directa, pero estas emisiones de SO_2 permanecieron en niveles de Flujos Pequeños ($SO_2 < 100$ Tn/d). Para el caso del volcán Ubinas, la Figura 4.3b, muestra claramente que las emisiones de flujo de SO_2 oscilaron de Flujos Pequeños a Grandes, ($SO_2 < 1000$ Tn/d), lo que podría indicar la presencia de un cuerpo magmático en ascenso o en proceso de desgasificación al interior del volcán.

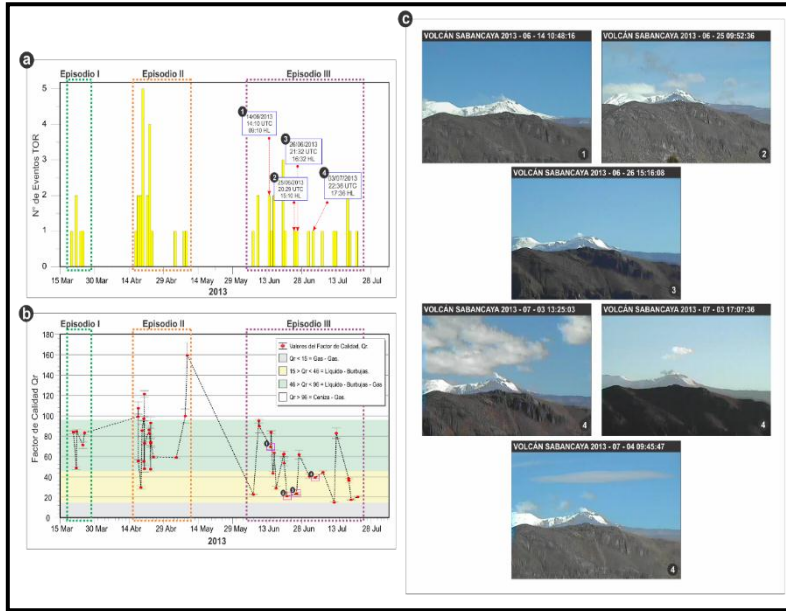


Figura 4.4. Correlación entre: **a.** Ocurrencia de los eventos Tornillo, **b.** Valores estimados para el factor de calidad Q_r y **f**, **c.** Actividad superficial. Volcán Sabancaya, durante marzo – julio del 2013.

En cuanto a las correlaciones con la actividad superficial, en cuanto al volcán Sabancaya al parecer, los eventos tipo Tornillo (Figura 4.4a), ocurren en momentos en que no se observa salida de material sólido o gaseoso, lo cual podría sugerir que el origen de estos eventos es relativamente profundo. Además, los valores de Q_r estimados son bajos (30 - 60), ver Figura 4.4b, lo que implicaría fracciones de volumen de gas altas asociados a una mezcla de líquido + burbujas + gases. Lo que se comprobó con la salida de emisiones considerables de color blanquecino compuestas por vapor de agua y gases de origen magmático entre marzo – julio del 2013; El volcán

Ubina de igual manera se deduce que la fuente que estaría generando este tipo de eventos, estaría relativamente profunda (500 – 1000 m). Los valores de Q_r estimados varían entre 40 - 100 en promedio (Figura 4.5c), relativamente bajos. En tal sentido estaría compuesta por un alto contenido de gases entre 60 y 70 % de fracción de volumen, lo que explica los valores de Q_r y f estimados con una mezcla de líquido + burbujas + material particulado, lo cual se ha asociado a la presencia de ceniza en las emisiones. Lo que se corroboran con la actividad superficial del volcán (Figura 4.5d) con un claro dominio de emisiones con alto contenido de ceniza, sobre todo, a fines del periodo analizado (Abril).

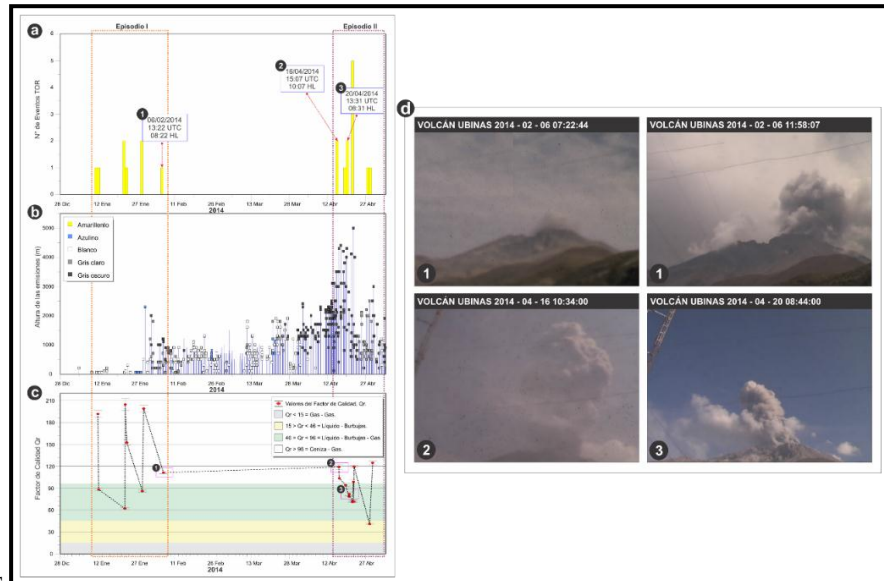


Figura 4.5. Correlación entre: **a.** Ocurrencia de los eventos Tornillo, **b.** Altura y coloración de las emisiones, **c.** Valores estimados para el factor de calidad Q_r y f , **d.** Actividad superficial. Volcán Ubinas, durante enero –

4.4. MODELO CONCEPTUAL DE LAS ZONAS ESTUDIADAS: VOLCANES SABANCAYA Y UBINAS

Es posible que exista una interacción entre el sistema magmático y el sistema hidrotermal, en lo relacionado con fluidos, los cuales generan sismos TOR en la parte superior del volcán cuando las condiciones físicas favorecen la resonancia de dichos fluidos o mezclas de materiales en pequeñas grietas o fracturas (Figura 4.6) lo cual es posible que sea la fase inicial de una actividad importante para ambos volcanes, en la cual, fluidos magmáticos y/o magma, estén en un proceso de ascenso y/o emplazamiento.

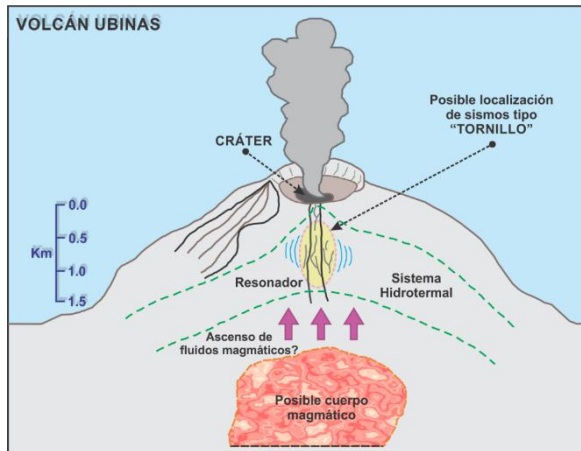


Figura 4.6. Modelo conceptual de generación de sismos Tornillo para el caso del volcán Ubinas.

5. CONCLUSIONES

- La variación temporal de las frecuencias complejas y de los valores del factor de calidad Q_r para el volcán Sabancaya indican que los fluidos que estarían generando los sismos Tornillo son una mezcla de **líquidos + burbujas + gases**, aspecto que se corrobora con la actividad tipo freática que presento con presencia de gases de origen magmático.
- La variación temporal de las frecuencias complejas f y de los valores del factor de calidad Q_r , reflejan el desarrollo de la actividad del volcán Ubinas indica que los fluidos que estarían generando los sismos Tornillo están compuestos por **líquidos + burbujas + gases** de origen magmático acompañados de material particulado (ceniza), lo cual se evidencia en la actividad tipo explosiva que presentó en este periodo el volcán Ubinas.
- Los fluidos que se encuentran generando los sismos de tipo Tornillo en ambos volcanes, podrían ser producto de la interacción del sistema hidrotermal con el sistema magmático.
- En base a estos resultados de los niveles de SO_2 , estos podrían estar asociados con la cantidad de material particulado disponible para remover. Es decir, entre más gas se encuentre en el interior del volcán, es posible que esta situación permita remover más fácilmente material particulado que se mezcla con el gas y por consiguiente, genera mayores valores de Q_r (40 -100).

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M. (2013) – *Aplicación del método SOMPI en la evaluación temporal de las propiedades características de sismos tipo TORNILLO en el volcán Galeras*. Tesis de Ingeniero, Universidad de Nariño, Colombia, 87 p.
- Aki, K.; Fehler, M. & Das, S. (1977) – *Source mechanism of volcanic tremor: fluid – driven crack model and their application to the 1963 Kilaue eruption*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2:259 - 287 p.
- Alpala, R.; Makario, J.; Torres, R. & Cadena, O. (2013) – *Análisis de posibles fuentes generadoras de eventos sísmicos tipo "Tornillo" en el volcán Puracé, Colombia*. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto. 22 p.