

Modelos de fuente de sismicidad LP para la actividad del volcán Galeras 2004-2010 (Colombia)

Oscar Cadena¹, John Jairo Sánchez²

¹ Servicio Geológico Colombiano, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, Colombia, ocadena@sgc.gov.co

² Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Palabras clave: Volcán Galeras, Sismos de Largo Periodo, resonancia en conductos.

INTRODUCCIÓN

El volcán Galeras (VG), se encuentra localizado al suroccidente de Colombia, a 9 km de la ciudad de Pasto, capital del departamento de Nariño. En su zona de influencia habitan alrededor de 500 000 personas. El VG pertenece al Complejo Volcánico Galeras (CVG) al que se le ha estimado más de 1 millón de años (Cepeda, 1985) y que comprende 6 estados a lo largo de su evolución. Según los estudios de Murcia y Cepeda (1991), los centros eruptivos del CVG están conformados principalmente por depósitos de flujos de lavas, depósitos de flujos piroclásticos, depósitos de caídas de cenizas, depósitos de avalanchas de escombros y depósitos de flujos de lodo. El CVG está formado sobre uno de los segmentos del Sistema de Fallas Romeral, cuya dirección aproximada en este punto es de 45° noreste. A lo largo de su evolución, el CVG ha presentado erupciones efusivas y explosivas que han formado un estratovolcán y dos calderas (Calvache, 1990), estas últimas con edades aproximadas de 560 000 años BP y 150 000 - 40 000 años BP, por otra parte, hace 12 000 a 5 000 años se presentó un colapso en el costado occidental del edificio favorecido por la alteración hidrotermal y la elevada pendiente.

El VG tiene edad de ~4 500 años, corresponde al centro eruptivo más reciente del CVG, y tiene composición predominantemente andesítica, identificándose seis periodos eruptivos que han generado flujos piroclásticos, caídas piroclásticas y flujos de lava (Calvache, 1990; -). Según Espinosa (2001), históricamente se tienen documentados 63 episodios eruptivos entre 1535 y 1936.

Desde el inicio del monitoreo permanente del VG en 1989 por parte del Servicio Geológico Colombiano-

Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (SGC-OVSP), se han registrado 21 erupciones explosivas de tipo vulcaniano con columnas eruptivas de hasta 12 km de altura y que en ocasiones han producido pequeños depósitos de material piroclástico.

Dentro del contexto de la actividad volcánica de Galeras se han registrado diferentes tipos de sismos, entre los cuales están los relacionados con fractura de material rocoso del edificio volcánico, los llamados sismos Volcano-tectónicos (VT) y aquellos relacionados con movimiento de fluidos dentro o hacia afuera del volcán, sismos de Largo Periodo (LP) cuando la fuente actúa de manera transitoria en el tiempo, y Tremor volcánico (TRE) cuando la fuente se mantiene persistente en el tiempo.

La sismicidad objeto de estudio en este trabajo es del tipo LP, especialmente la registrada en el periodo comprendido entre 2004 y 2010, en el que se registraron importantes eventos como son el emplazamiento de dos domos de lava en la base del cráter principal, uno en 2006 y otro en 2008, que posteriormente se destruyeron como consecuencia de las erupciones registradas entre 2006 y 2010.

La importancia de la sismicidad LP, en un contexto de formación de domos, radica en que, a partir de sus formas de onda y contenido espectral, es posible extraer información relacionada con los procesos de ascenso y emplazamiento del magma en superficie. Autores como Ferrazzini y Aki (1987); Chouet (1986, 1988); Sturton (2003), Jousset et al. (2003), Sturton y Neuberg (2006); Neuberg (2006); Smith (2006), entre otros, han construido un estado del arte mediante el cual es posible estudiar los sismos LP como la consecuencia de procesos de movimiento de

magma y/o gases dentro de un sistema volcánico. En general, estos autores sugieren que la resonancia de las paredes de grietas llenas de gas o conductos llenos de magma corresponde a la fuente generatriz de gran parte de la sismicidad LP.

Es de interés en este trabajo abordar la sismicidad LP desde el enfoque que presentan los autores mencionados, especialmente porque se encuentra factible la aplicación de sus teorías, en la etapa de extrusión de los domos de lava de 2006 y 2008 en el volcán Galeras.

El principal objetivo del presente estudio es la configuración de modelos de fuente de sismos LP, con base en la resonancia de columnas de magma, dentro de las cuales, una perturbación inicial dentro de la columna se propaga por sus paredes en forma de ondas hasta alcanzar un receptor ubicado en superficie. Estos modelos se parametrizan utilizando información preexistente de estudios específicos de la estructura interna del volcán, tanto de su edificio como de sus componentes fluidos internos (magma y gases). Los sistemas de ecuaciones que se derivan del planteamiento del problema se resuelven mediante el método de elementos finitos y los resultados de la ejecución de los modelos propuestos se presentan como sismogramas sintéticos comparables con sismogramas reales registrados durante el periodo estudiado.

Para alcanzar el objetivo principal, es necesario realizar un reconocimiento de la sismicidad en cuanto a su distribución en el tiempo durante el periodo de estudio. Esto se trabaja desde la perspectiva de cambios en la dimensión fractal de la distribución temporal de sismos, lo que conduce a una forma de medida del orden o aleatoriedad de la ocurrencia sísmica en el tiempo. La aplicación de este método de análisis, sus resultados y discusión se detallan en la primera parte del estudio.

Luego, en una sección posterior se aplica un análisis de correlación cruzada al total de sismos LP registrados entre 2004 y 2010, con el fin de separar la sismicidad significativa y a su vez organizarla en familias, las cuales representan grupos de sismos con características espectrales similares que posteriormente son caracterizadas en el dominio de la

frecuencia y distribuidas en grupos bajo ciertos criterios de su similitud espectral.

En la sección final, se pone en evidencia la existencia de pulsos (eco sísmico) en las formas de onda de sismos de Largo Periodo del VG, a partir de los cuales se propone inferir la longitud de la columna de magma asociada con estos sismos y la ubicación vertical de la fuente dentro de la columna. Adicionalmente se logra la identificación, sobre los sismogramas, de los diferentes trenes de ondas que forman parte de un sismo del tipo Largo Periodo. Se presenta también una comparación entre sismogramas sintéticos (producto de los modelos propuestos) y sismos reales. Se propone un modelo correspondiente a los sismos asociados a la etapa predómica y otro relacionado con el emplazamiento de los domos como tal. Finalmente, se presenta una discusión de los resultados encontrados y sus posibles aplicaciones, así como también sus alcances y limitaciones.

La información para la parametrización de la corteza superficial y el magma, se obtuvo de estudios específicos preexistentes, y la solución de los sistemas de ecuaciones se realiza mediante el método de elementos finitos. Los resultados muestran un comportamiento anómalo en la dimensión fractal durante el emplazamiento de los domos de lava de 2006 y 2008. La caracterización sísmica evidencia la existencia de 9 familias de sismos LP que se distribuyeron en dos grupos G1 y G2 asociados respectivamente con el emplazamiento de los domos de lava en superficie y la sismicidad precedente a estos domos. Se parametrizaron modelos para los grupos G1 y G2 los cuales tienen por diferencias principales: la longitud de la columna de magma y el tipo de acción de la fuente sísmica. Se propone la resonancia de una columna de magma de aproximadamente 2800 m de largo, cuyo tope casi alcanza la superficie, como posible causante de la sismicidad del grupo G1 y una columna cercana a los 2000 m como responsable de los sismos del grupo G2. Adicionalmente, los resultados de este estudio ponen en duda la efectividad de la localización de sismicidad de fluidos basada en el método de atenuación de amplitudes.

La importancia de este estudio radica en que sus resultados y conclusiones, aportan al entendimiento de un fenómeno complejo como es la génesis de

sismos tipo LP, algo que ha sido ampliamente debatido desde los inicios de la observación de la sismicidad volcánica. Para el caso específico de los modelos de resonancia de conducto, estos resultados se muestran

como evidencias de la validez de la teoría y la posibilidad de su aplicación en sismicidad real, con objetivos de monitoreo de la actividad volcánica y apoyo al entendimiento de la estructura interna de los volcanes.

REFERENCIAS

- ▶ Cepeda, H. (1985). Anotaciones a cerca de la geología del volcán Galeras, Colombia. *Encyclopedia of Volcanoes*. 421-430.
- ▶ Murcia, L., Cepeda, H. (1991). Mapa Geológico de Colombia, Plancha 410, La Unión, Memoria explicativa. INGEOMINAS.
- ▶ Calvache, M. (1990). *Geology and Vulcanology of the recent evolution of the Galeras Volcano, Colombia*. Ms. Thesis. Louisiana State University.
- ▶ Calvache, M.L., Williams, S.N. (1997). Emplacement and petrological evolution of the andesitic dome of Galeras volcano, 1990–1992. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(96\)00086-8](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(96)00086-8).
- ▶ Espinoza, A. (2001). *Erupciones históricas de los volcanes colombianos (1500-1995)*. Editorial Guadalupe Ltda. Bogotá.
- ▶ Ferrazzini, V., Aki, K. (1987). Slow waves trapped in a fluid-filled infinite crack: Implication for volcanic tremor. *Journal of Geophysical Research*, 92(B9), 9215. <https://doi.org/10.1029/jb092ib09p09215>
- ▶ Chouet, B. (1986). Dynamics of a fluid-driven crack in three dimensions by the finite difference method. *Journal of Geophysical Research*, 91(B14), 13967. <https://doi.org/10.1029/jb091ib14p13967>
- ▶ Chouet, B. (1988). Resonance of a fluid-driven crack: radiation properties and implications for the source of long-period events and harmonic tremor. *Journal of Geophysical Research*, 93(B5), 4375–4400. <https://doi.org/10.1029/JB093iB05p04375>
- ▶ Sturton, S., Neuberg, J. (2006). The effects of conduit length and acoustic velocity on conduit resonance: Implications for low-frequency events. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 151(4), 319–339. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.09.009>
- ▶ Neuberg, J. W., Tuffen, H., Collier, L., Green, D., Powell, T., Dingwell, D. (2006). The trigger mechanism of low-frequency earthquakes on Montserrat. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 153(1-2 SPEC. ISS.), 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.08.008>