



XVIII Congreso Peruano de Geología

CARACTERIZACIÓN DEL PARÁMETRO “b” DEL COMPLEJO VOLCÁNICO AMPATO - SABANCAYA - HUALCA HUALCA (PERIODO 2015).

Mayra Alexandra Ortega Gonzáles¹, Yanet Teresa Antayhua Vera², Edú Luis Taipe Maquerhua¹

¹ Observatorio Vulcanológico del INGEMMET, Urb. Magisterial B - 16 Umacollo - Yanahuara, Arequipa, Perú (mortega@ingemmet.gob.pe; edtaipe@ingemmet.gob.pe)

² Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad N° 3000, D.F., México (yantayhua@gmail.com)

1. Introducción

El volcán Sabancaya (actualmente con actividad fumarólica), se ubica en la provincia de Caylloma, a 70 km al NO de la ciudad de Arequipa. Es un estrato-volcán de edad Holocénica conformada, principalmente, por secuencias de flujos de lava de composición andesítica y dacítica. Asimismo, se encuentra en un ambiente tectónico complejo afectado por diferentes sistemas de fallas, fracturas, lineamientos de dimensiones y rumbos variados (Rivera et al., 2015) ver Figura 1.

Los estudios sismológicos previos (Antayhua, 2002; Paxi, 2012) de este complejo volcánico y del volcán Sabancaya en particular, mostraron una intensa actividad sísmica, básicamente, de tipo volcano-tectónico asociado a fracturamiento. En este estudio, se analiza el catálogo de estos sismos volcano-tectónicos (VT) registrados durante el año 2015, con la finalidad de estimar el parámetro “b”, correlacionarla con la tectónica local y la posible interacción y/o ubicación de la cámara magmática de este complejo volcánico.

2. Metodología

El parámetro “b”, es una medida de distribución relativa del tamaño de los eventos que se producen en una zona y en un periodo determinados (Farrell et al., 2009). Cuantitativamente, valores $b \sim 1$, están asociados a la tectónica (alto régimen de esfuerzos de extensión); mientras que $b > 1$, se han asociado a la alta heterogeneidad del material (Mogi, 1962), elevado gradiente termal (Warren & Latham, 1970) y/o migración de fluidos magmáticos (Ibáñez et al., 2012).

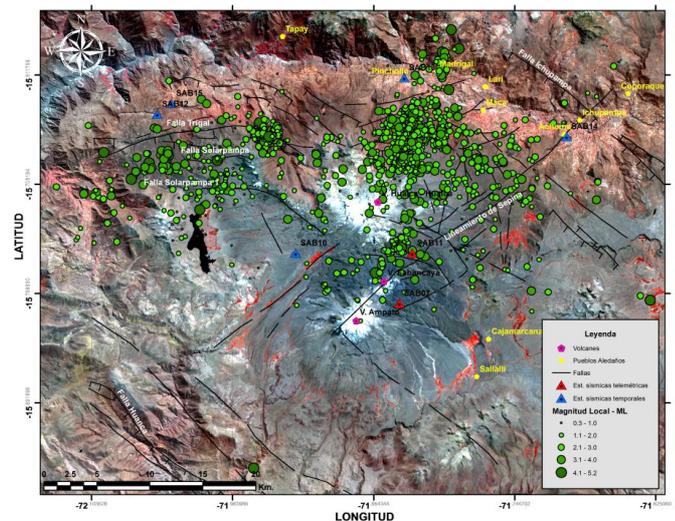


Figura 1. Ubicación de los sistemas de fallas y lineamientos principales (Benavente et al., 2012; Rivera et al., 2015), red de monitoreo sísmico y localización hipocentral de los sismos VT registrados durante el año 2015 en el complejo volcánico Ampato - Sabancaya - Hualca Hualca.

Su estimación depende, básicamente, de la Magnitud de Completitud (M_c), magnitud a partir de la cual el 100% de los eventos en un volumen de espacio - tiempo se detectan por completo (Wiemer & Wyss, 2000) y se realiza a partir de la Distribución Frecuencia - Magnitud (Ley de Gutenberg - Richter), establecido primero por Ishimoto & Iida (1939) y posteriormente por Gutenberg & Richter (1944). Esta relación se expresa como:

$$\log_{10}(N) = a - b M$$

Donde: **N**: número acumulado de eventos con magnitudes mayores a M (magnitud), **a**: parámetro que describe la productividad de un volumen y **b**: parámetro que describe la distribución relativa del tamaño de los eventos (Wiemer & Wyss, 2002).

3. Datos y estimación del parámetro “b”

Los datos sísmicos provienen de la red de 7 estaciones sísmicas instaladas alrededor del Complejo Volcánico Ampato - Sabancaya - Hualca Hualca. El registro entre marzo y noviembre del 2015, permitió elaborar un catálogo sísmico de 1262 eventos VT con magnitudes entre 0.3 y 5.2 ML (magnitud local) y profundidades menores a 10 km (Figura 1). Para la estimación del parámetro “b” se utilizó este catálogo sísmico, el programa ZMAP (Wiemer, 2001) y el método de Máxima Verosimilitud (Utsu, 1965), este método se empleó porque presenta mejores precisiones en relación al método de mínimos cuadrados. Para estimar la variación espacial del parámetro de b se empleó una grilla con nodos a cada 350 metros con un mínimo de 25 sismos y 200 como máximo. Para la estimación de la magnitud de completitud se empleó el método Mejor Combinación (Wiemer & Wyss, 2000).

La serie de tiempo (Figura 2a) y el histograma de magnitudes (Figura 2b) muestran una distribución relativamente uniforme, garantizando la estimación del parámetro “b”. Así se estimó un parámetro “b” promedio de 0.68, Mc de 2.3 y un valor a de 4.37 (Figura 2c). Por otro lado, la variación del parámetro “b” en función de la profundidad (Figura 2d), muestra un incremento de 0.9 a 1.2 entre los 2.5 y 4.5 km, sugiriendo una posible zona anómala.

4. Resultados

En la Tabla 1 y Figura 3, se especifica los valores hallados (“b”, “a” y “Mc”) para cada zona identificada: ZONA 1, localizada en el sistema de fallas Huambo – Cabanaconde, la ZONA 2, ubicada al NE del volcán Hualca – Hualca, la ZONA 3, ubicada ~3.5 km del cráter del volcán Sabancaya y finalmente la ZONA 4, localizada al SO del sistema de fallas Huambo – Cabanaconde.

Tabla 1. Valores estimados para los parámetros “b”, “a” y “Mc”, para cada zona identificada.

ZONAS	Parámetro “b”	Parámetro “a”	Magnitud de Completitud - Mc
1	0.62 ± 0.05	3.17	1.9
2	0.95 ± 0.08	4.68	2.7
3	0.84 ± 0.10	3.69	2.6
4	0.50 ± 0.04	2.94	1.8

De acuerdo a estos resultados, si bien el valor b es próximo a 1, es evidente que los valores relativamente altos de las zonas 2 y 3 sugieren una alta deformación tectónica o alto grado de fracturamiento con respecto a las otras zonas.

5. Variación del parámetro “b” con la profundidad

En la Figura 4, se presenta la distribución tridimensional (3D) del parámetro “b”. De los resultados mostrados en las Figuras 4a, 4b y 4c se infieren la presencia de dos anomalías en la zona de estudio; (1) ubicada al NE del volcán Sabancaya, presenta un valor b de 0.836, esta anomalía empieza a observarse desde el 1 km de profundidad y podría estar asociada a una zona de alta heterogeneidad debido a su cercanía a un posible cuerpo magmático; (2) anomalía localizada al NE del volcán Hualca – Hualca, presentó un valor b relativamente alto a

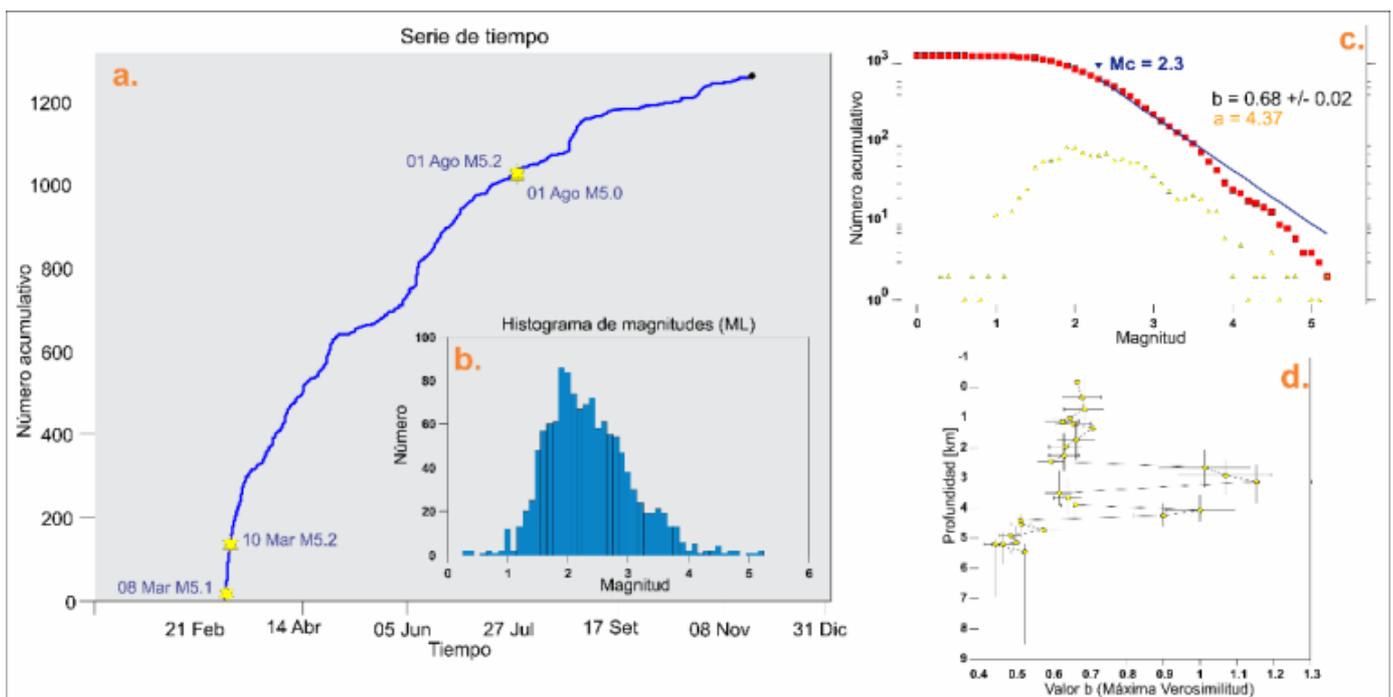


Figura 2. a. Serie de tiempo para el catálogo 2015. b. Histograma para el catálogo 2015 con 1262 eventos. c. Determinación del parámetro “b”, los triángulos muestran la distribución frecuencia – magnitud para el número de eventos y los cuadrados el número acumulado. d. Determinación del valor b en profundidad.

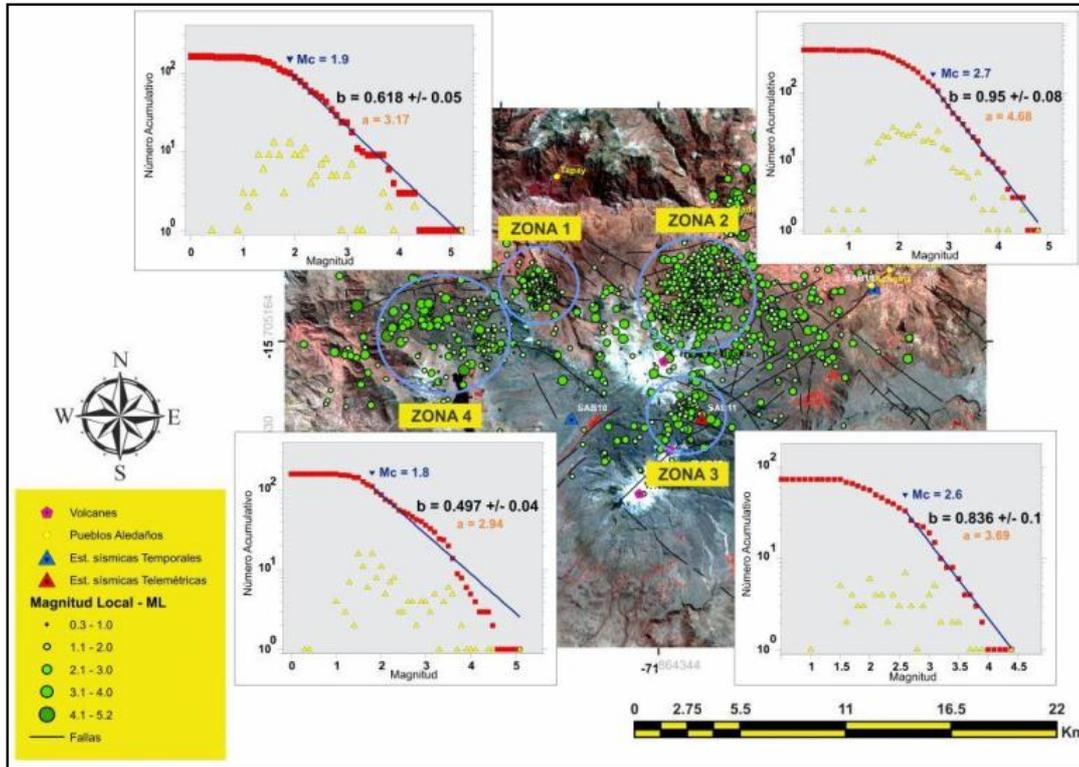


Figura 3. Estimación del parámetro “b” para cada una de las zonas donde se registró agrupamiento de sismos. Periodo 2015.

comparación de las otras zonas identificadas (0.95), dicha anomalía se vuelve más intensa entre los 4 y 5 km de profundidad y posiblemente esté asociada al alto grado de fracturamiento en la zona, expresado en grietas, lineamientos y en fallas como es el sistema de fallas Huambo - Cabanaconde (Sévrier et al., 1985), este sistema de fallas, formaría parte del sistema de fallas cortical Iquipi - Clavelinas (Mamani & Rivera, 2011), (Figura 4b y 4c).

6. Conclusiones

A través de la distribución frecuencia - magnitud (Relación Gutenberg - Richter) se analizó la sismicidad para el periodo 2015 del complejo volcánico Ampato - Sabancaya - Hualca Hualca, y se caracterizó la variación espacio - temporal del parámetro “b”.

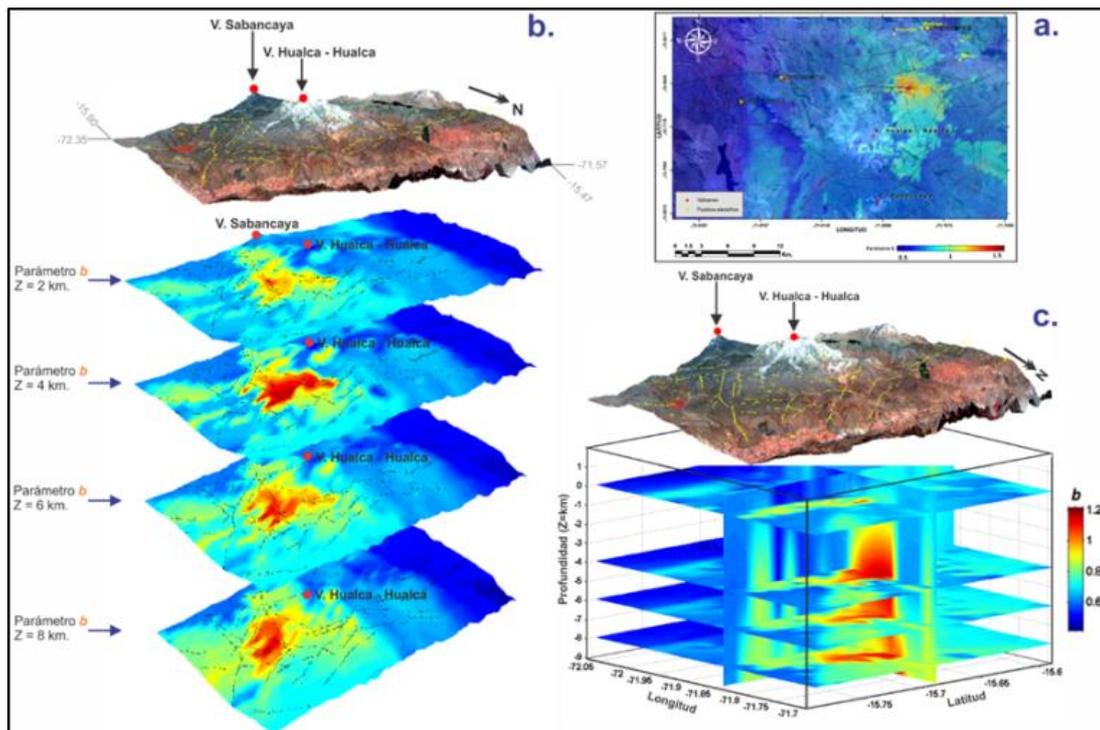


Figura 4. a. Vista en planta del parámetro “b”; b. Variación del parámetro “b” a profundidades (Z) de 2, 4, 6 y 8 km; c. Modelo 3D del parámetro “b”.

Para la estimación del parámetro "b" se utilizó un catálogo sísmico de 1262 eventos con magnitudes entre 0.3 y 5.2 ML (magnitud local) y profundidades menores a 10 km.

El parámetro "b" promedio fue estimado en 0.68, una magnitud de completitud de 2.3 y un valor a de 4.37. Este valor $b < 1$, sugiere una estrecha correlación con la heterogeneidad de la tectónica de la zona.

Se calculó el parámetro "b" para cuatro fuentes sísmicas definidas por la acumulación de sismos, en todas ellas el promedio del parámetro "b" es menor a 1, que corresponde a esfuerzos tectónicos siendo las zonas 1 y 4 las de menores valores; 0.618 y 0.419 respectivamente y estarían asociados a una intensa actividad tectónica.

En el mapeo 3D, se identificaron 2 anomalías, la primera ubicada al NE del volcán Sabancaya, que empieza a observarse desde 1 km de profundidad y podría estar asociada a una zona de alta heterogeneidad debido a su cercanía a un posible cuerpo magmático; la segunda anomalía localizada al NE del volcán Hualca - Hualca, presentó un valor b relativamente alto (~1.2) siendo de mayor volumen entre los 4 y 5 km de profundidad, esta anomalía se presenta entre los 2 y 8 Km y estaría asociado a la presencia de una cámara magmática, como ya se observó en volcanes similares (Garza, R. 2014).

Dadas las anomalías descritas anteriormente, la actividad tectónica expresada por la cantidad de sismos, estaría siendo detonada por la presencia de una cámara magmática activa y su evolución podría ser la migración de material magmático a una nueva cámara en el noroeste el Sabancaya en donde la anomalía aun es débil.

7. Agradecimientos

Quiero agradecer infinitamente a la Ing. Yanet Antayhua por su apoyo incondicional y aporte de valiosos conocimientos en la elaboración del presente estudio.

8. Referencias

Antayhua, Y. 2002. Análisis de la actividad sísmica en la región del volcán Sabancaya y los sismos de Maca (1991), Sepina (1992) y Cabanaconde (1998). Tesis de Ingeniero, p. 146.

Benavente, C., Delgado, V., Audin, L. 2012. Estratigrafía de las cuencas lacustres Colca y Omate: Ejemplos de paleosismicidad y tectónica activa del arco volcánico cuaternario y actual de los andes centrales del sur del Perú. Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 5.

Farrel, J., Husen, S., Smith, R. 2009. Earthquake swarm and b - value characterization of the Yellowstone volcano - tectonic system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 188, p. 260 - 276.

Gutenberg, B., Richter, C.F. 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of Seismological Society of America*, v. 34 (4), p. 185 - 188.

Garza, R. 2014. Distribución espacial del valor b debajo del volcán Popocatepetl y su relación con la estructura de la cámara magmática. Tesis de Ingeniero, Universidad Autónoma de Mexico, Facultad de Ingeniería. p. 162.

Ibañez, J., Angelis, S., Moreno, A., Hernández, P., Alguacil, G., Posadas, A., Pérez, N. 2012. Insights into the 2011 - 2012 submarine eruption off the coast of El Hierro (Canary

Island, Spain) from statistical analyses of earthquake activity. *Geophysical Journal International*, v. 191: p. 659 - 670.

Ishimoto, M., Iida, K. 1939. Observations of earthquakes registered with the microseismograph constructed recently. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, v. 17, p. 443 - 478.

Mamani, M., Rivera, F. 2011. Sistema de Fallas Iquipi - Clavelinas: Zona de transición cortical e implicancias para el emplazamiento de depósitos minerales. *Bol. Soc. geol. Perú*, v. 105, p. 37 - 50.

Mogi, K. 1962. Magnitude-frequency relation for elastic shock accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes. *Earthquake Research Institute Bulletin, Tokio University*, v. 40, p. 831 - 853.

Paxi, R. 2012. Análisis de la Actividad Sísmica del volcán Sabancaya, durante el periodo Mayo - Julio 2009. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, p. 126.

Rivera, M., Mariño J., Samaniego P., Delgado R., Manrique N. 2015. Geología y evolución de peligros del complejo volcánico Ampato - Sabancaya (Arequipa), INGEMMET. Boletín, Serie: Geodinámica e Ingeniería Geológica, v. 61, p. 122, 2 mapas.

Sévrier M., Mercier J., Megard F., Laubacher G., Carey-Gailhardis E. 1985. Quaternary normal and reverse faulting and the state of stress in the Central Andes of Perú. *Tectonics* v. 7, p. 895 - 928.

Utsu, T. 1965. A method for determining the value of b in a formula $\log n = a - bM$ showing the magnitude frequency for earthquakes, *Geophys. Bull. Haokkaido Univ.*, v. 13, p. 99 - 103.

Warren, N., G.V. Latham. 1970. An Experimental Study of Thermally Induced Microfracturing and its Relation to Volcanic Seismicity. *J. Geophys. Res.*, v. 75, p. 4455 - 4464.

Wiemer, S., Wyss, M. 2000. Minimum magnitude of Completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western Unites States, and Japan. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, v. 90, 4, p. 859 - 869.

Wiemer, S. 2001. A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP, *Seismological Research Letters*, v. 72, p. 373-382.

Wiemer, S., Wyss, M. 2002. Mapping spatial variability of the frequency - magnitude distribution of earthquakes. *Advances in geophysics*, v. 45, p. 259 - 302.