

INFLUENCIA DE LA TECTÓNICA EN LA CIRCULACIÓN DE FLUIDOS HIDROTERMALES EN LOS COMPLEJOS VOLCÁNICOS CHACHANI - MISTI - PICHU PICHU REGIÓN SUR DE PERÚ

L. Torres (1), A. Finizola (2) & H. Tavera (1)

⁽¹⁾ IGP, Sismología-CNDG, Calle Badajoz 169 Mayorazgo IV Etapa – Ate Vitarte, Lima – Perú.

⁽²⁾ Laboratoire GéoSciences Réunion, Université de la Réunion, Institut de Physique du Globe de Paris, Sorbonne Paris-Cité, CNRSUMR 7154, 15 rue René Cassin, 97715 Saint-Denis cedex 9, La Réunion, Indian Ocean, France
liliana.torres@igp.gob.pe, anthony.finizola@gmail.com & hjtavera@geo.igp.gob.pe

INTRODUCCIÓN

A fin de determinar la variación de la permeabilidad y discontinuidad en las principales estructuras estudiadas entorno al complejo volcánico Chachani (6000 msnm), Misti (5822 msnm) y PichuPichu (5664 msnm), se analiza la circulación de fluidos (agua y gas) considerando el método de potencial espontáneo (SP) y medidas de concentración de CO₂ en el suelo. Las lecturas de SP y CO₂ se tomaron cada 20 metros sobre un perfil de 96.5 km de largo, durante siete campañas realizadas en los meses de junio, julio, setiembre y diciembre de 2011, octubre y noviembre de 2012 y diciembre de 2013. En total se tomaron datos en 4825 puntos, pasando por Charcani V, Aguada Blanca, Chiguata y Laguna Salinas; de los cuales alrededor de 880 puntos corresponden a las secciones anómalas del perfil.

La falla “N127” definida por Thouret et al. (2001), relacionada con el límite de colapso del volcán Misti en el flanco noroeste, próxima a la hidroeléctrica Charcani a las faldas del volcán, presenta una tendencia similar a la alineación ONO-ESE de los tres volcanes Chachani, Misti y PichuPichu. Cuando estas fallas son más permeables, la información sobre la circulación de fluidos da mayor valoración a los peligros volcánicos en áreas que tienen una debilidad preexistente (Van Wyk de Vries et al., 2000). Así es que, el colapso del flanco noroeste se interpreta como el resultado de la reactivación de esta falla “N 127” regional (Merle et al., 2001).

Se conoce que, la circulación de los fluidos está canalizada a lo largo de las zonas de alta permeabilidad; consecuentemente, la identificación de zonas de flujos de fluidos es valioso para poner en evidencia la existencia de planos de debilidad que cruzan las zonas volcánicas (Chachani, Misti y PichuPichu) dentro de un área de 3000 km². Por lo tanto, para mejorar el conocimiento de esta zona a través del método de potencial espontáneo y el análisis de concentración de CO₂ en el suelo, es posible identificar las anomalías asociadas a antiguos límites de estructuras volcánicas y a fallas tectónicas (Finizola et al., 2006; Bennati et al., 2011).

DATOS Y METODOLOGÍA

Se ha observado la presencia de anomalías de SP y CO₂ en los flancos SE y NO de los volcanes Misti y PichuPichu, sobre la traza de la falla denominada N127 (Figura 1), ambas sugieren la existencia de zonas de debilidad, donde circularían los fluidos hidrotermales. El primer segmento de intersección corresponde a una zona de debilidad en el flanco Noroeste del volcán Misti, donde se observa la sutura de un antiguo colapso del volcán, que también fue identificada por Ramos (2000) y Finizola et al. (2004). El segundo tramo de intersección, localizado en el flanco SE del volcán Misti, se observa material menos consolidado y la falla puede estar cubierta por material reciente; es decir, por flujos de lava de Misti 2 y Misti 3 (Figura 1C) correspondiente a la segunda y tercera etapa de las cuatro etapas de crecimiento del volcán Misti definidas por Thouret et al. (2001), además de bloques de ceniza y depósitos de flujos de ceniza e ignimbrita no soldada. El tercer tramo de intersección es visible en la topografía y en el gradiente del potencial espontáneo, una transición, con la presencia de mayores estructuras de discontinuidades en el flanco Noroeste del volcán PichuPichu, lo cual también se visualiza en el cuarto tramo de intersección, en donde prevalecen picos predominantes de CO₂ y SP. La transición hidrotermal existente, entre los niveles de la evaporación del agua y las aguas subterráneas, se encuentra presente entre estos picos (Figura 2).

La correlación de los resultados obtenidos con estos métodos, permite considerar los vínculos existentes entre los sistemas hidrotermales superficiales y los de carácter magmáticos profundos.

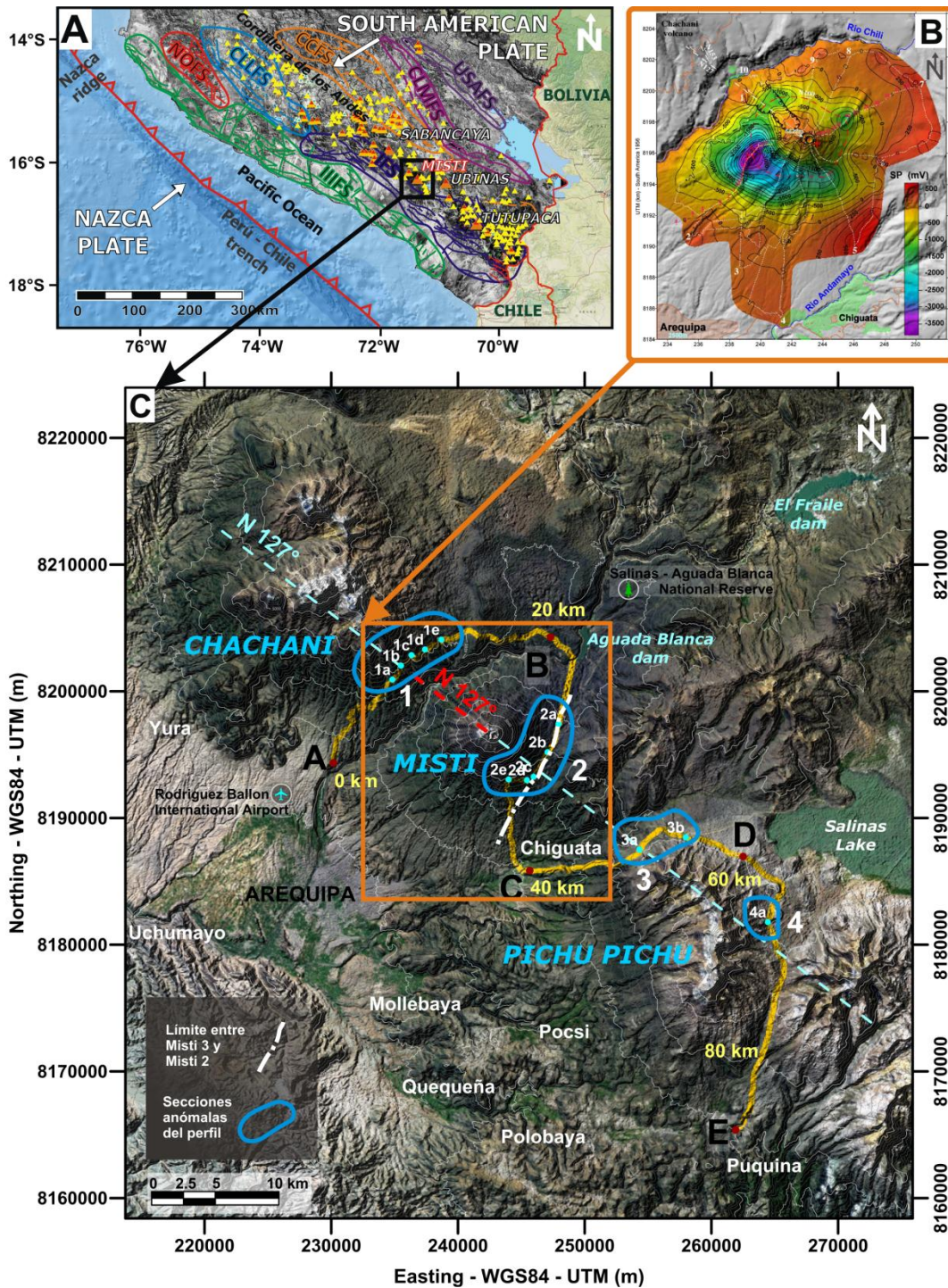


Figura 1: A) Tectónica y sistema de fallas regionales, SFIII (verde): Sistema de fallas Ica-Islay-Ilo, SFNO (rojo): Sistema de fallas Nazca-Ocoña, SFCLL (celeste): Sistema de fallas Cincha-Lluta, IFS (azul): Sistema de fallas Incapuquio, CCFS (naranja): Sistema de fallas Condorama-California, CLMFS (violeta): Sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo and USAFS (lila): Sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri. B) Mapa de contornos de SP del volcán Misti extraído de Finizola et al., 2004 y C) En el DEM se observa el sector volcánico Chachani – Misti – PichuPichu, la línea amarilla indica el gran perfil trazado en las campañas 2011, 2012 y 2013.

Los resultados en relación a la elevación, el potencial espontáneo, la concentración de CO₂ en el suelo versus la distancia, son presentados en la Figura 2 y ellos muestran la presencia de cuatro sectores en donde sobresalen las anomalías 1, 2, 3 y 4 (bordadas por líneas de color celeste, Figura 1) limitados

por A, B, C, D y E. Estos sectores son denominados como: Chachani, Misti, PichuPichu flancos oeste y este. En estudios realizados en el complejo volcánico Santa María-Cerro Quemado-Zunil en Guatemala (Bennati et al., 2011), en el volcán Piton de la Fournaise (Lénat, 1987; Boubekraoui et al., 1998) y en el volcán Kilauea (Jackson and Kauahikaua, 1987) se observa que los cambios en la superficie topográfica y de transición en los gradientes de potencial espontáneo/elevación (mV/m), pueden ser atribuidos a un cambio lateral en la permeabilidad (Revil et al., 2002, 2003a, b); también se distinguen discontinuidades estructurales en complejos volcánicos, como lo indicado por TortyFinizola (2005) donde sugiere una preferencia de la circulación de los fluidos a lo largo de los límites estructurales. En otros volcanes, una buena correlación entre los picos las anomalías de CO₂ y potencial espontáneo, es asociado al ascenso del flujo de vapor de agua dentro del sistema hidrotermal (Finizola et al., 2003; Lewicki et al., 2003), o con el descenso del flujo de vapor de agua fuera del sistema hidrotermal. En este estudio los picos de CO₂ estarían asociados con la presencia de zonas de alta permeabilidad evidenciadas por las anomalías 1 y 2 (SP), ver Figura 2.

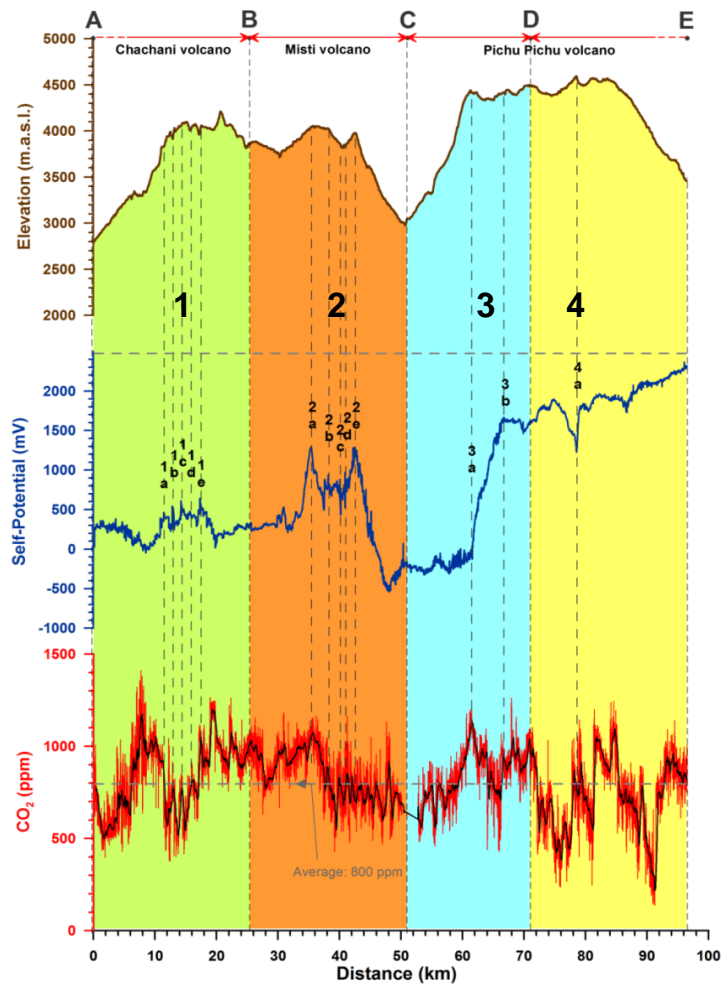


Figura 2: Relación entre la elevación, el potencial espontáneo y la concentración de CO₂ en el suelo versus la distancia. 1, 2, 3 y 4 indican las cuatro zonas de anomalías identificadas en el estudio (Chachani, Misti, PichuPichu)

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la circulación de fluidos hidrotermales en el complejo volcánico-tectónico Chachani-Misti-PichuPichu, podría verse afectada con la ocurrencia de un evento sísmico importante que perturbe el equilibrio hidro-magmático de esta región, pudiendo generar una reinyección de magma por las zonas de alta permeabilidad; es decir, sobre las principales estructuras de discontinuidades presentes en las zonas enmascaradas por las áreas de transición hidrotermal. Con la ubicación de las zonas de debilidad y discontinuidades se podría establecer puntos

de control y monitoreo en la parte baja de los volcanes; y así evaluar la actividad volcánico-tectónica presente y el peligro para las ciudades de Arequipa y Moquegua. Un claro ejemplo de esta actividad, fue el sismo ocurrido en Arequipa en el 2001 que provocó el incremento en altura de las fumarolas del volcán en el cráter (30 veces). Así mismo, en este estudio se ha logrado identificar la ubicación de la falla N127 que cruzaría por las anomalías 1 y 2 del perfil; mientras que, las anomalías 3 y 4 estarían relacionadas a un antiguo evento del volcán PichuPichu como un colapso de caldera u otro evento estructural. Esta nueva unidad tectónica es importante a considerar para la evaluación de peligros volcánicos. Este estudio multidisciplinario del análisis de gases (CO₂ en el suelo) y el método eléctrico (SP), ayuda a comprender mejor la compleja relación entre las estructuras volcánico-tectónicas y las fuentes responsables de un sistema hidrotermal, así como las fuentes de calor responsables de las áreas geotermales.

REFERENCIAS

1. Bennati, L., Finizola, A., Walker, J., Lopez, D., Higuera-Díaz, C., et al., 2011. Fluid circulation in a complex volcano-tectonic setting, inferred from self-potential and soil CO₂ flux surveys: The Santa María–Cerro Quemado–Zunil volcanoes and Xela caldera (Northwestern Guatemala). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 199, 216–229.
2. Boubekraoui, S., Courteaud, M., Aubert, M., Albouy, Y., Coundray, J., 1998. New insights into the hydrogeology of a basaltic shield volcano from a comparison between self-potential and electromagnetic data: Piton de la Fournaise, Indian Ocean. *J. Appl. Geophys.* 40, 165–177.
3. Finizola, A., Sortino, F., Lénat, J.-F., Aubert, M., Ripepe, M., Valenza, M., 2003. The summit hydrothermal system of Stromboli. New insights from self-potential, temperature, CO₂ and fumarolic fluid measurements, with structural and monitoring implications. *Bull. Volcanol.* 65 (7), 486–504.
4. Finizola, A., Lénat, J., Macedo, O., Ramos, D., Thouret, J.C., et al., 2004. Fluid circulation and structural discontinuities inside Misti volcano (Peru) inferred from self-potential measurements. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 135, 343–360.
5. Finizola, A., Revil, A., Rizzo, E., Piscitelli, S., Ricci, T., et al., 2006. Hydrogeological insights at Stromboli volcano (Italy) from geoelectrical, temperature, and CO₂ soil degassing investigations. *Geophys. Res. Lett.* 33, L17304. doi:10.1029/2006GL026842
6. Jackson, D.B., Kauahikaua, J., 1987. Regional self-potential anomalies at Kilauea volcano: “Volcanism in Hawaii” chapter 40. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1350, 947–959.
7. Lénat, J.-F., 1987. Structure et dynamique interne d'un volcan basaltique intraplaque océanique: Le Piton de la Fournaise (île de la Réunion). Thèse de doctorat ès sciences. Univ. Blaise Pascal, Clermont-Ferrand (France).
8. Lewicki, J.L., Connor, C., St-Amand, K., Stix, J., Spinner, W., 2003. Self-potential, soil CO₂ flux, and temperature on Masaya volcano, Nicaragua. *Geophys. Res. Lett.* 30 (15). doi:10.1029/2003GL017731 1817, 1–4.
9. Merle, O., Vidal, N., Van Wyk de Vries, B., 2001. Experiment on vertical basement fault reactivation below volcanoes. *J. Geophys. Res.* 106 (B2), 2153–2162.
10. Ramos, D., 2000. Aplicación del Método geofísico de potencial espontáneo, para el estudio estructural del volcán Misti. Tesis profesional Universidad Nacional de San Agustín, Facultad Geología, Geofísica y Minas, Arequipa, 173 p.
11. Revil, A., Hermitte, D., Voltz, M., Moussa, R., Lacas, J.-G., Bourrie, G., Trolard, F., 2002. Self-potential signals associated with variations of the hydraulic head during an infiltration experiment. *Geophys. Res. Lett.* 29 (7), 1106.
12. Revil, A., Saracco, G., Labazuy, P., 2003a. The volcano-electric effect. *J. Geophys. Res.* 108 (B5), 2251.
13. Revil, A., Naudet, V., Nouzaret, J., Pessel, M., 2003b. Principles of electrography applied to self-potential electrokinetic sources and hydrogeological applications. *Water Resour. Res.* 39 (5), 1114.
14. Thouret, J.C., Finizola, A., Fornari, M., Legeley-Padovani, A., Suni, J., et al., 2001. Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 113, 12, 1593–1610.
15. Tort, A.; Finizola, A., 2005. The buried caldera of Misti volcano, Peru, revealed by combining a self-potential survey with elliptic Fourier function analysis of topography. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 141, 283–297. doi:10.1016/j.jvolgeores.2004.11.005
16. Van Wyk de Vries, B., Kerle, N. y Petley, D., 2000. Sector collapse forming at Casita volcano, Nicaragua. *Geology* 28, 167–170.