

Estudio estructural y del sistema Hidrotermal de los volcanes Sabancaya y Hualca-Hualca mediante el método de Potencial Espontáneo.

Nino Puma¹, Orlando Macedo¹, Yovana Alvarez¹, Anthony Finizola², Domingo Ramos³

¹ Instituto Geofísico del Perú – Sede Arequipa

² Laboratoire GéoSciences Réunion - Université de La Réunion, Francia.

³ Instituto Geológico Minero Metalúrgico-OVI

Palabras clave: Anomalías de Potencial Espontáneo, sistema Hidrotermal, Zona Hidrogeológica, Zona Hidrotermal, CVAS (Complejo Volcánico Ampato - Sabancaya).

Introducción

El volcán Sabancaya, considerado el segundo volcán más activo del Perú forma parte del complejo Volcánico Ampato-Sabancaya (CVAS), está ubicado a 80 Km en dirección NNO de la ciudad de Arequipa (15°47' S; 71°72'W; 5976 msnm) en el sur del Perú (fig.1).

El presente estudio tiene como finalidad determinar estructuras importantes que se encuentran ocultas por material volcánico y el efecto que generan estas estructuras sobre la señal del Potencial Espontáneo (PE); además, estudiar el sistema hidrotermal del volcán Sabancaya, aplicando uno de los métodos geofísicos más antiguos y conocidos, pero poco usado en la vulcanología, como es el PE.

La aplicación de este método nos ha permitido conocer la estructura interna del área del CVAS y volcán Hualca-Hualca, así como determinar las dimensiones del sistema hidrotermal.

En el volcán Sabancaya se han identificado una anomalía A1 bien definida, relacionada al sistema hidrotermal propio del volcán y centrada en la cima del actual domo activo de aproximadamente 5 km de diámetro. Además, se ha identificado otra anomalía pequeña evidenciada por los perfiles, probablemente relacionada con una antigua caldera de colapso (Anthony Finizola, comunicación personal) enterrada y cubierta por nuevo material producto de las constantes erupciones, esta caldera sería permeable y facilitaría el ascenso de los fluidos con temperaturas altas a lo largo del borde de la misma, debido a pequeñas fallas, tal como ocurre en otros volcanes como la caldera Concepción de Ataco, la Caldera de Berlín (Salvador), la Caldera de Xela en Guatemala (Finizola, 2002). El modelo 3D elaborado ayuda a visualizar mejor la forma y distribución de esta caldera.

En la zona del volcán Hualca-Hualca, se distingue 2 anomalías A2 y A3. La anomalía A2 se presenta al NE del Hualca-Hualca y exhibe valores negativos, cuenta con una forma elíptica y cóncava de aproximadamente 3 km de diámetro, probablemente relacionado con la geometría subterránea del piso de una antigua caldera impermeable, donde se estaría depositando agua meteórica. La anomalía A3 localizada al NW del estrovolcán Hualca-Hualca, estaría relacionada con la presencia de una antigua caldera de colapso permeable, que permite el transporte de fluidos a través de la roca o el medio sólido.

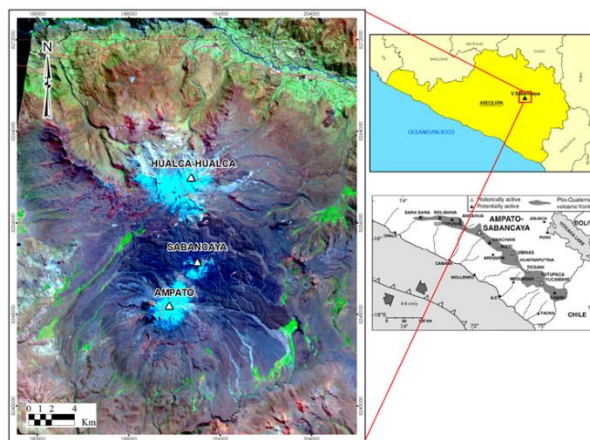


Fig. 1 – Mapa de Ubicación del CVAS y el volcán Hualca-Hualca.

Potencial Espontáneo en volcanes activos.

El método de Potencial Espontáneo (PE) es uno de los métodos eléctricos más antiguos que ha sido utilizado en prospección geofísica, se basa en el estudio de los potenciales asociados a las corrientes naturales existentes en el subsuelo.

En volcanes activos los potenciales son producidos principalmente por dos mecanismos: (1) el acoplamiento electrocinético debido a las células de convección del sistema hidrotermal asociado con

(2) de acoplamiento termoeléctrica generada por las fuentes de calor dentro del edificio volcánico (fig 2).

Aunque estas dos fuentes coexisten dentro de un sistema hidrotérmico, las consideraciones teóricas (Corwin y Hoover, 1979) sugieren que la diferencia de potencial generada por el acoplamiento electrocinético es el fenómeno esencial. De hecho, estos estudios muestran que las anomalías teóricas generadas por electrofiltración tienen una amplitud de más de un orden de magnitud mayor que el generado por acoplamiento termoeléctrico.

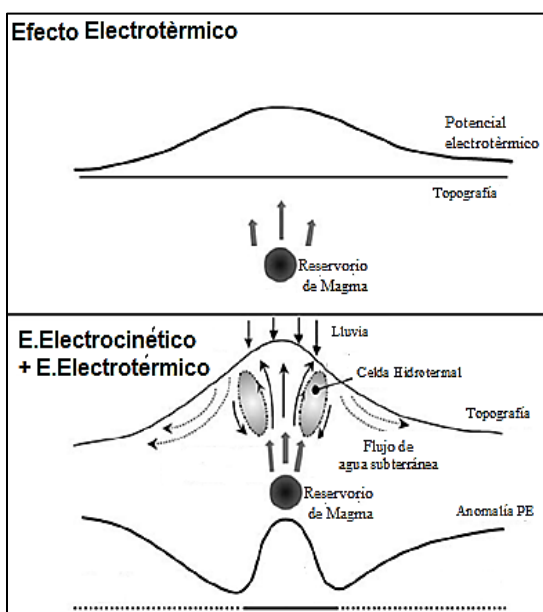


Fig. 2 – Esquema de las anomalías de Potencial Espontaneo en áreas volcánicas. a) Efecto Termoeléctrico b) Efecto Electrocinético (modificado de Zlotnicki and Nishida, 2003).

Potencial Espontaneo Aplicado al CVAS y volcán Hualca-Hualca

Las medidas de PE han sido divididas en Perfiles Radiales sobre el volcán Sabancaya (1: SE, 2: E, 3: N y 4: NW) y perfiles radiales realizados al este del volcán Hualca-Hualca (5: NNW, 5': NW, 6: NNE, 7: NE, 8: E, 9: SE, 10: SSE y 11: S) y finalmente perfiles periféricos los cuales bordean el volcán y unen los perfiles radiales (fig. 3). El paso de muestro en la toma de medidas de PE fue de 20 metros, dicha frecuencia de muestro permite tener una buena resolución y localizar límites estructurales.

En la fig. 3 se muestra, en un mapa, el resultado final del procesado de PE con las principales anomalías encontradas sobre el área volcánica estudiada.

La anomalía A1, marcada con líneas discontinuas sobre el volcán Sabancaya, tiene una forma semicircular de 5 km de diámetro aproximadamente, y bordea el volcán. Los valores PE varían entre -1200

mv al NW y 80 mv en la cumbre del volcán. Esta anomalía delimita la zona Hidrotermal (caliente) de la zona Hidrogeológica (fría).

La anomalía A2 se encuentra localizada al NE del volcán Hualca-Hualca, dicha anomalía es negativa de forma elíptica de 6 km x 3.5 km en el eje menor, presenta valores de PE con una amplitud mínima de -2200 mV.

La anomalía A3 se localiza al NW del volcán Hualca-Hualca, es una anomalía positiva de forma aún no definida, ya que la adquisición de datos aun continua en esta zona; sin embargo, es clara dicha anomalía, además cercana a esta anomalía se ubica el geiser Infiernillo.

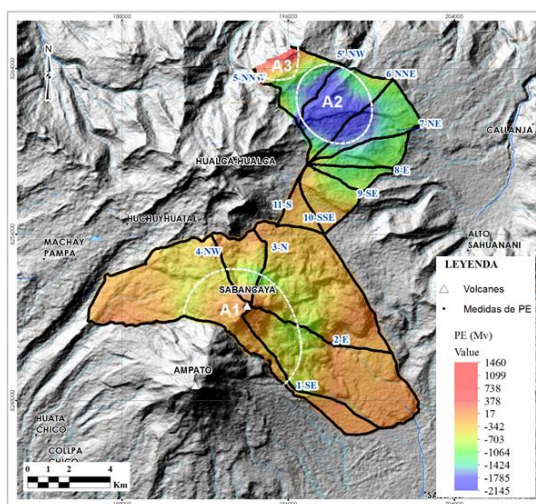


Fig. 3 – Mapa donde se muestra los perfiles y valores de PE aplicado sobre el CVAS y volcán Hualca-Hualca. Las líneas discontinuas blancas muestran las anomalías identificadas en este estudio.

Formaciones geoelectricas sobre el volcán Sabancaya

Para identificar las formaciones geoelectricas presentes en el volcán Sabancaya, se calcula el coeficiente de electrofiltración $C_e = \Delta V / \Delta h$, o gradiente de potencial. El C_e corresponde a la variación del potencial (ΔV) respecto a la variación de la altura (Δh);(Jackson & Kauahikaua, 1987). Gracias al C_e se puede caracterizar las zonas litológicas presentes en el edificio volcánico ya que el PE de electrofiltración depende de la porosidad y permeabilidad de las rocas, así como la composición y temperatura de los fluidos presentes. Se identificaron 3 zonas:

- 1) Zona Hidrogeológica (Hz) donde se distinguen 3 horizontes geoelectricos (Hz1, Hz2, Hz3) y un horizonte definido como Zona conductiva (Cz).
- 2) Zona de Transición (TZ).

3) Zona Hidrotermal que se divide en 2 horizontes geoelectricos: zona de baja convección (Lcz) y la zona de alta convección (Ucz) (ver fig. 4).

Discusión de Resultados

La anomalía positiva A1 encontrada sobre el volcán Sabancaya es típico de volcanes activos andesíticos (Finizola, 2002), tales como los volcanes Misti, Ubinas y Ticsani en el sur del Perú; dicha anomalía estaría asociada al sistema hidrotermal generado por el ascenso y descenso de los fluidos bajo el volcán, gracias a la presencia del calor generado por la cámara magmática, ver fig. 3.

La anomalía negativa muy pronunciada A2 ubicada al NE del volcán Hualca-Hualca (ver fig. 4), probablemente relacionado con la geometría subterránea del piso de una antigua caldera impermeable donde se estaría depositando agua meteórica. Con el objetivo de determinar el espesor de la zona vadosa (zona no saturada) y ubicar en profundidad la zona saturada que a su vez nos ayuda a visualizar la geometría o forma de la caldera, se toma como referencia el estudio realizado en el complejo volcánico Tenerife, donde se muestra una anomalía muy similar al hallado A2 y se ha elaborado un Modelo Teórico en 3D de la anomalía negativa presentada en el Volcán Hualca-Hualca (ver fig. 5).

La anomalía positiva A3, no se encuentra definida en su forma; sin embargo, es muy clara y es evidenciada por la presencia de la fuente termal del geiser de infiernillo. Dicha anomalía podría estar relacionada con la presencia de una antigua caldera de colapso ubicada al norte del volcán Hualca-Hualca y que permite el transporte de fluidos a través de ña roca porosa o fracturada (ver fig. 3).

Sobre los gradientes de potencial y las formaciones geoelectricas (fig. 6) encontradas sobre el volcán Sabancaya y principalmente sobre la zona Hidrogeológica (fig. 6: color celeste), que se le denominó Cz (zona convectiva – color amarillo en fig. 7), dicha formación o zona está presente en los 4 perfiles y con mayor notoriedad en los perfiles 1 y 2. Esta zona convectiva favorecería el ascenso de fluidos calientes por las pequeñas fallas o fisuras anulares y esto generaría dicha anomalía en esta zona de dominio Hidrogeológico. Esta zona convectiva estaría relacionada a una antigua caldera de colapso, enterrado posteriormente con nuevos materiales volcánicos, producto de las numerosas erupciones que sucedieron (ver fig. 6).

Se presenta un modelo en 3D de las dos anomalías positivas encontradas sobre el volcán Sabancaya (fig.7). La primera relacionada al sistema hidrotermal

propio del volcán y centrada en la cima del actual domo activo de aproximadamente 5 km de diámetro. La segunda estaría relacionada a una antigua caldera de colapso enterrada, tal como ocurre en otros volcanes como la caldera Concepción de Ataco, la Caldera de Berlín (Salvador), y la Caldera de Xela en Guatemala (Finizola, 2002).

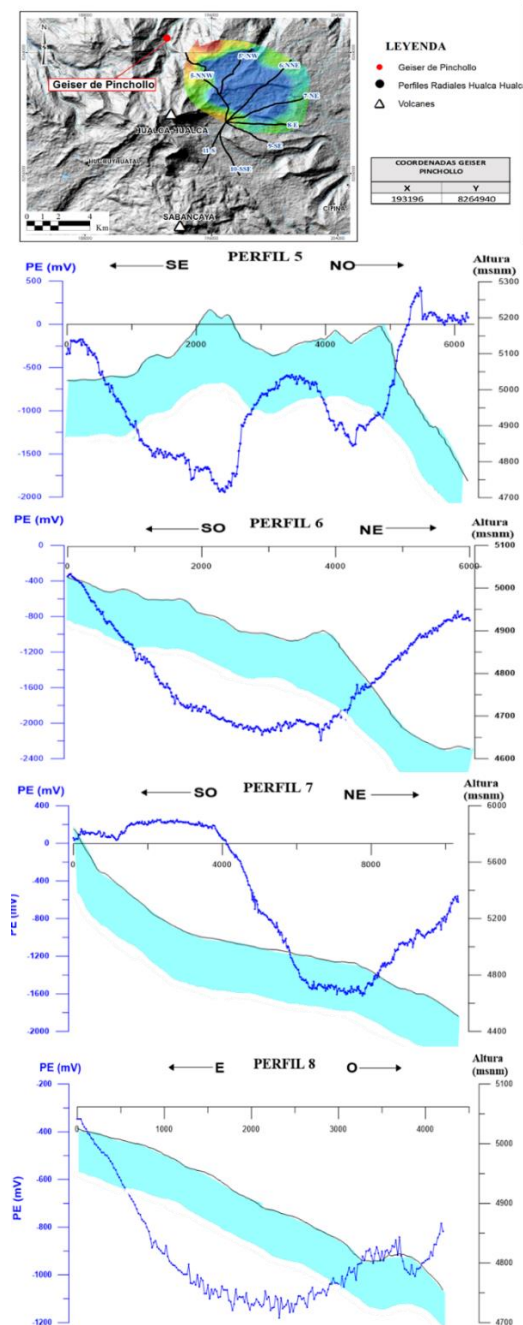


Fig. 4 –Anomalías negativa de PE al NE del Hualca-Hualca y perfiles de PE (línea azul) en función de la altura sobre dicha anomalía (perfil topográfico línea negra achurada de celeste).

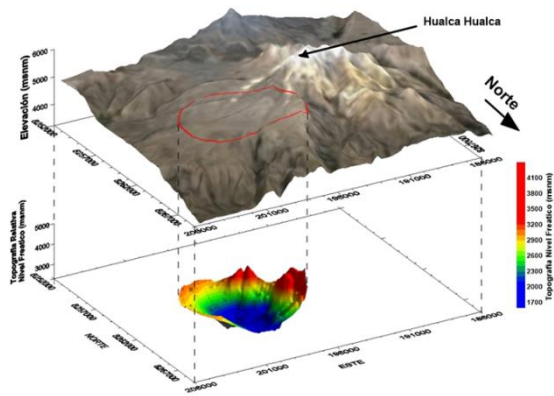


Fig. 5 – Modelo 3D teórico de la anomalía observada al NE del volcán Hualca-Hualca.

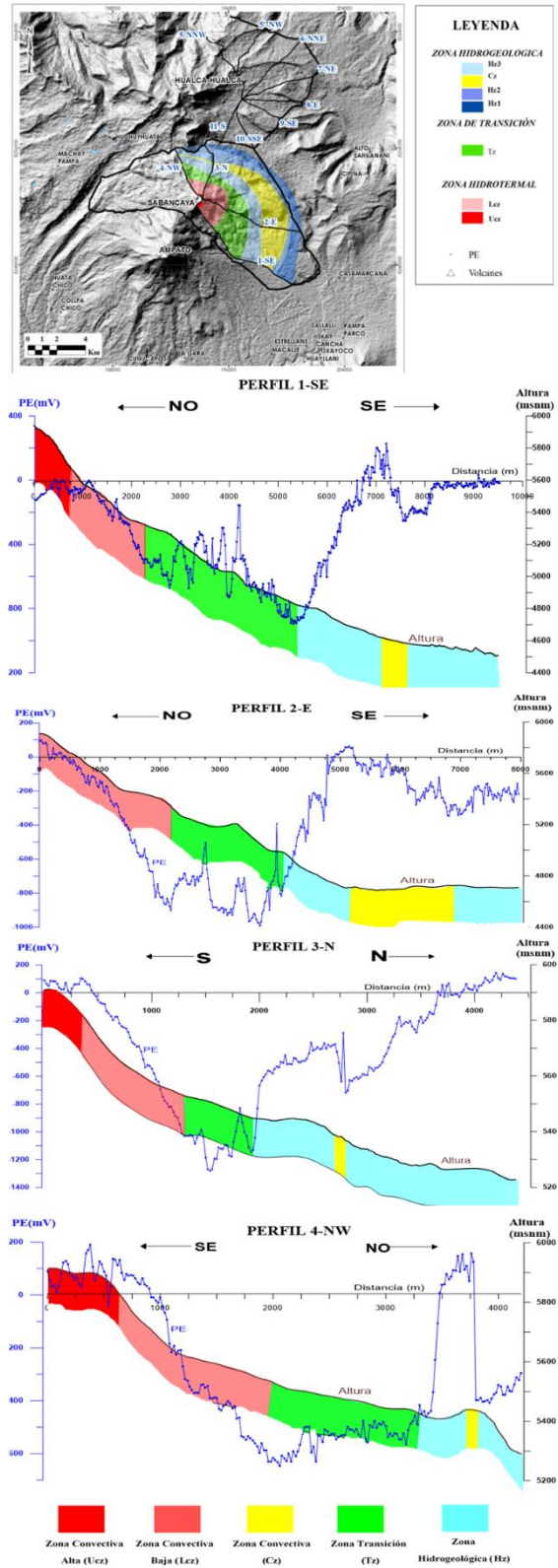


Fig. 6 –Gradiente de potencial sobre el volcán Sabancaya. Las líneas azules representan los perfiles de PE y las líneas negras los perfiles topográficos con sus respectivas alturas y distancias.

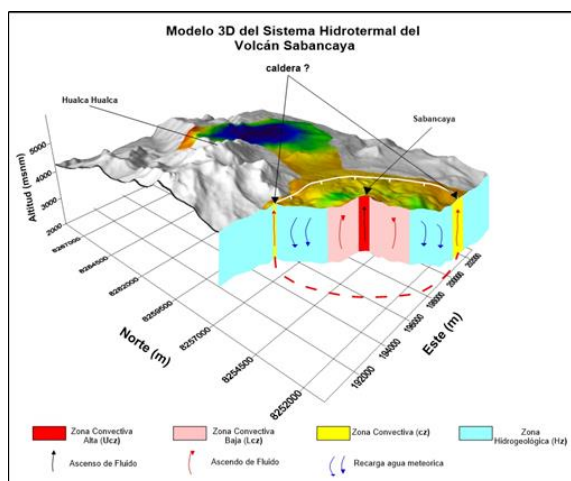


Fig. 7 – Modelo-3D del Sistema Hidrotermal y de la probable caldera de colapso enterrada en el volcán Sabancaya.

Conclusiones

- El método de Potencial Espontaneo ha permitido conocer la extensión y estructura del Sistema Hidrotermal del volcán Sabancaya.
- Sobre el volcán Sabancaya se identificaron 2 zonas anómalas; la primera originada por el sistema Hidrotermal (A1) y la segunda más pequeña, estaría relacionada al límite del colapso de una antigua caldera.
- En el área cercanas al volcán Hualca-Hualca se identificaron 2 anomalías. La anomalía negativa (A2) al NE del volcán de y de forma elíptica, está relacionada a la presencia de una antigua caldera impermeable, sirviendo como reservorio de la capa freática. La anomalía positiva A3 al NW del Hualca-Hualca, estaría relacionada a la presencia de una antigua caldera de colapso permeable que permite el transporte de fluidos a través de la roca o el medio sólido.
- El modelo 3D para el volcán Sabancaya permitió identificar la dimensión del sistema hidrotermal y distinguir la antigua caldera, cubierta por posteriores erupciones a lo largo de la formación del volcán.
- El modelo teórico 3D, elaborado para el volcán Hualca-Hualca, ayudó a visualizar la forma topográfica de la capa freática, la cual sobre yace a una posible antigua caldera cubierta por erupciones posteriores.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Geofísico del Perú (IGP)-Sede Arequipa por permitirme laborar y utilizar los datos de PE. Al Dr. Orlando Macedo Sánchez investigador Principal del IGP-Sede Arequipa, por sus consejos y sugerencias valiosas y al Dr. Anthony Finizola resolver mis dudas sobre PE y por ser un amigo. Al Ingeniero Domingo Ramos del INGEMMET-OVI por el esfuerzo y trabajo dedicado en la toma de datos

Referencias

Corwin, R. F., and D. B. Hoover (1979), The self-potential method in geothermal exploration, p.226 – 245.
 Jackson D. & Kauahikaua, J. (1987). Regional self-potential anomalies at Kilauea Volcano. USGS Profesional Paper, 1350, 947-959.
 Finizola A. (2002). Estudio del Sistema Hidrotermal de Volcanes Activos Misti (Perú) y Estromboli (Italia). Tesis Doctoral: Especialidad Vulcanología. Universidad Blas Pascal Clermont-Ferrand II-Arequipa ,205p.
 Zlotnicki, J., and Nishida Y. (2003). Review on morphological insights of Self-Potential anomalies on volcanoes.