

Estudio del sistema hidrotermal y estructural del volcán Ticsani mediante el método de Potencial Espontáneo

Ivonne Lazarte Zerpa¹, Anthony Finizola², Domingo Ramos¹

¹ Observatorio Vulcanológico del IGEMMET, Arequipa, Perú -ivonnellazarte@ingemmet.gob.pe

²Laboratoire GéoSciences Réunion, Université de la Réunion, Institut de Physique du Globe de Paris, Sorbonne Paris-Cité, UMR 7154 CNRS, Saint-Denis, La Réunion, Francia.

Palabras clave: Volcán Ticsani, sistema hidrotermal, potencial espontáneo, limites estructurales.

1. Resumen

Este trabajo presenta una investigación llevada a cabo en el volcán Ticsani ubicado en el segmento norte de la Zona Volcánica de los Andes Centrales (70 ° 36'O, 16 ° 44'S, 5408 m). El objetivo de este trabajo es estudiar la estructura del volcán Ticsani, por el intermedio del método de Potencial Espontáneo (SP). Se realizaron 5850 medidas en todo el complejo volcánico del Ticsani.

En base a estos datos, se ha identificado 2 zonas de mayor interés: (1) una transición entre las anomalías de la zona Sur y Norte, relacionada con una estructural importante de colapso lateral del complejo Norte del volcán hacia el oeste y (2) una zona de subida preferencial de fluidos hidrotermales a lo largo de una estructural de forma cuasi elíptica, relacionada a una posible caldera en el área de la cumbre.

La originalidad de este estudio ha sido de evidenciar que no existe una anomalía positiva en la cumbre del volcán Ticsani (como identificado de forma "clásica" en otros volcanes del Perú; como El Misti o el Ubinas), pero tener una anomalía positiva que está bordeando la parte de la cumbre. Este resultado ha permitido mostrando que el complejo de domos que constituye el volcán Ticsani, tiene una estructura interna que drena los fluidos hidrotermales de forma más compleja que otros estratovolcanes como El Misti o el Ubinas. La localización de estas anomalías positivas de SP podrán ser utilizadas en el futuro para colocar instrumentación de monitoreo del sistema hidrotermal del volcán Ticsani.

2. Introducción

El Perú cuenta con 7 volcanes que han tenido actividad eruptiva durante la época colonial (El Misti, Ubinas, Sabancaya, Huaynaputina, Ticsani, Tutupaca y Yucamane) y por lo tanto son considerados como "históricamente activos". Durante los últimos siglos, y en particular durante la segunda mitad del siglo XX, se ha desarrollado una población e infraestructura importante, en el área de influencia de dichos

volcanes, la cual se vería seriamente afectada en caso de una reactivación de cualquiera de estos volcanes. La investigación realizada ha sido enfocada al conocimiento de la estructura interna del volcán Ticsani con el estudio de su sistema hidrotermal. Tal información tiene como perspectiva futura el mejoramiento del monitoreo de este volcán que tiene en un radio de 20km cerca de 14 mil habitantes.

3. Ubicación

El volcán Ticsani se encuentra en la Zona Volcánica Central (ZVC), resultado de la subducción de las placas de Nazca bajo la placa Sudamericana. El volcán Ticsani tiene como coordenadas 16°46'03'' S 70°35'59''O con una altura de 5408 metros sobre el nivel del mar. (ver Fig.1).

Políticamente el volcán Ticsani pertenece a la provincia General Sanchez Cerro provincia distrital del departamento de Moquegua a 60 km de la ciudad de Moquegua.

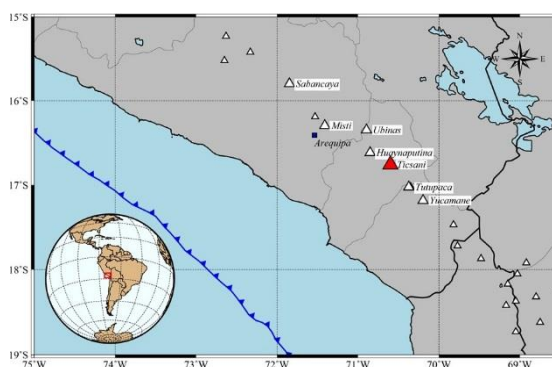


Fig. 1 – Mapa de ubicación regional del volcán Ticsani

4. Adquisición de datos y procesamiento

Las mediciones de potencial espontáneo se llevaron a cabo durante dos campañas de campo en los años 2009 y 2011. Se realizaron 5850 medidas de potencial espontáneo al largo de 15 perfiles (ver Fig.2),

conectando la base del volcán con ambas de las 2 cumbres principales, con un paso de muestreo en las medidas de 25 m. Estos perfiles también fueron conectados por un perfil circular cerrado, con paso de muestreo de 50m, en la base del volcán.

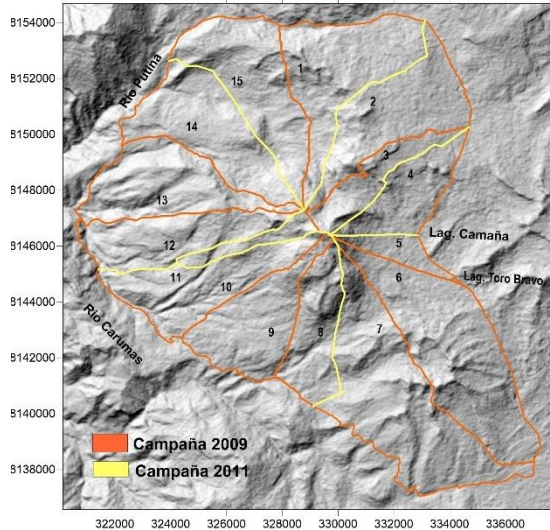


Fig. 2 Mapa con perfiles, que se realizaron en dos campañas. El perfil naranja se realizó 2009 y el amarillo se realizó en 2011.

Para las mediciones de campo, es necesario al menos 2 personas. El primero se ubica en el punto de partida con el electrodo fijo, el segundo, avanza portando el cable y haciendo las mediciones con el electrodo móvil y el voltímetro a la distancia correspondiente. Las mediciones se realizan por simple contacto entre los electrodos y el suelo. Sin embargo, para mejorar este contacto, se hace un hoyo de aproximadamente 15 cm en el suelo a fin de lograr cierta humedad natural y mejorar el contacto. Al terminarse la longitud del cable, se rebobina, se recupera el electrodo fijo y se inicia un nuevo tramo. Todos los perfiles constituyen circuitos cerrados para luego realizar correcciones de cierre, calcular y repartir de esta forma la deriva temporal de la señal de SP.

Una vez obtenidos los datos podemos realizar un primer control de calidad de datos observando los valores de la resistencia. Cuando el potencial está directamente influenciado por la resistencia, y que no se tomó la decisión de mejorar las medidas en el campo (mejorando el contacto electrodo-suelo) hay que sacar los datos que causan problemas; se sacaron de esta forma los perfiles 2 y 15 (Fig. 2).

Los datos han sido tratados de forma clásica según el método propuesto en el tutorial de tratamiento de los datos de SP (Barde-Cabusson and Finizola, 2013). Las correcciones de cierres han sido realizadas primero en el perfil periférico de base, luego en el sector sur y finalmente en el sector norte.

Se tomo como potencial de referencia (0 mV) un punto que tenga un significado hidrogeológico; la laguna Camaña que se encuentra en la base del flanco Este del volcán.

Los datos han sido luego interpolados en 2 etapas (1- con un paso regional (250m) y 2- con un paso más pequeño (50m), escogiendo cada vez, como método de interpolación el método de “Krigging”. Esta técnica de interpolación en 2 etapas permite de no generar señal de alta frecuencia y tomar en cuenta en la interpolación una distribución espacial de los datos bastante heterogénea.

El mapa interpolado de SP está presentado en la fig. 3.

5. Resultados y discusión

El mapa de SP de la figura 3 muestra dos zonas distintas; (1) una zona sur con anomalías positivas que llegan a los valores más alto del mapa (~2000-2800 mV), y (2) una zona norte con anomalías positiva que llegan a valores de amplitud menor (entre ~1500 y 1700 mV).

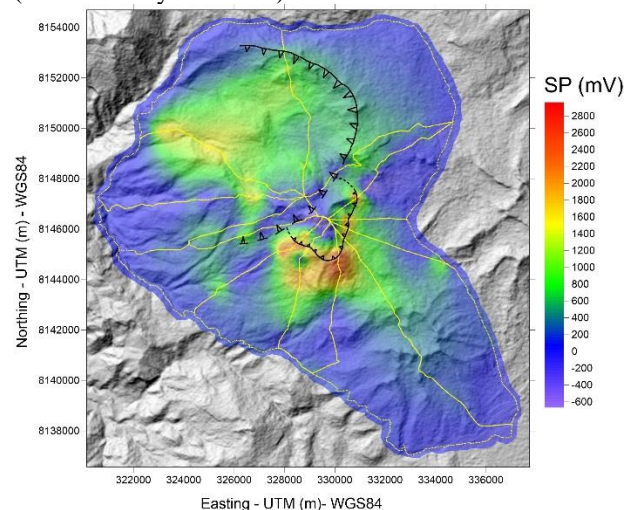


Fig. 3- Mapa de Potencial Espontáneo del volcán Ticsani sobrepuesto en el modelo numérico de terreno.

5.1. Zona sur del volcán Ticsani

El mapa de SP del volcán Ticsani tiene como originalidad de no tener las “clásicas” características geoelectricas de los volcanes El Misti (Finizola et al., 2004) o Ubinas (Gonzales et al., 2014); Efectivamente, cruzando de un flanco al otro el edificio volcánico del Ticsani pasando por la cumbre, no se obtiene el “tradicional W”, cuales mínimos de SP permiten delimitar la transición lateral entre (1) sistema hidrogeológico en la base del edificio (2) del sistema hidrotermal centrado en la cumbre del volcán y presentando anomalías positivas (Ishido, 2004; Lénat, 2007).

En el caso del volcán Ticsani, las 2 cumbres del edificio están asociadas con anomalías negativas, mostrando una circulación de los fluidos hidrotermales más compleja del clásico modelo de circulación hidrotermal.

La zona Sur está cruzada por 7 radiales, mostrando en cada radial, una anomalía positiva situada a alrededor de 1-1,5km de la cumbre (Fig.3).

La forma cuasi elíptica descrita por estas anomalías positivas, sugiere que estas anomalías podrían ser asociada a un antiguo límite de caldera.

La presencia de anomalía positiva de SP podría explicarse como un límite más permeable que permitiría el ascenso preferencial de vapor a lo largo de este límite estructural. Estructuras similares de calderas permitiendo el ascenso preferencial de fluidos asociados con anomalías positivas de SP han sido descritas por ejemplo en Guatemala, en el complejo volcánico Santa Maria – Cerro Quemado – Zunil y caldera de Xela (Bennati et al., 2011).

Por otro lado, la ausencia de anomalía positiva en la cumbre del volcán, podría explicarse con la presencia, en la parte interna de esta caldera, de un nivel impermeable, sellado, que no permitiría al vapor de agua de subir adentro de esta caldera de forma vertical hasta la superficie, pero solamente utilizando las fallas bordeando esta caldera.

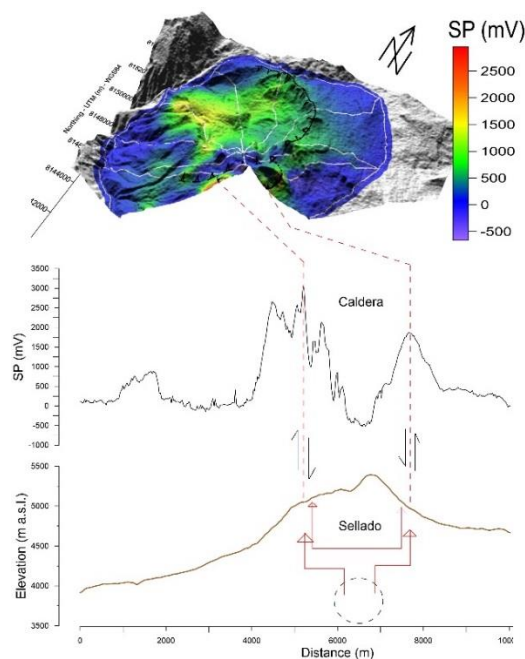


Fig. 4– Vision 3D con corte sur del mapa de potencial espontaneo (que pasa por las radiales 10 y 5). Perfil de SP en relación a la distancia y perfil de elevación en relación a la distancia con esquema interpretativo de la circulación de fluidos asociado a las medidas de SP.

La figura 4 muestra un corte en la zona Sur del mapa de SP (en los perfiles radiales 10 y 5) con la posible interpretación discutida en el párrafo anterior.

1.2. Zona norte del volcán Ticsani

La continuidad de la anomalía positiva de SP que se encontró en la zona sur del volcán Ticsani, no sigue claramente en dirección de la zona norte.

La transición entre estas 2 zonas es bastante rápida y encuentra su explicación en el mapa geológico (ver Fig. 5).

Efectivamente, la zona Norte del Ticsani está asociada con una gran estructura de colapso de alrededor de 7 km de diámetro, orientada hacia el oeste.

Esta estructura visible en la morfología del edificio, está también identificada en los depósitos de la historia geológica del edificio del volcán Ticsani (Mariño et al., 2009).

La comparación entre geomorfología y mapa de SP muestra la influencia de esta estructura de colapso sobre la circulación actual de los fluidos entre el sur y el norte del complejo volcánico.

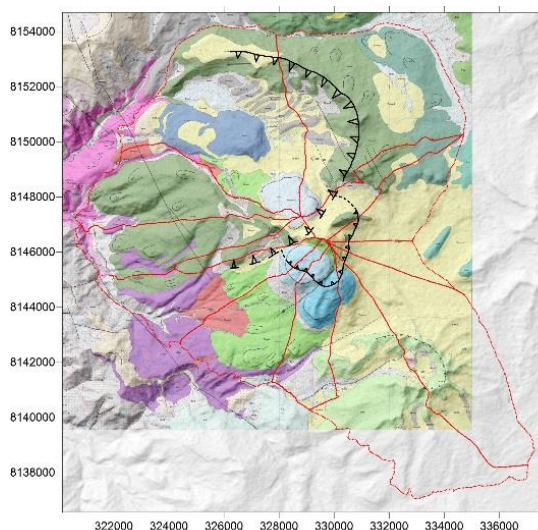


Fig. 5– Ubicación del área estudiada en el mapa geológico simplificado del volcán Ticsani, (modificado de Mariño et al. 2009). Estructura de colapso presente en la zona norte y máximo de las anomalías positivas de SP presente en la zona Sur.

En la zona Norte del edificio del Ticsani, la distribución de las anomalías de SP parece comportarse más como un sistema hidrogeológico, que como una zona de ascenso preferencial de fluido como la zona Sur; (1) la zona de la cumbre está asociada con anomalía negativa, y (2) la señal de SP tiene una tendencia a aumentar en las varias radiales con la disminución de altitud.

La fluctuación de los valores de SP se puede entonces explicar con modelos hidrogeológicos clásicos de variación de espesor de la zona vadosa, es decir del espesor entre la superficie y la zona saturada en agua. La zona Norte teniendo como característica de ser

asociada con cryptodomas, se puede explicar la señal de potencial espontáneo de forma hidrogeológica, considerando la infiltración de agua de lluvia desde la superficie hasta llegar a un nivel impermeable que podría ser en nuestro caso es techo del cryptodomo. Esta explicación esta propuesta en la figura 6. Se puede notar que en este caso, la bajada de forma abrupta de la señal de SP podría ser asociada al borde del cryptodomo (ver Fig.6)

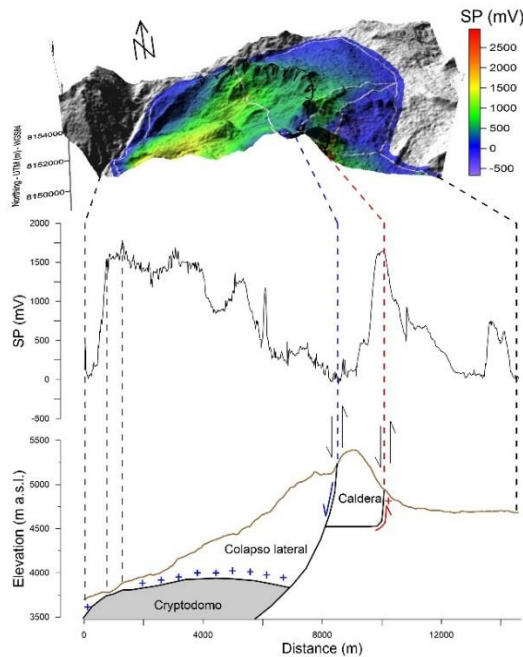


Fig 6. – Vision 3D con corte norte del mapa de potencial espontáneo (que pasa por las radiales 14 y 6). Perfil de SP en relación a la distancia y perfil de elevación en relación a la distancia con esquema interpretativo de las estructuras asociadas a las medidas de SP.

6. Conclusiones

Gracias al mapa de SP se ha identificado claramente en el complejo de domos del volcán Ticsani dos sectores:

- (1) una zona Norte delimitada por una gran estructura de colapso de ~7km de diámetro, ya conocida con los estudios geológicos anteriores, y en la cual son presente cryptodomas, que podrían explicar, con características hidrogeológicas, la señal de SP y
- (2) una zona Sur, caracterizada por ascenso de fluidos a lo largo de un límite probable de una antigua caldera, de unos 2-3 km de diámetro. Este límite estructural no estaba conocido de los estudios geológicos anteriores.

En base a la interpretación del mapa de SP, la parte Sur del edificio del Ticsani parece ser más activa de un punto de vista hidrotermal que la parte Norte.

En esta misma parte Sur del Ticsani, se tendría que proponer una zona sellada que no permite al vapor de agua de subir hasta la superficie, para poder explicar la ausencia de anomalía positiva de SP baja la cumbre Sur del volcán.

Referencias

- Barde-Cabusson S., Finizola A., (2013). Tutorial for Self-Potential data processing I; Data correction. 18pp.
- Bennati L., Finizola A., Walker J., Lopez D., Higuiera-Diaz C., Schütze C., Barahona F., Cartagena R., Conde V., Funes R., Rios C. 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.
- Finizola A., Lénat J-F., Macedo O., Ramos D., Thouret J-C., Sortino F., (2004). Fluid circulation and structural discontinuities inside Misti volcano (Peru) inferred from self-potential measurements. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 135-4, 343-360.
- Gonzales K., Finizola A., Lénat J-F., Macedo O., Ramos D., Thouret J.-C., Fournier N., Cruz V., Pistre K. (2014). Asymmetrical structure, hydrothermal system and edifice stability: the case of Ubinas volcano, Peru, revealed by geophysical surveys. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 276, 132-144.
- Ishido, T. (2004). Electrokinetic mechanism for the “W”-shaped self-potential profile on volcanoes. *Geophysical Research Letters*, 31(15).
- Mariño, J., Cacya, L., Rivera, M., Thouret, J.-C. (2009) Mapa Geológico del Volcán Ticsani. INGEMMET Arequipa.
- Lénat, J. F. (2007). Retrieving self-potential anomalies in a complex volcanic environment: an SP/elevation gradient approach. *Near Surface Geophysics*, 5(3), 161-170.