

OBSERVACIONES ELECTROMAGNETICAS Y GEOTERMALES EN VOLCANES ACTIVOS, VOLCÁN MISTI (PERÚ) Y VOLCÁN ASO (JAPÓN)

Liliana Torres¹, Tsuneomi Kagiya² y Hernando Tavera¹

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

² AVL, Graduate School of Science, Kyoto University, Kumamoto 869-1404, Japan.

Email: liliana.torres@igp.gob.pe, hjtavera@geo.igp.gob.pe, kagiya@aso.vgs.kyoto-u.ac.jp

INTRODUCCIÓN

El monitoreo geofísico de volcanes activos conlleva a abordar estudios sobre los cambios físicos y químicos que puedan darse en su interior y que la mayoría de ellos puedan ser detectados únicamente por instrumentos extremadamente sensibles como los data-logger UTL-1, VLF-MT y cámara infrarroja “Thermo Tracer TH7102MV” para observaciones geotérmicas y electromagnéticas de ahí su aplicación al estudio de volcanes.

El Volcán Misti, situado en la Zona Volcánica Central de la Cordillera de los Andes (16°17'40"S, 71°24'32"W; 5822 m.s.n.m.) al sur de Perú y a 17 km al NE de la ciudad de Arequipa (Figura 1). El crecimiento del volcán Misti se ha realizado en cuatro etapas como resultado de la emisión de flujos de lavas y piroclásticos, y caídas de depósitos, pudiéndose identificar las siguientes etapas Misti-1 (833 ka), Misti-2 (112 ka), Misti-3 (40 ka) y Misti-4 (desde 11 ka hasta el presente) (Thouret et al., 2001). El volcán Misti presenta una permanente actividad fumarólica y después del sismo del 2001 (8.2 Mw), la pluma fumarólica tuvo un incremento en altura de 30 veces su estado normal, así como su flujo y temperatura de las aguas termales. En el domo del volcán la temperatura se incremento de 220°C en 1998 a un máximo de 430°C al 11 de Setiembre de 2001 (http://www.igp.gob.pe/vulcanologia/Volcanes_Peru/Misti/HTML/htdocs/antecedentes.htm).

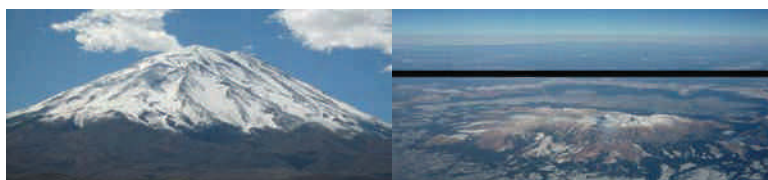


Figura 1. Vista del volcán Misti, Agosto 2009 (izquierda) y vista del volcán Aso, Marzo 2007 (derecha)

El Volcán Aso (32°52'51"N 131°6'23"E) emplazado en el Frente Volcánico Oeste de Japón (parte central de la isla de Kyushu al suroeste de Japón), es considerado como una de las calderas volcánicas más grandes del mundo debido a su diámetro norte-sur de 25km y este-oeste de 18km. La Caldera Aso se formó en cuatro grandes erupciones explosivas ocurridas desde hace 270 000 hasta 90 000 años atrás, con voluminosos flujos piroclásticos que cubrieron gran parte de la zona central de Kyushu. Los depósitos de flujos se dividen en cuatro unidades: Aso-1 (270 ka), Aso-2 (140 ka), Aso-3 (120 ka) y la Aso-4 (90 ka) en orden ascendente (Ono et al., 1977). El volcán Aso tiene más de 10 conos centrales distribuidos en dirección E-O: desde el Este, se tiene a los conos Takadake, Nakadake, Ojodake, Kishimadake, Kusasenri, etc. (Figura 1). De estos conos el único activo (parte central) es el volcán Nakadake compuesto de andesita basáltica a basalto, y formado por cuatro cráteres principales distribuidos de NNO a SSE, estando el primer cráter lleno de agua caliente y ácida durante los periodos de calma.

Estas evidencias presentes en los 2 volcanes, sugieren que la observación geotermal es adecuada para el monitoreo de volcanes activos, así como la electromagnética, porque ambas dependen principalmente del estado térmico del cuerpo volcánico.

Los objetivos principales de este estudio son determinar en el Volcán Misti 1) la ubicación de las fuentes que controlarían el sistema hidrotermal y 2) las anomalías geotermales (>1watt/m²). En el Volcán Aso 3) detectar la propagación de las aguas hidrotermales en el volcán, 4) las anomalías geotermales (>100watt/m²)

y 5) los cambios de la actividad geotermal en el 1er cráter del Nakadake.

Además, se pretende demostrar la eficiencia de los métodos de Potencial Espontáneo (PE), Very Low Frequency–Magnetotelluric (VLF-MT), geotermales e infrarrojas para el monitoreo de volcanes activos.

VOLCÁN MISTI (PERÚ)

ESTUDIOS DE POTENCIAL ESPONTÁNEO (PE)

Para estimar la existencia de posibles fuentes que controlarían el sistema hidrotermal en el volcán Misti, se tomo como base la cartografía del PE realizada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el Institut de Recherche pour le Développement (IRD) en los años 1997 y 1999 (Ramos, 2000 y Finizola, et al., 2004). Utilizando los perfiles radiales de PE se determinó el campo eléctrico y luego al realizarse la inversión 2-D de la resistividad, se obtuvo como resultado la ubicación e intensidad de la fuente que controlaría el sistema hidrotermal (Hase, 2004); es decir las fuentes de corrientes de potencial. Estas fuentes no definen el mecanismo de generación de la anomalía, pero proporcionan información sobre el flujo del agua subterránea o del sistema hidrotermal correspondiente al subsuelo. Bajo la parte central del volcán (Figura 2) dos fuentes positivas han sido identificadas a alturas de 4500m y 5200m respectivamente. La intensidad de la corriente en cada fuente es de 225A y 50A, aunque para nuestro modelo se debe considerar una resistividad uniforme del terreno del orden de $1K\Omega m$, este valor es asumido de estudios de resistividad previos realizados en el volcán Aso.

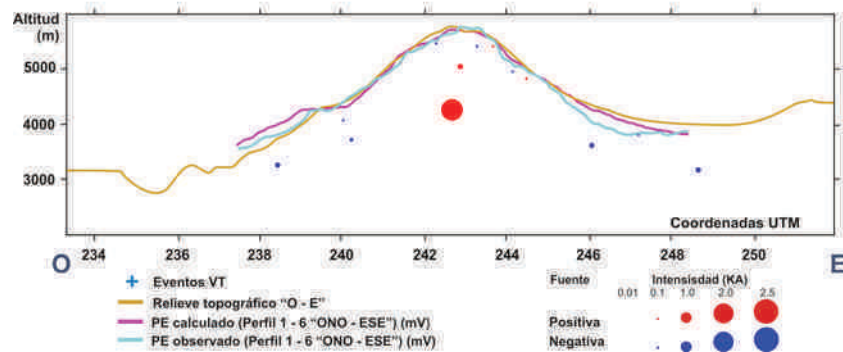


Figura 2. Distribución de las fuentes en el interior del volcán. Las dos fuentes positivas situadas por debajo del volcán, indicaría la existencia de surgencias hidrotermales. Perfiles radiales 1 - 6 de Finizola et al., (2004).

La correlación existente entre la actividad sísmica y la distribución de fuentes positivas de PE, tiene coherencia con la ubicación de los epicentros de eventos Volcano Tectónicos (VT) (Llerena, 2005) y las fuentes positivas mayores de PE, tanto trasversal como en profundidad.

ESTUDIOS DE GEOTEMPERATURAS

En general, es conocido que la temperatura del suelo a un metro de profundidad disminuye con la altura a razón de 3 ó $5^{\circ}C/km$, tal como se observo en los volcanes Kirishima, ($5,8^{\circ}C/km$) y Fuji ($4,0^{\circ}C/km$), la temperatura a 1m de profundidad es más estable y permite detectar bajos niveles de anomalía geotérmica. Fukitomi (1962) presento la siguiente relación lineal para la variación del gradiente de temperatura respecto a la altura, $(dT/dz)_i - (dT/dz)_0 = R(T_i - T_0)$, donde T es la temperatura a 1m de profundidad y R (cm^{-1}) es la constante definida empíricamente, a partir de consideraciones teóricas y observaciones de campo. Como parte del proyecto “Water Resources and Hydrovolcanic Risk Prevention in Active Tropical Stratovolcanoes” a cargo del Dr. David Palacios de la Universidad Complutense de Madrid, en el volcán Misti se instalaron tres termómetros sobre el flanco noroeste y la información recolectada ha sido analizada en este estudio.

Para el volcán Misti, en la Figura 3 se muestra la variación de la relación entre la temperatura del suelo vs. la elevación de dos temperaturas (4870m y 5400m), pudiendo ser estas consistentes con los valores observados en otros volcanes de Japón (Kagiya, 1981), aunque la temperatura en la cima del volcán Misti (5750m) es

demasiado alta por encontrarse en una zona muy próxima al domo del volcán que permanentemente está emitiendo fumarolas, siendo estos resultados referenciales. La tendencia de los volcanes Kirishima y Fuji muestran como la temperatura decrece conforme aumenta la altura y si trazamos líneas paralelas a sus tendencias, se puede estimar un ΔT para el volcán Misti que se define por $6,8^{\circ}\text{C}$ mínimo y $7,9^{\circ}\text{C}$ máximo, causando una anomalía del orden de $5\text{-}6\text{watt/m}^2$ para esta zona del volcán.

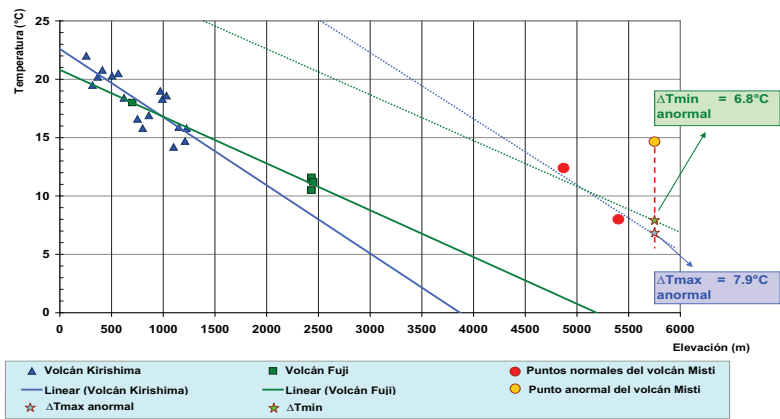


Figura 3. Variación de la temperatura del suelo a 1 m de profundidad en los volcanes Kirishima (azul) y Fuji (verde) y a 30cm de profundidad en el volcán Misti

VOLCÁN ASO (JAPÓN)

ESTUDIOS DE MUY BAJA FRECUENCIA – MAGNETOTELÚRICO (VLF-MT)

Debido a que la resistividad de la roca es altamente dependiente de la temperatura, su monitoreo temporal en volcanes, permite considerar al método VLF-MT como útil para examinar procesos térmicos en volcanes (Nagata, 1937, Keller y Frischknecht, 1966; Parkhomenko, 1967). Este método ha sido aplicado en el volcán Aso para conocer la distribución de la resistividad eléctrica entre los meses de Mayo y Agosto de 2009. Durante este periodo se realizaron medidas en 61 sitios, incluidos 27 alrededor del primer cráter del volcán Nakadake y otros cerca de los volcanes Ojodake, Kishimadake, Kusasenri y Nakadake.

Cerca del primer cráter del volcán Nakadake, los valores de resistividad son inferiores a $10\Omega\text{m}$ y en el tercer y cuarto cráter del orden de $<30\Omega\text{m}$. Estos dos cráteres no tienen actividad térmica, pero la actividad hidrotermal podría contribuir a la baja resistividad.

En la parte oriental y norte del volcán Nakadake la resistividad aparente es inferior a $100, 200$ y $300\Omega\text{m}$; mientras que, en las proximidades de los volcanes Ojodake, Kishimadake y Kusasenri se observa una alta resistividad ($1000, 3000\Omega\text{m}$). Estos tres últimos volcanes se encuentran en periodo de calma y están situados en la parte occidental de la post-caldera del volcán Aso. Estas observaciones sugieren que el fluido hidrotermal del primer cráter fluye corriente abajo, a través de las capas de agua subterránea, lo cual obedece a la tasa de flujo de las aguas hidrotermales a profundidad.

IMÁGENES INFRARROJAS, CRÁTER NAKADAKE

La observación infrarroja se ha aplicado al primer cráter del volcán Nakadake. En la Figura 4 se muestra la imagen infrarroja (IR) y la imagen visual de la zona anómala y en ella se observa que la temperatura para cuatro puntos típicos es como sigue:

- Punto a (fumarolas a alta temperatura): 367.5°C
- Punto b (Lago del cráter): 55.0°C
- Punto c (Pared del cráter sureste): 34.6°C
- Punto d (pared del cráter suroeste): 37.2°C

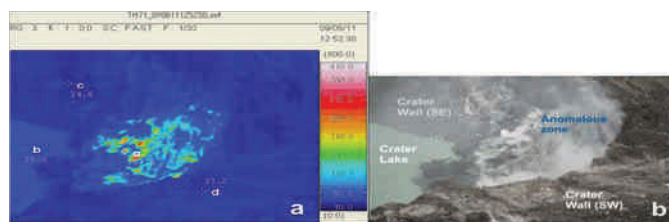


Figura 4. (a) Imagen IR del primer cráter del Nakadake, tomada el 11 de Agosto de 2009, (b) Imagen visual

La disponibilidad de datos de temperatura para los periodos 26/12/2008 y 11/08/2009 en el primer cráter del volcán Nakadake permitió realizar la comparación de los valores de temperatura. En este caso, la temperatura máxima ($\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_0$) sugiere un decrecimiento de 547°C a $377,3^{\circ}\text{C}$ en la región anómala, por lo tanto hubo una mayor actividad geotérmica para el periodo diciembre 2008 que para el periodo agosto 2009.

CONCLUSIONES

El método de PE ha permitido demostrar que el volcán Misti podría ser controlado por dos fuentes termales localizadas a 1.3 y 0.6 km de profundidad desde la cumbre del cráter, siendo coherentes con la ubicación de los hipocentros de los eventos VT. Los datos de temperatura indican que ellas decrecen normalmente de acuerdo con la elevación; mientras que, en el cráter se identifica una anomalía significativa del orden de $5\text{-}6\text{watt/m}^2$.

Las observaciones VLF-MT en el volcán Aso, sugieren que las aguas hidrotermales dentro del primer cráter del volcán Nakadake reactivan las capas de agua subterránea, en función de la densidad de flujo hidrotermal a profundidad. Por otro lado, las observaciones IR han permitido detectar cambios en la actividad geotérmica en el primer cráter del volcán Nakadake decreciendo cerca de 200°C .

Las observaciones geotérmicas y electromagnéticas en volcanes activos son efectivas para la adquisición de información a ser correlacionada para una mejor comprensión de sus procesos internos.

REFERENCIAS

- Finizola, A., Le'Nat, J., Macedo, O., Ramos, D., Thouret, J., Sortino, F., (2004). *Fluid circulation and structural discontinuities inside Misti volcano (Peru) inferred from self-potential measurements*. Journal of Volcanology and Geothermal Research **135**, 343–360.
- Fukitomi, T., 1962. *Some notes on the ground temperature at a depth of 1m*. Geophy. Bull. Hokkaido Univ., **9**, 45-53 (in Japanese)
- Hase, H., (2004). *Self Potential Studies for Volcano-Hydrology Constraints from Field Observations and Laboratory Experiments*. Graduate School of Science, Kyoto University, 97p.
- Kagiyama, T., (1981). *Evaluation methods of heat discharge and their application to the major active volcanoes in Japan*. Journal of Volcanology and Geothermal Research **9**, 87–97.
- Keller, G. V., And F. C. Frischknecht, (1966). *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Pergamon Press, Oxford, pp. 1-517.
- Llerena, P. (2005). *Características de la sismicidad Observada en Octubre 2001 en el Volcán Misti (Sur del Perú)*. Tesis Geofísico, UNSA, 151 p.
- Nagata, T., (1937). *Some physical properties of the lava of volcanoes Asama and Mihara. I. Electric conductivity and its temperature-coefficients*. Bull. Earthq. Res. Inst., **15**, 663-673.
- Ono, K., Matsumoto, I., Miyahisa, M., Teraoka, Y. & Kambe, N., (1977). *Geology of the Taketa district, with geological sheet map at 1:50,000*, Geol. Surv. Japan, 145 pp., (in Japanese with English abstract).
- Parkhomenko, E. I., (1967). *Electrical Properties of Rocks*. Plenum Press, New York, pp. 1-314 (English Translation).
- Ramos, D., (2000). *Aplicación del método geofísico del potencial espontáneo para el estudio estructural del volcán Misti*. Tesis Geofísico, UNSA, 173 p.
- Thouret, J.C., Finizola, A., Fornari, M., Legeley-Padovani, A., Suni, J. & Frechen, M., (2001). *Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru*. Geol. Soc. Amer. Bull. **113**,12, 1593-1610.
- IGP, http://www.igp.gob.pe/vulcanologia/Volcanes_Peru/Misti/HTML/htdocs/antecedentes.htm [ref. 12 de agosto 2009]