

## MONITOREO GEOQUÍMICO DE LAS FUMAROLAS Y FUENTES TERMALES ALREDEDOR DEL VOLCÁN TICSANI 2005 -2009 (MOQUEGUA)

Pablo Masías, Yanet Antayhua y Domingo Ramos

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET, Av. Canadá N° 1470, San Borja Lima-41  
Email: pmasias@ingemmet.gob.pe

### INTRODUCCIÓN

El volcán Ticsani, (19K, 8146408S, 329698E, 5409 msnm) ubicado a 59 km al Noroeste de la ciudad de Moquegua, es uno de los 7 volcanes activos del Perú (Fig. 1), caracterizado por la ocurrencia de diversas fases de colapso (Fidel et al., 1997), actividad explosiva reciente, eventos como crecimiento de domos de lava (Mariño et al., 2003), y recientes crisis sísmicas ocurridas cerca al poblado de Calacoa (ubicada a 9 km de la cumbre) los años 1999 (Aguilar et al., 2001) y 2005 (Rivera et al., 2006). Estos eventos sugirieron la necesidad de monitorear el sistema hidrotermal y fumarolas en la cumbre del volcán Ticsani. El presente trabajo de investigación se desarrollo con la finalidad de observar variaciones en la temperatura de las fumarolas, parámetros fisicoquímicos en las aguas termales alrededor del volcán y relacionarlos con la actividad volcánica del Ticsani entre los años 2005 y 2009.

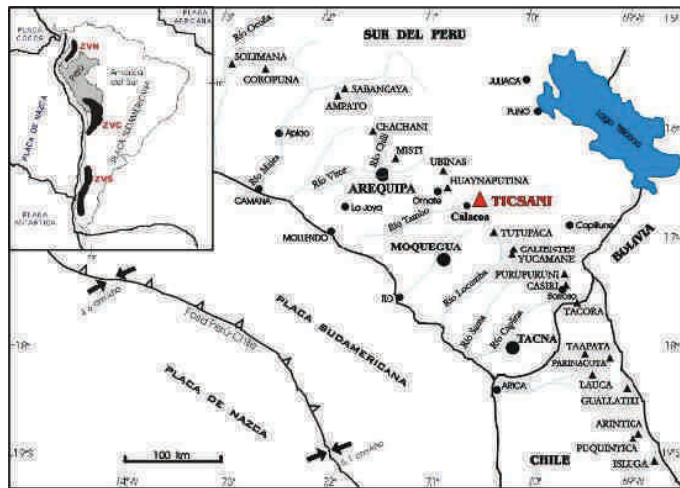


Figura 1. Mapa de ubicación del volcán Ticsani.

### ADQUISICIÓN DE DATOS

Este volcán presenta un importante sistema hidrotermal de alta temperatura, puesto de manifiesto por la presencia de pequeñas fumarolas en la cumbre y a la presencia de fuentes termales alrededor del edificio volcánico (Rivera et al., 2006). Desde fines del 2005 el INGEMMET viene monitoreando las fumarolas y las fuentes de agua (Fig. 2).

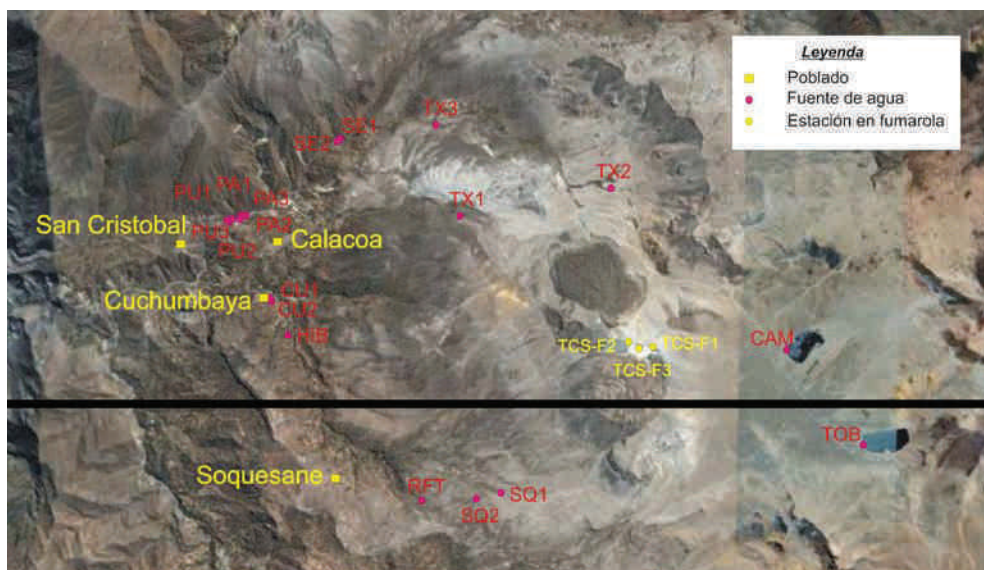


Figura 2. Mapa de ubicación de fuentes de agua y fumarolas en el Ticsani.

**Fumarolas.-** Se realizó el reconocimiento de las zonas de emisión de fumarolas cerca a la cumbre del volcán Ticsani, donde se han instalado 3 estaciones de monitoreo TCS-F1 (19K, 8146413N, 329662E, 5397m) TCS-F2 (19K, 81846512N, 329154E, 5306m) y TCS-F3 (19K, 8184399N, 329346E, 5306m), las dos primeras, con mejor acceso, para el monitoreo de temperatura y la tercera para composición química (Fig. 3).



Figura 3. Foto donde se observa la ubicación de las estaciones en las fumarolas cerca a la cumbre del Ticsani

**Fuentes termales, frías y lagunas.-** Para el monitoreo de fuentes de agua se han tomado datos en 19 puntos de muestreo entre el 2005 y 2009, tanto en fuentes termales que emiten chorros de agua y vapor a gran presión, fuentes de agua caliente y frías, además de aguas provenientes de las lagunas Toro Bravo (TOB) y Camaña (CAM). En la Fig. 2 se muestra la ubicación de las fuentes de monitoreo de agua, muchas de las cuales se encuentran en los cauces de los ríos Putina y Cuchumbaya.

Debido a la gran cantidad de fuentes, se decidió focalizar el monitoreo geoquímico a fin de optimizar recursos; así, el monitoreo se realiza, principalmente, en las fuentes RFT, TX1, PA1, PU2, SE1, HIB. En estas fuentes muestreó agua, por inmersión simple, en 2 botellas de polietileno, una para aniones (sulfatos, cloruros, bicarbonatos) y metales disueltos (Na, Ca, K, Mg, As, etc.), esta última se filtró y se preservó con HNO<sub>3</sub>. Estas muestras se analizaron en los laboratorios de INGEMMET y otros externos. Adicionalmente se realizó la medición de parámetros como temperatura, pH y conductividad eléctrica. En la fuente HIB se realiza el monitoreo continuo de la temperatura con un registrador de temperatura, alternando entre un equipo HOBO – U12 – 15 con 0,001 °C de sensibilidad y un TINYTAG con 0,1 °C de sensibilidad.

## RESULTADOS

Los resultados del monitoreo geoquímico de fumarolas y fuentes de agua termales, frías y de lagunas, correspondiente al periodo 2005 a 2009, muestran que en la estación TCS-F1, donde se tiene instalado 2 equipos de monitoreo de temperatura (ambiente y enterrado en el suelo) presenta temperaturas promedio en el ambiente de -1.1 °C y en el suelo de 17,3 °C, solamente un pico máximo de 22 °C fue registrado el 17 de enero del 2009 (Fig. 4). En la estación TCS-F2, la temperatura entre el 2008 y 2009 fluctuó entre 78.4 °C y 79,0 °C, en un dato de octubre del 2005 se registro 76, 6 °C (Fig. 5). En la estación TCS-F3 se registró la mayor temperatura en fumarolas con 82,3 °C y un pH de 4 en el 2009, este lugar se caracteriza por la gran cantidad de gases blanquecinos de olores fuertes e irritantes, los que emanan produciendo ruido.

Con respecto a las fuentes de agua, ocasionalmente, algunas fuentes han superado los 90 °C de temperatura (PA1, PA2, PU1, PU2) y en algunos casos emanan gran cantidad de vapor de agua a presión (SE2 y PU1). Las fuentes de agua más calientes (PA1, PA2, PU2, SE1), con temperaturas entre 65 °C y 95 °C, presentan un pH ligeramente básico entre 6,5 y 9 (Fig. 6). Al comparar en graficas auto escaladas la concentración de los principales aniones y metales disueltos de las fuentes HIB (Fig. 7) y RFT (Fig. 8), se puede observar que existe cierta similitud en las variaciones de Ca, Na, Br, K, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. En el mismo periodo no se pudo observar similitudes en las variaciones de Mg y Cl, pero en todos los casos las variaciones fueron menores a 3, lo que indica que no fueron significativas.

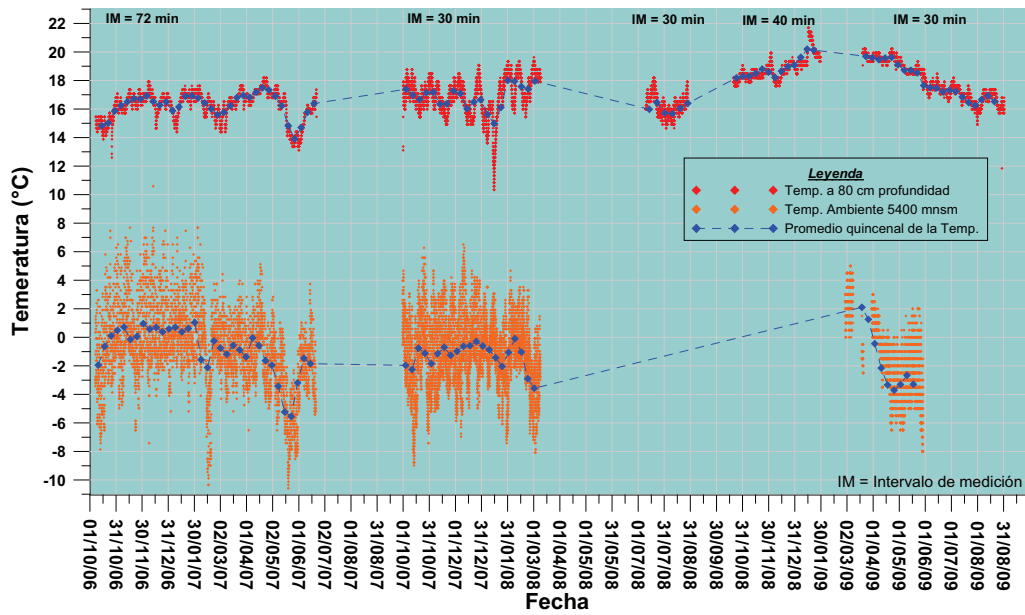


Figura 4. Grafica de la temperatura registrada en la estación TCS-F1 entre el 2006 y 2009.

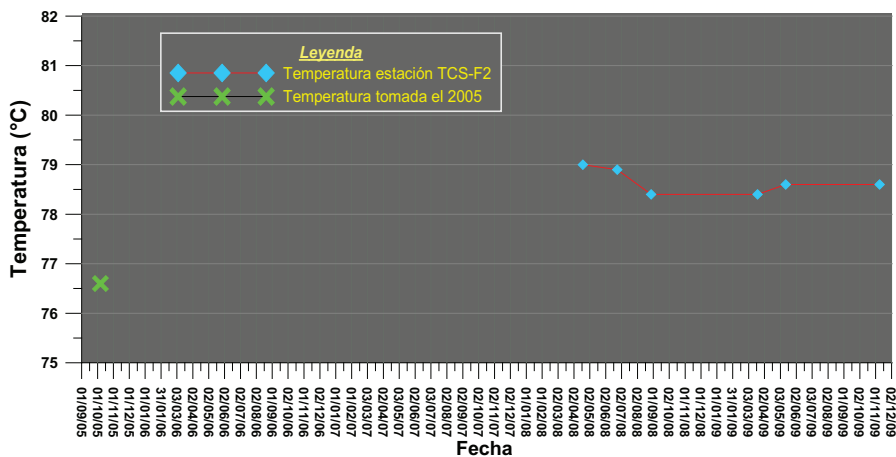


Figura 5. Grafica de la temperatura medida en la estación TCS-F2 entre el 2005 y el 2009.

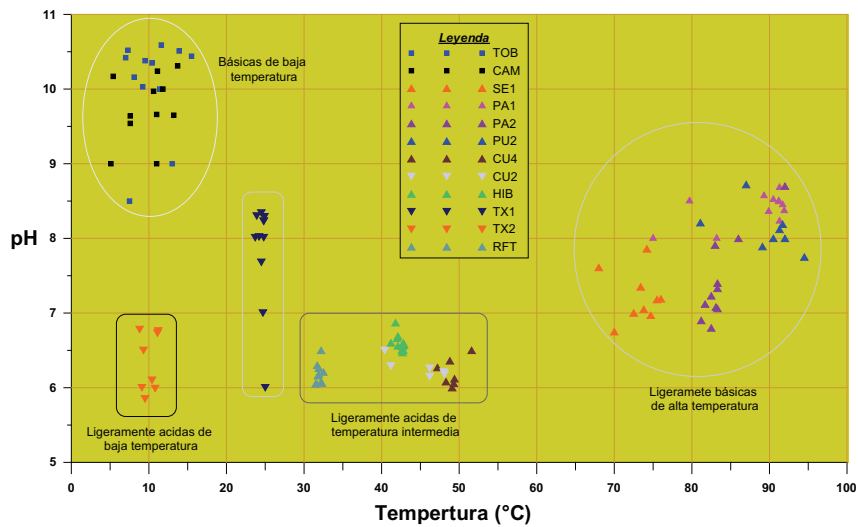


Figura 6. Grafica del pH vs. la Temperatura de las fuentes de agua alrededor del Ticsani.

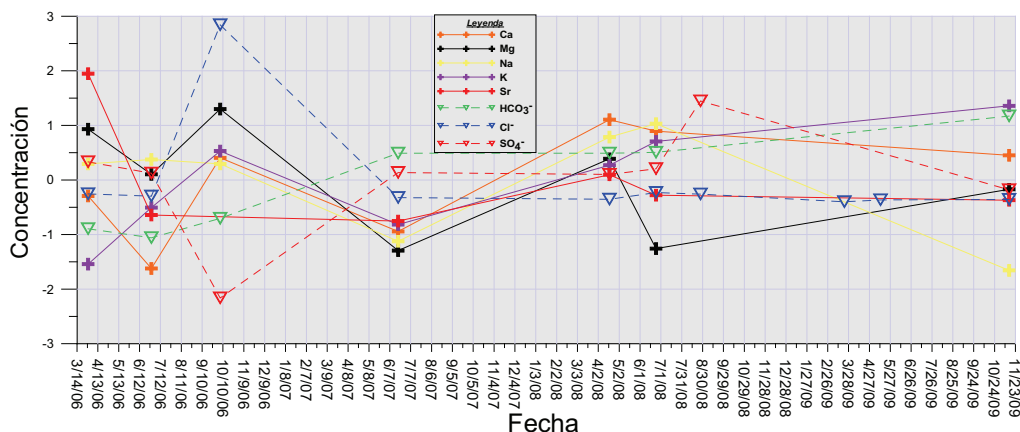


Figura 7. Grafica de la concentración a escala de aniones y metales disueltos en la fuente HIB.

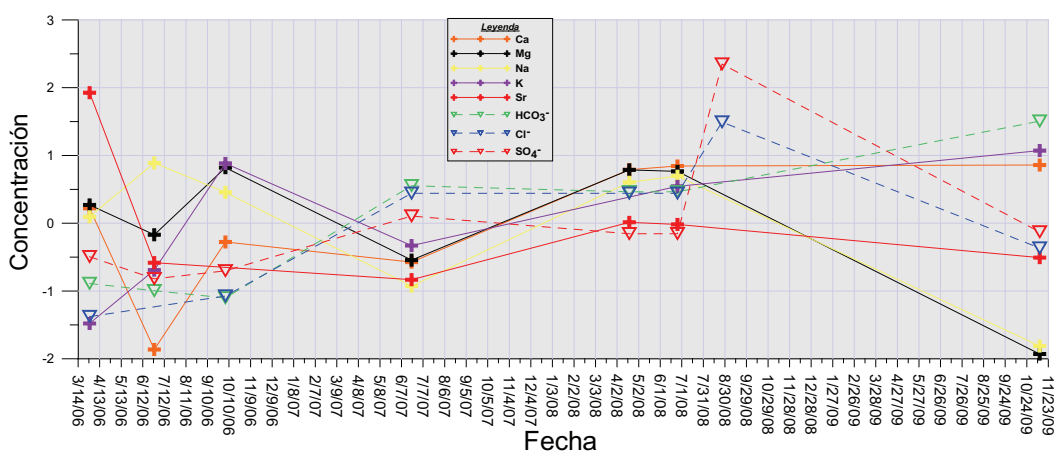


Figura 8. Grafica de la concentración a escala de aniones y metales disueltos en la fuente RFT.

## CONCLUSIONES

El volcán Ticsani después de la crisis sísmica de Calacoa registró en la estación TCS-F2, un incremento en la temperatura de 76,6 °C en el 2005, a temperatura estable entre 78,4 y 79,0 °C entre los años 2006 a 2009. La mayor temperatura encontrada fue en las fuentes termales ubicadas en el río Putina (PA1, PA2, PU1, PU2), las que en ocasiones han superado los 90 °C y un pH ligeramente básico, superando a la máxima encontrada en las fumarolas (TCS-F3) donde se registraron 82,3 °C y un pH de 5 (ácido).

Las variaciones resaltante se observó en la concentración de los elementos: Ca, Na, Br, K,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en las fuentes RFT y HIB, lo podría darnos indicios que estas variaciones ocurren a nivel del sistema hidrotermal alrededor del volcán Ticsani.

Con el monitoreo de fumarolas y fuentes termales alrededor del volcán Ticsani se ha elaborado una bases de datos que servirá como línea base fisicoquímica para encontrar claramente anomalías producidas por el incremento de la actividad volcánica o a una crisis sísmica.

## REFERENCIAS

- Aguilar V., Tavera H., Bernal I., Palza H., Kosaka R. (2001). Análisis y evaluación del sismo de Calacoa (Omate-Moquegua) del 6 de mayo de 1999 (Mw=4.0). Boletín del la Sociedad Geológica de Perú. Volumen 91, p 69-80.
- Fidel L., Morche, W., Núñez S. (1997). Inventario de volcanes del Perú. Álbum de mapas de riesgos volcánicos de las principales ciudades del suroeste del Perú. Boletín de INGEMMET 15, 91 p.
- Mariño J., Thouret J.C. (2003). Geología, historia eruptiva y evaluación de peligros del volcán Ticsani (sur del Perú), Boletín del la Sociedad Geológica de Perú. Volumen 95, p. 7 – 31.
- Rivera M., Tavera H., Aguilar V., Medina J., Lazares F., (2006). Crisis sísmica de Calacoa (Moquegua) Octubre, 2005. INGEMMET, IGP, PREDES, IGUNSA, CISMID. Informe multi-institucional. 96 p.