



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# VIGILANCIA MULTIDISCIPLINARIA DEL VOLCÁN TICSANI, PERIODO 2012-2016

Fredy Apaza<sup>1</sup>, Pablo Masias<sup>1</sup>, Beto Ccallata<sup>1</sup>, Rafael Miranda<sup>1</sup>, Jeiner Girona<sup>1</sup> y Jorge Mamani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Sede Regional INGEMMET-Arequipa-Perú (fapaza@ingemmet.gob.pe)

### 1. Introducción

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) viene realizando en los últimos años la vigilancia de 8 volcanes activos en el sur del Perú (Coropuna, Sabancaya, Misti, Ubinas, Ticsani, Huaynaputina, Tutupaca y Yucamane) todos ubicados en la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC), dentro de ellos se encuentra el volcán Ticsani con coordenadas geográficas: Lat. 16,75° S, Long. 70,59° O. El volcán Ticsani se ubica a 59 km al noroeste de la ciudad de Moquegua, provincia Mariscal Nieto. La última erupción registrada por el volcán Ticsani ocurrió hace 400 años (Mariño y Thouret, 2003). En la historia reciente, fuertes sismos asociados principalmente a la actividad tectónica y volcánica han afectado las cercanías de este volcán con daños en la superficie de terrenos de cultivo, viviendas y vías de comunicación. El 17 de mayo de 1999 y el 01 de octubre de 2005 ocurrieron sismos de magnitudes 4.1 ML y 5.3 ML, respectivamente (Tavera, 2006) que causaron serios daños a los pueblos de Calacoa, Cuchumbaya y Carumas, entre otros.

En periodos de baja actividad volcánica existe un equilibrio entre los fluidos de la cámara magmática y las manifestaciones geotermales, sin embargo al arribar nuevo material o magma a la cámara magmática este equilibrio se rompe y se manifiesta con un aumento de presión y temperatura, esto se ve reflejado en el incremento de la actividad sísmica, cambios en la composición química de los gases volcánicos y concentración de las fuentes termales, así como variaciones en la temperatura del edificio volcánico y fumarolas, también puede ocurrir la deformación del edificio volcánico. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los resultados del monitoreo interdisciplinario

realizado por el OVI, para entender el comportamiento de los fluidos magmáticos al interior del volcán Ticsani.

### 2. Red de Vigilancia [rango 1]

El OVI realiza el monitoreo temporal, permanente y transmitido vía telemetría (en tiempo real) a través de un sistema multidisciplinario que comprende el uso de tres métodos: (1) monitoreo sísmico volcánico (movimiento interno ligado a la actividad del volcán), (2) monitoreo geoquímico (composición química de aguas y gases), (3) monitoreo geodésico (variaciones en la forma y posición del volcán). Actualmente la red de monitoreo cuenta con una estación sísmica TIC01, 10 hitos geodésicos (TXCA, TXDO, TXGN, TXFB, TXFD, TXFC, TXFE, TXFF, TXFG y TXFH) y 5 fuentes termales (PA1, PU1, CU4, CUF y HIB) y 01 estación de temperatura TIC-F2 para el monitoreo de la actividad volcánica (fig. 1).

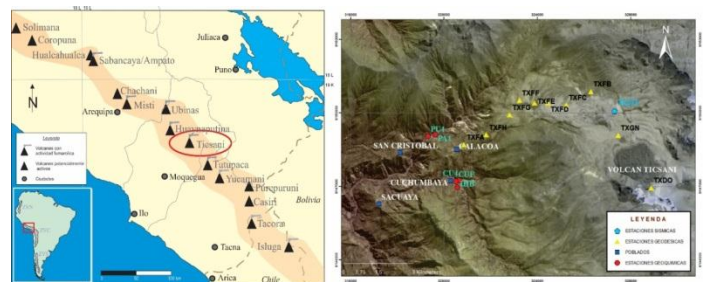


Figura 1. Izquierda: Mapa de ubicación del volcán Ticsani localizado en la Zona Volcánica Central de los Andes. Derecha: Mapa de ubicación de las estaciones de vigilancia implementadas por el OVI-INGEMMET.

## 2.1. Monitoreo Sísmico

En el 2015 se instaló una estación sísmica "TIC01" para el monitoreo sísmico del volcán Ticsani. Esta estación cuenta con un sensor sísmico de banda ancha, marca Guralp, modelo CMG-6TD, cuyos datos son registrados a razón de 50 muestras por segundo, por canal, en un rango de frecuencias de 30 s a 100 Hz. La estación TIC01 está conformada por tres sensores sísmicos y un digitalizador, integrados, una antena GPS para la calibración del tiempo, una batería de 12 V, un panel solar, un regulador de voltaje y accesorios. La información obtenida es transmitida vía telemetría hacia la municipalidad distrital de Calacoa y posteriormente al OVI.

### 2.1.1. Actividad sísmica observada

Durante el 2015 en el volcán Ticsani registraron alrededor de 50 sismos de tipo volcano-tectónicos (VT) por día, asociados al fracturamiento de rocas al interior del volcán.

Desde setiembre de 2015 en inmediaciones de dicho volcán se han observado incrementos de varias centenas de sismos de tipo volcano tectónicos por día. Posteriormente, el 10 y 14 de febrero de 2016 se registraron dos sismos a menos de 4 km del cráter.

El primero de 3.2 ML fue de tipo Híbrido, y el segundo de 3.8 ML fue de tipo de ruptura. El 30 de marzo se ha registrado sismos en enjambre, de los cuales tres de ellos tuvieron magnitudes de 3.0 ML, 3.7 ML y 4.0 ML y profundidades entre 5 km y 7 km.

Entre el 30 de marzo y el 04 de abril de 2016, han ocurrido enjambres de sismos que han sido localizados dentro de la misma zona, mostrándose concentrados en dos grupos: el primer grupo se ubica muy próximo al cráter, mientras que el segundo grupo de sismos está a 5 km al este del macizo. Dicha actividad sísmica ha ocurrido entre los 4 km y 11 km de profundidad.

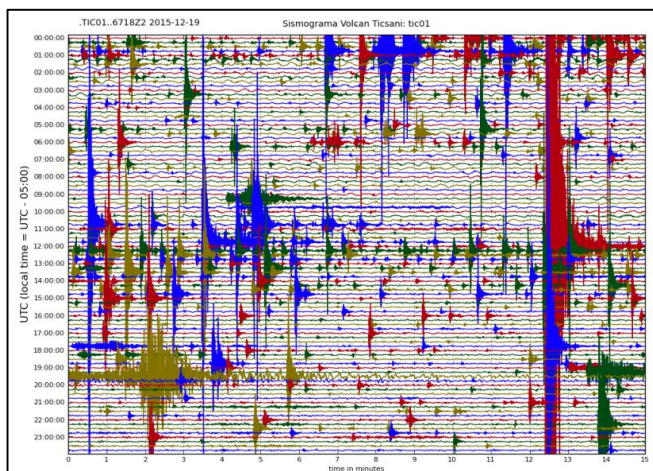


Figura 2. Sismograma del 19 de diciembre de 2015 registrada por la estación TIC01. Componente Vertical (Z).

No obstante, cabe señalar que este tipo de sismicidad es propia de un volcán activo. Por ejemplo, en la figura 2 se observa la ocurrencia del incremento de la actividad volcano-tectónica. Los sismos volcano-tectónicos (VT) son

eventos provocados por el fracturamiento de rocas, ligados comúnmente, al ascenso de magma desde el interior de la tierra hacia el volcán.

## 2.2. Monitoreo Geoquímico

El monitoreo geoquímico consiste en la medición sistemática de los parámetros físicos y químicos de los fluidos volcánicos emitidos por un volcán y generalmente asociados a un sistema hidrotermal volcánico (Hochstein & Browne, 2000). Estos fluidos se desplazan desde el reservorio magmático hacia la superficie, donde se manifiestan como fumarolas, respiraderos de vapor, fuentes termales, etc.

Este estudio presenta los resultados obtenidos en el monitoreo geoquímico tanto en fumarolas y fuentes termales en el volcán Ticsani; en donde se ubicaron 5 fuentes termales (Putina, PA1; Putina, PU1; Cuchumbaya, CU4; Cuchumbaya frío, CUF y Hierba buena, HIB) que brotan en sus alrededores, de las cuales se tomaron muestras, y se registran los parámetros fisicoquímicos. Posteriormente, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Química del INGEMMET para análisis químico mediante Espectrómetro de Masas, Espectrómetro de Emisión Atómica y Sistema de Cromatografía Iónica



Figura 3. Fumarolas en el volcán Ticsani, lugar donde se realizaron las mediciones del gas SO<sub>2</sub> volcánico

### 2.2.1. Resultados de los iones solubles en las aguas termales del volcán Ticsani

Los resultados de los principales aniones mayoritarios y principales cationes de las fuentes termales obtenidos entre el 2013 y el 2015 son presentados a través de diagramas. La composición de aniones y metales disueltos en el agua de las fuentes termales ubicadas alrededor del volcán Ticsani muestran que no existen variaciones significativas que indiquen que la actividad hidrotermal asociada al volcán presente cambios, por lo cual se concluye que el volcán se encuentra con niveles bajos de actividad.

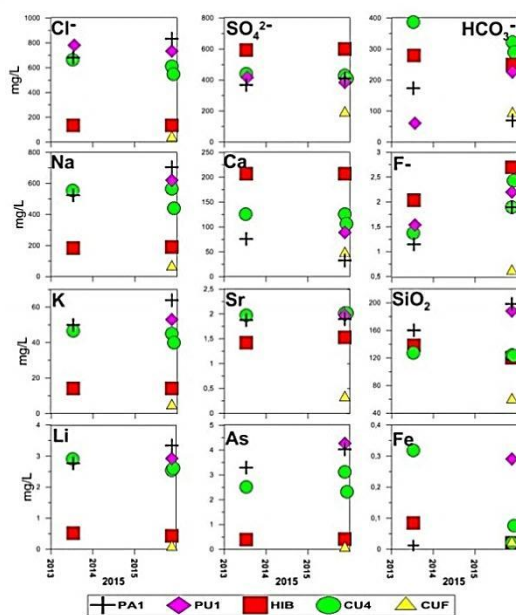


Figura 4.- Concentración de iones y cationes de las 5 fuentes termales PA1, PU1, HIB, CU4, CUF, asociadas al volcán Ticsani.

**2.2. Monitoreo de Deformación**

La deformación en superficie es un fenómeno común en los volcanes activos en respuesta a la dinámica interna del sistema volcánico (intrusión magmática). En el volcán Ticsani, el OVI implementó progresivamente el monitoreo geodésico mediante el Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS), es así que a partir de agosto de 2012 se cuenta con diez (10) hitos geodésicos (TXCA, TXDO, TXGN, TXFB, TXFD, TXFC, TXFE, TXFF, TXFG y TXFH), Fig. 2.). De los cuales los hitos TXFD, TXGN y TXDO están próximos al cono volcánico. Entre el 2012 y 2015 se registraron desplazamientos verticales entre 22 a 90 mm, las cuales probablemente estén asociados a desplazamiento en las fallas locales debido a su ubicación geográfica y del proceso sismo-tectónico local activo, así mismo el hito TXDO que monitorea el desplazamiento y/o crecimiento del domo Norte del volcán, obtiene tendencia negativa lo cual sugiere que dicho cono no ha experimentado ningún crecimiento debido a la actividad magmática del volcán. Así mismo los hitos TXFG, TXFH y TXFF (Fig. 5) presentan desplazamientos negativos y positivos entre 39 y 468 mm, debido a su ubicación en zonas inestables que tienen ciertas intercalaciones lacustrinos (e.t. Cuadrángulo de Omate).

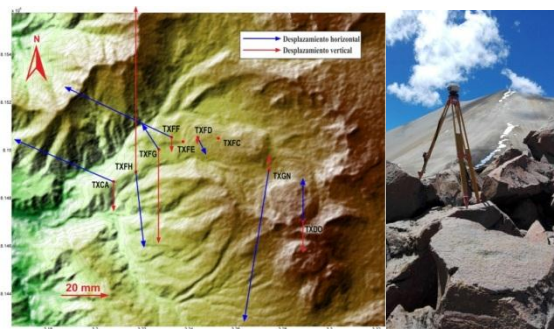


Figura 5. Mapa de vectores de desplazamientos de los hitos GNSS en el volcán Ticsani.

**3. Discusión**

La actividad sísmica registrada en el volcán Ticsani es provocada por la ruptura de material, ligado probablemente al movimiento de fluidos al interior del volcán, sin embargo se presentan episodios de enjambre sísmico que representan un ligero incremento en la actividad, por otro lado la medición de la temperatura en suelo del edificio volcánico presenta algunas variaciones que podrían estar relacionadas al movimiento de los fluidos magmáticos en el interior del volcán provocando cambios en la temperatura de la superficie, figura 6.

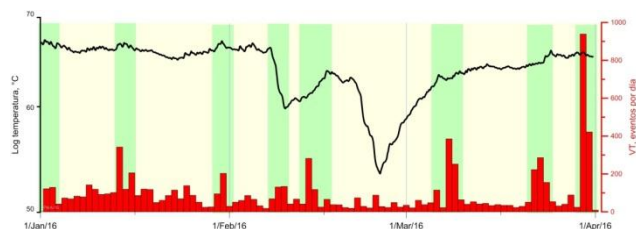


Figura 6.- Relación entre la temperatura en la fumarola TIC-F2 (medida en una fumarola) y la actividad sísmica (número de eventos sísmicos VT por día).

Por otro lado, la medición del SO2 de 20 t/d indica que solo existe un componente magmático mínimo, así mismo los resultados de los análisis de las fuentes termales indican que no existe variación importante en la composición química entre 2013 y 2015. Del mismo modo el monitoreo geodésico sobre los diez hitos observados, no muestra deformación asociados a dicha actividad, es así que el hito TXDO que se ubica en el domo registra tendencia negativa de deformación debido a su ubicación geográfica.

Según los reportes emitidos acerca de la actividad del volcán Ticsani por el comité científico OVI-OVS en el COMUNICADO OFICIAL N° TX-001-2016, en septiembre 2015 se observó un aumento en la sismicidad próxima al volcán Ticsani. En febrero y marzo del 2016 se ha presentado enjambres sísmicos así como sismos de tipo Híbrido de manera esporádica, sin embargo no se observan cantidades importantes del flujo de gas SO2, como tampoco deformaciones del suelo en inmediaciones del edificio volcánico que puedan estar asociadas al inicio de un proceso eruptivo en los próximos meses.

**3. Conclusiones**

La sismicidad ha aumentado desde septiembre de 2015, y este tipo de actividad ha ocurrido con similares características en los años 1999 y 2005, coincidentemente, la temperatura registrada en la estación TIC-F2 presenta variaciones que se observan también durante los años anteriores, lo que podría sugerir que existe una ligera perturbación de los fluidos magmáticos bajo la superficie del volcán Ticsani.

Por otro lado considerando que la cantidad de SO2 y la composición química de las fuentes termales no presentan



mayor variación, así mismo la deformación sobre el domo Norte del volcán no ha experimentado ningún crecimiento, se alega que la actividad del volcán Ticsani en este periodo es mínima.

### **Agradecimientos**

Agradecimientos al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico por permitir el desarrollo de esta investigación.

### **Referencias**

Hochstein, M. & Browne, P. (2000) - Surface Manifestations of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources. Encyclopedia of Volcanoes. Academic Press. USA, págs. 837.

Mariño, J., y Thouret, J. (2003). Geología, historia eruptiva y evaluación de peligros del volcán Ticsani (sur del Perú). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Lima

Tavera, H. (2006). Características sismotectónicas de la crisis sísmica de octubre del 2005 en la región del volcán Ticsani (Moquegua). Instituto Geofísico del Perú, Lima.