



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# RELACIÓN ENTRE EL FLUJO DE SO<sub>2</sub> Y LA ACTIVIDAD ERUPTIVA DEL VOLCÁN UBINAS DURANTE EL AÑO 2015

Pablo Masías<sup>(1,\*)</sup>, Fredy Apaza<sup>(1)</sup>, Santiago Arellano<sup>(2)</sup>, Bo Galle<sup>(2)</sup>, Andre Girona<sup>(1)</sup>, Javier Calderón<sup>(1)</sup>, Jorge Mamani<sup>(1)</sup>, Rosa Ancasí<sup>(1)</sup>, Roger Machacca<sup>(1)</sup>, Ivonne Lazarte<sup>(1)</sup>

<sup>1</sup> Observatorio vulcanológico del INGEMMET, Barrio magisterial 2 B-16 Yanahuara, Arequipa, Perú (\* pmasias@ingemmet.gob.pe)

<sup>2</sup> Chalmers University of Tecnology, Maskingränd 2, 412 58 Göteborg, Suecia

## 1. Introducción

El volcán Ubinas es el volcán más activo del Perú, con 2 procesos eruptivos en los últimos 10 años, caracterizados por presentar explosiones con emisión de bombas y gran cantidad de ceniza que afectó a las 3000 personas que viven en los poblados aledaños (Mariño et al., 2011; Rivera et al., 2011).

A finales del 2014 se instaló un escáner DOAS en la primera estación de medición de gases volcánicos en el Perú como parte de la red NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change), dicha estación está ubicada en el poblado de Ubinas a 6 km al Sureste del cráter del volcán Ubinas. El objetivo principal de este equipo es medir los flujos de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) que son emitidos por el cráter desde el interior del volcán hacia la atmósfera.

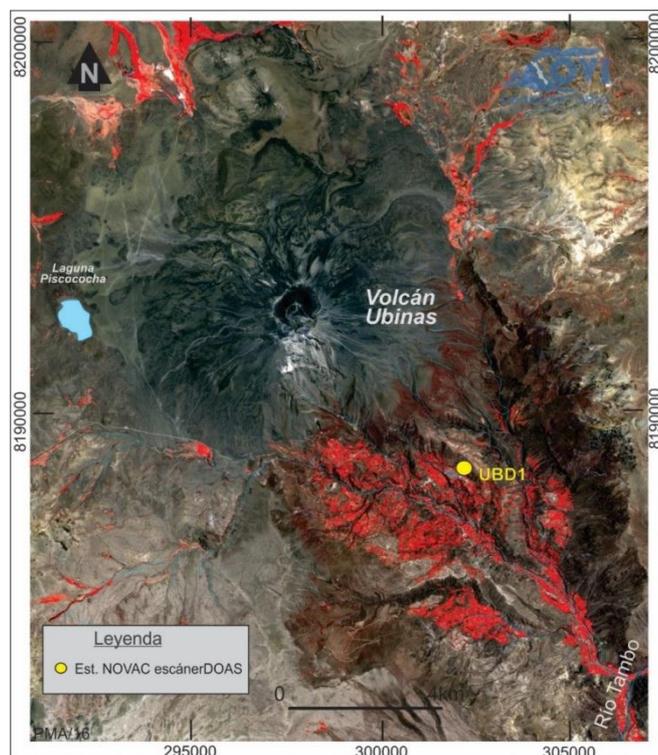
El presente trabajo muestra los resultados de las mediciones de los flujos de SO<sub>2</sub>, en relación a la actividad eruptiva registrada durante el año 2015.

## 2. Mediciones de SO<sub>2</sub>

### 2.1. Metodología

La Espectroscopia de Absorción Diferencial Óptica (DOAS) ha sido desarrollada desde la década del 70 y ha permitido medir una serie de especies en cantidades de traza en la atmósfera, incluyendo O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, OH, BrO entre otras que absorben en el rango UV-VIS-NIR. Desde entonces se han desarrollado equipos con esta tecnología aplicándola al monitoreo de gases volcánicos.

Actualmente el Proyecto NOVAC cuenta con una red de estaciones en más de 33 volcanes en diferentes partes del mundo, que se encargan de realizar la medición cuantitativa de las emisiones de gases volcánicos, principalmente el SO<sub>2</sub>. Para esta metodología se utiliza como principal herramienta un novedoso tipo de instrumento, los escáner mini-DOAS



**Figura 1.-** Ubicación de la estación NOVAC Escáner DOAS en el volcán Ubinas durante el 2015.

El mini-DOAS realiza mediciones de manera automática y con capacidad de transmisión de datos en tiempo real y con una alta resolución temporal. Esta información puede ser correlacionada con datos geofísicos, sísmicos y geodésicos (Galle et al., 2010).

En el Perú, el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) instaló la primera estación NOVAC equipada con un escáner DOAS, en el volcán Ubinas, en el local de la Municipalidad Distrital de Ubinas – Moquegua (Figura 1). Desde allí se transmiten los datos en tiempo real vía internet al OVI (Arequipa), donde se procesa la información para obtener como resultado el flujo de SO<sub>2</sub> en toneladas por día (t/d), dicho procesamiento se realizó con NovacProgram v.2016.

## 2.2. Resultados y discusión

Se obtuvieron en total 20643 lecturas en los 365 días del 2015, a un promedio de 56,5 medidas diarias, durante el día solar (~10 horas).

En la Figura 2 se muestra flujo de SO<sub>2</sub> durante el año 2015 aquí se puede observar que durante el mes de enero los valores de flujos de SO<sub>2</sub> no superaban las 2000 t/d, en los siguientes meses (febrero y marzo) se observan diferentes episodios de ascenso y disminución del flujo de SO<sub>2</sub>,

relacionados a la desgasificación progresiva de un cuerpo magmático hasta alcanzar valores máximos de 4936 t/d el 21 de marzo. Posterior a esta fecha se observa una tendencia de incremento que alcanzó un máximo de 4777 t/d el 11 de agosto. A partir de noviembre se observó que los flujos eran cercanos a las 2000 t/d con una progresiva tendencia a disminuir hacia fin de año. Estas variaciones del flujo de SO<sub>2</sub> estuvieron muy estrechamente vinculadas a la actividad magmática registrada en el volcán Ubinas, durante este periodo se presentaron 25 explosiones volcánicas, acompañadas de emisiones de gran cantidad de ceniza, reportadas por el OVI.

Por otro lado, se puede observar en la gráfica una línea naranja que representa el acumulado de los flujos máximos por día en la cual existen 2 cambios en la pendiente del flujo acumulado, el primero se da antes del inicio del periodo más activo en marzo, y el segundo ocurre al finalizar las emisiones de ceniza en noviembre.

De esta manera se puede diferenciar 4 periodos de actividad según la emisión de SO<sub>2</sub> dichos periodos se caracterizan por emisión de ceniza, ascenso y disminución de flujos de gas (Figura 3):

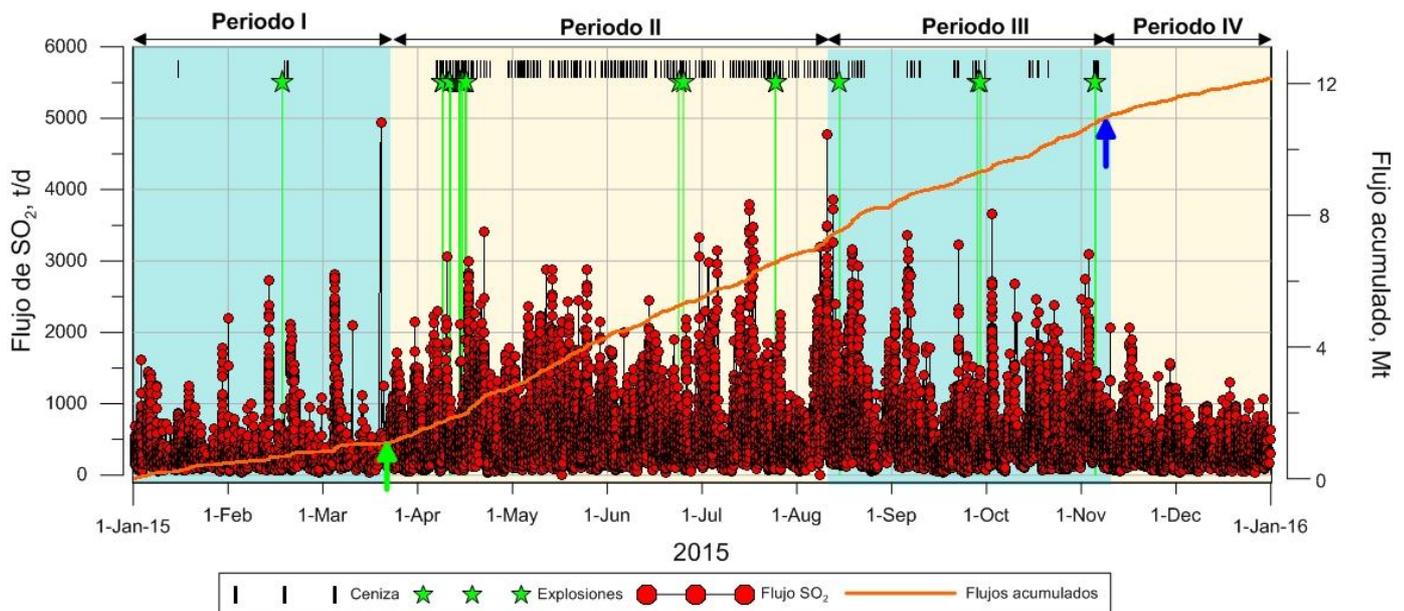


Figura 2.- Ubicación de la estación NOVAC Escáner DOAS en el volcán Ubinas.

**Periodo I.** Esta etapa podría estar asociada al ascenso magmático y limpieza del conducto de remanentes de la actividad del 2014 – Del 1 de enero a 23 de marzo 2015, con muy esporádicas emisiones de ceniza y la ocurrencia de una explosión (17 de febrero). Se registró un incremento del SO<sub>2</sub> antes de la explosión alcanzando flujos mayores a 2000 t/d.

**Periodo II.** En esta etapa se observa la mayor actividad eruptiva, asociada a la expulsión de material magmático (ceniza y bombas) – Entre el 24 de marzo al 11 de agosto del 2015. Se observa un incremento de los flujos que

desencadena en los episodios que inician el 8 de abril, con emisiones constantes y continuas, en el cráter, de gran cantidad de ceniza, acompañadas de 19 explosiones volcánicas, de las cuales 15 ocurrieron en abril, los días 10 (3), 12 (5), 15 (2), 16 (2) y 17 (3); 2 explosiones en junio, los días 24 y 26. Estas explosiones se dieron luego que vulcanólogos del USGS informaran sobre la aparición de un cuerpo caliente en el cráter del Ubinas, observado en una imagen Landsat8 del 18 de junio. Finalmente 2 explosiones en Julio el día 26.

La explosión del 26 de julio (00:03 Hs UTC) fue la explosión más energética, la cual produjo explosión de bombas incandescentes y fragmentos que llegaron a 6 km de distancia, dichos fragmentos presentaban un diámetro de 1 cm, mientras que la columna de ceniza alcanzó los 4000 metros sobre el cráter (msc).

El registro del flujo de SO<sub>2</sub> para este periodo por lo general supera las 1500 t/d. En marzo fueron menores a 2000 t/d, posteriormente los valores máximos fueron de 3402 t/d en abril (23), 2881 t/d en mayo (26), de 2440 t/d en junio (15), 3793 t/d en julio (17), hasta alcanzar las 4777 t/d el 11 de agosto.

**Periodo III. En esta etapa se observan emisiones esporádicas de ceniza, las explosiones son muy escasas, pero producen columnas muy altas** – Del 12 de agosto al 7 de noviembre 2015, con 6 emisiones de ceniza que se prolongan por algunos días. Ocurren 5 explosiones, el 15 de agosto, el 28 y 29 de septiembre y finalmente las 2 últimas explosiones el 5 de noviembre.

La explosión del 28 de noviembre produjo una pluma de 4000 msc.

Los flujos de SO<sub>2</sub> para este periodo disminuyen, sin embargo se registran picos mayores a 3000 t/d. Los valores máximos fueron de 3857 t/d en agosto (13), 3358 t/d en septiembre (7), 3654 t/d en octubre (3), 3101 t/d en noviembre (3).

**Periodo IV. Se produce una disminución de la actividad, ya no se observa emisiones de ceniza ni explosiones** – Del 8 de noviembre al 31 de diciembre 2015, no se presentan emisiones de ceniza ni explosiones y se observa una disminución en los valores del SO<sub>2</sub> por debajo de las 2070 t/d en noviembre y por debajo de las 1300 t/d en diciembre.

La emisión de gas SO<sub>2</sub> hacia la atmósfera desde el cráter del volcán Ubinas, es el producto de la desgasificación del material magmático que ascendió. Se observaron ciclos repetitivos, caracterizados por el aumento de los flujos, seguidos por una rápida disminución que fueron registrados antes de una erupción principal, esto nos permite sugerir que existe una relación entre el flujo de emisión de SO<sub>2</sub> y la actividad eruptiva del año 2015. El incremento de los flujos de SO<sub>2</sub> ocurre entre 11 y 3 días; luego, el flujo disminuye entre 3 días y algunas horas antes del evento eruptivo. Mediante la observación de estos ciclos repetitivos, se pudo predecir muchas de las explosiones y/o emisiones considerables de ceniza, como las ocurridas el 26 de junio, 26 de julio, 15 de agosto, 28 de septiembre y 5 de noviembre.

### 3. Conclusiones

El proceso eruptivo del Ubinas durante el 2015, presentó 4 periodos caracterizados por la ocurrencia de explosiones volcánicas y emisiones de ceniza, asociadas a variaciones en los flujos de SO<sub>2</sub>, los que se observan en la pendiente del acumulado de SO<sub>2</sub> emitido por el cráter del volcán.

Las ocurrencias de explosiones volcánicas se asociaron con patrones de incremento de flujos de SO<sub>2</sub>, por encima de las 2000 t/d, seguida la disminución de los flujos días antes de las explosiones. Estos patrones también se observaron para las emisiones considerables de ceniza.

### Agradecimientos

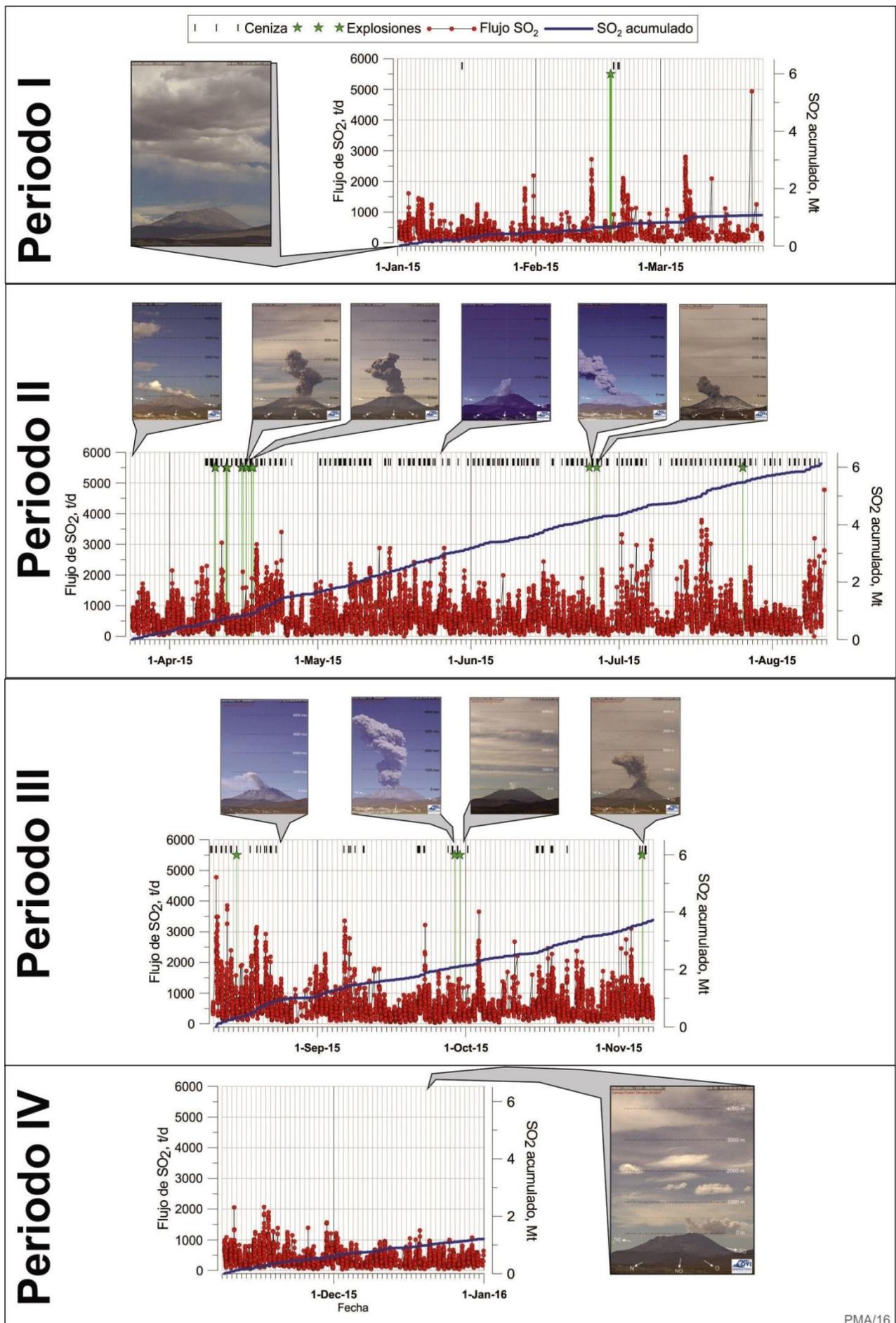
Investigaciones realizadas en el marco del proyecto CIENCIACTIVA 144-2015 (<http://cryoperu.pe/>).

### Referencias

Galle B., Johansson M., Rivera C. et al. (2010) Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change (NOVAC) - A global network for volcanic gas monitoring: Network layout and instrument description, J. geophys. Res. 115, D05304, doi: 10.1029/2009JD011823.

Mariño J., Rivera M., Macedo O., Masías P., Antayhua Y., Cruz V., Gonzales K., Cacya L. (2011) – Gestión de la crisis eruptiva del volcán Ubinas, 2006 -2008. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 45, 188 p., 1 mapa.

Rivera M., Mariño J., Thouret J.C. (2011) – Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 46, 83 p., 2 mapas.



PMA/16

Figura 3.- Periodos de actividad en función a la desgasificación y emisión de cenizas del volcán Ubinas en 2015.