

# PROCESO ERUPTIVO DOCUMENTADO DE LA ÚLTIMA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN UBINAS – JULIO DEL 2019

## DOCUMENTED ERUPTIVE PROCESS OF THE LAST ERUPTION OF THE UBINAS VOLCANO – JULY 2019

Rafael Miranda<sup>1</sup>  Mayra Ortega<sup>1</sup>  Fredy Apaza<sup>1</sup>  Luis Cruz<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

<sup>2</sup>Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA).

### Resumen

El estratovolcán Ubinas, situado en el segmento de la ZVC de los andes centrales, es uno de los 10 volcanes más activos del Perú, con más de 26 episodios eruptivos con magnitudes de bajas a moderadas (VEI 1-3), desde 2 a 7 erupciones por siglo. Después de 02 años de tranquilidad, en el año 2019, inicia una nueva etapa eruptiva el 19 de julio del 2019. A diferencia de erupciones anteriores, este proceso eruptivo cuenta con monitoreo instrumental multiparamétrico continuo, que permite documentar e identificar los primeros signos de intranquilidad volcánica, para el que se han documentado tres etapas: (1) Periodo de intranquilidad, en la que se identifican señales sísmicas muy energéticas y de altas frecuencias, asociado a un cambio en la dinámica del volcán, (2) Actividad Precursora, etapa en la que se detectan variaciones en la deformación y periodos de deflación de  $-12\pm 6$  cm e inflación de  $75\pm 15$ mm y actividad sísmica baja, mientras el 18 de junio se registran pequeños enjambres de sismicidad VT, que caracterizan una etapa de transición magmática con intrusiones en las regiones superficiales del Ubinas, (3) Periodo Eruptivo, caracterizado por un incremento gradual de sismicidad de baja frecuencia (LP), con valores de SO<sub>2</sub> en incremento desde valores moderados a valores grandes, que presurizan el sistema de conductos volcánicos y dan paso a la erupción del 19 de julio, que liberó una energía sísmica acumulada de 336 MJ y un volumen recalculado de  $4.6\times 10^6$  m<sup>3</sup> de productos volcánicos. La magnitud de la erupción se clasificó con un VEI de 2. Un monitoreo instrumental multiparámetro permanente permitió registrar datos relevantes para el entendimiento de los procesos internos en el sistema volcánico del Ubinas y documentó señales asociadas a desplazamientos de los magmas.

**Palabras clave:** *Volcán Ubinas Erupción del 2019 Etapas Eruptivas.*

### Abstract

The Ubinas stratovolcano, located in the ZVC segment of the central Andes, is one of the 10 most active volcanoes in Peru, with more than 26 eruptive episodes of low to moderate magnitudes (VEI 1-3), ranging from 2 to 7 eruptions per century. After 2 years of calm, in 2019, a new eruptive phase began on July 19, 2019. Unlike previous eruptions, this eruptive process is monitored with continuous multiparametric instrumental monitoring, which allows documenting and identifying the first signs of volcanic unrest. Three stages have been documented: (1) Unrest Period, in which very energetic and high-frequency seismic signals are identified, associated with a change in the volcano's dynamics, (2) Precursory Activity, a stage in which variations in deformation and periods of deflation of  $-12\pm 6$  cm and inflation of  $75\pm 15$ mm and low seismic activity are detected, while on June 18, small VT seismicity swarms are recorded, characterizing a magmatic transition stage with intrusions in the superficial regions of Ubinas, (3) Eruptive Period, characterized by a gradual increase in low-frequency seismicity (LP), with SO<sub>2</sub> values increasing from moderate

to high levels, pressurizing the volcanic conduit system and leading to the eruption on July 19, which released a cumulative seismic energy of 336 MJ and a recalculated volume of  $4.6 \times 10^6 \text{ m}^3$  of volcanic products. The eruption's magnitude was classified with a VEI of 2. Continuous multiparameter instrumental monitoring allowed recording relevant data for understanding the internal processes in the Ubinas volcanic system and documented signals associated with magma displacements.

**Keywords:** *Ubinas Volcano, 2019 Eruption, Eruptive Stages.*

## INTRODUCCIÓN

El volcán Ubinas (5611 msnm) se sitúa geográficamente entre las coordenadas  $16^\circ 22' \text{ S}$ ,  $70^\circ 54' \text{ O}$ , a ~65 km al este de la ciudad de Arequipa, la geología y estratigrafía del volcán están contruidos en base a lavas andesíticas, con emplazamientos de flujos de pómez y cenizas dácíticas (370 ka BP), el piso de la caldera está formado por depósitos de lapilli, cenizas y piroclastos (Thouret et al., 2005 y Rivera et al., 2010), a diferencia de otros volcanes de la cordillera volcánica de los andes, el volcán Ubinas no está controlado, asociado a estructuras geológicas regionales.

Hoy en día el monitoreo se ha convertido en una de las herramientas de mucha importancia en el estudio, identificación, análisis y documentar los ciclos eruptivos de un volcán, ayudando a entender cómo lo magmas se desplazan y generan los esfuerzos en su paso hacia la superficie, estos movimientos pueden identificarse empleando diferentes técnicas de monitoreo, sin embargo, dada la naturaleza cambiante de cada sistema volcánico y en específico del Ubinas, donde el objetivo de lograr entender sus diferentes etapas de su ciclo eruptivo, debido a un comportamiento poco conocidos que varían de una erupción respecto a otra, desde corta duración a prolongados durante años.

### Historia Eruptiva del Volcán Ubinas

La historia eruptiva del volcán Ubinas es

reconocido mediante dataciones radiométricas del isotopo de Argón  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  (Thouret et al., 2005 Rivera et al., 2014), que datan desde los 370 ka, y como estas fueron evolucionado a lo largo del tiempo geológico, en la que se describen periodos explosivos violentos (1667 DC con VEI 3) a efusivas, persistentes durante años (2006 – 2009 y 2013 – 2017), y con erupciones sostenidas a intermitentes y de constantes a inestables (Siebert et al., 2015).

El registro histórico de las erupciones del Ubinas se basa en dataciones, permitiendo determinar el tiempo de ocurrencia de una erupción respecto a otra erupción. Mas no se describen si estos procesos eruptivos fueron de corta duración o persistente durante décadas.

Las erupciones históricas del Ubinas fueron de tipo plinianas, freatomágmatco, freático y vulcaniano, con periodos de construcción y destrucción del domo y caldera del volcán.

Presento episodios eruptivos de tipo, efusivos, de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, que corresponden al periodo entre 370 a 270 ka, durante el periodo entre 270 a 16 ka, se caracterizó por emisiones de flujos de ceniza, piedra pómez, lava y episodios explosivos, mientras el periodo que corresponde al año 16 ka a 1000 DC.

Años antes de 1,550 las dataciones e investigaciones geológicas refieren erupciones plinianas, freatomagmáticas y vulcanianas, registrándose hasta la actualidad 26 episodios eruptivos explosivos (Thouret et al., 2005, Rivera et al., 2010, 2014 y Lavallo et al., 2009).

### **Red de Adquisición de Datos**

Con el inicio de la actividad eruptiva del 2013, el Observatorio Vulcanológico del Ingemmet (OVI-INGEMMET), inicia con la implementación de estaciones de monitoreo multiparámetro permanentes, con la finalidad de conocer de manera oportuna los cambios en la dinámica del volcán Ubinas, en la Figura 1, se observa la distribución de la red de monitoreo en tiempo real, que ha permitido documentar y analizar los cambios en su nueva etapa eruptiva del 19 de julio del 2019, para el que se emplearon datos entre a diciembre del 2019.

Considerándose cinco conjuntos de datos, estos son: (1) estadística diaria de eventos VT (Vulcano Tectónico) y LP (Largo Periodo) de la estación sísmica 04 (UBN04), (2) Serie temporal de deformación volcánica de la línea base de la Estación Oeste (UBGW) – Huayna Ubinas (UBHU), (3) Flujos de gas magmático SO<sub>2</sub> de las estaciones escanner DOAS 1 y DOAS 2 (4) altura de emisiones de gas volcánico y cenizas.

Los resultados presentados en el presente resumen corresponden al análisis y tratamiento de datos de esta red.

## **RESULTADOS DE LA RED DE MONITOREO**

Un monitoreo multiparámetro permite medir parámetros relevantes en el volcán, como la emisión de gases magmáticos, emisiones de ceniza, deformación, flujos de calor, señales sísmicas, etc, estos datos nos permiten detectar, documentar e identificar el inicio y el final de

una erupción, determinar el estilo de la erupción, su duración y cómo estos magmas ascienden hacia la superficie o como se almacenan en los reservorios distribuidos en la corteza terrestre (McNutt et al., 2017) y la capacidad de ascender a la superficie directamente sin almacenarse en las cámaras magmáticas, los procesos eruptivos del Ubinas evidenciaron precursores meses antes de entrar en erupción, probablemente los magmas ascendieron, se almacenaron en los reservorios superficiales y evolucionaron antes de entrar en erupción, estas etapas eruptivas fueron identificados en procesos eruptivos anteriores, ejemplo caso erupción del 2013-2017.

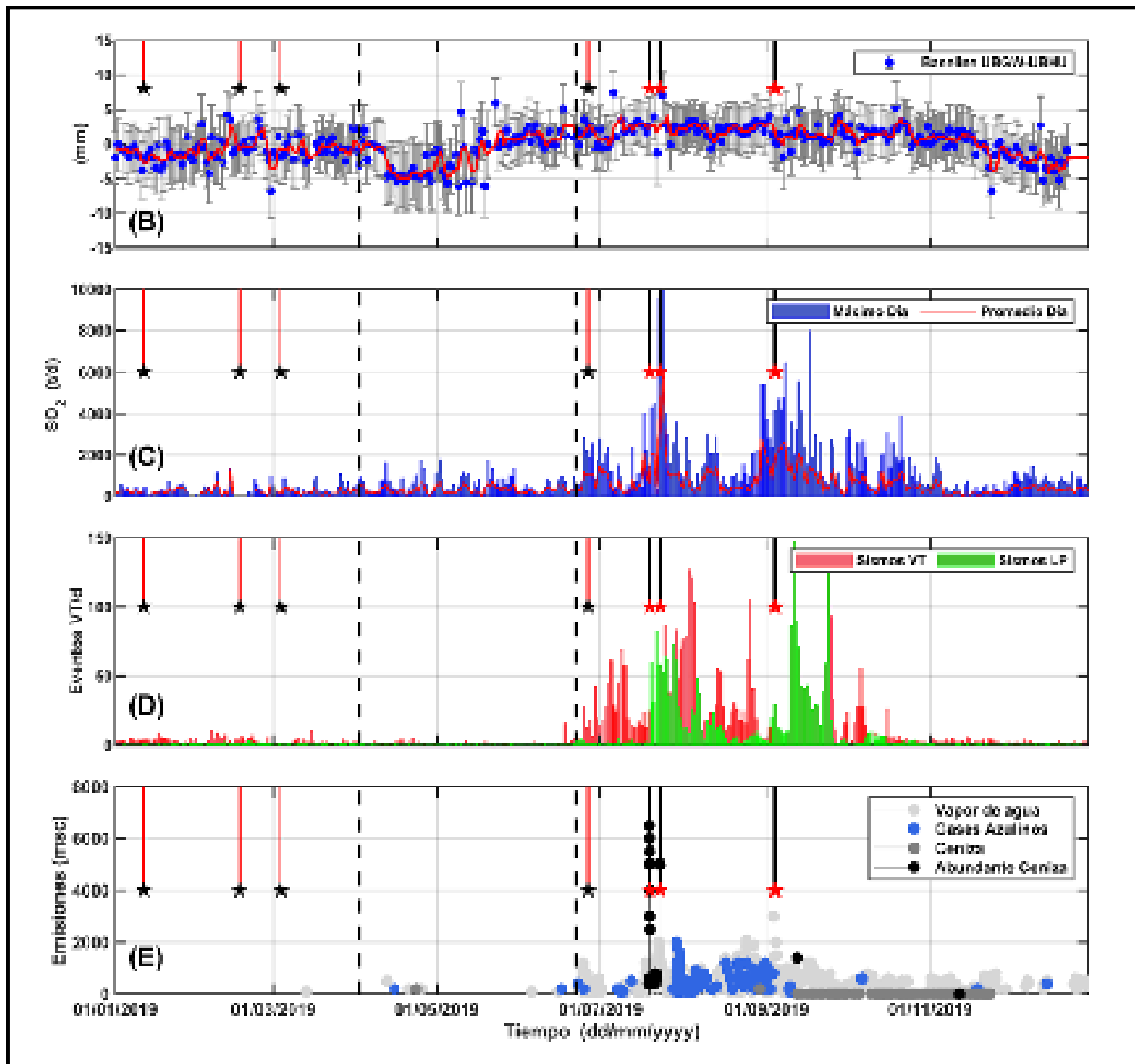
### **Etapas del Procesos Eruptivo**

La actividad eruptiva del volcán Ubinas en el 2019 se caracterizó por presentar señales sísmicas de alta frecuencia, que evidenciaron un cierto grado de inestabilidad, dando paso a un incremento de la actividad asociado a movimientos magmas, en esta etapa de cambio e incremento de la actividad se han distinguido tres etapas:

#### **Etapas de Intranquilidad Volcánica**

Sucedido entre enero y abril, periodo en la que se registran 5 señales sísmicas importantes ligeramente energéticas de altas frecuencias (11 de enero 2019, Figura 2D, estrellas color negro), asociado a una inestabilidad en la dinámica del volcán por suministro de magma nuevo, generando una señal sísmica registrado con mayor energía en la estaciones sísmica 02 y 08, probablemente asociado a la inestabilidad generada en las regiones profundas a raíz de una nueva inyección de magma desde la corteza o el límite de las placas, que fue interactuando con magmas antiguos, en los sistemas magmáticos profundos del Ubinas (Figura 2A).





El ubinas presenta 2 regiones magmáticas una profunda y otra superficial (Rivera et al., 2014, Thouret et al 2014), probablemente los magmas fueron migrando desde la fuente profunda hacia la superficial a través de los conductos preexistentes, generando diferentes tipos de señales sísmicas a diferentes intervalos de tiempo, sin embargo este proceso de migración del magma NO mostrado mayores cambios en los diferentes parámetros de monitoreo, probablemente debido a la profundidad del escenario, sin cambios importantes en la deformación (Figura 2B), con flujos de

gas magmático  $SO_2$  en niveles moderados (1342 t/d, Cárdenas y Delgado, 2002.), y una actividad sísmica en niveles bajos de 10 VT/día (sismicidad asociado al fracturamiento interno del edificio volcánico) y 11 LP/día (asociado a la dinámica de fluidos a través de conductos volcánicos) y esporádicas emisiones de gases volcánicos (Figura 2E).

#### Actividad Precursora

Considerado entre abril a junio del 2019, periodo asociado al ascenso de los magmas hacia la superficie, presurizando probablemente

el reservorio superficial del Ubinas, asociado a inyecciones intermitentes de magma desde la fuente profunda (Figura 2A), hacia el reservorio superficial, a medida que el magma se transportaba por los conductos preexistentes esta genero tensiones en la cámara magmática superficial debido al desplazamientos de los magmas, provocando cambios en la estructura del reservorio y conductos volcánicos, registrándose señales significativas en la serie temporal de línea base de deformación observado entre la estación UBGW - UBHU (Figura 2B), registrando una deflación de  $11\pm 3\text{mm}$  entre el 05 y 18 de abril, consecuentemente un periodo inflacionario entre abril a junio de hasta  $31\pm 3\text{mm}$ , las emisiones de vapor de agua y gases no superaron los 500 m sobre el cráter (Figura 2E), mostrando una actividad sísmica baja (con 5 VT y 2 LP/d), el día 18 de junio se registran pequeños enjambres de sismos VT's proximales localizados a  $<5\text{km}$  de profundidad, probablemente indicando fracturamiento de la zona de transición debido al ascenso de los magmas, con un incremento gradual en las emisiones del gas magmático  $\text{SO}_2$  (1776 t/d, Figura 2C).

### **Periodo Eruptivo**

Ocurrido entre junio a diciembre del 2019, esta etapa inicia con una explosión violenta, asociado al arribo del magma a la superficie (Figura 2A) que eventualmente sobrepresurizo los conductos volcánicos con continuas inyecciones de magma, que terminaron por romper la resistencia del conducto principal el 19 de julio del 2019 a horas 07:28, determinándose como una de las explosión más grande del Ubinas. Los registros de la red de monitoreo evidenciaron que la fuente superficial fue presurizándose paulatinamente a un continuo aporte de magma, con valores de la desgasificación del gas  $\text{SO}_2$  incrementándose desde niveles moderadas a grandes (1,800 a 4,000 t/d), alcanzando un

máximo de 9,900 t/d (23 de setiembre) etapa donde el sistema libera el gas acumulado, disminuyendo paulatinamente después del 17 de setiembre (Figura 2C) hasta alcanzar niveles bajos ( $< 1,000\text{ t/d}$ ), mientras la actividad sísmica se caracterizó por un incremento gradual de eventos de baja frecuencia (LP) y eventos asociado a fracturamiento interno de rocas (VT,s), sin embargo, después del 9 de setiembre la sismicidad alcanza los niveles de un volcán en reposo (Figura 2D).

Las columnas eruptivas de gases y cenizas superaron los 6,500 m. sobre el cráter el 19 de julio, finalmente las emisiones fueron decreciendo en el tiempo, a su vez la tasa de deformación del volcán mostraba un periodo de relajación, sin mayores cambios en la tasa de suministro de nuevo magma o magma residual en acenso.

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los diferentes parámetros volcánicos registrados evidenciaron que una nueva intrusión magmática recargó los depósitos profundos, interactuando allí con magmas antiguos, para el que una brigada de campo recolecto muestras de tefras expulsados por la erupción a 3 y 6 km respecto al cráter del volcán, de la erupción del 19 de julio, en la que han diferenciado tres tipos de clastos juveniles, escorias gris oscuros, gris claro y líticos gris oscuro muy densos, estos clastos juveniles presentan bandas de material oscuro y gris, lo cual sugiere una mezcla parcial de magmas de composiciones diferentes (R. Aguilar et al., 2019), para la ocurrencia de este tipo de mezcla, debe existir magma nuevo en accenso.

Una composición de diferentes magmas evolucionaron y se desarrollaron en un periodo de tiempo muy corto que han caracterizado una nueva etapa en la erupción del Ubinas

(Figura 3A), probablemente esta mezcla de magmas se dio inició en la cámara profunda del Ubinas, asociado a grandes temperaturas y presiones debido a la mezcla de magmas que fueron ascendiendo hacia la cámara secundaria, probablemente de forma intermitente generando explosiones confinadas sin mostrar cambios evidentes en los parámetros de monitoreo en superficie (Figura 2A, estrellas color negro).

Esta mezcla parcial de magmas de composición diferentes ascendieron hacia la superficie por los conductos preexistentes (Figura 3B), sin mostrar una clara señal de sismicidad tipo VT/LP que puedan identificar el paso del magma,

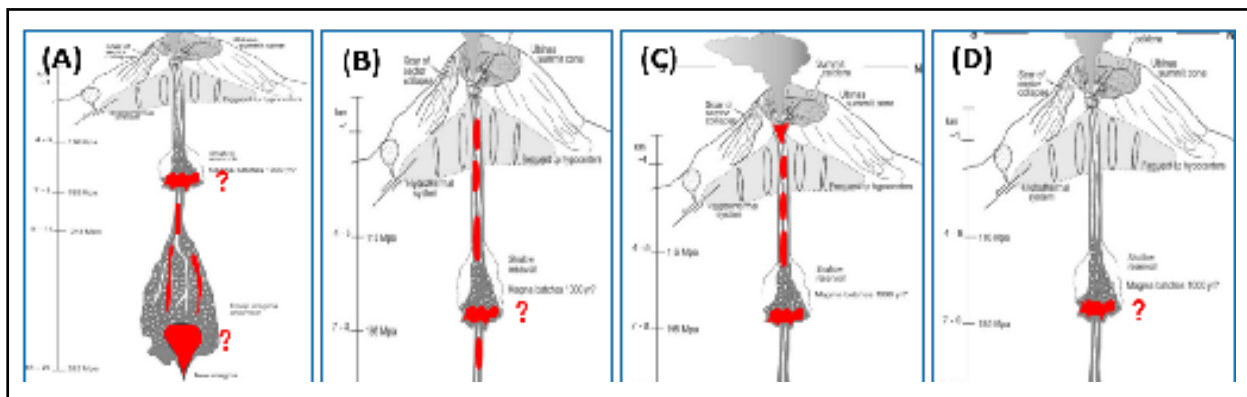
sin una clara ocurrencia de VT's importantes que indicarían un claro proceso de intrusión (Figura 2D).

Sin embargo, se registró deformación por sobrepresión de la fuente superficial del Ubinas (Figura 2B).

Este procesos (Figura 3C) evidencio el ascenso de los magmas evolucionados en su paso hacia la superficie por los conductos volcánicos con fracturamiento interno de rocas 23 días antes de la erupción, los fluidos magmáticos evidencian su paso un 1 día después de la erupción (240 eventos LP el día 20 julio).

### Figura 3

*Modelo geológico conceptual del Ubinas (Rivera et al., 2014 y Thouret et al., 2005), basado en resultado de monitoreo multiparamétrico del concepto de la movilización, ascenso y emplazamiento de los magmas. A) Intrusión magmática adicional. B) Recarga de la fuente superficial. C) Ascenso final de magmas evolucionados y D) Magma residual.*



Los datos de monitoreo del volcán, evidencian que el ascenso de los magmas de composiciones diferentes y evolucionados se presurizaron violentamente en las regiones superficiales del volcán.

La correlación de datos del proceso eruptivo del 19 de julio del 2019, determinan que la magnitud de la erupción alcanzo una energía de 3 MJ, registrándose hasta 4 explosiones entre julio a setiembre del 2019 (Figura 2, estrellas

color rojo), una última explosión es registrada el 04 de setiembre a horas 09:56, el volumen de cenizas y productos vulcanicos emitido por la erupción alcanzo  $4.6 \times 10^6$  m<sup>3</sup> que se dispersó por más de 300 km desde el cráter, con una energía sísmica acumulada de 336 MJ, de acuerdo a estos parámetros re-calculados y según la escala de Índice de Explosividad Volcánica (VEI, en inglés) de Newhall 1982, la erupción del Ubinas se clasifico de un VEI 2, siendo una de las erupciones más violentos conocidas hasta ahora.

La erupción del 2019, marca una nueva etapa poco conocido del volcán, de acuerdo a McNutt et al., 2017, el comportamiento de los magmas depende de cada ambiente volcánico, donde se almacenan, como se desplazan, son desafíos por comprender como evolucionan en el tiempo.

Tomando estas premisas y la correlación de datos de monitoreo que generan información relevante de cómo se comportan los magmas y del entendimiento de datos instrumentales de la red de monitoreo, permiten documentar y registrar cambios o patrones en diferentes parámetros de monitoreo volcánico (Figura 2), que permiten identificar cómo los magmas se desplazan en su paso desde una fuente profunda hacia una fuente superficial, generando señales poco frecuentes durante su procesos de diferenciación entre magmas de composición diferentes.

### CONCLUSIONES

El registro histórico y datos de un monitoreo permanente continuo, permitieron identificar, detectar, documentar las 03 etapas del proceso eruptivo de la erupción del 19 de julio del 2019, que ha marcado una de las etapa eruptivas poco conocidos del Ubinas, que dentro de la escala histórica de su actividad presentó un comportamiento completamente variable en el tiempo, con explosiones violenta de corta duración, respecto a los episodios eruptivos de 1969, 2005 - 2008 y 2013 – 2017 que presentaron periodos prolongados de erupción.

Probablemente las nuevas intrusiones magmáticas en su paso hacia la superficie evolucionaron violentamente al entrar en contacto con los magmas antiguos desde las regiones más profundas del Ubinas.

Esta nueva fase evolutiva genero una tensión por acumulación de presión y temperatura,

genero una energía sísmica acumulado de 336 MJ, mientras el volumen recalculado de magma eruptado fue de  $4.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ , que clasifican a esta erupción de un VEI2, en comparación con el procesos eruptivo del 2006 – 2009 (719 MJ, volumen eruptado de  $4 \times 10^6 \text{ m}^3$  en 4 años), y el 2013 – 2017 (484 MJ, un volumen estimado de  $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$  en 5 años).

### AGRADECIMIENTOS

El presente resumen, trata de la evaluación y análisis de datos de monitoreo del volcán Ubinas.

En ese contexto quiero expresar mi gratitud al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico y al Observatorio Vulcanológico del Ingemmet, por brindarme el apoyo institucional y disponer de los datos e información bibliográfica, para mostrar y proporcionar los comentarios sinceros y críticas.

### REFERENCIAS

- Lavallée, Y., de Silva, S., Salas, G., Byrnes, J., 2009. Structural control on volcanism at the Ubinas, huaynaputina, and Ticsani Volcanic Group (UHTVG), southern Peru. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 186, 253-264.
- McNutt, S. R. (2017). *Volcanic Eruptions and their Repose, Unrest, Precursors, and Timing*.
- Newhall, C. G., & Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI) an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87(C2), 1231-1238.



- Rivera, M. (2010). Genèse et évolution des magmas andésitiques à rhyodacitiques récents des volcans Misti et Ubinas (Sud du Pérou). École Doctorale des Sciences Fondamentales, Université Blaise Pascal–Clermont-Ferrand Ii.
- Rivera, M., Thouret, J. C., & Gourgaud, A. (1998). Ubinas, el volcán más activo del sur del Perú desde 1550: Geología y evaluación de las amenazas volcánicas. *Bol. Soc. Geol. Perú*, 88, 53-71.
- Rivera, M., Thouret, J. C., Mariño, J., Berolatti, R., & Fuentes, J. (2010). Characteristics and management of the 2006–2008 volcanic crisis at the Ubinas volcano (Peru). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 198(1-2), 19-34.
- Rivera, M., Thouret, J. C., Samaniego, P., & Le Pennec, J. L. (2014). The 2006–2009 activity of the Ubinas volcano (Peru): Petrology of the 2006 eruptive products and insights into genesis of andesite magmas, magma recharge and plumbing system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 270, 122-141.
- Siebert, L., E. Cottrell, E. Venzke, and B. Andrews. 2015. Earth's volcanoes and their eruptions: An overview. Pp. 239-255 in *Encyclopedia of Volcanoes*, 2nd Ed., H. Sigurdsson, B. Houghton, S.R. McNutt, H. Rymer, and J. Stix, eds. San Diego, CA: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-385938-9.00012-2.
- Thouret JC, Rivera M, Wörner G, Gerbe MC, Finizola A, Fornari M, Gonzales K (2005) Ubinas: the evolution of the historically most active volcano in southern Peru. *Bull Volcanol* 67:557–589.