



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú - IGP



---

REPORTE  
TÉCNICO  
ESPECIAL

---



# Investigación y Monitoreo de Volcanes Activos en el Sur del Perú

 *Trabajando para  
todos los peruanos*

**2017**

Elsa Galarza Contreras  
Ministra del Ambiente

Hernando Tavera  
Presidente Ejecutivo IGP

Edmundo Norabuena  
Director Científico IGP

David Portugal  
Director OVS

**Autores**  
Orlando Macedo Sánchez  
José Del Carpio Calienes  
Nino Puma Sacsí  
Riky Centeno Quico  
José Torres Aguilar  
John Cruz Idme  
Armando Ali Murillo  
Katherine Vargas Alva  
Jorge Andrés Concha Calle

**Edición de contenidos**  
Orlando Macedo Sánchez  
Jorge Andrés Concha Calle

**Diseño y diagramación**  
Jorge Andrés Concha Calle

**Portada**  
Explosión en el volcán Sabancaya

Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS)  
Instituto Geofísico del Perú (IGP)  
Urb. La Marina B-19, Cayma-Arequipa  
Teléfono: +51 54 251373  
<http://ovs.igp.gob.pe>  
[ovs@igp.gob.pe](mailto:ovs@igp.gob.pe)

Hecho en el depósito legal en la  
Biblioteca Nacional del Perú  
n.º 2017-17804  
Tiraje: 1000 ejemplares

Impreso por:  
Inversiones IAKOB S.A.C.  
Av. Iquitos n.º 1481  
La Victoria, Lima  
Teléfono: +5112963911

Primera edición - diciembre de 2017  
Arequipa, diciembre de 2017

# CONTENIDO

## 4 PRESENTACIÓN

## 5 INVESTIGACIÓN

6 Evaluación del riesgo volcánico en Perú, instrumentación de monitoreo requerido y situación de la vigilancia actual

12 Pronóstico de erupción volcánica mediante la identificación de señales sísmicas y eléctricas en el volcán Ubinas

18 Actividad sísmica observada en el volcán Tutupaca (Tacna), periodo septiembre de 2015-febrero de 2017

## 21 VIGILANCIA

22 Resumen de la actividad sismovolcánica del volcán Sabancaya en 2017

36 Resumen de la actividad sismovolcánica del volcán Ubinas en 2017

40 Resumen de la actividad sismovolcánica del volcán Misti en 2017

44 Resumen de la actividad sismovolcánica del volcán Ticsani en 2017

## 48 CAPACITACIÓN

49 Talleres en zonas vulnerables - Ubinas

50 Talleres en zonas vulnerables - Chivay, Yanque, Pinchollo, Cabanaconde

52 Talleres en zonas vulnerables - Calacoa

54 Talleres en municipios e instituciones educativas de Arequipa

## 56 FORTALECIMIENTO

## PRESENTACIÓN

Escribe:



Dr. Orlando Macedo  
Investigador Científico  
Observatorio Vulcanológico del Sur  
Instituto Geofísico del Perú

La zona sur del territorio peruano es parte septentrional de la Zona Volcánica Central (ZVC), donde 16 volcanes considerados activos y/o potencialmente activos constituyen una amenaza latente para sus habitantes. En efecto, en caso de erupción importante, tanto las personas, así como la fauna y flora de la región, se verían muy afectadas, sin mencionar los daños probables a las importantes obras de infraestructura, las propiedades diversas así como a los servicios (especialmente el tráfico aéreo).

En un reciente estudio de evaluación del riesgo volcánico en el Perú (Macedo et al., 2016), se ha identificado 4 grupos de volcanes: (1) de muy alto riesgo (Sabancaya, Ubinas, Misti y Coropuna); (2) de alto riesgo (Yucamane, Tútupaca, Huaynaputina, Ticsani y Chachani); (3) de riesgo moderado (Sara Sara, Casiri y Quimsachata); (4) de bajo riesgo (Purupuruni, Andahua, Huambo y Auquihuato).

Habiendo realizado numerosos estudios científicos y desarrollado sistemas de monitoreo volcánico en todo el sur del Perú desde 1990, época en la cual el volcán Sabancaya repentinamente entró en intranquilidad y luego hizo erupción, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) ha continuado avanzando en las investigaciones y consolidando la puesta en operación de redes geofísicas para vigilar adecuadamente a los colosos que amenazan el sur del país.

En los últimos años, lo esencial de la vigilancia se efectúa por medio de redes sísmicas establecidas especialmente para cada volcán, pero en 2016-2017 se ha avanzado también en la aplicación de un nuevo método geofísico: el del Potencial Espontáneo (PE), aplicado en el volcán Ubinas. Este método comienza a mostrar su utilidad al haber sido correlacionado en sus resultados con otros métodos como el sísmico, la observación térmica y de SO<sub>2</sub> satelitales, así como observaciones en el campo. Todo el conjunto nos permite, actualmente, estar en condiciones de dar pronósticos

del comportamiento (eventualmente de erupción) de los volcanes en el Perú.

A la fecha, ya se dispone de redes sísmicas permanentes y en tiempo real para 4 volcanes: Misti, Sabancaya, Ubinas y Ticsani. Adicionalmente, se efectúan campañas de registro temporal en volcanes que muestran actividad que sobresale del promedio habitual. Pero el IGP va a extender aún más y rápidamente esta labor de vigilancia volcánica hasta cubrir a todos los volcanes activos y/o potencialmente activos.

Este año se ha iniciado la ejecución del importante proyecto de inversión que se formuló en 2013 y alcanzó su viabilidad en 2015: "Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alerta ante el Riesgo Volcánico en el Sur del Perú", mediante el cual se dotará de modernos instrumentos y suficientes redes de vigilancia a cada volcán y, además, permitirá la construcción de un nuevo local para el Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP (OVS-IGP) en la ciudad de Arequipa, donde trabajarán los profesionales especialistas en vigilancia de la actividad volcánica y el pronóstico de erupciones. Por tanto, el desarrollo de la vulcanología en el Perú se beneficiará de un impulso importante en los próximos meses y años, lo cual redundará en el mejoramiento de la seguridad de la comunidad frente al fenómeno de erupción volcánica.

En resumen, mucho se ha trabajado y logrado en estos últimos años. Un importante logro es que actualmente el IGP está en condiciones de proveer pronósticos del comportamiento de un volcán. El presente reporte anual del Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP, que tengo el honor de presentar, es una muestra de los avances logrados, detallando las actividades científicas y de vigilancia llevadas a cabo por el grupo de profesionales dedicados a esta fundamental labor en favor del conocimiento y de la seguridad de las poblaciones y territorios amenazados por erupciones volcánicas.



Profesionales del Instituto Geofísico del Perú - Sede Arequipa  
FOTO IGP

## INVESTIGACIÓN

La investigación científica es un soporte fundamental en la gestión del riesgo de desastres. El Instituto Geofísico del Perú tiene como uno de sus principales objetivos la realización de estudios útiles para la sociedad, los cuales permitan conocer mejor el entorno y los fenómenos naturales que ocurren en él. A continuación, algunas de las investigaciones más destacadas realizadas por nuestros profesionales de la sede de Arequipa.



Vulcanólogo del IGP recoge información del Potencial Espontáneo en el volcán Ubinas.  
FOTO IGP

# Evaluación del riesgo volcánico en Perú, instrumentación de monitoreo requerido y situación de la vigilancia actual

Orlando Macedo <sup>(1)</sup>, José Del Carpio <sup>(1)</sup>, Edú Taipe <sup>(2)</sup>, Javier Ticona <sup>(3)</sup>, Domingo Ramos <sup>(2)</sup>, Nino Puma <sup>(1)</sup>, Víctor Aguilar <sup>(3)</sup>, Roger Machacca <sup>(2)</sup>, José Torres <sup>(1)</sup>, Kevin Cueva <sup>(2)</sup>, John Cruz <sup>(1)</sup>, Ivonne Lazarte <sup>(2)</sup>, Riky Centeno <sup>(1)</sup>, Rafael Miranda <sup>(2)</sup>, Yovana Álvarez, Pablo Masías <sup>(2)</sup>, Javier Vilca <sup>(1)</sup>, Fredy Apaza <sup>(2)</sup>, Rolando Chijcheapaza <sup>(1)</sup>, Javier Calderón <sup>(2)</sup>, Jesús Cáceres, Jéscica Vela <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> Observatorio Vulcanológico del Sur del Instituto Geofísico del Perú (OVS-IGP)

<sup>(2)</sup> Observatorio Vulcanológico del Ingemmet (OVI)

<sup>(3)</sup> Instituto Geofísico de la UNSA (IG-UNSA)

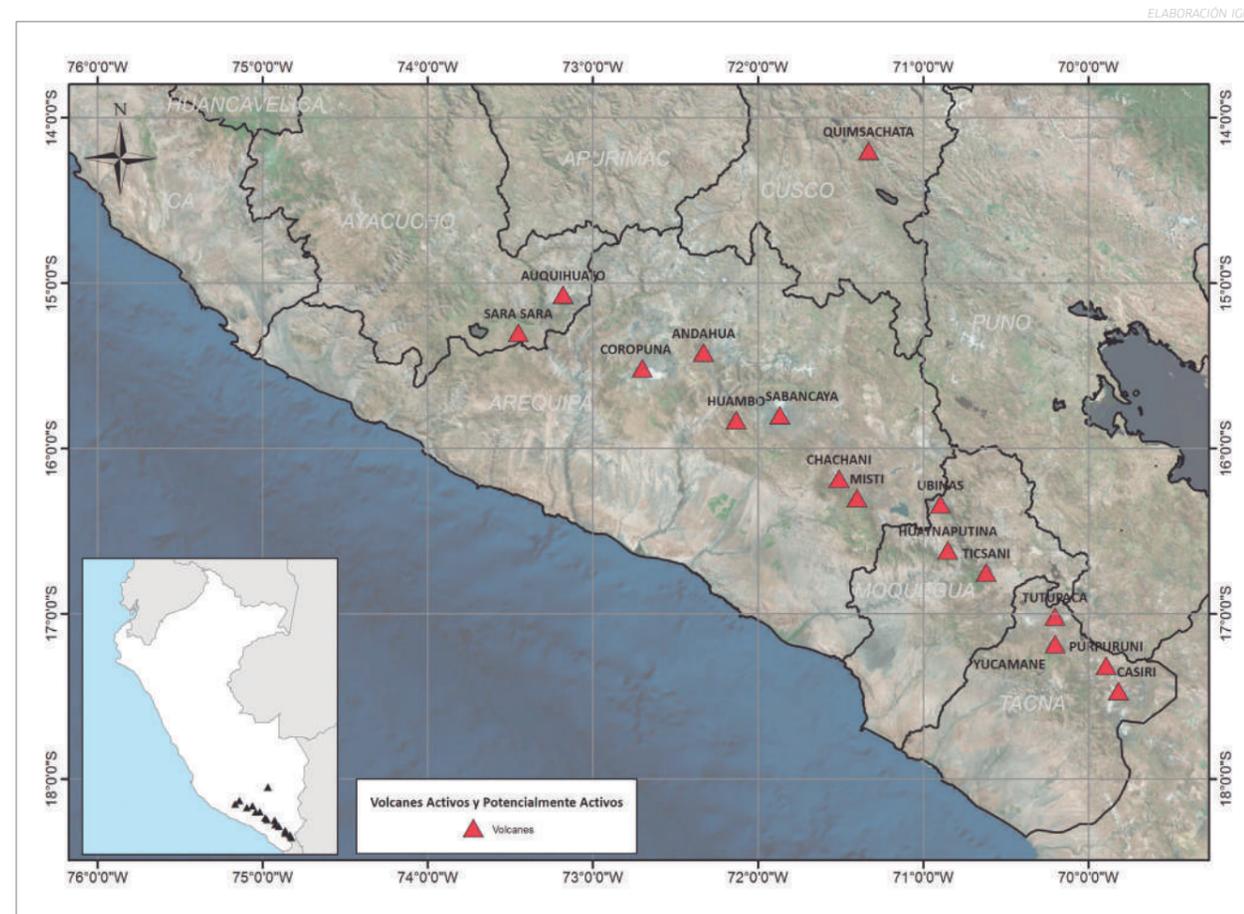


Figura 01.- Volcanes activos y potencialmente activos del sur del Perú.

## RESUMEN

En el Perú se han identificado y catalogado 16 estructuras volcánicas como activas y potencialmente activas. Desde 1550, 8 de estas (Huaynaputina, Ubinas, Misti, Sabancaya, Tutupaca, Ticsani, Yucamane y volcanes de Andagua) han presentado erupciones. En ese sentido, se ha desarrollado la evaluación del riesgo

volcánico en el Perú basado en la metodología de Ewert et al (2005), con base en el análisis de los factores de peligro y los factores de exposición. Se determinaron 4 niveles de riesgo volcánico relativo (RVR): muy alto, alto, moderado y bajo. Los volcanes categorizados en nivel "muy alto" son: Sabancaya, Ubinas, Misti y Coropuna. Los 2 primeros se encuentran actualmente en proceso eruptivo, afectando a una población cercana a los 43,000 habitantes.

A cada nivel de RVR se le ha asignado un nivel de instrumentación de vigilancia necesaria para realizar el monitoreo, estudio e intervención de los 16 volcanes activos y potencialmente activos analizados. Cada uno de estos niveles detalla el grado de instrumentación a instalar dependiendo del puntaje de RVR obtenido, y así, de esta manera, establecer prioridades y permitir un óptimo manejo de recursos.

Finalmente, se realizó la comparación del monitoreo con el que cuentan actualmente los volcanes del sur peruano versus el nivel de instrumentación que requieren de acuerdo al RVR obtenido. Los resultados de este análisis indican que existen serias deficiencias en cuanto al nivel de instrumentación requerido.

## INTRODUCCIÓN

Una importante área del territorio del sur del Perú está expuesta a las erupciones volcánicas. De acuerdo a De Silva & Francis (1991) y Simkim & Siebert (1994), en el sur del Perú se han identificado 16 estructuras volcánicas activas y potencialmente activas (Fig. 01). Así también, en los últimos 600 años, se ha contado un total de 45 erupciones explosivas en 8 volcanes, lo que hace un promedio de una erupción cada 13 años.

Ante esta realidad, se ha hecho necesario contar con un sistema de alerta volcánica temprana que asegure que todos los volcanes activos sean convenientemente vigilados y monitoreados antes de que presenten signos de intranquilidad. En el presente estudio, el riesgo volcánico que pende sobre una zona está definido por los peligros (o fenómenos naturales destructores que genera el volcán) y la exposición (o vulnerabilidad) de las personas y bienes susceptibles de ser alcanzados por tales peligros.

En este contexto, en el presente trabajo se efectúa una estimación semicuantitativa orientada a la evaluación objetiva del riesgo volcánico que representa la actividad volcánica a nivel nacional. Este sistema es una adaptación del modelo utilizado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), denominado "National Volcano Early Warning System" (NVEWS) y desarrollado por Ewert et al. (2005).

## METODOLOGÍA EN LA EVALUACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO

Para evaluar el riesgo volcánico que representa cada volcán es necesario contar con información basada en estudios geológicos, geofísicos y/o geoquímicos. En el pasado se realizaron estudios en aquellos volcanes donde se observaba actividad evidente. Así por ejemplo, los volcanes Sabancaya y Ubinas, que han presentado erupciones desde la década de 1980, fueron los primeros en ser estudiados.

Posteriormente, prosiguieron los estudios de otros volcanes con notables peligros volcánicos que se ciernen sobre poblaciones y/o infraestructuras.

**a) FACTORES DE PELIGRO.-** Se ha considerado conveniente incluir la información contenida en estudios vulcanológicos importantes realizados por el IGP e INGEMMET, así como los estudios publicados en revistas indexadas nacionales e internacionales. El siguiente cuadro resume y detalla la evaluación y puntuación de los factores de peligro.

Factor de peligro	Rango	Descripción
Tipo de volcán (Vt)	0 - 1	0→Conos de escoria, campo volcánico basáltico.
Máximo Índice de Explosividad Volcánica (IEV)	0 - 3	0→IEV ≤ 2. 1→IEV 3 o 4. 2→IEV 5 o 6. 3→IEV ≥ 7. 0→Si el IEV es desconocido y es un volcán de tipo 0. 1→ Si el IEV es desconocido y es un volcán de tipo 1.
Actividad explosiva <500a. (Ae)	0 - 1	1→Actividad explosiva últimos 500 años (IEV ≥ 3).
Actividad explosiva <5000a. (MAe)	0 - 1	1→Actividad explosiva últimos 5000 años (IEV ≥ 4).
Recurrencia eruptiva (Re)	0 - 4	4→intervalo de erupciones 1 - 99 años. 3→intervalo de erupciones 100 - 1000 años. 2→intervalo de erupciones 1000 a miles de años. 1→5000 - 10000 años. 0→No se conocen erupciones holocenas.
Flujos piroclásticos holocenos (Fp)	0 - 1	0→No existieron o no se conocen. 1→Si existieron flujos piroclásticos holocenos.
Flujos de lava holocenos (Fl)	0 - 1	1→Si existieron flujos de lava holocenos.
Lahares holocenos (Lh)	0 - 1	1→Si existieron lahares holocenos.
Potenciales explosiones hidrotermales (Eh)	0 - 1	1→existencia de explosiones freáticas y de características termales para poseer una actividad explosiva.
Potencial sector de colapso (Cp)	0 - 1	1→si ha tenido algún sector de colapso en el Cuaternario-Holoceno, reconstrucción de su edificio o presenta laderas escarpadas con alteración.
Fuente primaria de lahar (Flh)	0 - 1	1→si el volcán tiene cursos permanentes de agua o hielo en el edificio (volumen de hielo > 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ).
Actividad sísmica observada (As)	0 - 1	1→desde la última erupción, en ausencia de actividad eruptiva, dentro de 20 km del edificio volcánico.
Deformación observable de la superficie (Ds)	0 - 1	1→desde la última erupción, en ausencia de actividad eruptiva, presenta hinchamiento u otra evidencia de inyección de magma.
Fumarola o desgasificación (F)	0 - 1	1→desde la última erupción, en ausencia de actividad eruptiva, presenta fuente de calor o gases magmáticos.

Cuadro 1.- Factores de peligro modificado de Ewert et al., 2005.

El ejercicio de evaluación y puntuación referente al peligro volcánico es, por tanto, realizado para cada volcán considerado y finalmente se obtiene un solo valor representativo según la fórmula siguiente (i):

$$\text{Factor Peligro} = Vt + IEV + Ae + MAe + Re + Fp + Fl + Lh + Eh + Cp + Flh + As + Ds + F \dots \dots \dots (i)$$

**b) FACTORES DE EXPOSICIÓN.-** Los detalles para evaluar cada uno de estos factores se muestra en el cuadro 2 (modificado de Ewert et al., 2005) descrito a continuación:

Factor de exposición	Rango	Descripción
Población contenida en un radio de 30 km (Pv)	0 - 5.4	Población cercana al volcán en un radio de 30 km. Factor = Log <sub>10</sub> (población_cercana).
Población cercana a cursos de agua o valles fluviales (Pv)	0 - 5.1	Población en un radio de 30 km establecida sobre depósitos holocenos o en zonas inundables. Factor = Log <sub>10</sub> (población_depósito&zona-inundable).
Muertes históricas (Mh)	0 - 1	1→Si existen registros de muertes por erupción volcánica.

Continúa en la pág. 8 →

Evacuaciones históricas. (Eh)	0 - 1	1→Si existe registro de evacuaciones de población debido a potencial amenaza eruptiva.
Exposición de la aviación local (Al)	0 - 2	1→Si el aeropuerto está ubicado hasta 50 km del volcán y si el volcán es de tipo 1 (Estratoconos, domos). 2→Si el volcán es de tipo 1 y dentro de 300 km de radio se encuentra algún aeropuerto internacional. 0→Ninguno de los anteriores criterios.
Exposición de la aviación regional (Ar)	0 - 5.15	Factor= $\text{Log}_{10}(\text{número de pasajeros dentro de un radio de 300 km del volcán})$ . Aplicado solo si el tipo de volcán es 1.
Infraestructura energética. (Ip)	0 - 1	1→Existe infraestructuras de generación, transmisión o distribución de electricidad, gas o petróleo dentro de 30 km. 0→No existe.
Infraestructura de transporte. (It)	0 - 1	1→Existe desarrollo de infraestructuras de transporte (puertos, líneas ferroviarias o carreteras principales). 0→No existe.
Desarrollos urbanos mayores o áreas ecológicamente sensibles. (Zd)	0 - 1	1→Existen zonas de sensibilidad y vulnerabilidad (parques nacionales, áreas de desarrollo indígena, reservas naturales, etc.) frente a una erupción volcánica. 0→No existe.

Cuadro 2.- Factores de exposición (vulnerabilidad). Modificado de Ewert et al., 2005. (Elaboración IGP)

En la evaluación de la vulnerabilidad se considera la intervención de todas las variables descritas. Se realiza mediante la siguiente formula (ii):

$$\text{Factor Exposición} = P_v + P_f + M_h + E_h + A_l + A_r + I_p + I_t + Z_d \dots \dots (ii)$$

c) **DETERMINACIÓN DE FACTORES DE RIESGO.**- El nivel de riesgo volcánico viene determinado por el producto de los 2 puntajes hallados en (i) y (ii). Este ejercicio nos proporciona como resultado un valor relativo que representa el "Riesgo Volcánico Relativo" (RVR). Tal valor ofrece un diagnóstico previo que puede ser muy útil para planificar y decidir la intervención de la política pública.

$$\text{Riesgo Volcánico Relativo (RVR)} = \text{Factor Peligro} \times \text{Factor Exposición} \dots \dots (iii)$$

En el caso de nuestro estudio, en primer lugar se efectuó la evaluación de cada una de las variables del factor peligro y del factor exposición para cada volcán. Enseguida, se ha aplicado la expresión (i) para determinar el factor de Peligro Volcánico y la expresión (ii) para obtener el factor Exposición o Vulnerabilidad. Finalmente, se introdujeron estas variables en la expresión (iii).

VOLCÁN	FACTOR DE PELIGRO VOLCÁNICO	FACTOR DE EXPOSICIÓN	RIESGO VOLCÁNICO RELATIVO (RVR)
Sabancaya	14.0	17.6	246
Ubinas	15.0	14.7	221
Misti	13.0	15.2	198
Coropuna	11.0	17.3	190
Yucamane	12.0	13.5	162
Tutupaca	12.0	13.5	162
Huaynaputina	11.0	14.7	162
Ticsani	10.0	13.5	135

Chachani	8.0	15.2	122
Sara Sara	6.0	11.2	67
Casiri	4.0	13.4	54
Quimsachata	3.0	14.3	43
Purupuruni	2.0	13.7	27
Andahua	4.0	6.1	24
Huambo	3.0	5.5	17
Auquihuato	2.0	5.2	10

Cuadro 3.- Resultados finales por volcán del factor de peligro (i), factor de exposición (ii) y Riesgo Volcánico Relativo (iii). (Elaboración IGP)

Con los valores de la puntuación (RVR), se confecciona para cada volcán un gráfico a partir del cual se observa y se determina si resaltan agrupamientos (clasificación) de volcanes (Fig. 02a). En la representación del RVR en el grafico de barras, a veces es posible que las inflexiones esperadas de la envolvente no logren ser lo suficientemente claras como para poder separar de manera evidente grupos o categorías de valores diferentes. Entonces, hay un procedimiento que ayuda a separar las categorías. Se trata de calcular también el "Riesgo Aeronáutico" que tiene un impacto importante en caso de erupción. Entonces, se procede a utilizar un gráfico adicional: la puntuación del riesgo aeronáutico (Fig. 02b).

$$\text{Riesgo Aeronáutico} = (\text{IEV} + A_e + M_{Ae} + R_e) \times (A_l + A_r) \dots \dots (iv)$$

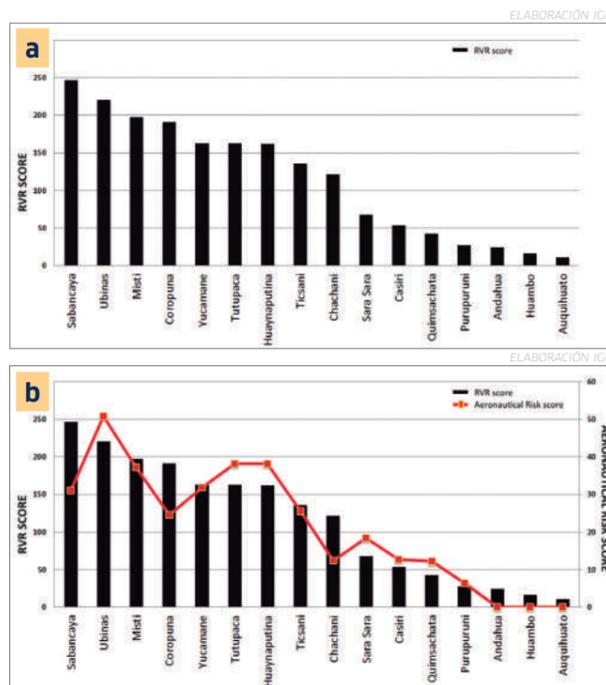


Figura 02.- a) Valores de RVR para cada volcán peruano analizado y b) Curva de la puntuación del Riesgo Aeronáutico (línea roja con cubo rojo). Gracias a las evidencias de inflexiones de esta curva, se ha podido delimitar grupos de volcanes que presentan valores semejantes de RVR.

d) **RESULTADOS: CATEGORIZACIÓN DE LOS VOLCANES ACTIVOS DEL PERÚ SEGÚN SU RVR**

Los valores del RVR obtenido para los volcanes peruanos han servido finalmente para delimitar 4 grupos de volcanes que pertenecen a diferentes categorías de RVR: Muy Alto, Alto, Moderado y Bajo, tal como se observa en la figura siguiente.

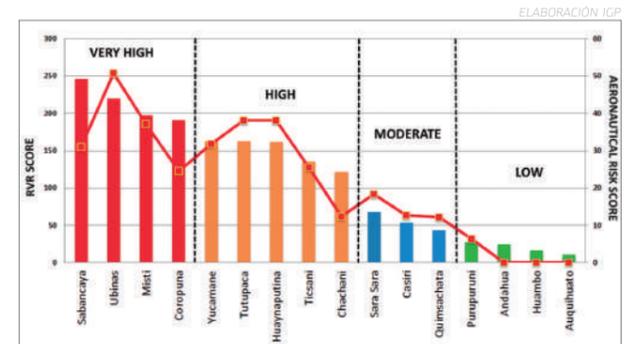


Figura 03.- Categorización de los volcanes según el RVR. Los grupos (Muy Alto, Alto, Moderado y Bajo) son determinados observando el agrupamiento de las barras.

Es importante mencionar que los resultados mostrados en la figura 03 no están asociados a pronóstico de erupción alguna, sino que solo nos están indicando, mediante el nivel de RVR, cuáles volcanes podrían tener mayor/menor nivel de impacto en caso de una erupción volcánica. Considerando los distritos involucrados en todas las áreas o territorios, el número total de distritos afectados por los diferentes niveles de RVR es de 127. Tales distritos albergan una población total de 1,342,714 habitantes (Censo INEI de 2007, proyectado al 2015).

**INSTRUMENTACIÓN DE MONITOREO REQUERIDO**

Con base en los niveles de RVR obtenidos por la metodología desarrollada anteriormente, en esta sección se determina el grado de instrumentación de vigilancia para el monitoreo de cada volcán. De esta manera, la vigilancia volcánica se efectuará adecuadamente y permitirá el manejo de recursos (instrumentos, personal, presupuesto) con eficiencia. El número y tipo de instrumentación ha sido determinada considerando todo el trabajo y experiencia acumulados desde 1990 (crisis Sabancaya), así como en 2006 (Ubinas), entre otras campañas de vigilancia. Asimismo, se ha tenido en cuenta las experiencias y recomendaciones de los investigadores del US Geological Survey que aparecen en Ewert et al. (2005) y Moran et al. (2008).

Por consiguiente, se ha establecido los siguientes puntos:

- Todos los instrumentos deben operar en las inmediaciones del volcán. Aquellos que son necesarios para realizar una vigilancia en tiempo real, evidentemente, deberán transmitir sus señales en tiempo real al observatorio vulcanológico.
- Los equipos o instrumentos a utilizarse deben ser capaces de medir los principales parámetros físicos y químicos que proporcionan información de la evolución en una crisis eruptiva. Las disciplinas (y sus respectivos instrumentos de medición) involucradas son las siguientes:
  - La sismología se ocupa de analizar la sismicidad generada en los ambientes volcánicos.

Continúa en la pág. 10 →

VOLCÁN	NIVEL RVR	SÍSMICA		GEOQUÍMICA			FENOMENOLOGÍA			DEFORMACIÓN		ELÉCTRICA Y LAHAR			
		SISMÓMETRO	INCLINÓMETRO	INFRASONIDO	DOAS	MULTIGAS	Tº Y CONDUCTIVIDAD DE FUMAROLAS	Tº DE FUMAROLAS	CÁMARA DE VIDEO	CÁMARA IR	FTIR	ESTACIÓN GPS	GRAVÍMETRO	ESTACIÓN GEOELÉCTRICA	DETECTOR DE LAHAR
		NÚMERO DE INSTRUMENTOS													
Sabancaya	4	20	4	3	4	1	2	1	3	2	1	16	1	2	1
Ubinas	4	20	4	3	4	1	2	1	3	2	1	16	1	2	1
Misti	4	20	4	3	4	1	2	1	3	2	1	16	1	2	1
Coropuna	4	20	4	3	4	1	2	1	3	2	1	16	1	2	1
Tutupaca	3	6	4	*	2	1	2	1	2	1	*	8	*	1	*
Huaynaputina	3	6	4	*	2	1	2	1	2	1	*	8	*	1	*
Ticsani	3	6	4	*	2	1	2	1	2	1	*	8	*	1	*
Chachani	3	6	4	*	2	1	2	1	2	1	*	8	*	1	*
Yucamane	3	6	4	*	2	1	2	1	2	1	*	8	*	1	*
Sara Sara	2	4	1	*	*	*	1	*	1	*	*	3	*	*	*
Quimsachata	2	4	1	*	*	*	1	*	1	*	*	3	*	*	*
Casiri	2	4	1	*	*	*	1	*	1	*	*	3	*	*	*
Andahua	1	2	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Auquihuato	1	2	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Huambo	1	2	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Purupuruni	1	2	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Cuadro 4.- Nivel de instrumentación de monitoreo de acuerdo al nivel RVR. (Elaboración IGP)

Puede detectar pequeños sismos a grandes profundidades.

- La geodesia se ocupa de medir la deformación en la superficie del volcán o proximidades.
- Hidrología y gases analizan las características físicas y químicas de los fluidos volcánicos y no volcánicos.
- Sensoramiento remoto, conformado por instrumentos que registran parámetros físicos y químicos (temperatura, acidez, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, deformación, etc.), medibles desde la superficie o desde el espacio.

c) Los niveles o grados de instrumentación deben ir en concordancia con los respectivos niveles de RVR encontrados. Es decir, aquellos volcanes que denotan un mayor riesgo volcánico (RVR) deben ser vigilados con mayor diversidad de métodos y mayor número de instrumentos.

Por tanto, para el grupo de volcanes cuyo RVR es "Muy Alto" se requiere implementar un "monitoreo máximo" o llamado también Nivel 4 de monitoreo. Para el grupo de volcanes con RVR "Alto", se requiere un "monitoreo regular" o llamado también Nivel 3 de monitoreo. Para el grupo de volcanes con RVR "Moderado", se requiere un "monitoreo básico" o llamado también Nivel 2 de monitoreo. Finalmente, para el grupo de volcanes con RVR "Bajo", se requiere un "monitoreo mínimo" o llamado también Nivel 1 de monitoreo.

### SITUACIÓN DE LA VIGILANCIA ACTUAL

Desde 1990, se ha desarrollado en el sur peruano el monitoreo volcánico en tiempo real gracias a la transmisión telemétrica de una red temporal instalada por el IGP en la zona del volcán Sabancaya (1990-1998). Posteriormente, se implementó la red de vigilancia permanente del Misti en 2005 y Ubinas en 2006. Así también, con el inicio de la intranquilidad sísmica del Sabancaya, empezó a operar una nueva red telemétrica permanente. Finalmente, hace pocos años se inició la vigilancia del volcán Ticsani (2015).

Sin embargo, estas redes de monitoreo equipadas con un número limitado de equipos sísmicos, inclinómetros, GPS y algunos DOAS representan un nivel de instrumentación Básico-Regular sobre volcanes cuyo RVR es "Muy Alto", los cuales, idealmente, deberían tener implementada instrumentación de nivel "Máximo". En ese sentido, se realizó la comparación del monitoreo actual vs. el monitoreo ideal por niveles, con la finalidad de evaluar las deficiencias y/o ventajas que existen en la actualidad sobre cada volcán. El cuadro 5 resume la comparación realizada: el total de instrumentos instalados actualmente vs. el número de instrumentos requeridos por niveles de RVR.

Del cuadro se puede observar que los volcanes Misti, Sabancaya, Ubinas y Coropuna presentan importantes deficiencias o vacíos de instrumental (Gap) en su sistema de vigilancia, pues todos ellos deberían tener un "monitoreo máximo", es decir, Nivel 4. Sin embargo, en el caso del Ubinas, solo se llega a un nivel

comparable al Nivel 3. En el caso del Sabancaya y Misti solo se llega al Nivel 2. En el caso del volcán Coropuna, este no cuenta con ningún tipo de vigilancia, es decir, que su nivel de monitoreo actual sería 1 o Bajo.

En el caso de los 12 volcanes activos restantes de la lista, la situación es aún más álgida, pues ellos no tienen ningún tipo de instrumentación en tiempo real.

En el caso de los volcanes de Alto RVR, como el Yucamane, Tutupaca, Huaynaputina, Ticsani y Chachani, que deberían tener redes funcionando en tiempo real, tan solo el volcán Ticsani cuenta con algunos instrumentos (equipos de tipo sísmico únicamente) en tiempo real. Los demás volcanes carecen de todo instrumento y solo han sido monitoreados de manera eventual hasta la fecha. En estos casos, el Gap es mayor, pues requieren de la instrumentación completa.

El análisis indica similar panorama para los volcanes identificados con RVR Moderado y Bajo, los cuales tampoco alcanzan a tener un monitoreo volcánico acorde para su nivel de RVR establecido.

VOLCANES	RVR	NIVEL DE MONITOREO ACTUAL	NIVEL DE MONITOREO IDEAL	GAP INSTRUMENTAL	n.º TOTAL DE INSTRUMENTOS INSTALADOS HASTA 2016	n.º TOTAL DE INSTRUMENTOS NECESARIOS
Sabancaya	<b>MÁXIMO</b>	2	4	2	36	244
Ubinas		3	4	1		
Misti		2	4	2		
Coropuna		1	4	3		
Yucamane	<b>REGULAR</b>	0	3	3	5	140
Tutupaca		1	3	2		
Huaynaputina		1	3	2		
Ticsani		1	3	2		
Chachani	<b>BÁSICO</b>	0	3	3	0	30
Sara Sara		0	2	2		
Casiri		0	2	2		
Quimsachata		0	2	2		
Purupuruni	<b>MÍNIMO</b>	0	1	1	0	12
Andahua		0	1	1		
Huambo		0	1	1		
Auquihuato		0	1	1		

Cuadro 5.- Instrumentación operativa de transmisión en tiempo real e instrumentación requerida por niveles de RVR.

### CONCLUSIONES

La evaluación del riesgo volcánico (basado en la metodología desarrollada por Ewert, 2005), que involucra definir los factores de peligro y vulnerabilidad, ha permitido categorizar mediante niveles de riesgo volcánico relativo o RVR a los 16 volcanes del sur peruano considerados activos y potencialmente activos. Dichos niveles clasifican a los volcanes en 4 grupos: "Muy Alto", "Alto", "Moderado" y "Bajo".

Según esta evaluación, los volcanes de "Muy Alto" RVR

son el Sabancaya, Ubinas, Misti y Coropuna. Volcanes de "Alto" RVR se considera al Yucamane, Tutupaca, Huaynaputina, Ticsani y Chachani. Los volcanes de "Moderado" RVR son Sara Sara, Casiri y Quimsachata. Finalmente, el grupo de volcanes de "Bajo" RVR incluye a Purupuruni, Andahua, Huambo y Auquihuato.

Consideramos que el Riesgo Volcánico Relativo (RVR) desarrollado en este trabajo es fundamental, pues posibilitará efectuar la instrumentación para la vigilancia volcánica adecuadamente y permitirá el manejo de recursos (instrumentos, personal, presupuesto) con eficiencia.

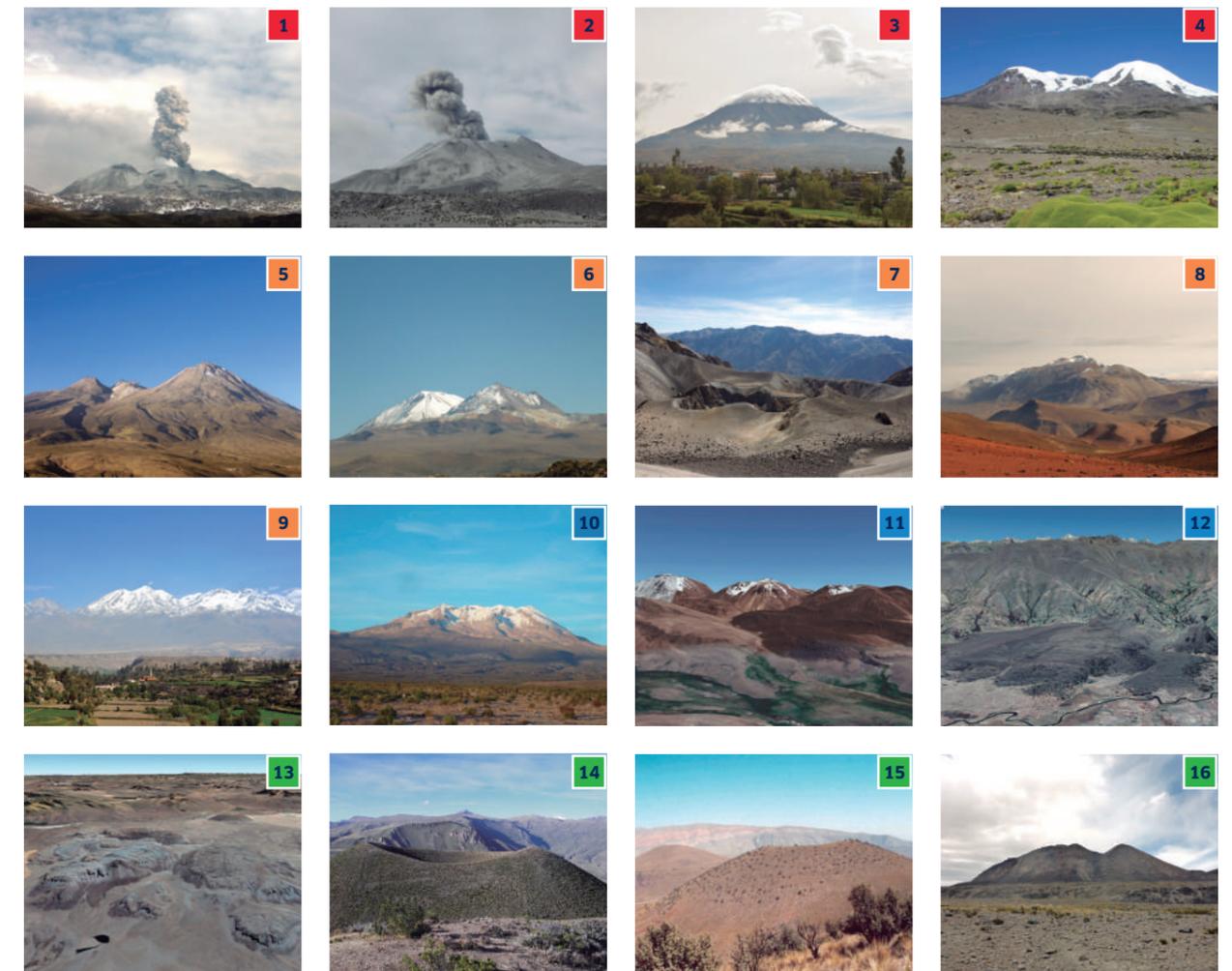
La instrumentación requerida para cada volcán está acorde con el nivel de RVR asignado. Con esta premisa, los volcanes de nivel "Muy alto" requieren un nivel de instrumentación 4 o Máximo, volcanes de nivel "Alto" precisan de instrumentación 3 o Regular. Los niveles RVR "Moderado" y "Bajo" requieren de un nivel de

instrumentación Básico (2) y Mínimo (1), respectivamente.

A quedado en evidencia, al comparar la situación del monitoreo actual con el monitoreo ideal (instrumentación de acuerdo al RVR), que la vigilancia volcánica en Perú presenta serias deficiencias, ya que actualmente los volcanes de nivel "Muy Alto", por ejemplo, cuentan con instrumentación de nivel 2 cuando deberían estar en nivel 4. Un óptimo nivel de monitoreo asegura una mayor cantidad de datos para mejorar la vigilancia volcánica en etapas de calma y, más importante aún, en procesos eruptivos.

### BIBLIOGRAFÍA

- Disponible en su totalidad en la versión digital del artículo alojado en la web del Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP. [http://ovs.igp.gob.pe/sites/ovs.igp.gob.pe/files/pdf/Investigacion/otros/evaluacion\\_del\\_riesgo\\_volcanico\\_en\\_el\\_peru.pdf](http://ovs.igp.gob.pe/sites/ovs.igp.gob.pe/files/pdf/Investigacion/otros/evaluacion_del_riesgo_volcanico_en_el_peru.pdf)



### VOLCANES ACTIVOS Y POTENCIALMENTE ACTIVOS DEL PERÚ DE ACUERDO AL RVR (RIESGO VOLCÁNICO RELATIVO)

- |                    |                      |                      |                     |
|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 1.- Sabancaya (MA) | 5.- Yucamane (A)     | 9.- Chachani (A)     | 13.- Purupuruni (B) |
| 2.- Ubinas (MA)    | 6.- Tutupaca (A)     | 10.- Sara Sara (M)   | 14.- Andahua (B)    |
| 3.- Misti (MA)     | 7.- Huaynaputina (A) | 11.- Casiri (M)      | 15.- Huambo (B)     |
| 4.- Coropuna (MA)  | 8.- Ticsani (A)      | 12.- Quimsachata (M) | 16.- Auquihuato (B) |

# Pronóstico de erupción volcánica mediante la identificación de señales sísmicas y eléctricas en el volcán Ubinas

Katherine Vargas <sup>(1)</sup>, Orlando Macedo <sup>(1)</sup>, José Del Carpio <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Observatorio Vulcanológico del Sur del Instituto Geofísico del Perú (OVS-IGP)

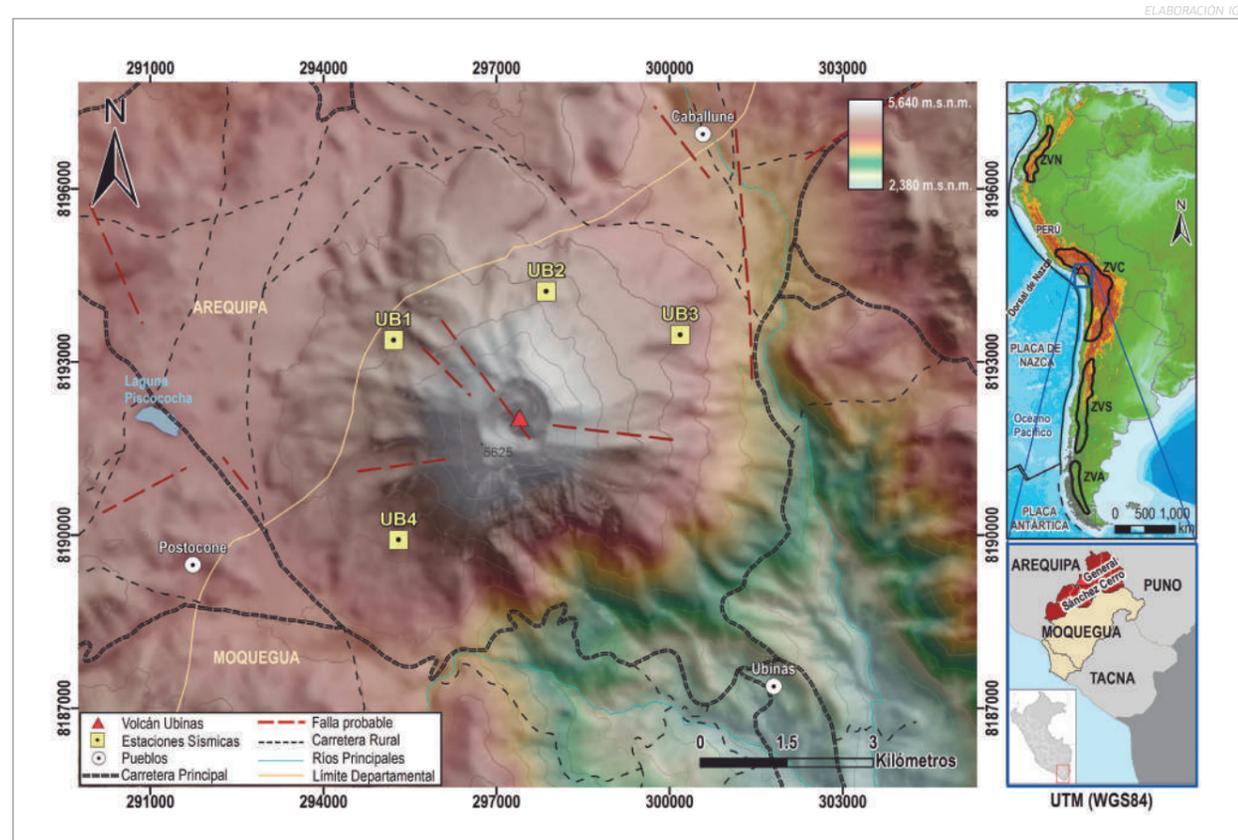


Figura 01.- Ubicación de las estaciones pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Ubinas. Se observa la Zona Volcánica Central (ZVC) de América del Sur (esquina superior derecha) y el Sur del Perú (esquina superior izquierda).

## RESUMEN

El volcán Ubinas, considerado el más activo del Perú, es monitoreado permanentemente empleando diversos métodos geofísicos. El monitoreo sísmico correspondiente al periodo marzo-diciembre de 2016 revela que la actividad sísmica presentó un patrón en su evolución. Considerando los eventos predominantes y la localización de los sismos Volcano-Tectónicos, se ha identificado 4 etapas. Por otro lado, una estación de registro continuo del Potencial Espontáneo (PE), instalada en el flanco noroeste, registró señales entre septiembre y noviembre de 2016. Dichas señales muestran la presencia de una anomalía ocurrida entre el 09 y 14 de septiembre. Esta anomalía del PE continuo

estaría asociada a un fenómeno de electrofiltración "per ascensum". Observando los resultados de análisis de señales de ambos métodos (sísmico y PE), se observa una correlación entre el incremento del PE con el incremento en la energía de los sismos de tipo Híbrido. Conociéndose que los eventos Híbridos están asociados a ascenso de magma, una explicación a dicha correlación encontrada sería que el ascenso de magma no solo genera sismicidad de tipo Híbrido, sino que el material caliente que asciende provoca a su vez la elevación de temperatura en el entorno de la zona hidrotermal, siendo así la causa de la anomalía observada en el registro de Potencial Espontáneo. La correlación de ambos métodos permitió fortalecer el pronóstico de la erupción con días de anticipación.

## INTRODUCCIÓN

El volcán Ubinas (UTM: 297401.97 E, 8192031.28 N, zona 19 S) es un estratovolcán que pertenece a la Zona Volcánica Central de Sudamérica (Fig. 01). Está ubicado en el sur del Perú, en la provincia de General Sánchez Cerro, región de Moquegua. Este volcán está asentado en el margen NW de una depresión erosionada alargada NNW-SSE. En el edificio volcánico se observan pequeñas fracturas que cortan el piso de la caldera y el flanco sur (Thouret et al., 2005). El Ubinas ha presentado 25 erupciones en los últimos 5 siglos, convirtiéndolo en el volcán más activo del Perú (Rivera et al., 2011). Un nuevo proceso eruptivo del Ubinas comenzó en septiembre de 2013 y continúa hasta la actualidad.

## SEÑALES SÍSMICAS

Cuatro estaciones sísmicas (UB1, UB2, UB3 y UB4; Fig. 02) del Instituto Geofísico del Perú (IGP), situadas sobre el edificio, registran la actividad sísmica del volcán y las envían vía telemetría hasta el Observatorio Vulcanológico el Sur (OVS-IGP), donde son analizadas y clasificadas. Asimismo, se efectúa la localización de los sismos Volcano-Tectónicos registrados. Una quinta estación sísmica (HSAL), localizada a 28 km al oeste del Ubinas, complementa la información sísmica del área.

Durante el periodo marzo-diciembre de 2016 (Fig. 02) se clasificaron 24607 eventos Volcano-Tectónicos Proximales (VTP), 84 Volcano-Tectónicos Distales (VTD), 10085 eventos Largo Período (LP1), 83 eventos Tornillo (TOR), 3555 eventos Híbridos (HIB), 1595 eventos Tremor (TRE) y 5 explosiones (EXP). La figura 02 muestra los eventos Volcano-Tectónicos localizados.

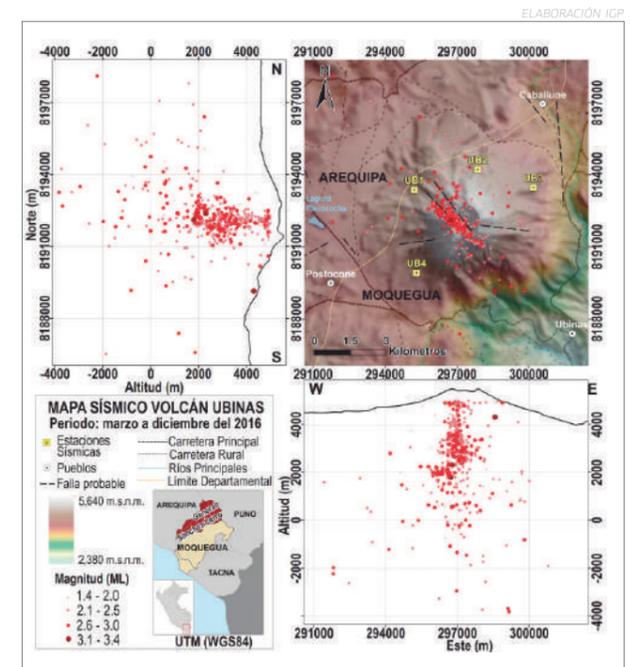


Figura 02.- Mapa sísmico del volcán Ubinas durante el periodo marzo-diciembre de 2016.

## SEÑALES ELÉCTRICAS

En este perfil se identificó una pequeña zona situada próxima a la caldera del volcán, donde la variación en el tiempo era más notoria. Se decidió, entonces, investigar cómo se comportaba el PE continuo en esta zona perteneciente al área de influencia hidrotermal. Se hicieron mediciones reiterativas en un perfil de 200 m con un paso de 2 m (Fig. 03b).

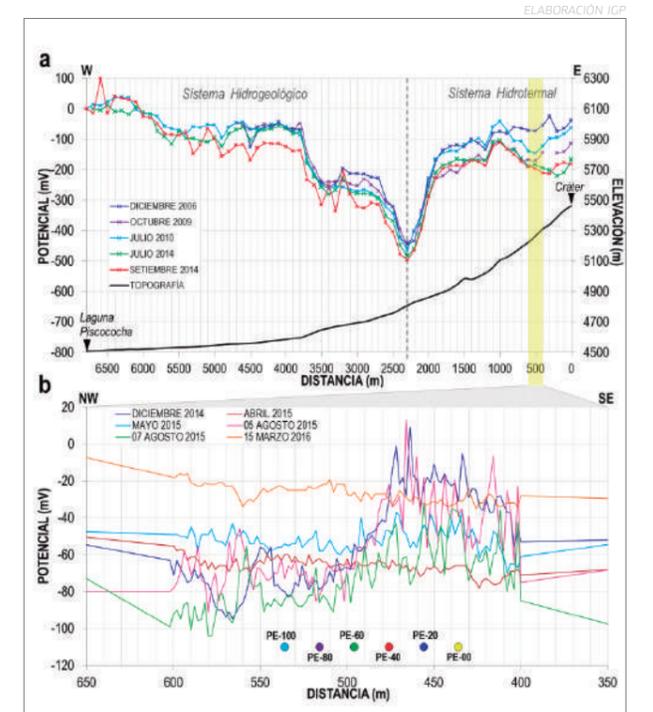


Figura 03.- Perfiles de reiteración de PE en el volcán Ubinas: a) Cada 100 m desde el cráter hasta la laguna Piscococha, b) Cada 2 m desde los 400 m a 600 m del perfil.

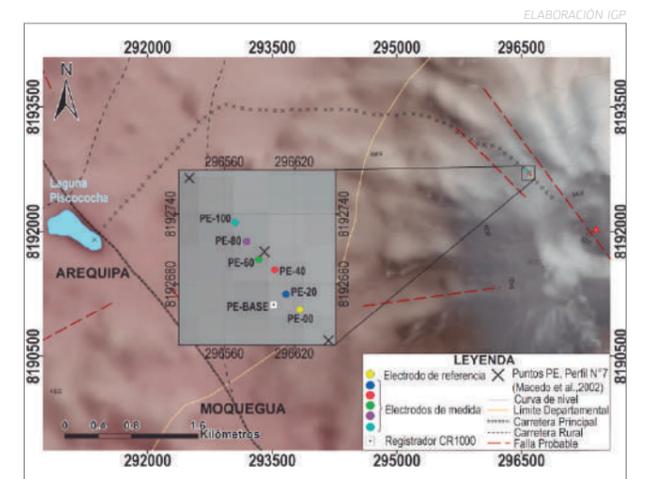


Figura 04.- Ubicación del equipo de medición continua de PE en el volcán Ubinas.

Posteriormente, para instalar un equipo de medición automática y continua, se eligió como ubicación el área

Continúa en la pág. 14 →

entre los 436 m y 536 m del perfil, donde había notorias variaciones del PE. Se instaló una configuración multielectrónica compuesta de un electrodo impolarizable de referencia (PE-00) y 5 electrodos impolarizables de medida (PE-20, PE-40, PE-60, PE-80 y PE-100) espaciados cada 20 m (Fig. 04), conectados mediante cables a un registrador de datos (*data logger*). Se registraron y almacenaron los datos de PE cada 15 segundos. Los electrodos de PE contenían una mezcla de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) y bentonita, a fin de evitar la rápida pérdida del  $\text{CuSO}_4$  por goteo. De este modo, se pudo obtener datos PE en forma continua.

#### a) EXPERIMENTOS PARA LAS MEDICIONES DE PE

Se realizaron 4 pruebas de PE en el OVS-IGP, instalándose 2 electrodos de medida a 20 cm de profundidad y 2 a 1 m. Las pruebas 1 y 4 fueron realizadas con una concentración de 20 % de  $\text{CuSO}_4$  y 80 % de bentonita, mientras que las pruebas 2 y 3 con 40 % de  $\text{CuSO}_4$  y 60 % de bentonita. En la prueba 4 se relleno los electrodos hasta la mitad de su capacidad y se cubrieron con poliestireno expandido (tecnopor). Es notable que la variación diaria se haya visto incrementada cuando se retiró el tecnopor de los electrodos a 20 cm (Fig. 05a). Se comprobó que la concentración más adecuada es la compuesta de 80 % de bentonita y 20 % de sulfato, ya que esta mezcla tarda menos tiempo en perder la humedad y reduce el tiempo de estabilización que produce anomalías instrumentales.

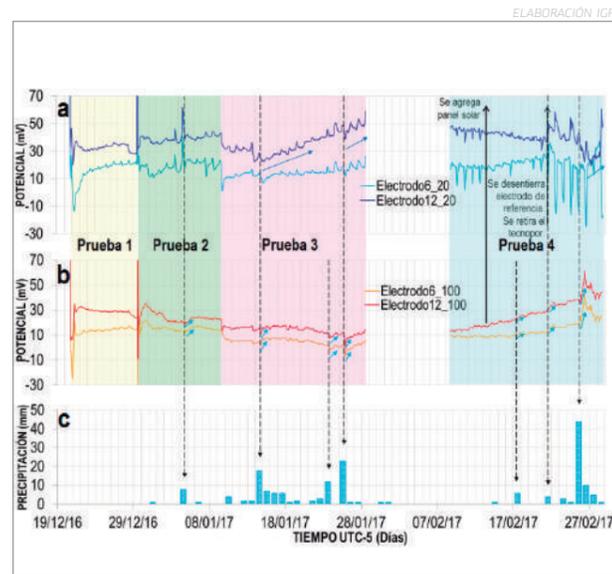


Figura 05.- Comparación de resultados de las pruebas de PE. a) Electrodos ubicados a 20 cm, b) Electrodos ubicados a 100 cm y c) Precipitación.

En los electrodos ubicados a 20 cm de profundidad (Fig. 05a) se observó que la señal tuvo una variación durante el día y la noche. La luz del sol, junto a otros factores como la nubosidad y el viento, afectaron directamente a la humedad del suelo (Rizzo et al., 2004). Siendo un potencial de electrofiltración "*per descensum*", esta variación de la humedad fue la que generó un ruido importante, ya que estos electrodos se encontraban más expuestos al secado del suelo.

Los electrodos ubicados a 1 m de profundidad (Fig. 05b) no presentaron una variación diaria tan notoria. Esto significaría que la humedad alrededor del electrodo tuvo menos efecto a esa profundidad por la actividad del sol. La señal de los 4 electrodos tuvo una tendencia positiva cuando ocurrieron las máximas precipitaciones los días 14 y 25 de enero y el 25 de febrero de 2017 (Fig. 05c).

#### b) PE EN EL VOLCÁN UBINAS

El equipo de PE en registro continuo fue instalado en el volcán Ubinas en 2 periodos: (1) entre septiembre y noviembre de 2016 los electrodos fueron enterrados a 20 cm de profundidad, instalándose 5 electrodos de medida. (2) Durante abril y mayo de 2017, teniendo en cuenta los resultados de las pruebas de PE, se consideró enterrar los electrodos a 50 cm de profundidad y cubrirlos con tecnopor, instalándose 3 electrodos de medida.

### DISCUSIÓN

#### a) SISMICIDAD

El modelo de evolución de sismicidad previa a la ocurrencia de erupciones del volcán Ubinas, propuesto por Del Carpio et al. (2016) y basado en el modelo de White (2011), ha mostrado notable efectividad durante la erupción 2013-2015. Este patrón consta de 4 fases correlativas: (I) sismicidad inicial donde destacan eventos "Tornillo" (TOR) y Volcano-Tectónico Proximales (VTP), los cuales estarían relacionados a la presión y el paso de fluidos al inicio del proceso hacia la erupción. (II) Incremento de eventos Tremor (TRE) que ocurren por perturbación (agitación térmica) del sistema hidrotermal. (III) Eventos Híbridos (HIB), asociados al ascenso de magma en sus últimos tramos y, por último, (IV) ocurrencia de explosiones (EXP) seguidas de Tremor (TRE) asociado a la desgasificación y/o emisión de ceniza.

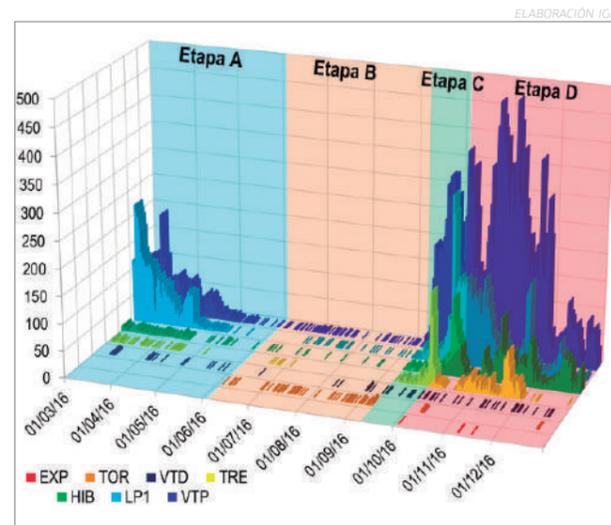


Figura 06.- Gráfico de columnas en 3 dimensiones de los sismos volcánicos ocurridos por día durante marzo y diciembre de 2016 en el volcán Ubinas.

Teniendo en cuenta este modelo, se dividió el periodo de nuestro análisis en 4 etapas representativas, según la predominancia de eventos (Fig.06). La etapa A corresponde al final del proceso eruptivo anterior (2015), cuya última explosión ocurrió el 15 de enero de 2016. En la etapa B se observan sismos Tornillo o TOR (eventos de la fase I) que indican presión y paso de fluidos en una cavidad resonante. Durante la etapa C se observó el incremento de sismos TRE, LP, VTP e HIB (fases II y III). Los sismos HIB indican que el ascenso de magma se encuentra ya casi al final de su recorrido hacia la superficie, lo que concuerda también con la presencia de TRE, muy posiblemente al

haberse perturbado el sistema hidrotermal. Finalmente, en la etapa D se completa el modelo, al haber ocurrido 5 explosiones (fase IV). Solo a finales de noviembre, la sismicidad desciende considerablemente (posible menor aporte de fluidos), dando por concluido este proceso.

Por otro lado, se ha observado que la sismicidad VT muestra una localización preferencial a lo largo de la falla local NW-SE (Rivera et al., 2011). Los sismos ocurren entre 1000-5000 m s.n.m. (Fig. 07). Los eventos VT suelen localizarse cerca a las fallas por ser zonas de debilidad donde se conducen mejor los fluidos presurizados.

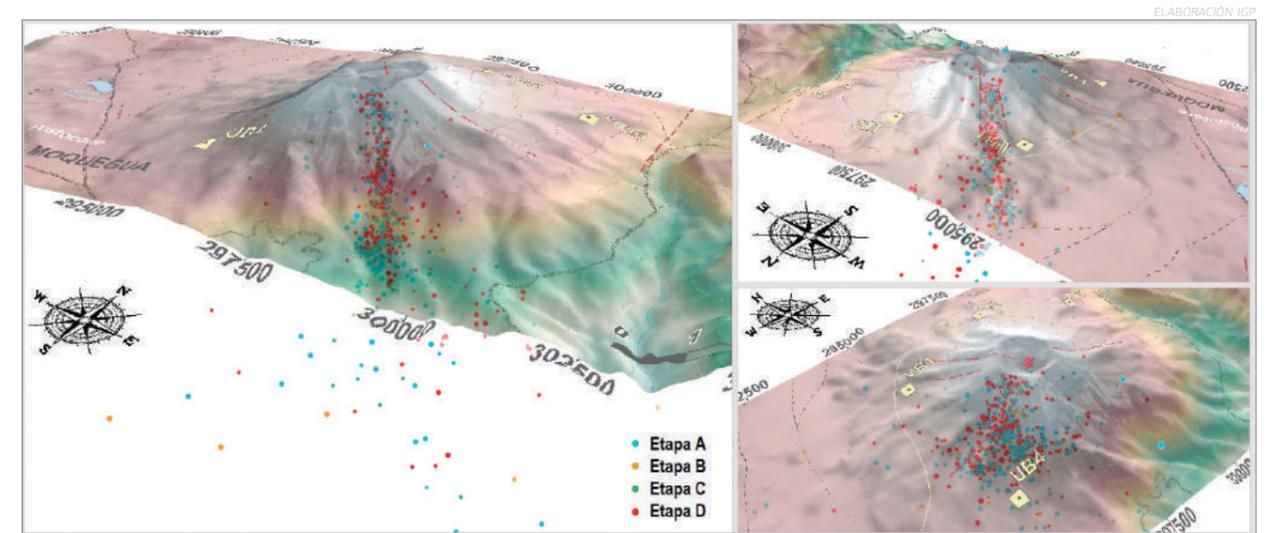


Figura 07.- Visualización en 3 dimensiones de los eventos VT en el Volcán Ubinas durante el periodo marzo a diciembre del 2016 clasificado en 4 etapas.

#### b) POTENCIAL ESPONTÁNEO

Al realizar una comparación entre los datos obtenidos en el Ubinas, tanto de temperatura (del termistor del equipo) como de PE, se encontró una relación inversamente proporcional entre ambos registros. Para obtener una medida relativa del grado de asociación lineal entre la temperatura (eje x) y el PE (eje y), se utilizó el coeficiente  $R^2$  de regresión lineal (Fig. 08).

Lo resaltante es que en el primer periodo (Fig. 08a),

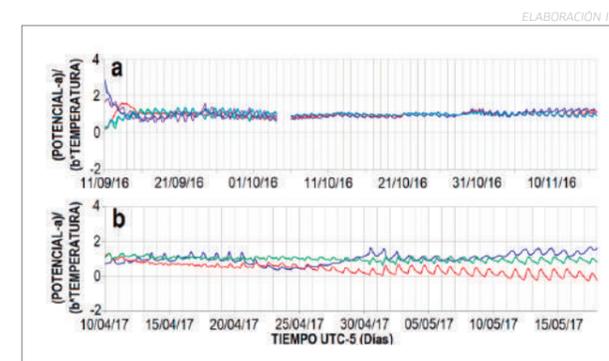


Figura 08.- Resultado luego de aplicar la ecuación de regresión lineal con mejor  $R^2$  para datos de PE y Temperatura: a. Periodo septiembre a noviembre del 2016 y b. Periodo abril a mayo del 2017.

los primeros datos de todos los electrodos muestran que persiste la anomalía inicial, lo que apoya la idea que la anomalía observada en los datos de PE no tiene relación directa con la temperatura registrada por el equipo ni la temperatura ambiental, sino que posiblemente por un fenómeno de electrofiltración "*per ascensum*" (vapor ascendente).

#### b) CORRELACIÓN ENTRE LAS SEÑALES SÍSMICAS Y ELÉCTRICAS

El equipo de registro continuo de PE se instaló próximo a la falla local, en la zona alta de convección, zona en la que ocurre la mayor perturbación. Por otro lado, el periodo de lluvias fue normal en 2016 (datos del SENAMHI); por tanto, la alimentación del sistema hidrogeológico e hidrotermal puede ser considerado como igualmente normal. También, el periodo de estiaje fue el usual y, especialmente, se verificó (SENAMHI) que no hubo precipitaciones entre septiembre y noviembre de 2016 que hubieran podido dar lugar al fenómeno de electrofiltración "*per descensum*" en la zona de estudio.

Continúa en la pág. 16 →

La estación del PE fue instalada en la zona alta de convección del volcán Ubinas identificada por Macedo et al. (2002). Se considera que los días previos (fines de agosto-inicios de septiembre de 2016) a la subida de magma, el acuífero se encontraba sin mayores perturbaciones cuando se inició el incremento en la energía de los eventos Híbridos (Fig. 09c), es decir, se

registró un ascenso de magma en su último recorrido. El calor que irradia este cuerpo caliente perturba el agua de la zona hidrotermal (calor, vibración y evaporación), produciendo el fenómeno de electrofiltración "per ascensum" (asociado al vapor ascendente), el cual fue registrado por el equipo del PE en continuo (Fig. 09a y 09b).

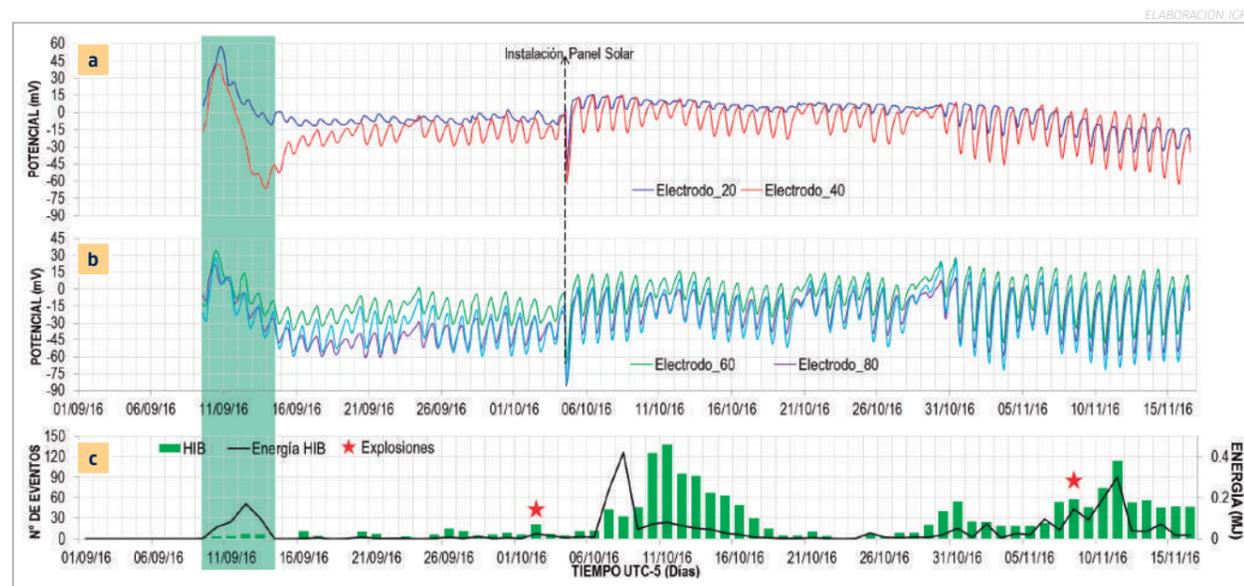


Figura 09.- Correlación entre las señales eléctricas y sísmicas en el volcán Ubinas entre septiembre y noviembre de 2016. a) Señal de PE de electrodos a 20 m y 40 m, b) electrodos ubicados a 60 m, 80 m y 100 m de la referencia, c) Número y energía de eventos HIB.

En la labor de pronóstico de erupciones, la anomalía del PE observada fortaleció el pronóstico de una erupción que finalmente ocurrió el 02 de octubre de 2016; es decir, proporcionó datos con 20 días de anticipación. Posterior a la explosión del 02 de octubre, la actividad sísmica continuó elevada, aunque no se observó reflejada en la señal del Potencial Espontáneo probablemente porque el calor del magma pudo ser evacuado por la parte central (cráter) del volcán, influenciando ya mucho menos en la amplia zona hidrotermal del edificio.

La ausencia de una anomalía entre abril y mayo de 2017 (Fig. 10a) puede ser corroborada con la sísmica, ya que los reportes vulcanológicos del IGP emitidos en el primer trimestre de 2017 describen de manera general que los sismos no superaron los 12 eventos por día y la energía máxima de los Híbridos fue de 0.02 MJ (Fig. 10b), la cual es 10 veces menor a la energía registrada en septiembre de 2016 cuando se generó la anomalía observada en el potencial. Desde abril de 2017, el registro de eventos Tornillo indicaría el inicio de un nuevo proceso eruptivo (fase I del modelo de pronóstico), y que el volcán probablemente se encuentra a meses previos de la actividad explosiva.

Con estos resultados se puede dar mayor validez al método del Potencial Espontáneo, el cual, junto con la sísmica, puede determinar si ocurre el fenómeno de electrofiltración "per ascensum" asociado a perturbación del sistema hidrotermal por ascenso de un cuerpo de magma, ya que la influencia del magma en acuíferos poco profundos del sistema hidrotermal contribuyen al desencadenamiento de las erupciones (Thouret et al., 2005). En particular, la perturbación de un sistema hidrotermal es una de las principales señales de advertencia ante una erupción (Finizola, 2002) y, lo más importante, es que este proceso ocurre varios días previos a las explosiones, contando con un tiempo prudente para un pronóstico exitoso.

Considerando los resultados del PE en registro continuo sobre el volcán Ubinas, se puede establecer

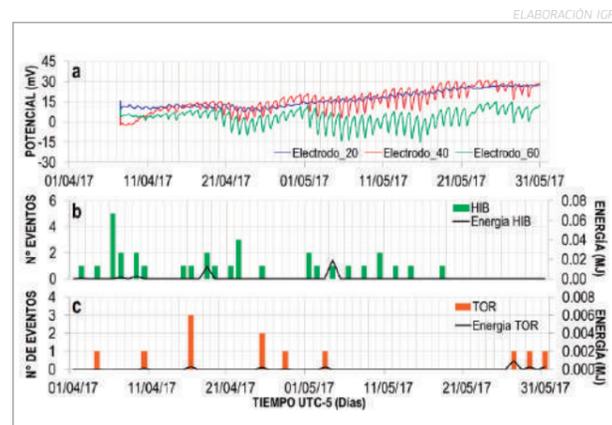


Figura 10.- Correlación entre las señales Eléctricas y Sísmicas en el Volcán Ubinas durante abril a mayo del 2017: a. Señal de PE de los electrodos a 20, 40 y 60 m, b. Número y energía de eventos HIB, c. VTP, d. LP y e. TOR.

que la instalación óptima es como la que se muestra en la figura 11, teniendo en cuenta que mientras más profundo se encuentre el electrodo este presentará una menor variación diurna; es por ello que se recomienda instalar a no menos de 50 cm de profundidad.

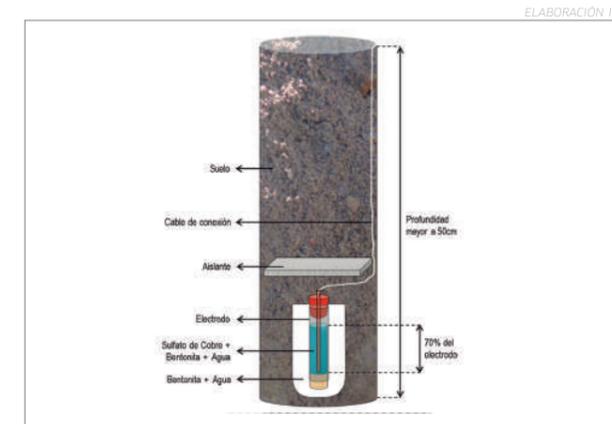


Figura 11.- Esquema de la instalación óptima del electrodo en el volcán.

## CONCLUSIONES

- El patrón sísmico observado en el volcán Ubinas durante el periodo marzo-diciembre de 2016 fue dividido en 4 etapas: la etapa A se presume que indicaría el final del proceso eruptivo anterior (2015). La etapa B se caracteriza por la presencia de eventos Tornillo que indicarían presión y paso de fluidos en una cavidad resonante. Durante la etapa C se observó el incremento de sismos Volcano-Tectónico Proximales e Híbridos, estos últimos indicarían que el ascenso de magma se encuentra ya casi al final de su recorrido hacia la superficie. Finalmente, en la etapa D ocurrieron 5 explosiones.
- A partir de la existencia de un sistema hidrotermal en el volcán Ubinas y con un sistema acuífero recuperado, se puede explicar la anomalía del Potencial Espontáneo registrado entre el 09 y el 14 de septiembre de 2016, esto por un fenómeno de electrofiltración "per ascensum" (asociado al vapor ascendente).



Figura 12.- Profesionales de la sede de Arequipa del Instituto Geofísico del Perú recogen información de la estación del Potencial Espontáneo continuo instalada en el volcán Ubinas.

- La correlación del registro continuo del PE en el volcán Ubinas (señales eléctricas) con el incremento de energía de los sismos tipo de Híbrido y VT, indican que el ascenso de magma calienta los fluidos de la zona hidrotermal provocando una anomalía en el PE. Sabiendo que las señales sísmicas (especialmente sismos Híbridos) son una buena indicación del ascenso de magma e inminente erupción, los resultados de este experimento del PE van en favor de que los registros del PE continuo pueden fortalecer el pronóstico de erupción al observarse anomalías del PE hasta con algunas semanas de anticipación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Del Carpio, J., Macedo, O., Torres, J. 2016. A New Method for Volcanic Eruption Forecasting applied with success on Ubinas Volcano. Reporte Técnico Especial del Observatorio Vulcanológico del Sur, Instituto Geofísico del Perú, 72, 24-30.
- Finizola, A. 2002. Etude des systèmes hydrothermaux des volcans actifs: Misti (Pérou) et Stromboli (Italie) : approches géophysiques et géochimiques. Géologie appliquée Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, Français.
- Macedo, O., Gonzáles, K., Finizola, A., Métaixian, J., Fournier, N. & Sortino, F. 2002. Estudio estructural y del Sistema Hidrotermal del volcán Ubinas por Métodos Geofísicos y Geoquímicos, XI Congreso Peruano de Geología. Trabajos Científicos, 23p.
- Rivera, M., Mariño, J., Thouret, J.C. 2011. Geología y Evaluación de Peligros del Volcán Ubinas. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N°46, 83 p.
- Rizzo, E., Suski B., Revil A., Straface, S., Troisi S. 2004. Self-potential signals associated with pumping tests experiments, J. Geophys. Res., 109, B10203.
- Thouret, J.C., Rivera, M., Worner, G., Gerbe, M.C., Finizola, A., Fornari, M., Gonzales K. 2005. Ubinas: the evolution of the historically most active volcano in southern Peru. Bull. Volcanology, v.67, p. 557-589.
- White, R. 2011. Monitoring volcanoes and forecasting eruptions. Volcano Observatory Best Practices Workshop: Eruption Forecasting, 11-15 September 2011, Erice, Italy.

# Actividad sísmica observada en el volcán Tutupaca (Tacna), periodo septiembre de 2015-febrero de 2017

John Cruz <sup>(1)</sup>, Orlando Macedo <sup>(1)</sup>, Nino Puma <sup>(1)</sup>, Javier Vilca <sup>(1)</sup>, Rolando Chijcheapaza <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Observatorio Vulcanológico del Sur del Instituto Geofísico del Perú (OVS-IGP)

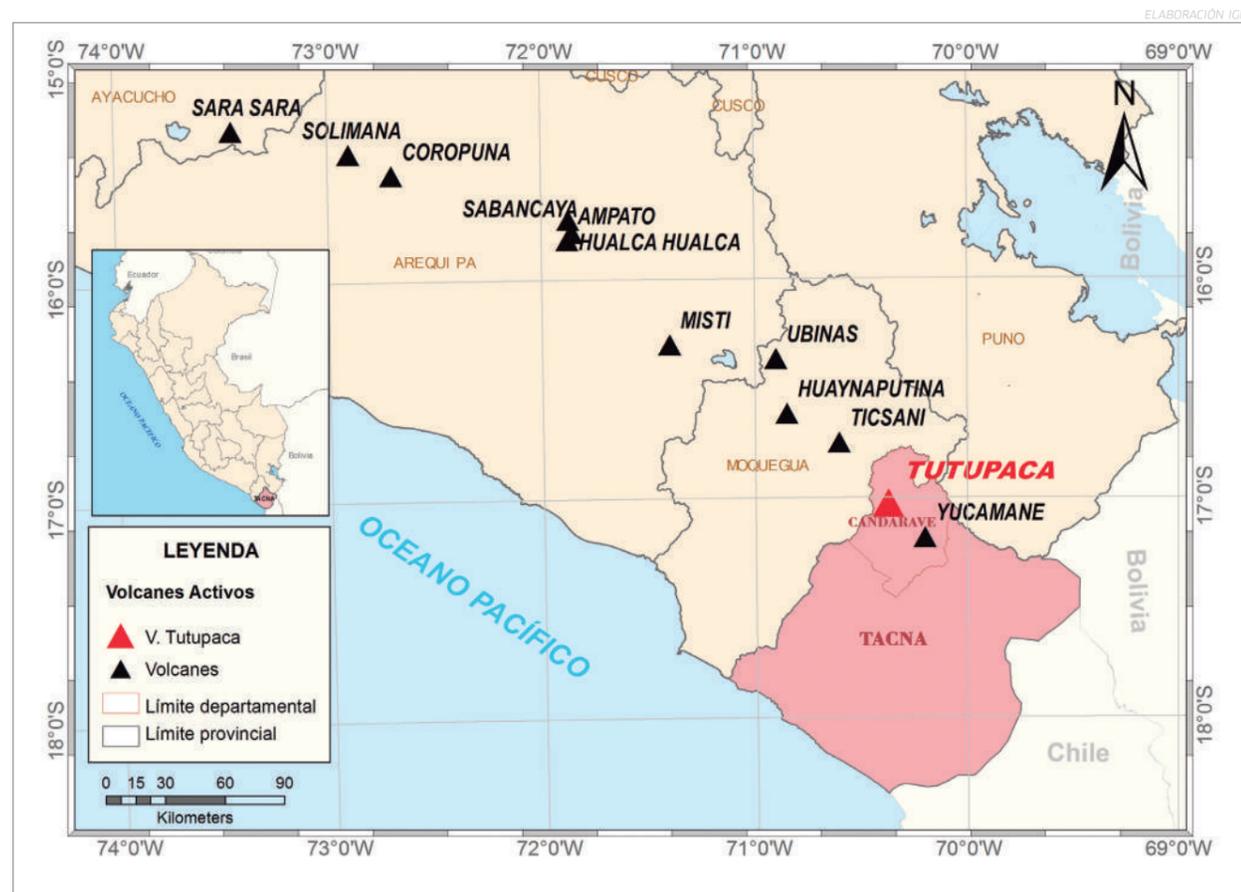


Figura 01. Ubicación de la zona de estudio y localización de los volcanes activos en el sur del Perú.

## RESUMEN

Entre septiembre-octubre de 2015 se ha registrado la actividad sísmica de la zona del volcán Tutupaca mediante una estación sísmica instalada en su flanco este. Por otro lado, contigua a la zona, la red del volcán Ticsani registra datos sísmicos desde agosto de 2015, logrando captar señales provenientes de la zona del volcán Tutupaca. En este estudio se ha observado la ocurrencia principalmente de sismos de tipo Tremor y sismos relacionados a fractura de rocas. Asimismo, a partir de la red Ticsani, se ha determinado los parámetros hipocentrales para 7 sismos ocurridos entre

septiembre y octubre de 2016, localizados próximos al volcán Tutupaca, destacando el sismo registrado el 22 de septiembre que alcanzó una magnitud de 3.2 ML. Los resultados sugieren que en el Tutupaca existe una notable dinámica en el sistema hidrotermal evidenciada por el registro de Tremor sísmico de corta duración. También, la ocurrencia de sismos VT el día 22 de septiembre apunta a un enjambre sísmico próximo al volcán Tutupaca.

## INTRODUCCIÓN

El complejo volcánico Tutupaca (-17.0278 °S / -70.3582 °O; 5801 m s.n.m.), de composición andesítica y

dacítica, se encuentra localizado al norte de la ciudad de Tacna, dentro de la provincia de Candarave (Fig. 01); pertenece a la Zona Volcánica Central de los Andes, ubicado en el segmento sur de la cordillera Occidental de los Andes peruanos, formando parte de los volcanes pleistocénicos y holocénicos del Perú (Siebert et al. 2010). Es considerado como un volcán activo. En tiempos históricos, el volcán Tutupaca ha presentado erupciones plinianas a subplinianas; la más reciente erupción de este macizo data de los años 1787 a 1802, alcanzando un IEV de 3 (Samaniego et al. 2015). En la actualidad, el Tutupaca presenta constantes fumarolas y surgentes de aguas termales hacia el sur; asimismo, se puede observar en su morfología la evidencia de un colapso en su flanco oriental denominado Tutupaca Este. Este complejo volcánico representa un peligro natural que podría afectar a centros poblados aledaños, así como a la flora y fauna de la zona. Este estudio está orientado a conocer el estado de intranquilidad de este complejo volcánico mediante el análisis de las señales sísmicas e inspecciones in situ.

## ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO

Red sísmica.- Se han realizado pocos estudios sobre la sismicidad en esta zona. Durante el transcurso de los años, el Observatorio Vulcanológico del Sur del Instituto Geofísico de Sur (OVS-IGP) ha venido incrementando el número de sus estaciones sísmicas y configurando nuevas redes sísmicas, tal como la red del volcán Ticsani, la cual está muy próxima al volcán Tutupaca. La red Ticsani está constituida por las estaciones TCN1, SPDR, MUYQ y HYTR e inició su transmisión en agosto de 2015, logrando captar señales provenientes de la región del Tutupaca (Fig. 02). Por otro lado, el IGP ha efectuado también campañas temporales, desplegando en campo la estación sísmica TUT1 entre el 13 de septiembre hasta el 19 de noviembre de 2015. La estación TUT1 de periodo corto, ubicada a 1.5 km al NE del Tutupaca, (Fig. 02), fue instalada con el fin de investigar el tipo y características de los sismos en esta región.

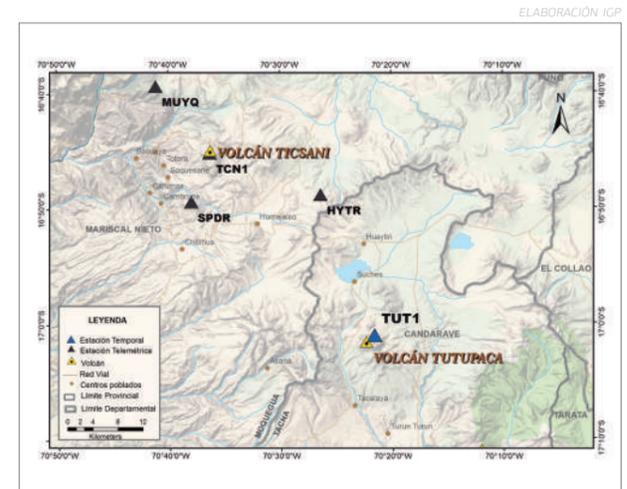


Figura 02. Distribución de las estaciones sísmicas telemétricas y estación temporal en la zona de estudio.

Datos.- El análisis de las señales fue realizado mediante programas computacionales, examinando las formas de onda, espectro de frecuencias, espectrogramas y cuadros estadísticos. Para lograr el cálculo de los parámetros hipocentrales fue necesario utilizar los programas Hypoellipse (Lahr, J. 1999), y SEISAN (Havskov, 1997).

## RESULTADOS

Actividad sísmica.- Los sismos observados en su mayoría corresponden a eventos de tipo Tremor de corta duración (hasta 112 segundos). La estación TUT1 registró un total de 53 eventos (Fig. 03), presentando una amplia banda espectral y frecuencias dominantes promedio de 7 Hz (Fig. 04A y 04C). También fueron observados sismos relacionados a fractura de rocas (VT). Estos eventos son de tipo impulsivo de corta duración, amplia banda espectral y diferencia de arribos de fases sísmicas promedio de TS-P=1.2 s (Fig. 04B). Finalmente, se observaron escasamente sismos relacionados al paso de fluidos.

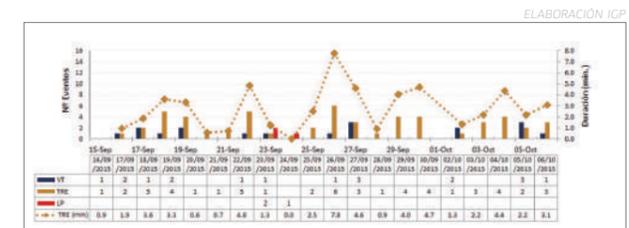


Figura 03. Estadística de sismos relacionados a fractura de rocas (VT), tipo Tremor (TRE) y relacionado al paso de fluidos (LP)

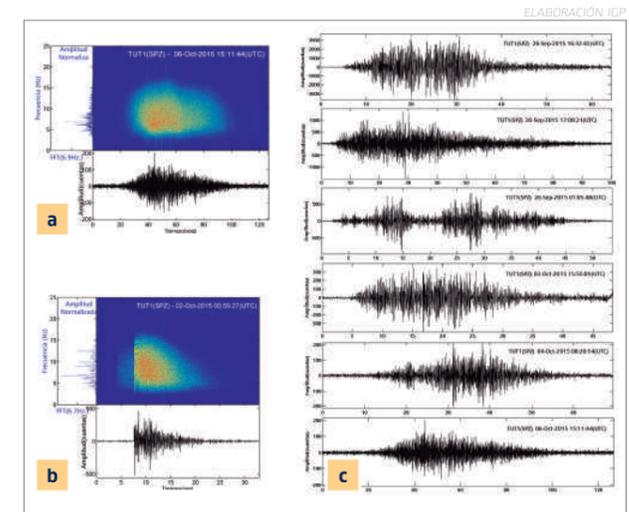


Figura 04. Eventos característicos registrados por la estación TUT1. a) sismo tipo Tremor, b) sismo relacionado a fractura de rocas y c) ejemplos de forma de onda de eventos de tipo Tremor.

Distribución espacial de sismicidad.- La determinación de los parámetros hipocentrales fue realizada mediante los programas SEISAN (Havskov, 1997) e

Continúa en la pág. 20 →

Hypoellipse (Lahr, 1999), con datos obtenidos de la red del volcán Ticsani correspondientes a los meses de septiembre y octubre de 2016. La calidad de los sismos presenta un error estimado menor a los 8 km y valores de RMS inferior a los 0.22 s. Los sismos de fractura fueron percibidos por estaciones como MUYQ y TCN1 (53 km y 40 km del Tutupaca), logrando identificarse fases sísmicas para la determinación de los parámetros hipocentrales de 7 sismos en un radio de 9 km del volcán (Fig. 05). Las magnitudes oscilan entre 1.9 ML y 3.2 ML y muestran una distribución en profundidad desde los 16 km a 34 km. El sismo de mayor energía, registrado el 01 de septiembre de 2016 a las 01:41 (UTC), alcanzó una magnitud de 3.2 ML y fue localizado a 1.3 km del volcán Tutupaca, .

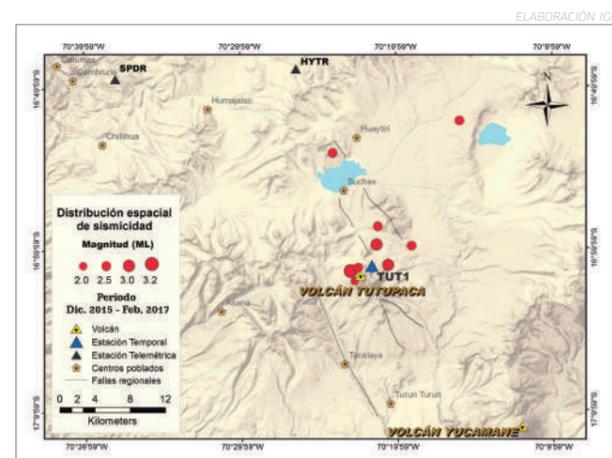


Figura 05. Mapa de distribución en superficie de sismos relacionados a fractura de rocas próximos al volcán Tutupaca. Rasgos estructurales, Benavente et al. (2010)

**Observaciones en campo.-** En 2 ocasiones, el IGP realizó inspecciones en la zona de estudio durante los meses de septiembre y noviembre de 2015, corroborando, en efecto, las constantes fumarolas tanto en la cresta como en las zonas de mediana altura entre dicho punto y la base del flanco este denominado Tutupaca Este (Fig. 06). Durante las inspecciones, se realizó también la toma de registros térmicos utilizando un termómetro de láser infrarrojo, observándose temperaturas desde los 42 °C hasta los 65 °C (Fig. 06).



Figura 06.- Registro fotográfico de zonas fumarólicas (circunferencias de color verde claro) y toma de temperaturas (circunferencia roja) Tutupaca Este.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Es importante resaltar el número de eventos de tipo Tremor ocurridos durante el tiempo de registro de la estación TUT1. A diferencia del resto de eventos como los relacionados a fractura de rocas y paso de fluidos, los sismos de tipo Tremor evidencian cierta dinámica en el sistema hidrotermal del complejo volcánico.

El registro y localización de 6 sismos importantes en la zona de estudio da indicios de una ocurrencia en enjambre sísmico, dado que los sismos fueron captados por la red Ticsani el día 22 de octubre de 2016 (Fig. 07), con una evidente carencia de un sismo principal conocido como *mainshock* (Zobin, 2012). La sismicidad en enjambre usualmente es indicadora de intrusión magmática en profundidad (White & McCausland, 2016). Dada la distribución de las estaciones sísmicas y la distancia a la fuente, es de presumir que la ocurrencia de estos sismos es importante. El sismo más energético alcanzó una magnitud de 3.2 ML y fue registrado el 01 de septiembre de 2016, es decir, casi 2 meses antes del enjambre mencionado. La actividad de este complejo volcánico se ve reflejada en los registros de sismos VT de la red Ticsani, en especial por la estación HYTR, así como la estación Temporal TUT1, donde fueron observados también sismos VT. Por otro lado, las constantes fumarolas son restos de la última actividad eruptiva ocurrida en el volcán.

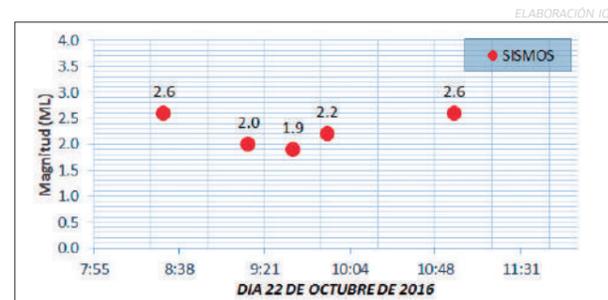


Figura 07.- Magnitud de sismos vs. tiempo. Registro del 22 de octubre de 2016.

## CONCLUSIONES

- Los registros sísmicos en la estación TUT1 muestran eventos principalmente de tipo Tremor de corta duración, con una tasa diaria de 3 TRE/día y eventos relacionados a fractura de rocas con una tasa de 2 VT/día.
- Fueron localizados 7 sismos relacionados a fractura de rocas próximos al volcán Tutupaca, en un radio de 7 km. El sismo más energético alcanzó una magnitud de 3.2 ML, ocurrido el 01 de septiembre de 2016, y fue localizado a 1.3 km de este macizo. Los registros sísmicos alcanzaron estaciones lejanas como MUYQ (53 km del Tutupaca).
- Durante las inspecciones de campo se observaron pequeñas pero constantes fumarolas, especialmente en la cresta y en las zonas de mediana altura entre dicho punto y la cresta del flanco este del Tutupaca.
- El 22 de septiembre de 2016 fueron observados sismos VT próximos al volcán Tutupaca. Las características de esta agrupación de sismos indican una ocurrencia en enjambre sísmico de corta duración.

## SABANCAYA

El volcán Sabancaya continúa en erupción constante y permanente, registrando en promedio 43 explosiones por día en el presente año. La explosión ocurrida el 06 de noviembre de 2016 marcó el comienzo del proceso eruptivo, el cual, con el transcurso de los meses, fue incrementándose, llegando a sostenerse y mantener niveles moderados al concluir el 2017.

Frente a esta situación, las instituciones que conforman el Comité Científico-Técnico para la Gestión del Riesgo Volcánico de la Región Arequipa, entre ellas el Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP, aunaron esfuerzos para una mejor comprensión del fenómeno, realizando desde el inicio de la erupción reportes semanales en conjunto, los cuales detallan la actividad del volcán, tanto en la parte sísmica como deformación,  $SO_2$  y monitoreo visual. Estos reportes son publicados en la página web de las instituciones que conforman este Comité.

Siendo el Instituto Geofísico del Perú la institución encargada del monitoreo del Sabancaya, brindamos información continua y detallada de la actividad del volcán. En esa línea, continuamos fortaleciendo las capacidades de vigilancia volcánica para ofrecer la mejor información posible acerca de esta erupción, así como útiles recomendaciones para las autoridades y poblaciones cercanas al volcán.



*Explosión del volcán Sabancaya con la posterior formación de una columna de cenizas.  
FOTO IGP*

## ENERO

Durante el mes de enero de 2017, el Comité Científico-Técnico para la Gestión del Riesgo Volcánico de la Región Arequipa, del cual es parte el IGP, publicó 5 reportes acerca de la actividad del volcán Sabancaya. El registro de la actividad sísmica durante este periodo estuvo dominado por eventos explosivos, alcanzando un promedio de 74 explosiones por día. Los eventos LP (Largo Periodo), Híbridos y Tremores se mostraron disminuidos con relación al mes anterior (diciembre de 2016).

La actividad explosiva alcanzó un máximo de 110 explosiones el 18 de enero y un promedio de energía de 33 MJ. La sismicidad de tipo LP (asociada a paso de fluidos) e Híbrido (relacionada a ascenso de material magmático) registró un promedio de 41 LP/día y 9 Híbridos/día, respectivamente, valores menores a lo observado en el mes anterior (52 LP/día y 15 Híbridos/día). El Tremor sísmico, asociado a la emisión de ceniza, registró un promedio de ocurrencia de 2 horas por día y niveles de energía máxima de hasta 114 MJ (18 de enero).

Respecto a los eventos Volcano-Tectónico Proxiales o VTP (localizados en un radio de hasta 6 km del cráter), estos mostraron una disminución del 72% en el número de eventos en comparación con el mes anterior, al promediar 12 VTPs por día. La magnitud máxima generada por esta sismicidad fue de 2.9 ML, correspondiente a un evento registrado el 15 de enero. Asimismo, ocurrieron 4 eventos

VTD con magnitudes de 3.5 ML a 3.7 ML, localizados entre 15 km a 17 km al NE del volcán.

Por otro lado, complementando el monitoreo sísmico que realiza el IGP se continuó recabando la información de monitoreo satelital de anomalías térmicas en el volcán Sabancaya. Durante este mes, se registraron 20 anomalías de acuerdo al sistema MIROVA, con valores de entre 1 MW y 43 MW de VRP (Potencia Volcánica Irradiada).



Figura 01.- Explosión en el volcán Sabancaya registrada el 26 de enero de 2017. La altura máxima de las columnas de ceniza en este mes fue de 4500 m.

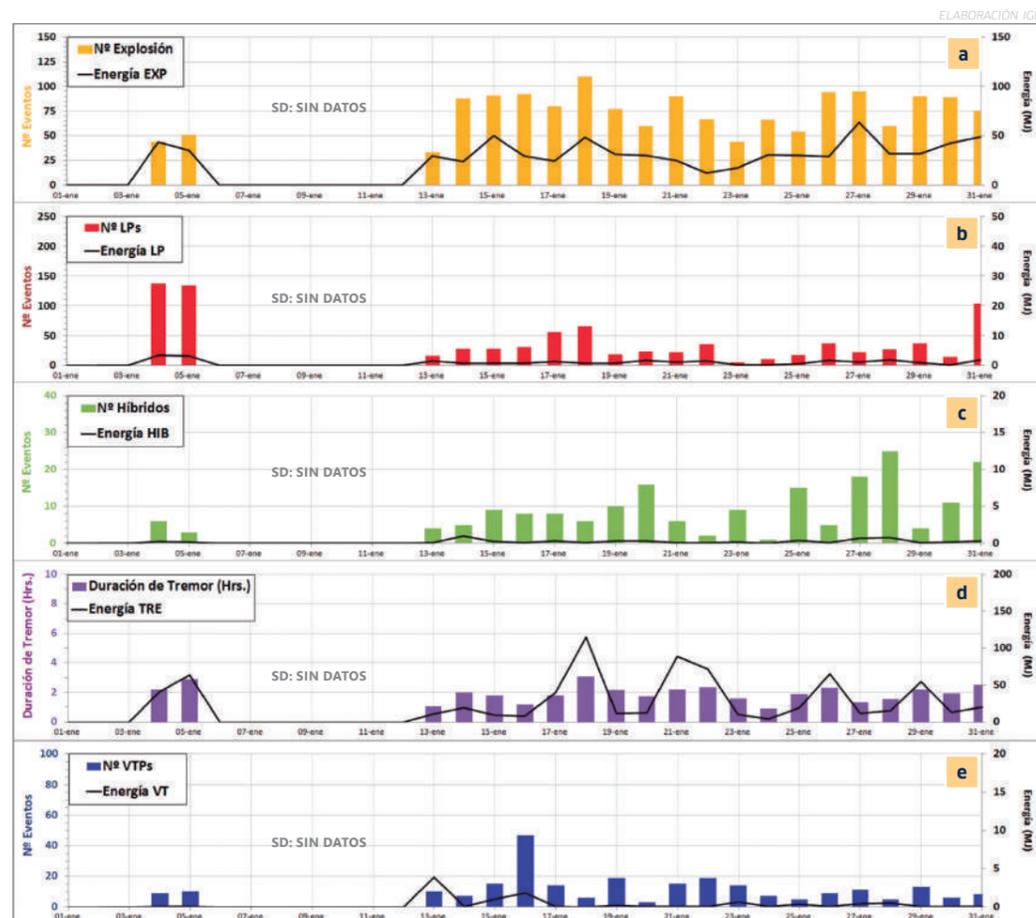


Figura 02.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sísmos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 31 de enero de 2017 en el volcán Sabancaya; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proxiales (VTP). SD=sin datos por mantenimiento de la red de monitoreo.

## FEBRERO



Figura 03.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sísmos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 28 de febrero de 2017; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proxiales (VTP).

En este segundo mes de 2017, el Comité Científico-Técnico para la Gestión del Riesgo Volcánico de la Región Arequipa publicó 5 reportes acerca de la actividad del volcán Sabancaya.

Durante este periodo, se registraron en promedio 36 explosiones por día, valor disminuido hasta en un 51 % con relación al mes de enero. Las columnas de ceniza generadas a partir de estas explosiones alcanzaron una altura máxima de 4300 m sobre el cráter. Asimismo, se observó importante actividad sísmica asociada a eventos LP e Híbridos.

En general, la actividad sísmica del volcán Sabancaya se incrementó ligeramente en el número y la energía de los eventos. La sismicidad de mayor predominio estuvo relacionada a eventos LP (asociados a movimiento de fluidos) y también a Híbridos (vinculados al ascenso de magma); en promedio, se registraron 154 LP y 29

HIB por día, respectivamente. La actividad tremórica, relacionada a la emisión de ceniza, alcanzó 4 horas de registro diario, el doble de lo observado en el periodo anterior, registrando además un pico importante de 81 MJ de energía.

Los sísmos VTP (Volcano-Tectónico Proxiales) mantuvieron un promedio de ocurrencia similar al mes anterior (13 VTP por día). La magnitud generada por los VTP disminuyó; el máximo valor registrado fue de 2.6 ML, correspondiente a un sísmo ocurrido el 24 de febrero. Asimismo, ocurrieron 3 eventos de fractura distales, con magnitudes entre 3.4 ML y 3.6 ML. Dichos eventos fueron localizados entre 9 km y 22 km en dirección NO y NE del volcán Sabancaya.

Durante este mes, el sistema MIROVA registró 20 anomalías, con valores de entre 1 MW y 31 MW de VRP (Potencia Volcánica Irradiada).

**MARZO**

En el mes de marzo, el Comité Científico-Técnico publicó 4 reportes sobre la actividad del volcán Sabancaya. La actividad eruptiva durante este periodo mostró valores ligeramente incrementados con respecto al mes anterior; en promedio, se registraron 38 explosiones por día. Asimismo, los eventos LP e Híbridos continuaron ocurriendo en número importante.

Con relación al número de explosiones, el 23 de marzo se alcanzó el pico máximo de ocurrencia en el mes, con 74 eventos. La energía promedio de las explosiones en este tercer mes del año fue de 46 MJ por día. Los sismos vinculados al movimiento y/o ascenso de material magmático (LP e Híbridos) registraron en promedio 91 LP por día y 14 Híbridos por día. Los eventos de tipo Tremor (TRE), que están asociados a emisiones de ceniza, presentaron valores ligeramente disminuidos con relación al febrero (3 h por día), registrando 2 picos importantes de energía, de 1955 MJ y 1358 MJ, los días 10 y 12 de marzo.

Los sismos VTP (localizados en un radio de hasta 6 km del cráter) disminuyeron con respecto a febrero, pasando de 13 VTP a 7 VTP por día. Es importante resaltar la ocurrencia de 2 sismos de fractura distales, de 3.5 ML y 4.0 ML, registrados el 21 y 26 de marzo con profundidades de 9 km y 23 km, respectivamente. Estos eventos fueron localizados en dirección NE del cráter del Sabancaya.

Durante este periodo, el sistema MIROVA registró 18 anomalías térmicas, con valores de entre 1 MW y 17 MW de VRP (Potencia Volcánica Irradiada).



Figura 04.- Profesionales del IGP visitaron durante este mes las estaciones de monitoreo del Sabancaya para realizar labores de mantenimiento de equipos.

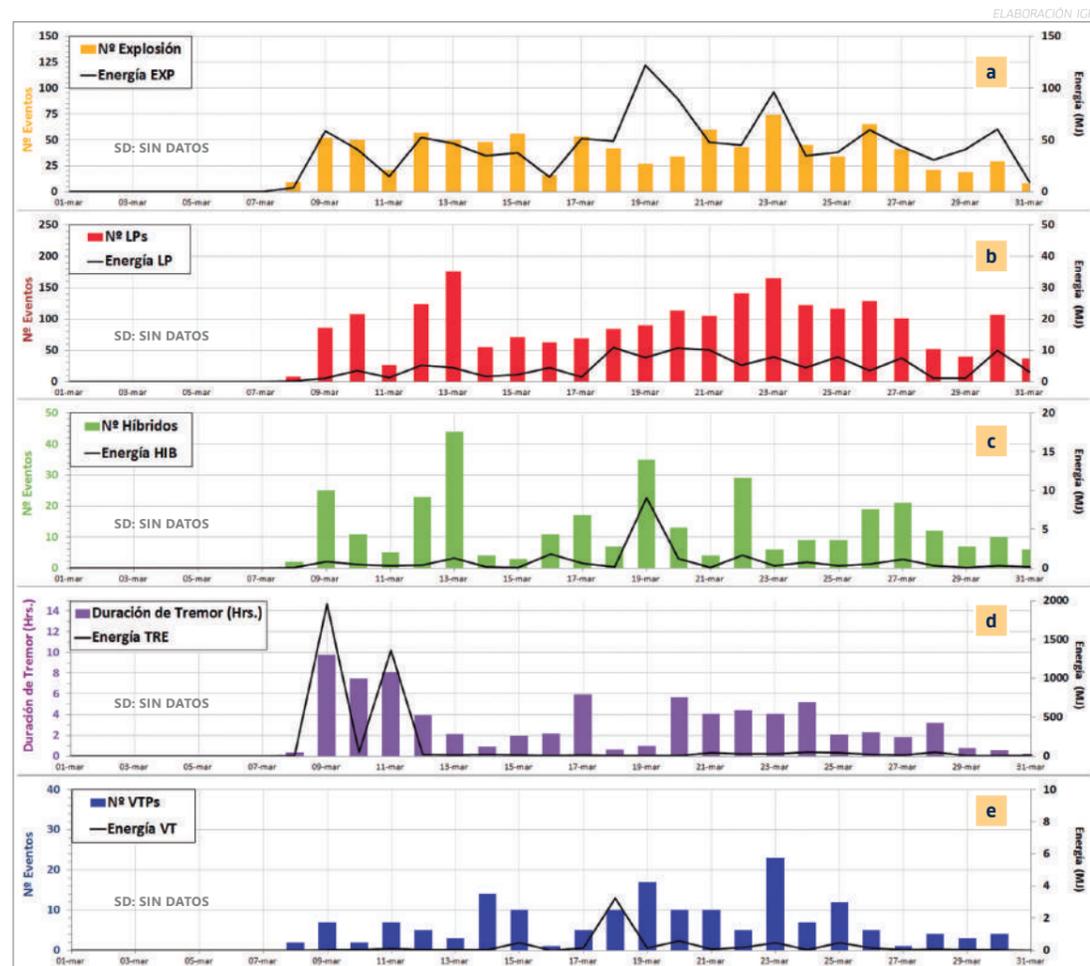


Figura 05.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 31 de marzo de 2017; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proximales (VTP). SD=sin datos por mantenimiento de red de monitoreo.

**ABRIL**

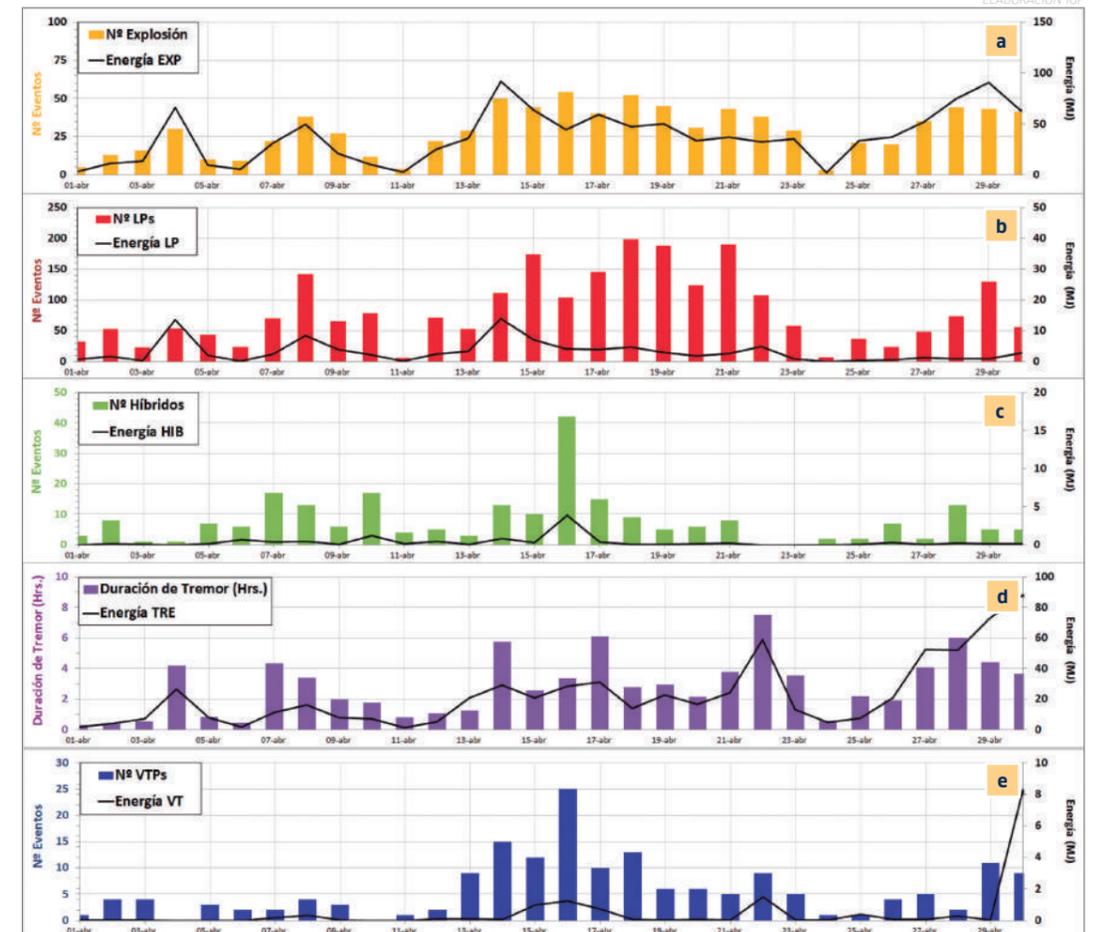


Figura 06.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 30 de abril de 2017; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proximales (VTP).

El Comité Científico-Técnico para la Gestión del Riesgo Volcánico de la Región Arequipa, del cual es integrante el IGP, publicó 4 reportes sobre la actividad eruptiva del volcán Sabancaya en abril.

La principal característica de este periodo estuvo relacionada al predominio de sismos asociados a eventos explosivos y sismos asociados a movimiento de fluidos magmáticos en el interior del volcán (LP). El análisis sísmico para estos tipos de actividad presentó valores promedio de 33 explosiones por día y 37 MJ diarios de energía. Asimismo, los eventos de Largo periodo e Híbridos mostraron valores de 83 LP y 8 HIB por día, respectivamente. La actividad tremórica, asociada a la emisión de ceniza, registró un promedio de 3 horas por día, similar al periodo anterior.

Los sismos de fractura ocurridos próximos al volcán Sabancaya mostraron valores similares a los registrados en marzo; en promedio, se observaron 6 VTP por día. Estos eventos presentaron una magnitud máxima de 2.6 ML, como el evento registrado el 28 de abril y localizado a 5 km en dirección E del volcán. En cuanto a la sismicidad VTD (Volcano-Tectónico Distales), durante abril, esta se localizó principalmente entre 17 km y 26 km en dirección N y NE del cráter, con magnitudes principales que variaron entre 3.8 ML y 3.9 ML.

Por otro lado, el sistema satelital MIROVA detectó 35 anomalías térmicas, a menos de 4 km del cráter del volcán. Los valores fluctuaron entre 1 MW y 41 MW de VRP (Potencia Volcánica Irradiada). El valor máximo (41 MW) fue registrado el 21 de abril a las 03:15 UTC, a menos de 3 km del cráter del volcán.

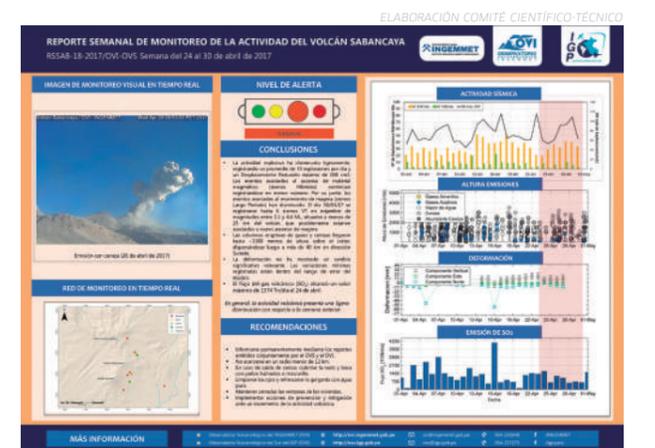


Figura 07.- Reporte de actividad del Sabancaya durante la última semana de abril elaborado por el Comité Científico-Técnico. La altura máxima de las columnas de ceniza producidas durante las explosiones fue de 3200 m aprox.

**MAYO**

Durante mayo de este año, la actividad del Sabancaya fue descrita por el Comité Científico-Técnico en 4 reportes técnicos semanales. En este periodo, el volcán Sabancaya mostró un incremento ligero en sus valores sísmicos con relación al anterior mes. Los registros de la sismicidad asociada a las explosiones mostraron un promedio de 34 eventos por día, así como moderados niveles de energía, alcanzando diariamente en promedio 61 MJ. Las columnas de ceniza producidas como consecuencia de estos eventos llegaron a alcanzar una altura máxima de 4200 metros sobre el cráter.

Los eventos de tipo Largo Periodo (LP) se incrementaron ligeramente tras promediar 135 LP por día, tasa superior en un 62% a lo observado durante el mes de abril. Asimismo, los eventos Híbridos, asociados a ascenso de material magmático, presentaron valores similares al periodo anterior (9 Híbridos/día). Por su parte, la actividad de tipo Tremor, registro sísmico vinculado a la emisión de ceniza, continuó presentándose de manera importante, con valores de hasta 4 horas por día.

Los sismos VTP (localizados en un radio de hasta 6 km del cráter), también presentaron un incremento importante; en promedio, se registraron 18 VTP por

día. La magnitud máxima de los eventos VTP para este periodo fue de 3.2 ML (magnitud local). En cuanto a los eventos VTD (localizados a más de 6 km del cráter), se destacaron en este mes 2 eventos ocurridos los días 01 y 03 de mayo, con magnitudes de 3.7 ML y 4.2 ML, respectivamente, y ubicados a menos de 25 km del volcán.

El sistema MIROVA registró en este periodo 27 anomalías térmicas, con valores de entre 1 MW y 31 MW de VRP (Potencia Volcánica Irradiada).

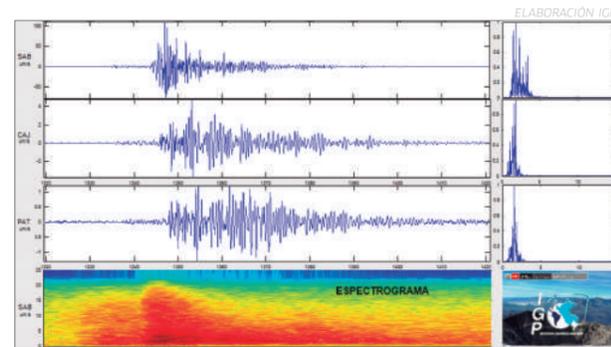


Figura 08.- Espectrograma de la explosión registrada en el volcán Sabancaya el 18 de mayo de 2017 a las 16:22 UTC. Este evento liberó una energía de 19 MJ.

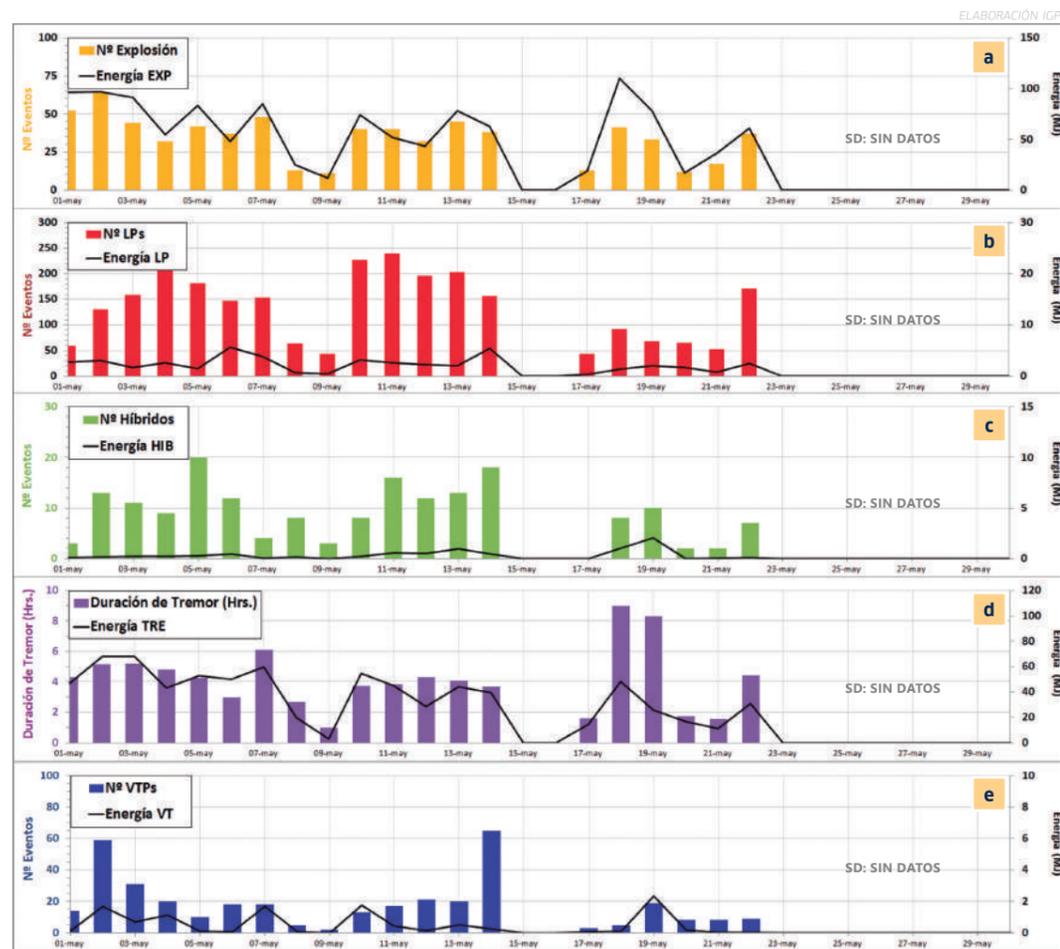


Figura 09.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 31 de mayo de 2017; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proximal (VTP). SD= sin datos por mantenimiento de red de monitoreo.

**JUNIO**



Figura 10.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 30 de junio de 2017; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proximal (VTP).

La actividad del volcán Sabancaya durante este mes fue explicada mediante 4 reportes técnicos elaborados por el Comité Científico-Técnico. La actividad eruptiva mostró una ligera disminución respecto al mes anterior. Las explosiones, si bien continuaron siendo constantes y permanentes, se registraron con un promedio de 30 eventos explosivos por día y 21 MJ de energía. Los sismos asociados al movimiento de fluidos (LP) disminuyeron en un 38% (84 LP por día) y mostraron bajos niveles de energía (menor a 2 MJ). Comportamiento similar experimentaron los sismos asociados al ascenso de material magmático (Híbridos) y eventos relacionados a la emisión de ceniza (Tremores), al registrar una tasa promedio de 5 Híbridos por día y una duración acumulada de 3 horas diarias de Tremor.

Con relación a los eventos Volcano-Tectónico Proximal, estos disminuyeron ligeramente con relación al promedio observado en mayo, pasando de 18 VTP a

12 VTP por día. Sin embargo, se registró una magnitud máxima de 4.7 ML (magnitud local) el día 18 de junio de 2017, a las 00:57 UTC.

El monitoreo satelital detalló el registro de 29 anomalías térmicas de acuerdo al sistema MIROVA, con valores de entre 1 MW y 31 MW de VRP (Potencia Volcánica Irradiada). Estas fueron localizadas entre 1 km y 4 km del cráter del Sabancaya.



Figura 11.- La estación de monitoreo Cajamarca, a 11 km del Sabancaya, recibió mantenimiento durante este mes por profesionales del IGP.

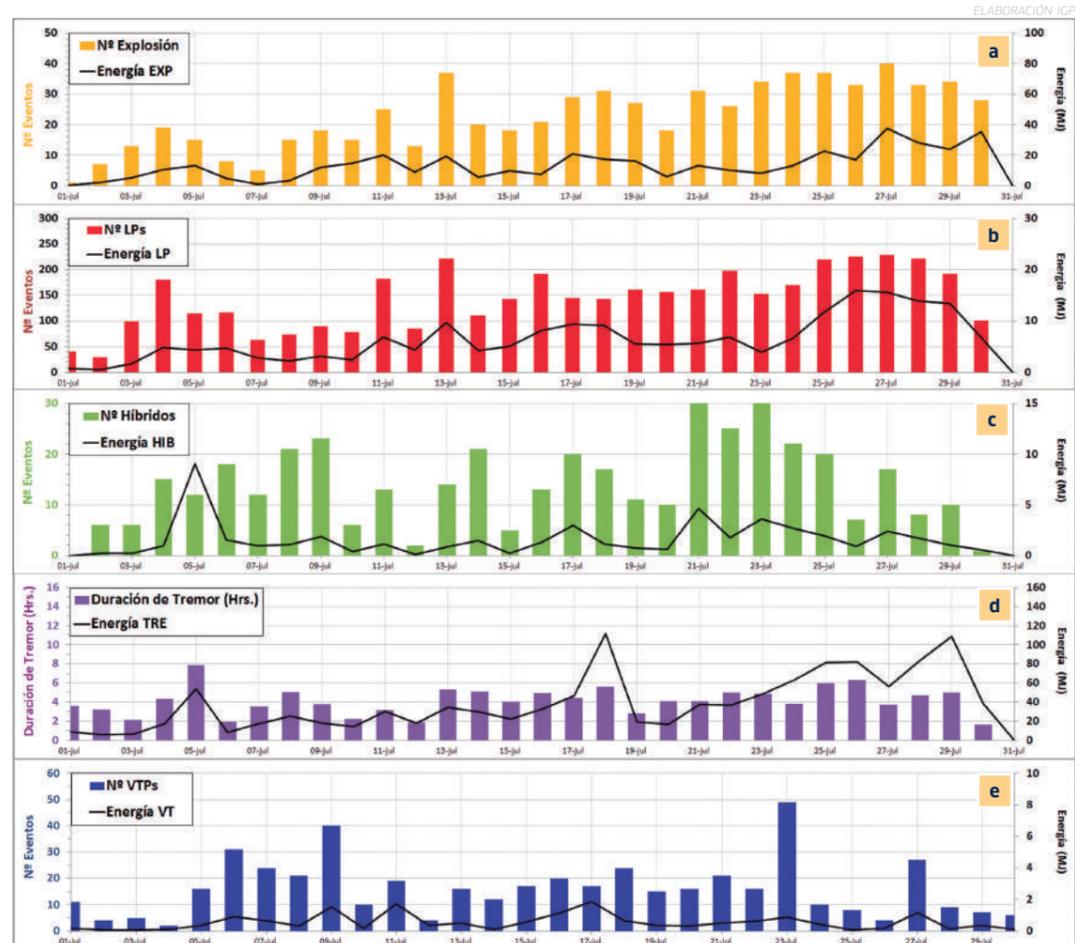


Figura 12.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 31 de julio de 2017; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proxiales (VTP).

El IGP, como miembro del Comité Científico-Técnico, participó en la elaboración de 5 reportes técnicos acerca de la actividad del volcán Sabancaya durante este mes.

En este periodo, se observó por segundo mes consecutivo la disminución del número y niveles de energía de los eventos asociados a las explosiones, las cuales en promedio registraron 20 eventos por día y 13 MJ/día de energía. No obstante, los eventos LP, asociados a movimiento de fluidos, e Híbridos, relacionados al ascenso de material magmático, se mostraron ligeramente incrementados, al presentar una tasa de ocurrencia de 144 LP por día y 14 Híbridos por día, respectivamente. Del mismo modo, los eventos Tremor, que denotan emisión de ceniza, registraron en promedio 4 horas diarias de actividad con moderados niveles de energía (hasta 39 MJ/día).

Los sismos VTP (Volcano-Tectónico Proxiales) mostraron también valores ligeramente incrementados; durante este periodo, se observó una tasa promedio de 16 VTP por día. Los niveles de energía de estos eventos en este mes también se vieron incrementados, alcanzando un promedio de 16 MJ diarios. Por otro lado, el número de sismos de fractura distales (VTD) localizados durante este periodo fue de 47 eventos, ubicados principalmente

entre 5 km y 10 km al S y SE del poblado de Maca (14 km y 20 km al NE del cráter del volcán Sabancaya). De ellos, destacaron 2 eventos de 3.1 ML y 3.5 ML, respectivamente.

Finalmente, el sistema satelital MIROVA registró 27 anomalías térmicas, con valores de entre 1 MW y 17 MW de VRP (Potencia Volcánica Irradiada).

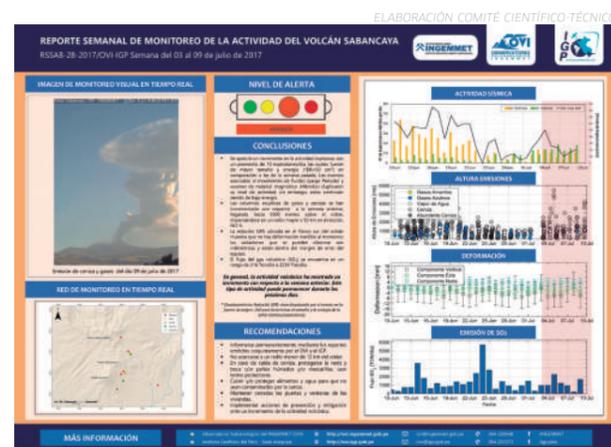


Figura 13.- La actividad explosiva disminuyó a fines de junio e inicios de julio, tal como lo destacó el Comité Científico-Técnico en sus reportes semanales. Entre el 03 y 09 de julio se registraron 10 explosiones diarias en promedio.

La actividad del volcán Sabancaya en agosto fue descrita en 4 reportes semanales publicados por el Comité Científico-Técnico. En líneas generales, la actividad explosiva mostró un incremento importante respecto al periodo anterior, tanto en número y energía. En promedio, se registraron 50 explosiones diarias y un pico máximo de 82 eventos ocurrido el día 23 de agosto. Del mismo modo, los niveles de energía subieron drásticamente hasta en 42 MJ/día, valor superior en 3 veces al periodo anterior. El 09 de agosto se registró un pico importante en la energía diaria de explosiones (169 MJ).

La actividad de los eventos LP (vinculados al movimiento de fluidos magmáticos) continuó registrando un número importante de eventos; la tasa promedio en agosto fue de 117 LP por día, aunque con bajos niveles de energía (6 MJ/día). En cuanto a los eventos Tremor, asociados a la emisión de ceniza, se registraron 3 horas acumuladas por día. El mayor pico en la energía del Tremor se produjo el 20 de agosto (267 MJ).

Los sismos VTP (Volcano-Tectónico Proxiales, localizados en un radio de hasta 6 km del cráter) experimentaron una disminución en su tasa de ocurrencia. El promedio de eventos por día pasó de 16 VTP a 11 VTP; en cuanto a la energía VTP, esta exhibió niveles bajos. La magnitud máxima de los eventos

VTP registrada fue de 3.2 ML. Con relación a los sismos distales, se registraron 2 eventos de magnitud 3.7 ML y 4.1 ML los días 21 y 24 de agosto.

El sistema MIROVA registró en agosto un total de 47 anomalías térmicas, con valores de entre 1 MW y 75 MW de VRP (Potencia Volcánica Irradiada).

Por otro lado, durante este mes se continuó con las medidas del potencial espontáneo (PE) sobre el complejo volcánico Ampato-Sabancaya y volcán Hualca-Hualca, proyecto que viene realizándose cada año en convenio con el Ingemmet y en colaboración con la Université de La Réunion (Francia), representada por el Dr. Anthony Finizola.



Figura 14.- Profesionales del IGP visitaron las inmediaciones del Sabancaya para realizar mediciones del Potencial Espontáneo (PE).



Figura 15.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 31 de agosto de 2017; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proxiales (VTP).

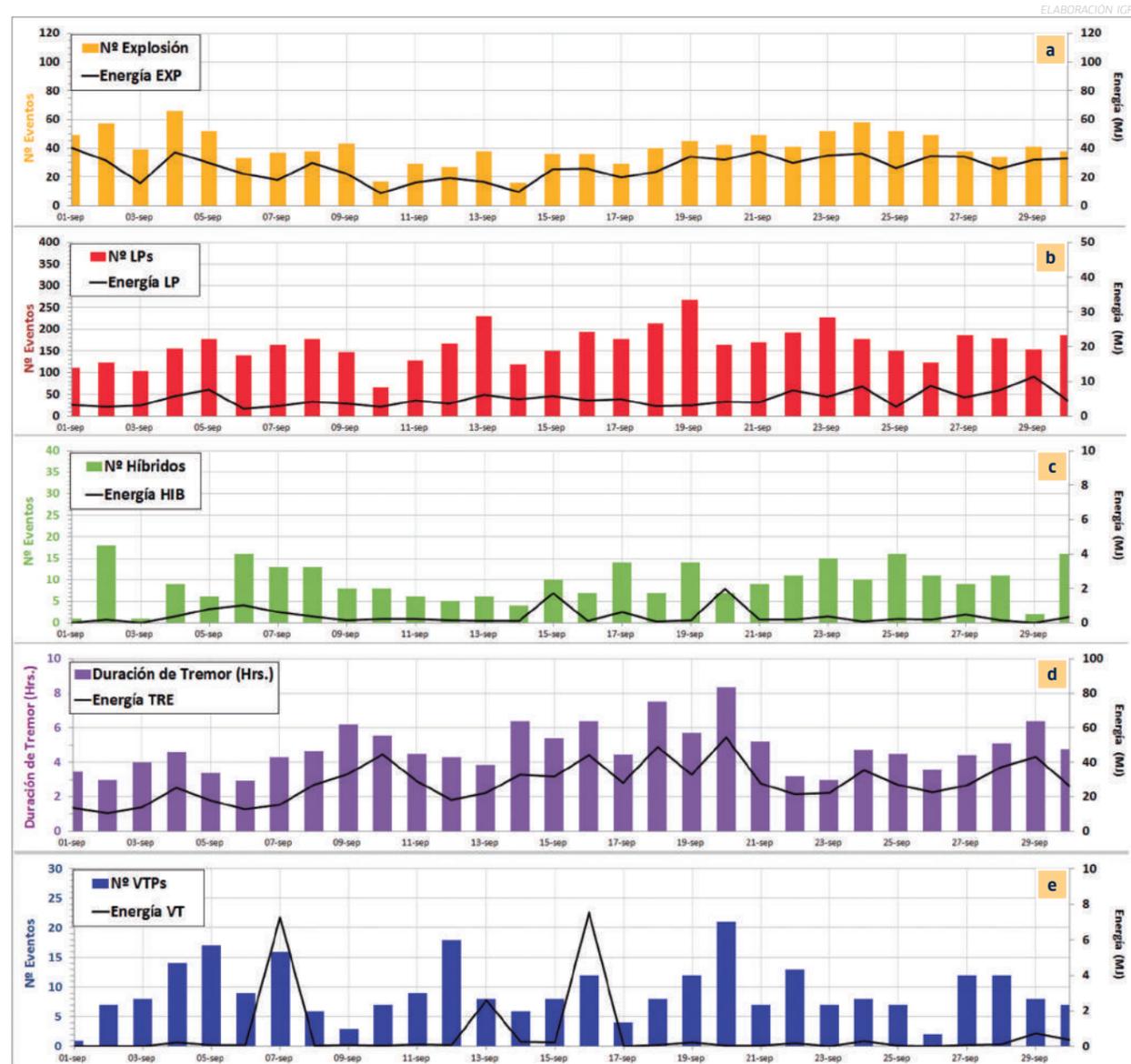


Figura 16.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 30 de septiembre de 2017; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proximales (VTP).

El Instituto Geofísico del Perú, como integrante del Comité Científico-Técnico para la Gestión del Riesgo Volcánico de la Región Arequipa, participó en la elaboración de 4 reportes sobre la actividad del Sabancaya, los mismos que fueron compartidos con las instituciones miembros del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).

En este mes se observó una disminución en el número y valores de energía de las explosiones, registrando un promedio de 39 EXP/día y 26 MJ/día. Sin embargo; los eventos LP (asociados a movimiento de fluidos) e Híbridos (relacionados al ascenso de material magmático) se mostraron incrementados (164 LP/día y 9 Híbridos/día, respectivamente). Los eventos Tremor, relacionados a emisiones constantes de ceniza, registraron en promedio 5 h diarias de actividad y niveles moderados de energía (28 MJ/día).

Los sismos VTP (Volcano-Tectónico Proximales) disminuyeron con relación a lo presentado en agosto, alcanzando un promedio de 9 VTP/día. Cabe mencionar que estos eventos mostraron 3 picos de energía de 7 MJ, 3 MJ y 8 MJ los días 07, 13 y 16 de septiembre, respectivamente. Se localizaron 2 eventos proximales con magnitud de 2.3 ML, situados a menos de 5 km al este del cráter. Por su parte, los eventos Volcano-Tectónico Distales (VT) registrados y localizados durante este periodo, sumaron un total de 16 eventos, localizados principalmente a una distancia de entre 7 km y 20 km al NE y SE del cráter.

El monitoreo sísmico que realiza el IGP se complementa con información de monitoreo satelital térmica del sistema MIROVA, desarrollado por la Universidad de Torino. Durante este periodo, se registraron 21 anomalías térmicas, con valores de entre 1 MW y 75 MW VRP (Potencia Volcánica Irradiada).

En el mes de octubre de 2017, como miembro del Comité Científico-Técnico, el IGP publicó 4 reportes acerca de la actividad del Sabancaya. La actividad explosiva disminuyó durante este periodo, registrándose 43 explosiones por día. La sismicidad de tipo LP (asociada a paso de fluidos) e Híbrido (asociada a ascenso de material magmático) registró un promedio de 112 LP/día y 9 Híbridos/día, respectivamente. El Tremor sísmico, asociado a la emisión de ceniza, registró un promedio de 3 horas por día y niveles diarios de energía de 23 MJ.

Respecto a los eventos Volcano-Tectónico Proximales o VTP, eventos de fractura de rocas que ocurren en un radio de 6 km del cráter del volcán, estos mostraron un incremento importante al pasar de 9 VTP/día a 16 VTP/día. La magnitud máxima generada por esta sismicidad fue de 2.6 ML, registrada el 13 de octubre. Con relación a los sismos de fractura distales (registrados más allá de los 6 km de distancia del cráter), se tuvo el registro de 2 eventos con magnitudes de 3.3 ML y 3.2 ML, localizados entre 12 a 14 km al NE del Sabancaya.

Finalmente, el sistema satelital MIROVA, de suma

utilidad para la corroboración de información sísmica asociada al ascenso de magma, registró en este periodo 28 anomalías térmicas, con valores de entre 1 MW y 99 MW de VRP (Potencia Volcánica Irradiada). Fue en este mes de octubre que se registró el mayor valor de una anomalía térmica en todo 2017 y en lo que va de la erupción, con 99 MW, ocurrida el 05 de octubre a las 03:20 UTC.

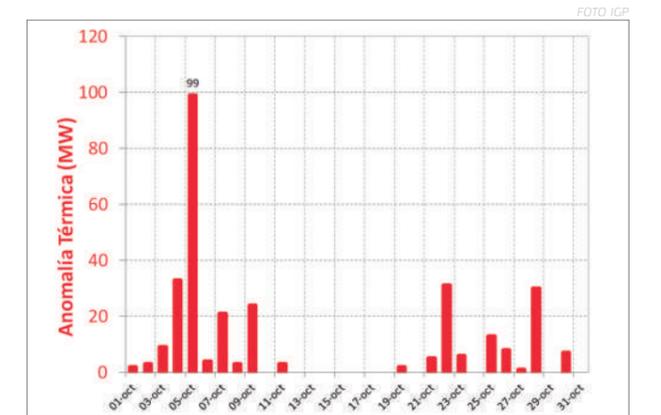


Figura 17.- Registro de anomalías térmicas del sistema MIROVA en octubre de 2017. Destaca el valor de 99 MW registrado el 05 de octubre a las 03:20 UTC.



Figura 18.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 - 31 de octubre de 2017; donde, a) eventos explosivos (EXP); b) eventos Largo Periodo (LP); c) eventos Híbridos (HIB); d) eventos Tremor (TRE) y e) eventos Volcano-Tectónico Proximales (VTP).

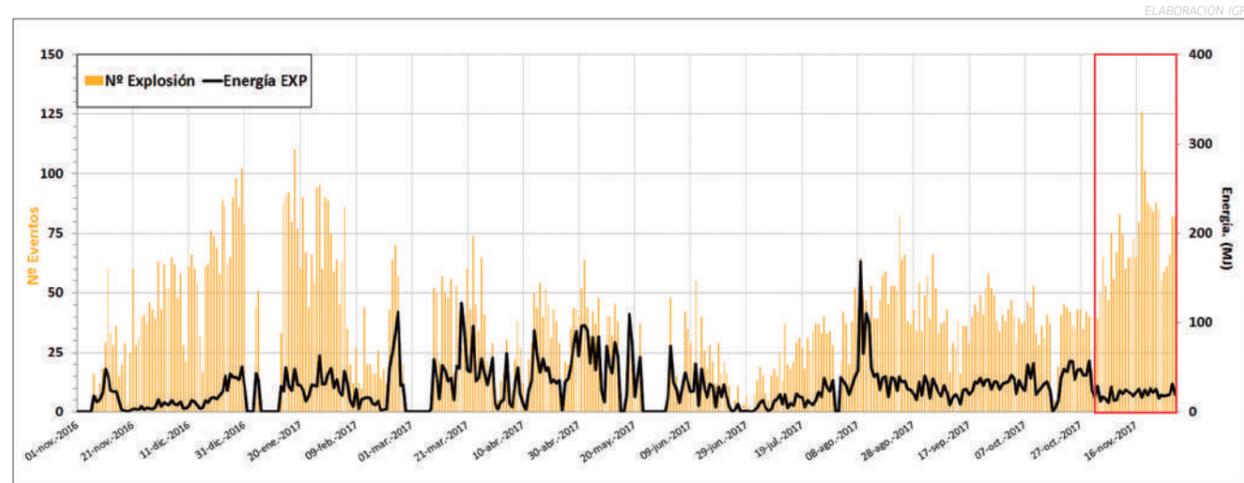


Figura 19.- Número (barras de color amarillo) y energía (línea negra) de explosiones registradas en el volcán Sabancaya en el primer año de erupción, iniciada el 06 de noviembre de 2016. El área demarcada en el cuadro rojo corresponde a las explosiones registradas en noviembre de 2017.

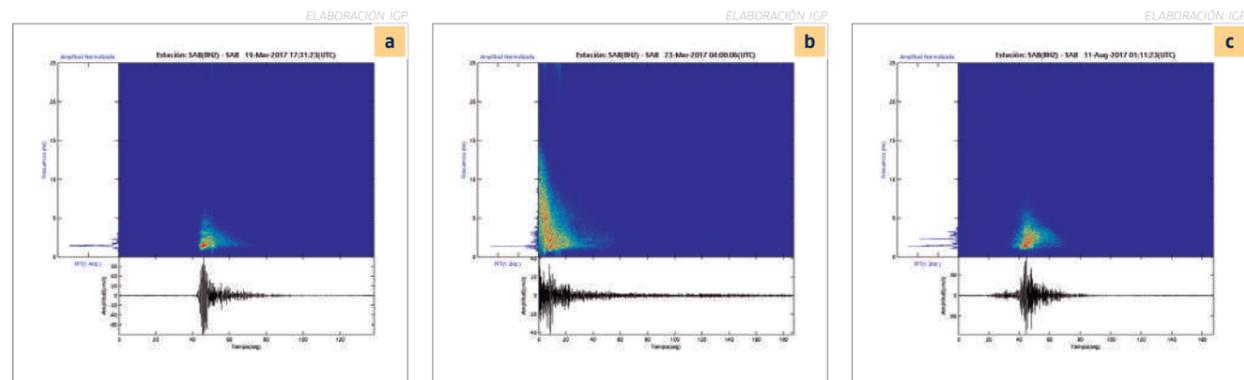


Figura 20.- Forma de onda, espectrograma y espectro de frecuencias de las principales explosiones ocurridas en el volcán Sabancaya durante el primer año de erupción (noviembre de 2016 - noviembre de 2017). a) Explosión registrada el 19 de marzo de 2017 con energía de 21 MJ; b) explosión del 23 de marzo de 2017 con energía de 48 MJ y c) explosión del 11 de agosto de 2017 con energía de 30 MJ.

En noviembre se cumplió un año de continua y marcada actividad explosiva del Sabancaya, año en el cual el volcán ha mostrado un comportamiento similar al observado en el anterior proceso eruptivo (1990-1998), caracterizado por el aumento y disminución del número y niveles de energía de las explosiones. El Comité Científico-Técnico para la Gestión del Riesgo Volcánico de la Región Arequipa, del cual el IGP forma parte, publicó 4 reportes en este mes, acumulándose así un total de 54 reportes semanales elaborados desde el inicio de la erupción hasta este mes de noviembre.

La actividad eruptiva presentó por segundo mes consecutivo un incremento en el número explosiones, alcanzando un promedio de 71 EXP/día, mientras que en el mes anterior fue de 43 EXP/día. En este mes, se registró la segunda semana con mayor promedio de explosiones del primer año de erupción (13-19 de noviembre), con 82 eventos explosivos por día.

En líneas generales desde noviembre de 2016 hasta noviembre de 2017, el registro de eventos asociados a las explosiones presentó periodos de intensa actividad

explosiva, como en los meses de enero de 2017 y noviembre de 2017, cuando se registró picos máximos de de hasta 110 y 126 explosiones (18 enero de 2017 y 18 de noviembre de 2017, respectivamente). En este primer año de erupción, destacan 3 explosiones importantes, registradas los días 19 y 23 de marzo con 21 MJ y 48 MJ de energía y el 11 de agosto de 30 MJ de energía.



Figura 21.- La altura máxima alcanzada por las columnas de ceniza en noviembre de 2017 fue de 4200 m sobre el cráter, de acuerdo al Comité.

Hasta el 18 de diciembre de 2017, el Comité Científico-Técnico para la Gestión del Riesgo Volcánico de la Región Arequipa publicó 3 reportes describiendo la actividad eruptiva del volcán Sabancaya en este mes. La actividad explosiva presentó valores ligeramente disminuidos con respecto a noviembre; en promedio, se registraron 62 explosiones por día (periodo anterior 71 EXP/día). La actividad sísmica en el interior del volcán continuó mostrando un predominio de sismos de tipo Largo Periodo, vinculados al movimiento de fluidos magmáticos.

Una de las herramientas de vigilancia más útiles en lo que va de esta erupción son los registros de anomalías térmicas, las cuales muestran valiosa información relacionada a la detección de puntos calientes en el cráter del volcán. Esta información, registrada por el sistema MIROVA (www.mirovaweb.it), el cual es un proyecto interinstitucional entre las Universidades de Torino y Florencia (Italia) y que cuenta con el apoyo del Centro de Riesgo Volcánico del Departamento de Protección Civil de Italia, ha sido analizada por los profesionales del IGP y corroborada con los registros sísmicos, especialmente de eventos de tipo Híbrido, vinculados al ascenso de material magmático.

En general, durante el 2017, el registro de anomalías térmicas presentó periodos de altos y bajos valores de energía. Los meses entre agosto y octubre fueron el periodo de mayor registro de actividad térmica, registrándose 4 anomalías importantes: 2 de 71 MW, 1 de 75 MW y 1 de 99 MW, esta última registrada el 05 octubre de 2017 a las 03:20 UTC (Fig. 24). Sin embargo, entre los meses de noviembre y hasta el cierre de este reporte anual, los valores térmicos disminuyeron notablemente y permanecieron similares a lo registrado en los periodos de enero y julio. Hasta el 18 de diciembre se registraron 14 anomalías térmicas, con valores de entre 1 MW y 44 MW VRP (Potencia Volcánica Irradiada).

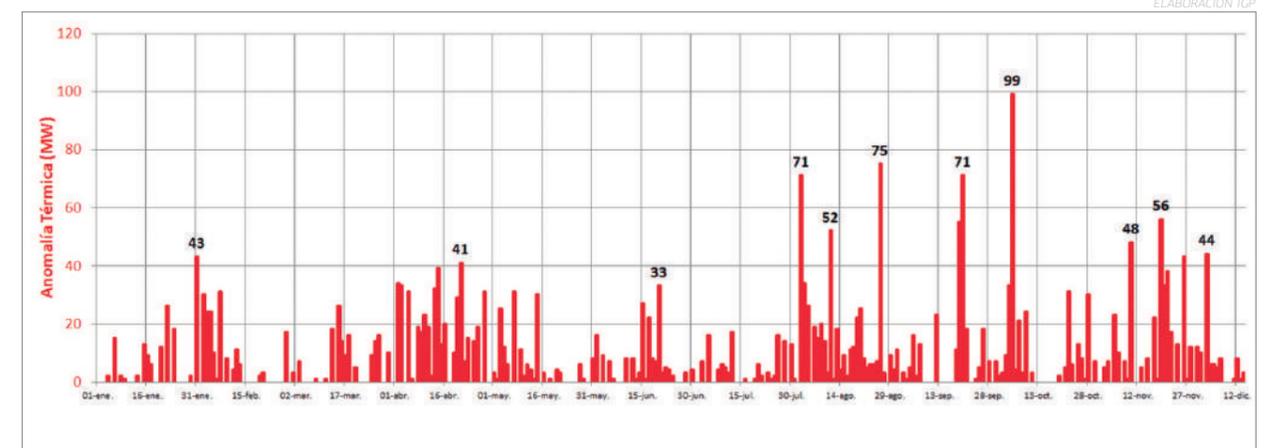


Figura 24.- Estadística de anomalías térmicas registradas por el sistema MIROVA en 2017. Se destaca el valor máximo de 99 MW del 05 de octubre de 2017 a las 03:20 UTC. La información satelital de anomalías térmicas es una herramienta indispensable en los trabajos de vigilancia volcánica que realiza el IGP.

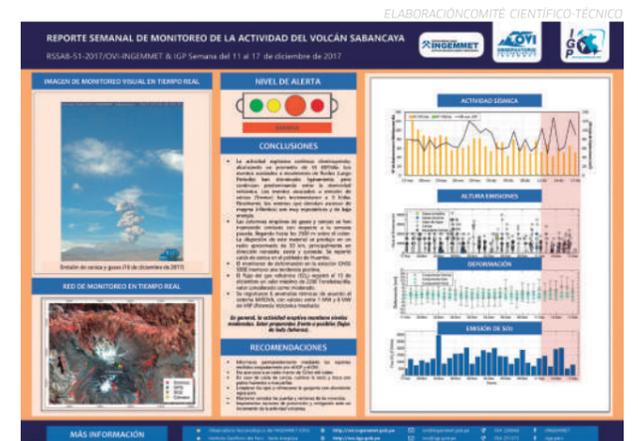


Figura 22.- Reporte de actividad 2017-51 elaborado por el Comité Científico-Técnico. En 2017 se elaboraron reportes cada semana para informar a autoridades y población el progreso de la erupción del Sabancaya.



Figura 23.- Profesionales del IGP realizaron una inspección al Sabancaya y recolectaron información geofísica complementaria de la red de monitoreo.

# UBINAS

Ubinas, el volcán más activo del Perú, ha manifestado durante el 2017 una drástica disminución de los parámetros físicos observados en comparación con años anteriores (2013-2016). Específicamente, el número de sismos diarios registrados en 2017 representan el 4.2% de los eventos registrados por año desde el inicio del último proceso de eruptivo en 2013. Además, en este último año, las emisiones de ceniza observadas fueron mínimas, reportadas solo en enero, y las anomalías térmicas que el sistema MIROVA detectaba ocasionalmente hasta el 2016 cesaron.

Gracias al desarrollo del proceso eruptivo que inició en 2013, los especialistas del IGP han consolidado un modelo de pronóstico de erupciones volcánicas basado en el análisis sísmico. En ese sentido, se evidenció el inicio de 2 nuevas etapas eruptivas en el transcurso de 2017: la primera registrada entre abril y junio y la segunda entre julio y agosto; sin embargo, ambos episodios no desarrollaron la fase explosiva, esto debido a la baja energía de los aportes de magma en profundidad.

Estas características analizadas a lo largo de este último año nos hacen presumir que el proceso eruptivo iniciado en 2013 ha llegado a su fin. Ciertamente, luego de la gran actividad explosiva de 2014, el número y energía de los eventos sísmicos, entre otras variables, mantuvieron en general tendencia a la disminución y hasta la fecha no se ha observado que esta situación pueda revertirse.



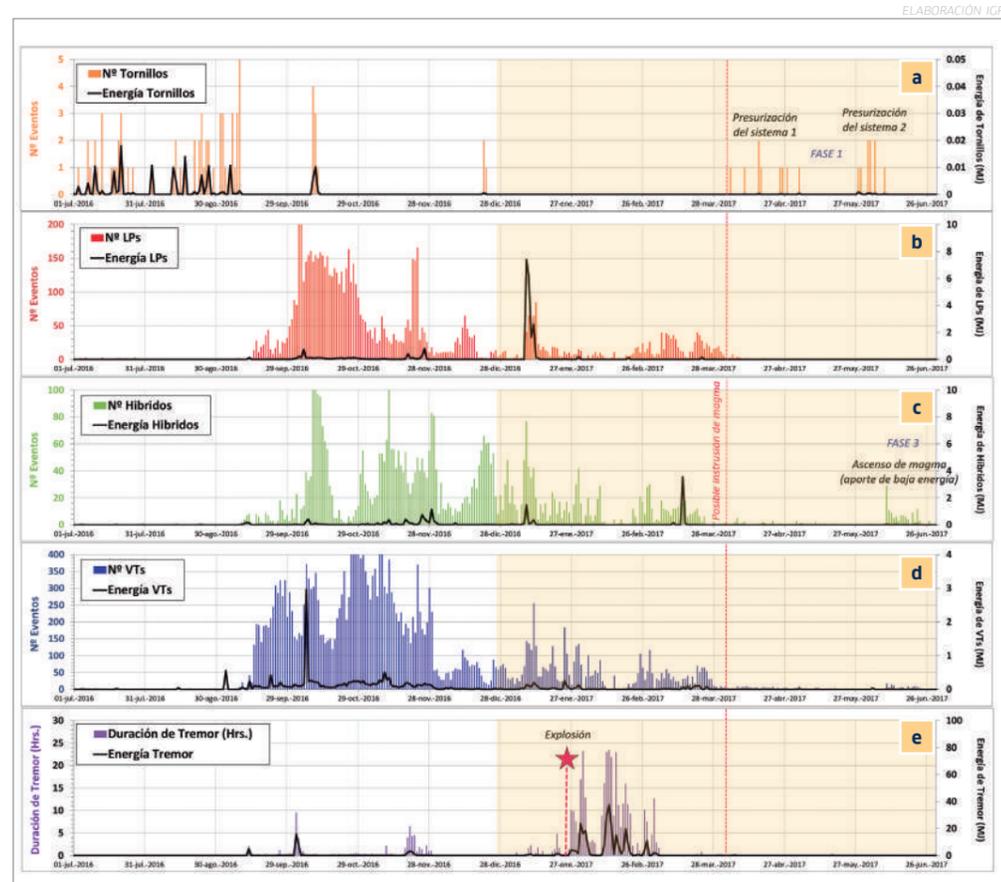


Figura 01.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 de julio de 2016 y el 30 de junio de 2017 en el volcán Ubinas. El sombreado en amarillo corresponde al periodo de análisis.

Durante el primer semestre de 2017, la actividad sísmica del volcán Ubinas evidenciaba el rezago de la última etapa explosiva desarrollada a finales de 2016. Es en este periodo que se registró la única explosión del año, ocurrida el 24 de enero a las 02:23 HL (hora local). Este evento generó una energía sísmica de 0.2 Megajoules (la mayor explosión registrada en el último proceso eruptivo liberó 284 MJ). El volumen de ceniza emitido inmediatamente después de la explosión fue mínimo.

La actividad sísmica relacionada al movimiento de magma (Híbridos) y los eventos asociados a fractura y presión dentro del edificio volcánico (Volcano-Tectónico Proximal o VTPs) se mantuvieron en niveles bajos, con valores de entre 7 y 26 sismos por día, respectivamente. Esta sísmica continuó disminuyendo y, a finales de marzo, empezaron a observarse escasamente (Fig. 01C y 01D).

Casi a continuación y posiblemente producto de una nueva intrusión magmática, se registró la ocurrencia de sismos de tipo Tornillo que, según el modelo de pronóstico, se presentan en la primera de cuatro fases (1 de 4) antes de las explosiones (Fig. 01A). La fase Tremor (2 de 4) no se presentó, aunque sí la fase de Híbridos (3 de 4) asociada al ascenso de magma; sin embargo, esta sísmica se mostró con baja energía por lo que no se completó la secuencia sísmica que desencadenaría la fase explosiva (4 de 4).

Por otro lado, la actividad del Tremor sísmico (Fig. 01E) estuvo relacionada principalmente al efecto del agua meteórica dentro del edificio volcánico, espacio dentro del cual se generó mayor circulación de este fluido ocasionando esta vibración sísmica.

Debido a los bajos registros de actividad observados en este periodo, el Comité Científico de Monitoreo Permanente del volcán Ubinas, del cual es miembro el IGP, disminuyó el nivel de alerta de amarillo a verde.



Figura 02.- Durante este periodo, principalmente en los meses de la temporada de lluvias, se observaron esporádicas emisiones de vapor de agua siendo expulsadas a través del cráter del Ubinas.

En el semestre anterior, la fase explosiva no se desarrolló a consecuencia de un posible primer aporte magmático, esto debido a la débil energía o bajo volumen de la intrusión de magma en profundidad.

Entre julio y diciembre de 2017, se desarrolló una secuencia sísmica muy similar a la observado en el periodo anterior, es decir, Tornillos (fase 1) e Híbridos (fase 3). La fase Tremor (2) no se registró y tampoco las explosiones (fase 4), nuevamente debido a aportes magmáticos de muy baja energía.

Luego de este segundo fallido intento eruptivo, la sísmica del Ubinas mostró valores muy bajos, no observados incluso desde antes de abril de 2013. Entre julio y diciembre de 2017, fueron registrados 484 sismos a una tasa promedio de 3 eventos por día y una energía sísmica generada menor a 0.02 MJ.

Por otro lado, el mapa de localización sísmica correspondiente al volcán Ubinas para el periodo 2017 muestra dispersa la distribución en planta y en profundidad para sismos de tipo VTP (como se observa en la figura 03), los cuales forman un pequeño grupo de eventos que señalan el tramo final del conducto volcánico (zona A), entre 0.2 km y 2 km bajo el cráter. También es importante resaltar otra agrupación sísmica desarrollada a 3 km al norte del volcán (zona B), con profundidad promedio de 1 km bajo la superficie.

Los sismos localizados que presentaron las mayores magnitudes (entre 1.6 y 2.6 ML) se registraron en la zona B, según muestra el mapa sísmico.

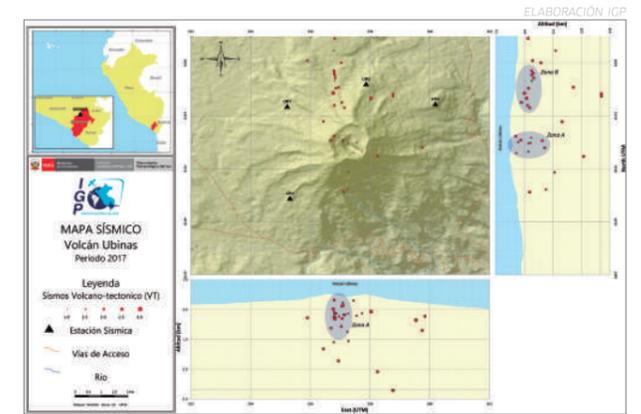


Figura 03.- Mapa de distribución espacial de sismos Volcano-Tectónicos ocurridos en el volcán Ubinas durante 2017, en el cual se distinguen 2 zonas sísmicas.



Figura 04.- Entre julio y diciembre de 2017, tal como se había también observado en el semestre anterior, las emisiones fumarólicas fueron prácticamente nulas.

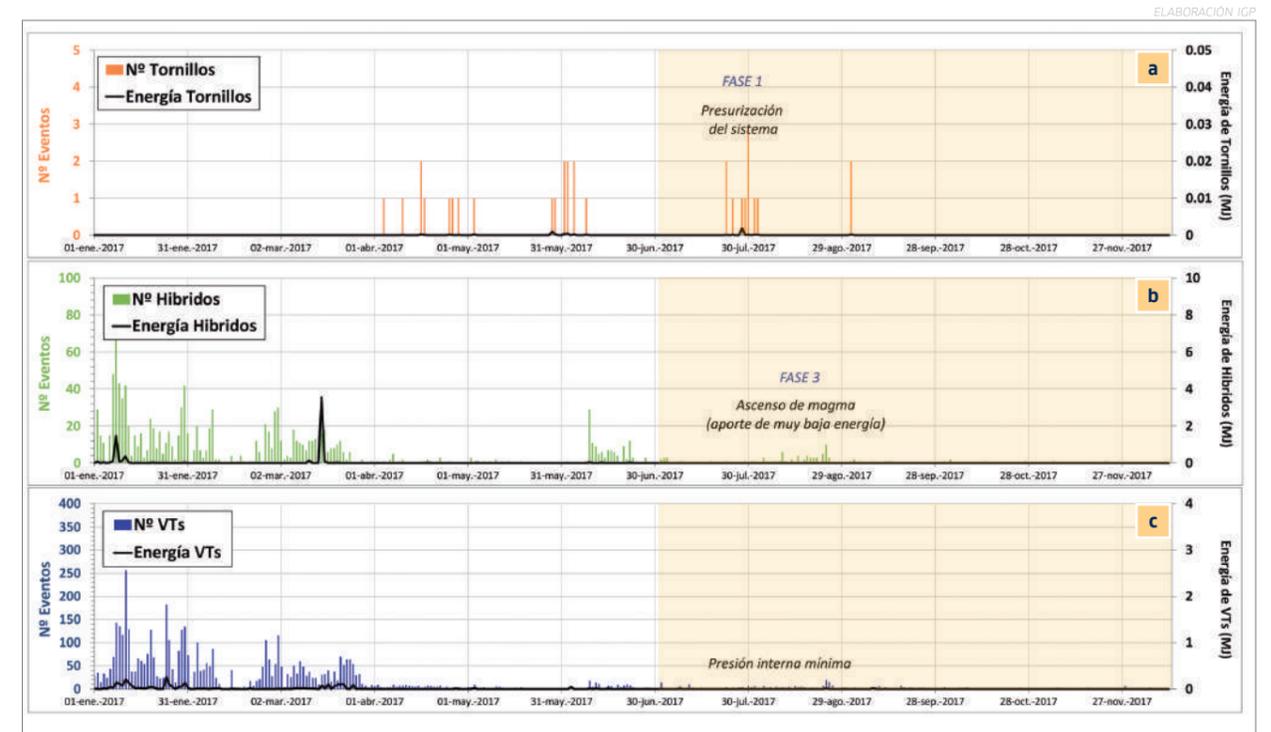


Figura 05.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 de enero y el 13 de diciembre de 2017 en el volcán Ubinas. El sombreado en amarillo corresponde al periodo de análisis.

# MISTI

Situado cerca de la ciudad de Arequipa, al sur del Perú, el Misti hoy en día continúa siendo una amenaza volcánica latente para una población superior al millón de habitantes, así como para una imponente infraestructura desarrollada en sus alrededores, tales como represas, hidroeléctricas, un aeropuerto, campos agrícolas, centros mineros, etc.

En el pasado, su actividad explosiva ha mostrado numerosas erupciones pequeñas (vulcanianas), así como otras más grandes (plinianas). La última erupción violenta conocida ocurrió hace ~2050 años, la cual generó productos que alcanzaron parte de la actual ciudad de Arequipa.

Actualmente, el Misti solo muestra una esporádica actividad fumarólica y una actividad microsísmica permanente, esta última evidenciada por primera vez en noviembre de 1998. El Observatorio Vulcanológico del Sur del Instituto Geofísico del Perú (OVS-IGP), con más de 12 años vigilando continuamente la actividad del volcán, muestra que no hubo variación importante en cuanto a su nivel de actividad considerado como "normal"; la actividad continúa siendo superficial y no hay evidencia o signos de ascenso de magma.

Ante cualquier cambio de actividad, el actual sistema de alerta temprana del Misti está activo las 24 horas del día y será útil horas, días, incluso semanas antes ante una eventual crisis eruptiva.



*El volcán Misti se localiza a 17 km del centro de la ciudad de Arequipa. El IGP monitorea su actividad desde 2005. FOTO IGP*

ENERO-JUNIO

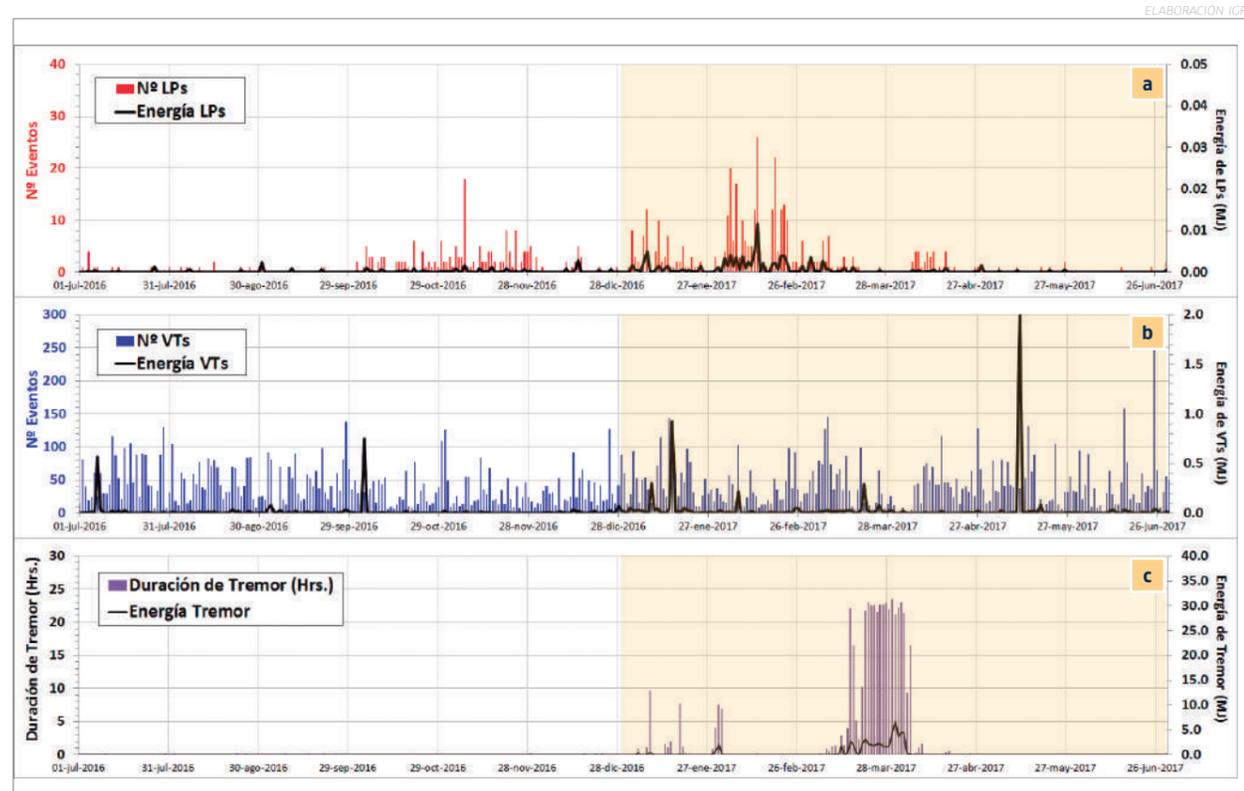


Figura 01.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 de julio de 2016 y el 30 de junio de 2017 en el volcán Misti. El sombreado en amarillo corresponde al periodo de análisis.

La actividad del volcán Misti entre enero y junio de 2017 fue reportada por el IGP hasta en 12 reportes técnicos (2017\_01–2017\_12), dando cuenta del análisis detallado de la actividad volcánica y sus respectivas recomendaciones. Cada uno de estos informes fue enviado a las distintas autoridades locales y regionales, así como a todas las instituciones vinculadas a la gestión del riesgo de desastres.

En general, la actividad del coloso volcánico durante el primer semestre no mostró mayor variación en cuanto al tamaño y número de los sismos de origen volcánico (VT, LP y Tremor). Por otro lado, las imágenes térmicas del sistema MIROVA de la Universidad de Torino (Italia), así como el sistema satelital "EOS Aura" de la NASA (OMI), no mostraron valores anómalos de temperatura, así como tampoco concentraciones de gas SO<sub>2</sub> (superficial) asociados al cráter del volcán Misti.

La actividad de los eventos Volcano-Tectónicos (VT), asociados a ruptura de rocas al interior del volcán, mostraron una tasa de ocurrencia diaria de 44 sismos por día, una tasa muy similar respecto al semestre anterior (45 VT/día). El mayor registro de estos eventos ocurrió el 25 de junio, en forma de "enjambre sísmico" produciendo un máximo de 251 eventos VT (Fig. 01b). El evento VT de mayor tamaño fue registrado el 11 de mayo a las 07:45 HL (hora local), con una magnitud de 3.1 ML y fue localizado a 1.4 km por debajo del cráter del volcán (Fig. 02).

Con relación a los eventos LP y Tremor, asociados al tránsito de fluidos volcánicos al interior del macizo, no se distinguió variación importante (Fig. 01a y 01c); solo destaca la ocurrencia esporádica de 3 eventos "Tornillo" los días 29 de marzo, 10 de abril y 27 de mayo. Asimismo, la actividad del Tremor mantuvo un nivel bajo y solo mostró un incremento durante el 16 de marzo y 05 de abril, debido a la actividad pluvial superficial (Fig. 01c).

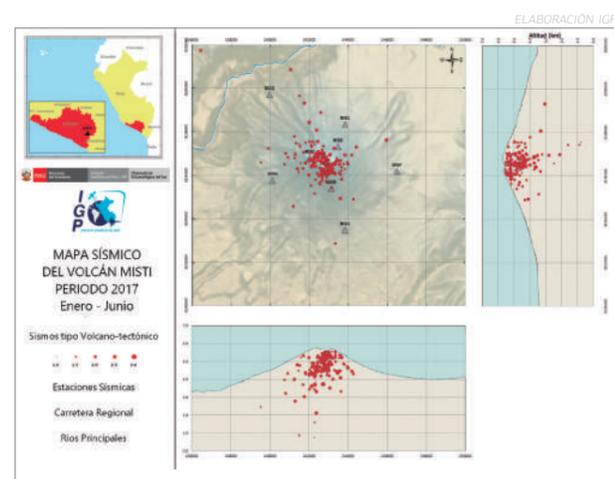


Figura 02.- Distribución espacial de sismos Volcano-Tectónicos del volcán Misti, correspondiente al periodo enero-junio de 2017.

JULIO-DICIEMBRE

En el segundo semestre del año fueron publicados 11 reportes técnicos de actividad quincenal (2017\_13–2017\_23, hasta el 18 de diciembre), explicando a detalle la actividad volcánica observada entre julio y diciembre de 2017. En general, esta fue similar a la mostrada el semestre anterior. Los restantes parámetros de actividad, asociados a la temperatura y concentración de gas SO<sub>2</sub>, no mostraron tampoco cambios sustanciales asociados a la actividad del volcán Misti.

Los sismos VT mostraron una actividad similar al primer semestre, con una tasa de ocurrencia diaria de 45 sismos por día. El mayor registro de estos eventos ocurrió el 05 de diciembre, en forma de "enjambre sísmico", produciéndose un máximo de 139 eventos VT (Fig. 04b). El sismo VT de mayor tamaño ocurrió el 16 de noviembre a las 13:21 HL (hora local), con una magnitud de 1.7 ML, y fue localizado a 2 km por debajo del cráter del volcán. A diferencia del semestre anterior, los sismos VT fueron de menor tamaño y, de acuerdo al mapa de localizaciones, la ubicación de los sismos fue aproximadamente la misma a la observada entre enero y junio (Fig. 03).

Con relación a los eventos LP y Tremor, se pudo apreciar una disminución notable de su actividad respecto al semestre anterior (Fig. 04a y 04b); sin embargo, se destaca la ocurrencia de 6 eventos "Tornillo" hasta en 2 ocasiones el día 14 de noviembre, y un evento los días 29 de agosto, 27 de septiembre, 26

de octubre y 16 de noviembre. El mayor de ellos ocurrió el 26 de octubre a las 19:19 HL, con una duración de 206 segundos. Asimismo, la actividad del Tremor y la de los LP fue mucho menor respecto al semestre pasado. El mayor registro de actividad tremórica corresponde al día 12 de noviembre, con 1 hora y 17 segundos, y una energía menor a 1 MJ (Fig. 04c).

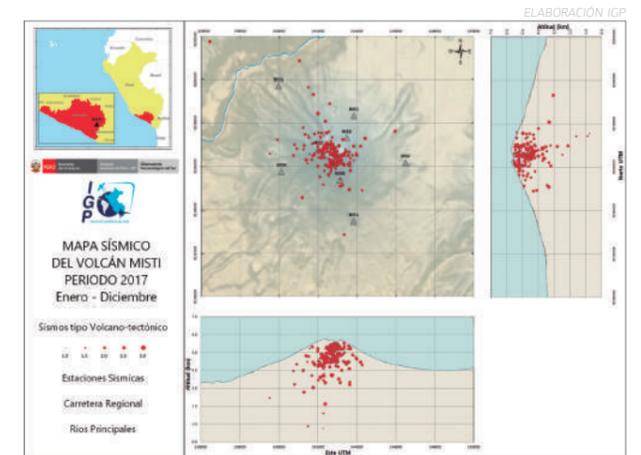


Figura 03.- Distribución espacial de sismos Volcano-Tectónicos del volcán Misti, correspondiente al año 2017. Se distingue que la sismicidad se concentra principalmente debajo del cono volcánico, a una distancia de entre 1 km y 4 km del cráter. Los sismos localizados se distribuyen preferentemente en un orientación noroeste-sureste.

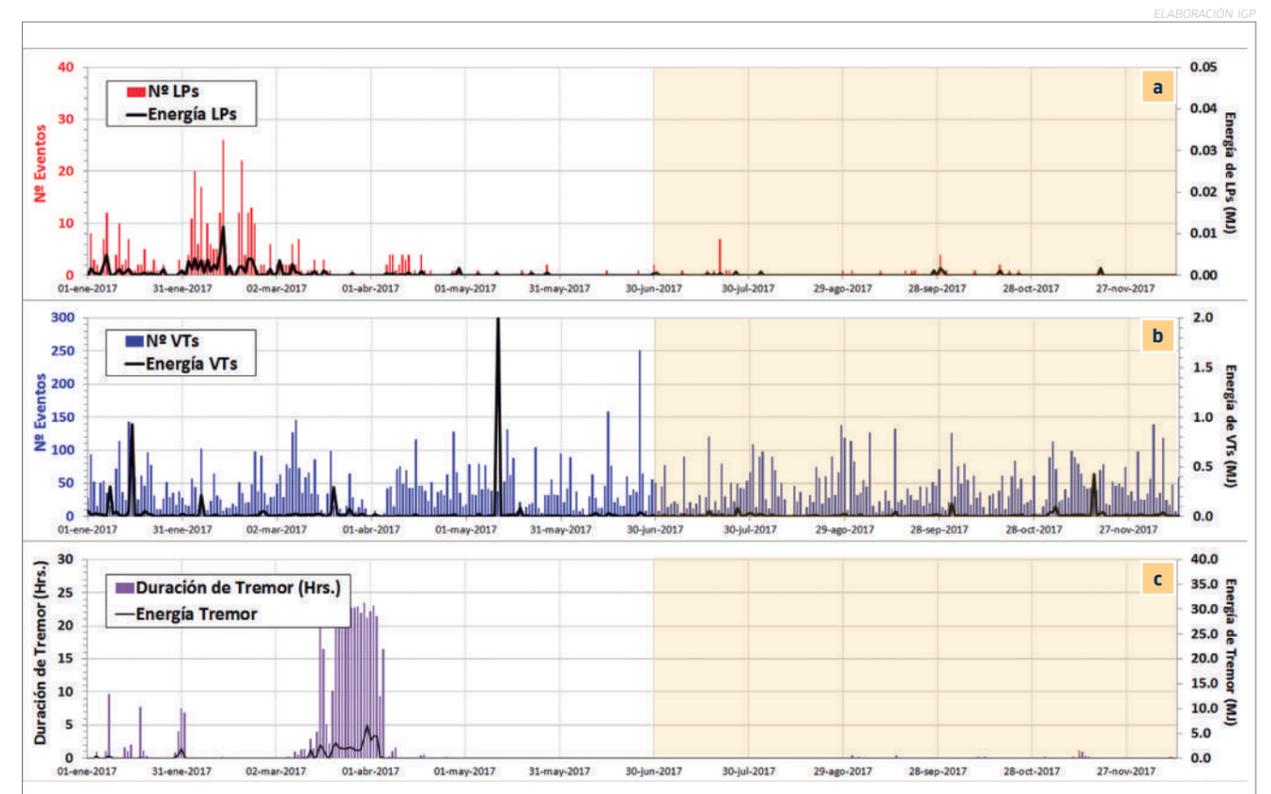


Figura 04.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 de enero y el 13 de diciembre de 2017 en el volcán Misti. El sombreado en amarillo corresponde al periodo de análisis.

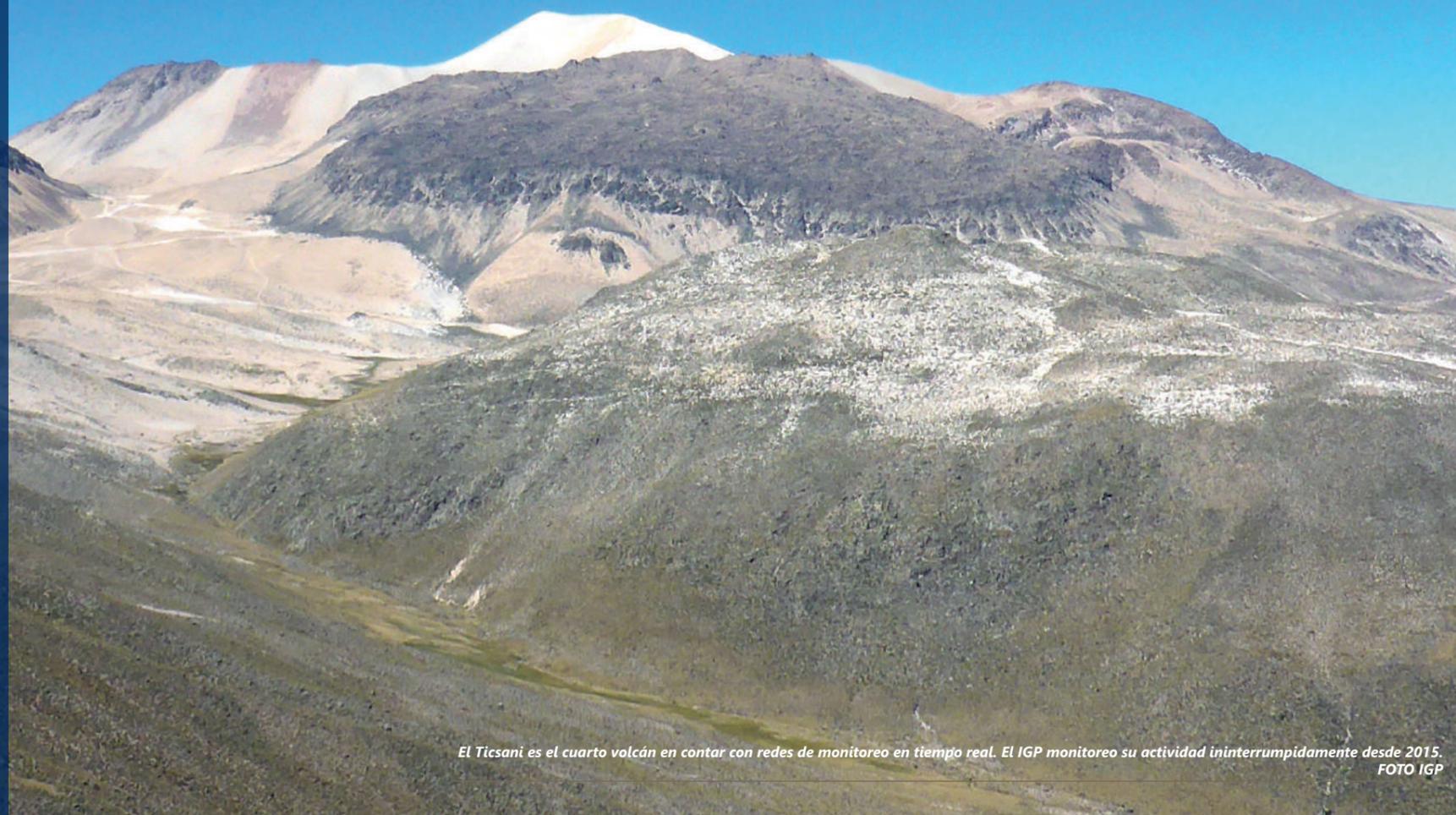
## TICSANI

El volcán Ticsani está situado a 60 km al noreste de la ciudad de Moquegua. Es un estratovolcán activo que pertenece a la Zona Volcánica Central de los Andes. Este macizo volcánico, que presentó su último proceso eruptivo hace menos de 400 años, es en la actualidad monitoreado mediante una red sísmica telemétrica de última generación instalada y administrada por el Instituto Geofísico del Perú.

En las últimas décadas, el Ticsani ha dado muestras de intranquilidad sísmica, lo cual ha sido tomado en cuenta por el IGP, destacando su prioridad en materia de estudio y potencial riesgo para las poblaciones aledañas. Es por ello que desde 2014 se realiza un seguimiento ininterrumpido de la actividad de este coloso.

Los resultados obtenidos tras el análisis de información sismovolcánica nos han permitido conocer características peculiares del Ticsani, tal como lo son los eventos de muy bajas frecuencias asociados a movimiento de magma; del mismo modo, la ocurrencia de enjambres sísmicos que muestran una componente magmática sumada a los esfuerzos tectónicos de la zona y sismicidad próxima al cráter del Ticsani asociada a fallas activas.

Los conocimientos adquiridos de los volcanes del sur del Perú, sumados a la experiencia adquirida en el monitoreo del Ticsani, permiten al IGP estar a la vanguardia de la investigación vulcanológica en el país.



*El Ticsani es el cuarto volcán en contar con redes de monitoreo en tiempo real. El IGP monitoreo su actividad ininterrumpidamente desde 2015. FOTO IGP*

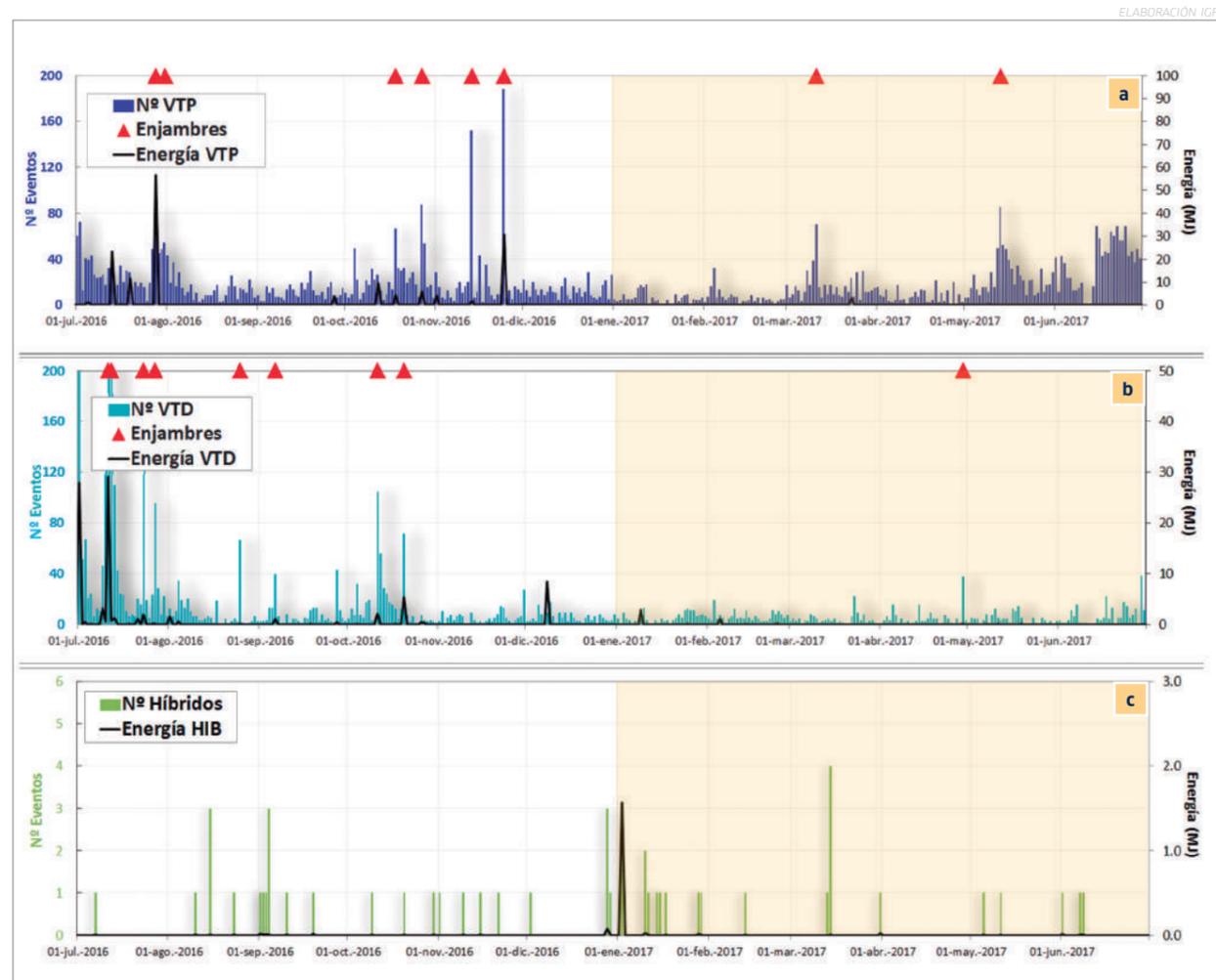


Figura 01.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 de julio de 2016 y el 30 de junio de 2017 en el volcán Ticsani. El sombreado en amarillo corresponde al periodo de análisis.

Durante el primer semestre de 2017, el IGP publicó 12 reportes quincenales proporcionando información a las autoridades y público en general acerca del monitoreo sismovolcánico del Ticsani. La actividad sísmica que predominó en este lapso de tiempo estuvo relacionada al fracturamiento de rocas. En efecto, los sismos Volcano-Tectónico Proximales (VTP) alcanzaron una tasa promedio de 17 VTP/día. Cabe señalar que los niveles de sismicidad fueron inferiores a los registrados en el semestre anterior (julio-diciembre de 2016).

Fue también en este semestre que, con el propósito de comprender la dinámica del sistema hidrotermal del Ticsani, los profesionales de la sede de Arequipa del IGP realizaron la primera campaña temporal del Potencial Espontáneo (PE), ya que desde 2009 no se realizaban trabajos de esta naturaleza. La campaña del PE se realizó entre el 20 y 23 de junio de 2017. Los resultados de estos trabajos también permitieron conocer lugares idóneos para la instalación de sistemas de medición continua mediante este método.



Figura 02.- Personal del IGP realizando mediciones de temperatura en el Ticsani.

Por otro lado, se observaron 2 enjambres sísmicos, registrándose hasta 85 eventos de fractura. La sismicidad de tipo Híbrido, asociada al movimiento de magma, se presentó esporádicamente, destacando el evento del 02 de enero que alcanzó una energía de 1.6 MJ, el cual fue además observado en las redes de los volcanes Ubinas y Misti. La distribución espacial de la sismicidad se concentró principalmente próxima al cráter del Ticsani, con magnitudes que alcanzaron los 3.7 ML (magnitud local) y una distribución en profundidad de entre 3 km y 18 km respecto a la superficie.

Entre julio y diciembre, el IGP publicó 11 reportes de actividad (hasta el 18 de diciembre) donde se destacó nuevamente el predominio de eventos relacionados a fractura de rocas, con sismos energéticos tanto distales como proximales.

En efecto, la sismicidad proximal, situada a menos de 6 km respecto al cráter, elevó su tasa de ocurrencia ligeramente (19 VTP por día). Como es característico en el volcán Ticsani, se observaron 5 enjambres sísmicos, 2 de los cuales se presentaron en los 2 últimos meses y alcanzaron 113 sismos por día. Es importante mencionar el sismo energético observado el 05 de septiembre, que alcanzó una energía de 128 MJ y una intensidad de grado II. Este evento fue sentido en las poblaciones aledañas. Con relación a los eventos de fractura distales, también se presentó una importante actividad con la presencia de 5 enjambres sísmicos y un pico energético que alcanzó los 65 MJ (04 de agosto).

A lo largo de 2017, se determinaron parámetros hipocentrales para 1353 sismos relacionados a fractura de rocas. Los resultados muestran 2 agrupaciones de sismos que predominan en esta región: la primera agrupación presentó sismicidad próxima al volcán Ticsani, con profundidades que alcanzan los 8 km respecto al cráter. También es posible apreciar una segunda agrupación situada a 17 km al sureste del volcán Ticsani, con profundidades que alcanzan los 19 km respecto a la superficie. Los sismos que destacan en el 2017 alcanzaron magnitudes de hasta 3.9 ML, como

es el caso del sismo del 04 de agosto a las 12:19 UTC. En resumen, el volcán Ticsani ha presentado numerosos episodios sísmicos en lo que va del año, entre ellos numerosos enjambres sísmicos; sin embargo, no se ha observado indicios suficientes que sugieran algún cambio importante en su actividad, conservando niveles bajos respecto a los años anteriores.

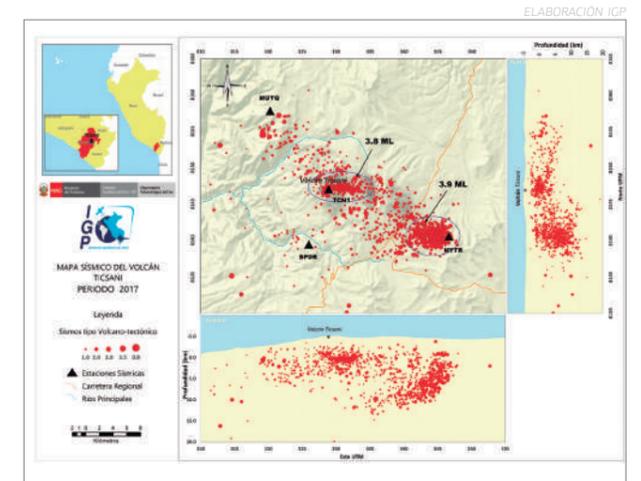


Figura 03.- Mapa de sismicidad para eventos de tipo fractura (VT) en el volcán Ticsani. Los círculos de color rojo representan los sismos ocurridos en 2017, mientras que los círculos negros sin relleno representan la sismicidad en periodos anteriores (2014-2016). Se destacan 2 agrupaciones (clústeres) de sismos con magnitudes que alcanzaron los 3.9 ML.

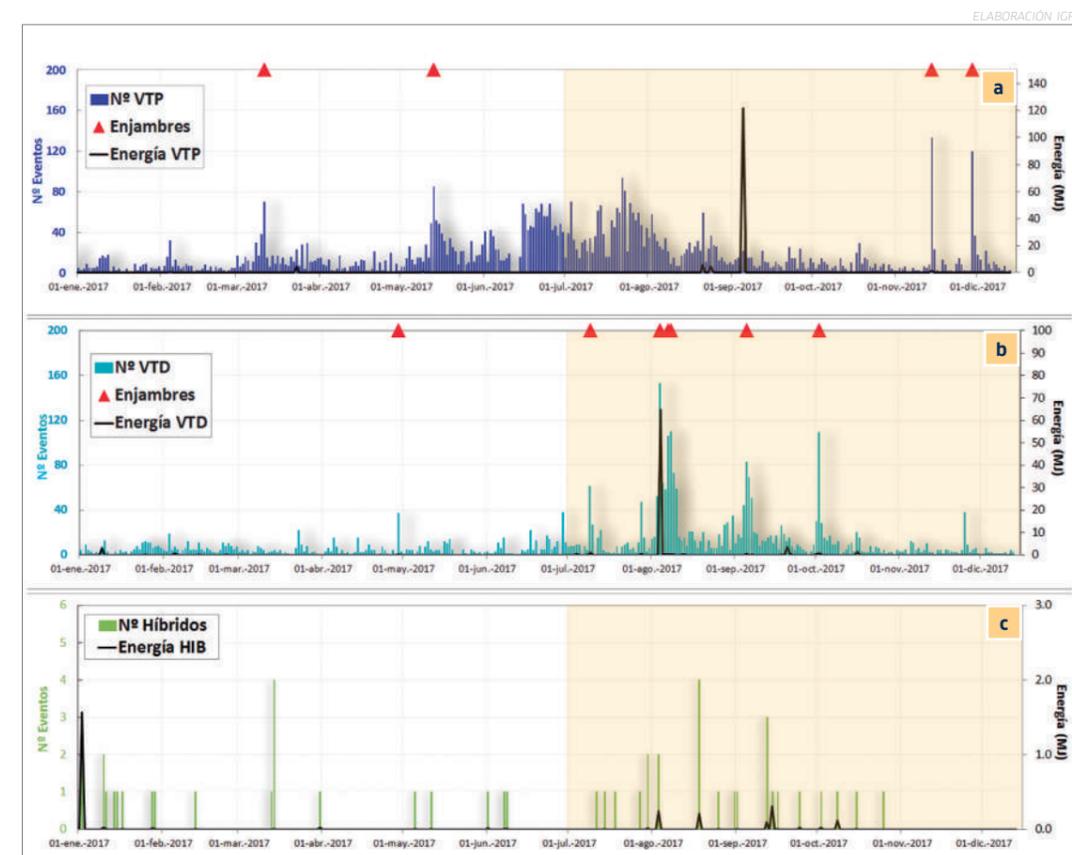


Figura 04.- Número (barras de color) y energía (línea negra) de sismos para los principales eventos volcánicos registrados entre el 01 de enero y el 13 de diciembre de 2017 en el volcán Ticsani. El sombreado en amarillo corresponde al periodo de análisis.

## CAPACITACIÓN

Los conocimientos y resultados del monitoreo e investigaciones en vulcanología que genera el Instituto Geofísico del Perú llegan de manera directa, clara y precisa a las autoridades, instituciones y población. En esa línea, nuestra institución ha efectuado numerosos talleres en localidades que se encuentran en bajo, mediano y alto riesgo volcánico, explicando los principales peligros que genera un volcán cuando hace erupción.



Estudiantes de la I.E. Jorge Aurelio Abril Flores de Cabanaconde conocen el impacto de la erupción del Sabancaya.  
FOTO OVS

## TALLERES EN ZONAS VULNERABLES

### UBINAS

El Instituto Geofísico del Perú visitó el distrito de Ubinas el 24 de octubre de 2017, con el propósito de realizar un taller de capacitación con las autoridades, población y estudiantes de esta localidad, ubicada a tan solo 6 km del volcán Ubinas, el más activo del país.

Dicha jornada, desde tempranas horas de la mañana, nuestros profesionales recibieron a los participantes en el auditorio del Instituto Superior Tecnológico de Ubinas, representantes no solo de este poblado, sino también de los diferentes anexos que conforman este distrito.

La exposición científica fue realizada por el Dr. Orlando Macedo, investigador principal de nuestra sede en Arequipa, quien precisó que los niveles de actividad del Ubinas en 2017 mostraron niveles muy bajos, registrándose, por ejemplo,

solo una explosión durante todo el año, ocurrida el 24 de enero en horas de la madrugada.

Fue debido a ello y a los mínimos valores de sismicidad registrados, que el nivel de alerta del Ubinas pasó de amarillo a verde, manteniéndose así al concluir este año.

Durante esta visita a Ubinas, también se realizó un nuevo taller con los estudiantes del nivel secundario de la institución educativa José Carlos Mariátegui, quienes recibieron material educativo de suma utilidad. El Dr. Macedo destacó durante su presentación que las acciones de prevención que adopten los jóvenes en Ubinas determinarán el grado de riesgo de las futuras generaciones. "Lo importante y trascendental de estos talleres es que los niños y jóvenes en Ubinas aprendan a convivir responsablemente con un volcán activo", concluyó.



a) El Dr. Orlando Macedo, investigador del IGP presenta los resultados del monitoreo del volcán Ubinas en 2017.  
b) Estudiante de la I.E. José Carlos Mariátegui grafica la dinámica de un volcán previa a una erupción.  
c) Asistente al taller de capacitación sobre la actividad del volcán Ubinas recibe material educativo de personal del IGP.  
FOTOS IGP

# TALLERES EN ZONAS VULNERABLES

## CHIVAY, YANQUE, PINCHOLLO Y CABANAACONDE

El 14 y 15 de marzo de 2017, un equipo de profesionales del IGP se trasladó hacia los distritos de Chivay, Yanque y Pinchollo con la finalidad de realizar talleres de capacitación y explicar a las autoridades, población, docentes y estudiantes de estos distritos cuál es el estado actual de la erupción del volcán Sabancaya y cuáles son las implicaciones del estado de alerta naranja.

El primero de estos talleres se efectuó en Chivay, en el auditorio de la municipalidad provincial de Caylloma. Recibidos por su alcalde, el Dr. Rómulo Tinta, el equipo del IGP, liderado por el Dr. Orlando Macedo, explicó a los más de 80 asistentes las fases que atravesó el Sabancaya camino a su actual erupción. "Todo este proceso ha sido anticipado por los estudios de sismología volcánica que realizamos en el IGP", advirtió el Dr. Macedo.

Seguidamente, nuestros especialistas visitaron el 15 de marzo la municipalidad distrital de Yanque y el centro poblado de Pinchollo. En ambas localidades se efectuaron sendos talleres, los cuales fueron coordinados conjuntamente con sus autoridades. Los funcionarios y población despejaron sus dudas sobre los daños que genera la ceniza que expulsa el Sabancaya continuamente en cada explosión.

En junio de 2017, nuevamente nuestros vulcanólogos se desplazaron hacia el valle del Colca, específicamente al distrito de Cabanaconde. El Ing. José Del Carpio brindó una detallada descripción de la erupción del Sabancaya a las autoridades y población. Cada participante recibió el reporte anual de volcanes 2016, texto en el cual se precisan los primeros meses de erupción del Sabancaya y cómo el IGP anticipó oportunamente la ocurrencia de dicho fenómeno.



a) El Dr. Orlando Macedo inicia en el auditorio de la municipalidad provincial de Caylloma el taller educativo sobre la erupción del volcán Sabancaya.  
b) Pobladores y funcionarios de la municipalidad de Yanque luego de finalizado el taller de capacitación del IGP.  
c) Participantes del taller educativo realizado por el IGP en el centro poblado de Pinchollo.  
d) Autoridades y pobladores de Cabanaconde atienden la presentación del Ing. Del Carpio, quien explica el panorama y perspectivas de la erupción del volcán Sabancaya.  
FOTOS IGP



**a** El Dr. Orlando Macedo responde las interrogantes de los participantes del taller de capacitación sobre la actividad actual del volcán Ticsani.  
**b** El alcalde de Calacoa, Ing. Alfredo Nina, destaca la labor de monitoreo y las actividades de difusión del IGP.  
**c** Representantes del distrito de Calacoa y anexos que participaron en el taller de capacitación.  
**d** Estudiantes del nivel secundario de la I.E. César Vallejo de Calacoa junto a profesionales del IGP, tras la charla educativa brindada sobre los peligros a enfrentar en una futura erupción del volcán Ticsani.  
 FOTOS IGP



## TALLERES EN ZONAS VULNERABLES

### CALACOA

Siguiendo con sus talleres de capacitación en localidades expuestas a diferente riesgo volcánico, los especialistas de la sede de Arequipa de nuestra institución visitaron el 31 de octubre de 2017 el distrito de Calacoa, provincia de Mariscal Nieto, en la región Moquegua. Esta jurisdicción se ubica a tan solo 8 km del volcán Ticsani, coloso considerado como activo que es vigilado por el IGP desde el año 2014.

Muy temprano, las puertas de la municipalidad distrital de Calacoa se abrieron para recibir a la población de este distrito y de los diferentes anexos que lo conforman, todos ellos muy interesados en conocer la actividad actual del Ticsani y el riesgo que supone para su integridad y el desarrollo de sus actividades económicas.

El Dr. Orlando Macedo tuvo a su cargo la presentación principal. Más de 50 personas, entre funcionarios y población, absolvieron sus dudas e inquietudes, aprendiendo la historia

eruptiva reciente del Ticsani y cuáles son los sismos que se producen en el interior del volcán y a qué se encuentran relacionados.

El alcalde de Calacoa, Ing. Alfredo Nina Calizaya, acompañado de su cuerpo de regidores y gerentes, destacó la labor de prevención que realiza el Instituto Geofísico del Perú en la gestión del riesgo volcánico y, sobre todo, la dedicación de nuestros especialistas en visitar los poblados cercanos a volcanes activos y enseñar didácticamente cuáles son las señales que muestra un volcán camino a una erupción.

Así también, con el ánimo de educar a las futuras generaciones, nuestros profesionales dieron una charla educativa a los estudiantes de la I.E. César Vallejo y les entregaron material educativo, ratificando el interés del IGP en la promoción y divulgación del conocimiento científico en los más jóvenes.



# TALLERES EN MUNICIPALIDADES Y COLEGIOS DE AREQUIPA

La ciudad de Arequipa alberga a más de un millón de habitantes, los cuales se encuentran expuestos con diferente nivel de riesgo a una erupción del volcán Misti. Es por ello que el Instituto Geofísico del Perú realiza numerosos talleres de capacitación con los equipos de defensa civil de las municipalidades distritales de la ciudad, así como con estudiantes del nivel primario y secundario de instituciones educativas públicas y privadas.

Durante el 2017, nuestro equipo de vulcanólogos visitó alrededor de 7 municipalidades de la ciudad. Los equipos de defensa civil de las comunas de Miraflores, Sachaca, José Luis Bustamante y Rivero, Yanahuara, Yrabamba, Cayma y la provincial de Arequipa participaron en talleres educativos donde el IGP explicó el modelo de pronóstico de erupción volcánica con el cual advirtió oportunamente la erupción del volcán Ubinas y del volcán Sabancaya. Asimismo, se realizaron ejercicios de ubicación espacial de cada distrito y

las principales infraestructuras de la ciudad con relación al volcán Misti. Muchos quedaron sorprendidos al conocer el alto nivel de vulnerabilidad en el cual se encuentran, así como el de importantes obras de servicios básicos como la represa de Aguada Blanca y las hidroeléctricas de Charcani.

Del mismo modo, nuestros profesionales visitaron diversas instituciones educativas de educación secundaria, tales como el Colegio de Alto Rendimiento de Arequipa (COAR) en Paucarpata, Nuestra Señora de La Merced en Yanahuara y la I.E. Milagro de Fátima en Sachaca. Cada uno de los estudiantes recibió material educativo del IGP con contenido relacionado al monitoreo de la actividad del volcán Misti efectuado por el IGP desde 2005.

Estos talleres de difusión del contenido científico producido por investigadores del IGP continuará en 2018, con el objetivo de crear conciencia responsable ante el riesgo volcánico.



- a) Integrantes de la plataforma de defensa civil de la municipalidad provincial de Arequipa que participaron en el taller de capacitación del IGP.
- b) El MSc. Nino Puma durante su exposición ante los miembros de defensa civil de Cayma y representantes de las unidades vecinales de este distrito.
- c) Funcionarios de la municipalidad distrital de Miraflores muestran el material educativo que recibieron durante el taller organizado por el IGP.
- d) El Ing. José Del Carpio acompañado de los funcionarios de la municipalidad de José Luis Bustamante y Rivero que participaron en el taller de capacitación del IGP sobre la actividad actual del volcán Misti.
- e) El Dr. Orlando Macedo explica el modelo de pronóstico de erupción volcánica que emplea el IGP a los funcionarios de la municipalidad de Sachaca.
- f) El MSc. Nino Puma absuelve las preguntas de los representantes de Defensa Civil de la municipalidad de Yrabamba.
- g) Representantes de las unidades vecinales del distrito de Yanahuara y miembros de defensa civil atienden la presentación del MSc. Nino Puma.
- h) Estudiantes del Colegio de Alto Rendimiento de Arequipa enseñan los reportes técnicos del IGP que recibieron en el taller de capacitación sobre la actividad actual del volcán Misti.
- i) El Ing. José Del Carpio expone las labores de monitoreo que realiza el IGP en volcanes activos a las estudiantes de la I.E. Nuestra Señora de La Merced.
- j) Estudiantes de la I.E. Milagro de Fátima en Sachaca prestan atención a la exposición del Ing. José Del Carpio, quien da a conocer el modelo de pronóstico de erupción volcánica desarrollado por el IGP.

FOTOS IGP



# FORTALECIMIENTO

El proyecto de inversión “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alerta ante el Riesgo Volcánico en el Sur del Perú” está ya en marcha. Durante 2017, se han realizado importantes estudios para la implementación de las redes de monitoreo en los 10 volcanes más activos del país. Igualmente, el IGP presentó el proyecto a las autoridades y población del distrito de Sachaca en Arequipa, donde se construirá la moderna sede de nuestro Observatorio Vulcanológico.



El volcán Yucamane se ubica en la región Tacna, a solo 11 km de la ciudad de Candarave. FOTO IGP

## LIDERANDO Y FORTALECIENDO LA GESTIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO EN EL PERÚ

La vigilancia volcánica en el Perú se remonta a la década de 1990, cuando el volcán Sabancaya, hasta aquel entonces considerado como un volcán dormido, hizo erupción. El Instituto Geofísico del Perú recibió el encargo de iniciar el monitoreo de este proceso eruptivo (1990-1998), formándose de este manera la oficina de vulcanología del IGP, integrada por profesionales geofísicos dedicados exclusivamente a la investigación y vigilancia de los volcanes activos de nuestro país.

Han transcurrido 27 años desde que esta oficina del IGP, hoy Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS), iniciara sus funciones. A la fecha, el Instituto Geofísico del Perú ha consolidado redes de monitoreo en tiempo real en 4 volcanes: Misti y Sabancaya en Arequipa, Ubinas y Ticsani en Moquegua.

Pese a este importante progreso, aún existen volcanes activos y potencialmente activos en el sur del país sin redes de monitoreo que nos permitan conocer en tiempo real sus actuales niveles de actividad. Esta evidente necesidad de información motivó al Instituto Geofísico del Perú a formular un proyecto con el cual expandir la vigilancia volcánica en tiempo real a 10 volcanes activos del país que representan

mayor riesgo para la población de las regiones del sur. El Estado peruano, en respuesta, aprobó dicha iniciativa y confió al IGP la ejecución del proyecto de “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alerta Volcánica ante el Riesgo Volcánico en el Sur del Perú”.

Este 2017, el IGP ha realizado importantes avances en el marco de este proyecto. Los profesionales geofísicos de la sede de Arequipa han realizado estudios preliminares para determinar el lugar idóneo donde se instalarán las estaciones de monitoreo; la población de Arequipa y Sachaca, lugar donde se construirá la moderna sede del Observatorio Vulcanológico, recibió de primera mano información sobre la importancia y trascendencia de esta iniciativa.

El IGP fortalece de este forma el desarrollo de conocimiento científico útil para la gestión del riesgo volcánico en el país. Este importante salto en cobertura de vigilancia volcánica, tecnología e infraestructura posiciona al Perú en uno de los países mejor implementados en el continente y al IGP, como una de las instituciones científicas líderes de esta región del planeta.

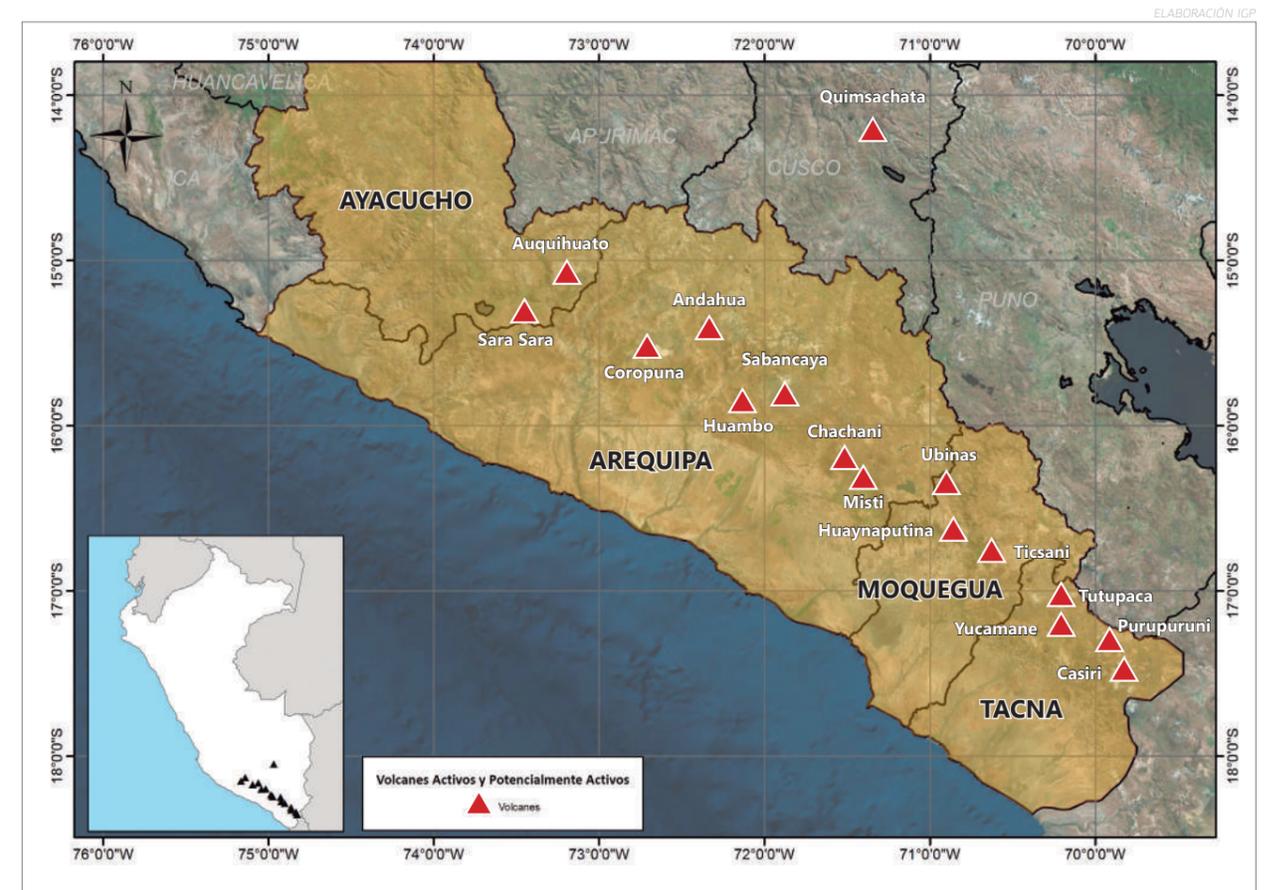


Figura 01.- Volcanes activos y potencialmente activos del sur del Perú que serán vigilados directa e indirectamente con la implementación del proyecto de “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alerta ante el Riesgo Volcánico en el Sur del Perú”. Dichos volcanes se encuentran en las regiones de Ayacucho, Arequipa, Moquegua y Tacna, sombreadas de amarillo en la figura.



## ESTUDIOS PRELIMINARES

El proyecto de "Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alerta ante el Riesgo Volcánico en el Sur del Perú" contempla la instalación de modernas redes de monitoreo en 10 volcanes activos y potencialmente activos del sur del país. De estos 10 colosos, 4 son vigilados actualmente en tiempo real por el Instituto Geofísico del Perú

Al no contarse con redes de monitoreo en los 6 volcanes restantes, los profesionales geofísicos del IGP que laboran directamente en la ejecución de este proyecto, han

realizado estudios detallados para determinar la instalación preliminar de estaciones de monitoreo temporales en los volcanes Coropuna, Tutupaca, Yucamane, Sara Sara, Casiri y Huaynaputina.

Dichos trabajos se ejecutarán en 2018. La información analizada obtenida a través de estas estaciones, permitirá al IGP determinar óptimamente el lugar donde se instalarán las estaciones de monitoreo permanente en estos volcanes, y así iniciar el monitoreo en tiempo real de estos colosos.

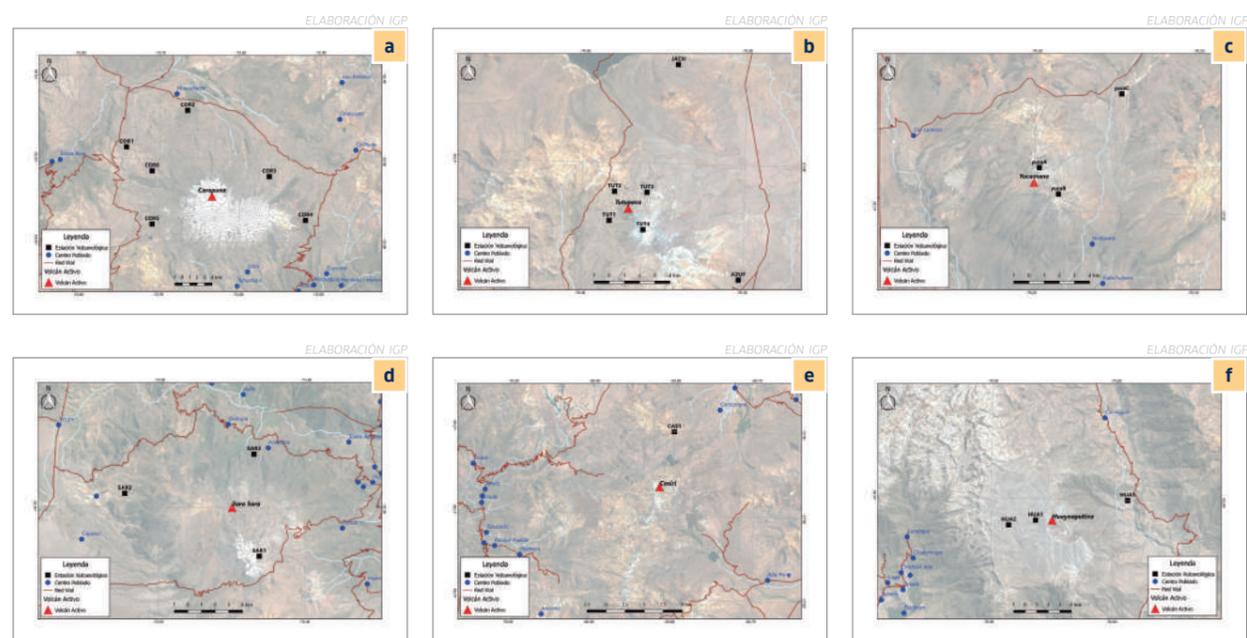


Figura 02.- Se muestra la localización de las estaciones de monitoreo de estaciones temporales para los volcanes Coropuna (a), Tutupaca (b), Yucamane (c), Sara Sara (d), Casiri (e) y Huaynaputina (f). El análisis de la sismicidad con la información obtenida por estas estaciones permitirá conocer los lugares adecuados para la instalación de las estaciones de monitoreo permanente en cada uno de estos volcanes.

## PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Una de los aspectos principales de la ejecución del proyecto de "Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alerta ante el Riesgo Volcánico en el Sur del Perú" está relacionado a la construcción de una moderna infraestructura donde los profesionales de la sede de Arequipa, dedicados a la investigación y monitoreo de volcanes, podrán trabajar con todas las comodidades y facilidades logísticas posibles.

Las obras de construcción de este edificio, que se localizará en el AA.HH. José María Arguedas, distrito de Sachaca, región de Arequipa, empezarán a ser ejecutadas en 2018. En ese sentido, y dada la importancia de la ubicación de esta nueva moderna sede del IGP, nuestra institución presentó el proyecto a la comunidad en general en el distrito de Sachaca, donde autoridades regionales, locales y los vecinos del AA.HH. José María Arguedas se reunieron para conocer los alcances de esta gran iniciativa en favor del beneficio de 4 regiones del sur del Perú.

El Dr. Hernando Tavera, presidente ejecutivo del IGP, acompañado del Ing. David Portugal, director de la sede de Arequipa, explicaron detenidamente los componentes del proyecto, destacando que el estado peruano ha confiado en el IGP la ejecución de este proyecto, invirtiendo 18.5 millones de soles que serán empleados en la instalación de sofisticadas redes de vigilancia en tiempo real en 10 volcanes activos del país.

La participación de autoridades del distrito de Sachaca, así como del Gobierno Regional de Arequipa, dio realce a esta cita. El Dr. Tavera resaltó que la ejecución del proyecto convertirá al Perú en uno de los países mejor implementados en el continente en cuanto a vigilancia volcánica. "En esta nueva sede se producirá incesantemente nuevo conocimiento científico útil para la gestión del riesgo volcánico en el Perú. El IGP será un faro de ciencia para la niñez y juventud de las regiones de Ayacucho, Arequipa, Moquegua y Tacna", finalizó.



Figura 03.- Participantes del taller de presentación del proyecto de "Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alerta ante el Riesgo Volcánico en el Sur del Perú", organizado por el IGP en el distrito de Sachaca, Arequipa.



Figura 04.- Arquitectura referencial de la futura sede del Instituto Geofísico del Perú en Arequipa, la cual se construirá en el distrito de Sachaca.



© Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima, Perú  
Central Telefónica: (511) 3172300  
<http://www.igp.gob.pe>  
 <http://facebook.com/igp.peru>  
 [http://twitter.com/igp\\_peru](http://twitter.com/igp_peru)  
 [http://youtube.com/igp\\_videos](http://youtube.com/igp_videos)