



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú - IGP



# Investigación sobre **Volcanes** activos en el sur del Perú

Reporte Técnico Especial



**Programa Presupuestal por Resultados "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres",  
producto "Zonas geográficas con gestión de información vulcanológica".**

*Autor: Dr. Orlando Macedo & Personal de área de Vulcanología*

**Fotografías:**

- Orlando Macedo
- Edmundo Norabuena
- Personal de Vulcanología
- Personal de Redes Geofísicas

*Arequipa, Setiembre del 2014*

*Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nro. 2014-12969*

*2ª Edición*

*Editado por:*

*Instituto Geofísico del Perú*

*Calle Badajoz 169, Mayorazgo, IV Etapa Ate Vitarte*

*Impreso en:*

*2001 OFFSET INDUSTRY SRL*

*Jr. Los Corales 375, Balconcillo - La Victoria*

**Explosión del volcán Ubinas en abril del 2006.**



# Índice

- 4** Introducción
- 6** Reseña histórica
- 8** Los volcanes activos del Perú
- 12** Funciones del IGP en el campo de la Vulcanología
- 14** Redes geofísicas y telemetría en los volcanes
- 21** Pronóstico durante la erupción del volcán Ubinas 2006- 2007
- 25** Nuevas técnicas de monitoreo de volcanes
- 29** Influencia tectónica regional y la circulación de fluidos hidrotermales alrededor de los volcanes Chanchani, Misti y Pichu Pichu
- 32** Cooperación nacional e internacional
- 34** Futuro observatorio nacional
- 36** Staff

# Introducción

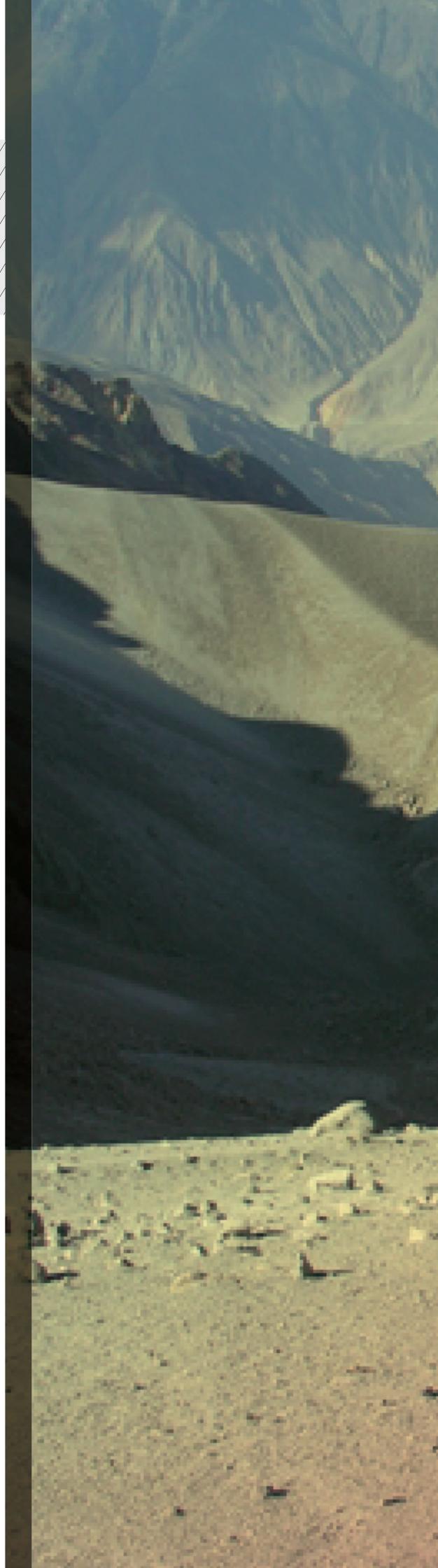
Volcán, que etimológicamente deriva del dios mitológico Vulcano, es el resultado de uno de los fenómenos naturales más impresionantes del mundo y que forman paisajes extraordinarios, por lo cual no es raro que pueda atraer turismo en la región que lo cobija. Sin embargo, la población olvida que estos gigantes en realidad tienen un enorme poder destructivo que se manifiesta cuando despiertan para desatar su furia con violencia. En efecto, muchas veces una erupción volcánica deja detrás de sí un paisaje “lunar”, desolador.

Si bien es cierto que no podemos evitar que un volcán erupcione, la ciencia sí es capaz de detectar y descifrar las primeras señales de un inminente despertar, permitiéndonos así tomar las adecuadas acciones preventivas. El Instituto Geofísico del Perú (IGP), junto a otras instituciones vinculadas a la investigación y la gestión de riesgo, tiene el mandato y compromiso de velar por ello en el Perú.

Es así que las investigaciones vulcanológicas que el IGP realiza data desde la década del 80, centrándose en conocer la historia geológica de los más importantes edificios volcánicos, pasando luego a realizar el monitoreo y vigilancia de los volcanes activos tales como Sabancaya, Misti, Ubinas, Ticsani, Yucamane, Coropuna, principalmente.

Con ocasión de la intranquilidad mostrada por el volcán Sabancaya en 1986 y su posterior erupción ocurrida desde mayo de 1990, el IGP dio inicio a sus estudios y vigilancia de volcanes. Desde entonces mucho camino se ha recorrido. Especialistas del área de investigación en Vulcanología han contribuido con la comunidad en general y, de manera particular, con las autoridades del entonces Sistema de Defensa Civil, entregando información certera y oportuna basada en datos científicos. Asimismo, los datos y observaciones recabadas han servido para mejorar el conocimiento de los volcanes y de su dinámica eruptiva. Hoy en día, gracias a la moderna tecnología manejada por los ingenieros y científicos del IGP, se pueden tener observaciones —en tiempo real— de modo que los resultados que se ponen al alcance de las autoridades de Gestión del Riesgo Volcánico son alcanzados en tiempo muy breve.

Asimismo, el IGP está a la vanguardia de la investigación vulcanológica con publicaciones en revistas especializadas —de prestigio internacional— así como en el desarrollo de nuevos métodos que conduzcan a la mejor comprensión del fenómeno eruptivo y su seguimiento.





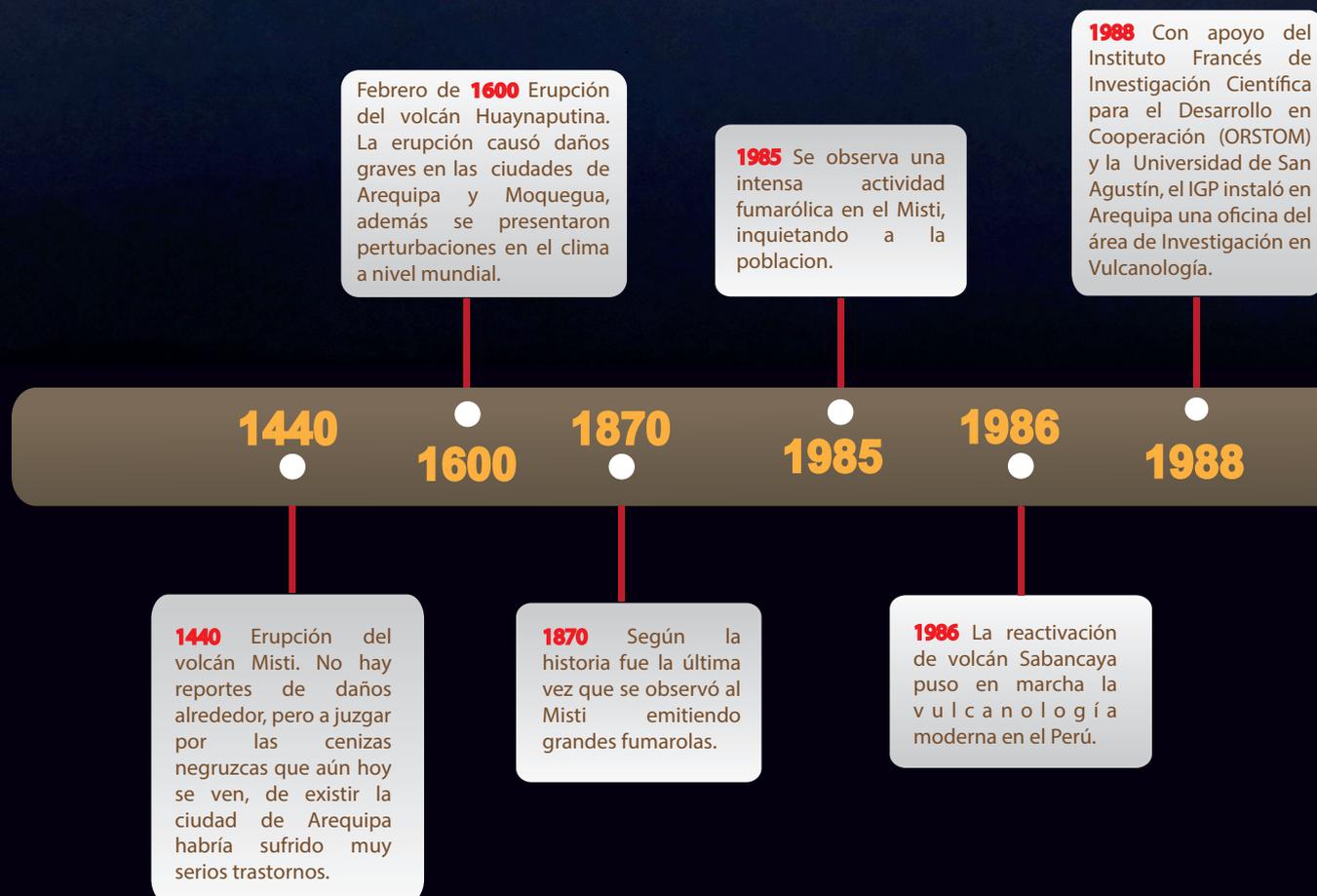
*Volcán Huaynaputina, localizado en el departamento de Moquegua, al sur del Perú.*

# Reseña histórica

El vulcanismo activo del Perú está situado en el sur de su territorio. Esta zona corresponde a la parte septentrional de la Zona Volcánica Central (ZVC) de América del Sur.

Desde junio de 1986, el IGP organizó diversas misiones de observación in situ en la zona del volcán Sabancaya. Simultáneamente se

obtuvieron y analizaron imágenes satelitales SPOT. Estos trabajos permitieron iniciar el seguimiento científico del fenómeno “erupción volcánica” que se manifestaba con notable explosividad y que por vez primera ocurría en el Perú cerca de zonas densamente pobladas como es el valle del Colca. Posteriormente, el IGP decidió crear una sede en la ciudad de Arequipa



con profesionales dedicados exclusivamente a la Vulcanología y particularmente a la vigilancia del volcán Sabancaya. Es así que en junio de 1990 entra en funcionamiento el área de Investigación en Vulcanología del IGP, contando con el apoyo de la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA) y la Autoridad Autónoma de Majes-Siguas (AUTODEMA) que colaboró

decididamente designando un local en el distrito de Cayma para el funcionamiento de esta nueva sede desconcentrada que fue creada para investigar volcanes activos del sur del Perú. Desde entonces el equipo de investigadores viene trabajando denodadamente —con los recursos disponibles— a fin de investigar y vigilar permanentemente el accionar de los volcanes.

**2005** Gracias a un trabajo conjunto entre el IGP y el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD), se instaló la primera red de vigilancia sísmica telemétrica en el volcán Misti.

**2006** Con el apoyo de la Municipalidad distrital de Ubinas se construye la primera estación sísmica telemétrica (denominada "UB1") del volcán Ubinas, iniciándose la vigilancia en tiempo real.

**2012** Firma de convenio con la Municipalidad de Sachaca que sienta las bases para la construcción del moderno Observatorio Vulcanológico Nacional.

**1989**

**2005**

**2006**

**2006**

**2007**

**2012**

**2013**

**1989** Con apoyo de la Autoridad Autónoma de Majes-Siguas (AUTODEMA) y la Universidad Nacional de San Agustín, el IGP instala el Observatorio Vulcanológico de Arequipa.

**2006** El volcán Ubinas inicia proceso eruptivo.

**2007** El IGP instala cuatro estaciones digitales con inclinómetros y sensores de velocidad en el volcán Ubinas.

Febrero del **2013** En el lapso de pocas horas ocurren cuatro sismos en las proximidades al volcán Sabancaya, señalando una marcada "intranquilidad volcánica".

# Los Volcanes activos del Perú



Volcán Sabancaya.

Siete son los volcanes activos que tenemos: Misti y Sabancaya en Arequipa; Ubinas, Huaynaputina y Ticsani en Moquegua; Tutupaca y Yucamane en Tacna. Todos estos gigantes geológicos han erupcionado en algún momento del periodo histórico y volverán a estallar durante los próximos siglos. Nada detendrá su funcionamiento de modo que necesitamos monitorearlos permanentemente.

## Misti y Sabancaya en Arequipa

El Misti, junto al Vesuvio (en el sur de Italia), son los únicos volcanes activos del mundo que amenazan a más de un millón de habitantes. El Misti es un volcán joven, activo y con un magma de tipo viscoso. Todo ello lo convierte

en uno de los fenómenos geofísicos potencialmente más peligrosos del planeta. El Misti, ubicado junto al valle del río Chili y que se eleva a 5822 msnm, ha tenido por lo menos una erupción explosiva importante y cerca de diez crisis fumarólicas y/o freáticas en los últimos 600 años y actualmente desde su cráter se emite fumarolas permanentemente.

Por su parte, el Sabancaya, cuyo nombre en quechua significa “lengua de fuego”, está ubicado a 75 km al noroeste de la ciudad de Arequipa y muy cerca del valle del río Colca. Su última actividad eruptiva se produjo en 1986-1998, depositando amplios paquetes de ceniza hasta 15-20 km a su alrededor. Las emisiones que se produjeron afectaron a las poblaciones aledañas.

El Sabancaya, considerado un macizo activo tipo estratovolcán que se eleva a 5976 msnm, se encuentra hoy repitiendo el comportamiento que tuvo en meses y hasta años previos a la erupción 1986-98, emitiendo intensos gases blancos y azulinos, provocando terremotos a su alrededor y elevando la temperatura de fuentes termales. Estas amplias y múltiples manifestaciones inquietan a los habitantes del valle del Colca e intrigan a la comunidad científica, quienes actualmente se ocupan de estudiar este fenómeno.



Volcán Misti visto desde el vecino Pichu Pichu.

## Ubinas, Huaynaputina y Ticsani en Moquegua

Considerado el volcán más activo del Perú, el Ubinas ha sido protagonista de hasta 25 erupciones desde el siglo XVI, presentando tanto actividad fumarólica como emisiones de cenizas y rocas. Una última erupción, pero de corto periodo, tuvo lugar en la primera semana de setiembre del 2013 en que súbitamente presentó explosiones de tipo freático, con emisión de ceniza y vapor de agua en fuertes proporciones, acompañados de proyecciones de rocas algunas de las cuales llegaron a sobrepasar los bordes de la caldera, provocando —una vez más— zozobra en los aproximadamente 3,500 habitantes del valle de Ubinas y los poblados circundantes al volcán.

En tiempos históricos, el Huaynaputina fue responsable de la mayor erupción ocurrida en América y que más devastación provocó en el territorio peruano. En febrero de 1600, este estratovolcán erupcionó con tanta furia que literalmente desapareció a poblados enteros en Moquegua. Tal fue el volumen de cenizas y aerosoles que lanzó a la atmósfera, y que viajaron a grandes distancias, que sus efectos se extendieron en todo el mundo: sequías y friajes se presentaron en varios países del hemisferio norte.

De los vocablos quechua, wayna: joven y putina "volcán", este volcán se encuentra a 30 km al sur de Ubinas. Hoy en día su forma no es característico de un estratovolcán debido a que presenta una gran depresión en forma de herradura abierta hacia el lado este, en cuyo interior se observan tres cráteres.

Además, en el mismo departamento de Moquegua se encuentra también ubicado el Ticsani que se caracteriza por presentar tres grandes promontorios rocosos petrificados o "domos" de lava, cada uno de unos 2 km de diámetro. El domo de lava más reciente corresponde a una erupción freato-magmática que sucedió hace menos de 400 años y aunque no se han encontrado registros históricos de tal erupción, no debe dejar de preocupar que cerca a este volcán viven actualmente miles de familias asentadas en numerosos centros poblados y que pueden ser afectadas ante cualquier despertar del mismo.

## Tutupaca y Yucamane en Tacna

Hasta el momento solo se tiene un registro histórico de la explosión de estos volcanes. En el caso del Yucamane fue en 1802 y en el caso del Tutupaca a inicios del siglo pasado en 1900, pero en esa época no había tanta población como ahora. Debido a que son considerados volcanes activos requieren de un monitoreo permanente.



Volcán Ubinas.



Domo del Volcán Ticsani.

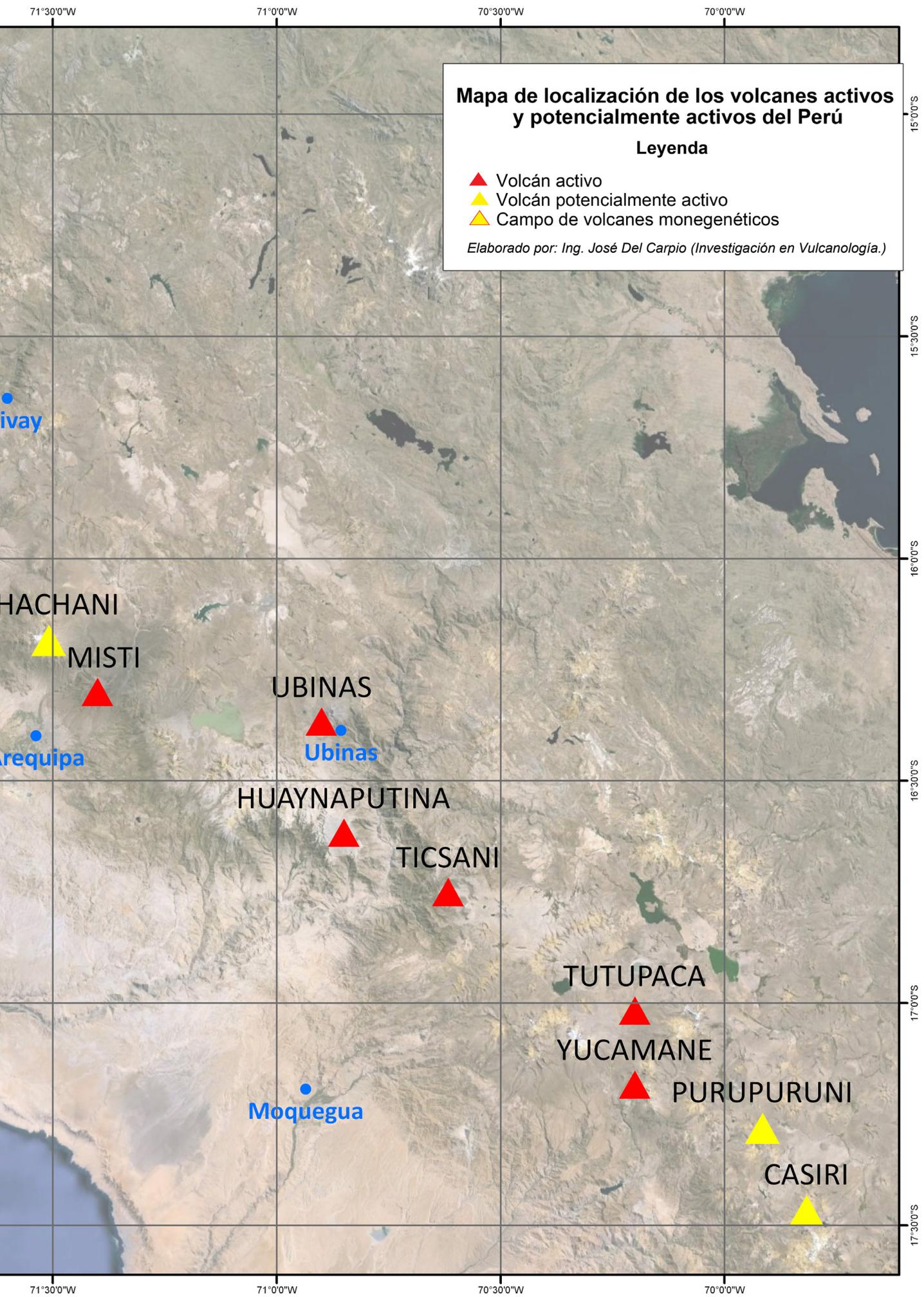


Volcán Tutupaca.



Volcán Yucamane.





**Mapa de localización de los volcanes activos y potencialmente activos del Perú**

**Leyenda**

- ▲ Volcán activo
- ▲ Volcán potencialmente activo
- ▲ Campo de volcanes monegenéticos

*Elaborado por: Ing. José Del Carpio (Investigación en Vulcanología.)*

HACHANI

MISTI

UBINAS

HUAYNAPUTINA

TICSANI

TUTUPACA

YUCAMANE

PURUPURUNI

CASIRI

Iquitos

Tarma

Ubinas

Moquegua

71°30'0"W

71°0'0"W

70°30'0"W

70°0'0"W

15°0'0"S

15°30'0"S

16°0'0"S

16°30'0"S

17°0'0"S

17°30'0"S

71°30'0"W

71°0'0"W

70°30'0"W

70°0'0"W

# Funciones del IGP en el campo de la Vulcanología

La vigilancia de la actividad volcánica hace posible proyectar una evolución de los volcanes. Por ello, el IGP pone énfasis en observar y documentar las manifestaciones físicas y químicas de los volcanes activos. Paralelamente, los datos registrados sirven para investigar y avanzar en la comprensión del funcionamiento de los volcanes.

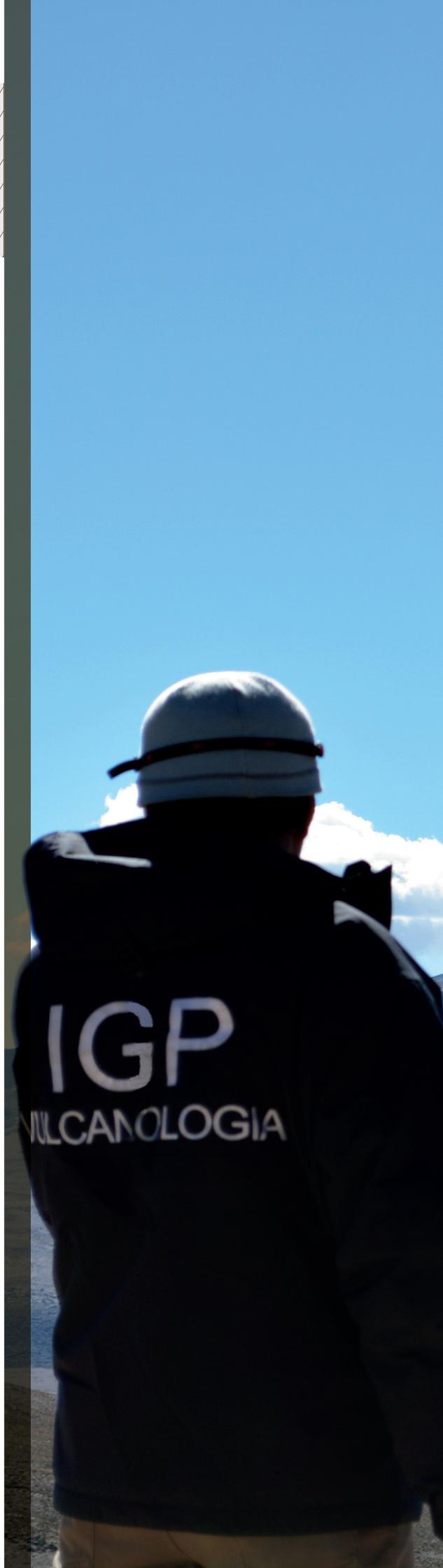
Los ciclos de reactivación de los volcanes involucran períodos de cientos de años y si bien es cierto que mucho se ha avanzado en la investigación para comprenderlos, aún no es posible estimar cuando un volcán iniciará su siguiente fase de actividad. A fin de lograr reconocer las primeras señales de reactivación, mediante diversos tipos de sensores los científicos permanentemente le toman el pulso a los principales volcanes activos.

Una de las más efectivas y reconocidas técnicas de vigilancia de los volcanes es la Sismología volcánica; Por esta razón, el área de Investigación en Vulcanología del IGP tiene como actividad principal y prioritaria aplicar la Sismología para la observación, vigilancia y estudio de la cadena volcánica del sur del Perú, dedicando especial atención a los volcanes Misti, Ubinas y Sabancaya.

Siendo la obtención de los datos sísmicos la base del sistema de vigilancia sísmica, se recurre a sensores sísmicos de alta resolución que, gracias a una red especial de telecomunicaciones digitales, lleva la información desde el volcán hasta los laboratorios del IGP en Arequipa. Esta información es analizada en tiempo real de manera que facilita disponer de información para tomar decisiones rápidamente si la erupción es inminente.

Además, los resultados de la vigilancia son compilados en publicaciones periódicas bajo la forma de “Reportes de actividad sismo-volcánica”, que se ponen a disposición de las diferentes autoridades locales, Defensa Civil y al público en general.

De manera complementaria se realizan estudios de investigación, tales como tomografía sísmica para determinar la estructura de la zona volcánica y estimar la ubicación y volumen de reservorios de magma bajo la cadena volcánica y de un determinado volcán. Asimismo, se realizan estudios observando otros parámetros geofísicos como el potencial eléctrico espontáneo, la concentración de CO<sub>2</sub> del suelo, la deformación del suelo con técnicas de GPS y/o InSAR, la resistividad y la gravedad principalmente.





*Especialistas y personal técnico del IGP en las cercanías del volcán Ubinas.*



Estación sísmica de Cajamarca (CAJ), ubicada en el volcán Sabancaya.



# Redes geofísicas y telemetría en los volcanes

El proceso eruptivo de los volcanes se origina en su cámara magmática ubicada a profundidades variables, comúnmente entre 6-15 km respecto de la cima. Aquí el magma, ascendente del interior de la Tierra, se acumula, presiona, causa fracturas en rocas de su entorno (primero lejano y luego cercano) y finalmente libera gases, cuyo volumen se expande en varios órdenes de magnitud al subir por la chimenea hasta alcanzar la superficie en explosiones que vemos desde el exterior.

Para captar estos movimientos dentro del volcán, es decir, el momento en que ocurren las fracturas de rocas y el movimiento de los gases y el magma mismo, se instalan sensores sísmicos que les toman el pulso a cada instante. Dicha información es remitida —en tiempo real— al área de Investigación en Vulcanología del IGP.

Por otro lado, el traslado de magma y gases que ocurre bajo la superficie, puede ser detectado empleando inclinómetros, distanciómetros y la moderna tecnología GPS. Esta tecnología usa satélites dispuestos en el espacio, así como monumentos o hitos ubicados con gran precisión en superficie que logran detectar deformaciones milimétricas en el cuerpo del volcán. El IGP hace uso de toda esta tecnología para vigilar el comportamiento de los gigantes geológicos y obtener resultados óptimos, complementando así los datos esenciales que son proporcionados por la Sismología.

Como un paciente que presenta diversos síntomas de malestar, en el volcán se puede entonces observar paso a paso las manifestaciones de la perturbación causada por el ascenso de los fluidos magmáticos (que generan sismos llamados “de periodo largo” o LP) y las fracturas de rocas a su paso (que generan sismos denominados “volcano-tectónicos” o VT), así como las hinchazones o abultamientos que aparecen en la superficie. Contando con toda esta información, los científicos del IGP descifran lo que está sucediendo y emiten pronósticos de actividad y alertas de inminentes explosiones si fuera el caso.

Para cumplir con estar vigilantes de la actividad de los volcanes, la Institución ha colocado sensores telemétricos en tres de los gigantes más activos que tenemos en el Perú: Misti, Ubinas y Sabancaya. Además, lleva a cabo experimentos para investigar los mecanismos eruptivos propios de cada volcán.

## Red sísmica del volcán Misti

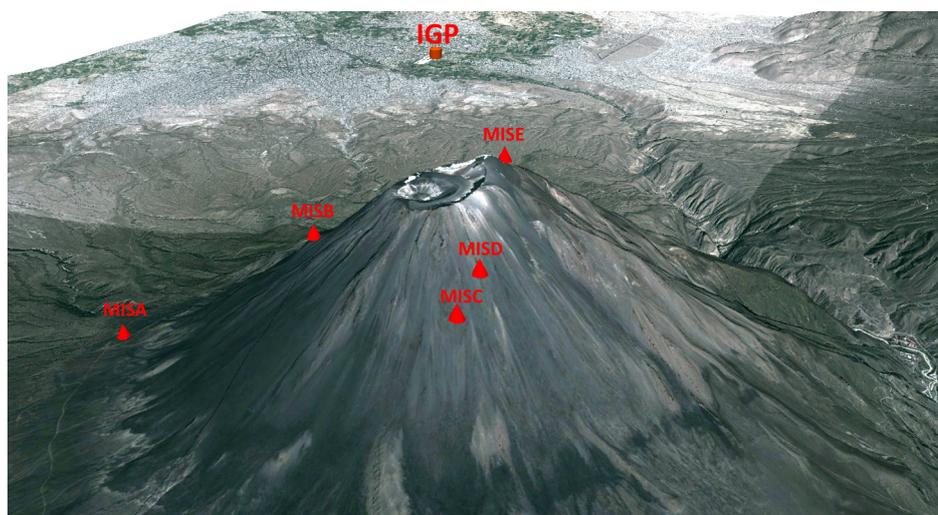
En el caso del Misti, el monitoreo de los patrones de actividad sismo volcánica se realiza mediante la red sísmica que actualmente funciona sobre el volcán. Cabe mencionar que este viene siendo estudiado desde 1990, año en que ocurrió una crisis fumarólica y que alarmó a la población de Arequipa, ciudad distante a menos de 13 km de su imponente cráter. Luego de varios experimentos en los flancos y en el cráter del volcán, llevados a cabo en 1998, se demostró la existencia de actividad sísmica que ocurría bajo el mismo. Como consecuencia, en el año 2005 gracias a un trabajo conjunto entre el IGP y el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD), se instaló la primera red de vigilancia sísmica permanente compuesta de cinco estaciones sísmicas radio-telemétricas (RED\_MISTI) sobre su cono. En esta nueva etapa de estudios, además del apoyo inicial del IRD, el proyecto recibió apoyo de la empresa privada local Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S.A. (EGASA).

El análisis de los registros sísmicos de esta red muestra la ocurrencia de eventos tipo VT (volcánico-tectónico) y LP (de periodo largo). Hasta ahora esta sismicidad es débil, se circunscribe a las inmediaciones superiores del cono y está asociada a la movilización de vapor de agua y gases volcánicos en las proximidades de la chimenea y cráter. Estudios recientes muestran también que la sismicidad bajo el volcán no está centrada bajo su cráter, sino que está ligeramente desviada hacia el sector noroeste, es decir en dirección del río Chili que pasa por sus faldas.

Las cinco estaciones de la RED\_MISTI situadas sobre el edificio volcánico entre los 4200 y 5700 msnm, transmiten las señales sísmicas —en tiempo real vía radio telemetría— hasta el área de Investigación en Vulcanología. Los datos son analizados las 24 horas del día y los especialistas pueden verificar el estado de la actividad sísmica del volcán, directamente o a través de Internet.



Estación MIS-C frente a la represa de Aguada Blanca.



Ubicación de estaciones sísmicas en el volcán Misti.  
Elaborado por: Ing. José Del Carpio (Área de Investigación en Vulcanología).

Por otro lado, sobre los flancos y cumbre del Misti, se realiza también otras mediciones como: medidas GPS de alta precisión y mediciones eléctricas de potencial espontáneo sobre un perfil con hitos cada 100 m que va de la zona de cumbre hasta la base, por el flanco suroeste.

Todos estos instrumentos geofísicos que se han desplegado constituyen herramientas fundamentales e indispensables para conocer en todo momento el estado del volcán activo que amenaza a Arequipa.

## Red sísmica del volcán Ubinas



Estación UB1.

Para la vigilancia del Ubinas —volcán que ha registrado cerca de 24 erupciones en los últimos 500 años— el IGP tiene operando cuatro estaciones (UB1, UB2, UB3, UB4) digitales con inclinómetros y sensores de velocidad, distribuidas en los flancos del volcán entre los 4600 y 5000 msnm. Los datos registrados son enviados mediante un enlace telemétrico hacia una antena repetidora ubicada en el flanco norte del volcán Pichu Pichu que retransmite las señales hasta la sede del área de Investigación en Vulcanología, donde son recuperados y almacenados continuamente.

Cabe recordar que en su último importante y prolongado proceso eruptivo, en el que se presentaron fumarolas, cenizas, explosiones, sismicidad y deformación (entre marzo 2006 y junio 2009), los científicos e ingenieros del IGP se trasladaron al volcán con sismómetros de alta sensibilidad, Sistemas de Posicionamiento Global por Satélites (GPS), estaciones de Medición Electrónica de Distancia (EDM) y sensores de medición del potencial eléctrico espontáneo (PE), con la misión de coleccionar todo signo de actividad emitido por el volcán.

En dicha oportunidad, el IGP se benefició de la gran colaboración desplegada por instituciones públicas y privadas. Así por ejemplo, en colaboración con la Municipalidad Distrital de Ubinas y la ONG PREDES, se construyó la caseta y mástil de antena de transmisión de la “estación UB1”, que fue la primera estación sísmica que operó sobre el volcán y que fue de notable utilidad para la vigilancia oportuna de la actividad explosiva que se desató en este coloso por tres años. Asimismo, la empresa minera INKABOR brindó apoyo logístico a las brigadas de ingenieros que trabajaron por la zona y —detalle muy importante— facilitó la instalación y operación de una cámara de video dentro de las instalaciones de su principal campamento en Moche-Salinas. Tales registros fílmicos permitieron efectuar correlaciones con los registros sísmicos y comprender mejor la dinámica de las explosiones.



Mapa de ubicación de las cuatro estaciones de la Red Sísmica Telemétrica del volcán Ubinas.  
Elaborado por: Ing. José Del Carpio (Área de Investigación en Vulcanología).

## Red sísmica del volcán Sabancaya

La REDTELEM-SABANCAYA está compuesta por tres estaciones sísmicas (SAB, CAJ y PAT) con altitudes entre los 4450 y 5200 msnm y están estratégicamente ubicadas para vigilar la actividad tanto cercana como alejada del cráter. El mapa muestra la ubicación de estaciones y la geometría de transmisión hasta la ciudad de Arequipa.

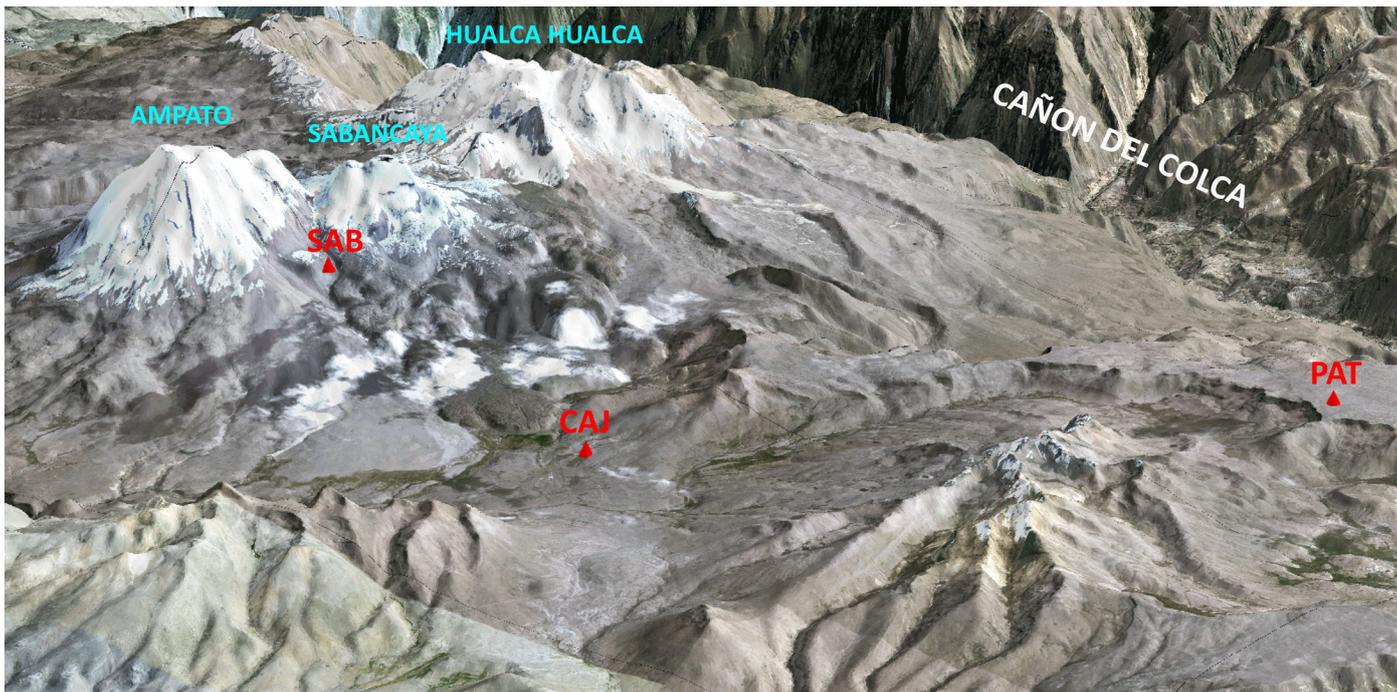
Habiendo este volcán erupcionado hace quince años, de 1986 a 1998, el IGP ya había tenido experiencia en el despliegue de equipos sísmicos y geodésicos por la agreste, alejada y difícil zona del Sabancaya en aquella ocasión. Por ello, al observarse en febrero del 2013 los primeros indicadores de una posible reactivación, inmediatamente se dispuso la instalación de una red de estaciones sísmicas permanentes en sitios ya conocidos por sus registros sísmicos de alta calidad.

En el Sabancaya la primera estación sísmica, denominada estación SAB, fue construida gracias a la colaboración del IRD. Posteriormente, el IGP instaló equipos sísmicos de última generación que actualmente proveen datos esenciales para la vigilancia. Tanto esta estación como otras dos (CAJ y PAT) envían sus señales hasta la sede del IGP en Arequipa. Cabe resaltar que la transmisión de datos —vía radiotelemetría— ha sido posible gracias a la colaboración de instituciones públicas y privadas como la SUNAT y Telefónica del Perú, quienes no dudaron en facilitar espacios en sus torres de comunicación en diferentes lugares.

Si bien gracias a estas tres estaciones sísmicas podemos conocer en tiempo real el estado del volcán Sabancaya, debido a la complejidad tectónica del área en que está situado se necesitan más estaciones para obtener la distribución de la sismicidad en detalle. Es por ello que se ha instalado otras cinco estaciones portátiles digitales que registran la sismicidad que ocurre en todo el valle del Colca y el Sabancaya.

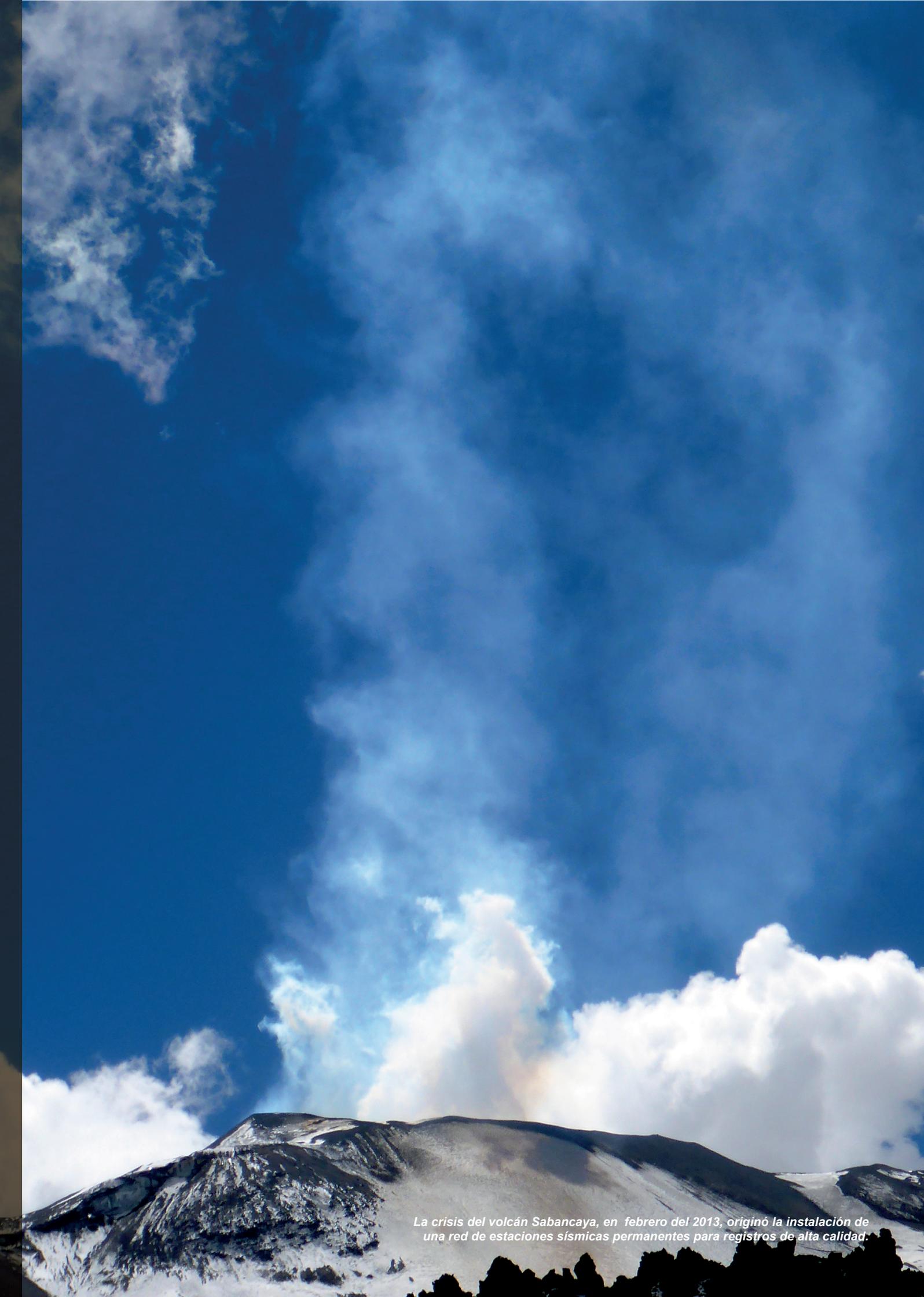


Estación SAB del volcán Sabancaya, ubicado a 5200 msnm.



Estaciones sísmicas en el volcán Sabancaya.

Elaborado por: Ing. José Del Carpio (Área de Investigación en Vulcanología).



*La crisis del volcán Sabancaya, en febrero del 2013, originó la instalación de una red de estaciones sísmicas permanentes para registros de alta calidad.*



*Cráter del volcán Ubina.*



# Pronóstico de explosiones durante la erupción del volcán Ubinas

2006-2009

Roger Machacca<sup>1</sup>, Paola Traversa<sup>2</sup>, Orlando Macedo<sup>1</sup>,  
Jean-Philippe Métaxian<sup>2</sup>

## Introducción

Un volcán activo puede entrar en proceso de erupción muy rápidamente. Para lograr el pronóstico del mismo, los esfuerzos se concentran en realizar observaciones geofísicas y geoquímicas intentando identificar señales precursoras.

Como base analítica para el pronóstico de erupción volcánica a corto plazo, Voight (1988) propuso una relación empírica de la tasa de aceleración de un parámetro observable (ej. dato sísmico, geodésico, o geoquímico), donde considera el colapso del material (FFM) como un proceso de autoaceleración para describir el comportamiento temporal del parámetro, a medida que el momento de la erupción se aproxima. Desde entonces, la mayoría de los trabajos sobre pronóstico consideraron las tasas de sismicidad VT, emisión de energía sísmica o datos de deformación. En vez de ello, en este trabajo se explora la potencialidad de un tipo diferente: los sismos de “largo periodo” o LP.

La actividad sísmica asociada a la erupción del volcán Ubinas en 2006-2009 ha sido compilada en un catálogo. En base al mismo se analiza y cuantifica la evolución de sismos LP previos a explosiones (o LP precursores) y se le utiliza como indicativo para el pronóstico de tales explosiones.

Los sismos LP se originan dentro del fluido; por tanto, deben reflejar el estado del fluido, ya sea magma o gas, dentro del edificio volcánico. Si se admite que la producción de los LP depende del estado de presurización del sistema magmático, se espera entonces una asociación directa entre la fuerza de la actividad LP y el potencial de las explosiones (Neuberg et al., 2000; Chouet, 2003).

Por lo tanto, aunque el modelo de colapso del material (FFM) radica en las aceleraciones del daño por fracturamiento que conduce al colapso del sistema y ha sido usado regularmente en pronósticos, la tasa de los sismos LP es usada aquí como precursor de ocurrencia de explosiones dentro del episodio eruptivo 2006-2009.

## La sismicidad durante la erupción

Una intensa actividad sísmica acompañó la última erupción magmática explosiva (abril 2006 - junio 2009) del Ubinas. Por las características de tal actividad sísmica se identifican tres etapas:

◇ Etapa I (20/04/2006-14/11/2006): explosiones

energéticas, LP precursores 3 horas antes.

◇ Etapa II (14/11/2006-01/09/2007): explosiones energéticas, LP precursores <2 horas antes.

◇ Etapa III (01/09/2007-31/12/2009): explosiones poco energéticas, LP precursores esporádicos <30 minutos antes.

## Sismicidad LP precursora

Los sismos LP precursores (Figura 1) son eventos con alta correlación de sus formas de onda que se presentan a intervalos cuasiregulares y con amplitudes in-crescendo a medida que se aproxima la explosión; por tanto, los valores RSAM (Real-time Seismic Amplitude Measurement) también presentan importantes incrementos antes de una explosión.

Se ha analizado los LP en relación a 162 explosiones registradas en el catalogo sísmico que va de mayo 2006 a junio 2009. Calculando la tasa media  $R(t)$ , se han apilado las series temporales de los LP que preceden y que siguen a las 162 explosiones (Figura 2)

$$R(t) = \frac{1}{TN_{ex}} \sum_{i=1}^{N_{ex}} \sum_{j=1}^N \Theta(t_i^{EX} - t_j^{LP} \in [t, t + T])$$

donde = numero de explosiones; N= número de LPs. T= intervalo considerado.  $\Theta$  es una función tal que  $\Theta(P)=1$  si P es verdadero y 0 si no. Para cada intervalo T, solo usamos las explosiones que satisfacen.

La Figura 2 muestra los resultados. Se observa una aceleración de la tasa de LPs entre 1 a 3 horas antes de la explosión (Figura 2, lado izquierdo), mientras que con posterioridad a la explosión se observa una disminución significativa hasta niveles mínimos (Figura 2, lado derecho).

## Esquema de pronóstico

Se usó un esquema de pronóstico propuesto por Grasso y Zaliapin (2004) (Figura 3). La tasa de eventos LP es calculada para una ventana de tiempo de duración D; si esta tasa excede el umbral  $N_c$ , entonces se emite una alarma. La alarma persiste durante el tiempo Taler. En nuestro caso usamos D=5min, Taler=30 min y  $N_c$  varía según la sismicidad de cada etapa establecida:  $N_c=8$  en I,  $N_c=5$  en II y  $N_c=3$  en III.

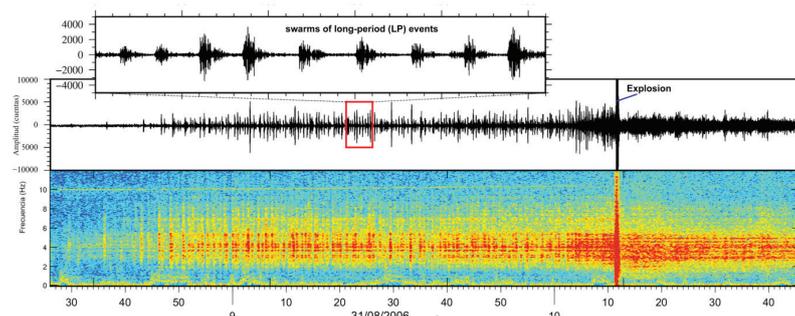


Figura 1. Sismograma y espectrograma del enjambre de los eventos LP precursor a la explosión del 31/08/2006 10:11:49.09 UTC.

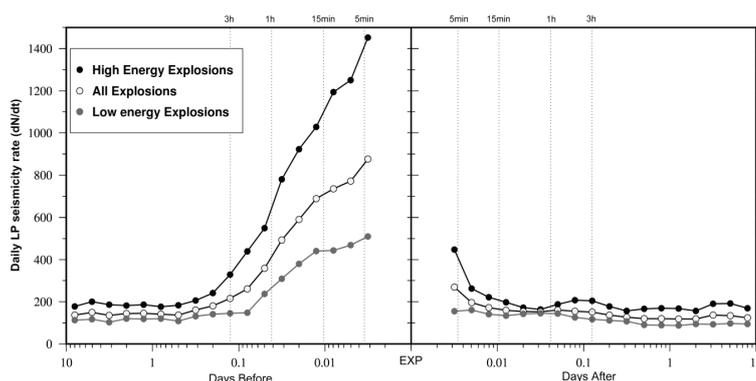


Figura 2. Apilamiento de la tasa promedio de eventos LP antes y después de la explosión (EXP). Símbolos llenos color negro= Explosiones de alta energía; color gris= baja energía; sin relleno= todas las explosiones.

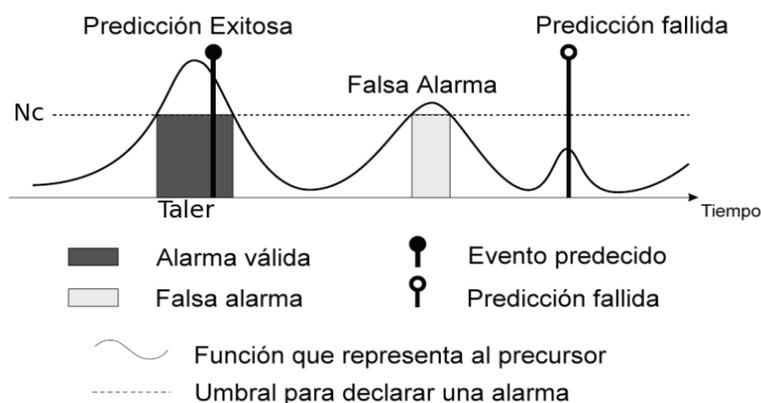


Figura 3. Esquemas de pronóstico y resultados de predicción. Alarma válida = se presenta el precursor y ocurre la explosión. Falsa alarma = se presenta el precursor pero el fenómeno no ocurre. Alarma fallida = no se evidencia el precursor pero ocurre la explosión (Modificado de Grasso y Zaliapin, 2004).

Luego, calculamos la Efectividad del precursor (U), definida como: 
$$U = \frac{s}{f + m}$$

donde s = número de aciertos, f = número de falsas alarmas y m = número de alarmas fallidas. Los tipos de precursores de acuerdo al valor de la efectividad U son considerados débiles si  $U < 1$ , fuertes si  $U > 1$ , o ideales si  $U = \infty$ .

## Resultados

Usando el catálogo sísmico confeccionado y considerando el anterior esquema de pronóstico, se realiza el cálculo que permite determinar la alarma y luego estimar U (ver Tabla 1), que resultaron ser elevados en la Etapa I ( $U=1.22$ ) y la Etapa II ( $U=2.46$ ), pero muy reducidos en la Etapa III ( $U=0.06$ ).

**Tabla 1. Resultados de pronóstico. La efectividad U en las Etapas I y II, son elevados, por lo que la tasa de aceleración de los LP son considerados como precursores fuertes en dichas etapas.**

	Número de alarmas	Número de aciertos	Número de falsas alarmas	Número de Alarmas fallidas	Efectividad U
Etapa I	41	33	8	19	1.22
Etapa II	37	32	8	8	2.46
Etapa III	7	4	5	66	0.06

Posteriormente a la activación de la alarma, se puede determinar el probable momento de ocurrencia de la explosión, para lo cual se usa el 1/RSAM como elemento de análisis del FFM.

## Conclusiones

- ◇ La tasa de eventos LP se acelera visiblemente 1 a 3 horas antes de las explosiones en el volcán Ubinas, y puede ser usada como un indicativo precursor de explosiones inminentes.
- ◇ La efectividad (U) del pronóstico de las explosiones de la erupción 2006-2009 que ocurrieron en la Etapa I y II resultaron ser elevadas, de  $U=1.22$  y  $U=2.46$  respectivamente.
- ◇ Obtenido un nivel de alarma, la aplicación del método FFM (1/RSAM) constituye una herramienta valiosa en el pronóstico de explosiones. En el volcán Ubinas se usó para los datos 2006-2009; en adelante tiene potencial de ser usado en nuevas erupciones magmáticas.

## Bibliografía

- ◇ Voight, B. (1988), A method for prediction of volcanic eruptions, *Nature*, 332, 125–130.
- ◇ Chouet, B. (2003), Volcano seismology, *Pure Appl. Geophys.*, 160(3), 739–788.
- ◇ Neuberg, J., R. Lockett, B. Baptie, and K. Olsen (2000), Models of tremor and low-frequency earthquake swarms on Montserrat, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 101, 83–104.
- ◇ Kilburn, C. R. J. (2003), Multiscale fracturing as a key to forecasting volcanic eruptions, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 125, 271–289.
- ◇ De la Cruz-Reyna, S., I. Yokoyama, A. Martínez-Bringas, and E. Ramos (2008), Precursory seismicity of the 1994 eruption of Popocatepetl Volcano, Central Mexico, *Bull. Volcanol.*, 70, 753–767.
- ◇ Grasso, J. R. and I. Zaliapin (2004), Predictability of volcano eruption: Lessons from a basaltic effusive volcano, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L05602, doi:10.1029/2003GL019022.
- ◇ Ortiz y García (1996), Seguimiento y pronóstico de erupciones. Introducción a la física de las erupciones, Curso de Volcanología y Geofísica Volcánica, Lanzarote, España.



Personal del IGP registrando información Vulcanológica en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca.



# Nuevas técnicas de monitoreo de volcanes

Adolfo Inza<sup>1</sup>, Jerome Mars<sup>2</sup>, Jean-Philippe Metaxian<sup>3</sup>,  
Chris Bean<sup>4</sup>, José Macharé<sup>1</sup>, Orlando Macedo<sup>1</sup>

## Introducción

Los sismos LP, o de Largo Periodo, generados “por paso de fluidos” (magma, gases, etc) dentro de un volcán en actividad, son predominantes pero no fáciles de localizar. A diferencia de los sismos VT, o volcano-tectónicos, generados “por ruptura” de rocas, los sismos LP no tienen claras fases de ondas P y S y, por tanto, los métodos tradicionales de localización de epicentros no resuelven el problema.

En el monitoreo de un proceso eruptivo es de gran interés determinar los movimientos asociados al magma, por lo cual se necesita localizar dónde ocurren las fuentes de los sismos LP, convirtiéndose esto en un verdadero reto para la Sismología volcánica.

El trabajo propone una solución al problema, partiendo por instalar varios sismómetros “en grupos” (ya no de la forma tradicional, colocados “individualmente” sobre el edificio volcánico) en lugares escogidos sobre los flancos del volcán. Cada grupo de sismómetros constituye lo que se denomina una “antena sísmica” y está conformado por 10 sismómetros separados 50 m entre sí y dispuestos formando una cruz. Asimismo, y siendo un gran aporte al presente estudio, se propone un nuevo método para analizar los datos registrados por la antena y finalmente obtener la localización del sismo.

Para ello se considera el uso de sismómetros de tres componentes (3C) y banda ancha, capaces de barrer casi todo el espectro de las ondas sísmicas producidas en el volcán, cubriendo al mismo tiempo las tres direcciones del espacio. Además, presenta un nuevo algoritmo de localización (MUSIC-3C, Inza et al., 2013) basado en antenas sísmicas 3C. Dicho algoritmo fue implementado y verificado a partir de datos sintéticos creados especialmente para la topografía del volcán Ubinas, y usado con datos sísmicos obtenidos en mayo-junio 2009 por las antenas NUBI y WUBI (Figura 1), que constaron en total de 22 sismómetros 3C. La actividad sísmica en dicho periodo fue intensa, registrándose 16 explosiones y cientos de eventos LP, entre otras señales.

Los resultados de este trabajo demuestran que los eventos pueden ser localizados perfectamente –tanto el epicentro como el hipocentro– usando MUSIC-3C.

*1 Instituto Geofísico del Perú (IGP)*

*2 GIPSA-LAB INP Grenoble, Francia*

*3 IRD Université de Savoie, Francia*

*4 University College Dublin (UCD), Ireland*

## Metodología

El método MUSIC-3C se basa en que la onda sísmica tiene la propiedad de portar la información (a) del vector de propagación y (b) la dirección de arribo, definido por el azimut y el ángulo de incidencia. La dirección de arribo de las ondas es determinada por un algoritmo MUSIC (Multiple Signal Classification) desarrollado por Schmidt (1986). MUSIC-3C es una extensión al método MUSIC, donde cada componente es considerado como una variable independiente que contribuye a la “matriz interespectral”. Esta matriz, que representa al frente de ondas sísmicas, es alimentada con datos de los sismómetros 3C de manera que se llega a representar completamente la señal sísmica.

El algoritmo MUSIC-3C es un método que usa la descomposición de la onda registrada en dos subespacios ortogonales que son “la señal” y “el ruido”, y aprovecha el subespacio “ruido” para estimar la dirección del campo de ondas registradas. Para probar MUSIC-3C se simuló numéricamente explosiones debajo del volcán Ubinas, obteniéndose señales sintéticas que correspondieron muy bien a las posiciones de los sismómetros desplegados sobre el volcán en 2009.

## Análisis de datos reales e interpretación

La erupción del Ubinas se caracterizó por tener explosiones vulcanianas. El término “vulcaniano” significa explosiones volcánicas violentas de corta duración que proyectan rocas y cenizas. 16 explosiones de tipo vulcaniano fueron analizadas.

Las antenas que se instalaron en los flancos norte y oeste del volcán (antenas NUBI y WUBI, respectivamente), suministraron los datos que se ingresaron al algoritmo MUSIC-3. Cruzando los vectores de propagación de estas dos antenas NUBI y WUBI, se ha podido encontrar la localización de las explosiones. Los resultados muestran que hubo dos fuentes de posición diferente debajo del cráter: una fuente situada a una atitud de 4000 msnm (a 1200 m de bajo del cráter) y otra a 800 m por encima, es decir cerca de la salida del conducto en el cráter (Figura 2).

Iguchi et al. (2008) analizaron la dinámica de las explosiones, examinando los registros sísmicos y de deformación por un periodo de más de un año

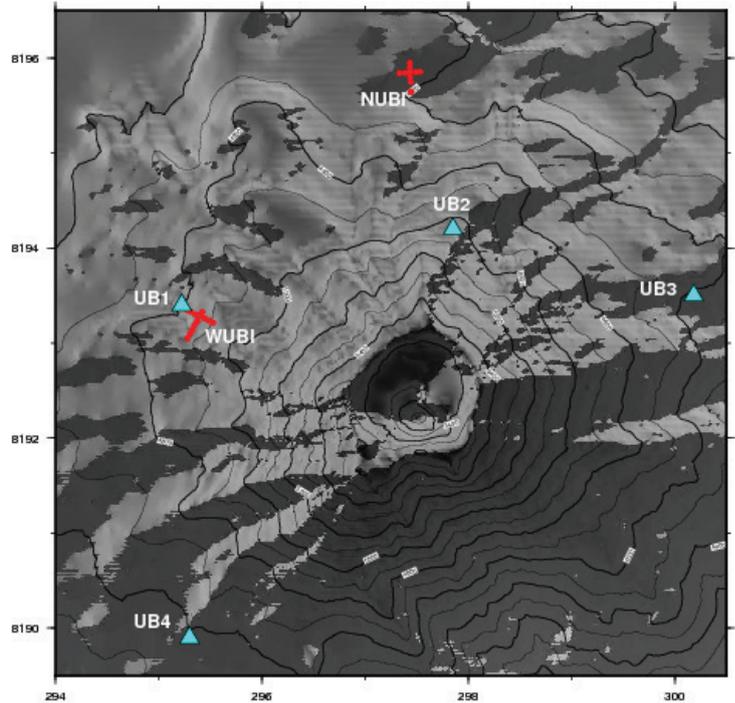


Figura 1. Topografía del volcán Ubinas, los puntos rojos son los sismómetros 3C del arreglo sísmico NUBI y WUBI instalados en el experimento del 2009, los triángulos verdes corresponden a las estaciones permanentes del IGP que vienen funcionando desde el 2006.

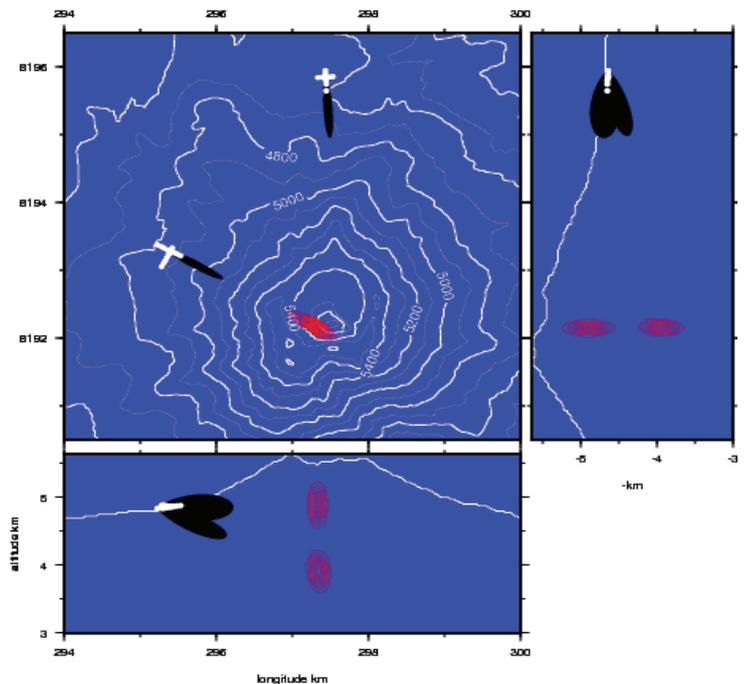
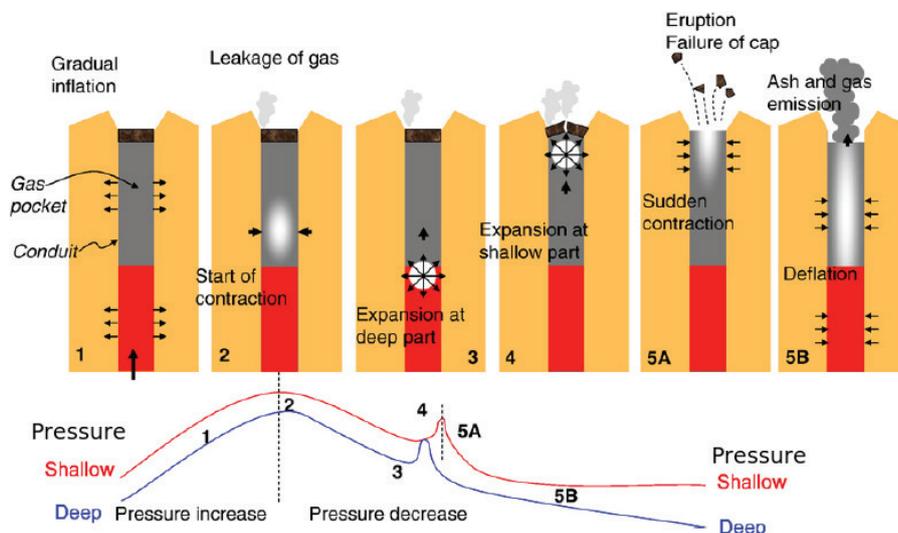


Figura 2. Localización de las explosiones vulcanianas en Ubinas, resultado de MUSIC-3C con los datos registrados en el experimento Ubinas 2009.

de los volcanes Sakurajima, Suwanosejima (Japón) y Semeru (Indonesia). Ellos describen la dinámica de una explosión del tipo vulcaniana en cinco etapas (Figura 3):



**Figura 3. Interpretación de la dinámica de una explosión vulcaniana dada por Iguchi et al. (2008).**

- 1) El conducto del volcán está bloqueado, los gases expulsados por el magma aumentan la presión interna debajo del cráter, observándose como una inflación en los registros.
- 2) Gradualmente la fuerza que ejerce la presión interna vence al tapón en la salida del conducto, haciendo que este pierda presión. Se observa deflación.
- 3) Se inicia una caída en la presión interna, lo que ocasiona desgasificación en la zona del magma saturada de burbujas, en la parte más interna del conducto. Luego, ocurre una expansión abrupta que es posible observar en la señal sísmica, y que corresponde al inicio del evento vulcaniano. En el volcán Ubinas, esta fuente estaría situada a los 4000 msnm.
- 4) Esta expansión interna modifica el gradiente de presión en el conducto, ocasionando una explosión con foco en proximidad de la superficie que destruye completamente el tapón. En el caso del Ubinas, este foco ha sido estimado a los 4800 msnm.

## Conclusiones

- ◇ Se desarrolló el algoritmo MUSIC-3C que, aplicado a datos de explosiones realmente ocurridas en el volcán Ubinas, dio resultados de localización (epicentro e hipocentro) coherentes con simulaciones numéricas así como con las observaciones encontradas en similares explosiones vulcanianas de otros volcanes.
- ◇ Se determinaron focos sísmicos en dos zonas debajo del cráter separados de unos 800 m. También se localizaron sismos LP, los cuales muestran el camino del magma en dirección a la superficie.

## Bibliografía

- ◇ Inza, L.A., J.Ph. Métaixian, J.I. Mars, C.J. Bean, G.S. O'Brien, O. Macedo, and D. Zandomeneghi (2013), Analysis of dynamics of vulcanian activity of Ubinas volcano, using multicomponent seismic antennas, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.11.008>.
- ◇ Schmidt, R.O. (1986), Multiple emitter location and signal parameter estimation, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 34(3), 276-280.
- ◇ Iguchi, M., H. Yakiwara, T. Tameguri, M. Hendrasto, and J-I. Hirabayashi (2008), Mechanism of explosive eruption revealed by geophysical observations at the Sakurajima, Suwanosejima and Semeru volcanoes, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 179,1-9.



*Volcán Chachani.*



# Influencia de la tectónica regional y la circulación de fluidos hidrotermales alrededor de los volcanes Chachani, Misti y Pichu Pichu

Liliana Torres<sup>1</sup> y Hernando Tavera<sup>1</sup>

## Introducción

A fin de determinar la variación de la permeabilidad y discontinuidad de las principales estructuras en torno al complejo volcánico Chachani, Misti y Pichu Pichu (Región sur de Perú), se analizó la circulación de fluidos (agua y gas) acoplando el método de potencial espontáneo (PE) y las medidas de concentración de CO<sub>2</sub> en el suelo. Un total de 4400 lecturas de PE y de CO<sub>2</sub> fueron tomadas con un paso de 20 m sobre un perfil de ~90 km de largo, durante seis campañas realizadas en los años 2011 y 2012, pasando por Charcani V, Aguada Blanca, Chiguata y Laguna Salinas.

La circulación de los fluidos bajo superficie son canalizados a lo largo de las zonas de alta permeabilidad; consecuentemente, la identificación de zonas de flujos de fluidos es valiosa y puede ayudar a poner en evidencia la existencia de fallas que probablemente cruzan los edificios volcánicos de Chachani, Misti y Pichu Pichu distribuidos en un área de 3000 km<sup>2</sup>. Una de las fallas puede ser, por ejemplo, la falla "N127" definida por Thouret et al. (2001), relacionada con la cicatriz del volcán Misti en el flanco noroeste, próximo a la hidroeléctrica Charcani en las faldas del volcán.

En áreas de debilidad preexistente, tales como fallas, es importante determinar si además son más permeables que el entorno, por lo cual la información sobre la circulación de fluidos contribuye a una mejor estimación de los peligros volcánicos (Van Wyk de Vries et al., 2000).

En el método PE, se mide la diferencia de potencial eléctrico natural entre dos electrodos. En volcanes activos la principal fuente de PE son los efectos electrocinéticos (Zlotnicki y Nishida, 2003), que están asociados a la circulación de agua. Por otro lado, la medición, por medio de un espectrómetro, de la concentración de CO<sub>2</sub> en partículas por millón (ppm) a 50 cm de profundidad del suelo, se efectúa basados en que un incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> implica existencia de accesos o zonas de alta permeabilidad facilitando que este gas alcance la superficie. Las zonas de volcanes activos y/o de tectónica activa, presentan grandes anomalías asociadas con ventanas activas, límites de antiguos colapsos o cráteres y fallas tectónicas (Finizola et al., 2006).

## Resultados

Se ha observado la presencia de anomalías de SP y CO<sub>2</sub> en los flancos SE y NO de los volcanes Misti y Pichu Pichu, sobre la traza de la falla N127 (Figura 1); ambas sugieren la existencia de zonas de debilidad donde circularían los fluidos hidrotermales.

En el primer segmento de intersección corresponde a una zona de debilidad en el flanco NO del volcán Misti, donde se observa una cicatriz de un antiguo colapso, que también fue identificada por estudios de potencial espontáneo (Ramos, 2000; Finizola et al., 2004).

El segundo tramo de intersección, localizado en el flanco SE del mismo volcán, se observa material menos consolidado y la falla puede estar cubierta por material reciente; es decir, por flujos de lava de Misti 2 y Misti 3, además de bloques de ceniza y depósitos de flujos de ceniza e ignimbrita no soldada.

Respecto al tercer tramo de intersección se observa, tanto en la topografía como en el gradiente del potencial espontáneo, una transición con la presencia de mayores estructuras de discontinuidades en el flanco NO del volcán Pichu Pichu, lo cual también se visualiza en el cuarto tramo de intersección, prevaleciendo picos predominantes de CO<sub>2</sub> y PE. Las zonas enmascaradas con color celeste (Figura 1) indican que los picos predominantes superan los valores de 1 voltio, siendo lo normal en el orden de los milivoltios. Las transiciones hidrotermales existentes, entre los niveles de la evaporación del agua

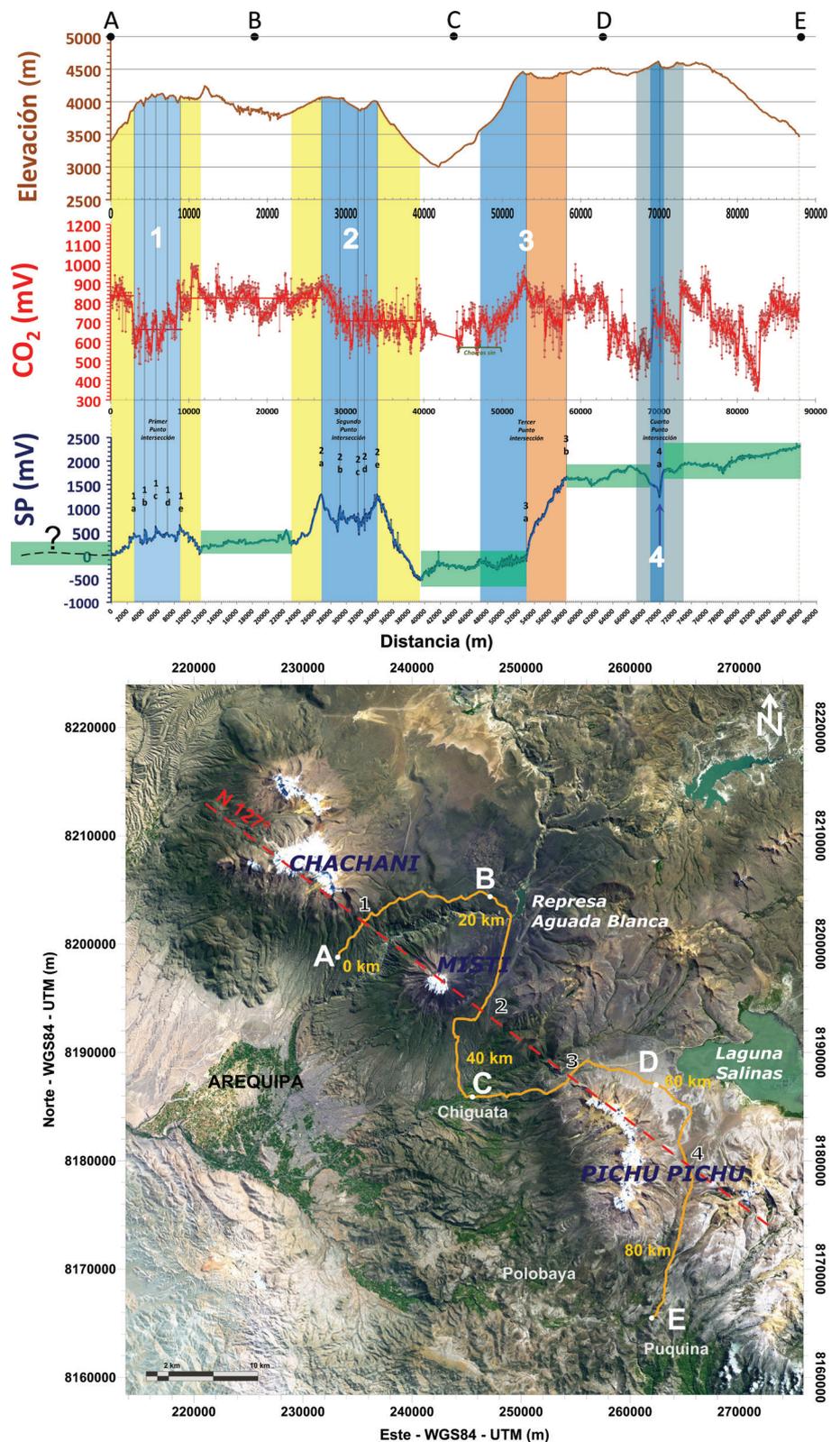


Figura 1. La gráfica muestra la elevación SP y CO<sub>2</sub> versus la distancia a lo largo del perfil. La imagen satelital muestra el DEM de los volcanes Chachani, Misti y Pichu Pichu. La línea entrecortada roja indica la tendencia de la Falla N127 y la línea de color amarillo señala el perfil de la toma de datos de SP y CO<sub>2</sub>. Los puntos donde se observa las anomalías están indicadas con los números 1, 2, 3 y 4.

y las aguas subterráneas, se encuentran presentes entre estos picos.

La correlación de los resultados obtenidos con estos métodos pretende obtener información acerca de

posibles vínculos existentes entre los sistemas hidrotermales superficiales y los de carácter magmáticos profundos.

## Discusiones y Conclusiones

La circulación de los fluidos en el complejo volcánico – tectónico Chachani, Misti y Pichu Pichu podría verse afectada con la ocurrencia de un evento tectónico importante que perturbe el equilibrio hidromagmático de esta región, pudiendo generar una reinyección de magma por las zonas de alta permeabilidad, es decir, sobre las principales estructuras de discontinuidades presentes en las zonas enmascaradas por las áreas de transición hidrotermal.

Al tener una mayor precisión en la ubicación de las zonas de debilidad y discontinuidades se podría establecer puntos de control y monitoreo en la parte baja de los volcanes y así evaluar la actividad volcánico-tectónica

presente y el peligro para las ciudades de Arequipa y Moquegua. Un claro ejemplo de esta actividad fue el sismo ocurrido en Arequipa en el 2001, el mismo que provocó que incremente la altura de las fumarolas del volcán en el cráter de 30 veces (~1 km).

Con este estudio, los límites estructurales fueron determinados por el acoplamiento de los métodos SP y concentración de CO<sub>2</sub> en el suelo, logrando identificar la falla N127 que cruzaría en cuatro puntos a lo largo de un perfil que cruza al complejo volcánico. Esta nueva unidad tectónica es importante a considerar para la evaluación de peligros volcánicos.

## Bibliografía

- ◇ Bennati, L., A. Finizola, J. Walker, D. Lopez, C. Higuera-Diaz, et al. (2012), Fluid circulation in a complex volcánico-tectonic setting, inferred from self-potential and soil CO<sub>2</sub> flux surveys: The Santa María–Cerro Quemado–Zunil volcanoes and Xela caldera (Northwestern Guatemala), *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 199, 216-222.
- ◇ Finizola, A., J. Le´nat, O. Macedo, D. Ramos, J.C. Thouret, et al. (2004), Fluid circulation and structural discontinuities inside Misti volcano (Peru) inferred from self-potential measurements, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 135, 343–360.
- ◇ Finizola, A., A. Revil, E. Rizzo, S. Piscitelli, T. Ricci, et al. (2006), Hydrogeological insights at Stromboli volcano (Italy) from geoelectrical, temperature, and CO<sub>2</sub> soil degassing investigations, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L17304. doi:10.1029/2006GL026842.
- ◇ Ramos, D. (2000), Aplicación del método geofísico de potencial espontáneo para el estudio estructural del volcán Misti. Tesis profesional Universidad Nacional de San Agustín, Facultad Geología, Geofísica y Minas, Arequipa, 173 p.
- ◇ Thouret, J.C., A. Finizola, M. Fornari, A. Legeley-Padovani, J. Suni, et al. (2001), Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 113, 12, 1593-1610.
- ◇ Van Wyk de Vries, B., N. Kerle, and D. Petley (2000), Sector collapse forming at Casita volcano, Nicaragua, *Geology*, 28(2), 167-170, doi: 10.1130/0091-7613(2000)28<167:SCFACV>2.0.CO;2.
- ◇ Zlotnicki, J. and Y. Nishida (2003), Review on morphological insights of self-potential anomalies on volcanoes, *Surv. Geophys.*, 24, 291–338, doi:10.1023/B:GEOP.0000004188.67923.ac.

# Cooperación nacional e internacional

Múltiples convenios se han suscrito con instituciones reconocidas internacionalmente dentro del ámbito del estudio de volcanes. Desde 1988, numerosos investigadores del Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD) han trabajado con investigadores del IGP en el estudio de la historia geológica de los volcanes, la recopilación de datos históricos de erupciones, el monitoreo sísmico y geodésico de la actividad volcánica, entre otros.

Cabe resaltar que la cooperación francesa ha estado presente en investigación en Ciencias de la Tierra desde los años 70. En relación a Vulcanología, se ha efectuado diversas investigaciones en geología de los principales volcanes desde 1988. Actualmente se tiene en marcha estudios como: i) Analizar las perturbaciones que ocurren en un volcán al producirse un sismo importante que sacude la región; ii) Conocer como es la estructura de la cadena volcánica, por medio de la tomografía sísmica; iii) Determinar la estructura de volcanes activos, sistema hidrotermal y fallas activas y iv) Conocer la dinámica de las erupciones y desarrollar métodos de vigilancia en tiempo real.

Por otro lado con el Instituto de Física del Globo de París de Francia (IPGP) se firmó un convenio en el 2013 por el cual se está realizando estudios de detalle de la estructura interna del volcán Ubinas y áreas que circundan al volcán Misti. Estos estudios utilizan métodos eléctricos (método PE o Potencial Espontáneo) y de Medición del gas CO<sub>2</sub> del suelo. Combinados dichos métodos han permitido detectar “zonas de debilidad” en las proximidades a los dos volcanes. En el caso del Misti, se trata de una falla de dirección noroeste-sureste, mientras que en el caso del Ubinas se trata de una falla próxima a la dirección Norte que parece atravesar el edificio.

De igual manera, el Volcano Disaster Assistance Program (VDAP, adscrito al Servicio Geológico de los Estados Unidos) viene colaborando con el IGP en el análisis de la información sísmica para el pronóstico de erupciones. Actualmente se está ultimando detalles para establecer una cooperación formal entre el VDAP y las tres instituciones que realizan estudios y monitoreo de volcanes: el IGP, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet) y la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA), sobre una extensión mínima de cinco años y que permita trabajar en los variados temas asociados a una mejor gestión del riesgo volcánico, desde las técnicas de monitoreo e interpretación de diferentes técnicas geofísicas y geoquímicas, la elaboración de mapas para uso de autoridades, hasta la transmisión de la información a la comunidad y su preparación para afrontar crisis volcánicas.





 **Trimble** 

*GPS vigilando el volcán Ubinas.*

# Futuro observatorio nacional

Gracias a un convenio con la Municipalidad del Distrito de Sachaca, en la provincia de Arequipa, el Perú próximamente contará con un observatorio vulcanológico que monitoreará alrededor de 15 volcanes activos en el sur del país. Este proyecto se desarrolla en coordinación con el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), el Instituto Geofísico de la UNSA (IG-UNSA), y el Instituto Geofísico del Perú, que son las tres instituciones que se encargan de la vigilancia de los volcanes.

La construcción de este moderno observatorio está prevista en su primera etapa para el 2014. Esta sede será ubicada en una zona escogida por su especial protección natural en relación a cualquier eventual gran erupción del volcán Misti, al estar lejos del cráter (23 km al suroeste), sobre una colina que destaca en medio del valle de Arequipa (40 metros por encima) y con vista libre y directa a los volcanes Misti, Chachani, Pichu Pichu, así como al complejo Ampato-Sabancaya-Hualca Hualca.

El IGP es el ente responsable de la vigilancia sísmica y del monitoreo de parámetros geofísicos de los volcanes; mientras que el INGEMMET de los estudios geológicos sobre la evolución del volcán, y del monitoreo de parámetros geoquímicos. Por su parte el IG-UNSA realiza monitoreos y observaciones temporales in-situ. Las observaciones fenomenológicas, que incluyen toma de temperaturas, observaciones visuales, etc, son efectuadas por los tres equipos de profesionales con ocasión de las múltiples visitas de campo, inclusive a los mismos cráteres de los volcanes.

Las actividades de vigilancia están a cargo de especialistas de dichas instituciones; sin embargo, actualmente cada entidad tiene su oficina propia, por lo que es necesaria la conjunción de los equipos de profesionales de las tres entidades para la conformación de un observatorio, en el cual se centralice toda la información, la que será procesada e interpretada con mejor y más rápida coordinación. Esta nueva organización permitirá disponer de información útil y de calidad que oportunamente será remitida a las autoridades de Gestión del Riesgo locales y nacionales.

Cabe mencionar que el área de Investigación en Vulcanología actualmente tiene su sede en el distrito de Cayma, a donde llegan automáticamente todas las señales sísmicas de los volcanes, vía telemetría en tiempo real.





VIGILANCIA  
VOLCAN  
UBINAS  
IGP

Estación UB3 del Volcán Ubinas.





# Staff

El área de Investigación en Vulcanología monitorea permanentemente la actividad volcánica del sur del Perú, con especial énfasis en los volcanes activos.





*Explosión del volcán Ubinas el 2 de setiembre del 2013, causando alarma y zozobra en la población ubicada en la región sur del Perú.*

*Fotografía proporcionada por el Sr. Eduardo Pacheco, Presidente de Comunicación del Comité de Defensa Civil de Ubinas.*



© Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima, Perú  
Central Telefónica: (511) 317 2300  
<http://www.igp.gob.pe>  
 <http://www.facebook.com/igp.peru>  
 [http://twitter.com/igp\\_peru](http://twitter.com/igp_peru)