

# ERUPCIONES VOLCÁNICAS

## Estrategias para la prevención y mitigación del riesgo volcánico

CONFERENCIA INTERNACIONAL  
*4, 5 y 6 de noviembre de 2020*



# CRÉDITOS

**Kirla Echegaray**  
Ministra del Ambiente

**Hernando Tavera**  
Presidente Ejecutivo IGP

**Danny Scipión**  
Director Científico IGP

**Diseño y diagramación:**  
Luis Miguel Ybañez

**Editado:**  
Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Carátula: Volcán Sabancaya

**Organización:**  
Instituto Geofísico del Perú (IGP)

**Coorganización:**

- Asociación Latinoamericana de Vulcanología (ALVO)
- Institut de Recherche Pour le Développement (IRD)
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)
- Volcano Disaster Assistance Program (VDAP)
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)

*Actividad descentralizada organizada en el marco de la Semana Nacional de la Ciencia 2020 a cargo del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC)*

# PRESENTACIÓN

Mientras realizamos la conferencia internacional “Erupciones volcánicas: estrategias para la prevención y mitigación del riesgo volcánico”, o mientras usted realiza la lectura de este documento, es posible que en el mundo un volcán esté en erupción. Esto es siempre posible porque habitamos un planeta que está en continua evolución y, en cada fase de este proceso tan natural, la población está en riesgo.

Para comprender la génesis y el desarrollo de los procesos eruptivos de un volcán, se han realizado investigaciones que han permitido fortalecer su monitoreo y establecer alertas para reducir el riesgo de la población que vive en su entorno, tal como ocurre en el Perú con los volcanes Misti, Ubinas, Sabancaya y otros 10 activos y potencialmente activos.

En este marco, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) ha organizado la conferencia internacional “Erupciones volcánicas: estrategias para la prevención y mitigación del riesgo volcánico”, donde no solo se han presentado las investigaciones desarrolladas en nuestro país, sino también en muchos países a cuyos investigadores se les ha convocado a participar de tan importante evento. Esta conferencia ha sido posible gracias al trabajo conjunto con la Asociación Latinoamericana de Volcanología (ALVO), el Programa de Asistencia para Desastres Volcánicos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (VDAP), el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia en el Perú (IRD), así como nuestros aliados estratégicos como el INDECI y el CENEPRED que cumplen un rol clave para la gestión integral del riesgo de desastres y atención de emergencias volcánicas.

Este documento recoge los resúmenes de los trabajos de investigación desarrollados por un grupo de investigadores nacionales e internacionales con el único propósito de mostrarnos el nivel de conocimiento alcanzado sobre los volcanes y la generación de información para la toma de decisiones hacia una correcta Gestión del Riesgo de Desastres, esfuerzo mundial para proteger la vida de millones de personas que viven cerca de los volcanes.



**Dr. Hernando Tavera**

*Presidente ejecutivo  
Instituto Geofísico del Perú*



Volcán Sabancaya - vulcanólogos del IGP realizando mediciones geofísicas

Sesión 1:  
**Investigaciones científicas en  
vulcanología**

# ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA INTERNA DEL VOLCÁN SABANCAYA CON BASE EN 8 AÑOS DE INFORMACIÓN SÍSMICA

**Roger Machacca<sup>1</sup>, Nino Puma<sup>1</sup>, José Torres<sup>1</sup>, Lizbeth Velarde<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú, Urb. La Marina B-19 - Cayma, Arequipa, Perú  
(roger.machacca@gmail.com)

**Palabras clave:** Volcán Sabancaya, tomografía sísmica, modelo de velocidad.

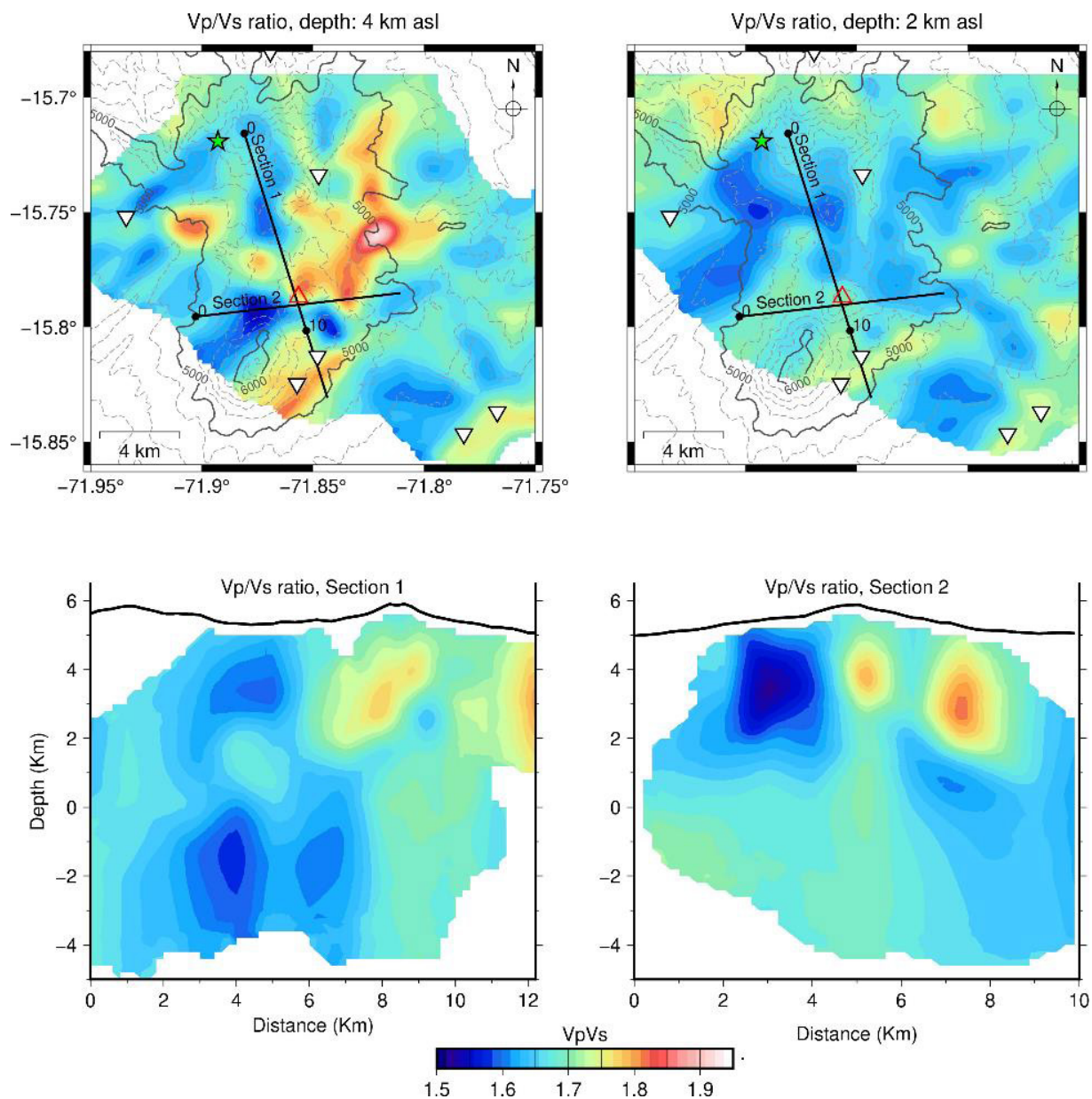
## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El actual proceso eruptivo del volcán Sabancaya inició el 6 de noviembre de 2016 y continúa hasta la actualidad. Este proceso fue precedido y acompañado por una intensa actividad sísmica en la zona, la cual inició el 22 de febrero de 2013 cuando en un lapso de dos horas ocurrieron tres sismos de magnitudes menores a M4.0 próximos al volcán. A partir de entonces, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través de su Observatorio Vulcanológico del Sur, ha desplegado una red sísmica permanente que ha recolectado información continua a lo largo de los últimos 8 años. La localización de las fuentes sísmicas muestran que la sismicidad ha migrado a lo largo de los años y que algunas fallas permanecen activadas por largo tiempo, como por ejemplo las fallas Mojobampa, Sepina, Hornillos, Ichupampa y Hornillos. Esta actividad sísmica proporciona información valiosa sobre las variaciones de la velocidad sísmica a lo largo de la trayectoria de las ondas desde su fuente hasta su registro en una estación sísmica, lo que permite generar imágenes 3D de anomalías de velocidad sísmica mediante la inversión de los tiempos de viaje de las ondas P ( $V_p$ ), ondas S ( $V_s$ ) y su relación ( $V_p/V_s$ ).

En este estudio empleamos la información sísmica del periodo 2013-2020 para estudiar la estructura interna del volcán Sabancaya mediante la tomografía sísmica. Inicialmente, se ha calculado el modelo de velocidad 1D de la zona, el cual se empleó como referencia inicial para la tomografía sísmica 3D. Los resultados del modelo de velocidad 1D son consistentes con los modelos regionales obtenidos con estudios de tomografía de ruido ambiental ( $V_s$ ) y modelos de la IASP91 ( $V_p$ ) para profundidades mayores a 5 km desde la superficie. Posteriormente, se empleó procesos

de inversión sísmica para obtener imágenes de las variaciones de velocidad del subsuelo, para lo cual se emplearon datos de 14 estaciones sísmicas y 1897 sismos localizados alrededor de volcán, los cuales tienen profundidades menores a 10 km.

Los resultados de la inversión sísmica muestran el conducto volcánico ubicado debajo del cráter activo, el cual está limitado en los perfiles verticales por valores altos de la razón  $V_p/V_s$ , el cual tiene un ligero buzamiento hacia el sector NNO, tal como se muestra en el perfil 1 (Figura 1, sección 1). Estos resultados son consistentes con estudios de InSAR efectuados en la zona, los cuales muestran que la cámara magmática principal se encuentra debajo del volcán Hualca Hualca, a 7.5 km hacia el NNO del cráter del Sabancaya y a ~12 km de profundidad. Este conducto uniría el cráter activo con la cámara profunda. Por otro lado, las vistas horizontales de los primeros kilómetros muestran anomalías altas de la razón  $V_p/V_s$ , los cuales estarían asociados a la intensa actividad hidrogeológica, tal como se evidencia también con los estudios de Potencial Espontáneo efectuados en la zona. Los resultados de tomografía sísmica del Sabancaya no logran muestrear la cámara magmática principal debido a que la sismicidad en la zona ocurre en los primeros 10 km de profundidad, además de la poca apertura de la red sísmica.



**Figura 1.** Mapa 3D de la variación de la relación Vp/Vs del volcán Sabancaya. Los triángulos blancos invertidos corresponden a la ubicación de las estaciones sísmicas. El triángulo rojo muestra la ubicación del cráter. Las líneas negras muestran la ubicación de los cortes verticales. La estrella verde muestra la ubicación de la cámara magmática inferida de datos InSAR.

# PROCESOS MAGMÁTICOS Y CONDICIONES PREERUPTIVAS (P, T, H<sub>2</sub>O) DE LOS MAGMAS RECIENTES DEL VOLCÁN UBINAS (PERÚ)

**Pablo Samaniego<sup>1</sup>, Marco Rivera<sup>2</sup>, Nélica Manrique<sup>3</sup>, Federica Schiavi<sup>1</sup>, François Nauret<sup>1</sup>, Céline Liorzou<sup>4</sup>, Marie-Anne Ancellin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Université Clermont Auvergne, CNRS, IRD, OPGC, Laboratoire Magmas et Volcans, F-63000 Clermont- Ferrand, France (pablo.samaniego@ird.fr)

<sup>2</sup> Instituto Geofísico del Perú, Urb. La Marina B-19 - Cayma, Arequipa, Perú

<sup>3</sup> Observatorio Vulcanológico del INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Urb. Magisterial B-16, Umacollo, Arequipa, Perú

<sup>4</sup> Laboratoire Géosciences Océan, Institut Universitaire Européen de la Mer, Université de Bretagne Occidentale, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané, France

**Palabras clave:** Ubinas, Perú, termobarometría, sistema de alimentación, recarga.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

Entender las relaciones entre los procesos de diferenciación magmática, la composición química de los magmas y la arquitectura del sistema de alimentación magmática es una etapa fundamental de cualquier estrategia de mitigación de las amenazas volcánicas. En este trabajo estudiamos los productos eruptivos del periodo postglaciar del volcán Ubinas que incluyen los depósitos de tipo pliniano (VEI 3-5) del Holoceno, así como de las erupciones históricas (CE 1667) y recientes (2006-2009, 2013-2017) de este volcán, las cuales presentaron dinamos de tipo vulcaniano (VEI 1-2). El objetivo de este estudio es entender cuales son los procesos que favorecen la ocurrencia de erupciones plinianas o de erupciones vulcanianas.

Gracias a un muestreo exhaustivo de los depósitos volcánicos y a la caracterización geoquímica y mineralógica de los mismos, podemos constatar que existe una variación progresiva de los diferentes parámetros geoquímicos (Figura 1). Así, por ejemplo, se observa un decrecimiento progresivo del contenido de sílice desde las erupciones más antiguas que involucran magmas riolíticos (69-71 wt.% SiO<sub>2</sub>), hasta las erupciones más recientes que involucran magmas de composición de andesita basáltica (55-57 wt.% SiO<sub>2</sub>). Por otra parte, el estudio geoquímico y

petrológico permite concluir que estos cambios en la química y mineralogía de los magmas del Ubinas reflejan procesos de diferenciación en la corteza media a superior. Así, los procesos dominantes son la cristalización fraccionada de una asociación mineral compuesta por plagioclasa, anfíbol, ortopiroxeno, clinopiroxeno y óxidos de Fe-Ti, y la asimilación de la corteza superior, la cual no excede el 5-8 vol.%. Sin embargo, la relativa homogeneidad isotópica de los magmas del Ubinas sugiere un proceso de asimilación mucho más importante, el cual ocurriría en la corteza inferior.

La caracterización petrológica de los magmas del Ubinas permite también constreñir las condiciones de P-T de los mismos. Así, los magmas antiguos de composición dacítica y riolítica registran temperaturas de equilibrio de 800-850 °C y presiones de 200-400 MPa (8-16 km de profundidad), mientras que los magmas jóvenes de composición de andesita basáltica muestran temperaturas y presiones más altas (1000 °C y 300-400 MPa). Estos datos permiten proponer la existencia de un reservorio magmático en la corteza superior, el cual estaría compuesto por magmas diferenciados altamente cristalizados ("mush"), los cuales alimentaron las grandes erupciones explosivas durante el Holoceno. Durante las erupciones históricas y recientes, los procesos de recarga y mezcla de magmas

son dominantes, sin evidencia de un eventual "rejuvenecimiento" del reservorio magmático que alimentó las grandes erupciones silíceas ocurridas durante el Holoceno. Esto implicaría que el Ubinas

se encuentra en una fase caracterizada por la frecuente recarga del sistema magmático con la consecuente ocurrencia de erupciones explosivas de tamaño pequeño a moderado.

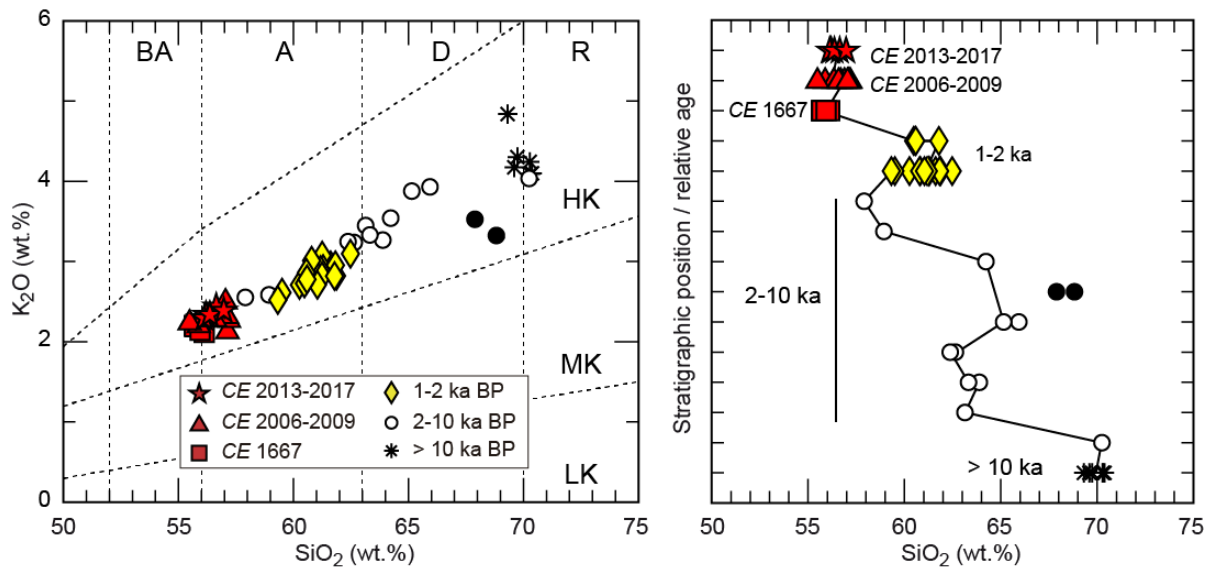


Figura 1. Variaciones geoquímicas observadas en los depósitos holocénicos, históricos y recientes del volcán Ubinas.

# HISTORIA DE ERUPCIONES EXPLOSIVAS DEL VOLCÁN MISTI OCURRIDA DURANTE LOS ÚLTIMOS 20 KY

**Christopher J. Harpel<sup>1</sup>, Rigoberto Aguilar<sup>2</sup>, Marco Rivera<sup>3</sup>, Frank Tepley<sup>4</sup>, Marie Takach<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> U.S. Geological Survey Volcano Disaster Assistance Program, Cascades Volcano Observatory, Vancouver, U.S.A.

<sup>2</sup> Observatorio Vulcanológico de Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Arequipa, Perú

<sup>3</sup> Instituto Geofísico del Perú, Arequipa, Perú

<sup>4</sup> College of Earth, Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis, OR, U.S.A.

**Palabras clave:** volcán Misti, erupciones explosivas, caída de tefra.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El volcán Misti tiene una historia de erupciones explosivas que han impactado un área grande en sus alrededores, incluyendo la ciudad de Arequipa, cuya población de un millón de habitantes está creciendo diariamente. Actualmente, mucha gente vive dentro de un radio de 20 km del cráter del volcán, quienes podrían ser afectados ante una erupción. La última erupción confirmada del Misti ocurrió en el siglo XV, pero el volcán ha tenido algunos eventos de desgasificación y potencialmente algunas pequeñas explosiones freáticas o freatomagmáticas durante la época histórica. Para comprender los peligros del volcán, es muy importante investigar las erupciones prehistóricas que permitan entender su rango completo de comportamiento y el potencial de futuras erupciones. Actualmente, hay un grupo internacional, colaborativo y multidisciplinario que está investigando los detalles de las erupciones explosivas prehistóricas del Misti. El grupo está documentando la estratigrafía y mapeando la distribución de los depósitos, describiendo las erupciones, realizando la geocronología e investigando la petrología y geoquímica de los productos. Así se puede entender ¿cuándo y por qué las erupciones ocurrieron?, ¿qué áreas fueron impactadas? y ¿qué fenómenos sucedieron?

Solo tres de los depósitos de erupciones explosivas del Misti han sido investigados en detalle: la "Sacarosa", la "Autopista", y la última

erupción pliniana ocurrida hace 2 ka. De los tres, la "Sacarosa" es la más antigua y hay varias erupciones entre esta y la "Autopista" que quedan para documentar. El eje de dispersión del depósito de caída de tefra denominado la "Autopista" tiene una orientación hacia el oeste del Misti y una distribución y espesor que es suficiente para usar como base de la tefroestratigrafía. La erupción de la "Autopista" probablemente ocurrió alrededor de 20 ka, pero al depósito le falta ser datado y la edad es una aproximación. Entre la "Autopista" y la erupción del siglo XV, documentamos al menos 10 erupciones. La mayoría de estas erupciones han producido depósitos de caída de tefra que están distribuidos entre el oeste y sur del volcán, pero uno tiene un eje de dispersión al este. Los depósitos también muestran un gran rango de volúmenes y explosividad de las erupciones. Comparando los espesores y tamaños de granos de los depósitos más conocidos en el Misti ("Sacarosa" de VEI 5 y el de hace 2 ka de VEI 4–5) con los otros depósitos, se indica preliminarmente que tres de los depósitos probablemente estén ligados a erupciones de VEI 5 ("Pampa de los Huesos", "Autopista" y "Sandwich inferior"), tres de VEI 4–5 ("Rosada", "Sandwich superior", y el de hace 2 ka) y cinco de VEI 3–4 ("Espuma gris", "Espuma iridiscente", y tres depósitos aún no nombrados). Actualmente, la erupción del siglo XV es la única erupción conocida de VEI 2. Sin embargo, los depósitos de erupciones pequeñas generalmente no están bien preservados y es posible que haya más erupciones de menor

magnitud por descubrir. Los depósitos “Sandwich superior” y “Sandwich inferior” están separados por una capa retrabajada de menor espesor que indica un periodo de tiempo entre las erupciones y que fue probablemente corto. Entonces, tal relación entre los depósitos indica que el Misti puede hacer erupciones de gran explosividad sin mucho tiempo de separación.

La mayoría de las erupciones que documentamos han producido depósitos de caída de tefra que podrían haber impactado la ciudad de Arequipa. Además, los depósitos indican que algunas de

las erupciones como la “Autopista” y de hace 2 ka estuvieron acompañadas por corrientes de densidad piroclásticas y lahares. Estos fenómenos son muy peligrosos y pueden impactar lugares hasta más de 10 km del cráter del volcán. Nuestro trabajo muestra que el Misti ha erupcionado explosivamente un mínimo de 12 veces en los últimos 20 ky. Es cierto que el volcán Misti podría erupcionar en el futuro y sus erupciones prehistóricas indican que una erupción explosiva de VEI 5 sería posible. Aunque el Misti no es el volcán más activo en el Perú, es, sin duda, el más peligroso.

# INTERACCIONES VOLCANO-TECTÓNICAS EN EL VOLCÁN SABANCAYA, PERÚ (2013-2019): ERUPCIONES, INFLACIÓN MAGMÁTICA, TERREMOTOS MODERADOS Y DESLIZAMIENTO ASÍSMICO

*Patricia MacQueen<sup>1</sup>, Francisco Delgado<sup>2</sup>, Kevin Reath<sup>1</sup>, Matt E. Pritchard<sup>1</sup>, Marco Bagnardi<sup>3</sup>, Pietro Milillo<sup>2</sup>, Paul Lundgren<sup>3</sup>, Orlando Macedo<sup>4</sup>, Victor Aguilar<sup>4</sup>, Mayra Ortega<sup>5</sup>, Rosa Anccasi<sup>5</sup>, Ivonne Alejandra Lazarte Zerpa<sup>6</sup>, y Rafael Miranda<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> Cornell University, Ithaca, New York, EE. UU. (pgm65@cornell.edu)

<sup>2</sup> Equipe de Tectonique et Mécanique de la Lithosphère, Institut de Physique du Globe de Paris, Université de Paris, Francia (delgado@ipgp.fr)

<sup>3</sup> Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, EE. UU.

<sup>4</sup> Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú

<sup>5</sup> INGEMMET Volcano Observatory (OVI), Arequipa, Perú

<sup>6</sup> Instituto Geofísico del Perú, Arequipa, Perú

**Palabras clave:** InSAR, Sabancaya, geodesia, terremotos, deslizamiento asísmico

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

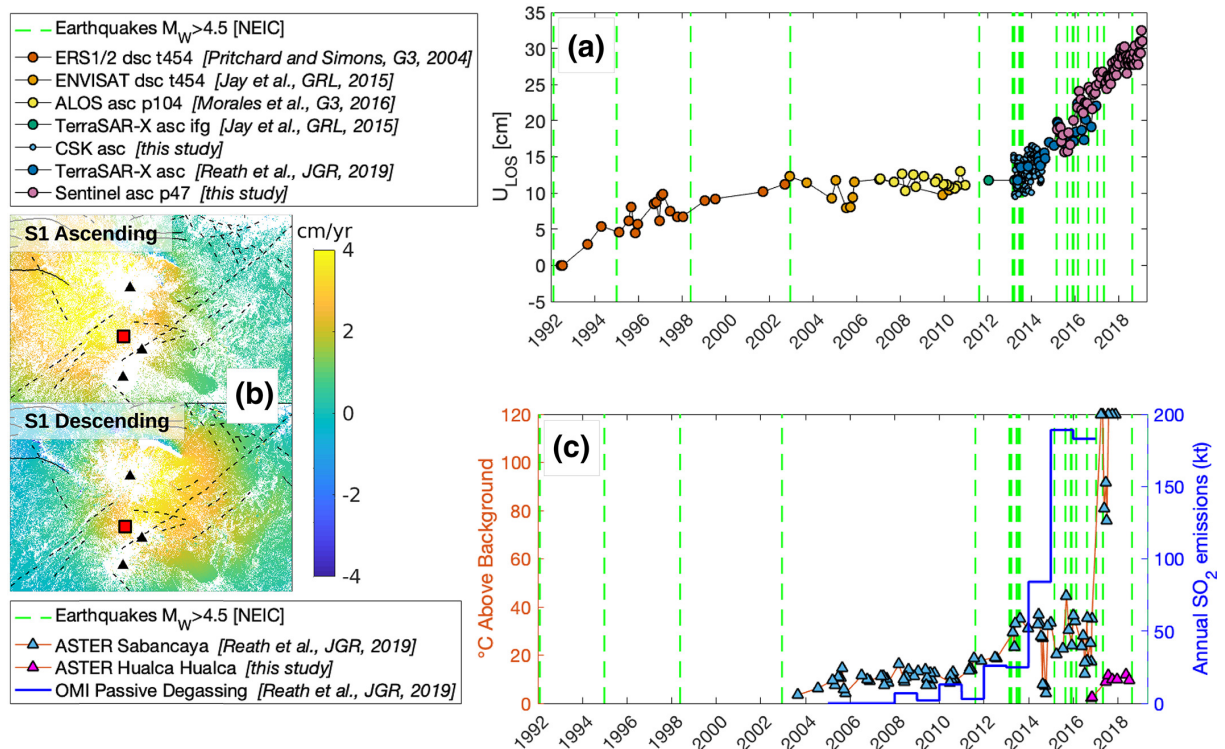
En este estudio presentamos evidencia de interacciones volcano-TECTÓNICAS en el volcán Sabancaya (sur del Perú), las cuales asociamos a inyección episódica de magma y a altas presiones de fluidos. El volcán Sabancaya es uno de los volcanes más activos de los Andes centrales, con un período continuo de intranquilidad que comenzó entre los años 2012 y 2013. Las manifestaciones de intranquilidad han incluido un aumento de la actividad fumarólica, emisiones de gas, enjambres de terremotos volcano-TECTÓNICOS (VT), deformación de la superficie y explosiones. Dada la proximidad en el tiempo y el espacio de la sismicidad elevada y la actividad eruptiva del Sabancaya, es probable que exista un vínculo entre las dos, pero la naturaleza de este vínculo no es completamente clara. Por lo tanto, este trabajo busca dar luces sobre esa relación.

Presentamos series de tiempo de InSAR (Radar interferométrico de apertura sintética) de

deformación de la superficie en el Sabancaya con datos de satélites ERS-1/2, ENVISAT, Sentinel-1, COSMO-SkyMED y TerraSAR-X, los cuales cubren desde junio de 1992 hasta febrero de 2019 (Figura 1). Estos datos muestran inflación producto de una fuente profunda localizada al noroeste del Sabancaya entre 1992-1997 y 2013-2019, al igual que deslizamiento asísmico y rupturas superficiales en múltiples fallas. La falla Mojobampa muestra deslizamiento postsísmico luego de un terremoto de magnitud Mw 5.9 (julio de 2013) durante un periodo anómalamente largo de al menos 6 años. El mejor modelo que explica este deslizamiento postsísmico es movimiento dextral en una falla de rumbo de dirección este-oeste a una profundidad de ~1 km. También modelamos deformación producto de dos terremotos en enero y abril de 2017 (Mw 4.4 y 5.2) en fallas no reconocidas previamente, para las cuales los mejores modelos indican fallas normales de dirección noroeste-este a profundidades de 1-2 km. El mejor modelo para la fuente magmática

de inflación (profundidad de 13 km, cambio volumétrico de 0.04-0.05 km<sup>3</sup>/año) induce cambios positivos de *stress* de Coulomb en los planos de fallas modelados. No se observan señales claras de deformación asociadas a la actividad paroxismal del 6 noviembre de 2016. La comparación de las observaciones de deformación con datos satelitales de temperatura y desgasificación, observaciones de terreno y registros sismológicos indica sismicidad

preeruptiva intensa en el Sabancaya como consecuencia de intrusiones de magma que desestabilizan fallas que se encuentran cerca de su límite de ruptura por transferencia de esfuerzos estáticos desde la fuente inflacionaria. Especulamos que la combinación de una alta presión de fluidos con una gran fuente magmática y desfasada respecto de las fallas puede promover terremotos grandes (Mw 5-6) durante episodios de intranquilidad volcánica.



**Figura 1.** (a) Serie de tiempo de InSAR de múltiples satélites de un pixel en el volcán Sabancaya (cuadrado rojo en b). Las líneas verdes discontinuas son terremotos con magnitudes ( $M_w$ ) mayores a 4.5 estudiados con InSAR. (b) Mapas de la velocidad promedio de desplazamiento de la superficie (InSAR de satélite Sentinel-1) entre 2015-2019 (arriba) y 2014-2019 (abajo). Los triángulos negros son los volcanes Hualca Hualca, Sabancaya y Ampato (de norte a sur). Las líneas negras discontinuas son fallas y lineamientos. (c) Mediciones satelitales de anomalías termales en el volcán Hualca Hualca y anomalías termales y de desgasificación de  $SO_2$  en el volcán Sabancaya. Ver MacQueen et al., 2020 para más información.

# PRECURSORES TÉRMICOS DE ERUPCIONES VOLCÁNICAS

*Társilo Girona<sup>1</sup>, Vincent Realmuto<sup>2</sup> y Paul Lundgren<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Alaska Volcano Observatory, Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks, AK, USA (tarsilo.girona@alaska.edu)

<sup>2</sup> Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91109, USA (vincent.j.realmuto@jpl.nasa.gov)

<sup>3</sup> Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91109, USA (paul.r.lundgren@jpl.nasa.gov)

**Palabras clave:** Anomalías térmicas preeruptivas de gran escala, MODIS, Satélites Terra y Aqua, Pronóstico de erupciones.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

Identificar los observables que alertan de erupciones volcánicas inminentes es uno de los mayores desafíos en la gestión de desastres naturales. Un observable importante, pero escasamente explorado, es la variación térmica de los edificios volcánicos con respecto a sus alrededores. ¿Existe una correlación directa entre la emisión térmica de los edificios volcánicos y los procesos físicos del subsuelo que preceden a las erupciones? ¿O por el contrario la emisión térmica de los edificios volcánicos es solo fruto de procesos exógenos (p. ej., variaciones atmosféricas y climáticas)? En este trabajo mostramos, a través de un nuevo análisis estadístico de 16.5 años de datos satelitales, que el calor radiado por seis volcanes (Calbuco, Chile; Domuyo, Argentina; Ontake, Japón; Ruapehu, Nueva Zelanda; Pico do Fogo, Cabo Verde; y Redoubt, Alaska - USA) cambia gradualmente durante varios años antes de sus recientes erupciones magmáticas, freáticas e hidrotermales. En particular, analizamos datos de radiación infrarroja térmica de longitud de onda larga (10.780 - 11.280  $\mu\text{m}$ ) registrados por los espectrorradiómetros de imagen de resolución moderada (instrumentos MODIS) a bordo de los satélites Terra y Aqua de la NASA, y encontramos incrementos preeruptivos de la mediana de la temperatura radiante (o de brillo) de las montañas volcánicas del orden de  $\sim 1$  K. Además, también encontramos que estas anomalías térmicas sobre la superficie de los volcanes son de gran escala (varios kilómetros cuadrados), heterogéneas y que su distribución espacial varía con el tiempo.

Por ejemplo, en el caso del volcán Redoubt, una significativa anomalía térmica de gran escala surge  $\sim 3$  años antes de la erupción en la ladera noroeste del volcán; sin embargo, el pico de máxima intensidad migra hacia el centro del volcán para situarse en la zona del cráter poco antes de la erupción de marzo de 2009. Proponemos que las anomalías térmicas encontradas son el resultado del incremento de actividad hidrotermal en el subsuelo que produce un calentamiento difuso de la superficie a gran escala. Otra opción es que el incremento de actividad hidrotermal subterránea provoque cambios en las propiedades del terreno (p. ej., humedad), y que por tanto los cambios de temperatura radiante reflejen en realidad variaciones de emisividad de la superficie. La posibilidad de registrar anomalías térmicas de gran escala usando datos satelitales abre nuevos horizontes para estudiar la reactivación térmica de cámaras magmáticas y sistemas hidrotermales; explorar el acoplamiento entre emisiones térmicas, emisiones gaseosas y deformación del suelo; y mejorar el pronóstico de erupciones volcánicas.

# UNA NUEVA BASE DE DATOS Y UN SITIO WEB DE MAPAS DE PELIGROS VOLCÁNICOS

*Heather Wright<sup>1</sup>, Sarah Ogburn<sup>1</sup>, Diana Norgaard<sup>1</sup>, Danielle Charlton<sup>2</sup>, Eliza Calder<sup>3</sup>, Jan Lindsay<sup>2</sup>, John Ewert<sup>1</sup>, Shinji Takarada<sup>4</sup>, Yasuhisa Tajima<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> Volcano Disaster Assistance Program, USGS, 1300 Cardinal Court, Vancouver WA 98683 USA (hwright@usgs.gov)

<sup>2</sup> School of Environment, University of Auckland, Private Bag 92019, Auckland 1142, New Zealand

<sup>3</sup> School of Geosciences, University of Edinburgh, Edinburgh, United Kingdom

<sup>4</sup> Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, Japan

<sup>5</sup> Research & Development Center, Nippon Koei Co., Ltd., Tsukuba 300-1259, Japan

**Palabras clave:** mapas de amenazas, peligros volcánicos.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

La Comisión de Riesgos y Peligros Volcánicos (CVHR) del IAVCEI ha creado una nueva base de datos de mapas de peligros volcánicos global para catalogar y clasificar tales mapas existentes para que se puedan buscar y organizar a través de una interfaz web. La base de datos incluye más de 1200 mapas de volcanes de todo el mundo, algunos de los cuales han cambiado a lo largo del tiempo. Estos mapas se han presentado en una variedad de formatos (por ejemplo: pósteres, letreros de parques, mapas web interactivos, inserciones en evaluaciones de peligros) y fueron creados tanto por fuentes oficiales (por ejemplo: observatorios vulcanológicos o gobiernos locales), como no oficiales (por ejemplo: artículos de revistas científicas). El propósito de la base de datos y su sitio en la web (<https://volcanichazardmaps.org/>) es servir como un recurso para que los creadores de mapas de peligros investiguen y conozcan cómo se han abordado problemas comunes en el desarrollo y diseño de mapas de peligros en diferentes países con diferentes peligros, propósitos y públicos.

Los mapas están clasificados según varios factores: el tipo de fenómeno peligroso, el método de presentación del peligro (integrado o separado), la escala temporal y espacial, el formato de publicación, la metodología de zonificación, los

escenarios considerados, las zonas de peligro y la definición de probabilidad, el propósito y la audiencia, el idioma, los elementos del mapa (por ejemplo: rutas de evacuación, acciones a tomar, esquemas de niveles de alerta, etc.) y diseño del mapa (por ejemplo: mapa base, esquema de colores, etc.). Esta base de datos forma parte de las actividades en proceso de la CVHR del IAVCEI con la participación de científicos de todo el mundo. Esperamos ver aplicaciones del sitio web en futuros esfuerzos e investigaciones de elaboración de mapas de peligros.



Sesión 2:  
**Monitoreo volcánico y  
pronóstico**

# MONITOREO GEOFÍSICO Y PATRÓN ERUPTIVO DE LA ACTUAL ERUPCIÓN DEL VOLCÁN SABANCAYA (2016-2020)

*José Del Carpio<sup>1</sup>, Nino Puma<sup>1</sup>, Katherine Vargas<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú, Urb. La Marina B-19 - Cayma, Arequipa, Perú  
(jdelcarpio@igp.gob.pe)

**Palabras clave:** monitoreo, patrón eruptivo, Sabancaya, sismicidad, deformación, erupción.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El actual proceso eruptivo del volcán Sabancaya inició en noviembre de 2016 y continúa hasta la actualidad. Durante estos últimos cuatro años de actividad, la instrumentación geofísica operada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), ha permitido registrar permanentemente señales sísmicas asociadas al ascenso de fluidos (gases, magma) y explosiones volcánicas. Además, las cámaras de video y la información satelital permitieron registrar innumerables emisiones de gases y ceniza que fueron dispersados en un radio mayor de 30 km de distancia respecto al cráter del Sabancaya. Estos productos volcánicos han afectado distritos ubicados en los sectores noreste y suroeste del volcán, tales como Achoma, Maca, Madrigal, Lari, Yanque, Ichupampa, Chivay, Tuti, Lluta y Huambo.

A lo largo del actual proceso eruptivo, el Sabancaya ha generado periodos de intensa actividad explosiva que fueron precedidos por la ocurrencia de enjambres sísmicos, cuyos epicentros estuvieron localizados principalmente entre 10 y 14 km al noroeste del cráter del Sabancaya. Estos enjambres han estado relacionados a la actividad de fallas tectónicas aledañas al volcán y del mismo volcán Sabancaya. También, se identificaron señales sísmicas de tipo Híbrido y Largo Periodo (LP), así como procesos de deformación positiva (inflación) de la superficie del volcán, asociadas a constantes ascensos de magma. Asimismo, el análisis y procesamiento de imágenes satelitales y la aplicación de fotogrametría mediante el uso de drones ha permitido identificar y caracterizar, en octubre de 2019, el emplazamiento de un domo de lava al interior de la superficie del cráter con un volumen próximo a  $4.4 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Actualmente, la actividad explosiva viene generando la

destrucción parcial de dicho domo.

A lo largo del proceso eruptivo se han determinado cuatro periodos de alta sismicidad de tipo Volcano-Tectónico (VT), observados paralelamente con procesos de aceleración de la deformación y posterior incremento en el número de señales sísmicas asociadas al movimiento de fluidos, las cuales corresponderían a nuevos y reiterados ascensos de magma. La secuencia descrita se ha desarrollado en los siguientes periodos: (1) septiembre-diciembre de 2016, (2) agosto-noviembre de 2019, (3) enero-marzo de 2020 y (4) agosto-septiembre de 2020.

Las señales sísmicas ligadas al ascenso de magma aún perduran, por lo cual el Sabancaya seguirá presentando actividad eruptiva durante los siguientes meses y, probablemente, los próximos años.

Los resultados del monitoreo geofísico han permitido al CENVUL emitir alertas oportunas por dispersión de cenizas y descenso de lahares, así como brindar a las autoridades perspectivas y pronósticos con elevada confiabilidad sobre la dinámica de la actual erupción volcánica del Sabancaya con el objetivo de prever el impacto de los peligros volcánicos en la población en riesgo.

# VINCULANDO DATOS DE VIGILANCIA SATELITAL Y DE TERRENO PARA ENTENDER LAS ÚLTIMAS DOS DÉCADAS DE ACTIVIDAD ERUPTIVA DEL AISLADO VOLCÁN SANGAY, ECUADOR

**Francisco J. Vasconez<sup>1</sup>, Silvana Hidalgo<sup>1</sup>, Jean Battaglia<sup>2</sup>, Stephen Hernandez<sup>1</sup>, Benjamin Bernard<sup>1</sup>, Diego Coppola<sup>3</sup>, Patricio Ramón<sup>1</sup>, Céline Liorzou<sup>4</sup>, Sébastien Valade<sup>5</sup>, Marcelo Ortiz<sup>1</sup>, Marco Almeida<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Université Clermont Auvergne, CNRS, IRD, OPGC, Laboratoire Magmas et Volcans, Clermont-Ferrand, France.

<sup>3</sup> Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Torino, Torino, Italy.

<sup>4</sup> Université de Bretagne Occidentale, Domaines Océaniques IUEM, 29280 Plouzané, France.

<sup>5</sup> Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico.

**Palabras clave:** Sangay, sensores remotos, monitoreo, geoquímica, tamaño de las erupciones.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El Sangay es uno de los volcanes más activos del arco volcánico ecuatoriano. La primera crónica de actividad eruptiva data de 1628. Posteriormente, los registros históricos relacionados a erupciones se vuelven más recurrentes categorizando la actividad del Sangay como semicontinua al menos desde 1934. Sin embargo, debido a su remota ubicación entre el borde oriental de la cordillera Real y la región Amazónica, y el bajo riesgo asociado a su actividad, poco se sabe sobre sus erupciones más recientes. En esta contribución resumimos su actividad eruptiva desde finales del 2000 hasta el 2020, basándonos en datos de vigilancia permanente (sensor sísmico de banda ancha y DOAS), observaciones satelitales y la química de sus productos volcánicos más recientes. En el periodo analizado, el Sangay muestra un cambio de actividad desde semicontinua a intensas erupciones episódicas separadas por fases de inactividad, tal como lo ilustran claramente los datos sísmicos, de alertas termales y de emisión de ceniza. En consecuencia, proponemos tres periodos eruptivos principales: el primero desde

2000 a 2013, en el cual el volcán emitió un volumen acumulado de  $19,6 \pm 9,8 \text{ Mm}^3$  mediante actividad semicontinua; el segundo período extruyó  $23 \pm 11,5 \text{ Mm}^3$  en cuatro fases eruptivas episódicas de corta duración que tuvieron lugar una vez cada año entre 2015 y 2018; finalmente, un tercer período en 2019-2020 que muestra un aumento significativo del volumen acumulado de sus flujos de lava, alcanzando más de  $87 \pm 45 \text{ Mm}^3$  en más de 500 días de actividad continua. Nuestros resultados muestran un marcado cambio en el comportamiento eruptivo del volcán y un aumento significativo en la tasa promedio de descarga a lo largo del tiempo, aunque los fenómenos volcánicos asociados (columnas eruptivas y flujos de lava) fueron similares durante los 20 años de estudio. Basándonos en estas observaciones, proponemos dos explicaciones para los cambios físicos observados. Entre 2000 y 2018 un reservorio magmático elástico promovió el cambio en la tasa de descarga de magma, generando erupciones semicontinuas y episódicas, mientras que en 2019-2020 un nuevo ingreso de magma profundo produjo el período eruptivo más intenso de las últimas dos décadas,

el cual sigue en curso. Anticipamos que nuestros resultados serán un punto de partida para un análisis más detallado de los mecanismos que

produjeron este cambio, lo que llevará a una mejor comprensión de este remoto volcán y el riesgo asociado a sus erupciones.



**Figura 1.** Volcán Sangay con emisión de gas desde el cráter central y un espeso flujo de lava desde el ventolateral Nñurcu. Fotografía tomada el 17 de mayo de 2019. Créditos: Ing. Marco Almeida (Instituto Geofísico-EPN)

# FLUIDOS HIDROTERMALES Y SISMICIDAD EN VOLCANES QUIESCENTES

**Luca D'Auria**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN), Calle Álvaro Martín Díaz 2, 38320 San Cristóbal de La Laguna, S/C de Tenerife, España. (ldauria@iter.es)

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER), Polígono Industrial de Granadilla s/n, 38611 Granadilla de Abona, S/C de Tenerife, España.

**Palabras clave:** sismicidad volcánica, fluidos hidrotermales.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

La mayoría de los volcanes dormidos manifiestan una sismicidad volcano-tectónica de fondo que, aun presentando peculiaridades diferentes para cada volcán, posee casi siempre un factor común: su relación con la actividad del sistema hidrotermal. Dicha sismicidad, generalmente de magnitud baja o moderada, es, sin embargo, de gran interés científico para caracterizar la dinámica volcánica en el periodo intereruptivo. Por ende, podría permitir la mejora de la alerta temprana en frente a posibles erupciones futuras.

Desde un punto de vista sismológico, los elementos que permiten caracterizar este tipo de sismicidad son: el parámetro  $b$  de la ley de Gutenberg-Richter, la caída de esfuerzo en la fuente (stress drop) y la relación de la sismicidad con el campo de esfuerzo en el volcán y sus alrededores. El valor del parámetro  $b$  para la sismicidad volcánica es muy sensible ante la presencia de fluidos presurizados en el subsuelo. De hecho, los valores más altos de este parámetro se encuentran en volcanes activos, sistemas geotérmicos, así como en sitios donde haya sismicidad antropogénica. Por otro lado, la caída del esfuerzo es un indicador más directo del papel que juegan los fluidos con respecto a la ocurrencia de terremotos. Esencialmente, la presencia de fluidos presurizados a lo largo de las fallas sísmicas hace más fácil que se produzcan terremotos, incluso en ausencia de un campo de esfuerzos significativo. En consecuencia, aquellos terremotos volcánicos cuya caída del esfuerzo sea inferior a 100 MPa habrán sido sin duda causados por la presencia local de fluidos presurizados. Por último, mediante el uso de los mecanismos focales es posible determinar el campo de esfuerzos local que ha generado la sismicidad. Asimismo, el análisis de su posible variación temporal y de su relación con el régimen volcano-tectónico hace

posible establecer si la naturaleza de la fuente de los terremotos es hidrotermal o si, por contra, está más estrechamente relacionada con una dinámica magmática.

Entre aquellos volcanes donde la sismicidad relacionada con el sistema hidrotermal es mejor conocida podemos encontrar al Vesubio, en Italia. Dicho volcán, quiescente desde 1944, posee una sismicidad, distribuida verticalmente bajo su cráter hasta profundidades de 6-7 km, lo bastante fuerte como para ser sentida ocasionalmente por la población. Estudios de tomografía sísmica han evidenciado la ausencia de cámaras magmáticas superficiales. A pesar de que dicha sismicidad manifiesta variaciones temporales relevantes, el campo de esfuerzos que la origina es el mismo que constituye la tectónica regional, sin efectos locales. Por esta razón y ante la presencia de evidencias geoquímicas, se puede relacionar totalmente la sismicidad de fondo del Vesubio con un movimiento ascendente de fluidos hidrotermales a través de su antiguo conducto volcánico.

Una evidencia aún más directa entre la sismicidad y el sistema hidrotermal se ha observado en Tenerife en los últimos 4 años. En octubre de 2017, se registró un enjambre muy intenso de eventos de largo-periodo, con una fuente localizada aproximadamente a 9 km de profundidad. A finales de noviembre, se observó un incremento en la emisión difusa de  $\text{CO}_2$  por el cráter del Teide, pasando de un valor de 20 ton/día a casi 175 ton/día en febrero de 2017. A su vez, de forma simultánea, se apreció un incremento del parámetro  $b$  y, a partir de junio de 2017, un incremento generalizado de la sismicidad. En los años siguientes, se ha podido seguir correlacionando las variaciones de la sismicidad con variaciones en la emisión difusa de  $\text{CO}_2$ .

Con respecto a la importancia del parámetro  $b$  para caracterizar la sismicidad volcánica, un reciente estudio realizado sobre la caldera de Long Valley (EE. UU.) ha mostrado cómo este parámetro pueda ayudar a distinguir los diferentes mecanismos sismogénicos que actúan en un volcán. El principal resultado de este estudio ha sido evidenciar la presencia de un volumen, aproximadamente cilíndrico, en el cual los valores del parámetro  $b$  son significativamente más altos que los de sus alrededores. Este mismo volumen resulta asociado, según datos geotérmicos y modelización numérica, a la principal zona de ascenso de fluidos en la caldera. Por otro lado, la sismicidad más intensa, localizada en el margen meridional de la caldera, está más relacionada con la actividad tectónica del área.

Por último, un estudio en curso sobre la sismicidad de Campi Flegrei (Italia) muestra que el análisis de la caída del esfuerzo es un indicador relevante. De hecho, la caldera de Campi Flegrei lleva casi 50 años con levantamiento del terreno y sismicidad, a veces intensa. Varios estudios han evidenciado como la fuente de estos fenómenos es la intrusión de magma en una lámina (sill), situada al centro de la caldera a una profundidad de aproximadamente 3 km. Sin embargo, el estudio de la caída del esfuerzo, así como el de la distribución espacial de los hipocentros, evidencian como la sismicidad está fuertemente condicionada por los fluidos hidrotermales ascendentes.

# DETECCIÓN Y VIGILANCIA DE DOMOS DE LAVA DESDE EL ESPACIO MEDIANTE EL SISTEMA MOUNTS

**Sébastien Valade<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico (valade@igeofisica.unam.mx)

**Palabras clave:** volcano monitoring, MOUNTS, volcanic dome, SAR imaging.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

Nuevas generaciones de satélites de observación de la Tierra, como las misiones del Sentinel (Copernicus, ESA), proporcionan imágenes de libre acceso con resoluciones espaciales y temporales sin precedentes. Además, la diversidad de sensores a bordo de los satélites ofrece la posibilidad de una vigilancia amplia de los volcanes. En particular, el uso sinérgico de los productos radar (Sentinel-1 SAR), infrarrojo de onda corta (Sentinel-2 SWIR) y ultravioleta (Sentinel-5P TROPOMI), son particularmente prometedores para la vigilancia de la deformación de la superficie y los cambios topográficos, el emplazamiento de depósitos volcánicos, la detección de anomalías térmicas, y la emisión de SO<sub>2</sub> volcánico. MOUNTS (Monitoring Unrest from Space, www.mounts-

project.com) es un sistema de vigilancia que tiene por objeto demostrar el potencial de ese enfoque interdisciplinario integrado, en el que el procesamiento y la visualización sistemáticos de los productos pueden servir de apoyo a las comunidades científicas y operacionales para la evaluación y la gestión de los riesgos volcánicos. El sistema se ocupa actualmente de la descarga automática, el procesamiento y la publicación en la web de los productos Sentinel-1 (S1), Sentinel-2 (S2) y Sentinel-5P (S5P), así como de las alertas automáticas por correo electrónico sobre deformaciones, anomalías térmicas, y emisiones de SO<sub>2</sub> en varios volcanes activos del mundo. Esta charla dará una presentación del sistema MOUNTS y mostrará los recientes avances de cómo las imágenes de amplitud del SAR pueden revelar las fases de crecimiento y destrucción del domo en el volcán Sabancaya.

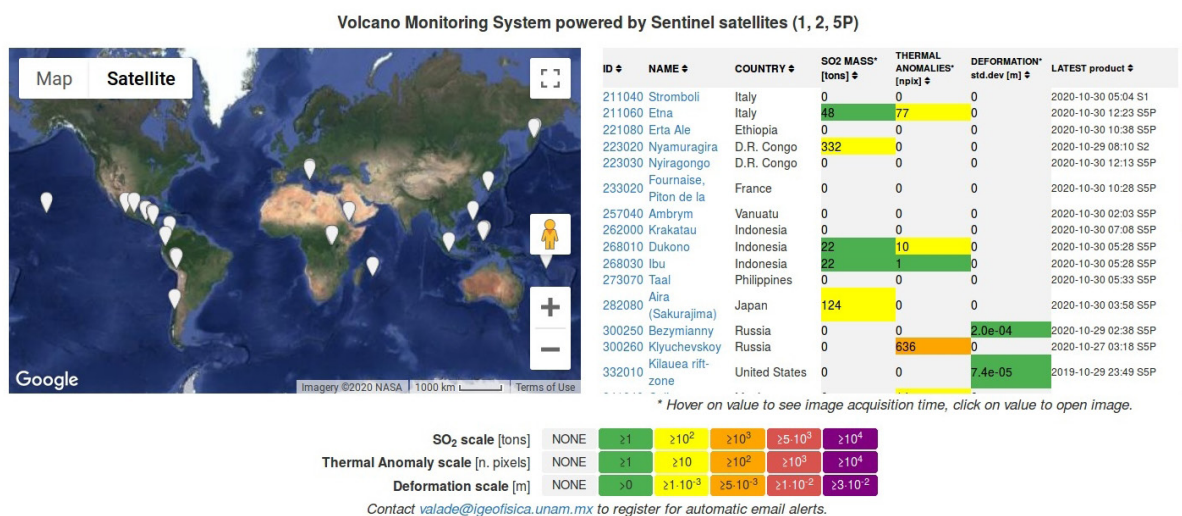


Figura 1. Página principal del sistema de monitoreo MOUNTS (www.mounts-project.com).

# MONITOREO MULTIPARAMÉTRICO DE CICLO ERUPTIVO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO NEVADOS DE CHILLÁN, ÑUBLE, CHILE

**Cristian Mardones<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS), Rudecindo Ortega 03850, Temuco, Chile (cristian.mardones@sernageomin.cl)

**Palabras clave:** Complejo volcánico, Nevados de Chillán, centros de emisión, monitoreo, estaciones multiparamétricas, Ovdas.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El complejo volcánico Nevados de Chillán corresponde a un complejo volcánico de forma elíptica, de composición que varía entre dacítica a andesítica. Se ubica en la cordillera andina de la Región de Ñuble, en el límite de las comunas de Coihueco y Pinto. El edificio actual posee diecisiete centros de emisión reconocibles alineados principalmente en dirección NW-SE, distribuidos en dos subcomplejos y algunos centros de emisión satélites menores.

El complejo presenta actividad eruptiva hace 650.000 años. En tiempos históricos existen varios registros de actividad eruptiva, concentrados principalmente en el Subcomplejo Las Termas (SE). Las erupciones de este complejo varían desde emisiones de lava en cortos periodos de tiempo que no implican un peligro eminente para la población cercana, como fue el caso de las lavas Sebastián (2008), explosiones freáticas (Chudcún 2003) a grandes erupciones por prolongados lapsos de tiempo: de 1861 a 1865, generando el volcán Santa Gertrudis (Subcomplejo Cerro Blanco), de 1906 a 1948 construyendo al volcán Nuevo y de 1973 a 1986 creando el volcán Arrau, ambos del subcomplejos Las Termas. (Fuente: [www.sernageomin.cl/complejo-volcanico-nevados-de-chillan](http://www.sernageomin.cl/complejo-volcanico-nevados-de-chillan)).

El proceso eruptivo actual es distinto a lo visto con anterioridad en este complejo y se ha extendido por poco más de 4 años, comenzando su proceso con la detección de sismicidad asociada a un proceso evolutivo de formaciones y destrucciones de domo, flujos de lava, interacción con el sistema hidrotermal y otros procesos propios del proceso eruptivo.

Las redes de monitoreo multiparamétrico han jugado un rol importantísimo en la identificación y análisis de las distintas etapas enmarcadas dentro de la erupción, en donde se ha podido observar o destacar entre 5 etapas o fases (hasta mayo de 2020) que describen el proceso antes mencionado.

Las distintas fases se han descrito en una investigación liderada por el Dr. Carlos Cardona Idárraga como:

- Fase Hidrotermal.
- Fase Transicional.
- Extrusión del domo "Gil-Cruz".
- Construcción y destrucción de domo.
- Flujos de lava.

Todas estas fases han sido seguidas de cerca por los distintos grupos de monitoreo del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS), contando con más de 6 estaciones de monitoreo multiparamétricas instaladas en las cercanías del centro de emisión más activo y a medida que se ha ido estudiando su evolución. Las estaciones multiparamétricas cuentan con sismómetros, equipos GNSS, inclinómetros, equipos DOAS, cámaras IP y térmicas, además del apoyo de distintas observaciones de terreno como sobrevuelos, muestras de material piroclástico, muestreos geoquímicos, etc. Observando distintos procesos y realizando correlaciones entre las distintas técnicas lo cual va dando indicios de un sistema complejo y que seguirá siendo estudiado.



# OBSERVACIONES GEOFÍSICAS DEL VOLCÁN UBINAS EN EL PERIODO DEL TERREMOTO DE IQUIQUE, MW 8.2 EL 1 DE ABRIL DE 2014

**Adolfo Inza Callupe<sup>1</sup>, Juan Carlos Villegas Lanza<sup>1</sup>, Roger Machacca Puma<sup>1</sup>, Pablo Espinoza Lara<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú, Calle Badajoz 169, Lima 15012, Lima, Perú (linza@igp.gob.pe)

**Palabras clave:** Interacción Terremoto – Volcán, erupción vulcaniana, clase de señales sismo-volcánicas, Deformación.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El 1 de abril del 2014 a las 23:46 UTC ocurrió un terremoto de magnitud Mw 8.2 a 95 km al noroeste de Iquique (Chile), con un hipocentro localizado en la latitud -19.61 y longitud -70.769 y 25 km de profundidad, en el fondo del océano Pacífico. El epicentro estuvo localizado a 366 km al sur del volcán Ubinas.

El volcán Ubinas pertenece a la Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC), ubicado en el sur del Perú, a 60 km al este de la ciudad de Arequipa, y es considerado como el volcán más activo del país por haber presentado al menos 27 erupciones desde el año 1550. Desde el 2006, el Ubinas ha presentado tres procesos eruptivos (2006-2009, 2013-2017, 2019-2020). Particularmente, la erupción del 2013-2017 ha mostrado una actividad explosiva importante, luego que el frente de ondas sísmicas del terremoto de Iquique atravesara la estructura del volcán. La Figura 1 muestra la actividad sismovolcánica del Ubinas para el año 2014, en la cual se observa un cambio abrupto en su comportamiento luego de ocurrido el terremoto. Los diferentes tipos de eventos sismovolcánicos indican una intensa actividad eruptiva, la cual se corrobora en la Figura 2 en la que se muestra un histograma de las explosiones ocurridas en el 2014, con un pico considerable de más de 175 eventos en el mes de abril de 2014. El abrupto incremento de actividad eruptiva fue probablemente acelerado por el sacudimiento del magma al interior de la cámara magmática y los conductos. El magma bajo los efectos del movimiento sísmico podría haber acelerado el proceso de nucleación, el cual consiste en la generación de burbujas de gases o volátiles propios de la perturbación del magma (difusión rectificada según Brodsky

et al., 1998), saturando y desarrollando el transporte hacia el cráter. Cada gradiente de altura produce despresurización de los gases de las burbujas; cuando las condiciones de los gases favorecen a una reacción de oxidación se produce el proceso de fragmentación generando eventos explosivos. Los registros sísmicos evidencian los cambios de patrones sísmicos antes y después del terremoto. Se estima que el sacudimiento en el edificio volcánico fue de 100 gals, basado en las ecuaciones de predicción del sacudimiento del "Shakemap-GMPE ground motion prediction equation". Por otro lado, el registro de la estación geodésica más cercana al volcán Ubinas, ubicada en la ciudad de Arequipa, evidencia desplazamiento cosísmico de aproximadamente 5 mm, lo cual refuerza la hipótesis que el desplazamiento súbito a escala regional habría desestabilizado la estructura volcánica.

Se han procesado datos sísmicos 2013-2015 de la red del volcán Ubinas que el IGP tiene a su cargo. El análisis de las señales sismovolcánicas antes y después del terremoto muestra información que puede corresponder a una interacción del terremoto en la actividad volcánica. A la pregunta por qué otros volcanes que se encuentran en el arco volcánico del sur peruano no respondieron de la misma manera, como el Huaynaputina, Ticsani, Tutupaca, Yucamane y Casiri, el Ubinas, a diferencia de ellos, presentaba una actividad explosiva leve desde octubre de 2013, lo cual significaba que había magma próximo a la superficie; en este sentido, los volcanes deben estar activos o contener magma para responder frente a un terremoto. Hay casos similares, como el ocurrido dos días después del más grande terremoto registrado instrumentalmente en mayo de 1960 en Valdivia, Chile, sismo que aceleró la

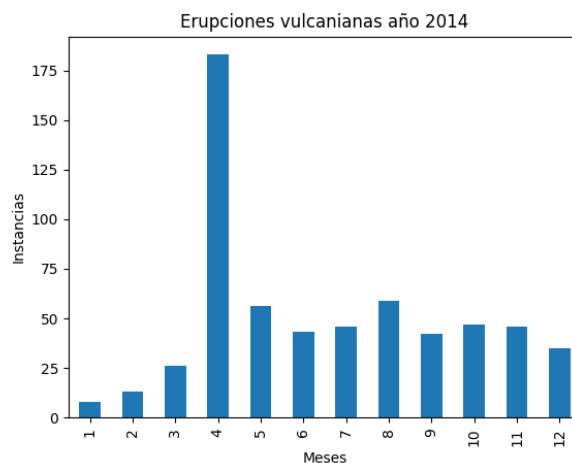
erupción del volcán Cordón Caulle (Chile).

## BIBLIOGRAFÍA

*Brodsky E, Sturtevant B, Kanamori 1998, Earthquakes volcano and rectified diffusion, Journal Geophysical Research.*



**Figura 1.** Eventos sismovolcánicos desde 2013 al 2014 registrados en el volcán Ubinas.



**Figura 2.** Histograma de las erupciones vulcanianas en el año 2014.

# DESGASIFICACIÓN EN LOS VOLCANES ANDESÍTICO-DACÍTICOS DE “CONDUCTO ABIERTO”: EL VOLCÁN POPOCATÉPETL Y SUS HERMANOS LATINOAMERICANOS

**Robin Campion**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s.n., Colonia UNAM C.U., Delegación Coyoacan, Ciudad de México CP 04510, México (robin@geofisica.unam.mx)

**Palabras clave:** *Desgasificación volcánica, Cámara de SO<sub>2</sub>, Popocatépetl, Procesos de conductos, Explosiones..*

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

Desde su reactivación en 1994, el volcán Popocatépetl se ha caracterizado por el crecimiento y la destrucción de más de ochenta domos chiquitos a medianos (0.1 a 10 millones de metros cúbicos), además de la emisión de gases. El volcán ha sido uno de los mayores emisores permanentes entre los tres emisores permanentes más fuertes de gases volcánicos. Mediciones con COSPEC (Delgado et al., 2001; Delgado et al., 2008) y cámara UV (Campion et al., 2018) han documentado tasas de emisión promedio de 4000 T/d de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), con picos superiores a 50 000 T/d coincidiendo con las fases de actividad volcánica más intensa. Un aspecto particularmente intrigante del ciclo eruptivo actual es la extrema desproporción entre las emisiones de gas y los volúmenes de lava extruida, lo que significa que la mayor parte del magma desgasificado se ha acumulado en profundidad. Aunque el gas sale pasivamente la mayor parte del tiempo, se han registrado miles de eventos explosivos de magnitud débil a moderada, con columnas eruptivas de 100 a 7000 m arriba del cráter.

Presentaremos resultados obtenidos con cámara UV, satélites y Multigas que nos informan sobre los procesos que generan la desgasificación y las explosiones, así como sobre las razones posibles de la persistencia de la actividad durante más de 2 décadas. Series de tiempos del flujo de SO<sub>2</sub>, obtenidas con la cámara ultravioletas, evidencian una desgasificación pulsante con periodo dominante entre 2 y 5 minutos. Las explosiones de mayor magnitud están anticipadas por una disminución rápida del flujo de SO<sub>2</sub>, y un periodo

con emisión muy reducida de varios minutos a varios días. Mediciones del flujo de SO<sub>2</sub> por satélites y campañas puntuales de mediciones Multigas parecen indicar que la actividad persistente está alimentada por ingreso episódico de magma juvenil en el sistema (ver Figura 1 y Figura 2).

Revisando datos publicados u observaciones personales en otros volcanes latinoamericanos, creo haber identificado al menos 4 volcanes que presentan actividad volcánica similar a la del Popocatépetl con base en las mismas características. Construcciones frecuentes de domos pequeños o moderados, alta desgasificación pasiva, extrema desproporción entre magma desgasificado y magma extruido, explosividad relativamente baja y composición relativamente similar. Esta frecuencia sugiere la existencia de un régimen eruptivo estable para volcanes andesítico-dacítico con domos, y nos fuerza a reconsiderar el paradigma que considera los domos como tapones impermeables. Revisando la bibliografía de las actividades históricas en estos volcanes revisaremos los factores susceptibles de perturbar este régimen estable y de generar explosiones de mayor magnitud.



**Figura 1.** Mediciones geofísicas mediante equipos de cámara UV y Multigas, en el volcán Popocatepetl.



**Figura 2.** Proceso de desgasificación volcán Popocatepetl.



Volcán Sabancaya - estación de monitoreo geofísico Muccúrea

Sesión 3:  
**Gestión del riesgo volcánico**

# ATENCIÓN DE EMERGENCIAS VOLCÁNICAS RECIENTES EN EL PERÚ IMPLEMENTADAS POR EL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

**MSc Luisa Macedo Franco<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú, Urb. La Marina B-19 - Cayma, Arequipa, Perú  
(lmacedo@igp.gob.pe)

**Palabras clave:** volcanes activos, atención de emergencias volcánicas, prevención.

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El Instituto Geofísico del Perú, a través del Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), realiza el monitoreo permanente de 12 volcanes activos y potencialmente activos del sur peruano a través de redes geofísicas, geodésicas, geoquímicas y visuales instaladas en cada uno de los volcanes. La información técnico-científica es emitida de manera oportuna a través de alertas, reportes, boletines e informes vulcanológicos a las autoridades de los diversos niveles de gobierno para la toma de decisiones.

La mejor barrera de protección contra desastres de origen volcánico es la prevención y las emisiones de alertas oportunas. El IGP viene trabajando con las autoridades de las regiones Arequipa, Moquegua y Tacna en el asesoramiento continuo para la correcta toma de decisiones antes, durante y después de la reactivación de los volcanes.

Desde hace más de 20 años, el IGP viene trabajando en el monitoreo sistemático y en tiempo real sobre la actividad volcánica en el sur del Perú. Actualmente, cuenta con más de 20 investigadores especialistas en las diferentes ramas de investigación y monitoreo volcánico, los cuales emplean los métodos de monitoreo sísmico, geodésico, sensores remotos, imágenes y videos en tiempo real, sensores térmicos, geoquímica, gestión del riesgo volcánico y comunicaciones.

El IGP propicia charlas y talleres de capacitación a las autoridades de las diferentes regiones sobre los peligros volcánicos y acciones a implementarse antes, durante y después de las crisis volcánicas, especialmente en las Plataformas de Defensa Civil, centros comunales, instituciones educativas, universidades y público en general.

Por otro lado, el IGP propicia la organización de simulacros por erupción volcánica para la atención de probables emergencias volcánicas. Asimismo, participa en la elaboración de escenarios eruptivos con base en las erupciones volcánicas pasadas de cada volcán, ya que un mismo volcán pudiera presentar varios tipos de erupciones y, por consiguiente, varios tipos de escenarios eruptivos. Esta información es de suma utilidad para las autoridades, quienes, con base en ella, identifican las rutas y etapas de evacuación de la población en riesgo. Con base en los escenarios eruptivos, se elabora diferentes alertas según incremento de actividad volcánica, se identifica zonas seguras para la ubicación de albergues y se asesora a las autoridades sobre los procedimientos internacionales que se deben ejecutar para la atención de emergencias volcánicas.

Por otro lado, el IGP asesora y apoya a las autoridades en la elaboración de los planes de emergencia y contingencia, proporcionando información histórica y en tiempo real sobre la situación de la actividad volcánica a fin de establecer las acciones pertinentes a implementarse según el semáforo de alerta volcánica.



**Figura 1.** Participación en atención de emergencias volcánicas del Sabancaya y el Ubinas, así como también en la elaboración de planes de contingencia y organización de simulacro por erupción volcánica.



**Figura 2.** Asistencia y asesoramiento a autoridades en atención de emergencias volcánicas.

# LECCIONES APRENDIDAS LUEGO DE LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ, 1985

**Marta L. Calvache<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Servicio Geológico Colombiano, Diagonal 53 n.º 34 – 53, Bogotá, Colombia (mcalvache@sgc.gov.co)

**Palabras clave:** volcán Nevado del Ruiz, flujo de lahar

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El volcán Nevado del Ruiz, con una elevación de más de 5300 m s. n. m., es un volcán localizado en la parte central de Colombia. El 13 de noviembre de 1985, el volcán hizo erupción, episodio donde se generaron flujos piroclásticos que, a su vez, dieron lugar a flujos de lodo o lahares. Estos flujos bajaron por varios de los ríos que forman el drenaje del volcán, creciendo en volumen y afectando centros poblados ubicados en zonas mucho más bajas con relación al cráter del volcán. Zonas pobladas en el occidente, como los municipios de Villa María y Chinchiná, fueron afectadas y, en el oriente, las poblaciones de Armero, Mariquita y Honda fueron severamente afectadas. La población de Armero, localizada a 400 m s. n. m. fue destruida en su totalidad. Más de 25 000 personas murieron (ver Figura 1).

Como consecuencia de esta tragedia, Colombia adoptó políticas que definen responsabilidades,

programas, actividades de lo que hoy se llama el Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres. Desde 1985, el Servicio Geológico Colombiano-SGC, antes INGEOMINAS, tiene la responsabilidad de investigar, monitorear y evaluar la amenaza de procesos volcánicos. En la actualidad, el SGC tiene tres Observatorios Vulcanológicos en las ciudades de Manizales, Popayán y Pasto, desde los cuales son monitoreados 23 volcanes activos con aproximadamente 600 estaciones. Desde 1985, se adelanta el estudio de la actividad volcánica para entender el comportamiento del volcán como la base para la evaluación y zonificación de la amenaza volcánica.

Adicionalmente, se considera que la apropiación social del conocimiento permitirá que el conocimiento de los volcanes se convierta en una herramienta en la toma de decisiones informadas por parte de la comunidad, autoridades e instituciones, para de esta forma tener comunidades más preparadas ante una actividad volcánica.



**Figura 1.** Cráter Arenas en el volcán Nevado del Ruiz, elevación 5321 m s. n. m., y la ciudad de Armero destruida por lahares, ubicada en el oriente del volcán, a 400 m s. n. m.

# ESTRATEGIAS MULTIDISCIPLINARIAS PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS PRODUCIDOS POR CENIZA VOLCÁNICA

**Pablo Forte<sup>1</sup>, Lucía Dominguez<sup>2</sup>, Amalia Ramires<sup>3</sup>, Costanza Bonadonna<sup>2</sup>, Lucía de Abrantes<sup>4</sup>, Joaquín Llano<sup>1</sup>, Sebastián García<sup>5</sup>, Patricia Sruoga<sup>6</sup> y Andrés Folguera<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Estudios Andinos (IDEAN) (UBA – CONICET), Buenos Aires, Argentina (fortep@gl.fcen.uba.ar)

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Ginebra, Suiza

<sup>3</sup> Tecnicatura Superior en Conservación de la Naturaleza, Instituto de Educación Física (IEF 9-016) (DGE), Mendoza, Argentina.

<sup>4</sup> Instituto de Altos Estudios Sociales (IDAES), Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), Argentina

<sup>5</sup> OAVV, Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Av. General Paz 5445 (colectora)

<sup>6</sup> CONICET SEGEMAR Av. General Paz 5445 Parque Tecnológico Miguelete (Edificio 25), San Martín, Buenos Aires, Argentina

**Palabras clave:** ceniza volcánica, impacto, removilización eólica, Cordón Caulle, Peteroa

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

Entender el efecto que las erupciones volcánicas tienen sobre las comunidades es uno de los eslabones fundamentales en el diseño de estrategias efectivas para la reducción del riesgo de desastre. Por este motivo, durante las últimas décadas, la comunidad científica ha invertido una gran cantidad de esfuerzo en el desarrollo de metodologías que permitan la evaluación de los impactos asociados a los distintos procesos volcánicos que tienen lugar durante una erupción.

Entre todos los peligros volcánicos, la caída de ceniza (i.e. fracción de la tefra con diámetro <2 mm) es el más frecuente. También, es aquel peligro que tiene la capacidad de afectar a un mayor número de personas y comunidades, incluso a miles de kilómetros de distancia del centro de emisión. La caída de ceniza puede afectar una multiplicidad de elementos y actividades de las sociedades y el medioambiente. Representa, además, un peligro para la salud física y emocional de las personas. Si bien existen metodologías que permiten modelar y estimar estos daños y efectos sin necesidad de una erupción, resulta fundamental la retroalimentación permanente de

estos abordajes con la información proveniente de las evaluaciones postevento.

En este trabajo presentamos el desarrollo y aplicación, en dos casos de estudio, de una estrategia metodológica mixta para la evaluación, postevento, de los impactos producidos por la ceniza volcánica. A partir de la conformación de un equipo de trabajo multidisciplinario y la implementación combinada de herramientas de las ciencias sociales (ej. entrevistas, cuestionarios, análisis de publicaciones periodísticas) y naturales (ej. análisis químicos, datos meteorológicos, observaciones de campo), caracterizamos el impacto que la caída de ceniza y su subsecuente removilización por acción del viento tuvieron en dos comunidades rurales argentinas.

El primer caso de estudio corresponde a la comunidad rural localizada en la cuenca alta del río Grande, en el sector sur de la provincia de Mendoza, y afectada por la última erupción del volcán Peteroa. El 13 de octubre de 2018, tras 7 años de reposo, este volcán comenzó un nuevo ciclo eruptivo de baja magnitud e intensidad que tuvo una duración aproximada de 6 meses. La erupción estuvo caracterizada por actividad de

tipo freática a freatomagmática, con la emisión de ceniza traqui-andesítica hasta 2 km sobre el nivel del cráter. Durante gran parte del período eruptivo, este sector de los Andes estuvo habitado por productores agropecuarios –también conocidos como puesteros– quienes desarrollaban prácticas vinculadas a la ganadería extensiva y trashumante (Figura 1A). Tres meses después de concluida la erupción, visitamos la zona para recuperar sus testimonios. Utilizando un cuestionario guía con 39 preguntas, se entrevistaron 19 puesteros con el objetivo de evaluar el impacto que la erupción tuvo en sus actividades, bienes y salud, así como también para analizar la asistencia que recibieron durante este evento volcánico. De manera complementaria, se llevaron adelante análisis granulométricos y de lixiviados en cenizas para evaluar su peligrosidad para la salud humana y potencial de impacto en el ecosistema.

El segundo caso de estudio comprende a la comunidad rural de Ingeniero Jacobacci, ubicada en la estepa patagónica argentina, en un entorno geográfico, paisajístico y ambiental distinto al del primer caso. A pesar de encontrarse a más de 250 kilómetros del frente volcánico activo, esta zona se vio severamente afectada por la erupción del Cordón Caulle que tuvo inicio el 4 de junio de 2011 y se extendió hasta mediados de 2012. Esta erupción fue considerablemente mayor a la de

Peteroa, con el desarrollo de columnas de hasta 14 km de altura y la emisión de ~1 km<sup>3</sup> de tefra de composición riolítica. Complementariamente a la caída primaria de ceniza, Ingeniero Jacobacci fue escenario de numerosos eventos de removilización masiva de este material por acción eólica (Figura 1B). En la visita a la zona realizada en febrero de 2016, casi 4 años después de culminada la erupción, entrevistamos a 21 productores agropecuarios aplicando un cuestionario de 41 ítems, combinando preguntas de respuesta abierta y cerrada. A diferencia del caso de Peteroa, si bien se hicieron preguntas referidas a los efectos asociados a la caída de ceniza, el eje estuvo puesto en el impacto de los eventos de removilización. De manera complementaria, se utilizaron reportes de periódicos, datos meteorológicos y observaciones de campo para caracterizar este proceso secundario.

El análisis comparativo de estas dos comunidades –con diferentes características socioculturales y afectadas por erupciones de distinta magnitud y duración– revela, por un lado, una multiplicidad de impactos con diversos alcances. Por otro lado, este ejercicio pone en evidencia que, al momento del desarrollo de estrategias de gestión del riesgo, deben considerarse las particularidades, sociales, económicas y ambientales de cada comunidad expuesta.



**Figura 1.** Comunidades rurales afectadas por ceniza volcánica. A Puesteros recorriendo sus campos durante la erupción 2018-2019 del volcán Peteroa. B Productores agropecuarios de la zona de Ingeniero Jacobacci realizando tareas en su campo durante un evento de removilización masiva de ceniza volcánica en octubre 2011.

# PROYECTO BICENTENARIO “NUEVO MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN MISTI”: HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS EN AREQUIPA

**Jersy Mariño<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Observatorio Vulcanológico de Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Arequipa, Perú (jmarino@ingemmet.gob.pe)

**Palabras clave:** volcán Misti, mapa de peligro

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El INGEMMET ha iniciado el año 2020 la elaboración de un nuevo mapa de peligros del volcán Misti, el cual estará listo para el Bicentenario de la Independencia del Perú y reemplazará al publicado en el año 2007. Para la elaboración del nuevo mapa se contará con resultados de nuevas investigaciones científicas desarrolladas en los últimos 10 años por el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET e instituciones colaboradoras. Estas investigaciones han permitido conocer mejor las características de procesos eruptivos recientes del volcán Misti. Además, se vienen utilizando nuevas metodologías y herramientas para la evaluación y zonificación de peligros volcánicos, entre ellos, el modelamiento computacional de emplazamiento de caídas de ceniza, flujos piroclásticos, lahares y avalanchas de escombros. Para la realización de estos trabajos se ha generado información cartográfica de alta resolución (modelos de elevación digital-DEM), obtenido a partir de imágenes satelitales Pléiades de la Agencia Espacial Europea, captados entre mayo y julio del 2020 especialmente para este proyecto. Para zonas que requieren mayor precisión, se viene generando información cartográfica a través del sobrevuelo con drones y el uso de equipos GPS-diferencial.

Este nuevo mapa de peligros será una herramienta importante para la planificación urbana, el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo de desastres en la ciudad de Arequipa. También, será útil para la implementación actual del Sistema de Alerta Temprana (SAT) del volcán Misti. Como sabemos, hoy un SAT debe comprender 4 componentes: conocimientos de los riesgos (vulnerabilidad y peligros), monitoreo y alerta,

difusión/comunicación de alertas y capacidad de respuesta de la población. En tal sentido, el mapa de peligros podrá utilizarse en la implementación de la primera y cuarta componente del SAT.

El nuevo mapa de peligros del volcán Misti se viene elaborando en cooperación con el Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD) y la Universidad Clermont-Auvergne (UCA-Francia). También participan en el proyecto instituciones nacionales como el CENEPRED, el INDECI, el Gobierno Regional de Arequipa y la municipalidad provincial de Arequipa.

# EVALUACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO EN UBINAS

*Juvenal Medina Rengifo<sup>1</sup>, Roberth P. Carrillo Elizalde<sup>1</sup>, Oscar Aguirre<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> CENEPRED, Av. Del Parque Norte 313 – 319, San Isidro, Lima, Perú,  
(jmedina@cenepred.gob.pe; rcarrillo@cenepred.gob.pe; oaguirre@cenepred.gob.pe)

**Palabras clave:** *Prevención, reducción, riesgo, volcanes, gestión del riesgo de desastres, evaluación del riesgo.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ubinas es el volcán más activo del sur del Perú debido a que presentó 26 periodos eruptivos en los últimos 500 años (Rivera et al., 2011). El volcán Ubinas se ubica 70 km al noreste de Arequipa, en el distrito de Ubinas, provincia General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua. Recientemente, entre los períodos 2006-2009, 2013-2017 y 2019 registró erupciones explosivas de baja magnitud, con Índice de Explosividad Volcánica de entre 1 y 2 (IEV 1-2).

Ante estos escenarios de riesgo de desastres asociados a la actividad volcánica, las entidades integrantes del Sistema Nacional de la Gestión del Riesgo de Desastres-SINAGERD tienen como objetivo principal contribuir en la implementación de los procesos de Prevención y Reducción del Riesgo, a partir de la generación del conocimiento del riesgo y a través de los informes de evaluación del riesgo, escenarios de riesgo, así como la formulación e implementación de los planes de prevención y reducción de riesgo, en el cual están comprendidas las medidas de control del riesgo para minimizar los efectos e impactos que podrían generar la actividad volcánica en sus diferentes manifestaciones, además de promover el incremento de la resiliencia de las poblaciones expuestas.

Este estudio se ha realizado tomando como referencia las erupciones del volcán Ubinas de 2006, las cuales ocasionaron pérdidas directas a la población de Ubinas, quienes han tenido que desplazarse a un albergue temporal, abandonando sus viviendas, sus actividades agrícolas y pecuarias. La gestión del riesgo por la crisis volcánica involucró la evacuación de 1600 personas de 5 localidades contiguas. El Estado peruano tuvo que afrontar gastos por más de 10 millones de soles (Mariño et al., 2014).

Entre los poblados ubicados en el área de influencia del Ubinas se encuentran Querapí y Ubinas con nivel de exposición Muy Alto; Socohaya, San Miguel, Huatagua, Huarina y Escacha con nivel de exposición moderado; finalmente, Anascapa y Matalaque con exposición baja.

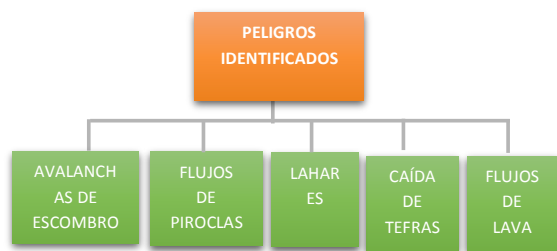
Este escenario de riesgo de desastre asociado a la actividad del Ubinas fue una oportunidad para que un grupo multidisciplinario, integrado por entidades técnico-científicas (IGP, Senamhi, Ingemmet), instituciones técnicas (Cenepred, Cofopri e INEI) y el Gobierno Regional de Moquegua, realicen la evaluación del riesgo que, a su vez, se constituye en el instrumento base para la formulación de planes de prevención y reducción del riesgo y que contienen proyectos y actividades, cuya ejecución contribuye a la prevención y reducción del riesgo de desastres.

## 2. EVALUACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO DE UBINAS

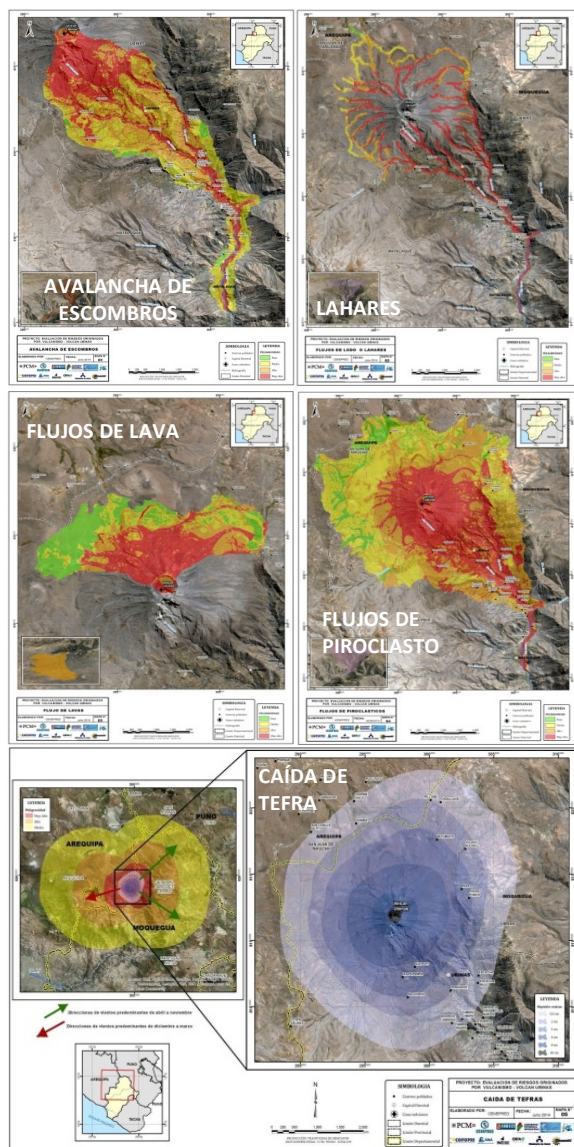
### *Identificación y caracterización del peligro*

El año 2014, el Gobierno regional de Moquegua elaboró el "Informe de Evaluación del Riesgo en el área de Influencia de volcán Ubinas", en la cual participaron entidades técnico-científicas como IGP, Ingemmet, Senamhi, ANA, así como del Cenepred, Indeci, Cofopri y el Ministerio de Salud.

Posteriormente, de acuerdo a los registros históricos, inventarios de peligros, información existente y el trabajo de campo realizado por el equipo multidisciplinario, se ha identificado que en las inmediaciones del volcán Ubinas podrían ocurrir los peligros de avalancha de escombros, flujos de piroclastos, lahares, caída de tefras y flujos de lodos (Figura 01). La ocurrencia de los mismos podría afectar a las poblaciones que se asientan contiguas al volcán.



**Figura 1:** Peligros evaluados en las inmediaciones del volcán Ubinas.  
Fuente: GORE Moquegua



**Figura 2.** Mapas de peligro por avalancha de escombros, lahares, flujos de lava, flujos de piroclasto y caída de tefra.  
Fuente: Gore Moquegua, 2014 (asistencia de entidades técnicas científicas y Cenepred).

Asimismo, los niveles de peligro fueron determinados en función al parámetro de evaluación (IEV) y el análisis de la susceptibilidad (pendiente, geomorfología, litología, hidrogeología y sismicidad), cada uno de ellos planteado por tipo

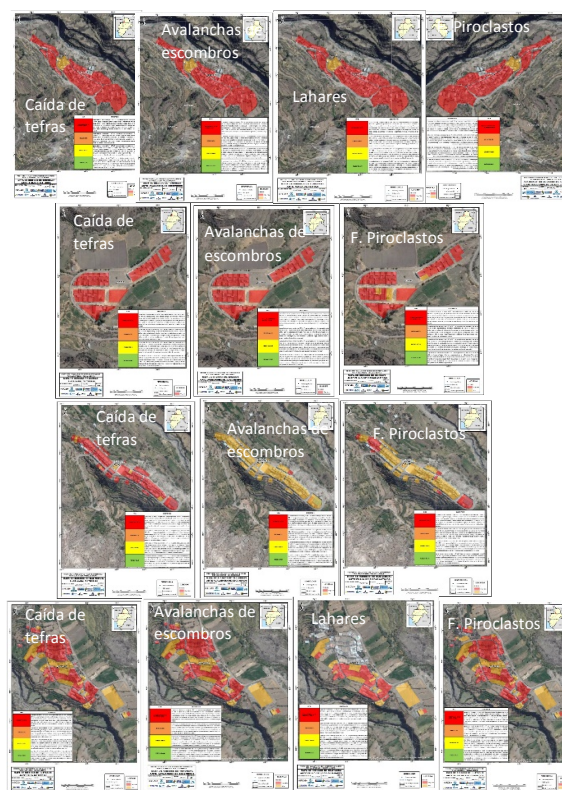
de evento debido a la dinámica y comportamientos propios de cada evento). Los mapas de peligro han permitido identificar elementos expuestos, tales como poblaciones, viviendas, infraestructura pública (centro de salud e instituciones educativas), así como predios rurales (Figura 02).

### **Análisis de la vulnerabilidad**

El análisis de la vulnerabilidad fue desarrollado con base en los factores exposición, fragilidad y resiliencia de las dimensiones social y económica. Cabe resaltar que el poblado de Querapi presenta vulnerabilidad Muy Alta debido a los tipos de construcción que se han identificado.

### **Determinación del riesgo**

Con base en los mapas de peligro y los resultados del análisis de la vulnerabilidad, se han obtenido mapas de riesgo (Figura 3):



**Figura 3.** Mapas de riesgo de los sectores Tonohaya (primera fila), Querapi, (segunda fila) San Miguel (tercera fila) y Huatagua (cuarta fila).  
Fuente: Gore Moquegua, 2014 (asistencia de entidades técnicas científicas y Cenepred.).

## **3. CONCLUSIONES**

La Gestión del Riesgo de Desastres ante los variados tipos de peligros asociados a la actividad volcánica requiere de instrumentos

técnicos basados en un adecuado conocimiento del riesgo desde los Informes de Evaluación del Riesgo, escenarios de riesgo y los Planes de Prevención del Riesgo de Desastres (PPRRD).

Los estudios de Evaluación del Riesgo determinaron que hay comunidades que presentan niveles de riesgo Muy Alto y Alto debido a su proximidad al volcán Ubinas, por lo que se sugirió elaborar un plan de reasentamiento poblacional progresivo a los centros poblados de Querapi, Tonohaya y Huatahua ubicados en zonas de Muy alto riesgo no mitigable, (Ley n.º 29869, Ley de reasentamiento poblacional).

Los informes de Evaluación del Riesgo constituyen los instrumentos técnicos esenciales que permiten sustentar una propuesta técnica y fundamentar la necesidad de iniciar el Plan de Reasentamiento Poblacional de las zonas expuestas a Riesgos Muy Alto No Mitigable, como es el caso de Querapi. Actualmente, el Gobierno Regional de Moquegua viene trabajando en la implementación del Plan de Reasentamiento, habiendo conformado su equipo técnico mediante la RJ n.º 375-2020GR/MOQ.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

Rivera, M.; Mariño, J.; Thouret, JC. (2011). Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 46, 88 p.

Mariño J.; Rivera M.; Nuñez, S.; Luque, G, 2014, Evaluación de peligros geológicos en el valle de Ubinas – Moquegua. Informe Técnico N A6641.

Gobierno Regional de Moquegua et al, 2014. Informe de Evaluación de riesgos en el área de influencia del volcán Ubinas. (<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/525>)

# VIGILANCIA Y PRONÓSTICOS DE DISPERSIÓN DE CENIZAS PARA LA SEGURIDAD AÉREA: EL CASO DEL VOLCÁN SABANCAYA

**Germán Facundo Russián<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Servicio Meteorológico Nacional - VAAC Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina  
(grussian@smn.gov.ar)

**Palabras clave:** Sabancaya, VAAC, vigilancia

## RESUMEN DE LA PRESENTACIÓN:

El Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas Buenos Aires (VAAC) es uno de los 9 centros a nivel mundial encargados de dar aviso por la presencia de ceniza volcánica a la aeronavegación dentro del sistema de Vigilancia de Volcanes en Aerovías Internacionales bajo acuerdos regionales de aeronavegación. El área de responsabilidad del VAAC Buenos Aires está comprendida entre los 10° y 90° de latitud sur y entre los 10° y 90° de longitud oeste (ver Figura 1), dentro de la cual presenta más de 150 volcanes activos. Para cumplir con este fin, los pronosticadores del VAAC vigilan los datos de los satélites geoestacionarios y de órbita polar y mantienen contacto estrecho con los Observatorios Vulcanológicos de la región, las Oficinas de Vigilancia Meteorológica y los Centros de Control de Área de cada país. Ante la presencia de ceniza en la atmósfera, el VAAC emite un mensaje de Aviso de Cenizas Volcánicas que incluye datos acerca de la extensión horizontal y vertical de la pluma de ceniza observada junto con los pronósticos de dispersión de la pluma a diferentes plazos de tiempo basados en el análisis de pronósticos numéricos de dispersión. Dichos avisos son distribuidos de manera oportuna a través del sistema de comunicaciones aeronáutico y, finalmente, son utilizados para la toma de decisión sobre las operaciones aéreas en cada país.

Dentro de este marco, el VAAC Buenos Aires ha emitido cerca de 10000 Avisos de Cenizas Volcánicas para su región de responsabilidad desde el año 1998, dentro de los cuales más de 3000 avisos corresponden al volcán Sabancaya. Las emisiones de ceniza volcánica, producto de columnas eruptivas de variable duración e intensidad del volcán Sabancaya, junto con la variabilidad

climática de la zona y la complejidad topográfica, hicieron en ocasiones un desafío la detección y el pronóstico de dispersión de cenizas. Ayudado por un gran flujo de información, que incluye reportes de pilotos en vuelo que observaron la pluma de cenizas, reportes del Centro Vulcanológico Nacional del IGP y el acceso a cámaras web de distintos organismos, se ha reducido el tiempo de detección ante cambios significativos en la emisión y la dispersión de la pluma de ceniza. Aquí se presentan algunos ejemplos relativos a este volcán que muestran el éxito de la gestión de la información, la comunicación y la colaboración entre los miembros del sistema de Vigilancia de Volcanes en Aerovías Internacionales en tiempo real para la toma de decisión oportuna junto con sus desafíos.

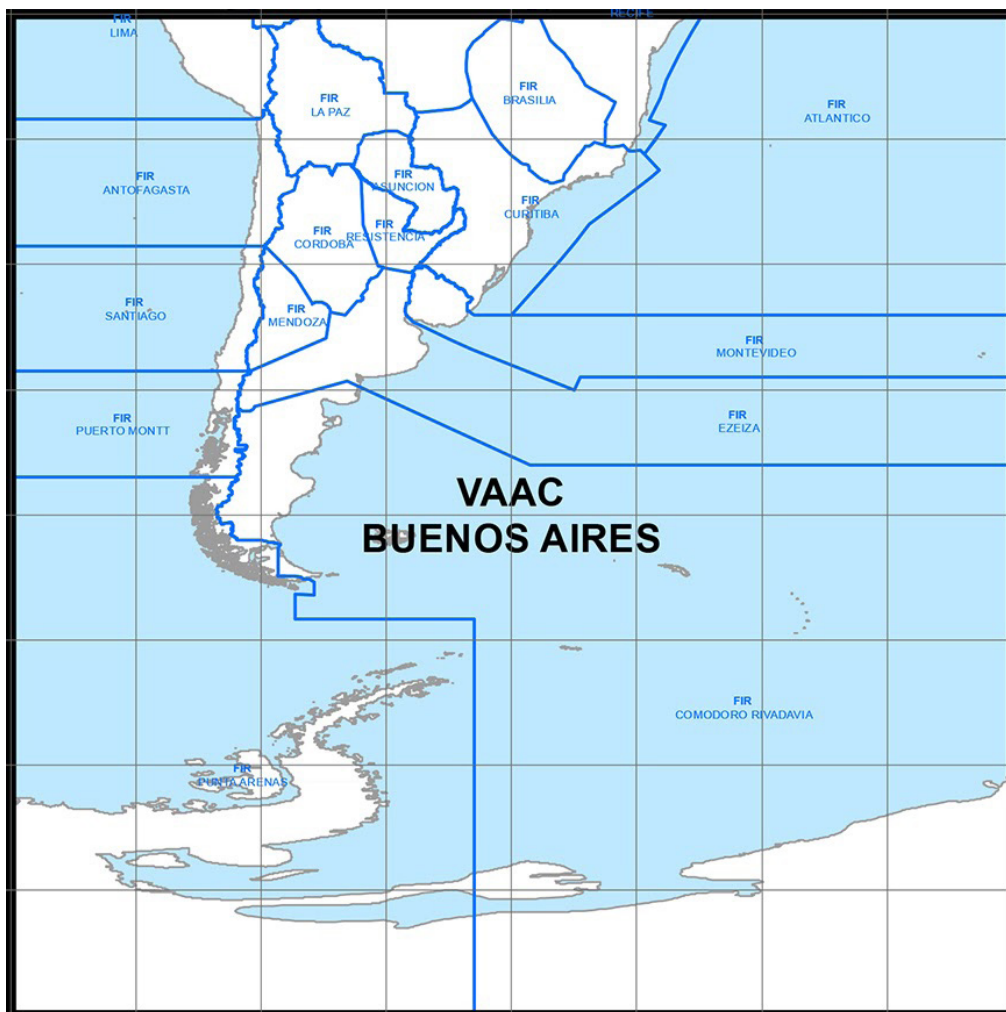


Figura 1. Área de responsabilidad del VAAC Buenos Aires.



Calle Badajoz 169,  
Urb. Mayorazgo IV Etapa,  
Ate, Lima, Perú  
Central Telefónica: (511) 317 2300

<http://www.gob.pe/igp>

 <http://www.facebook.com/igp.peru>

 [http://twitter.com/igp\\_peru](http://twitter.com/igp_peru)

 [https://www.youtube.com/c/igp\\_videos](https://www.youtube.com/c/igp_videos)



Coorganizadores:

