

## MONITOREO DE LA INTRANQUILIDAD OBSERVADA EN EL VOLCÁN SABANCAYA (PERÚ) EN 2013, Y SU APOORTE A LA GESTIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO

### MONITORING VOLCANIC UNREST OBSERVED IN THE SABANCAYA VOLCANO (PERU) IN 2013, AND ITS CONTRIBUTION TO VOLCANIC RISK MANAGEMENT

MACEDO O., TORRES J. L., MACHACCA R., CENTENO R., TICONA J., AGUILAR V., DEL CARPIO J., PORTUGAL D., CHOQUE E., MALPARTIDA A. & VILLAFANI R.

#### RESUMEN

Luego de quince años de reposo, el volcán Sabancaya presenta nuevamente signos importantes de intranquilidad volcánica a partir del 22 de febrero 2013. Los resultados de observaciones geofísicas y visitas *in situ* que se han efectuado en cuatro meses de monitoreo, sugieren un proceso de reactivación muy probable; sin embargo, no es posible conocer el tiempo por transcurrir hasta que ocurran las primeras explosiones, que puede ser de meses y hasta años.

Los datos sísmicos de los principales eventos de fractura o dVTs que han ocurrido en la zona, permiten estimar que el magma involucrado en esta próxima erupción sería del orden de los 6.6 Mm<sup>3</sup>, lo cual correspondería a una erupción muy moderada (IEV2), menor a la erupción 1990-98 de este mismo volcán. Este conocimiento aportado por la sismología volcánica debe servir a las autoridades del Sistema de Defensa Civil para el manejo del riesgo volcánico asociado al Sabancaya.

**Palabras clave:** monitoreo, erupción, Sabancaya, riesgo volcánico.

#### ABSTRACT

After fifteen years of tranquility, the Sabancaya volcano began to show evidence of volcanic unrest since February 22, 2013. The result of geophysical and in-situ monitoring realized during a period of four months suggest the volcano is probably undergoing a process of reactivation. There is no way, however, to estimate time until the first explosion will occur, which could be a matter of months or even years.

Based on distal volcano-tectonic events that have occurred near the volcano, we estimate a magma volume of 6.6 Mm<sup>3</sup> for the next eruption process. This volume corresponds to a moderate eruption of VEI 2, which could be smaller than the last 1990-98 eruption of this volcano. The knowledge provided by volcanic seismology could serve civil defense authorities in the management of an eventual volcanic crisis at the Sabancaya volcano.

**Keywords:** monitoring, eruption, Sabancaya, volcanic risk.

## Introducción

El volcán Sabancaya (15.78° S, 71.85° W, 5950 m), uno de los estratovolcanes de importante actividad reciente, pertenece a la cadena volcánica del sur del Perú y se encuentra ubicado a 19 km al sureste del pueblo de Maca (valle del Colca) y a 75 km al noroeste de la ciudad de Arequipa. Si bien, los registros históricos dan cuenta de erupciones en los años 1750 y 1784, este volcán es conocido en la región por haber presentado una erupción de larga duración que se extendió entre 1990-1998, y se caracterizó por actividad intermitente

sin llegar a experimentar erupción paroxismal, alcanzando un VEI 2 a 3 (Gerbe y Thouret, 2004).

Aun cuando cesaron las emisiones de tefras con posterioridad a 1998, tanto la actividad sísmica como la fumarólica han continuado con intermitencia desde entonces. Recientemente, desde fines de 2012 los pobladores de la zona han reportado haber observado signos visibles de intranquilidad, tales como intensas emisiones fumarólicas y ruidos esporádicos provenientes del cráter. La intranquilidad volcánica se agudizó el 22 de febrero 2013, fecha en que ocurrieron tres sismos superficiales, sentidos en las inmediaciones, provocan-

do además el colapso de doce viviendas en el poblado de Maca. Inmediatamente, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) procedió a incrementar y densificar las observaciones geofísicas y visuales en las proximidades del aparato volcánico.

Este trabajo muestra las primeras observaciones y resultados obtenidos en relación a la probable reactivación del volcán, así como la utilidad de los mismos en la gestión del riesgo volcánico.

**Actividad sísmica**

La actividad sísmica intensa en la zona del volcán Sabancaya se inició el 22/2/2013. El Servicio Sismológico del Instituto Geofísico del Perú (IGP) reportó un “enjambre” de cuatro sismos ocurridos en el lapso de veinticuatro horas en la zona cercana al volcán, con magnitudes 4.6, 5.2, 5.0 y 4.5 ML y profundidades menores a los

diez kilómetros. Inmediatamente, el Área de Vulcanología procedió a incrementar y densificar las observaciones geofísicas y visuales en las proximidades del aparato volcánico, iniciándose con la instalación y operación de una estación sísmica digital en CAJ, situada a once km al SE del cráter.

Posteriormente, el IGP ha completado la instalación de ocho estaciones sísmicas digitales Guralp CMG-6TD y RefTek, con sensores 3C, banda ancha (30s), tres de las cuales transmiten la data por telemetría hasta los laboratorios del IGP en Arequipa.

Los primeros resultados del monitoreo sísmico muestran una intensa actividad sísmica localizada principalmente fuera del área que ocupa el edificio volcánico (Figura 1), especialmente la zona entre seis y doce kilómetros al NE del cráter, y con profundidades menores a los diez km.

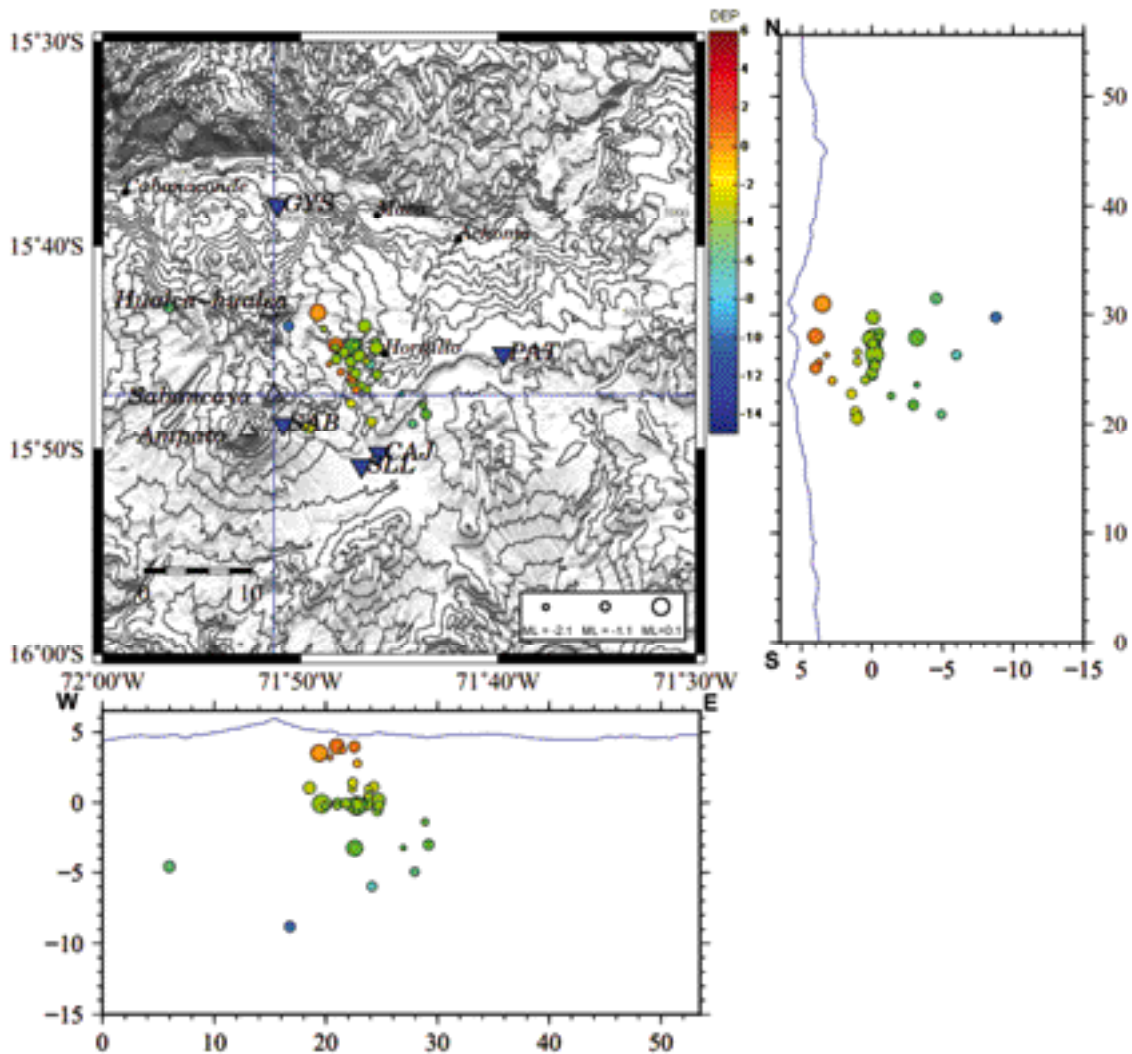


Figura 1. Mapa y perfiles de sismicidad observada el 28/02/2013 en la zona del volcán Sabancaya. Triángulos azules= estaciones sísmicas digitales.

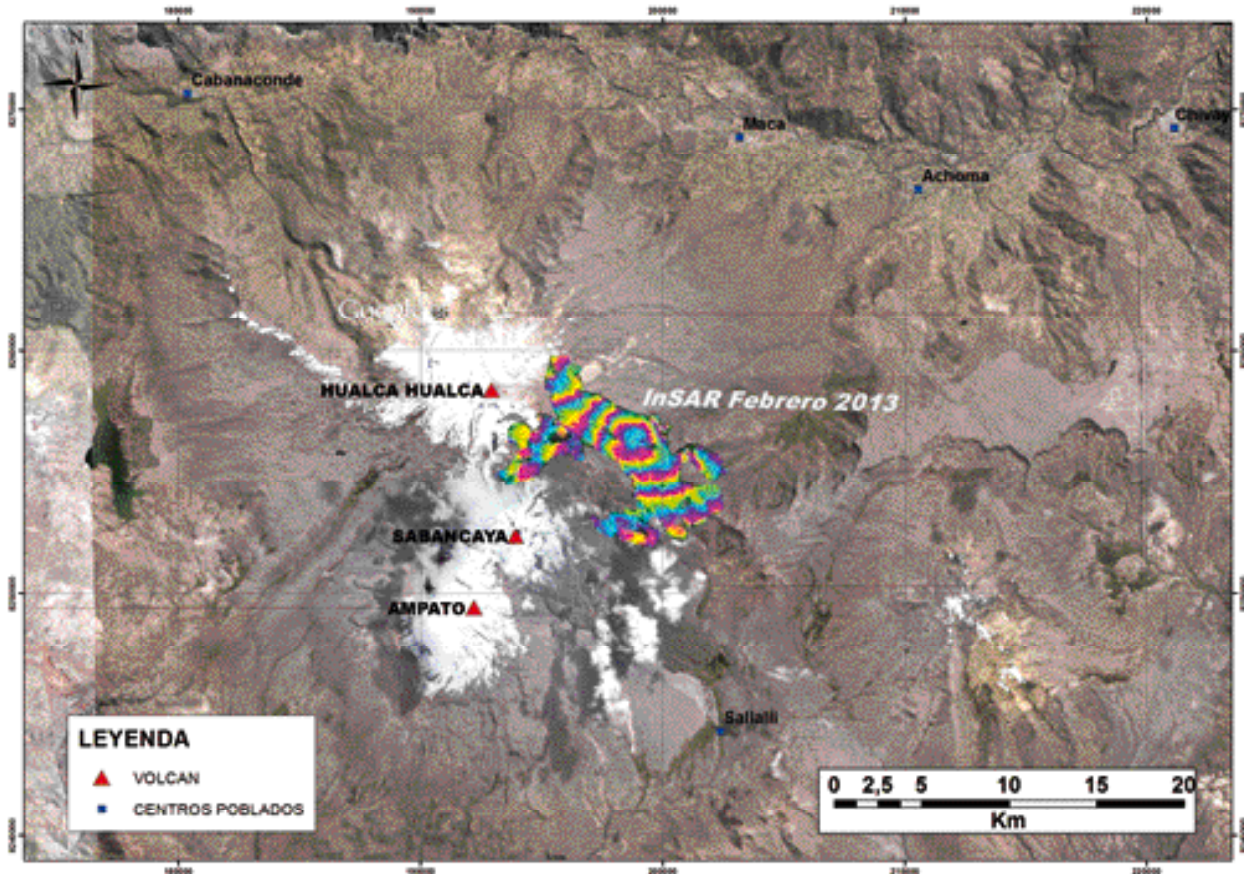


Figura 2. Interferograma InSAR (14/01/12-29/03/13) de la zona del volcán Sabancaya. La zona de deformación central se correlaciona con la zona de epicentros sísmicos de la Figura 1.

### Deformación del suelo

Interferogramas InSAR de la zona (Figura 2) correspondientes al intervalo 14/01/12-29/03/13 (comunicación personal M. Pritchard; IGP, 2013g), muestran un área de subsidencia de hasta 7 cm que muestra buena correlación con la zona de epicentros de los sismos ocurridos en días siguientes a los 3 fuertes eventos del 22 de febrero (Figura 1).

### Registros de temperatura

Datos de temperatura han sido obtenidos en dos zonas, una cercana (inmediaciones del cráter) y otra lejana (zona situada a trece kilómetros al norte del cráter: Puye-Puye, Pinchollo). Se ha medido temperaturas moderadas, del orden de 31°C como máximo (mediciones con termómetro IR) en fumarolas que salen de fisuras del material rocoso en las inmediaciones del cráter. Estos valores son compatibles con datos de imágenes satelitales ASTER-termal infrarrojos, que dan cuenta de una anomalía térmica de 31°C sobre el fondo (Figura 3), identificada en zona próxima al cráter el 24/4/13 (comunicación personal M. Pritchard; IGP, 2013h).

Entre tanto, en las fuentes termales lejanas (sector Pinchollo, Puye-Puye) se midieron valores de 83°C, los cuales son similares a los obtenidos en años pasados.

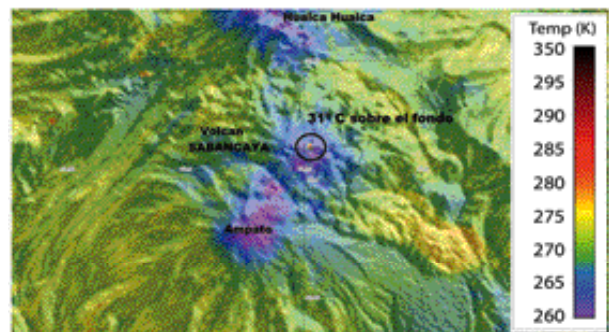
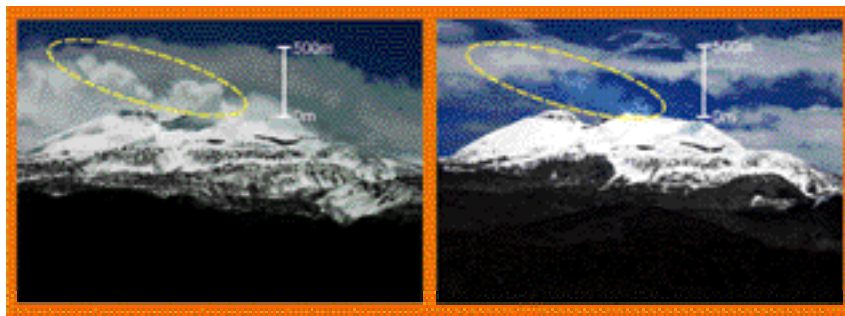


Figura 3. Imagen ASTER-termal infrarrojos, nocturna, de la zona de cráter del volcán Sabancaya, tomado el 24/4/2013.

### Observaciones visuales

Se ha realizado frecuentes y prolongadas visitas a la zona del volcán, lo que ha permitido efectuar importantes observaciones de la actividad fumarólica. Asimismo, se ha recogido las observaciones hechas por los pobladores. A continuación se presenta un resumen:

- ◆ Pobladores de Sallalli y Cajamarca (11 km al s y se del cráter) refieren que en forma esporádica, en diversas ocasiones durante 2012 se observó fuertes emisiones de fumarolas blanquecinas. Sin embargo desde octubre-noviembre 2012 se incrementan las fumarolas. Los primeros días de diciembre 2012, se oyen ligeros “rugidos” que provienen del cráter.



**Figura 4.** Emisión de fumarolas en el volcán Sabancaya. (Izquierda) Inicialmente solo se observaba de color blanquecino. (Derecha) Después del 14 de marzo ocasionalmente se observa emisiones azulinas.

- Durante los meses de febrero a junio 2013, las emisiones fumarólicas alcanzan alturas variables, generalmente <600 m de altura por encima del cráter, y nunca sobrepasan los 1,000 m de altura (IGP, 2013a; IGP, 2013b; IGP, 2013c; IGP, 2013d; IGP, 2013e; IGP, 2013f; IGP, 2013i).
- El 23/2/2013: aun cuando hay nubes y lluvia, se observa abundantes emisiones fumarólicas saliendo del cráter, y que el viento desplaza hacia el suroeste (IGP, 2013a).
- El 27/2/2013: a las 7:38 hora local, se observa claramente dos emisiones verticales simultáneas de fumarolas, una blanquecina (sector suroeste) y otra grisácea (sector noreste). (IGP, 2013b).
- El 14/3/2013: entre las 9-12 am se observa repetidas emisiones de gases azulinos, probablemente gas magmático SO<sub>2</sub> (IGP, 2013e). Posteriormente se hicieron mediciones del flujo de gas SO<sub>2</sub> mediante un instrumento mini-DOAS, estimándose valores máximos de 79 ton/día (Macedo, Ramos, Ticona, Masías, Machacca, Castillo *et al.*, 2013).
- El 16/5/2013: se efectúa una visita al cráter (IGP, 2013i). Los resultados de las observaciones son:
  - Dimensiones aproximadas del cráter: diámetro = 300-350m; profundidad = 200m.
  - Intensa emisión de gases de coloración blanquecina (vapor de agua) y azulina (dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, gas magmático).
  - En el fondo del cráter, hay dos sectores con mayor emisión: sector Norte y sector Suroeste; en éste último acompañados de fuerte ruido. Los dos sectores de emisión habían sido observados remotamente el 27 febrero.
  - Coloraciones amarillentas (depósitos de azufre) en la base del cráter.
  - No hay indicios de lava en el cráter, ni de depósitos de emisiones solidas (ceniza, proyectiles balísticos, etc.) en los exteriores, que se encontraba nevado. Se deduce, por tanto, que tampoco ha ocurrido ninguna explosión de tipo freático.
  - Temperatura en fisuras fuera del cráter, sector noreste = 31°C, con termómetro IR.

## Discusión

Como resultado de observaciones en más de sesenta erupciones en el mundo, White y McCausland (2013) recientemente han publicado un modelo de evolución de la sismicidad en inmediaciones de un volcán en general, inmediatamente antes y durante un proceso eruptivo. Ellos muestran que uno de los signos bien claros la reactivación de un volcán consiste en la ocurrencia de sismos de fractura, superficiales, que inicialmente se presentan fuera del edificio volcánico, y que ellos denominan dVT (volcanotectónico distal). Además, White (2011) ha observado que estos sismos frecuentemente se presentan en “enjambre”. Esta sismicidad cambia posteriormente, no solo de lugar (se acerca paulatinamente a la zona de cráter) sino de tipo (aparición de sismos asociados al paso de fluidos), para desembocar finalmente en explosiones primero freáticas y posteriormente, si se da el caso, magmáticas.

En el caso del volcán Sabancaya, al parecer este patrón de evolución se habría ya observado durante la anterior erupción 1990-98. En esta nueva oportunidad, los signos de intranquilidad que se observan actualmente coinciden con el modelo expuesto por White (2011) y por White y McCausland (2013). En efecto, se han observado “enjambre” de sismos el 22-23 de febrero 2013, y desde entonces se observa intensa sismicidad que ocurre fundamentalmente fuera del edificio volcánico, tratándose predominantemente de sismos de tipo fractura (Figura 5) que ocurren a profundidades superficiales (Figura 1).

Esta sismicidad superficial se correlaciona con la deformación registrada mediante INSAR. Paralelamente, la actividad fumarólica va incrementando con predominio de la emisión de vapor de agua pero ya con la aparición de limitados volúmenes de gas magmático SO<sub>2</sub>. Asimismo, la temperatura en superficie a nivel del cráter es todavía baja.

La última erupción (IEV=2 a 3) del volcán Sabancaya ocurrió entre 1990-1998, con emisión de cenizas hasta 5 km de altura y dispersión preferente hacia el Este en unos 20 km de distancia, y ocurrencia de lahares. Cabe resaltar que en esa oportunidad, el periodo entre la apa-

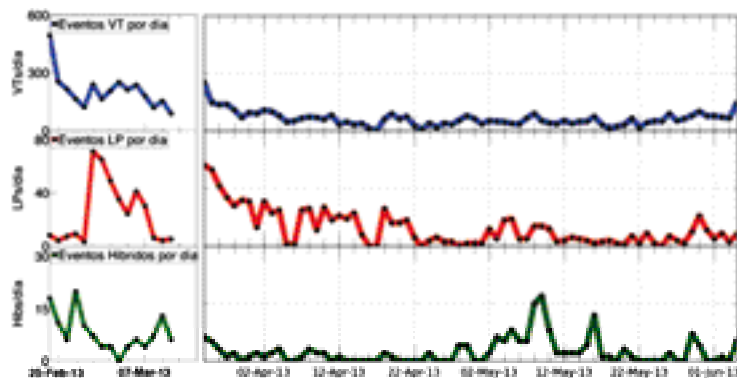


Figura 5. Evolución temporal de la sismicidad en la zona del volcán Sabancaya. Parte izquierda del gráfico: estación sísmica CAJ temporal; parte derecha: estación telemétrica SAB permanente. Se observa una amplia predominancia de los eventos VT o de fractura. En general, los sismos asociados al paso de fluidos se presentan escasos.

rición de fuerte emisión fumarólica (noviembre 1986) y la primera explosión freática (28 de mayo de 1990) fue de cerca de res años y medio.

Para esta nueva ocasión de probable próxima erupción, es posible estimar la magnitud de la erupción en base a los eventos sísmicos dVT mas importantes ocurridos en febrero 2013. En efecto, White y McCausland (2013) muestran que existe relación entre el volumen de magma involucrado en una erupción y la magnitud de los sismos dVT. Así, por la relación  $\log V = 0.71 \log S_{Moment} - 5.32$  (White y McCausland, 2013), hemos estimado que el volumen asociado a la erupción que se estaría preparando sería próximo a 6,6 millones de  $m^3$ . Este volumen corresponde a una erupción de magnitud IEV2, es decir que la erupción que se prepara sería similar o tal vez algo menor a la erupción de 1990-1998 en este mismo volcán. Los daños más importantes reportados como consecuencia de la erupción 1990-1998, fueron aquellos asociados a terremotos (por ejemplo terremoto de Maca, que dejó quince víctimas mortales), la caída de cenizas (que afecto la flora y fauna de la zona) y el descenso de importantes flujos de ceniza y lodo (conocidos en vulcanología como lahares) que hicieron peligrar al canal de la irrigación Majes por el sector de Pinchollo.

Estos conocimientos aportados por la geofísica y en particular por la sismología volcánica pueden servir a las autoridades del Sistema de Defensa Civil en la previsión y la gestión del riesgo volcánico. Por tanto las autoridades deberán tener presente, en general, los registros históricos acerca de lo que ocurrió en la crisis 1990-1998 a fin de planificar acciones básicas para enfrentar la probable nueva crisis.

## Referencias

- GERBE M-C. y THOURET J-C. (2004). Role of magma mixing in the petrogenesis of tephra erupted during the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya, southern Peru, *Bull Volcanol*, 66:541-561.
- MACEDO O., RAMOS D., TICONA J., MASÍAS P., MACHACCA R., CASTILLO M., AGUILAR V., TAIPE E., ANTAYHUA Y., ANCASSI R. y APAZA F. (2013). Observaciones de Intranquilidad en el volcán Sabancaya (Perú) iniciada el 22 de febrero de 2013, *Resúmenes del Workshop "Centenario del Observatorio San Calixto" La Paz, Bolivia, 29 Abril- 01 Mayo 2013*, p. 8.
- INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (2013a). *Reporte N.º 01-2013 de Actividad Sismovolcánica del volcán Sabancaya*. Recuperado de <<http://vulcanologia.igp.gob.pe/drupal/?q=node/41>>
- INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (2013b). *Reporte N.º 02-2013 de Actividad Sismovolcánica del volcán Sabancaya*. Recuperado de <<http://vulcanologia.igp.gob.pe/drupal/?q=node/41>>
- INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (2013c). *Reporte N.º 03-2013 de Actividad Sismovolcánica del volcán Sabancaya*. Recuperado de <<http://vulcanologia.igp.gob.pe/drupalq=node/41>>
- INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (2013d). *Reporte N.º 04-2013 de Actividad Sismovolcánica del volcán Sabancaya*. Recuperado de <<http://vulcanologia.igp.gob.pe/drupal/?q=node/41>>
- INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (2013e). *Reporte N.º 08-2013 de Actividad Sismovolcánica del volcán Sabancaya*. Recuperado de <<http://vulcanologia.igp.gob.pe/drupal/?q=node/41>>

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (2013f). *Reporte N.º 09-2013 de Actividad Sismovolcánica del volcán Sabancaya*. Recuperado de <<http://vulcanologia.igp.gob.pe/drupal/?q=node/41>>

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (2013g). *Reporte N.º 10-2013 de Actividad Sismovolcánica del volcán Sabancaya*. Recuperado de <<http://vulcanologia.igp.gob.pe/drupal/?q=node/41>>

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (2013h). *Reporte N.º 11-2013 de Actividad Sismovolcánica del volcán Sabancaya*. Recuperado de <<http://vulcanologia.igp.gob.pe/drupal/?q=node/41>>

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (2013i). *Reporte N.º 12-2013 de Actividad Sismovolcánica del volcán Sabancaya*. Recuperado de <<http://vulcanologia.igp.gob.pe/drupal/?q=node/41>>

WHITE R. (2011). "Monitoring volcanoes and forecasting eruptions". *Volcano Observatory Best Practices Workshop: Eruption Forecasting*, 11-15 de septiembre de 2011. Italia: Erice.

WHITE R. y McCAUSLAND W. (2013). Estimating intrusive volumes and forecasting eruptions using distal volcano-tectonic earthquakes, *JVGR submitted*.