

ACTIVIDAD SIMOVOLCÁNICA ASOCIADA A LA INTRANQUILIDAD DEL VOLCÁN SABANCAYA OBSERVADA ENTRE FEBRERO – JULIO 2013

Nino Puma¹, José Luis Torres¹, Jennifer Jay², Francisco Delgado², Matthew Pritchard², Orlando Macedo¹

¹ Observatorio Vulcanológico de Arequipa, Instituto Geofísico del Perú OVA-IGP (Perú) npuma@igp.gob.pe

² Cornell University, Ithaca, NY (USA)

INTRODUCCIÓN

El volcán Sabancaya está ubicado a 80 Km en dirección NNO de la ciudad de Arequipa (15°47' S; 71°72' W; 5976 msnm) en el sur del Perú. Es un estrato volcán andesítico de edad Holocénica reciente y forma parte del complejo volcánico Ampato, Sabancaya y Hualca-Hualca. Según los registros históricos, el Sabancaya erupcionó en 1750 y 1784-1785; recientemente, entre 1990-1998, presentó una última erupción que alcanzó un VEI 2. Luego de 15 años de tranquilidad, a partir del 22 de febrero de 2013 este volcán está mostrando nuevos signos de actividad, con alta sismicidad y emisiones fumarólicas de colores blanquecinos y azulinos al nivel del cráter, muchas veces intensas y densas, que se elevan a alturas de hasta 3 km.

Atendiendo a esta situación, inmediatamente el OVA-IGP ha instalado una red de 6 estaciones portátiles (5 de GURALP-6TD, banda ancha y 1 Lennartz 3DLite, periodo corto con digitalizador CMG-DM24). Adicionalmente, a partir del 24 de Marzo 2013 entró en operación la Red Telemétrica Sabancaya (RESSAB) que consta de 3 estaciones: SABA, CAJA y PATA, equipadas con sensores de banda ancha GURALP 40T y digitalizadores Reftek130 (ver figura 1).

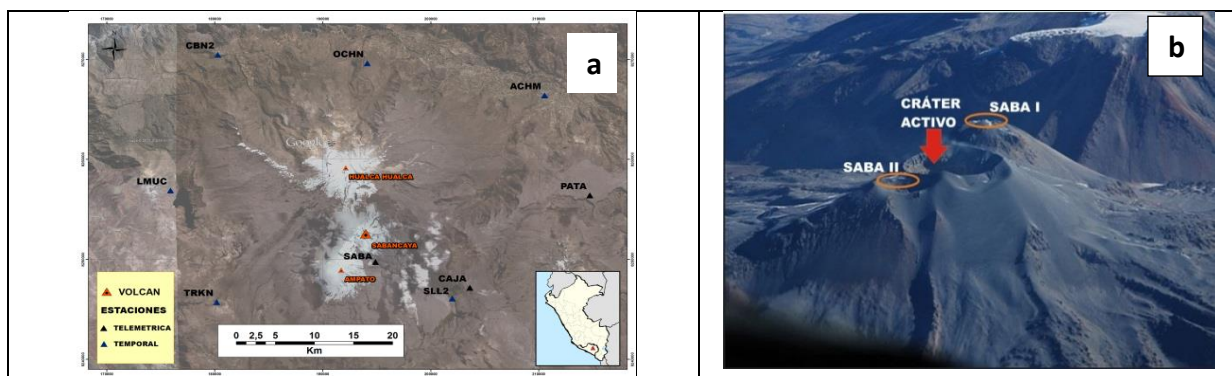


Figura 1. - Mapa de la región del volcán Sabancaya y las estaciones sísmicas (a), y vista fotográfica aérea del volcán donde se observa el cráter activo actual, y dos notables domos en la zona de cumbre (b).

EVENTOS SIMO-VOLCÁNICOS Y DEFORMACIÓN EN SUPERFICIE

Entre Febrero a Julio se han registrado y clasificado un total de 15253 sismos. De ellos, 13485 (88.4%) son eventos volcano-tectónicos (VT) y 1328 (8.7%) son eventos de periodo largo (LP); se registraron también 440 eventos de tipo Híbrido (HIB), Tremores (TREM) y Tornillos (TOR) los que representan solo el 2.9% del total. De estos eventos, se ha logrado localizar 1655 eventos VT con magnitudes entre 1.0 a 5.7 ML. Estos sismos están preferencialmente distribuidos hacia los sectores NE y NO, a distancias entre 7 a 15 km del cráter del volcán (Figs. 2 y 4).

Se ha calculado también los mecanismos focales de los eventos de mayor magnitud (>1.8 ML) y mejor registrados. En la figura 2 se observa que los mecanismos de fallamiento normal se encuentran en el sector occidental, grosso modo distribuidos siguiendo alineamiento NO-SE, y donde numerosos planos de falla presentan rumbo N120°, es decir en correspondencia con el sistema de fallas tectónicas regionales de la región del Colca. Las fallas de este sistema presentan escarpa visible en superficie, con movimientos recientes de tipo normal (Sebrier and Soler, 1991). En la misma figura 2 se observa también sismos con mecanismo de falla inverso que están situados preferencialmente hacia el sector oriental. Notar que el "lineamiento de Sepina" se ubica hacia el NE del cráter extendiéndose por más de 30 km (Fig. 2). Por otra parte, se ha usado el método InSAR para determinar deformaciones en superficie contemporáneas a la sismicidad observada. Así, en la figura 2 se observa interferogramas de

los periodos Enero 2012 – Mayo 2013, y Mayo 2013 – Julio 2013, los cuales cubren las fechas en que se registraron los dos más fuertes sismos en la región, ocurridos el 22/02/2013 (5.2 ML) a 6 km al NE del cráter, y el 17/07/2013 (5.7 ML) a 15 km al NO del cráter. Estos dos sismos, que tuvieron focos a menos de 6 km de profundidad, provocaron movimientos de tipo normal en fallas de rumbo N130° con buzamiento al SO (subsistencia de 6 cm) y N100° con buzamiento al NE (subsistencia de 17 cm), respectivamente, y deformaciones visibles en el terreno. Cabe notar también que los interferogramas no muestran deformaciones importantes en el sector oriental, sector donde se ha observado mecanismos focales de fallamiento inverso.

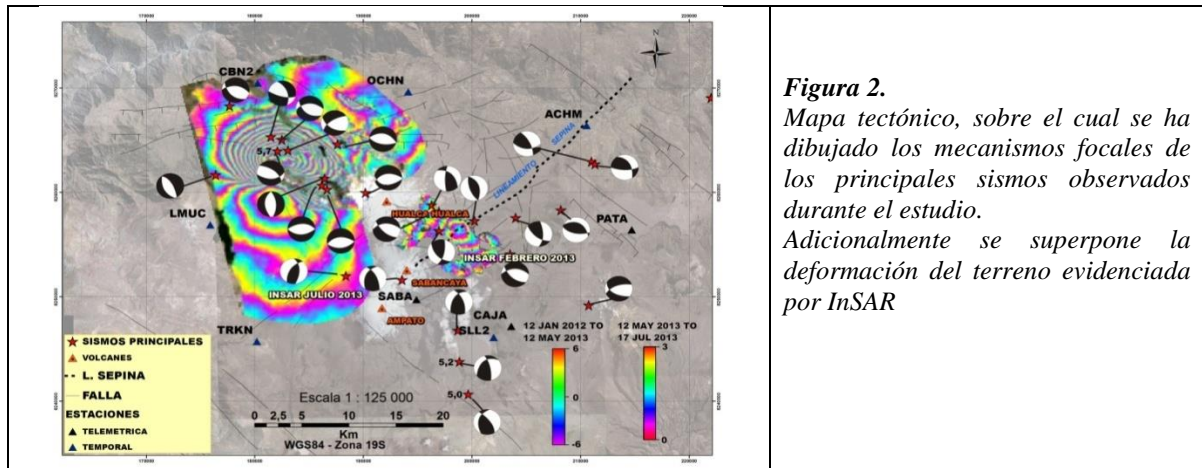


Figura 2.
 Mapa tectónico, sobre el cual se ha dibujado los mecanismos focales de los principales sismos observados durante el estudio. Adicionalmente se superpone la deformación del terreno evidenciada por InSAR

MIGRACION DE EVENTOS VOLCANO-TECTÓNICOS EN EL TIEMPO Y EL ESPACIO

Durante el tiempo de estudio, se ha observado que la sismicidad VT ha migrado tanto en el tiempo como en el espacio. La figura 3 muestra la ubicación de tres zonas principales de focos sísmicos. Las zonas A, B y C corresponden a sismicidad ocurrida en Febrero-Marzo, en Marzo-Julio, y en Julio, respectivamente. La figura 4 muestra un histograma donde se observa la ocurrencia de tal sismicidad en el tiempo; desafortunadamente se ha tenido un lapso de falta de registro durante varios días en marzo (sismicidad Zona A), que no nos han permitido hacer el seguimiento preciso de la sismicidad, aunque se ha podido observar que lo esencial de la sismicidad ocurrió al ENE del cráter a distancias entre 6 y 12 km (ver figura 3), lo cual coincide con las deformaciones evidenciadas por InSAR (Fig 3). En cuanto a la sismicidad en la Zona B, que está también situada el NE pero alejada del cráter, ella ha ocurrido sobre todo durante el mes de Junio, y no tiene asociada deformación alguna. Finalmente, en la Zona C situada a unos 15 km al NO del cráter la intensa sismicidad ha deformado ampliamente el área (Fig. 2). Una característica notable es que los eventos ocurridos al inicio de la intranquilidad (22-23 Febrero 2013) han sido del tipo “swarm” (enjambre) y no del tipo “mainshock- aftershock”. En efecto, el 22 y 23 Feb 2013 han ocurrido en enjambre (4 sismos de 4.6, 5.2, 5.0 y 4.5 ML en el lapso de 24 horas). Un comportamiento similar se observó también el 16-17 de Julio con la ocurrencia de 3 sismos de 4.9, 4.2 y 5.7 ML en el lapso de 17 horas). White R. (2011) ha mostrado que la ocurrencia de sismicidad en “swarm” en ambientes volcánicos es un importante signo de la inminencia de actividad eruptiva. Asimismo, este mismo autor ha mostrado que frecuentemente al inicio de la intranquilidad volcánica ocurre sismicidad de fractura (VT) que se sitúa lejos del cráter, a algunos kilómetros de distancia pudiendo llegar hasta los 30 km, y estando en la base de tal fenómeno el ascenso del material magmático que induce la transmisión de presión de fluidos hasta distancias considerables. Los datos presentados en este trabajo, así como las observaciones de actividad fumarólica al nivel del cráter nos muestran que en el volcán Sabancaya se está observando el patrón indicado por White (2011).

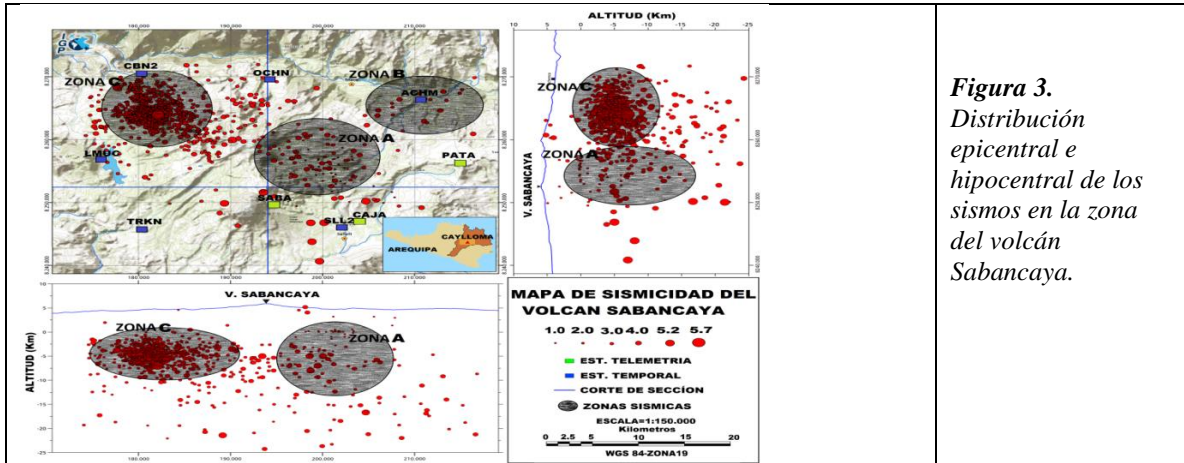


Figura 3. Distribución epicentral e hipocentral de los sismos en la zona del volcán Sabancaya.

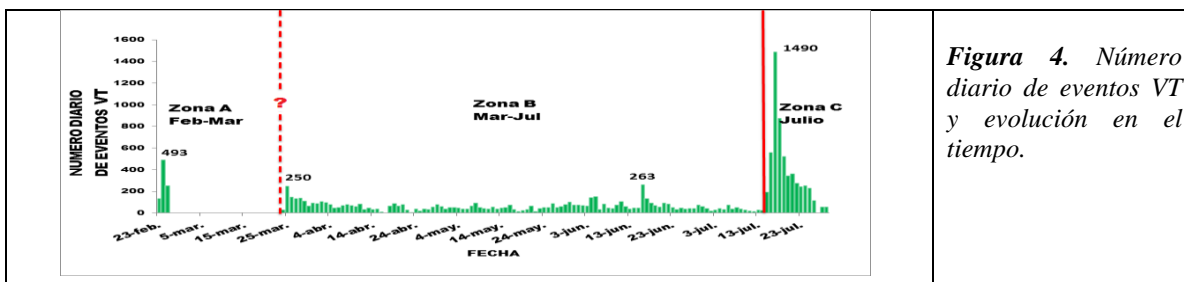


Figura 4. Número diario de eventos VT y evolución en el tiempo.

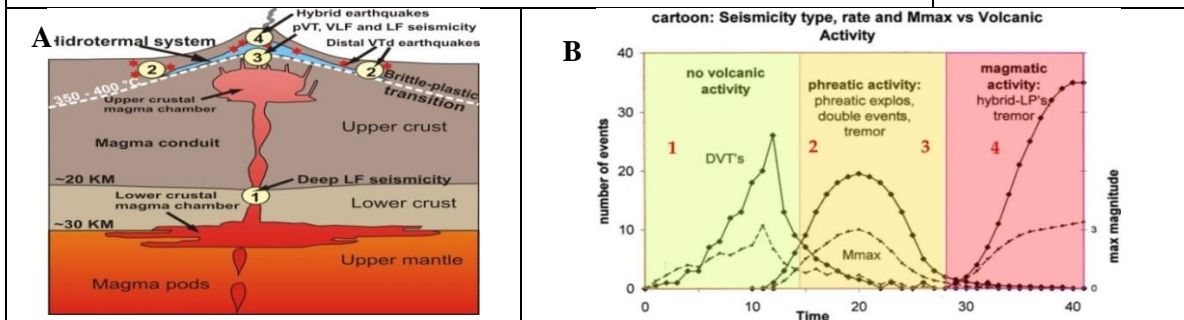
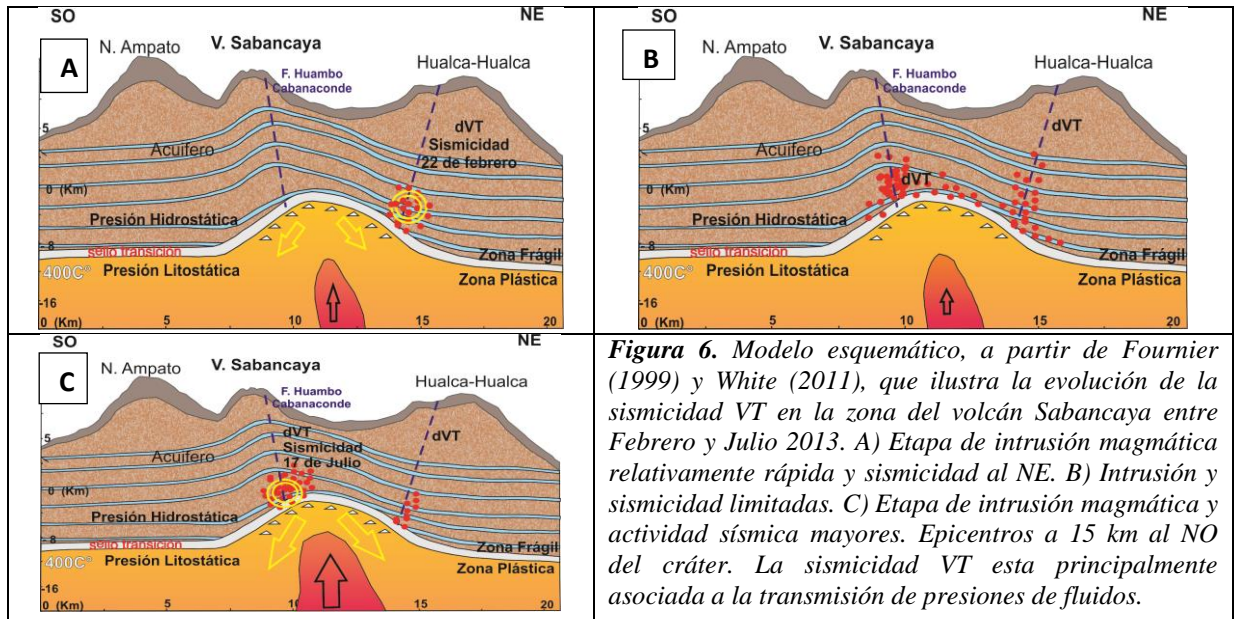


Figura 5. Modelo geológico basado en Fournier(1999) y White (2011) que ilustra la sismicidad asociada a erupciones. El esquema(A) muestra la localización en etapas de la sismicidad dominante vs la actividad volcánica que se observa en (B). Los números 1, 2, 3 y 4 indican la ubicación y tipo de sismicidad durante la evolución hacia la erupción.

MODELO DE LA EVOLUCION DE LA SISMICIDAD DEL VOLCAN SABANCAYA.

Se ha realizado un modelo esquemático (Fig. 6) para explicar la evolución de la sismicidad VT y deformaciones observadas en el tiempo y el espacio. Aun cuando en el esquema se ha considerado el modelo de White (2011) y Fournier (1999) (ver figura 5), pensamos que se debe tener en cuenta el importante tectonismo que afecta permanentemente a esta parte de los Andes donde los esfuerzos extensivos NE-SO son predominantes (Sévrier M. and Soler P. (1991).

Una intrusión magmática ha iniciado su manifestación en superficie y ha causado actividad en la Zona A (Febrero-Marzo). Considerando los 4 sismos consecutivos de magnitudes 4.6, 5.2, 5.0 y 4,5 ML es posible que la intrusión haya sido rápida pero de poco volumen; ella habría inducido la transmisión de la presión de fluidos lateralmente ocasionando reactivación de fallas situadas hacia el NE durante Febrero-Marzo, y causado deformación en superficie. De Marzo a Julio, la intrusión se mantiene muy moderada y solo genera sismicidad leve, sin generar deformación en superficie (Zona B, así como sismos dispersos). Posteriormente, en Julio ocurre un nuevo ascenso de magma que va ocasionar la amplia y enérgica sismicidad con epicentros al NO del cráter, causando fuerte deformación en superficie (Zona C). En este sector se encuentran fallas tectónicas muy activas, las que muy posiblemente se reactivaron inmediatamente al recibir presiones provenientes de fluidos con origen magmático.



CONCLUSIONES

- Se identificaron 15253 eventos sismo-volcánicos, de los cuales casi el 90%, se clasificaron como señales VT (volcano-tectónicos). De estos, 1655 eventos fueron localizados, observándose que se agrupan en 3 zonas (Zona A, Zona B y Zona C) pero en tiempos y lugares diferentes, es decir es se trata de sismicidad migrante que se ubica entre 6 y 15 km del cráter. En esta sismicidad resaltan dos enjambres energéticos: (a) los 4 sismos del 22-23 de Febrero con magnitudes entre 4.5 y 5.2 ML, y (b) los 3 sismos del 16-17 de Julio con magnitudes entre 4.2 y 5.7 ML.
- Los mecanismos focales de los sismos y la interferometría SAR del área de estudio muestran que los sismos corresponden esencialmente a fallamientos normales, acorde con la tectónica observada sobre los Andes. Existe, sin embargo, una zona situada al E y NE donde se observa fallamiento inverso (zona Sepina).
- Todas estas características observadas en la ocurrencia y distribución de la sismicidad están acorde con el modelo propuesto por White (2011) que describe los patrones de sismicidad en ambientes volcánicos con inminente erupción.
- En base a los datos sísmicos y de interferometría, así como de observaciones de las emisiones fumarólicas, se propone un modelo esquemático que explica la evolución de la sismicidad hasta ahora observada, y donde se ha considerado que el volcán Sabancaya presenta intranquilidad, con amplia sismicidad VT lejos del cráter, y que debería conducir a un proceso eruptivo en los meses siguientes. La siguiente etapa sería la aparición de sismicidad de baja frecuencia (LPs) e híbridos en tasas importantes, así como de explosiones freáticas.

REFERENCIAS

1. Fournier, R., (1999).-Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into Brittle rock in the Magmatic-Epithermal environment. Bulletin Society of Economic Geologists,p.1205-1208.
2. White R. (2011).-“Monitoring volcanoes and forecasting eruptions”. Volcano Observatory Best Practices Workshop: Eruption Forecasting, 11-15 September 2011, Erice, Italy.
3. Sébrier M. and Soler P. (1991).- Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from Late Oligocene time to the Present. Geol. Soc. Amer. Spec. Paper, 265, 259-278.

ACTIVIDAD SIMOVOLCÁNICA ASOCIADA A LA INTRANQUILIDAD DEL VOLCÁN SABANCAYA OBSERVADA ENTRE FEBRERO – JULIO 2013

Nino Puma 1, José Luis Torres 1, Jennifer Jay 2, Francisco Delgado 2, Matthew Pritchard 2, Orlando Macedo 1

1 Observatorio Vulcanológico de Arequipa, Instituto Geofísico del Perú OVA-IGP (Perú) npuma@igp.gob.pe
2 Cornell University, Ithaca, NY (USA)

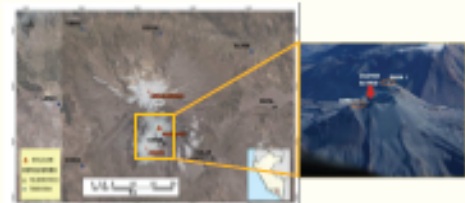
1. VOLCÁN SABANCAYA (15°47'S, 71°72'W; 5976 msnm)



Estrato-volcán activo, es el más joven (Holoceno) del complejo Ampato-Sabancaya.
Erupciones históricas: 1750, 1784-1785; su última erupción ocurrió entre 1990-1998 (VEI 2).
El 22/02/13, el volcán muestra nuevos signos de actividad, con alta sismicidad y emisiones de fumarolas de color blanquecino y azulinos, logrando alcanzar hasta 3 Km de altura sobre el cráter.

Figura 01.- Fumarolas intensas producidas por el volcán Sabancaya.

Figura 02.- A) Red de estaciones temporales y telemétricas sobre el volcán Sabancaya. B) Vista fotográfica aérea del cráter del volcán mostrando sus dos domos notables.



El OVA-IGP instala 6 estaciones portátiles (5 de GURALP-6TD, banda ancha y 1 Lennartz 3DLite, periodo corto) con digitalizador CMG-DM24. Adicionalmente, empieza a operar la Red Telemétrica Sabancaya (RESSAB), que consta de 3 estaciones: SABA, CAJA y PATA (banda ancha GURALP 40T y digitalizadores Reftek130).

2. EVENTOS SIMO-VOLCANICOS Y DEFORMACION EN SUPERFICIE

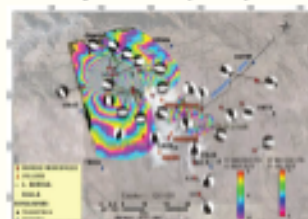
EVENTOS REGISTRADOS	NÚMERO	PORCENTAJE
Volcano-Tectónico	15403	88.40%
Largo Período	1228	8.70%
Híbrido (HIB), Tremor (TREM) y Torbellino (TOR)	480	2.90%
TOTAL	15253	100%

Cuadro 1. Clasificación de los eventos simo-volcánicos registrados en este periodo (Febrero - Julio 2013).

Se localizaron 1655 VT, con magnitudes (1.0-5.7 ML), distribuidos NE y NO, a distancias entre 7 – 15 Km del cráter. Se calculó mecanismos focales de eventos mayores a 1.8 ML.

El método InSAR-Deformación.

+ Interferogramas. 12/01/2012 – 12/05/2013 y 12/05/2013 – 17/07/2013 que cubren las fechas, donde se registraron, los 2 eventos más fuertes el 22/02/13 (5.2 ML) a 6 Km al NE del cráter y el 17/07/13 (5.7 ML) a 15 Km al NO del cráter ver Figura 03.



Se observa mecanismo de falla normal en el Sector Occidental distribuidos siguiendo alineamiento NO-SE; donde existen planos de falla con rumbo N120°, concordante con el sistema de fallas regionales de la zona del Colca (Sobrier y Soler, 1991). Mientras que en el Sector Oriental, se observa mecanismos de falla inversa, además se distingue el lineamiento de Sepina. Los interferogramas no muestran deformaciones importantes en este sector. Ver Figura 03.

Figura 03.- Mapa tectónico y mecanismos focales de los principales eventos sísmicos, se muestra también deformación con similitud a InSAR.

Eventos más fuertes: Evento del 22/02/13 (5.2 ML) se localizó a 6 Km al NE del cráter, mientras que el evento del 17/07/13 (5.7 ML) se localizó a 15 Km al NO del cráter, con profundidades similares (<6 Km) y provocaron movimientos de tipo normal en fallas de rumbo N130° con buzamiento al SO (subsistencia de 6 cm) y N100° con buzamiento al NE (subsistencia de 17 cm), respectivamente.

3. MIGRACIÓN DE EVENTOS VOLCANO-TECTÓNICOS EN EL TIEMPO Y EL ESPACIO

Característica de la sismicidad.

La sismicidad es de tipo "swarm" (enjambre) y no de tipo "main shock - aftershock".
- El 22-23 Febrero 2013. Enjambre de 4 sismos de 4.6, 5.2, 5.0 y 4.5 ML en 24 horas.
- El 16-17 Julio 2013. Enjambre de 3 sismos de 4.9, 4.2 y 5.7 ML en 17 horas.

La sismicidad "Swarm" en ambientes volcánicos es un importante signo de la inminencia de actividad eruptiva. Intranquilidad se inicia con VT lejos del volcán (hasta 30 Km), como consecuencia ascenso de material magmático, que induce presión de fluidos a distancias considerables (White R., 2011).

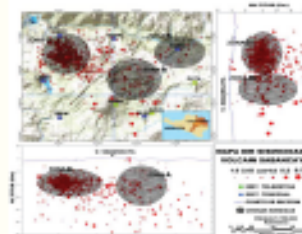
Migración de la sismicidad en el Tiempo (Figura 04):



En la zona A falta datos, sin embargo la sismicidad esencial ha sido registrada y coincide con la deformación (INSAR).

Figura 04.- Migración de la sismicidad en el tiempo.

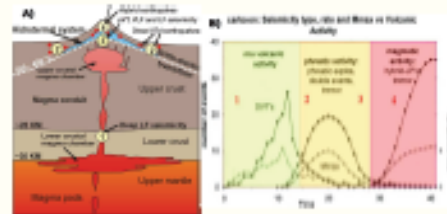
Migración de la sismicidad en el Espacio (Ver Figura 05):



Zonas A (Febrero-Marzo). Sismicidad entre 6-12 Km del cráter al ENE, coincide con la deformación obtenida por el InSAR (Subsistencia 6 cm).
Zonas B (Marzo-Julio). Situada entre 18-25 Km al NE del cráter del volcán, muestra deformación importante.
Zonas C (Julio). Situada a 15 Km al NO del cráter del volcán, intensa actividad que deforma el área (Subsistencia 17 cm).

Figura 05.- Distribución epicentral e hipocentral. Migración de la sismicidad en el espacio.

Figura 06.- Modelo geológico basado en Fournier (1988) y White (2011) que ilustra la sismicidad asociada a erupciones. El esquema (A) muestra la localización en etapas de la sismicidad dominante que se observa en (B). Los números 1, 2, 3 y 4 indican la ubicación y tipo de sismicidad durante la evolución hacia la erupción.



Los datos presentados y las observaciones de la actividad fumarólica, muestran que el volcán Sabancaya está siguiendo el patrón indicado por White 2011.

4. MODELO DE LA EVOLUCIÓN DE LA SISMICIDAD DEL VOLCÁN

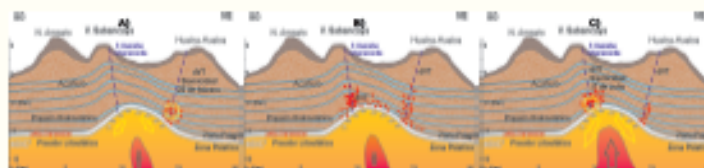


Figura 07.- Modelo esquemático, a partir de Fournier R. (1988) y White W. (2011), que ilustra la evolución de la sismicidad VT. A) Etapa de intrusión magmática relativamente rápida y sismicidad al NE. B) Intrusión y sismicidad al N. C) Etapa de intrusión magmática y actividad sísmica mayor. Epicentros a 15 Km al NO del cráter. La sismicidad VT está principalmente asociada a la transmisión de presiones de fluidos.

El modelo esquemático considera el tectonismo de los Andes (esfuerzos extensivos NE-SO predominantes). El modelo muestra las etapas de intrusión y sismicidad (Figura 07).

Zona A (Febrero-Marzo). Considerando el enjambre de 4 sismos (4.6, 5.2, 5.0 y 4.5 ML); es posible que la intrusión haya sido rápida pero de poco volumen; ella habría inducido la transmisión de la presión de fluidos lateralmente ocasionando reactivación de fallas situadas hacia el NE, causando deformación en superficie (Subsistencia 6 cm).
Zona B (Marzo-Julio). La intrusión se mantiene moderada y solo genera sismicidad leve y dispersa, sin generar deformación en superficie.
Zona C (Julio). Ocurre un nuevo ascenso que va ocasionar la amplia y energética sismicidad con epicentros al NO del cráter, causando fuerte deformación en superficie (Subsistencia 17 cm). En este sector se encuentran fallas tectónicas muy activas, las que muy posiblemente se reactivaron inmediatamente al recibir presiones provenientes de fluidos con origen magmático.

5. CONCLUSIONES

- + Se clasificó 15253 eventos simo-volcánicos (90% fueron Vts). Se localizaron 1655 VTs y se observó 3 zonas (Zona A, Zona B, Zona C) en tiempos y lugares diferentes (6 y 15 Km del cráter). En esta sismicidad resaltan dos enjambres energéticos: (a) los 4 sismos del 22-23 de Febrero con magnitudes entre 4.5 y 5.2 ML, y (b) los 3 sismos del 16-17 de Julio con magnitudes entre 4.2 y 5.7 ML.
- + Los mecanismos focales de los sismos y la interferometría SAR del área de estudio, muestran que los sismos corresponden esencialmente a fallamientos normales, acorde con la tectónica observada sobre los Andes. Existe, sin embargo, una zona situada al E y NE donde se observa falla inversa (zona A Sepina).
- + Todas estas características observadas en la ocurrencia y distribución de la sismicidad están acorde con el modelo propuesto por White (2011) que describe los patrones de sismicidad en ambientes volcánicos con inminente erupción.
- + En base a los datos sísmicos y de interferometría, así como de observaciones de las emisiones fumarólicas, se propone un modelo esquemático que explica la evolución de la sismicidad hasta ahora observada, y donde se ha considerado que el volcán Sabancaya presenta intranquilidad, con amplia sismicidad VT lejos del cráter, y que debería conducir a un proceso eruptivo en los meses siguientes. La siguiente etapa sería la aparición de sismicidad de baja frecuencia (LPs) e híbridos en tasas importantes, así como de explosiones freáticas.

6. REFERENCIAS

1. Fournier R. (1988). - Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-hydrothermal environment. Bulletin Society of Economic Geologists, p. 1205-1208.
2. White R. (2011). - "Monitoring volcanoes and forecasting eruptions." Volcano Observatory Best Practices Workshop: Eruption Forecasting, 11-15 September 2011, Etna, Italy
3. Sobrier M. and Soler P. (1991). - Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from Late Oligocene time to the Present. Geol. Soc. Am. Spec. Paper, 265, 259-276.