



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
de Sismología



Sismos de la Región del Volcán Sabancaya
del 22 y 23 de Febrero del 2013

ASPECTOS SISMOLOGICOS

Por:

Hernando Tavera
Patricia Guardia
Cristobal Condori
Efrain Fernandez
Luz Arredondo

Informe Técnico N° 01-2013

Lima-Perú
Febrero, 2013

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN

2.- COMPLEJO VOLCÁNICO AMPATO, SABANCAYA y HUALCA HUALCA

3.- TECTÓNICA LOCAL

4.- SISMICIDAD LOCAL 1993 – 1995

5.- SISMOS DEL 22 Y 23 DE FEBRERO DE 2013

6.- INTENSIDADES SÍSMICAS

7.- ORIENTACIÓN DE LA FUENTE

8.- ANÁLISIS ESPECTRAL

9.- ANÁLISIS DE FORMAS DE ONDA

10.- DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

1.- INTRODUCCIÓN

Los volcanes en la región Sur de Perú forman parte del extremo norte de la denominada Zona Volcánica de los Andes Centrales (Francis y Silva, 1990) y de ellos, los volcanes Ubinas y Sabancaya son los de más reciente actividad. El volcán Sabancaya, entre los años 1986 y 1995, fue parte de un periodo de reactivación caracterizado por una intensa actividad fumarólica con la consecuente emisión de gases que alcanzaron alturas de 500 y 1000 metros visibles a varios kilómetros, hecho que provocó alarma en los habitantes de los poblados de Chivay y Cabanaconde ubicados en los alrededores del complejo volcánico. Este proceso fue acompañado de importante actividad sísmica que contribuyó en generar pánico y alamar en la población de la región del volcán Sabancaya. Posteriormente, la actividad fumarólica fue disminuyendo paulatinamente hasta mediados de 1987 para luego incrementarse y afectar a las localidades más cercanas con gases y fumarolas cada vez más violentas. Durante el año 1989, la actividad del volcán Sabancaya disminuye y en Mayo de 1990 ingresa a una fase explosiva caracterizada *por* emisión de fumarolas y caída de *rocas* acompañadas de ruidos y sismicidad local muy débil.

Como parte de este proceso, los días 23 de julio de 1991 y 1 de febrero de 1992, en la región se produjeron dos sismos con magnitudes de 5.4 y 5.0 ML en las cercanías de la localidad de Maca y de la zona conocida como Pampa Sepina. El primero de estos eventos produjo como efecto secundario un importante deslizamiento que afecta a un gran número de viviendas de la localidad de Maca, además de daños personales. Todo el proceso eruptivo del volcán Sabancaya y la ocurrencia de sismicidad, tuvo su fin a finales del año 1995.

Recientemente, y durante la semana del 18 de febrero de 2013, el volcán Sabancaya nuevamente inicia un proceso de posible reactivación con la emanación de fumarolas de diversas alturas, suceso que causó la alarma de la población asentada en las localidades que se encuentran distribuidas en su entorno. Paralelamente, la región del volcán Sabancaya era afectada por la ocurrencia de sismos de pequeña magnitud hasta los días 22 y 23 de febrero, fecha en que ocurrieron en la dicha región 4 sismos con magnitudes entre 4.5 y 5.2 ML que incrementaron la frecuencia y la altura de las

fumarolas emitidas por el volcán. Posterior a estos sismos, se ha registrado la ocurrencia de un importante número de réplicas con magnitudes que no sobrepasaron el valor de 3.0ML, siendo en su mayoría imperceptibles para la población que se encuentran entorno al volcán. El sismo del 22 de Febrero, a horas 21:01 UTC con una magnitud de 5.2ML, produjo daños importantes en la localidad de Maca, llegándose a evaluar intensidades de IV-V en la escala de Mercalli Modificada.

En el presente informe técnico, se describen las principales características sismológicas de los sismos ocurridos los días 22 y 23 de febrero de 2013.

2.- COMPLEJO VOLCÁNICO AMPATO, SABANCAYA y HUALCA HUALCA

En la región Sur de Perú, el mayor complejo volcánico está formado por los volcanes Nevado Hualca Hualca de 6020m.s.n.m. (zona Norte), Sabancaya de 5976 m.s.n.m. (zona Centro) y Nevado Ampato de 6280 m.s.n.m (zona Sur), todos distribuidos de Sur a Norte entre las localidades de Huanca y Cabanaconde (provincia de Caylloma, departamento de Arequipa). Este complejo volcánico se localiza a 80 km aproximadamente en dirección N-E de la ciudad de Arequipa (Figura 1), siendo su actividad *no* muy conocida; sin embargo, existen referencias de actividad eruptiva desde inicios de la llegada de los españoles (siglo XVI). Así, a mitad del siglo XVIII las crónicas de Travada y Córdoba (1752) y Barriga (1751) indican que este complejo, conocido entonces como "Ambato" que en el lenguaje quechua significa "Sapo", ha pasado por dos episodios eruptivos, uno en 1752 y otro en 1784-1785. Estos autores indican: "***El volcán de Ambato, como han corrompidos los españoles, está en la provincia de Collagas a veinte y tantas leguas al occidente de la ciudad de Arequipa ... allí, el volcán esta perennemente ardiendo de día y de noche y que no hay noticia de haber hecho estragos en tiempos inmemorables***".

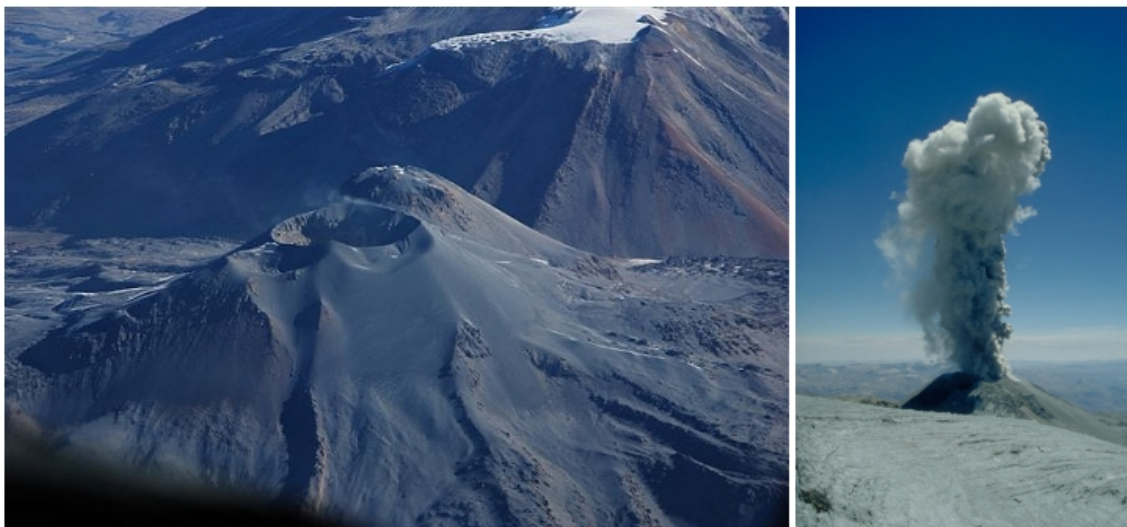


Figura 1: Complejo volcánico Ampato-Sabancaya-Hualca Hualca. A primera vista el volcán Sabancaya. Al costado derecho, imagen del periodo eruptivo del volcán en el año 1991

Así mismo, un 11 de julio de 1784 posterior al terremoto del 13 de Mayo de ese año, en un diario elaborado por Zamácola y Jaúregui (1804), se lee: "***Día, 11.- a las 9 y 56 minutos se sintió un temblor de tierra, con bastante remezón pero no causó ningún daño. Se tuvo noticia de que el pueblo de Lari, jurisdicción de Caylloma, hay un cerro o volcán llamado Ambato, el que a efectos de estos terremotos, el volcán humea y bosteza fuego***" (Barriga, 1951). Ninguna de estas descripciones permitió entonces discernir a cuál de los tres volcanes se referían, aunque en la actualidad se asume que se trataría del volcán Sabancaya (Rodríguez et al., 1992).

Desde entonces, no se tenía noticias de una posible reactivación del volcán Sabancaya hasta el año de 1981, donde las primeras señales de actividad fueron proporcionadas por los habitantes de las localidades más cercanas al mismo. Posteriormente, en 1985 el volcán incrementó notablemente su actividad fumarólica acompañada de ruidos sonoros que hasta entonces eran poco frecuentes (Huamán et al., 1993). Acompañó a este proceso la ocurrencia de dos sismos con magnitudes de 5.4 y 5.0 ML ocurridos en las zonas de Macas y Pampa Sepina, el primero produjo importantes daños en viviendas y habitantes de la localidad del mismo nombre. Todo este proceso llegó a su etapa de quietud a finales del año 1995.

3.- TECTÓNICA LOCAL

El complejo volcánico Ampato-Sabancaya-Hualca Hualca, se encuentra rodeado de importante actividad tectónica reciente, la misma que fue puesta en evidencia por Huamán et al (1993) y Huaman et al (1995) a partir del análisis e interpretación de imágenes de satélite Landsat MSS y observaciones de campo. El resumen de estas investigaciones se presenta en la Figura 2 y en ella, se observa la presencia de una importante deformación en la región del volcán Sabancaya representada principalmente por las fallas de Ichupampa, Huanca y el sistema Huambo- Cabanaconde, todas ubicadas en el extremo NE, SO y Norte del complejo volcánico (Sébrier, 1985). Asimismo, en la figura se observa la presencia de un importante número de lineamientos sobre la zona central de la región de estudio conocida como Pampa Sepina, analizada y revisada por Mering, et al. (1996) a partir de imágenes satelitales SPOT y Landsat MSS.

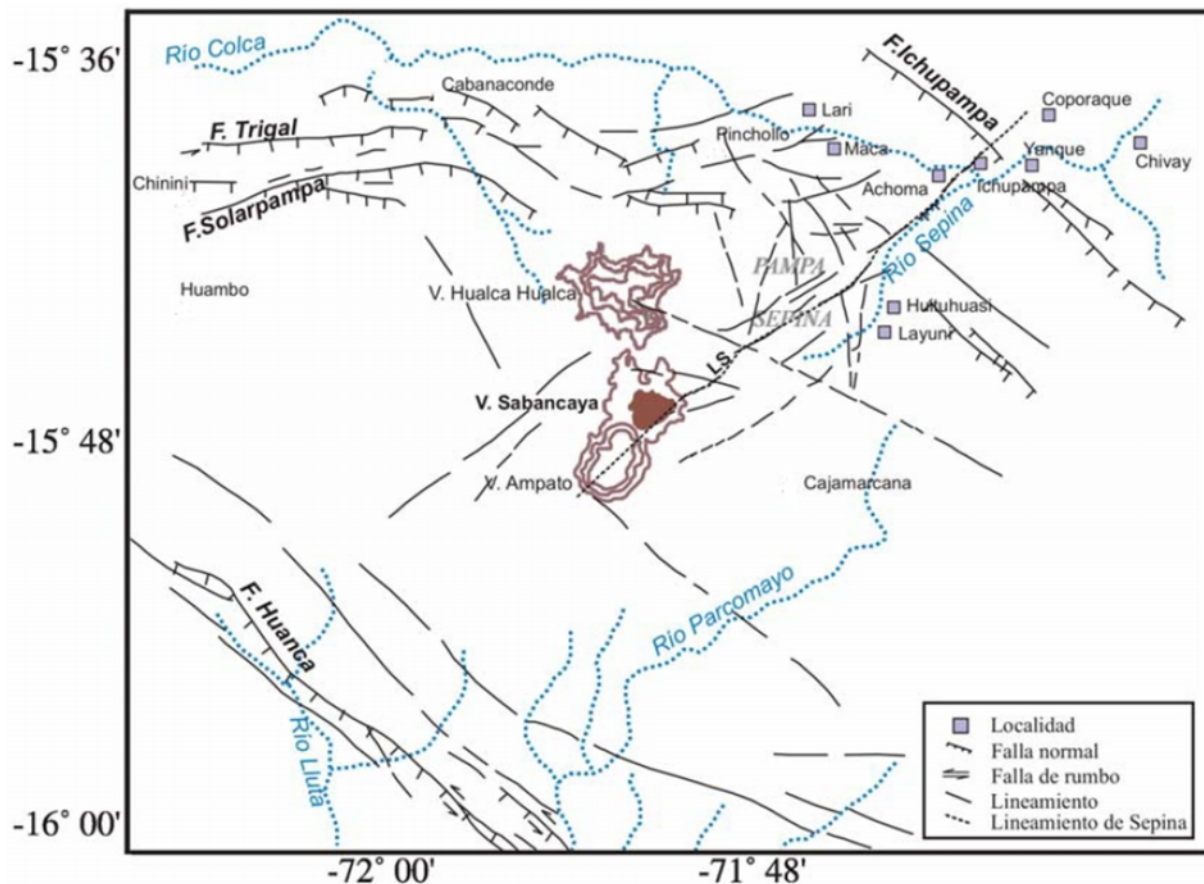


Figura 2: Principales sistemas de fallas y lineamientos en la región del volcán Sabancaya

Según Huamán et al. (1993), el elemento de deformación más representativo en esta región lo constituye el lineamiento de Sepina (LS), el mismo que parte del volcán Sabancaya pasando por Pampa Sepina y por las localidades de Achoma, Yanque, Coporaque e Ichupampa hasta llegar a cortar a la falla de Ichupamapa. Un análisis en detalle realizado sobre las imágenes de satélite obtenidas en 1993, ha permitido identificar la presencia de lineamientos menores en estas áreas orientadas en dirección NE-SW y N-S cerca de las localidades de Huituhuasi y Layuni, así como otros orientados en dirección E-W cerca de Lari y Maca. Según Mering et al. (1996) la disposición discontinua de estos lineamientos sugieren que son muy recientes.

Toda la evolución de este reciente tectonismo, se habría desarrollado con la ocurrencia de importante actividad sísmica, acompañada posiblemente con episodios cortos de reactivación del volcán Sabancaya.

4.- SISMICIDAD LOCAL 1993 - 1995

En la Figura 3, se presenta la distribución, en superficie, de la sismicidad local ocurrida en la región del volcán Sabancaya durante el período 1993 a 1995 y registrada por una red sísmica telemétrica compuesta por tres estaciones ubicadas en las localidades de Patapampa (PAT), Jolla-Jello (JOL) y Pucarilla (PUC). En la figura se observa que la sismicidad se distribuye de manera muy dispersa en toda la región; sin embargo, el mayor agrupamiento de sismos se ubica en el extremo E y NE del volcán Hualca-Hualca. Sobre el volcán Sabancaya no se observa sismicidad. Esta distribución de la actividad sísmica puso en evidencia la importante deformación superficial a la que estuvo sometida Pampa Sepina, paralelamente al proceso eruptivo del volcán Sabancaya y cuyas características principales han sido ampliamente discutidas por Antayhua et al., (2001) y Antayhua (2002).

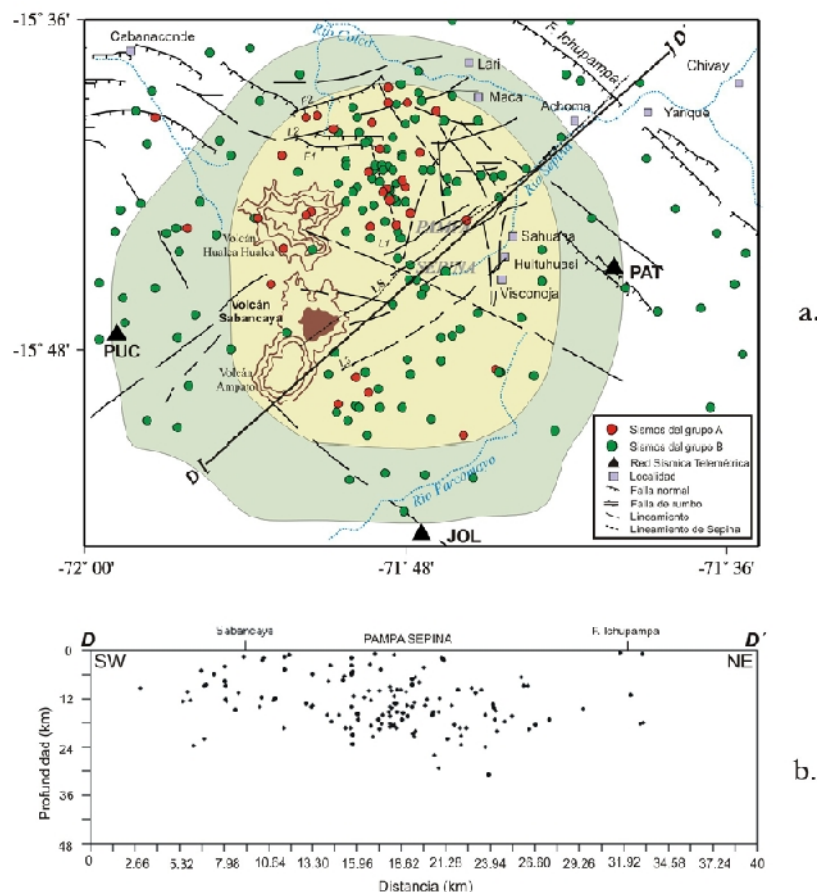


Figura 3: Actividad sísmica local registrada durante el periodo 1993 y 1995 en la región del volcán Sabancaya.

Del mismo modo, importante actividad sísmica ocurrió en el extremo SE del volcán Sabancaya, sugiriendo que la deformación superficial fue de tipo regional, puesto en evidencia con el importante número de lineamientos existentes entorno al volcán. En la Figura 3, se ha considerado una sección vertical de la sismicidad registrada durante el periodo 1993 a 1995, observándose que los sismos y la deformación alcanzó niveles de profundidad de hasta 24 km; es decir, netamente superficial.

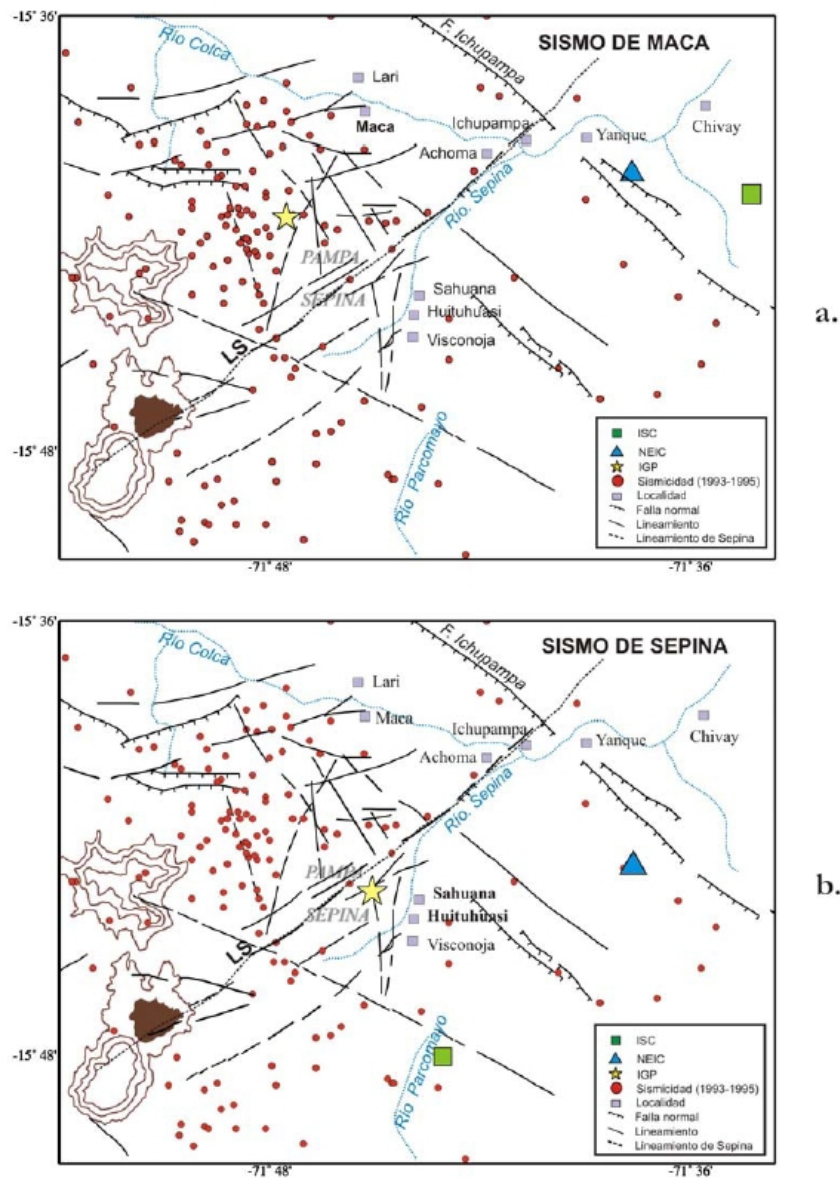


Figura 4: Distribución espacial de sismicidad registrada en la región del volcán Sabancaya durante el periodo 1993 a 1995 y epicentros de los sismos de Maca y Sepina reportados por el IGP y agencias internacionales

Por otro lado, en los años 1991 y 1992 en la región del volcán Sabancaya ocurrieron dos sismos fuertes con focos superficiales y magnitudes ML de 5.4 y 5.0 respectivamente. El primero de ellos conocido como sismo de Maca (23 de julio de 1991) y el segundo, como sismo de Sepina (1 de febrero de 1992). Los parámetros hipocentrales del sismo de Maca fueron obtenidos por el Instituto Geofísico del Perú utilizando información proveniente de las estaciones de la Red Sísmica Nacional (RSN) y para el sismo de Sepina, se utilizó información de la distribución de intensidades máximas observadas y evaluadas por Rodríguez y Huamán (1993). Los epicentros de estos sismos se presentan en la Figura 4 junto a la actividad sísmica regional registrada durante el periodo 1993 y 1995. Estos epicentros se ubican a ambos extremos del llamado Lineamiento de Sepina.

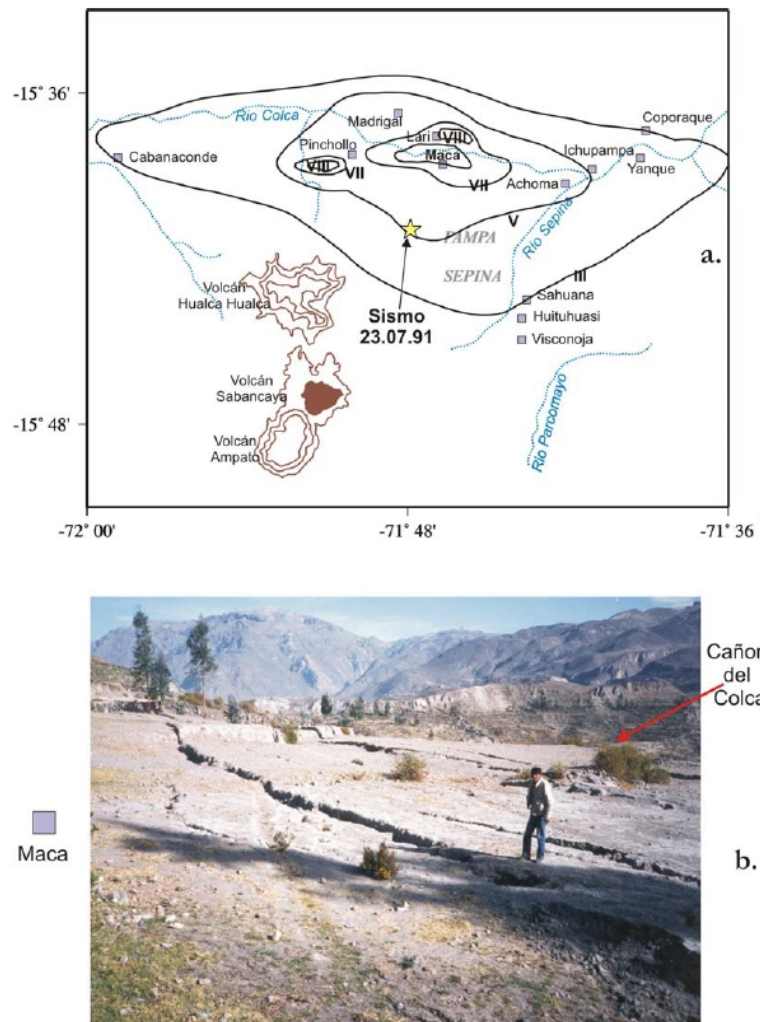


Figura 5: Intensidades máximas asociadas al sismo de Maca (5.4ML). Abajo se presenta un ejemplo de fisuras formadas en suelos agrícolas

Según Rodríguez y Huamán (1992), el sismo de Maca produjo en la región del volcán Sabancaya intensidades máximas del orden de VIII (MM) concentrados en las localidades de Maca y Lari; mientras que, el sismo de Sepina intensidades de VI en las localidades de Huituhuasi y Layuni (Figura 5). Del mismo modo, estos sismos produjeron en superficie importantes deslizamientos de tierra y asentamientos en otros, además de numerosos desprendimientos de rocas a lo largo de las pendientes del río Colca. Las localidades más afectadas fueron las de Maca, Sahuana, Huituhuasi y Cabanaconde en donde el 80% de las viviendas fueron destruidas, además de 14 personas fallecidas y numerosos heridos.

5.- SISMOS DEL 22 y 23 DE FEBRERO DE 2013

Durante los días 22 y 23 de febrero de 2013, en la región del volcán Sabancaya ocurrieron cuatro sismos sensibles cuyos parámetros fueron obtenidos haciendo uso de información proveniente de 10 estaciones de la Red Sísmica Nacional (RSN y REDSSAT) a cargo del Instituto Geofísico del Perú. Para tal fin, se ha utilizado el algoritmo Hypoellipse (Lahr, 1998), una relación de velocidades $V_p/V_s=1.65$ y el modelo de velocidad de Dorbath et al. (1991), todos utilizados en los estudios de microsismicidad realizados en la región del volcán Sabancaya utilizando datos de una red sísmica local que funcionó en dicha región durante el periodo 1993 a 1995 (Antayhua et al., 2001). En la Tabla 1 se presenta los parámetros hipocentrales y en la Figura 6, la ubicación de los epicentros.

Tabla 1: Parámetros hipocentrales para los sismos del 22 y 23 de febrero de 2013. ML corresponde a la magnitud local (Richter) y Mw a la magnitud momento

	Sismos	Tiempo .hh:mm	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Prof. (km)	Magnitud	
						ML	Mw
1	22-02-2013	20:15	-15.8397	-71.8128	5.0	4.6	4.7
2	22-02-2013	21:01	-15.8669	-71.8119	8.0	5.2	5.2
3	22-02-2013	21:50	-15.8951	71.8046	7.0	5.0	4.9
4	23-02-2013	20:08	-15.8399	-71.7993	5.0	4.5	4.6

De acuerdo a los resultados obtenidos, los 4 sismos presentan magnitudes entre 4.5 y 5.2 ML y sus epicentros se ubican sobre la zona conocida como Pampa Sepina, a 9 km del cono volcánico en dirección SE y a 24 km en dirección N de la localidad de Maca. Estos eventos presentan profundidades menores a 10 km, de ahí que su radio de mayor intensidad de sacudimiento del suelo no sobrepasara los 30 km, estando dentro de la misma y a corta distancia, el volcán Sabancaya.

Durante el periodo del 22 al 24 de febrero de 2013, se ha registrado en la estación sísmica del Salinas (HSAL), ubicada a una distancia de 84 km del volcán Sabancaya, un total de 57 réplicas o microsismos de magnitudes menores a 3.0 ML. De estas réplicas, solo 12 fueron correctamente ubicadas y mostradas en la Figura 6.

Estas réplicas se distribuyen de manera dispersa y en mayor número en el extremo norte del volcán Sabancaya, lo cual permite deducir que la deformación no es puntual, sino regional, tal como ocurrió durante la crisis sísmica del periodo 1993 a 1995.

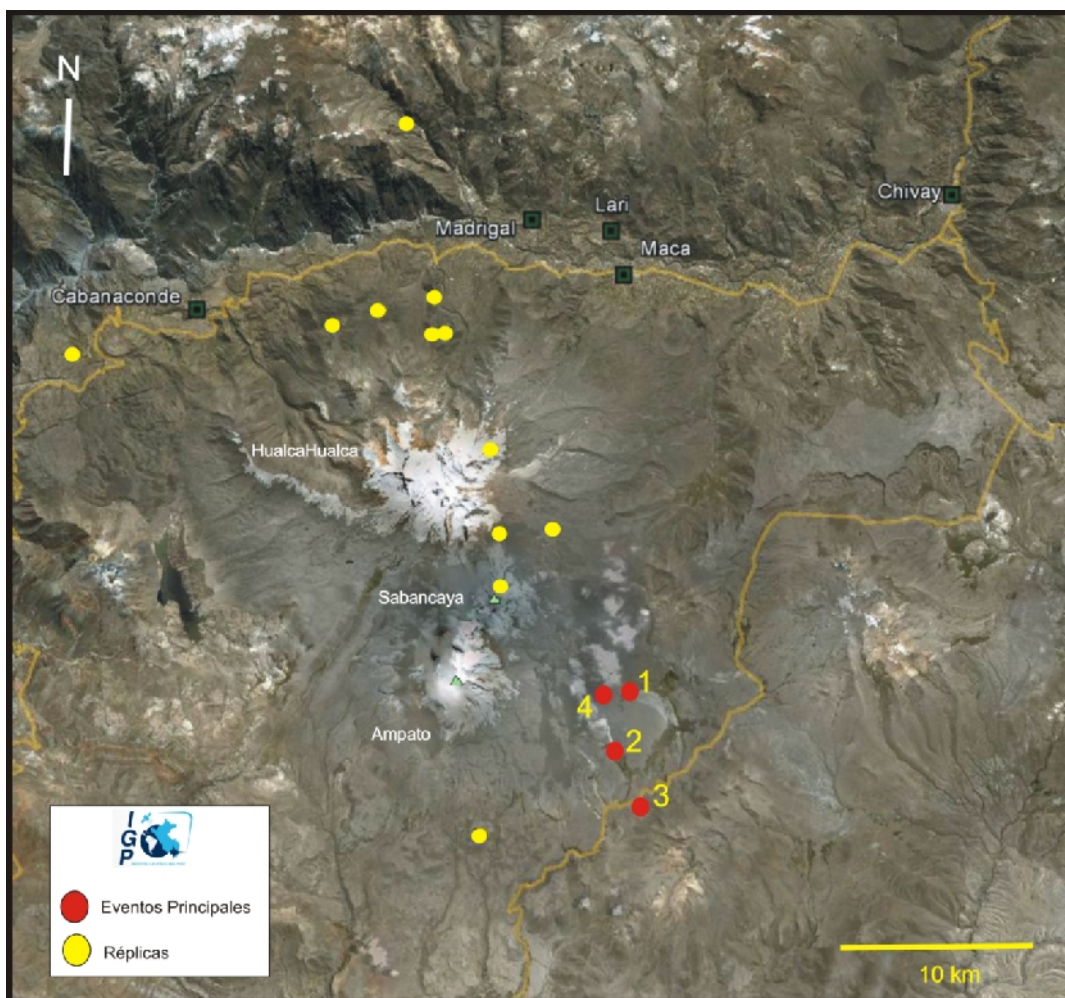


Figura 6: Mapa de distribución espacial de los sismos del 22 y 23 de Febrero de 2013 ocurridos en Pampa Sepina y principales réplicas ocurridos entre los días del 22 y 24 del mismo mes. Para los números, ver Tabla 1.

En la Figura 7 se presenta el sismograma de la estación sísmica de Ubinas (UBI) ubicada a 110 km en dirección SE del volcán Sabancaya y en la cual se observa el registro de los eventos sísmicos del día 22 de febrero 2013 y una serie de 35 réplicas con magnitudes menores a 3.0 ML. El número de réplicas de fue incrementando paulatinamente hasta llegar a un numero de 500 réplicas por día ($M > 2.0 ML$), las mismas que por su magnitud, solo pueden ser registradas por estaciones sísmicas netamente locales, tal es el caso de la estación de Cajamarca instalada por el Dr. O. Macedo en la localidad del mismo nombre, Figura 8.

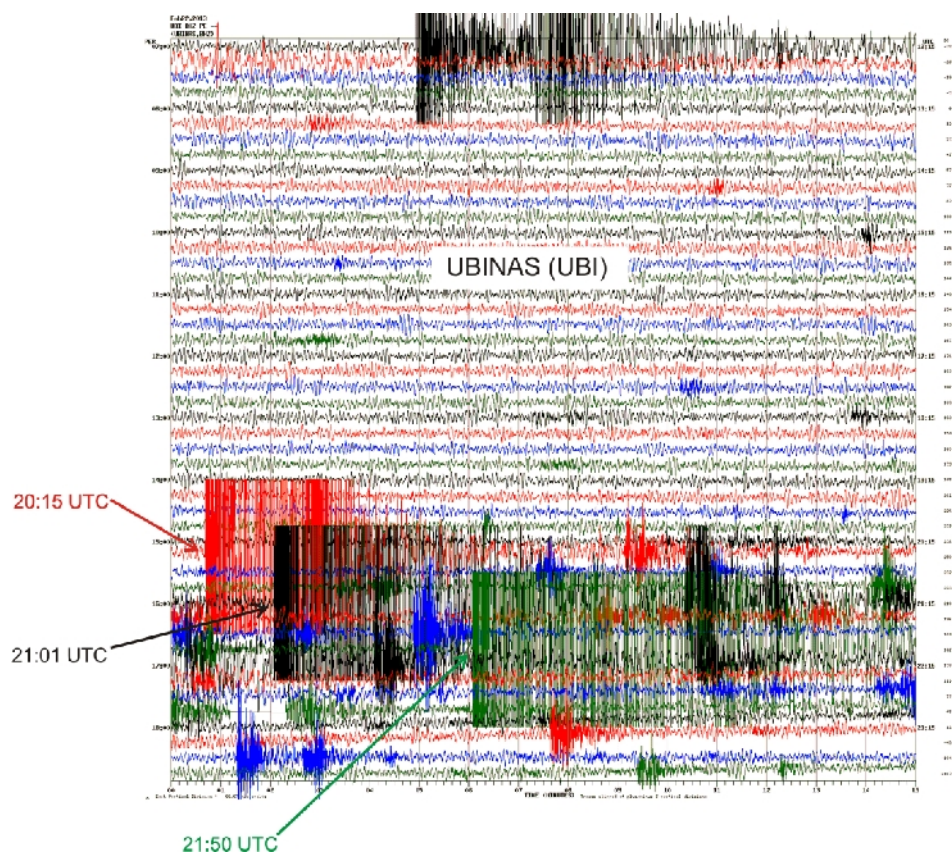


Figura 7: Estación sísmica de Ubinas y registro de los tres eventos de magnitud moderada ocurridos el día 22 de febrero. Los registros de pequeña amplitud corresponden a réplicas.

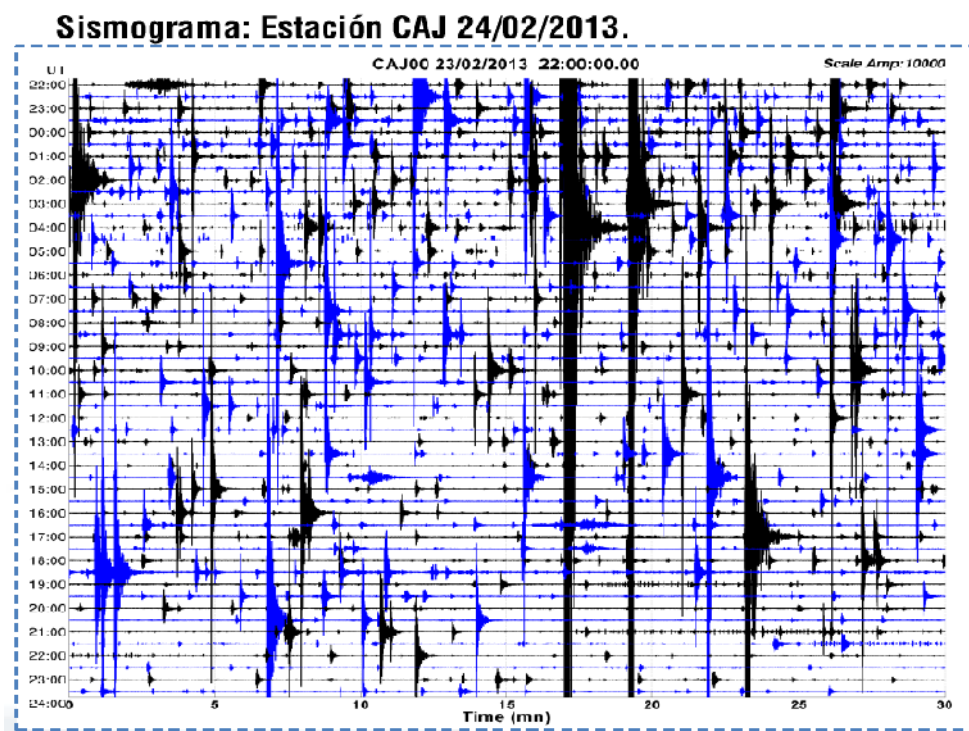


Figura 8: Estación sísmica de Cajamarca y réplicas registradas durante el día 23-24 de febrero

6.- INTENSIDADES SÍSMICAS

De los cuatro sismos ocurridos durante los días 22 y 23 de febrero del 2013, únicamente el correspondiente al día 22 a horas 21:01 UTC (04:01 PM Hora Local), produjo los mayores niveles de sacudimiento del suelo en la región del volcán Sabancaya. Después de ocurrido el evento sísmico, se procedió a realizar la evaluación del radio de percepción del mismo, los efectos y daños causados en todas las localidades que se encuentran en la región de estudio. Las evaluaciones fueron realizadas por el personal del Servicio Sismológico Nacional de la Dirección de Sismología del IGP mediante encuestas vía línea telefónica a dos o tres personas de cada localidad identificada en la región y la información obtenida fue interpretada utilizando la escala de Mercalli Modificada (Figura 9). La descripción más resaltante de la evaluación se detalla a continuación:

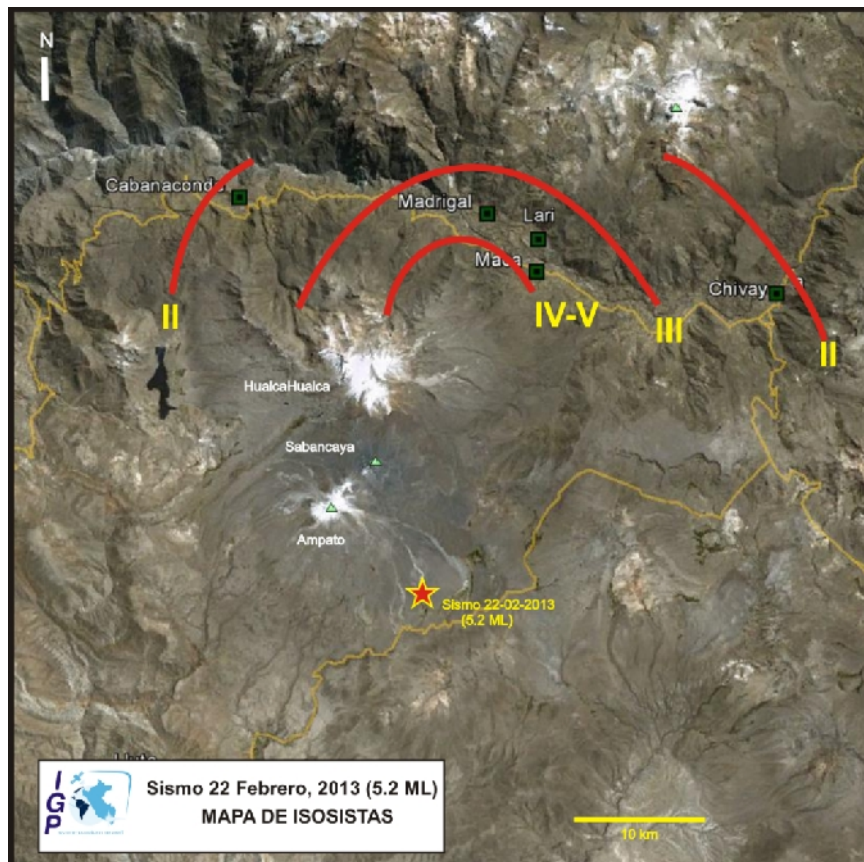


Figura 9: Mapa de intensidades sísmicas correspondientes al sismo del 22 de febrero 2013 a horas: 21:01 (5.2ML).

Localidad de Maca: Sentido muy fuerte por todos. Las personas salieron apresuradas a las calles (pánico total). Daños en carreteras por desprendimientos de piedras de las zonas altas. Se produjo el colapso de 12 viviendas de adobe-quincha, 21 de ellas quedaron inhabitables y otras 37 fueron afectadas con fisuras y daños menores. También se observaron fisuramientos de gran longitud en terrenos de sembrío. En esta localidad la intensidad evaluada fue de IV-V en la escala de Mercalli Modificada.

Localidad de Achoma: Sentido fuerte por sus habitantes, saliendo muchos de ellos apresurados a las calles. Se produjo el colapso de 3 viviendas. En esta localidad la intensidad evaluada fue de III (MM) en la escala de Mercalli Modificada.

Localidad de Lari: Sentido relativamente fuerte por sus habitantes. Se produjo daños en 4 viviendas, las cuales quedaron inhabitables. En esta localidad la intensidad evaluada fue de III (MM) en la escala de Mercalli Modificada.

En otras localidades como Ichupampa y Sibayo se produjeron desprendimientos de rocas en carreteras. En la localidad de Yura y ciudad de Arequipa, el sismo fue sensible con intensidades de II-III (MM).

Los otros tres eventos sísmicos de moderada magnitud produjeron en general intensidades de II-III (MM) en la localidad de Maca, no produciendo daños importantes, tan solo pánico en su población.

7.- ORIENTACION DE LA FUENTE

La orientación preliminar para la fuente sísmica de los 4 eventos de magnitud moderada presentados en la Tabla 1, se ha obtenido a partir de la polaridad de la onda P utilizando información de 9 a 12 registros provenientes de las estaciones sísmicas que integran la Red Sísmica Nacional. Según la Figura 10, los mecanismos focales obtenidos para cada evento sísmico son similares y sugieren el desarrollo de proceso de deformación por compresión con componente de desgarre; es decir, fallas de tipo inverso con planos nodales orientados en dirección N-S. El eje de compresión (P) orientado en dirección E. Considerando que no existe expresión de fracturamiento en superficie, no es posible indicar cuál de los planos nodales corresponden al plano de falla; sin embargo, las soluciones obtenidas en este estudio son similares al propuesto por Antayhua y Tavera (2002) para el sismo de Sepina del 1 de febrero de 1992.

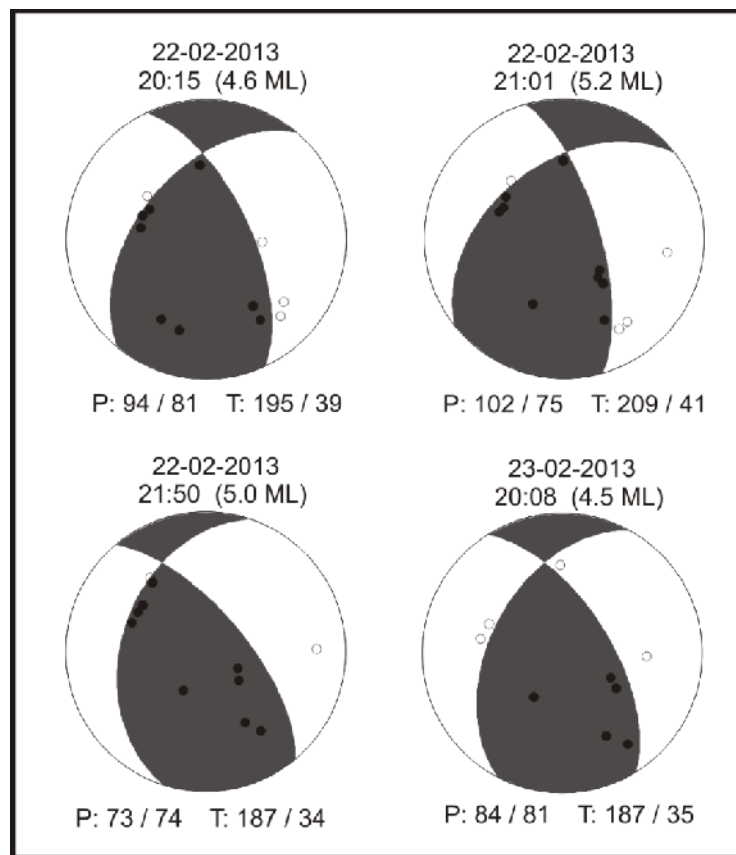


Figura 10: Mecanismo focal obtenido para el sismo de Ica del 14 de mayo de 2012. La solución corresponde a un proceso de ruptura de tipo compresión con una importante componente de desgarre. Círculos pequeños en negro, compresión; blancos, dilatación.

8.- ANÁLISIS ESPECTRAL

Los parámetros de la fuente para los 4 sismos sensibles ocurridos en la región del Sabancaya entre los días 22 y 23 de febrero de 2013 fueron estimados a partir de las características del espectro de amplitud del desplazamiento del suelo registrado en la estación de Toquepala (TOQ) ubicada a una distancia de 200 km de sus epicentros. En la Figura 11 se presenta los espectros correspondientes al grupo de la onda P para cada sismo y su parte plana, identificada con la letra "P", permite estimar el momento sísmico (M_0) y la magnitud momento (M_w) siguiendo la metodología propuesta por Brune (1970) y Hanks y Kanamori (1979). El resumen de los resultados se presenta a continuación:

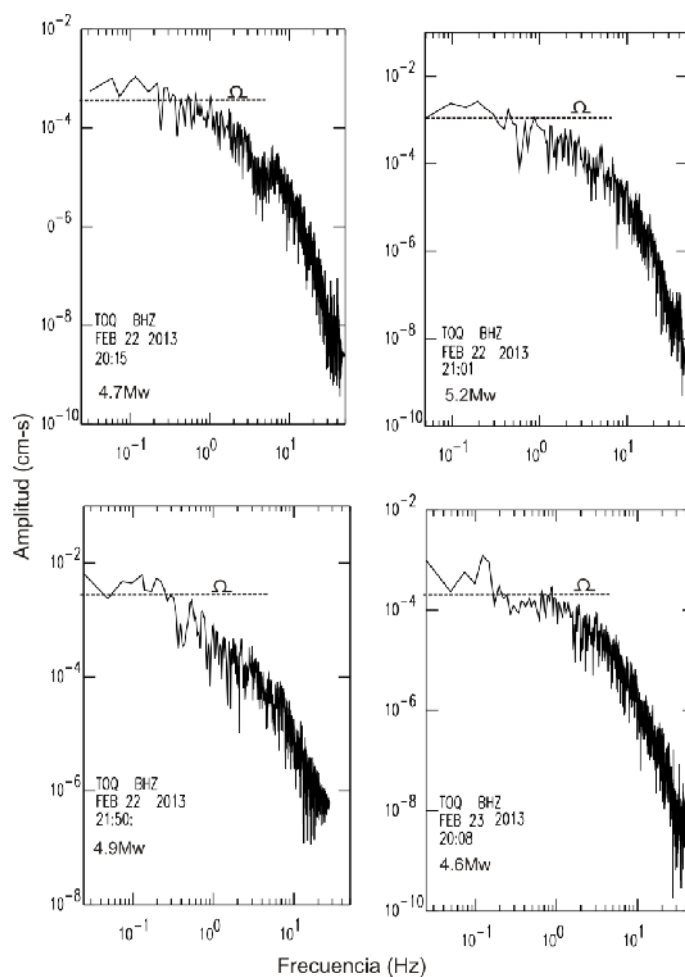


Figura 11: Espectros de amplitud de la onda P para los sismos ocurridos en la región del volcán Sabancaya (ver Tabla 1). El símbolo P corresponde a la parte plana del espectro. TOQ BHZ, indica estación sísmica de Toquepala y registro de la onda P en la componente vertical.

.- Sismo del 22-02-2013 a horas 20:15 UTC:

Mo= 1.25E+23 dina-cm, equivalente a Mw= 4.7

.- Sismo del 22-02-2013 a horas 21:01 UTC:

Mo= 7.11E+23 dina-cm, equivalente a Mw= 5.2

.- Sismo del 22-02-2013 a horas 21:50 UTC:

Mo= 2.51E+23 dina-cm, equivalente a Mw= 4.9

.- Sismo del 23-02-2013 a horas 20:08 UTC:

Mo= 8.92E+22 dina-cm, equivalente a Mw= 4.6

9.- ANÁLISIS DE FORMAS DE ONDA

Los sismos de magnitud moderada ocurridos los días 22 y 23 de febrero 2013 en la región del Sabancaya, presentan sus epicentros en la zona denominada Pampa Sepina; por lo tanto, deben presentar los mismos procesos de ruptura, tal como lo sugieren sus mecanismos focales; es decir, debe esperarse que sus señales sísmicas registradas en una u otra estación, sean similares.

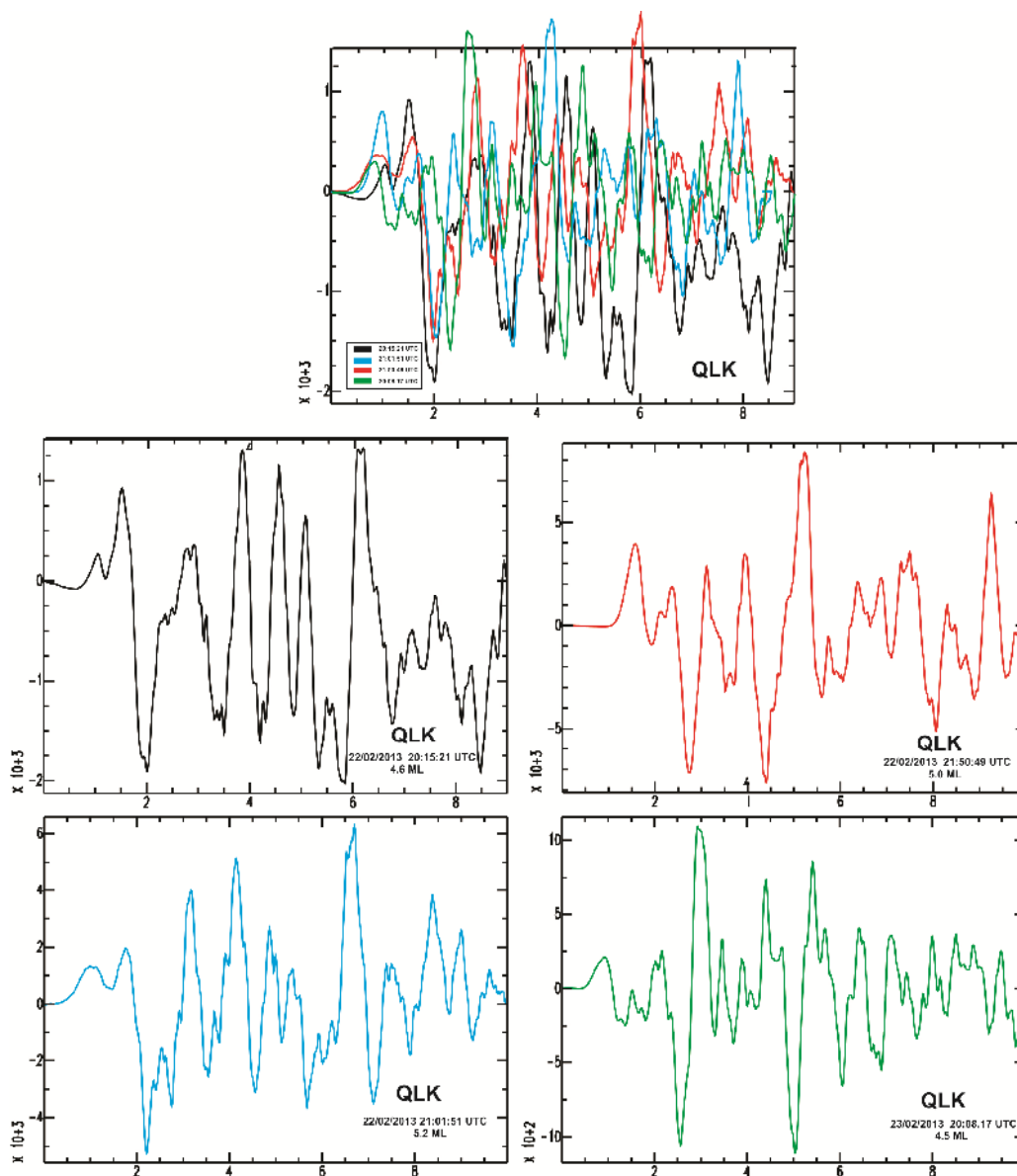


Figura 12: Formas de onda correspondiente a los 4 eventos sísmicos de magnitud moderada registrados en la estación sísmica de Quilca (QLK). Los colores corresponden a cada evento sísmico de la Tabla 1

En la Figura 12 se presenta las señales sísmicas correspondientes al grupo de la onda P de cada sismo registrado en la estación Quilca (QLK), todos identificados por diferente color. En la parte superior de la figura, los registros del grupo de la onda P son sobrepuestos, observándose en ellos bastante coherencia entre sus formas de onda. Situación similar se observa cuando se analiza de manera individual cada registro. Obsérvese que para todos los sismos, su registro se inicia con dos pulsos positivos, seguidos de un pulso negativo con mayor amplitud, para luego presentar hasta tres pulsos de variada amplitud. Esta similitud observada en los registros de los cuatro sismos, sugiere que todos los eventos tienen como origen la misma fuente sísmica y similares procesos de ruptura.

10.- DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, en la región del volcán Sabancaya, los cuatro sismos de magnitud moderada ocurridos los días 22 y 23 de febrero de 2013, tuvieron su origen en la deformación tectónica local presente en la zona de Pampa Sepina. En esta misma zona, se produjo un sismo de magnitud 5.0 ML el 1 de julio de 1992 (ver Figura 4). Este escenario es coherente con la presencia, en la región del volcán Sabancaya de un importante número de trazas de fallas y lineamientos señalados por Mering et al (1996) como de reciente formación.

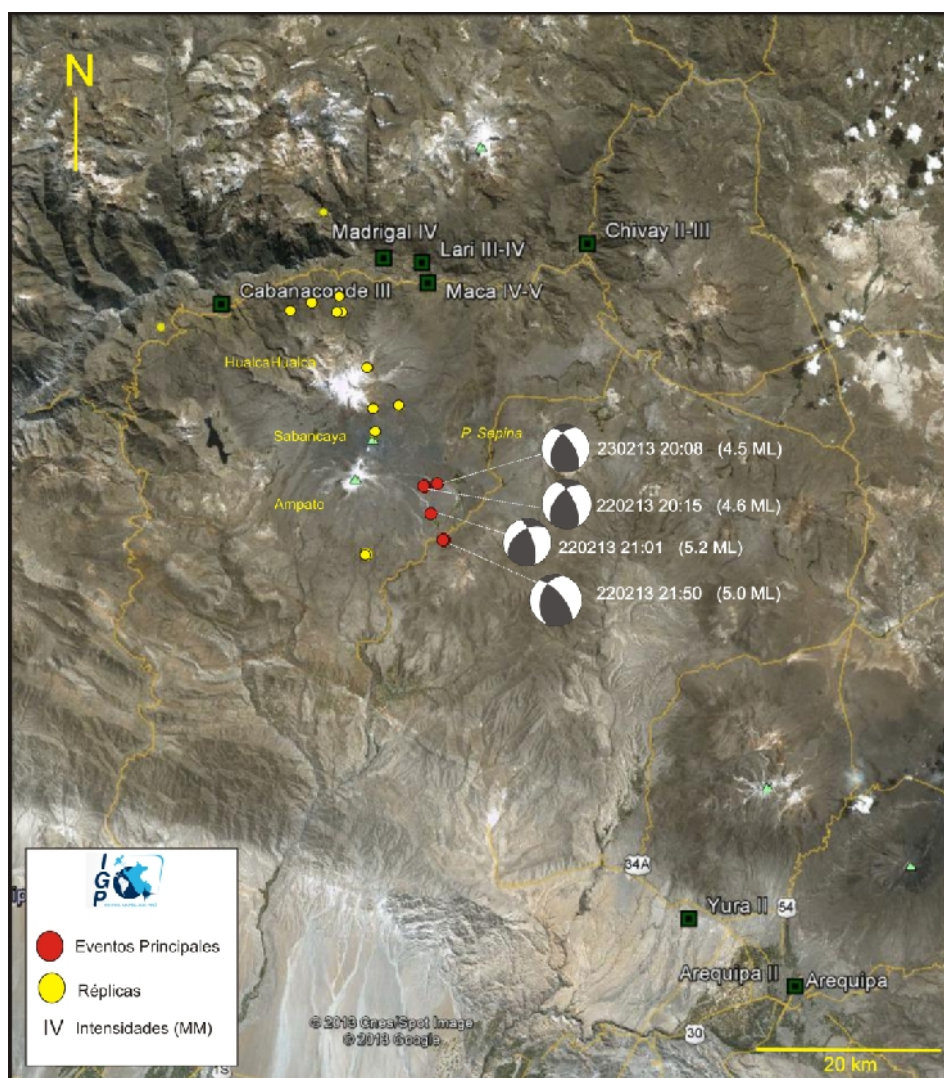


Figura 13: Distribución espacial de los sismos de magnitud moderada ocurridos los días 22 y 23 de febrero con sus respectivos mecanismos focales. Se indica los valores de intensidades evaluadas para el sismo del 22 de febrero a horas 21:01 UTC.

En la Figura 13 se muestra la ubicación de los epicentros de los sismos de magnitud moderada ocurridos entre los días 22 y 23 de Febrero, junto a sus mecanismos focales obtenidos en este estudio, los cuales sugieren la ocurrencia de procesos de deformación por compresión sobre posibles planos de falla orientados en dirección N-S. Estos procesos de deformación son similares al desarrollado por el sismo ocurrido en Maca (5.4 ML) y Pampa Sepina (5.0 ML) el 23 de julio de 1991 y 1 de febrero de 1992.

Por otro lado, los diversos estudios hechos para explicar la crisis sísmica ocurrida en la región del volcán Sabancaya durante los años 1986 a 1995, por Rodríguez et al (1989), Lazo et al (1991), Mering et al (1996) y Antayhua et al (2001), sugieren que la importante deformación tectónica que se desarrolló durante este periodo, produjo como principal efecto secundario la reactivación del volcán Sabancaya, caracterizado por una erupción freatomagmática que duró varios años. Dentro de este contexto, es posible que el mismo proceso se desarrolle en la región del volcán Sabancaya después de ocurrido los 4 eventos sísmicos con magnitudes entre 4.5 y 5.2 ML y su serie de réplicas durante los días 22 y 23 de febrero de 2013.

Históricamente, el mismo escenario pudo haberse presentado en el año 1784. En reportes hechos por Zamacola y Jáuregui (1804) se señala lo siguiente: "*Día 11 de julio, a las 9 y 56 minutos se sintió un temblor de tierra, con bastante remezón pero no causó ningún daño. Se tuvo noticia de que el pueblo de Lari, jurisdicción de Caylloma, hay un cerro o volcán llamado Ambato, el que a efectos de estos terremotos, el volcán humea y bosteza fuego*".

Por otro lado, las primeras campañas de reconocimiento realizada por el INDECI muestran imágenes de carreteras obstruidas por la caída de piedras, así como la presencia de fisuras en terrenos de sembríos y daños en viviendas de adobe, quincha, pircas de sillares y piedras, previamente afectadas por el tiempo y la lluvia. Estos escenarios, repetitivos en el tiempo (Figura 14), corresponden a efectos secundarios debidos al nivel de sacudimiento del suelo propio de actividad sísmica tectónica.



Figura 14. Imágenes que muestran los efectos secundarios producidos por los sismos ocurridos en la región del volcán Sabancaya los días 22 y 23 de febrero 2013. Se considera una imagen correspondiente al efecto en suelos producido por el sismo de julio de 1991 en la misma localidad de Maca.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del presente informe técnico son:

1.- La región del volcán Sabancaya se caracteriza por presentar un complejo proceso de deformación superficial puesta en evidencia con la presencia de fallas tectónica y lineamientos de diversa longitud. El sistema de fallas de mayor importancia es el de Huambo-Cabanaconde-Chivay.

2.- La crisis sísmica-volcánica del periodo 1986 a 1995, puso en evidencia que existe una relación sismotectónica entre la ocurrencia de sismos, debido a la deformación cortical, y la reactivación temporal del volcán Sabancaya.

3.- Los eventos sísmicos de magnitud moderada ocurridos los días 22 y 23 de febrero de 2013 y su serie de réplicas en la región del volcán Sabancaya, presentan sus epicentros en Pampa Sepina. El de mayor magnitud produjo intensidades de IV-V (MM) en la localidad de Maca. En los años 1991 y 1992, durante el periodo de crisis del volcán Sabancaya, en esta misma zona ocurrieron dos sismos con magnitudes de 5.4 y 5.0 ML, el primero produjo en la localidad de Maca intensidades de VIII (MM).

4.- La actividad sísmica presente en la región del volcán Sabancaya es de origen tectónico. La presencia de los focos sísmicos cercanos a la estructura volcánica, podría haber producido como principal efecto secundario, la reactivación temporal del volcán Sabancaya, puesta en evidencia con la emanación de fumarolas y gases, además de variaciones del volumen de agua en algunos focos de agua termal. Esta actividad tectónica, como es normal, ha producido un gran número de réplicas, las mismas que deben presentar un decaimiento temporal en su frecuencia. Dentro de este contexto, es posible tener registros de eventos netamente volcánicos como LPs, considerando que la estructura volcánica fue afectada.

6.- Es necesario desarrollar el monitoreo sísmico – geofísico del volcán Sabancaya a fin de evaluar su evolución con fines de organizar la gestión del riesgo en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Antayhua et al (2002): Localización hipocentral y características de la fuente de los sismos de Maca (1991), Sepina (1992) y Cabanaconde (1998). Región del volcán Sabancaya. Boletín de la Sociedad Geológica del Peru, V93, 63-72.
- Antayhua, Y. y Tavera, H. (2001): Análisis de la actividad sísmica en la región del volcán Sabancaya. Boletín de la Sociedad Geológica del Peru, V92, 79-88.
- Barriga, V. (1951). Los terremotos en Arequipa: 1582-1868. La Colmena S.A. Arequipa. 332 p.
- Brune, J., (1970). Tectonics strain and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *J. Geophys. Res.* **75**, 4997-5009.
- Dorbath, L., A. Cisternas, y Dorbath C. (1990). Assesment of the size of large and great historical earthquakes in Peru, *Bull.Seims.Soc.Am.*, Vol. 80, N° 3, pp. 551-576.
- Gonzáles, E., Kosaka, M y Minaya, A., (1996). Sismicidad del volcán Sabancaya y el Hualca-Hualca. Segundo Seminario Latinoamericano: Volcanes, Sismos y Prevención.
- Huamán, D. (1990). Vigilancia del volcán Sabancaya: Observaciones realizadas a la fecha 03-08-90, por el grupo IGP-Arequipa. *Inf. Int. IGP.*, 6p.
- Huamán, D., Guillande, R., Rodríguez, A., Rivera, R. y Antallaca, A. (1991). Teleanálisis geológico y sismicidad del sector comprendido entre el volcán Sabancaya y el poblado de Ichupampa: El Sistema de fallas Sepina. *Inf. Int. IGP.*, 8p.
- Huaman et al (1993): Cadre structural et risques géologiques étudiés á l'aide de l'imagerie spatiale: la région du Colca (Andes du Sud Perú): *Bull. Soc. Géol. France*, t.164, no 6, 807-818
- Huaman, D. (1995). Métodos y aplicaciones de las imágenes de satélite en la cartografía geológica: El caso del seguimiento y evolución de la amenaza volcánica del Sabancaya (región del Colca, Arequipa). Tesis de Ingeniero, Univ. Nac. San Agustín, Arequipa. 138p.
- Kanamori, H., Anderson, D., (1977). Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Bull. Seism. Soc. Am.* **65**, 1073-1095.
- Lahr, J. (1998). Hypoellipse a computer program for determinating local a regional earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern.
- Lazo, M., Kosaka, R., Minaya, A., Gonzales, E. y Soto, J. (1991). Evaluación de la actividad sísmica del volcán Sabancaya: VII Congreso Peruano de Geología, Lima: volumen de resúmenes extendidos.19-21.
- Silgado, E. "Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Bol. 3, Serie C, Instituto de Geología y Minería, Lima-Perú, 133 pp., 1978
- Thouret, J.C., et al (1995a): La actividad eruptiva del volcán nevado Sabancaya (Sur de Perú): geología, sensores remotos, evaluación y mapeo de zonas de riesgo. Resúmenes

Extendidos. Seminario Taller: Evaluación de la Litósfera en los Andes peruanos y sus márgenes. Programa PICG, 188. Lima-Perú.

Thouret, et al (1995b) Geomorphological and geological survey and remote sensing of the current activity of nevado Sabancaya strato volcano (South Perú): assessment for hazard-zone mapping. *Z. Geomorph.N-E.*, 39, 4,515-535.

Tavera, H., Y. Antayhua (2000).-Señales sísmicas de volcanes activos: ejemplos del volcán Sabancaya, Arequipa (Perú). *Bol. Socio Geol. Perú*, v. 90: p. 107-119.

Travada y Cordoba (1752).- El suelo de Arequipa convertido en cielo (historia general de Arequipa): primer festival del libro Arequipeño, 1958, 15p.

Uribe, M. (1995). Evaluación de la actividad sísmica en relación con el proceso eruptivo del volcán Sabancaya y el valle del Colca. Resúmenes Extendidos. Seminario Taller: Evaluación de la Litósfera en los Andes Peruanos y sus márgenes. Programa PICG 288. Lima Perú.

Instituto Geofísico del Perú

Dirección de Sismología

Calle Badajos 169 – Urb. Mayorazgo IV Etapa - Ate

Teléfono 3172300-140 Fax 3172309-141

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