



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú

Dirección  
de Sismología



Sismo de Huambo-Cabanaconde (Arequipa)  
del 17 de Julio, 2013 (5.7ML)

## ASPECTOS SISMOLOGICOS

Por:

Hernando Tavera  
Julio Martinez  
Efrain Fernandez  
Luz Arredondo  
Cristhian Flores  
José Millones

Informe Técnico N° 02-2013

Lima-Perú  
Julio, 2013

## ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN

2.- SISMOTECTÓNICA LOCAL

3.- SISMO DEL 17 DE JULIO

3.1.- Parámetros Hipocentrales

3.2.- Intensidades

3.3.- Orientación de la Fuente

3.4.- Análisis Espectral

4.- PRECURSORES Y RÉPLICAS

5.- EFECTOS SECUNDARIOS

6.- DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

AGRADECIMIENTOS

BIBLIOGRAFÍA

## **1.- INTRODUCCION**

En el borde occidental de Perú se desarrolla el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana con una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999), siendo el mismo responsable de la actual geodinámica y geomorfología presente sobre todo el territorio peruano. En general, este proceso es la causa de ocurrencia de sismos de diversa magnitud y focos ubicados a variadas profundidades, todos asociados a la fricción de placas (oceánica y continental), deformación interna de la placa oceánica por debajo de la cordillera y deformación cortical a niveles superficiales.

Dentro de este contexto (Figura 1), en el Perú la ocurrencia de sismos es continua en el tiempo y cada año, se registra y se reporta un promedio de 150-170 sismos sentidos en superficie con intensidades mínimas de II-III (MM) y magnitudes  $ML \geq 4.5$ . Los sismos con magnitud mayor ( $M \geq 7.0$ ), son menos frecuentes y cuando tienen su origen en el proceso de fricción de placas, producen importantes daños en áreas relativamente grandes, tal como sucedió en la región Sur de Perú el 23 de Junio de 2001 ( $M_w=8.2$ ) y en Pisco, el 15 de Agosto de 2007 ( $M_w=7.9$ ). A niveles más profundos, estos sismos pocas veces producen daños en razón que la energía emitida se atenúa rápidamente antes de llegar a la superficie; sin embargo, es frecuente observar efectos secundarios como licuación de suelos y deslizamientos de piedras en zonas de alta pendiente.

Los sismos con origen en los procesos de deformación de la corteza a niveles superficiales son menos frecuentes, pero cuando ocurren, producen daños de consideración en áreas relativamente pequeñas, por ejemplo los sismos del Alto Mayo (San Martín) del 30 de Mayo de 1990 (6.0ML) y 5 de Abril de 1991 (6.5ML); asimismo, el sismo del 12 de Abril de 1998 (5.2ML) con epicentro a 13 km en dirección NE de la localidad de Huambo. En general, los efectos producidos por estos eventos consideran daños mayores en viviendas de adobe y piedra, además de deslizamientos de piedras y tierra en zonas de pendiente alta.

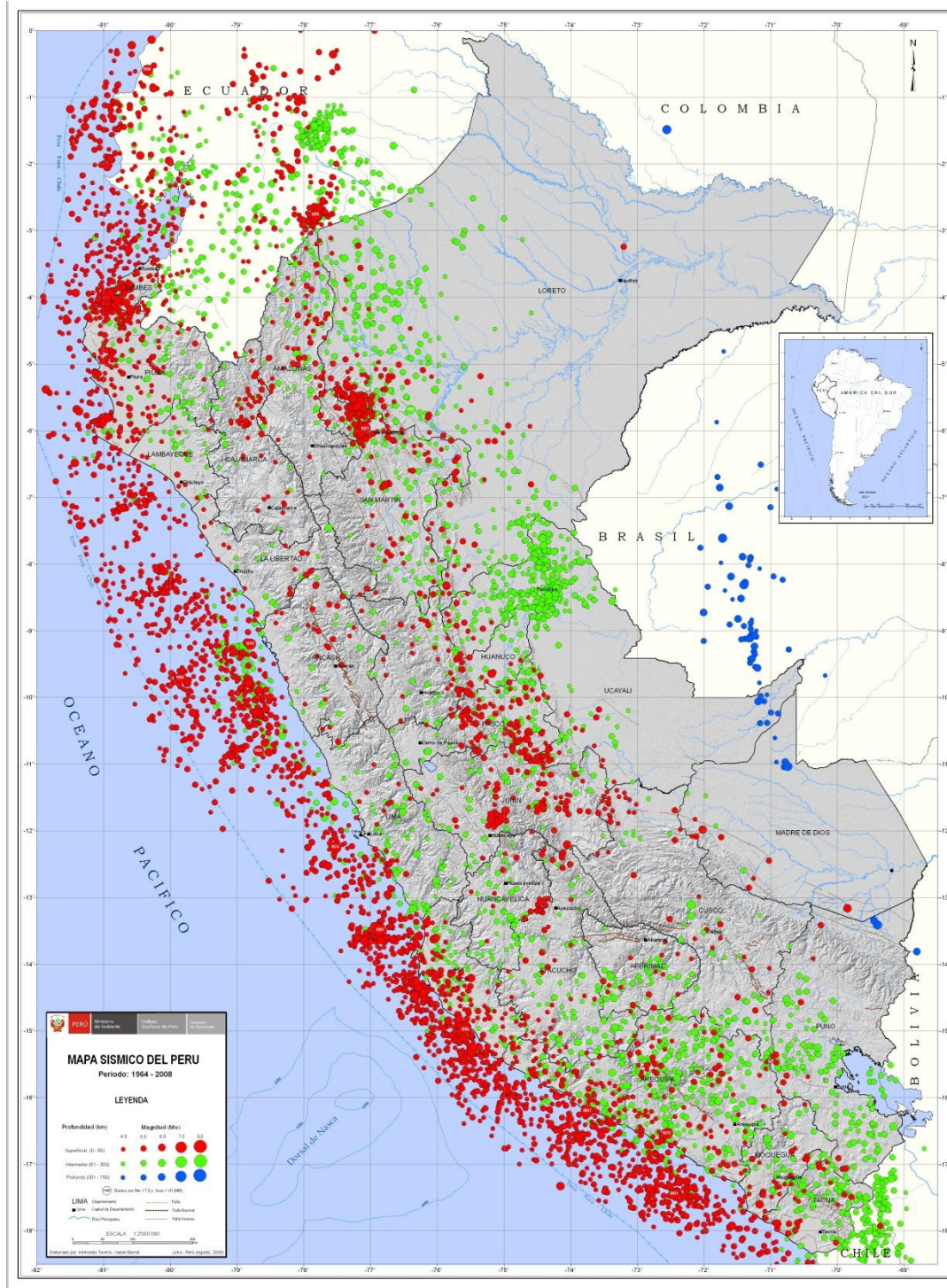


Figura 1.- Mapa Sismico del Perú para el periodo 1964 y 2008. La magnitud de los sismos es diferenciado por el tamaño de los círculos y la profundidad de sus focos por el color de los mismos. Los círculos con número inscrito en su interior indican la ubicación y año de ocurrencia de los grandes sismos.

En la región sur del Perú, el día 17 de julio del 2013 ocurre un sismo de tipo cortical con una magnitud moderada de 5.7 ML (6.0 Mw) y con epicentro ubicado a 9 km al NE de la localidad de Huambo (Arequipa). El sismo ocurrió a una profundidad de 7 km (foco superficial) y en general, presento un área de percepción con radio del orden de 200 km ( $I_{max}=II$ ), siendo mayor su intensidad ( $I_{max}=VI$ ) entorno a las localidades de Huambo y Cabanaconde (Arequipa). En este informe se presenta y se describe los parámetros hipocentrales del sismo, intensidades evaluadas, orientación de la fuente, eventos precursoros y réplicas, así como su interpretación sismotectónica.

### 3.- TECTÓNICA LOCAL

La región del Cañón del Colca, se encuentra bordeada 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 tectónica local representada principalmente por las fallas de Ichupampa, Huanca y el sistema Huambo- Cabanaconde, en donde sobresalen las fallas de Solarpampa y Trigal. Estas trazas de falla de tipo normal, se encuentran ubicadas en los extremos NE, SO y NE del complejo volcánico Ampato-Sabancaya-HualcaHualca (Sébrier, 1985). Asimismo, en la Figura 2 se observa la presencia de un importante número de lineamientos que sustenta el desarrollo altos índices de deformación local con la ocurrencia de importante actividad sísmica.

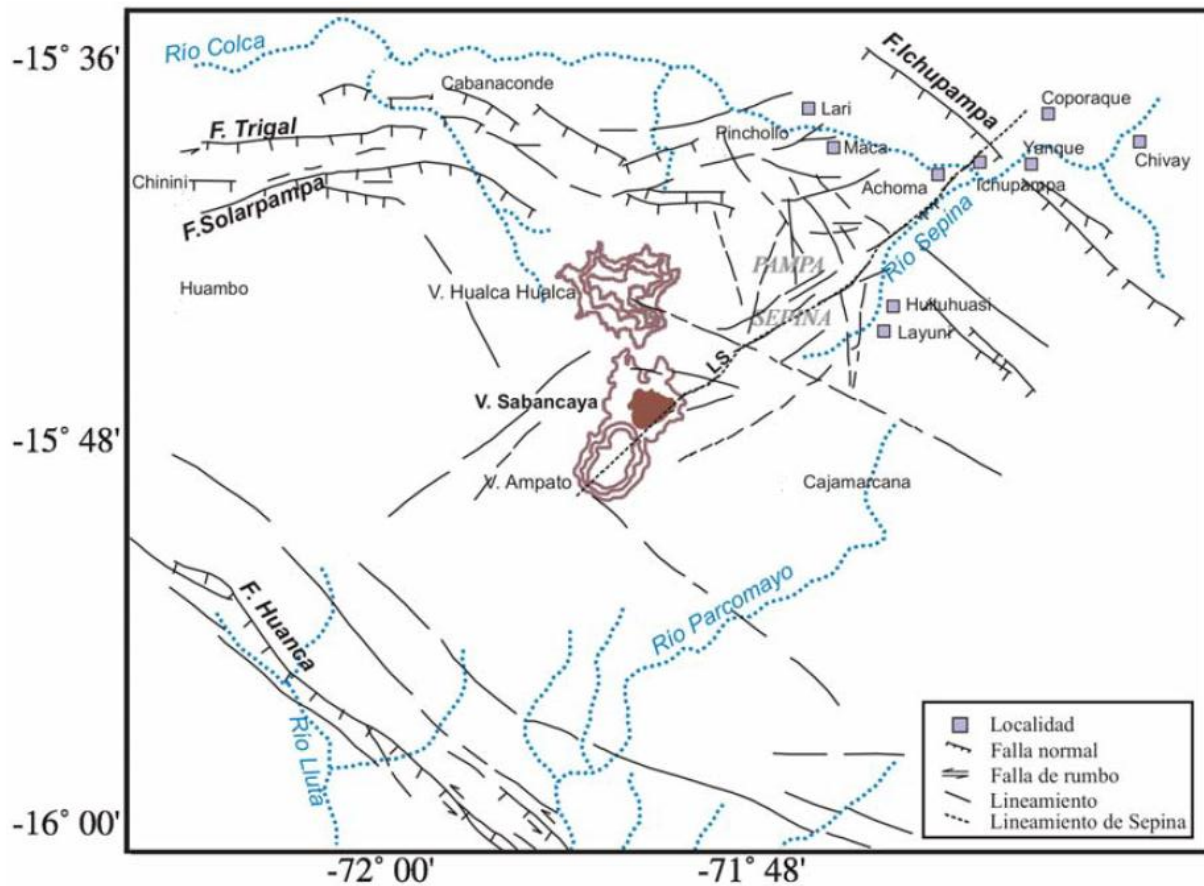


Figura 2: Principales sistemas de fallas y lineamientos en la región del Cañón del Colca - Arequipa

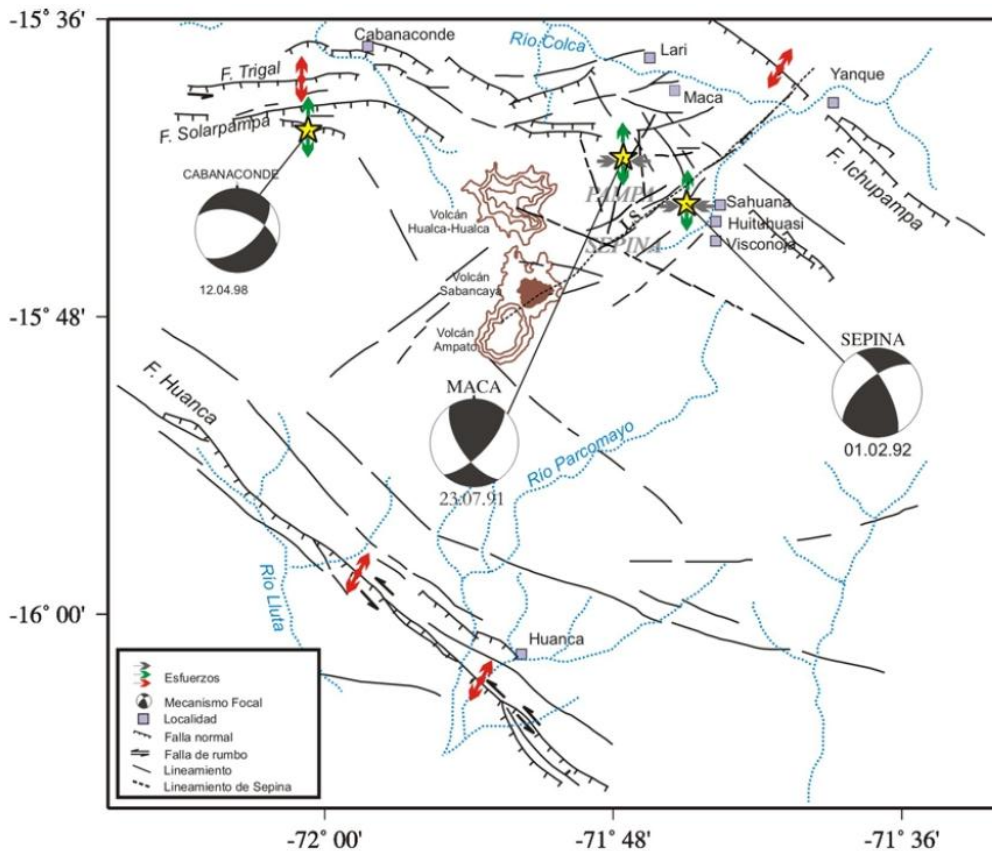


Figura 3: distribución epicentral de los sismos de Maca, Sepina y Cabanaconde-Huambo de 1991, 1992 y 1998. Las flechas rojas indican la orientación de los ejes T obtenidos de estudios de microtectónica y las flechas verdes y grises, la orientación de los ejes T y P deducidos de los mecanismos focales (Antayhua y Tavera, 2002)

Los sismos más recientes ocurridos en esta región fueron en los años 1991, 1992 y 1998 (Figura 3). El primer sismo ocurrió el 23 de Julio de 1991 a las 14h 45m hora local, con una magnitud de 5.4 mb (foco a 4 km de profundidad) y epicentro a 6 km al SE de la localidad de Maca. Este sismo produjo en superficie importantes asentamientos y deslizamientos de tierra, además de numerosos desprendimientos de roca a lo largo de las pendientes del río Colca. Las localidades más afectadas, fueron las de Lari y Maca, en donde el 20% y 80% de las viviendas fueron destruidas, además de 14 personas fallecidas y numerosos heridos. La evaluación de daños permite considerar que estas localidades soportaron una intensidad máxima de VIII grados en la escala de Mercalli Modificada (Rodríguez y Huamán, 1992). El segundo sismo ocurrió el 01 de Febrero de 1992 a las 12h 22m hora local, con una magnitud de 5.0 mb y foco a 5 km de profundidad. El epicentro del sismo fue localizado a 3 km al NO de las localidades de Hituhuasi y Visconoja en Pampa Sepina. Este sismo fue seguido por

un importante número de réplicas y produjo la caída de rocas y asentamientos de tierras en el valle de Sepina. Las localidades más afectadas fueron Huituhuni, Sahuana y Layuni, donde la intensidad máxima llegó a VI MM (Antayhua y Tavera, 2002).

El tercer sismo ocurrió el 12 de Abril de 1998 (18h 49m, hora local) con una magnitud de 5.2 mb y epicentro localizado a 9 km al sur de la localidad de Cabanaconde y a 13 km al NE de Huambo. Este sismo no produjo daños personales; sin embargo, casi el 50% de las viviendas de ambas localidades fueron dañadas y destruidas debido a la precariedad de sus construcciones (adobe y piedras). Además, algunas carreteras fueron interrumpidas por la caída de rocas y tierra. Las localidades más afectadas fueron las de Huambo, Cabanaconde, Tapay y Choco, las mismas que soportaron intensidades máximas de V (MM).

El sismo de 1998 fue seguido por un importante número de réplicas de magnitudes menores, pero que siguieron causando alarma a la población. El mecanismo focal obtenido por Antayhua y Tavera (2002) para este sismo, describe el desarrollo de un proceso de ruptura asociado a una falla normal con ejes de Tensión (T) y Presión (P) prácticamente horizontales orientados en dirección N-S y E-O respectivamente. La ubicación del epicentro y la orientación de ambos planos nodales es coherente con la orientación de la traza de la Falla Solarpampa. Este evento sísmico y su serie de réplicas sugieren que dicha unidad tectónica pasó por un periodo de reactivación netamente local.

El 17 de julio de 2013, el sistema de fallas, Huambo-Cabanaconde, se reactivó con la ocurrencia de un sismo de magnitud 5.7ML, el mismo que fue precedido y seguido por otros de menor magnitud, cuyas características se analiza y evalúa a continuación.



### **3.- SISMO DEL 17 DE JULIO, 2013**

#### **3.1.- Parámetros hipocentrales**

Los parámetros hipocentrales del sismo del 17 Julio del 2013 fueron obtenidos utilizando información de algunas estaciones de la Red Sísmica Nacional (CUS, YAU, QKL, PNU) y de las provenientes de la red sísmica temporal que funcionan cerca del volcán Sabancaya como parte de los proyectos que lidera el Dr. O. Macedo (Figura 4). Para el cálculo se ha considerado el modelo de velocidad de Dorbath et al (1991), una relación de velocidades  $V_p/V_s$  de 1.68 y los resultados obtenidos son (Figura 4):

Tiempo Origen:	02h 37min del día 17 de julio, 2012 (Hora Universal) 21h 37min del día 16 de julio, 2012 (Hora Local)
Latitud Sur:	-15.67°
Longitud Oeste:	-72.05°
Profundidad:	7 km
Magnitud:	5.7 ML
Epicentro:	A 9 km al NE de la localidad de Huambo (Arequipa)
Intensidad Máxima:	VI en la escala MM en Huambo y Cabanaconde
Momento Sísmico:	1.1.0E+25 dina-cm
Magnitud Momento:	6.0 Mw

En la Figura 5, se presenta el epicentro del sismo y la distribución de la actividad sísmica de la región correspondiente al periodo 2011-2013. Obsérvese que en la zona epicentral se tiene la ocurrencia de un número importante de sismos cuyo origen guarda relación con deformación asociada al volcán Sabancaya y a la cortical presente en el importante sistema de fallas del Cañón del Colca (Chivay). El resto de sismicidad, con epicentros frente a la costa, se asocia a la interacción existente entre las placas de Nazca y Sudamericana dentro del proceso conocido como subducción

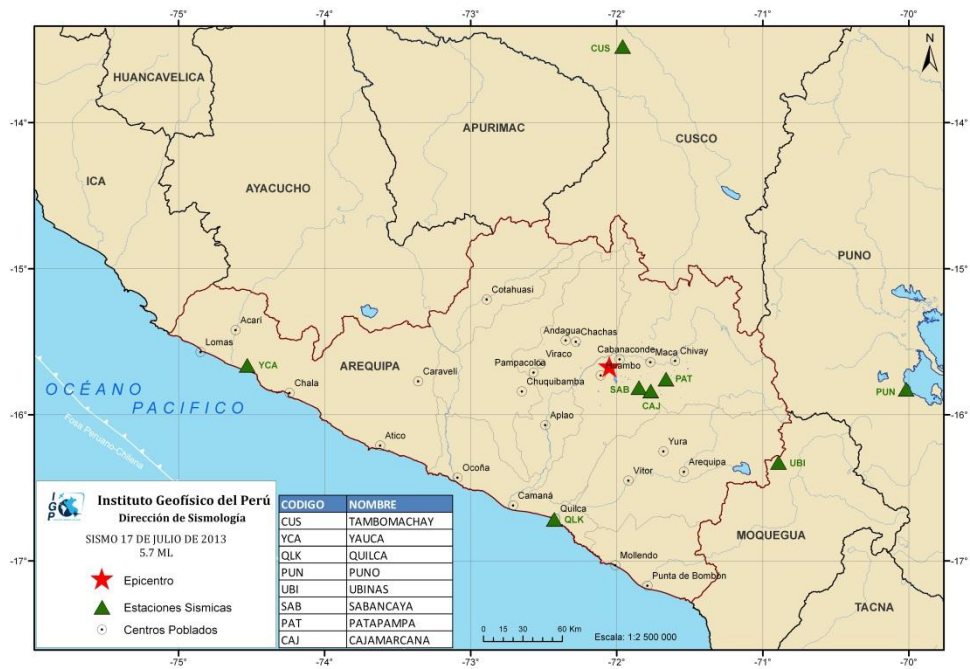


Figura 4: Mapa de distribución espacial de las estaciones sísmicas cuya información se utilizó para el cálculo de los parámetros hipocentrales del sismo de Huambo.

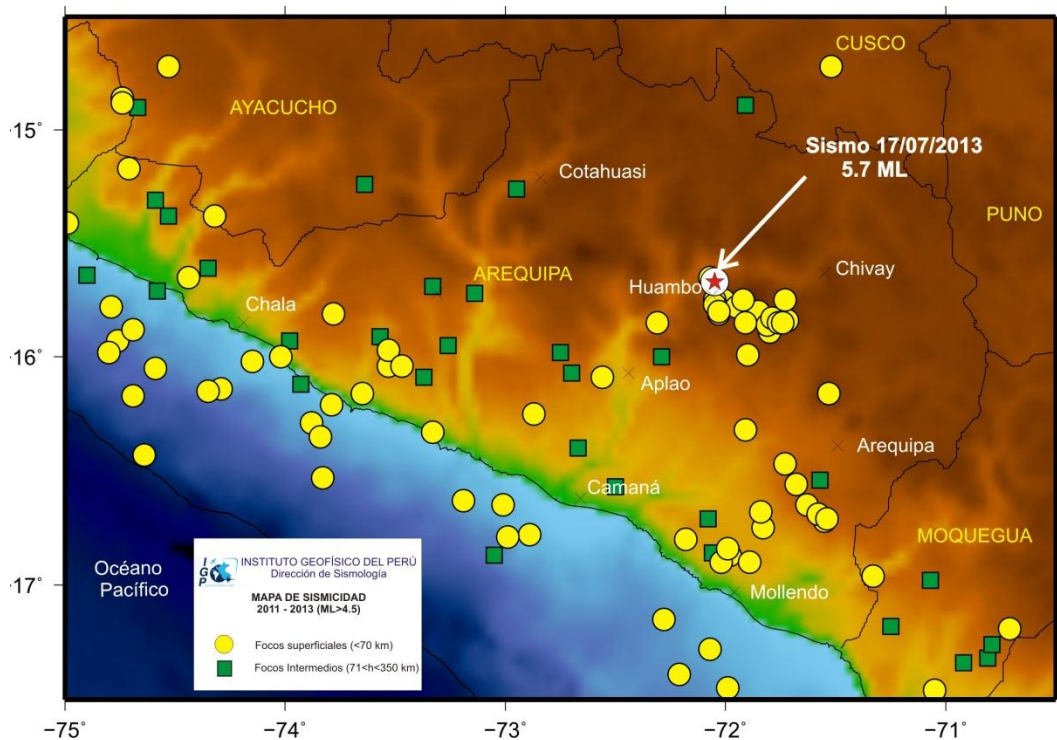


Figura 5: Distribución espacial de los sismos reportado por el IGP como sentidos en las localidades de la región sur del Perú entre los años 2011 y 2013.

### **3.2.- Intensidades Sísmicas**

Después de haberse producido el sismo de Huambo (Arequipa), se procedió a realizar la evaluación del radio de percepción y niveles de sacudimiento del suelo a fin de conocer de manera indirecta los efectos y daños causados en la región del Cañón del Colca. Las evaluaciones fueron realizadas por el personal del Servicio Sismológico Nacional de la Dirección de Sismología (IGP) mediante encuestas vía línea telefónica a dos o tres personas de las localidades mayores de la región; además de la proporcionada por el Ing. J.C. Gomez que realizaba trabajos de campo en la zona afectada. La información obtenida fue interpretada utilizando la escala de Mercalli Modificada (Figura 6) y de ella, la descripción más resaltante se detalla a continuación:

*Localidades de Huambo y Cabanaconde:* Movimiento sentido muy fuerte por todos. Las personas salieron apresuradas a las calles (pánico total). Se ha reportado el derrumbe de 35 casas de adobe-piedra y alrededor de 80 con rajaduras. Las personas se refugian en la plaza de Armas y colegio Hipólito Sanchez. En la ruta Huambo-Cabanaconde se ha producido muchos deslizamientos de piedras y tierra que han cerrado las carreteras. En estas localidades la intensidad evaluada fue de VI en la escala de Mercalli Modificada.

*Localidades de Maca, Lari y Madrigal:* Sentido fuerte por todos, muchos salieron de sus casas, algunos muros de viviendas se dañaron y cayeron objetos. Se indica que el movimiento estuvo acompañado de ruido. Se informó de derrumbes cerca de la localidad de Tapay y otros en lo largo del Cañón del Colca. En estas localidades la intensidad evaluada fue de V en la escala de Mercalli Modificada.

*Localidad de Aplao:* Sentido relativamente fuerte por sus habitantes. Algunas personas salieron de sus viviendas. El movimiento estuvo acompañado de ruido. En esta localidad la intensidad evaluada fue de IVI en la escala de Mercalli Modificada.

Según Antayhua y Tavera (2002), la intensidad máxima evaluada para el sismo de 1998 en las localidades de Cabanaconde, Huambo, Tapay y Choco fue de V (MM) y sus principales características de efectos y daños fueron: “*Sentido fuerte por todas las*

personas sin causar daños importantes, solo algunas personas con heridas leves. Las viviendas construidas enteramente de rocas, adobe y barro sufrieron desplomes de algunas partes de sus paredes y otros presentaban rajaduras. Así mismo, se produjeron pequeñas fisuras en el suelo y en algunos caminos de herradura, además los canales de regadío fueron interrumpidos por efecto de los derrumbes. La carretera Huambo-Cabanaconde estuvo interrumpida por la caída de pequeños bloques de roca. Los terrenos de cultivo sufrieron caída de cercos”.

En términos generales, la descripción de los efectos y daños producidos por el sismo del 17 de julio del 2013 en las localidades de Huambo, Cabanaconde y Maca, es similar a la evaluación hecha para el sismo del 12 de abril de 1998; es decir, el peligro es recurrente en el tiempo, así como los tipos de efecto y daños en estas localidades.

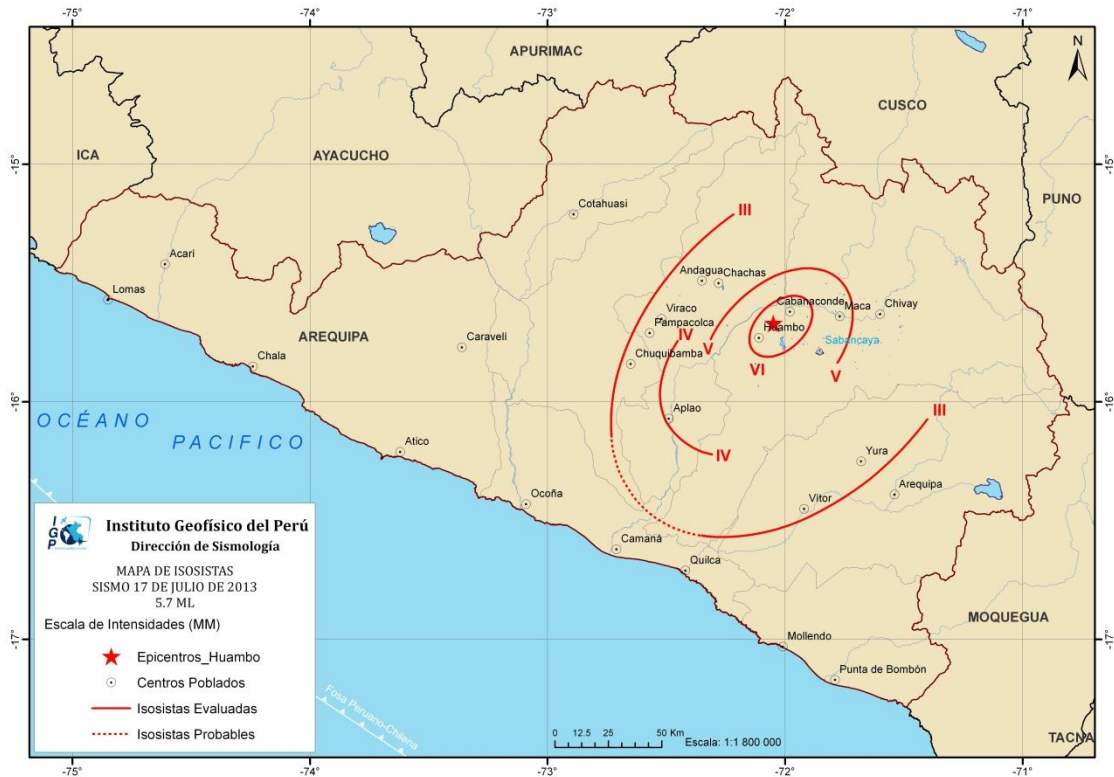


Figura 6: Mapa de intensidades sísmicas correspondientes al sismo del 17 de julio, 2013 (5.7ML).

Las altas intensidades evaluadas en las localidad de Huambo, Cabanaconde y Maca se debieron principalmente al grado de afectación en viviendas precarias de adobe y piedra fuertemente dañadas por el paso del tiempo y la presencia de lluvias, en comparación con las viviendas de ladrillo que no tuvieron daño alguno, tal como se observó en la Plaza de Armas de la localidad de Cabanaconde (ver Capítulo 5). Del

mismo modo, las intensidades altas a lo largo del Cañón del Colca se debieron a la ocurrencia de efectos secundarios como deslizamientos de tierra y piedras que paralelamente, dañaron algunas viviendas. En general, el sismo fue sentido leve en las localidades de Yura y Vitor, así como en la ciudad de Arequipa; mientras que, a la misma distancia, en sentido contrario el evento sísmico paso desapercibido.

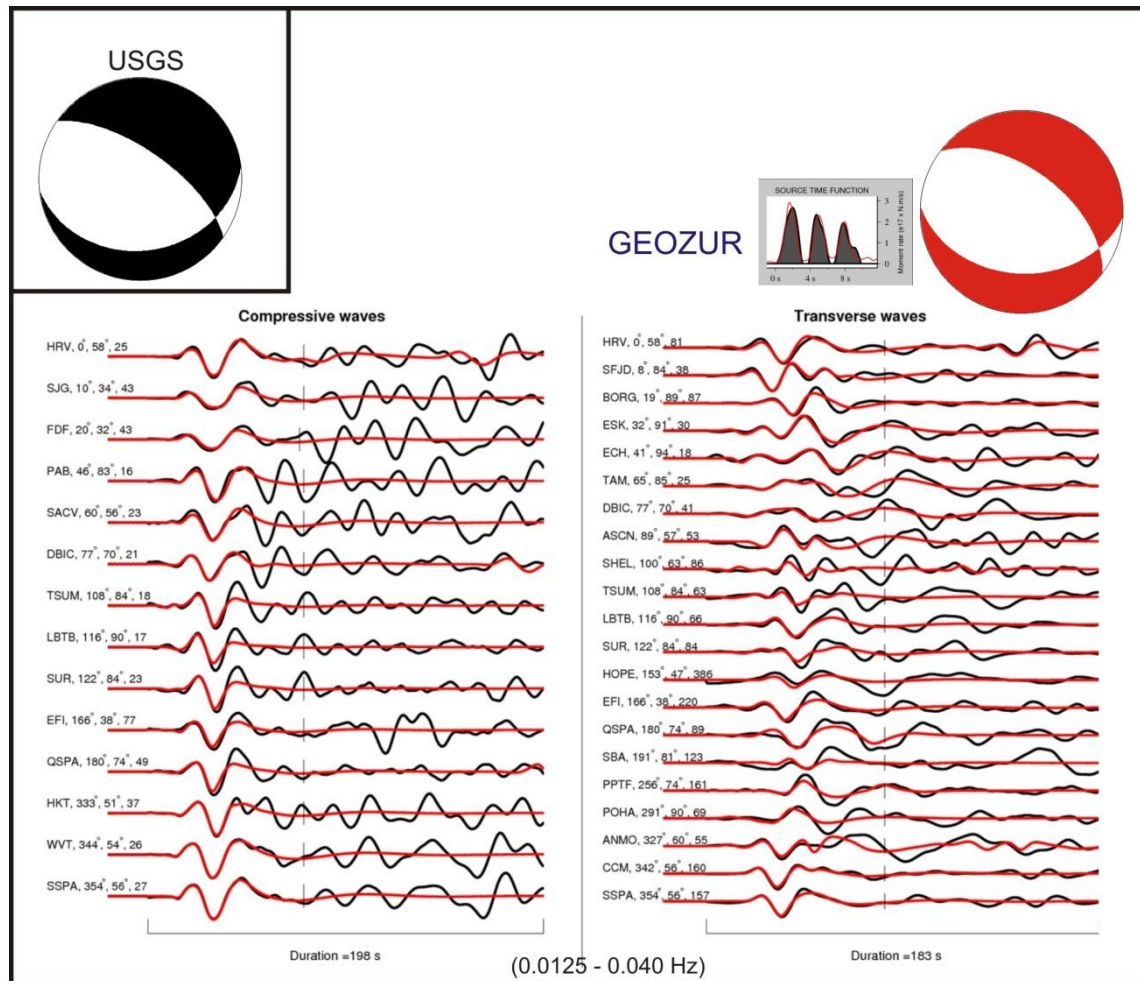


Figura 7: Mecanismo focal obtenido para el sismo de Huambo por el USGS y GEOZUR. Geozur realiza la modelización de las formas de onda de registros obtenidos a distancias telesísmicas a fin de conocer la función temporal de la fuente sísmica (STF). Los mecanismos focales corresponden a fallas de tipo normal.

### 3.3.- Orientación de la Fuente

La orientación preliminar para la fuente del sismo de Huambo del 17 de julio, 2013 fue obtenida por el US Geological Survey haciendo uso de información telesísmica y el método de inversión del tensor momento (CMT). El sismo de Huambo

presenta un mecanismo focal de tipo normal con planos orientados aproximadamente en dirección E-O, estando el eje de tensión horizontal (T) orientado en dirección próxima a N-S. Del mismo modo, el método permite estimar una profundidad para el foco de 7 km y un momento sísmico de  $7E+24$  dina-cm, equivalente a una magnitud momento de 5.8Mw (Figura 7).

Por otro lado, el laboratorio Geozur de la Universidad de Nice (Francia), realiza el proceso de inversión de las amplitudes de las formas de ondas telesísmicas para el sismo de Huambo, a fin de obtener la orientación de la fuente sísmica, la función temporal de la misma y otros parámetros como la profundidad del foco y el momento sísmico (Figura 7). Los resultados obtenidos por Geozur muestran un mecanismo focal de tipo normal con planos nodales orientados en dirección E-O y eje de tensión (T) cercano a la dirección N-S, el foco se encuentra a una profundidad de 8 km y se estima un momento sísmico de  $1.06E+25$  dina-cm, equivalente a una magnitud momento de 5.9Mw. Por otro lado, la función temporal de la fuente sísmica sugiere que el proceso de ruptura se desarrolló durante un periodo de tiempo de 10 segundos y estuvo compuesta por tres asperezas, siendo la primera la que liberó mayor energía. De acuerdo a las características del mecanismo focal, la ruptura se habría desarrollado, sobre el mismo plano de falla, en tres etapas, lo cual es evidenciado en la correlación de las formas de onda de los registros teóricos y observados obtenidos a distancias telesísmicas (Figura 7).

### **3.4.- Análisis espectral**

Los parámetros de la fuente para el sismo de Huambo fue obtenida a partir de las características del espectro de amplitud del desplazamiento del suelo registrado en la estación de Cusco (CUS) ubicada a una distancia de 240 km desde el epicentro. De acuerdo a la Figura 8, en el espectro de amplitud de la onda P la parte plana identificada con la letra “Ω”, permite estimar el momento sísmico ( $M_0$ ) y la magnitud momento (Mw) siguiendo la metodología propuesta por Brune (1970) y Hanks y Kanamori (1979).

Para el sismo de Huambo se obtiene un momento sísmico de  $M_0=1.1E+25$  dina-cm, equivalente a una magnitud momento de Mw= 6.0

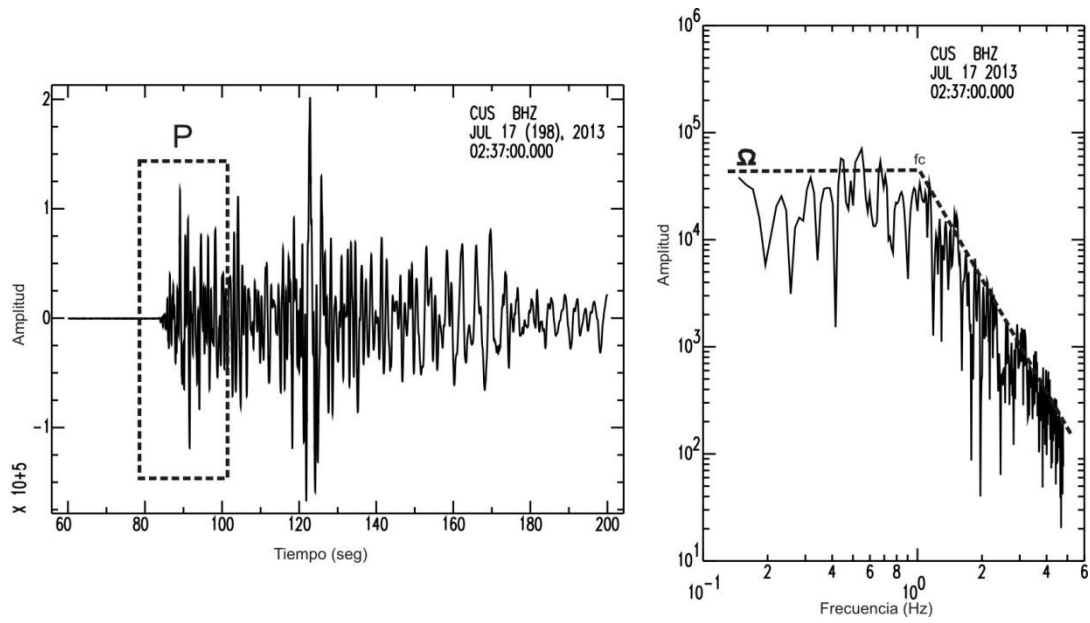


Figura 8: Espectro de amplitud de la onda P para el sismo de Huambo obtenido utilizando información de la estación CUS. El símbolo  $\Omega$  corresponde a la parte plana del espectro y  $f_c$ , la frecuencia esquina.

#### 4.- PRECURSORES Y RÉPLICAS

El sismo de Huambo del 17 de julio de 2013, fue precedido por un gran número de eventos precursoros de variada magnitud, tal como se aprecia en la Figura 9, la misma que corresponde a la señal registrada durante el día 16 en la estación CUS ubicada a 240 km en dirección norte con respecto a la zona epicentral (ver Figura 4). De estos eventos, un número de seis (6) fueron reportados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) como sentidos por la población de Huambo y Cabaconde, y sus parámetros se presentan en la Tabla 1. Del mismo modo, después de ocurrido el sismo principal, se produjeron varias réplicas y hasta el día 20 de julio, cuatro (4) de ellas fueron reportadas como sentidos en la zona epicentral (Figura 10).

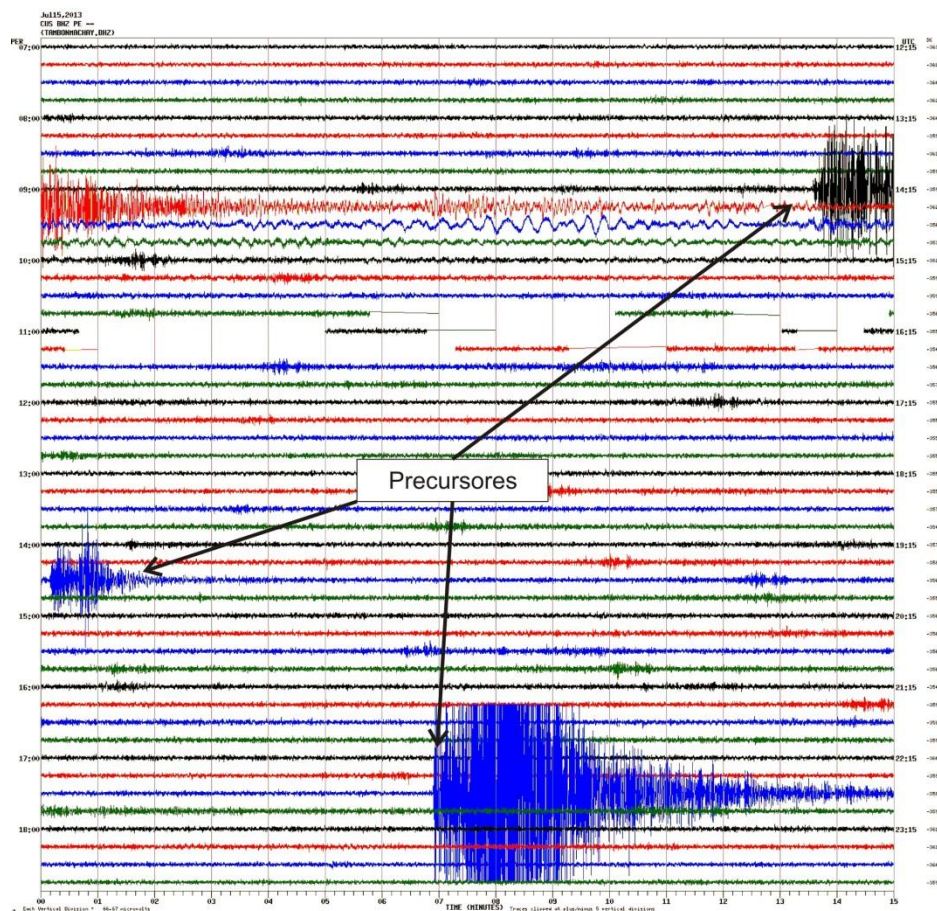


Figura 9: Sismograma correspondiente a la estación CUS (Cusco) en la cual se observa el registro de eventos precursoros del sismo del día 17 de julio, 2013 (comparar amplitudes de la señal correspondiente a cada evento).



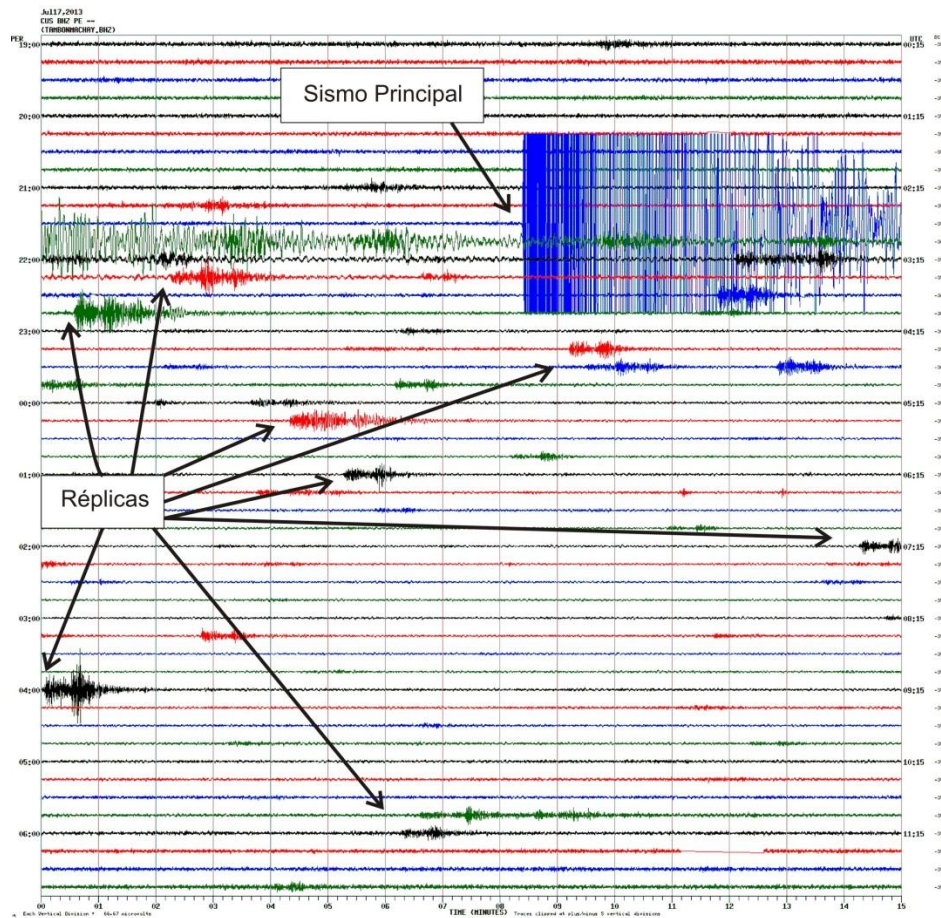


Figura 10: Sismograma correspondiente a la estación CUS (Cusco) en la cual se observa el registro de réplicas del sismo del día 17 de julio, 2013 (comparar amplitudes de la señal correspondiente a cada evento).

Tabla 1: Parámetros hipocentrales para el sismos principal, precursoros y réplicas reportadas por el Instituto Geofísico del Perú

ID	Fecha	Hora (UTC)	Latitud	Longitud	Profundidad (Km)	Magnitud (ML)
1	16/07/2013	09:27:35	-15.74	-72.02	8	4.9
2	16/07/2013	09:32:22	-15.75	-72.05	9	3.7
3	16/07/2013	09:33:43	-15.74	-72.05	8	3.8
4	16/07/2013	09:58:09	-15.72	-72.01	6	3.5
5	16/07/2013	15:52:55	-15.76	-71.99	13	4.2
6	17/07/2013	02:37:40	-15.67	-72.05	7	5.7
7	18/07/2013	19:34:54	-15.80	-72.04	16	3.8
8	18/07/2013	23:00:17	-15.77	-72.05	12	3.7
9	19/07/2013	08:27:46	-15.81	-72.04	8	3.8
10	20/07/2013	05:41:47	-15.67	-72.03	10	3.9

Considerando que los eventos precursoros y réplicas presentan magnitudes menores a 4.9ML, solo fueron registrados por un número reducido de estaciones de la Red Sísmica Nacional; por lo tanto, los resultados obtenidos para sus hipocentros son de carácter preliminar. Según la Figura 11, los epicentros de los eventos precursoros y réplicas se encuentran a 10-15 km en dirección sur del epicentro del sismo principal. Se espera que al disponer de mayor información se logre reducir la incertidumbre de estas estimaciones preliminares.

Por otro lado, los reportes del US Geological Survey para el sismo principal, permite ubicar su epicentro entre las localidades de Lari y Maca, y a 40 km en dirección NE con respecto a la localidad de Huambo; es decir, fuera de la zona epicentral y de la zona de máxima intensidad de sacudimiento del suelo. Estas diferencias son comunes cuando se trata de sismos de magnitudes moderadas ( $M < 6.0$ ) y se debe al uso de información sísmica proveniente de estaciones ubicadas a mayor (USGS) o menor distancia (IGP), siendo esta última la que permite tener mayor precisión.

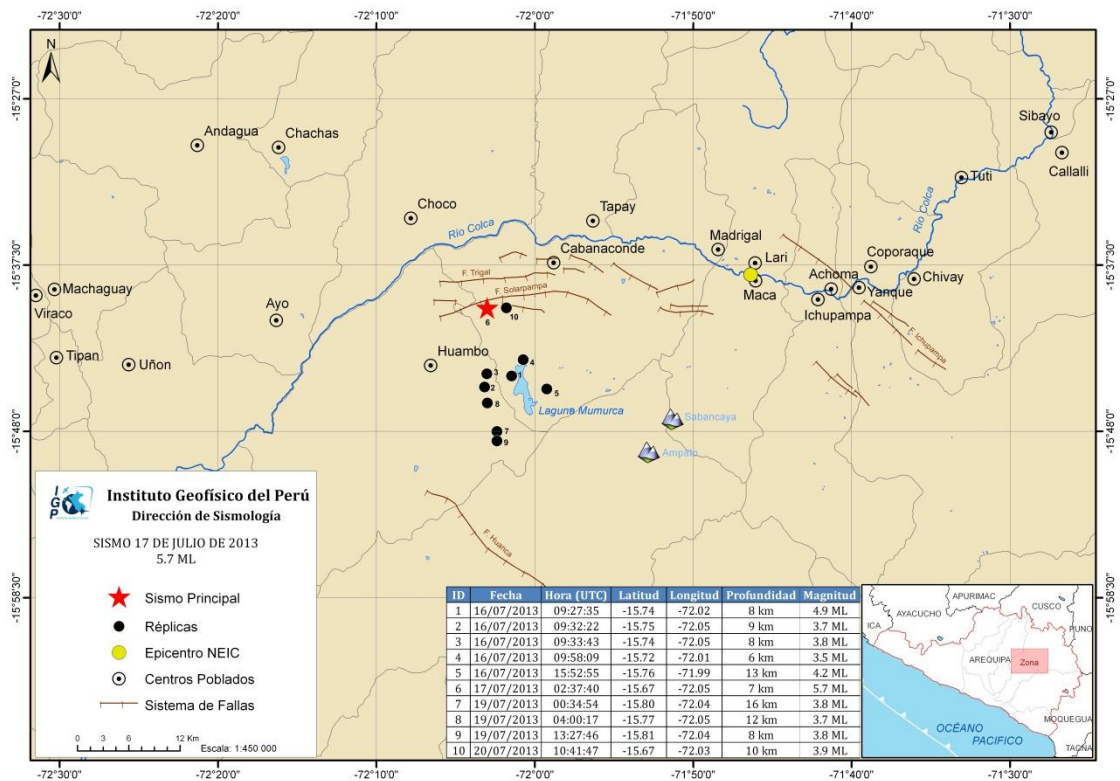


Figura 11: Epicentro del sismo de Huambo y distribución espacial de su serie de precursoros y réplicas. La incertidumbre en los parámetros hipocentrales de estos últimos deben mejorar con la disponibilidad de mayor información local.

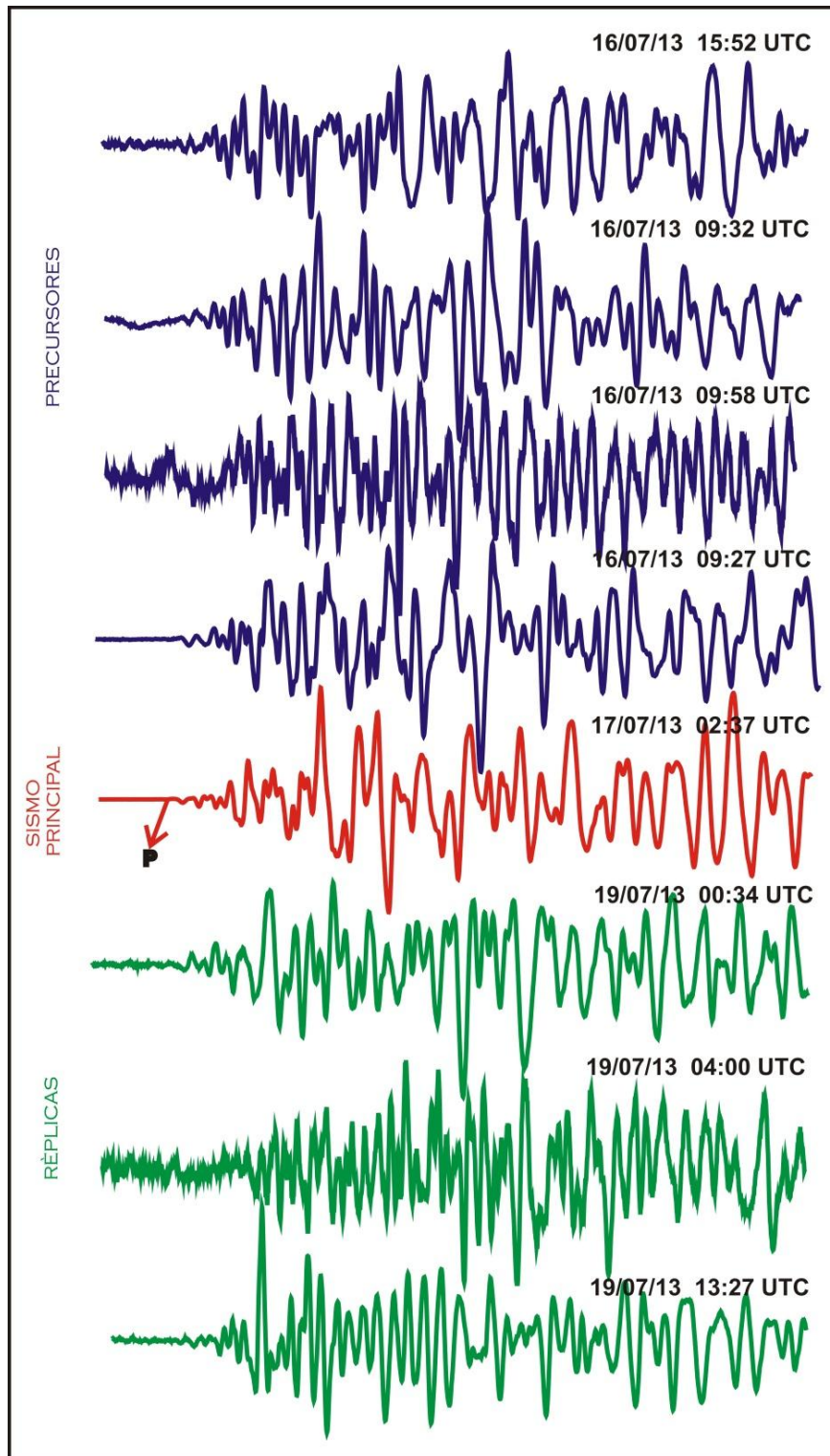


Figura 12: Formas de onda correspondientes al sismo principal, precursores y réplicas registrados en la estación CUS. Para su identificación, ver Tabla 1.

A fin de evaluar el origen de los eventos precursoros y réplicas, se ha procedido a analizar las formas de onda de estos eventos registrados en la estación del Cusco. Para este fin, se ha tratado de escalar las amplitudes de sus formas de onda con la correspondiente al sismo principal y de este modo, mejorar su correlación. En tal sentido, no se ha tomado en cuenta la escala de amplitud ni de tiempo. En la Figura 12, se presenta la señal correspondiente al grupo de la onda P para el sismo principal, además de la correspondiente para sus precursoros y réplicas (Tabla 1). Obsérvese que en todos los registros las formas de onda para el grupo de la onda P son similares, lo cual sugieren que se trata de la misma fuente y de idénticos procesos de ruptura. Dentro de este contexto, se espera que los eventos precursoros y réplicas, después del recalcu de sus parámetros, se distribuyan espacialmente entorno al sismo principal.

## 5.- EFECTOS SECUNDARIOS

Los sismos de magnitudes tales que generen altos niveles de sacudimiento del suelo en zonas continentales, producen una variedad de efectos secundarios entorno a la zona epicentral. De estos efectos, los más comunes son los deslizamientos de tierra y piedras en superficies con pendiente (derrumbes), licuación de suelos y daños en viviendas cuyo grado va a depender del tipo de suelo, calidad de los materiales y de su antigüedad.

En la región del Cañón del Colca, es conocido que las carreteras se encuentran al pie de los cerros y las localidades, en general, están asentadas sobre antiguos deslizamientos de tierra y sobre ellos, las viviendas, en mayor porcentaje, son de tapial, adobe y piedras deterioradas por el paso de los años. Dentro de este escenario, es de esperarse que a la ocurrencia de un sismo con el de Huambo, se presenten muchos de estos efectos.



*Figura 13. Viviendas afectadas por el sismo de Huambo. Obsérvese el tipo de material utilizado y la calidad de deterioro de las viviendas (Fotos: Diario Correo y Perú21).*

### **5.1.- Daños en Viviendas**

Los mayores daños en viviendas reportados fueron en las localidades de Huambo, Cabanaconde, Maca, Lari, Achoma, Madrigal y Choco. Estos daños fueron observados en viviendas precarias de adobe y piedras que se encuentran en los alrededores de las localidades antes mencionadas, a lo cual se suma el hecho de que las mismas son muy antiguas y dañadas por el tiempo, tal como se aprecia en la Figura 13.

Por otro lado, las viviendas de tapial y adobe de reciente construcción, así como las de ladrillo existentes en la Plaza de Armas de la localidad de Cabanaconde, no presentaron ningún tipo de daño estructural, lo cual confirma el hecho que las viviendas afectadas en la zona epicentral, eran las más precarias, ver Figura 14 (com. J.C. Gomez).



*Figura 14. Viviendas de adobe, tapial y ladrillo en la plaza de armas de Cabanaconde que no fueron afectadas por el sismo de Huambo (Foto: J.C. Gomez)*

### **5.2.- Presencia de Deslizamientos**

Los principales escenarios de deslizamientos (derrumbes) de tierra y piedras se presentaron en carreteras a lo largo de la región del Cañon del Colca. Las carreteras que une a la ciudad de Arequipa con las localidades de Cabanaconde, Huambo, Caylloma, Maca, entre otras fueron las más afectadas por derrumbes de diferente grado y volumen de piedras y tierra (Figura 15).



*Figura 15: Principales deslizamientos de tierra y piedras en varios tramos de las carreteras de Arequipa a Huambo y Maca (Fotos: Diario Correo y J.C. Gomez)*

## 6.- DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, en la región del Cañon del Colca, el día 17 de julio ocurrió un sismo de magnitud moderada (5.7ML, 6.0Mw) y epicentro ubicado entre las localidades de Huambo y Cabanacone (Arequipa). Este evento se caracterizó por presentar un número importante de precursoros y réplicas que mantuvieron en alerta a la población de estas localidades y de otras a lo largo del Cañon del Colca. De estos eventos, un total de 9, entre precursoros y réplicas fueron reportados como sentidos por los pobladores de esta región.

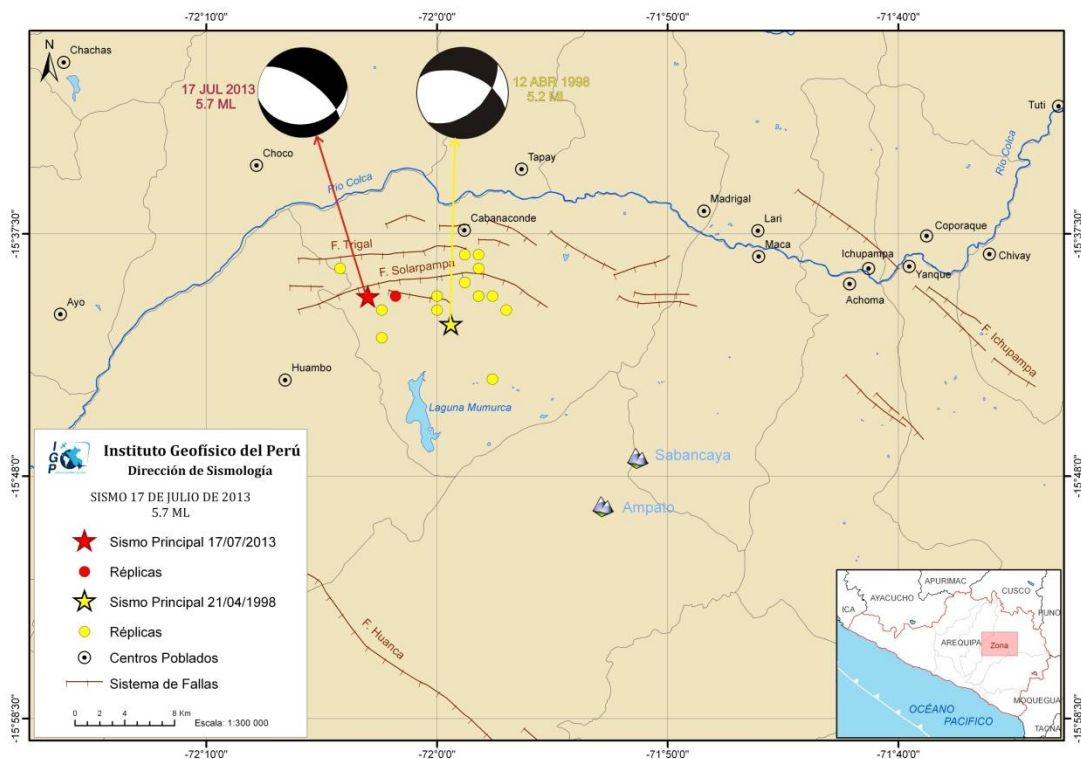


Figura 16. Ubicación epicentral de los sismos de Huambo de 1998 y 2013. Las esferas corresponden a los mecanismos focales y los puntos rojos y amarillos sus respectivas réplicas

El epicentro del sismo principal se ubica en el extremo sur de la falla de Solarpampa (Figura 16), una de las de mayor longitud del sistema Huambo-Cabanaconde. El mecanismo focal corresponde a una falla de tipo normal con planos nodales orientados en dirección próxima a este-oeste, similar a la geometría de la falla



Solarpampa; por lo tanto, dicha falla habría sido la causante del sismo y de su serie de precursoros y réplicas.

En la misma zona de estudio (Figura 16), el 12 de abril de 1998 ocurrió un sismo de magnitud 5.2ML que produjo, en superficie, los mismos efectos de daños en viviendas antiguas y precarias que el sismo del 17 de julio, 2013, así como importantes deslizamientos a lo largo de las principales carreteras que unen las diversas localidades presentes en la región del Cañón del Colca. Según Antayhua y Tavera (2002), el sismo de 1998 presenta un mecanismo focal de tipo falla normal con planos orientados en dirección E-O, similar a la orientación de las trazas de las fallas geológicas observadas en campo (Figura 16). Por otro lado, la distribución espacial de las pocas réplicas reportadas por estos autores, se distribuyen a lo largo de la traza de la falla Solarpampa, lo cual sugiere la existencia de periodos recurrentes de reactivación temporal: 1998 y 2013.

En relación a los eventos precursoros y réplicas registradas, el análisis de sus formas de onda muestran que todos presentan el mismo tren de ondas, lo cual sugiere, que tienen el mismo origen (falla Solarpampa) y similares procesos de ruptura.

Los daños en viviendas son debidos únicamente a la precariedad y el tipo de material utilizado en sus construcciones. Viviendas mejor construidas y recientes, no presentaron daños.

## **CONCLUSIONES**

Las principales conclusiones del presente informe técnico son:

- 1.- La región del Cañón del Colca se caracteriza por presentar un complejo proceso de deformación superficial puesta en evidencia con la presencia de fallas tectónicas y lineamientos de diversa longitud. Los sistemas de fallas de mayor importancia son Ichupampa, Huambo-Cabanaconde y Huanca.
- 2.- El sismo del 17 de julio de 2013 y su serie de precursores y réplicas, tuvieron su origen en la traza de la falla Solarpampa, ubicada entre las localidades de Huambo y Cabanaconde. Esta falla dio origen en el año 1998 a otro evento sísmico de magnitud 5.2ML que produjo en superficie similares efectos y daños a los evaluados para el sismo de julio 2013.
- 3.- El mecanismo focal sugiere un proceso de ruptura asociadas a una falla geológica con orientación este-oeste similar al observado para el sismo de 1998. Según Geozur, la función temporal de la fuente sísmica sugiere un tiempo de ruptura de 10 segundos y la presencia de tres asperezas que rompieron de manera aleatoria en dirección sur.
- 4.- El análisis de las formas de onda del grupo de la onda P, indica que el sismo principal y sus precursores y réplicas tendrían la misma fuente de origen y similar proceso de ruptura.
- 5.- Se pone en evidencia que la región del Cañón del Colca, debido a la existencia de un gran número de fallas tectónicas, lineamientos y volcanes, es sísmicamente muy activa.

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro agradecimiento al Dr. Orlando Macedo por permitirnos usar los datos de las estaciones de la red sísmica temporal del proyecto Volcanes. Al Ing. David Portugal y al personal de Redes Geofísicas por el esfuerzo y responsabilidad para mantener operativa la Red Sísmica Nacional.

## 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 PIGG, 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. Soco 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 PIGG 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>