



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Subdirección de
Ciencias de la Tierra
Sólida - SCTS



Sismo de Ichupampa del 14 de Agosto del 2016 (5.3 ML)

(Chivay – Arequipa)

Aspectos Sismológicos

Hernando Tavera
José Guzman
Lizbeth Velarde
Ademir Cuya

Lima - Perú
2016

Sismo de Ichupampa del 14 de Agosto del 2016 (5.3 ML)

(Chivay – Arequipa)

Aspectos Sismológicos

***Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida
Centro Nacional de Monitoreo Sísmico – Acelerométrico***

***Calle Calatrava 216, Urb. Camino Real – Camacho – La Molina
Telef. 3172309***

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN

2.- SISMOTECTÓNICA LOCAL

3.- SISMO DEL 14 DE AGOSTO DEL 2016

3.1.- Parámetros Hipocentrales

3.2.- Intensidades

3.3.- Replicas y Orientación de la Fuente

4.- EFECTOS SECUNDARIOS

4.1.- Daños en Viviendas

4.2.- Deslizamientos

CONCLUSIONES

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 200 sismos percibidos en superficie con intensidades mínimas de II-III (MM) y magnitudes $ML \geq 4.0$. Los sismos de magnitud mayor ($M \geq 7.0$), son menos frecuentes y cuando ocurren tienen su origen en el proceso de fricción de placas. Estos eventos 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 tierra y 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, los sismos del 12 de Abril de 1998 (5.2ML) y 17 de julio del 2013 (5.7 ML), en las cercanías de la localidad de Huambo en el Cañón del Colca. 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.

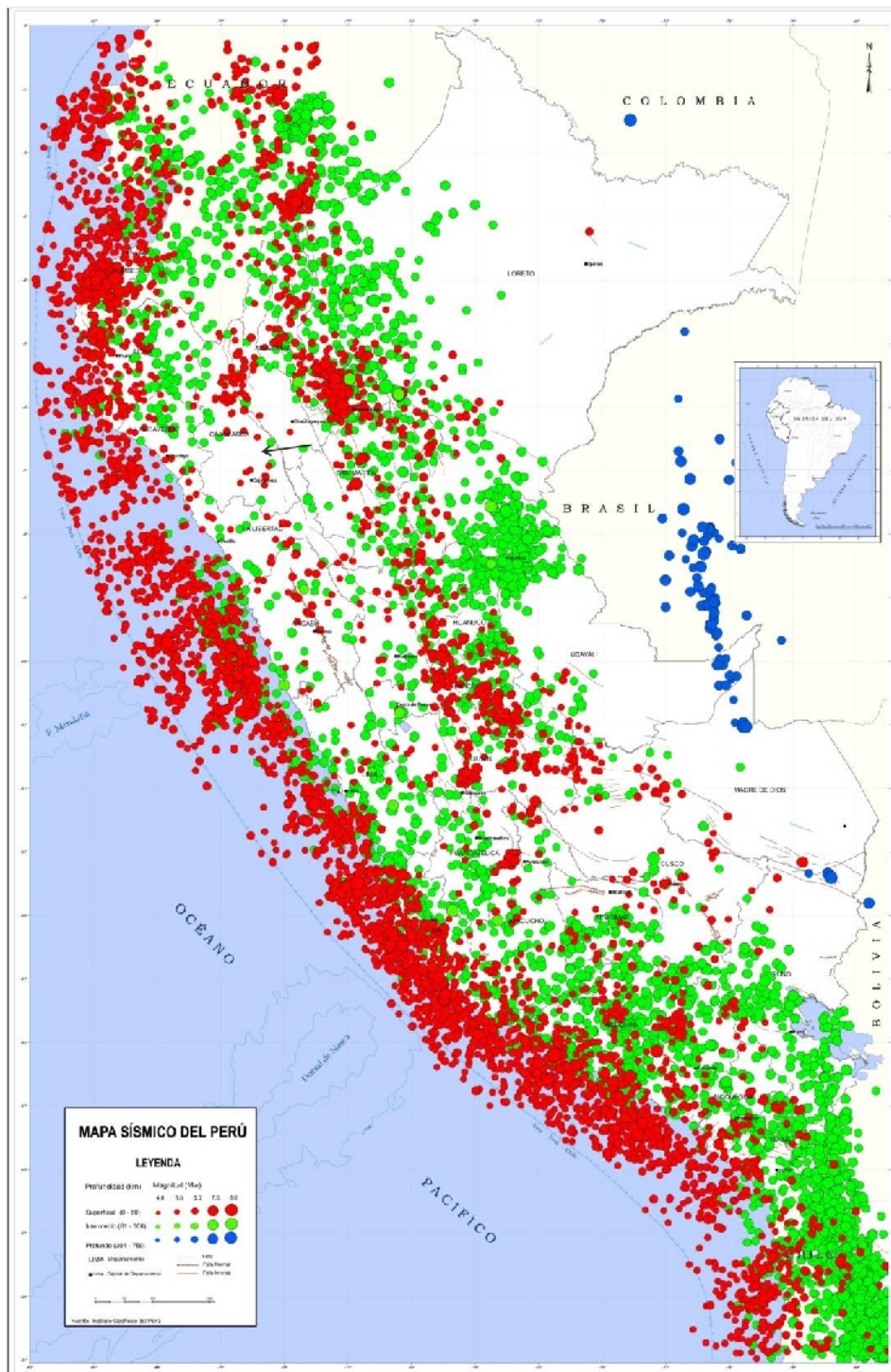


Figura 1.- Mapa Sísmico del Perú para el periodo 1960 y 2014. La magnitud de los sismos es diferenciado por el tamaño de los círculos y la profundidad de sus focos por el color de los mismos.

En la región sur del Perú, el día 14 de agosto del 2016 ocurre un sismo de tipo cortical con una magnitud moderada de 5.3 ML y con epicentro ubicado a 10 km al oeste de la localidad de Chivay (Arequipa). El sismo ocurrió a una profundidad de 8 km (foco superficial) y en general, presentó un área de percepción con radio del orden de 100 km ($I_{max}=II$), siendo mayor su intensidad ($I_{max}=VI$) entorno a las localidades de Ichupampa, Maca, Yanque y Achoma, distrito de Chivay, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa. En este informe se describe los parámetros hipocentrales del sismo, intensidades evaluadas, orientación de la fuente, eventos precursoros y réplicas, así como su interpretación sismotectónica.

2.- 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.

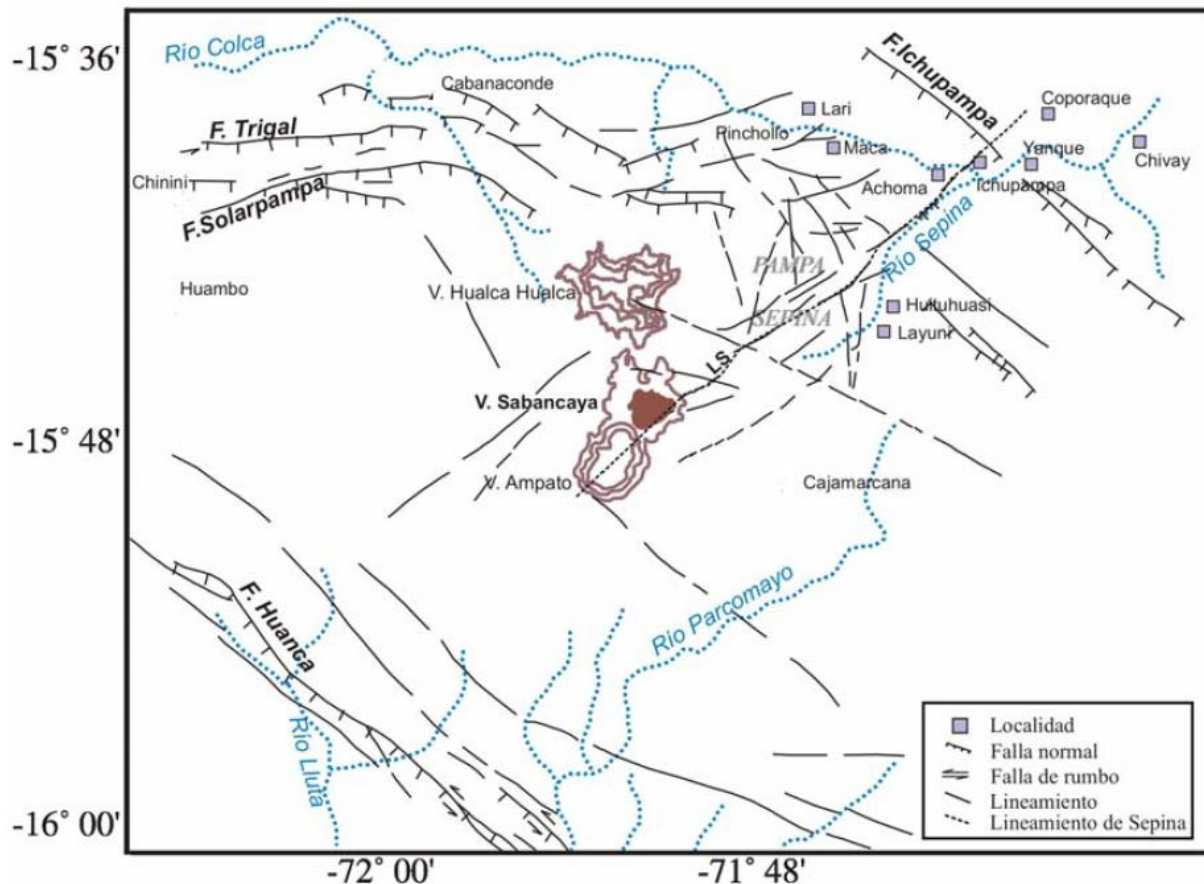


Figura 2: Principales sistemas de fallas y lineamientos en la región del Cañón del Colca - Arequipa

Los sismos más recientes ocurridos en esta región fueron en los años 1991, 1992, 1998 y 2013. 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 Cabanconde 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, Cabanconde, Tapay y Choco, las mismas que soportaron intensidades máximas de V (MM).

El cuarto evento ocurrió el 17 de julio de 2013 con una magnitud de 5.7 ML y epicentro a 9 km al NE de la localidad de Huambo. El sismo ocurrido a una profundidad de 7 km y produjo en superficie intensidades máximas de VI (MM) en las localidades de Huambo y Cabanconde. Las localidades afectadas con menor intensidad fueron de Maca, Madrigal y Aplao. Se reportó el derrumbe de 35 viviendas construidas con sillar, adobe y piedras, además de 80 dañadas con fisuras. Algunos tramos de la carretera Chivay a Huambo fueron cerradas por la presencia de derrumbes.

3.- SISMO DEL 14 DE AGOSTO, 2016

3.1.- Parámetros hipocentrales

Los parámetros hipocentrales del sismo del 15 agosto del 2016 fueron obtenidos utilizando información de las estaciones que integran la Red Sísmica Nacional 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.

Tiempo Origen:	02h 58min del día 15 de agosto, 2016 (Hora Universal) 21h 58min del día 14 de agosto, 2016 (Hora Local)
Latitud Sur:	-15.64°
Longitud Oeste:	-71.67°
Profundidad:	8 km
Magnitud:	5.3 ML
Epicentro:	A 10 km al oeste de la ciudad de Chivay (Arequipa)
Intensidad Máxima:	VI en la escala MM en Maca, Yanque, Achoma e Ichupampa.
Momento Sísmico:	2.8E+24 dina-cm (USGS)
Magnitud Momento:	5.6 Mw (USGS)

En la Figura 3, se presenta el epicentro del sismo y la distribución de intensidades macrosísmicas evaluadas inmediatamente después de ocurrido el sismo de “Ichupampa”.

3.2.- Intensidades Sísmicas

Después de haberse producido el sismo de Ichupampa, 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 Centro Nacional de Monitoreo Sísmico Acelerométrico de la Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida (CENAMSA). La información obtenida fue interpretada utilizando la escala de Mercalli Modificada (Figura 6) y de ella, la descripción más resaltante se detalla a continuación:

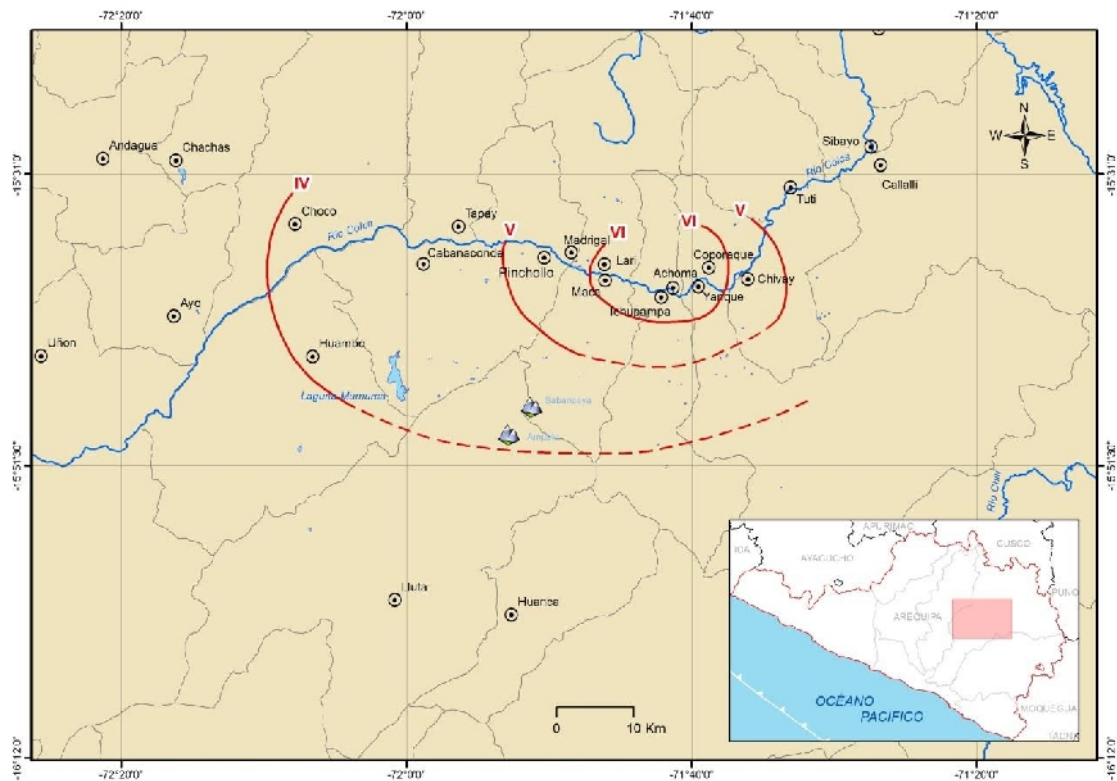


Figura 3: Mapa de intensidades sísmicas correspondientes al sismo del 15 de agosto de 2016 (5.3ML).

Localidades de Maca, Yanque, Achoma e Ichupampa. Movimiento sentido muy fuerte por todos. Un gran número de viviendas de material rustico colapsaron, algunas de material noble presentaron fisuras de diversas dimensiones. Se reportaron hasta 4 personas fallecidas y un gran número de heridos. Las carreteras se bloquearon por la presencia de derrumbes en las vías de Arequipa a Chivay y Huambo. Se produjeron deslizamientos de tierra y fisuras en los suelos en varios sectores de estas localidades. En estas localidades la intensidad evaluada fue de VI en la escala de Mercalli Modificada.

Localidades de Coporaque, Chivay, Madrigal y Pinchollo. Sentido fuerte por todos, muchos salieron de sus casas, algunos muros de viviendas se dañaron y cayeron objetos. Se reportaron personas heridas. Muchas de las carreteras de comunicación fueron obstruidas por derrumbes de tierra y piedras. En estas localidades la intensidad evaluada fue de V en la escala de Mercalli Modificada.

Localidades de Cabanaconde, LLuta y Huambo. Sentido relativamente fuerte y por largo periodo de tiempo. La mayoría de la población salió a las calles. El movimiento estuvo acompañado de ruido. No se reportaron daños en viviendas ni en

personas. En estas localidades la intensidad evaluada fue de IV en la escala de Mercalli Modificada.

Las altas intensidades evaluadas en las localidad de Maca, Achoma, Yanque e Ichupampa, se debieron principalmente al grado de afectación en viviendas precarias de adobe, piedra y sillar (dañadas por el paso del tiempo y la presencia de lluvias) en comparación con las viviendas de ladrillo que no tuvieron daño mayor. Estas mismas características se han observado después de ocurrido los sismos de 1998 y 2013; por lo tanto, existe un efecto combinado ente la calidad de los suelos y el tipo de vivienda anta la solicitud sísmica, que en este caso fue intenso debido a la profundidad superficial del foco sísmico (8 km).

3.3.- Réplicas y Orientación de la Fuente

El sismo de Ichupampa del 14 de agosto de 2016, fue precedido por 4 sismos de magnitudes menores a 3.8 ML y que fueron percibidos por la población intensidades de III en la escala de Mercalli Modificada (MM) en las localidades de Maca y Chivay. Estos precursores ocurrieron los días 28 y 29 de julio y el día 14 en horas de la mañana. Del mismo modo, después de ocurrido el sismo principal el día 14 de agosto hasta el día 17 de agosto, se registró un total de 120 réplicas, de las cuales 8 fueron percibidas por la población con intensidades del orden de III-IV (MM). En la Figura 4 se muestra el registro del evento y su serie de réplicas correspondiente a la estación sísmica que funciona en la ciudad de Cajamarca.

En la Figura 5 se observa la ubicación del sismo de Ichupampa y de su serie de réplicas registradas hasta el día 17 de agosto (120 réplicas), todas se distribuyen a lo largo de la traza de la falla de Ichupampa; por lo tanto, se confirma que esta falla paso por una periodo de reactivación dentro de todo el complejo del Cañón del Colca. El epicentro del sismo y sus réplicas en mayor número ocurrieron entre las localidades de Ichupampa, Yanque y Achoma, lo cual explicaría los daños observados en superficie. Asimismo, en la misma Figura 5 se muestra el mecanismo focal reportado por la Agencia Internacional USGS, el mismo que corresponde a un proceso de movimiento de tipo falla normal con una gran componente de desgarre, casi describiendo un proceso de ruptura de tipo desplazamiento horizontal, en donde el extremo norte de la falla se ha desplazado hacia el oeste y el bloque inferior hacia el este.

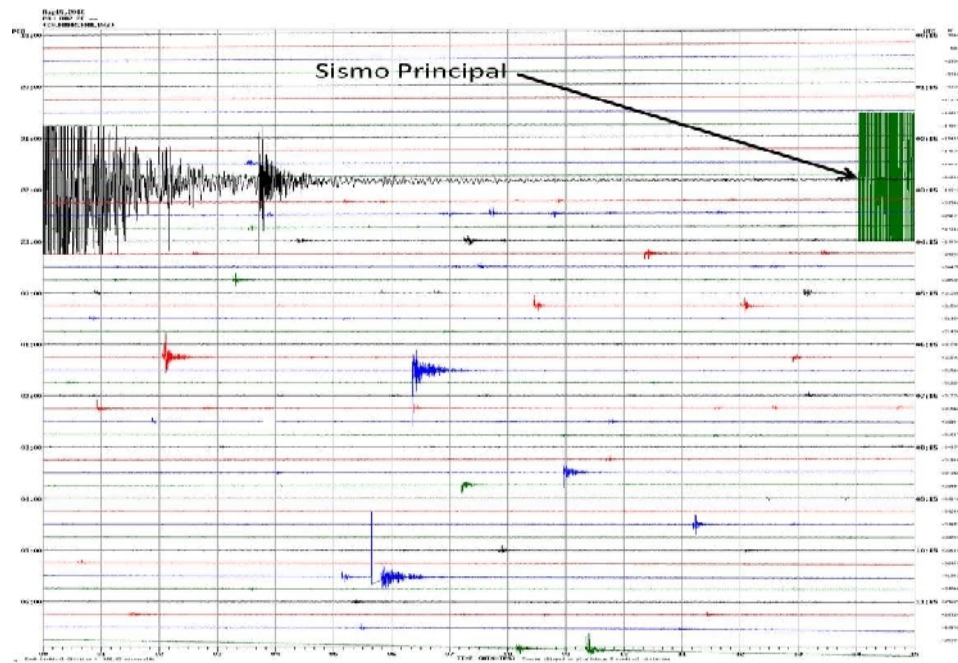


Figura 4: Sismograma correspondiente a la estación CAJ (Cajamarca) en la cual se observa el registro del sismo de Ichupampa y algunas de sus réplicas (comparar amplitudes de la señal correspondiente a cada evento).

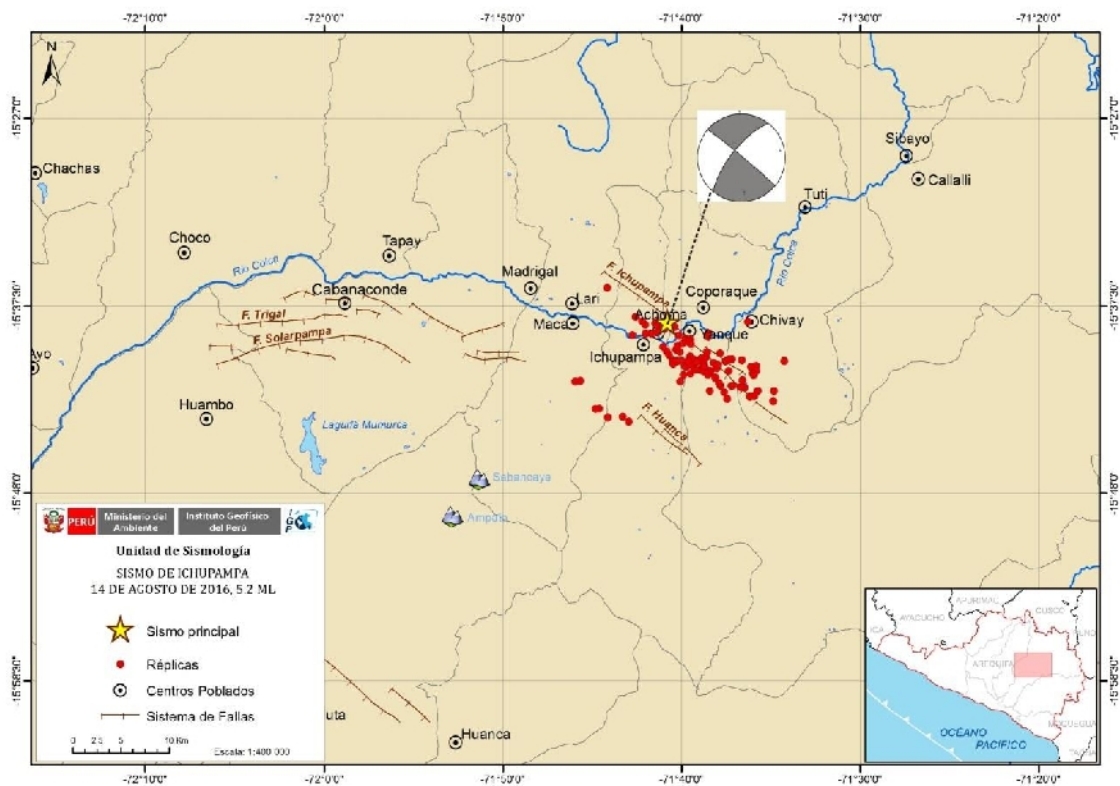


Figura 5: Distribución espacial del sismo de Ichupampa y su serie de réplicas hasta el día 17 de agosto. El mecanismo focal reportado por la USGS es de tipo normal con gran componente de desgarre es coherente con los proceso de deformación de la falla Ichupampa.

4.- 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 Ichupampa, se presenten muchos de estos efectos.

4.1.- Daños en Viviendas

Los mayores daños en viviendas reportados fueron en las localidades de Maca, Yanque, Achoma e Ichupampa. Estos daños fueron observados en viviendas precarias de adobe, sillar 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; por lo tanto, muy vulnerables a la ocurrencia de sismos (Figura 6).

Por otro lado, según J.C. Gomez (comunicación personal), indica que durante el sismo de Huambo del 2013, se presentó similar escenario al del sismo de Ichupampa, pero 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 por ejemplo, no presentaron ningún tipo de daño estructural. Esto confirma el hecho de que las viviendas precarias son las más vulnerables ante la sollicitación sísmica, ver Figura 7.



Figura 6. Imágenes de diversas viviendas Ichupampa, Yanque y Achoma construidas con adobe, sillar, piedras y ladrillo pandereta que colapsaron por la fuerte intensidad de sacudimiento del suelo debido al sismo de Ichupampa (fuentes RPP y Facebook valle del Colca).



Figura 7. 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)

4.2.- 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 Chivay, Cabanaconde, Huambo, Caylloma, Maca, entre otras fueron las más afectadas por derrumbes de diferente grado y volumen de piedras y tierra (Figura 8).



Figura 8: Principales deslizamientos de tierra y piedras en varios tramos de las carreteras de Arequipa a Chivay, Maca y Huambo (Fuente: RPP, INDECI, Bomberos de Arequipa)

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del presente informe técnico son:

- .- 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.
- .- El sismo del 14 de agosto del 2016 y su serie de réplicas, tuvieron su origen en la traza de la falla Ichupampa, ubicada entre las localidades Chivay, Coporaque e Ichupampa.
- .- Los niveles de intensidad en la escala de Mercalli Modificada presentaron valores máximos de VI en las localidades de Maca, Ichupampa, Yanque y Achoma. En estas localidades se produjeron el colapso y derrumbe parcial de un gran número de viviendas rústicas construidas con adobe, ladrillo, sillar y piedras. Las viviendas material noble, presentaron algunas de ellas fisuras, pero no colapsaron.
- .- Los daños observados en las localidades afectas se debieron principalmente a la alta intensidad de sacudimiento del suelo debido a que el sismo ocurrió a profundidades superficiales (8 km) y a la mala calidad de las construcciones, típicas de estas localidades, además debe sumarse el factor suelo que en su mayoría corresponden a antiguos deslizamientos. Estos mismos escenarios fueron observados después de la ocurrencia en el Cañón del Colca de los sismos de 1998 y 2013.
- .- 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 dinámicamente muy activa.

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.