

Informe Técnico N° A6793

INSPECCIÓN GEOLÓGICA EN LA QUEBRADA SIPINA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA REPRESA CARPALLI

Región Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Achoma



POR:

RIGOBERTO AGUILAR
NÉLIDA MANRIQUE
BRIANT GARCÍA

FEBRERO
2018

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
 **INGEMMET**
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	ANTECEDENTES	3
3.	OBJETIVOS	3
4.	UBICACIÓN	4
5.	UNIDADES GEOLÓGICAS	4
5.1	Avalancha de escombros (Ava)	4
5.2	Flujo de lava andesítica del volcán Hualca Hualca (P-Hu1)	5
5.3	Morrenas (P-Mo)	6
5.4	Depósitos de fluvio-glaciares (H-Flg)	7
6.	EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS	8
6.1.	Peligros por lahares o flujos de lodo (huaicos) y desbordes	9
6.2.	Peligros por caídas piroclásticas (ceniza)	10
7.	ACTIVIDAD SÍSMICA Y NEOTECTÓNICA	12
7.1	Fallas geológicas activas	12
7.2	Sistema de fallas Colca	12
7.3	Contexto geológico - neotectónico	12
7.4	Antecedentes sísmicos	13
7.5	Estudio paleosismológico en la falla Trigal	15
7.6	Estudio paleosismológico en las cuencas cuaternarias del Valle del Colca	15
	CONCLUSIONES	17
	RECOMENDACIONES	18
	BIBLIOGRAFÍA	19

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) es el servicio geológico y minero del Perú. En el ámbito de sus competencias y funciones, el INGEMMET se encarga de *“Identificar, estudiar y monitorear los peligros asociados a movimientos en masa, actividad volcánica, aluviones, tsunamis y otros”*. La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) es el órgano de línea del INGEMMET que desarrolla investigaciones, programas y proyectos geoambientales, geotécnicos y de evaluación y monitoreo de peligros geológicos del territorio nacional. Además, indica que está dentro de sus funciones realizar la evaluación, monitoreo y elaboración de los mapas de peligros geológicos (deslizamientos, aluviones, aludes, volcanes, fallas activas y tsunamis). Por ello, el INGEMMET a través de la DGAR brinda asistencia técnica a gobiernos locales y regionales en materia de peligros geológicos, con el objetivo de reducir el riesgo de desastres en nuestro país.

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) es un centro de estudio y vigilancia de volcanes en Perú, de carácter interdisciplinario, cuyo fin es determinar la naturaleza y probabilidad de ocurrencia de una erupción volcánica, a través del monitoreo sistemático y constante; evaluar los tipos de peligros volcánicos en base a estudios geológicos y proporcionar alertas oportunas a la sociedad sobre actividad volcánica inminente, a fin de reducir el riesgo de desastre en el sur del país. También evalúa los peligros volcánicos en base a estudios geológicos y análisis especializados, permitiendo identificar aquellas zonas urbanas o rurales, susceptibles a ser afectadas por fenómenos geológicos que pudieran desencadenar desastres. Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines, informes y reportes técnicos.

2. ANTECEDENTES

El alcalde de la Municipalidad distrital de Achoma, mediante oficio N° 00239-2017-MDA, dirigida al Presidente del Consejo Directivo del INGEMMET, solicitó una opinión técnica para la zona donde se piensa construir una represa en el sector río Sipina denominada “Represa Carpalli”. Por esta razón, el Director de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros geólogos Rigoberto Aguilar, Nélida Manrique y Briant García, a realizar los estudios necesarios para poder dar las opiniones técnicas correspondientes. Los mencionados profesionales, realizaron una visita de inspección a la quebrada Sipina el día 28 de octubre y constatar in situ la litología y las características geológicas de la zona propuesta para la represa.

3. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivos proporcionar una opinión técnica acerca de las características geológicas en la zona propuesta para el proyecto de construcción de la “Represa Carpalli” en la quebrada Sipina, localizada a 15 km al noreste del volcán Sabancaya.

4. UBICACIÓN

La zona propuesta por la municipalidad de Achoma para la construcción de la represa “Carpalli” está localizada en el distrito Achoma, provincia Caylloma, región Arequipa. La represa está localizada a 14 km al Noreste del cráter del volcán Sabancaya y a 8 km hacia el Suroeste del poblado Achoma (figura 1).

Las coordenadas geográficas son:

Latitud: 15° 43' 13.65" Sur
 Longitud: 71° 44' 10.78" Oeste

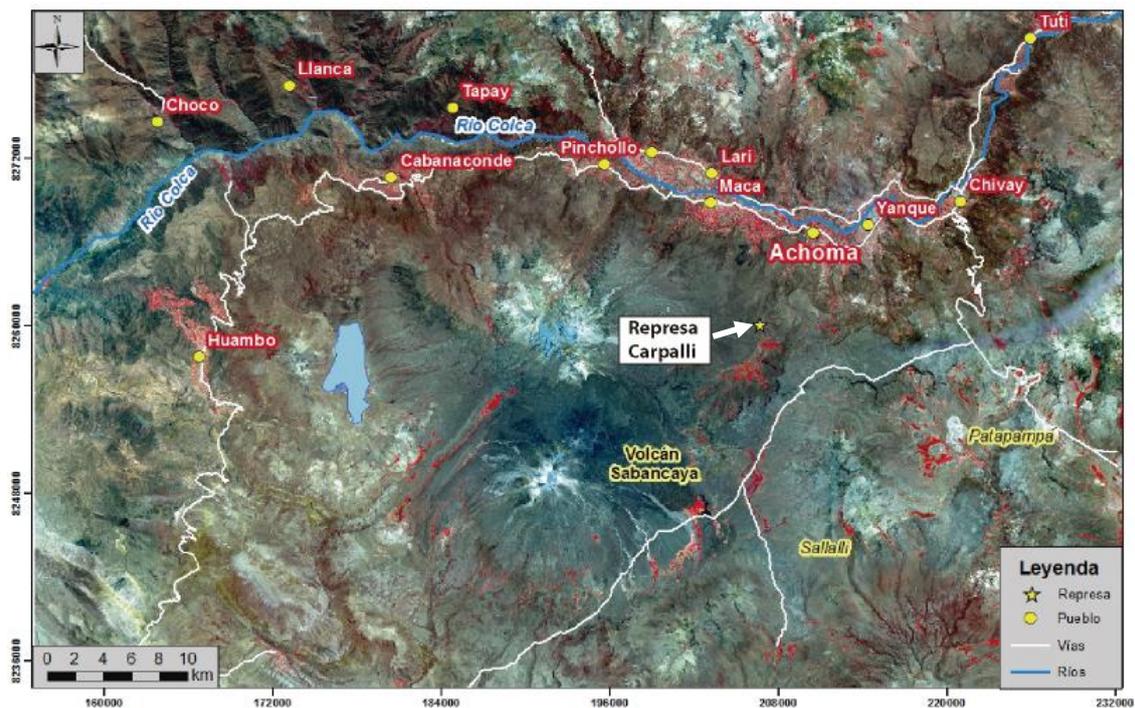


Figura 1: Imagen satelital Rapideye donde se muestra la localización de la represa “Carpalli” de Achoma. Se resalta la ubicación del volcán Sabancaya.

5. UNIDADES GEOLÓGICAS

En la zona donde se tiene proyectado construir la represa “Carpalli” afloran rocas de diversas características y composiciones representadas en el mapa geológico local (figura 2) y agrupadas de la siguiente manera:

5.1 Avalancha de escombros (Ava)

Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte importante de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, fuertes movimientos sísmicos o la intrusión de material volcánico en el edificio volcánico. Por ello los volcanes no son estructuras estables como parecen; tienen zonas de roca sólida muy resistente, pero, también existen sectores fracturados y afectados por la alteración hidrotermal asociada al volcán (foto 1). Hacia el sureste de la represa Carpalli, se han identificado depósitos de

avalancha de escombros, los cuales se encuentran muy alterados e hidrotermalizados. Los depósitos miden alrededor de 50 metros de espesor, presentan una morfología rugosa, están muy bien consolidados y no es posible distinguir las facies. Depósitos morrénicos sobreyacen a esta avalancha de escombros.



Foto 1: Vista de depósitos de avalancha de escombros en el sector Sipina.

5.2 Flujo de lava andesítica del volcán Hualca Hualca (P-Hu1)

Los flujos de lava son emplazamientos de roca fundida que fluye desde el cráter por los flancos del volcán durante una erupción. Las características del emplazamiento (espesor, distancia, etc.) estarán condicionadas por su composición, por las pendientes sobre las cuales se mueve y por la velocidad de su emisión.

En la zona propuesta para la construcción del dique para la represa Carpalli, afloran potentes depósitos de flujo de lava. Las secuencias de lavas andesíticas, pardo rojizas y grises fueron emitidas por el volcán Hualca Hualca en sus primeras fases de evolución durante el plioceno tardío (Gerbe & Thouret 2004). Los flujos están dispuestos de manera subhorizontal y cada flujo de lava mide entre 20 a 60 m de espesor (foto 2).

Hacia la base los flujos de lava presentan estructura en disyunción columnar y “flow banding”, la cual se origina durante el enfriamiento y emplazamiento de los flujos de lava. La roca presenta una textura porfirítica y está constituida por fenocristales de plagioclasa y piroxeno englobados en una matriz vítrea. Sobre estas lavas yacen morrenas y depósitos coluviales.



Foto 2: Depósito de flujos de lava en el lugar donde se construiría el dique para la represa Carpalli.

5.3 Morrenas (P-Mo)

Las morrenas son depósitos detríticos, generados por la erosión, transporte y deposición, como consecuencia de la actividad de los glaciares. Están constituidas por grava y bloques heterométricos de composición heterogénea. En la zona de estudio, las morrenas están constituidas principalmente por fragmentos de lava andesítica, incluidos en una matriz de sedimentos limo-arenosa (foto 3). Se encuentran poco consolidadas y dispuestos en forma de colinas alargadas que alcanzan entre 40 a 60 m de altura.

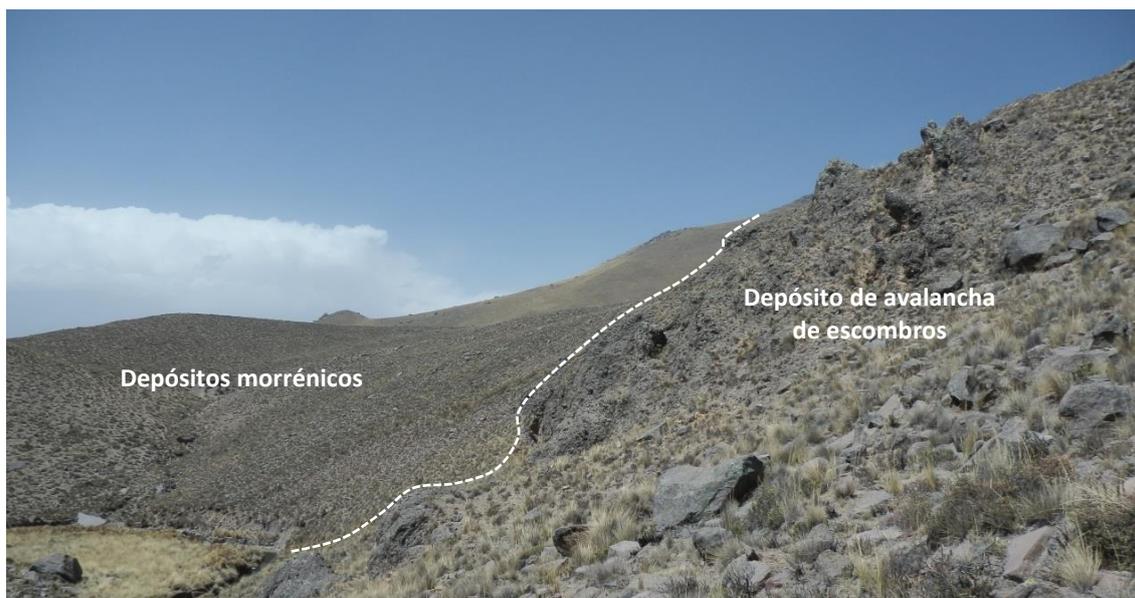


Foto 3: Vista de morrenas que se encuentran sobreyaciendo a un depósito de avalancha de escombros.

5.4 Depósitos de fluvio-glaciares (H-Flg)

Los depósitos fluvio-glaciares son formas y depósitos de modelado ligados a la actividad conjunta entre el transporte glaciar y el remodelado de estos materiales mediante la actividad de corrientes fluviales originadas por la fusión de masas de hielo. En la zona de estudio estos depósitos se encuentran principalmente en el cauce de las quebradas (figura 2), los cuales corresponden a secuencias limo-arenosas estratificadas de color gris, que yacen en una zona semiplana, rellenando paleoquebradas. Estos depósitos debieron generarse durante periodos de desglaciación ocurridos en el Pleistoceno superior y Holoceno (Rivera *et al.* 2016).

5.5 Bofedales

En los alrededores del volcán Sabancaya existen bofedales, los cuales contienen material orgánico y ceniza volcánica.

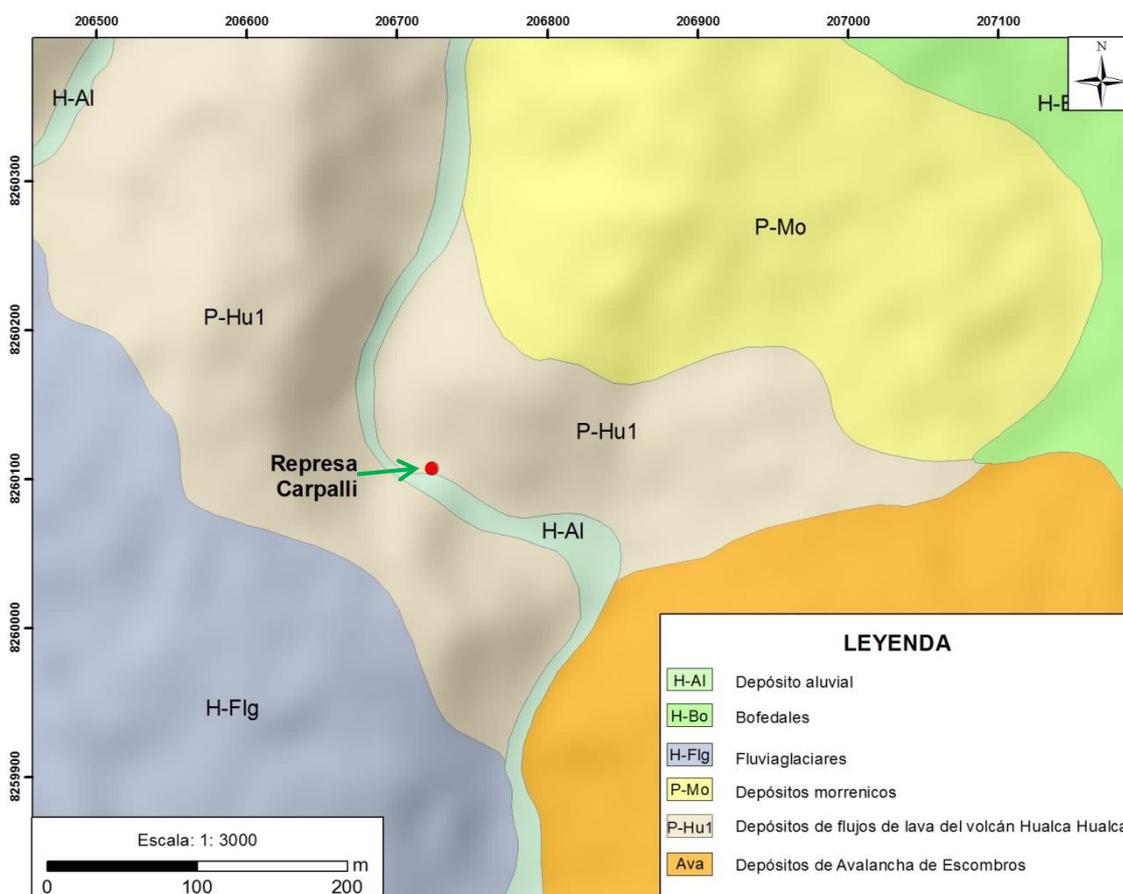


Figura 2: Según el mapa geológico el dique (punto rojo) para la represa Carpalli se localizaría en depósitos de flujo de lava.

6. EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS

El Observatorio vulcanológico del INGGEMMET (OVI) ha elaborado tres mapas de peligros que consideran una erupción del volcán Sabancaya. Estos mapas son:

- Mapa proximal para peligros múltiples: Es decir para el emplazamiento de flujos piroclásticos, flujos de lava, y emisión de proyectiles balísticos.
- Mapa de peligros por lahares (flujos de lodo) distales
- Mapa por caída de tefras (ceniza).

Los tres mapas están representados por los colores rojo, naranja y amarillo, los cuales representan alto, moderado y bajo peligro. A partir de la interpretación del mapa de peligros proximal, mapa por lahares y mapa por caída de ceniza del volcán Sabancaya la futura represa “Carpalli” se localizaría en una zona de BAJO PELIGRO (figura 3). En efecto, en caso que ocurriese una erupción explosiva del volcán Sabancaya la represa y sus alrededores se verían afectados principalmente por los siguientes procesos:

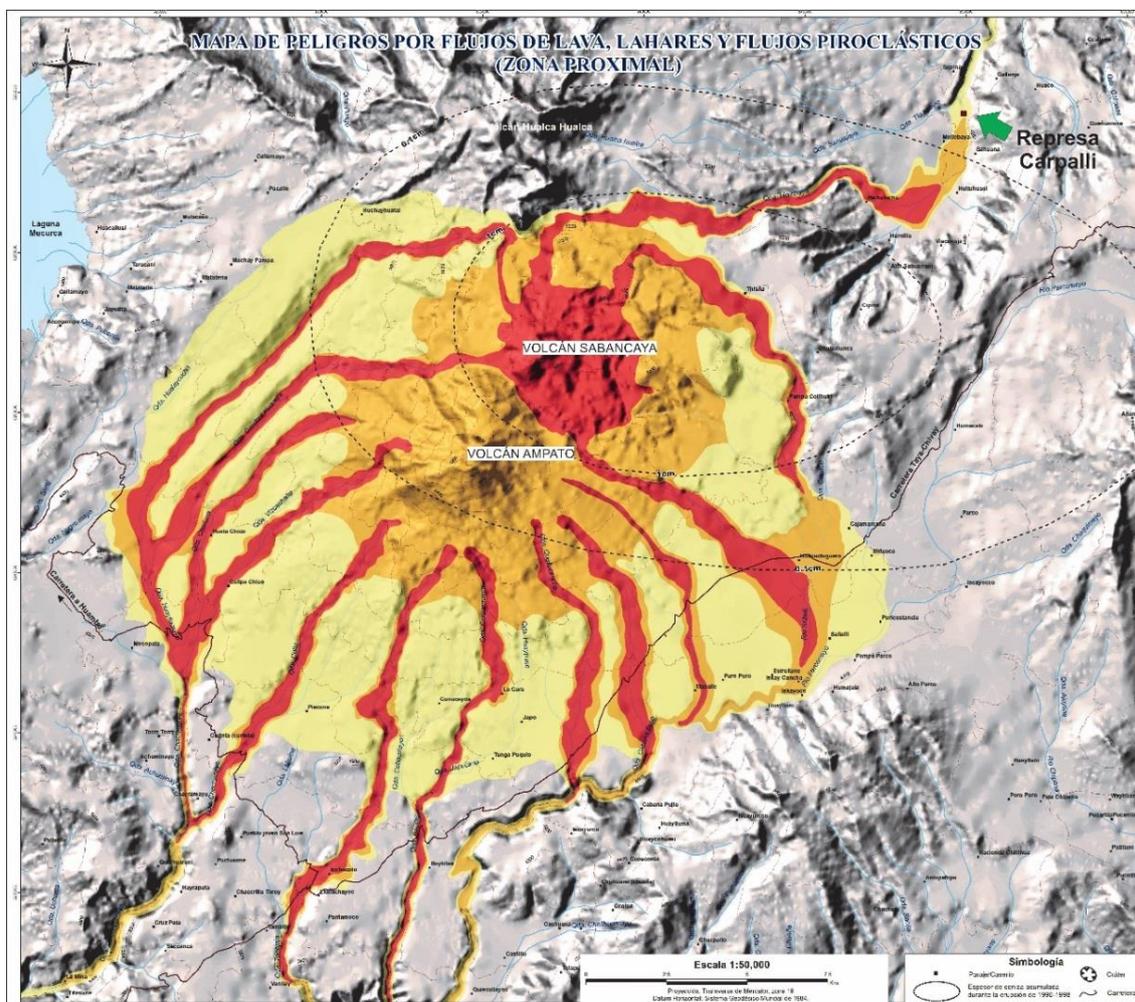


Figura 3. Mapa de peligros por lahares del volcán Sabancaya donde se muestra la localización posible del dique de la futura represa “Carpalli”, cabe manifestar que según este mapa de peligros el área está localizada en la zona de BAJO PELIGRO

6.1. Peligros por lahares o flujos de lodo (huaicos) y desbordes

Los lahares son mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua. En caso de la ocurrencia de erupciones del Sabancaya pueden producirse caídas de cenizas que pueden cubrir los flancos de dicho volcán e incluso los flancos de los volcanes Hualca Hualca y Ampato. Estos pueden generarse en periodos eruptivos o incluso en periodos no eruptivos, pero con presencia de lluvias. Podrían descender preferentemente por las quebradas que drenan alrededor del volcán Sabancaya, como **Sipina**, Huancane, Maca, Huayuray, Hualca Hualca, Huaraya, Chullune, Vizcachane, Collo, Baylillas, Colquemarca, Quellocancha, Cabana Pujio, Condori, Molebaya, entre otras, ya que existe un importante volumen de depósitos de cenizas sueltas y material aluvial en los cauces de las quebradas y en los flancos del volcán Sabancaya que actuarían como factores condicionantes para desencadenar el proceso. En la zona donde se ha previsto construir la represa Carpalli no se han identificado depósitos de lahares, y en el mapa de peligros por lahares, éste se encuentra en una zona de BAJO PELIGRO (figura 4); sin embargo, podría verse comprometida por el desarrollo de flujos de lahares provenientes de la cuenca superior de la quebrada Sipina y la quebrada Molebaya (peligro moderado a alto).

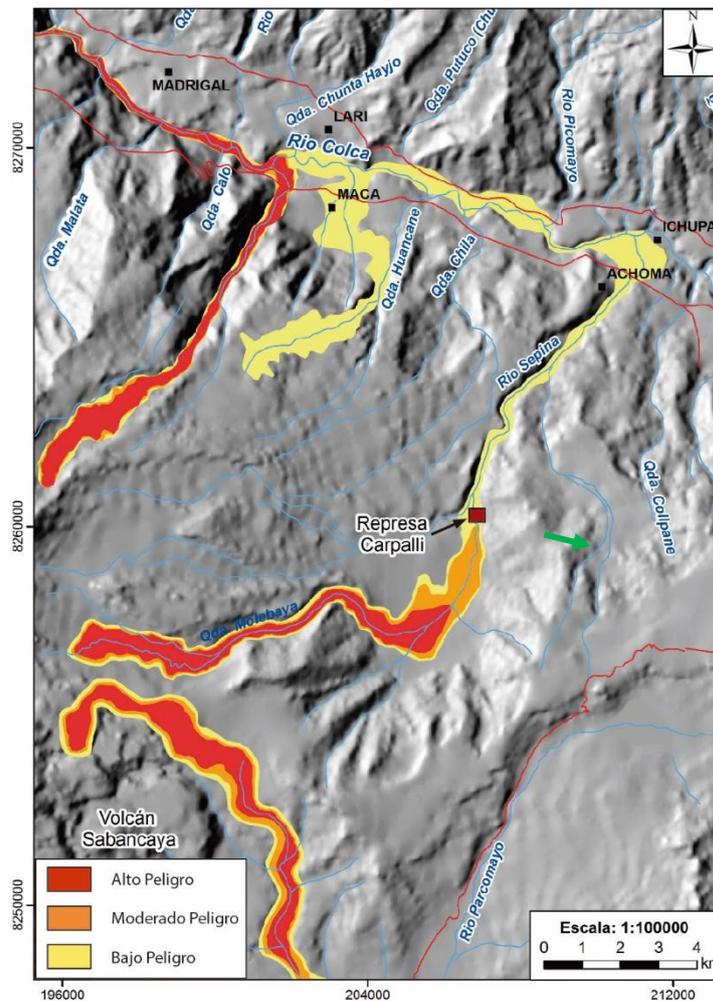


Figura 4. Mapa de peligros por lahares del volcán Sabancaya donde se muestra la localización del posible dique de la represa “Carpalli”, cabe manifestar que según este mapa de peligros el área está localizada en la zona de BAJO PELIGRO

6.2. Peligros por caídas piroclásticas (ceniza)

La actividad histórica del volcán Sabancaya es poco conocida, pero, se ha encontrado evidencias de al menos cinco erupciones desde el año 1750 (Giesecke, 1989; Thouret et al., 1994; Huamán, 1995; Siebert et al., 2011). Después de aproximadamente 200 años, el volcán inicia una importante actividad eruptiva que comienza en 1985, con un incremento en la emisión fumarólica.

En 1986, después de una actividad sísmica, los pobladores del valle del Colca, observaron inicialmente fumarolas esporádicas y luego, permanentes, con ruidos pequeños y sismos de muy poca intensidad. En noviembre de 1986, se inicia una intensa actividad fumarólica que se elevaron entre 500 y 1000 metros sobre el cráter.

Entre mayo y junio de 1990, se registraron entre 2 y 3 explosiones por día, con columnas eruptivas de 700 a 800 metros de altura, que posteriormente generaron caída de cenizas. Posteriormente, la actividad consistió de fuertes emisiones de gases y ceniza formando nubes de color gris a gris claro por encima de 2-3 km sobre el cráter. Desde entonces, ocurrieron erupciones de tipo vulcanianas que produjeron caídas de cenizas que se fue acumulando en zonas aledañas, además, causaron varios lahares. En el año 2003, aún se observaron algunas emisiones de gases y cenizas tenues.

La actividad eruptiva de 1988-1998, causó estragos en los poblados rurales ubicados en áreas aledañas al volcán Sabancaya, dedicados principalmente a la actividad ganadera, lo que ocasionó muchas pérdidas de animales y de cultivos agrícolas, que repercutieron en la economía local y regional.

Actualmente, el volcán Sabancaya se encuentra en un proceso eruptivo, que se inició el 06 de noviembre de 2016, fecha en la cual se registraron las primeras explosiones.

Entre los meses de noviembre y diciembre las columnas eruptivas alcanzaron alturas de hasta 4500 m sobre la cima del cráter, con emisión de ceniza y bloques balísticos.

Desde mediados de enero y hasta marzo de 2017 la actividad fue moderada; en estos meses las emisiones de gases y ceniza se mantuvieron constantes, alcanzando alturas de hasta 4200 m sobre la cima del volcán, las cuales, fueron dispersadas por el viento principalmente en dirección Noroeste y Oeste, llegando hasta 50 km de distancia del cráter, afectando los poblados de Huambo, Cabanaconde, Tapay, Pinchollo, Maca y **Achoma**. Durante ese periodo también las cenizas viajaron al Sur y Suroeste del volcán, afectando los poblados Lluta y Huanca.

El 02 de abril de 2017 se registraron explosiones importantes seguidas de emisiones de ceniza y gases que alcanzaron alturas de hasta 4000 m sobre la cima del volcán. Sin embargo, durante los meses de abril, mayo hasta mediados del mes de junio, la actividad fue moderada, registrándose emisiones o columnas de gases y cenizas con una altura promedio de 2500 m, las cuales fueron dispersadas por el viento en dirección Este, afectando principalmente el distrito **Achoma** y sus anexos (Sallalli, Parco, etc.).

Posteriormente, el día 4 de julio de 2017 en horas de la noche, ocurrió una importante explosión, con expulsión de bloques incandescentes que cayeron en la cima y flancos del volcán. Los días siguientes la actividad eruptiva aumentó considerablemente,

registrándose emisiones densas de ceniza y gases acompañados de bloques balísticos. En esta oportunidad las columnas eruptivas alcanzaron alturas de hasta 5500 m sobre la cima del volcán, siendo luego dispersadas por el viento, en dirección Sur, afectando los distritos de Lluta, Huanca y el anexo de **Sallalli**, incluso llegando hasta el Norte de la ciudad de Arequipa. En esta fecha, las cenizas han logrado superar los 60 km de distancia respecto al volcán. Entre setiembre y noviembre las alturas de las columnas eruptivas disminuyeron ligeramente en tamaño, alcanzando hasta 4200 m, dispersándose luego las cenizas en dirección Norte, Noroeste, Noreste, Oeste, Este, Sur y Sureste del volcán; se vieron afectados, los poblados de Cabanaconde, Lari, Madrigal, Achoma y pueblos localizados al Sur como Huanca y Lluta, alcanzando un radio de 40 km. Es importante mencionar que, en las distancias máximas de alcance, la ceniza es muy fina y muchas veces se queda suspendida.

El mapa de peligros por caídas piroclásticas para el complejo volcánico Ampato-Sabancaya, se ha dividido en tres zonas: alto peligro en rojo, moderado peligro en naranja y bajo peligro en amarillo, cuyo foco de emisión es el cráter del volcán Sabancaya. La represa Carpalli se encuentra a 14 km del cráter del Sabancaya, a esta distancia el espesor del depósito de ceniza es inferior a 1 cm; en el mapa de peligros por dispersión de ceniza la represa está en una **ZONA DE MODERADO PELIGRO** (figura 5).

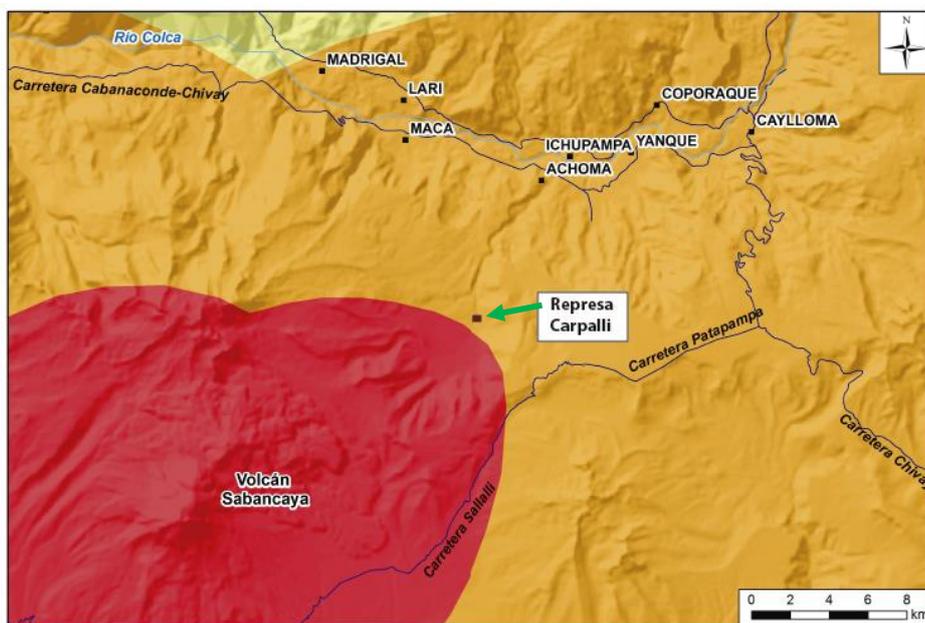


Figura 5. Mapa de peligros por dispersión de ceniza del volcán Sabancaya donde se muestra la localización de la futura represa “Carpalli”, cabe manifestar que según este mapa de peligros el área está localizada en la zona de MODERADO PELIGRO

7. ACTIVIDAD SÍSMICA Y NEOTECTÓNICA

7.1 Fallas geológicas activas

Las fallas geológicas son discontinuidades que corresponden a planos de rotura o fracturación con desplazamiento relativo entre los bloques. Su origen es tectónico, es decir producto de los esfuerzos internos de la tierra (Gonzales de Vallejo *et al*, 2002).

Una estructura tectónica capaz / falla activa: Es una estructura tectónica (falla geológica) que puede generar terremotos o deformaciones en la superficie. El concepto de falla activa se define en función de la edad de su último desplazamiento. Bajo el punto de vista neotectónico, es la que ha presentado deformaciones durante el régimen tectónico actual. En relación a la ingeniería geológica y su aplicación a proyectos de ingeniería (obras de infraestructura), las fallas activas son las que han presentado movimiento en los últimos 10 000 años. Es importante mencionar que para instalaciones radioactivas este periodo se extiende a los últimos 500 000 años (Gonzales de Vallejo *et al*, 2002).

7.2 Sistema de fallas Colca

Desde ya hace algunos años, la actividad sísmica en el Colca ha generado gran interés en la comunidad científica para realizar estudios en las fallas activas del área en mención. En este informe se muestra el resultado de estudios y análisis sísmicos en la actualidad, estudios paleosismológicos en la falla activa Trigal y en las cuencas lacustres cuaternarias aflorantes en el valle, realizados por INGEMMET, con la finalidad de interpretar y dar a conocer su historia sísmica y poder aplicarlo para planes de ordenamiento territorial (POT).

7.3 Contexto geológico - neotectónico

Benavente *et al.* (2015) describen un control estructural NO-SE en el arco volcánico Cuaternario a lo largo de aproximadamente 200 km, corredor estructural conformado por fallas normales con buzamientos opuestos y que cortan depósitos volcánicos cuaternarios, glaciares y fluvio-glaciares. Asimismo, Sébrier *et al.* (1985) estudian las fallas Trigal y Solarpampa, ubicadas en las alturas del Cañón del Colca, entre Huambo y Cabanaconde; fallas con orientaciones E-O (figuras 6 y 7), constituidas por segmentos que se extienden a lo largo de 30 km cortando depósitos volcánicos cuaternarios y fluvio-glaciares. David (2007) y Antayhua (2008) analizaron la actividad sísmica de esta área, identificando su distribución tanto en superficie como en profundidad y determinando mecanismos focales, que son coherentes con las orientaciones de las fallas identificadas.

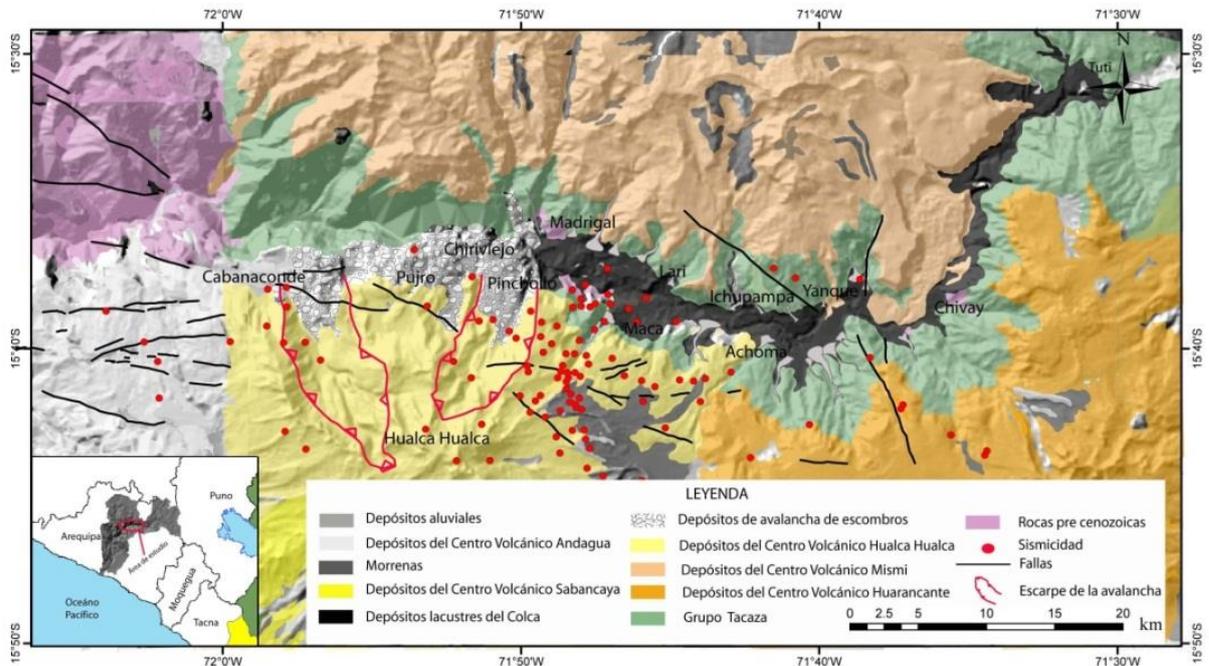


Figura 6. Mapa geológico regional del área de estudio, modificado de Quispesivana & Navarro (2001).

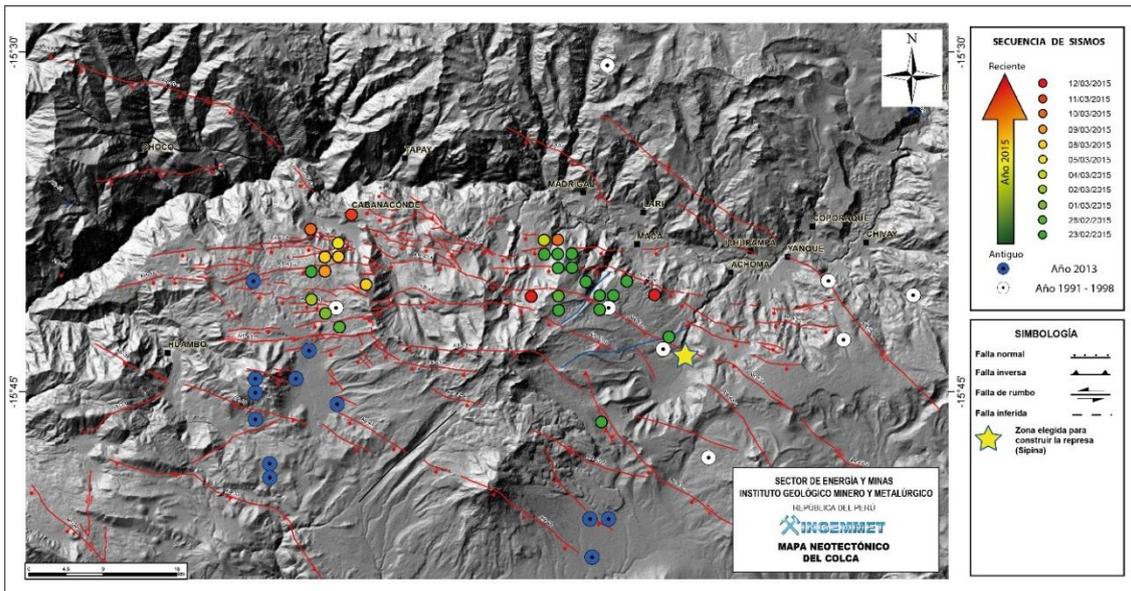


Figura 7. Mapa Neotectónico del Colca, nótese el enjambre de fallas geológicas activas (líneas rojas), la sismicidad superficial (4 – 6 MW) y la ubicación del proyecto de construcción de la represa de Sipina (estrella amarilla).

7.4 Antecedentes sísmicos

En cuanto al registro sísmico histórico e instrumental reciente que corresponda a sismos superficiales en el Colca (figura 8) y que hayan afectado a la población se tiene:

- 21 de mayo de 1917
- 23 de julio de 1991, 5.3 ML

- 01 de febrero de 1992, 5.0 ML
- 12 de abril de 1998, 5.3 ML
- 13 de diciembre de 2002, 5.3 ML
- 22 de febrero de 2013, 5.2 ML
- 17 de julio de 2013, 5.8 ML
- 20 de febrero de 2016, 5.0 ML
- 14 de agosto de 2016, 5.5 ML

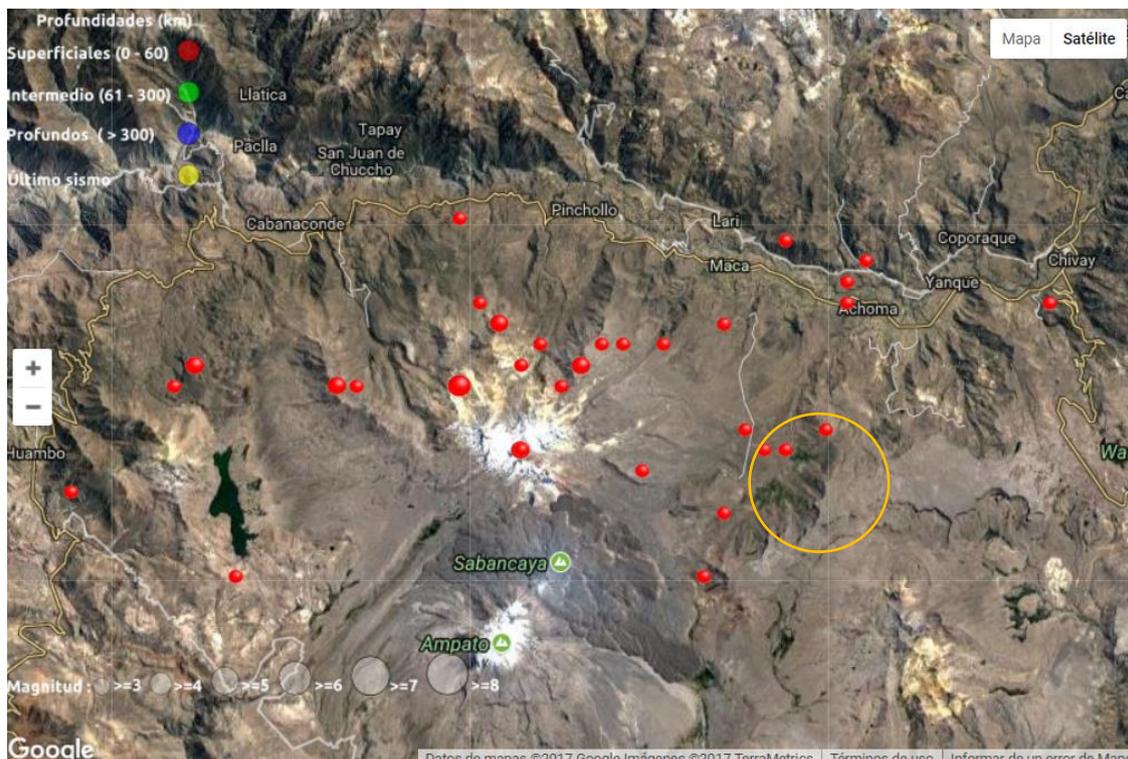


Figura 8. Imagen satelital Google Earth con la ubicación de los epicentros para sismos mayores a 4° MW durante el año 2017 (en puntos rojos, Fuente: IGP); el círculo naranja enmarca la zona donde se pretende realizar la represa.

Registro sísmico actual: En la actualidad, el registro sísmico instrumental nos otorga la facilidad de poder reconocer la magnitud de los eventos sísmicos y su ubicación casi inmediatamente ocurridos estos. En el año 2017 vienen ocurriendo una variedad de movimientos sísmicos en diferentes zonas a lo largo del Colca, sin embargo, existe un área donde estos movimientos se han presentado con mucha frecuencia, entre las localidades de Yanque y Huambo, en la margen izquierda del río Colca; sector donde se registra y observa más de una veintena de fallas activas, las cuales presentan importantes escarpes y evidencia de reactivaciones recientes.

Entre los meses de febrero y marzo del 2017 se registraron movimientos sísmicos casi diario, con epicentros al Sur de Cabanaconde; de igual manera, se registraron otros movimientos sísmicos entre las localidades de Pinchollo y Maca, los cuales han generado alerta y preocupación en la población. Sin embargo, estos eventos han ido ocurriendo

también de forma continua desde hace años producto de la reactivación de las mismas estructuras.

7.5 Estudio paleosísmológico en la falla Trigal

Los estudios paleosísmicos a nivel mundial han probado ser de gran utilidad para la estimación del potencial sismogénico (determinación del sismo máximo probable sobre una falla dada y su correspondiente período de retorno) de los accidentes tectónicos de actividad sísmica moderada, tanto en magnitud como en frecuencia, puesto que permiten expandir el período de observación más allá de la sismicidad instrumental y la sismología histórica.

Esta reciente actividad sísmica en el Colca, específicamente entre Yanque y Cabanaconde, registra eventos de hasta 6 grados de magnitud en los últimos años. Si bien éstos no generaron ruptura superficial, la cual es una observación importante, ya que los trabajos en campo y a través de imágenes satelitales nos permiten observar escarpes de fallas con desniveles de hasta 50 metros.

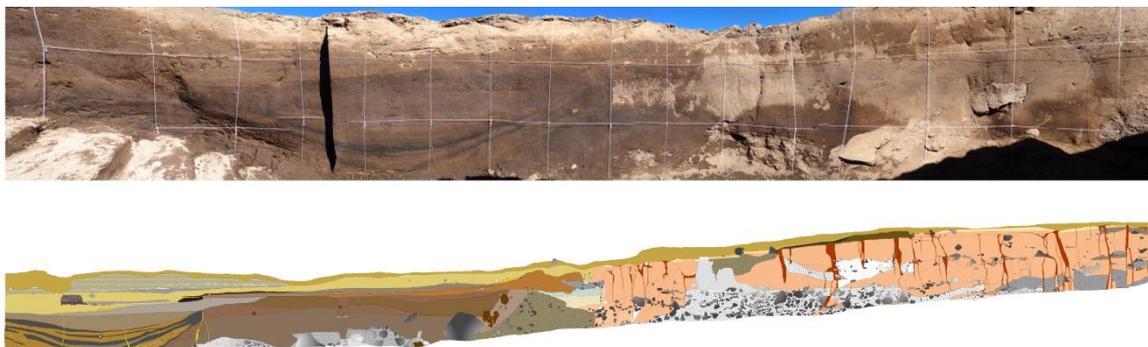


Figura 9. Trinchera paleosísmológica en la falla Trigal (Sector de Cabanaconde) con su respectivo cartografiado.

Entonces si los escarpes de las fallas locales presentan desniveles tan pronunciados, ¿Cuánta energía es necesaria para generar ruptura superficial? Para ello iniciamos trabajos de paleosismología en la falla Trigal (figura 9), donde pudimos observar evidencias de rupturas superficiales y acumulaciones de cuñas coluviales que nos indican una recurrencia de la reactivación de esta estructura.

Análisis preliminares, indican que la falla Trigal, es capaz de generar sismos de hasta 7.0 grados de magnitud, generando rupturas de 0.40 m. Los intervalos de recurrencia vienen siendo analizados por el INGEMMET utilizando muestras en depósitos cuaternarios, los cuales fueron sometidos a dataciones con el método C14.

7.6 Estudio paleosísmológico en las cuencas cuaternarias del Valle del Colca

La formación geológica denominada Grupo Colca, definida así por Palacios & Klinck (1991), consideran a esta unidad como un agrupamiento de sedimentos fluviales y lacustrinos con un espesor estimado de 350 metros depositados en el valle del Colca entre el Pleistoceno e inicio del Holoceno (>0.8 a 0.1 Ma).

A partir del levantamiento de columnas estratigráficas levantadas en las secuencias del Grupo Colca a lo largo del valle, se pudo analizar e interpretar la presencia de tres paleolagos, siendo estos de diferentes tamaños, profundidad y ubicación, estos paleolagos fueron denominados: a) Paleolago Yanque – Madrigal b) Paleolago La Calera y c) Paleolago Canocota – Tuti.

El origen de formación de estos paleolagos está directamente relacionado con eventos volcánicos procedentes de centros volcánicos en el piso del valle del Colca que ocasionaron su represamiento y formación de los paleolagos La Calera y Canocota – Tuti; así como la avalancha de escombros del flanco Norte del volcán Hualca Hualca que generó la formación del Paleolago Yanque-Madrigal, siendo este el de mayor importancia por su gran dimensión.

Litológicamente las columnas presentan en su mayoría una secuencia lacustre, a la base, compuesto por limos y arcillas intercalados con niveles de arenas de grano fino a medio además de algunos niveles de calizas; sobreyaciendo a esta secuencia se observa facies de gravas y arenas de grano fino a grueso con delgados niveles de limos y arcillas, esta secuencia es interpretada como originada por la depositación en un ambiente fluvial. En el análisis sedimentológico de estos depósitos lacustres también se han podido identificar una variedad de estructuras sedimentarias de deformación muchas de ellas relacionadas a eventos sísmicos contemporáneos a la sedimentación (sismitas).

Posteriormente, luego de analizar el registro paleo sísmico en los sedimentos del Grupo Colca, se pudo observar trece niveles claramente correlacionables de sismitas en el paleolago Yanque-Madrigal, tres niveles en el paleolago Canocota-Tuti y un nivel en el paleolago La Calera, niveles deformados que nos indican eventos sísmicos igual o menores a 7° de magnitud afectando los sedimentos inconsolidados depositados.

CONCLUSIONES

1. Según el mapa de peligros por lahares del Sabancaya, la represa Carpalli está localizada en la zona de BAJO PELIGRO, durante los trabajos de campo realizados no se identificaron depósitos de lahares que se hayan emplazado anteriormente en el río Sipina. Sin embargo, considerando la existencia de flujos laháticos en la cuenca superior (quebrada Molebaya de moderado a alto peligro), no se descarta que pudieran verse afectados por este tipo de flujos. La futura represa podría verse afectada por la ocurrencia de lahares durante períodos de lluvias excepcionales.
2. Actualmente la zona donde se construiría la represa se ve afectada por caída de ceniza; sin embargo, a esta distancia los espesores son inferiores a 1 cm.
3. El sistema de fallas Colca, ubicado entre los distritos de Yanque y Cabanaconde representan un peligro sísmico muy importante, evidenciado en la sismicidad local, la que anualmente presenta una importante cantidad de sismos menores a 6 Mw, antecediendo en la mayoría de los casos a erupciones volcánicas del volcán Sabancaya.
4. El registro sísmico instrumental es muy reciente y el registro sísmico histórico no es posible encontrarlo en crónicas, escritos o libros, lo cual representa la pequeña ventana de observación. Sin embargo, los estudios paleosismológicos nos permiten ampliar nuestra ventana de observación con referencia a los eventos sísmicos pasados, ayudándonos a conocer la recurrencia sísmica y la magnitud mayor. En ese sentido, aunque los eventos sísmicos actuales no sobrepasan los 6 Mw, los estudios paleosismológicos (en sedimentos de los paleolagos del Colca, la trinchera paleosismológica) evidencian sismos de ~7 Mw lo cual nos indica la posibilidad de la ocurrencia de eventos de mayor magnitud en la zona de análisis, importante a tener en cuenta en la construcción de cualquier infraestructura.
5. Aunque, la localidad de Achoma se encuentre a más de 20 km de la zona donde se realizó la trinchera paleosismológica, los resultados del método paleosismológico no representan necesariamente este punto, sino toda un área a lo largo del sistema de fallas del Colca, por lo que se sugiere considerar que se puede ocasionar un movimiento sísmico de hasta 7°Mw en cualquier punto del valle y cañon del Colca, especialmente en la margen izquierda donde se plantea hacer la construcción de la represa de Sipina.
6. En la posibilidad de realizar una construcción u obra civil en un entorno tectónicamente activo como Achoma y alrededores considerar la posibilidad de un sismo de magnitud ~7Mw. Así mismo los parámetros de construcción deben ser los más óptimos para escenarios de este tipo.
7. La represa tendrá como estribos rocas volcánicas (lavas) muy fracturadas.

RECOMENDACIONES

1. Se deben realizar estudios de suelo y de roca para poder realizar la construcción de la represa, tomando en cuenta los estándares geotécnicos en este tipo de construcción.
2. La ubicación del posible dique para la represa se encuentra a 15 km del volcán Sabancaya, por lo cual está a una distancia considerable; sin embargo, se deben tomar en cuenta todas las medidas necesarias frente a los lahares y caídas de ceniza.
3. Utilizar como referencia el mapa de peligros del Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya e investigaciones publicadas por INGEMMET, en la elaboración de proyectos y obras de infraestructura en zonas aledañas.
4. Para la identificación de obras ingenieriles en el sector, se debe considerar la localización de las fallas geológicas con cada uno de sus segmentos, así mismo debe seguirse los lineamientos establecidos en las Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones.
5. Si bien es cierto que se ha avanzado en la identificación del sistema de fallas Colca, es necesario realizar un estudio detallado sobre el peligro sísmico donde se pueda detallar posibles máximas magnitudes que pueden generar las fallas.
6. Para la realización de obras de infraestructura de mediana a gran magnitud en el área de influencia de la falla, se recomienda realizar el análisis sísmico determinístico, que relaciona los eventos sísmicos a fallas activas o potencialmente activas para representar su atenuación en el lugar. De esta manera tendremos el diseño sísmico apropiado.

BIBLIOGRAFÍA

- Audin, L., Lacan, P., Bondoux, F. (2008). Upperplate deformation and seismic barrier in front of Nazca subduction zone: The Chololo Fault system and active tectonics along the Coastal Cordillera, southern Peru. *Tectonophysics*.
- Giesecke, A. (1989) Riesgo volcánico: evaluación y mitigación en América Latina, aspectos sociales, institucionales y científicos. Lima: Centro Regional de Sismología para América del Sur, 298 p.
- Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Pearson Educación, Madrid 2002. 744 p.
- Huamán, 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, Perú). Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 138 p.
- Macharé, J., Benavente, C., Audin, L. (2008). Síntesis del Mapa Neotectónico del Perú. *INGEMMET. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, n. 40, 103 p., 2009.
- Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (2017). Evaluación de caída de ceniza por actividad del volcán Sabancaya (Arequipa) 2016-2017. Informe especial N° 03-2017.
- Rivera, M; Mariño, J; Samaniego, P; Delgado, R; & Manrique, N. (2016). Geología y evaluación de peligros del Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya (Arequipa), *INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 61, 122 p., 2 mapas.
- Siebert, L.; Simkim, T. & Kimberley, P. (2011). *Volcanoes of the world*. 3 ed. Washington, D. C.: Smithsonian Institution, Berkeley, CA: University of California Press, 551 p.
- Thouret, J.C.; Guillande, R.; Huamán, D.; Gourgaud, A.; Salas, G. & Chorowicz, J. (1994). L'activité actuelle du Nevado Sabancaya (Sud du Pérou): reconnaissance géologique et satellitaire, évaluation et cartographie des menaces volcaniques. *Bulletin Société Géologique de France*, 165 (1): 49-63.