

Origen y respuesta al deslizamiento y embalse del río Colca en tiempos de COVID 19 (18 de junio 2020) en sedimentos del “paleo-lago Colca”, Geoparque Mundial de la UNESCO Colca y Volcanes de Andagua, Perú

Origin and response to the landslide and damming of the Colca River in times of COVID 19 (June 18, 2020) in sediments of the “Colca paleo-lake”, Colca and Andagua Volcanoes UNESCO Global Geopark, Perú

Zavala, B.¹; Vela, J.; Taípe, E.; Astete, I.

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Perú

RESUMEN

El Geoparque Colca y Volcanes de Andagua es un territorio con una geodinámica activa. Volcanes, fallas y deslizamientos activos caracterizan su geodiversidad. Seis poblados del geoparque están asentados sobre depósitos aluvio-lacustres del “paleo-lago Colca”, originado por una avalancha volcánica que represó el río Colca día hace más de 0.8 Ma. Estos sedimentos susceptibles a deslizamientos afectan recurrentemente zonas urbanas y agrícolas en Maca, Madrigal, Lari e Ichupampa. El 18 de junio del 2020, un deslizamiento se sumó a esta historia geodinámica del geoparque, afectando terrenos agrícolas de otro distrito: Achoma. No hubo daños personales, sin embargo, el volumen de material deslizado y la altura del cierre generaron un embalse, constituyendo un riesgo latente, comprometiendo la seguridad de zonas agrícolas y puentes aguas abajo en varios poblados, en caso de ocurrir un desembalse violento. Asimismo, inundó aguas arriba un área turística (baños termales), y amenazó áreas agrícolas y patrimoniales (andenes o terrazas de cultivo) en Yanque e Ichupampa. Este artículo muestra la participación conjunta del conocimiento científico y el trabajo de autoridades regionales, municipios locales y la empresa privada en un contexto de pandemia COVID-19. Se resalta la gestión de riesgo de desastres de origen geológico, típicos en este geoparque, con el que convive la población desde sus orígenes.

Palabras clave: Deslizamiento; Embalse; Paleo-lago Colca; Geoparque Mundial de la UNESCO Colca y Volcanes de Andagua

ABSTRACT

Colca and Volcanoes of Andagua UNESCO Global Geopark is a territory with an active geodynamic. Volcanoes, faults, and active landslides characterize its geodiversity. Six towns of the geopark are settled on alluvial-lacustrine deposits of the "Colca paleo-lake", originated by a volcanic avalanche that dammed the Colca river, more than 0.8 Ma ago. These landslide-susceptible sediments have recurrently affected urban and agricultural areas in Maca, Madrigal, Lari and Ichupampa villages. On June 18, 2020, a landslide added to this geodynamic history of the geopark, affecting agricultural lands in another district: Achoma. There were no personal injuries, however the volume of slipped material and the height of the closure generated a dam, constituting a latent risk. It compromised agricultural areas and downstream bridges of several towns, in case of a violent flooding. This article shows the joint participation of scientific knowledge and the work of regional authorities, local municipalities and private companies in a context of the COVID19 pandemic. The risk management of geological disasters is highlighted, which is typical in this geopark affecting its population since its origins.

Keywords: Landslide; Reservoir; Colca paleolake; Colca and Andagua Volcanoes UNESCO Global Geopark

INTRODUCCIÓN

Las primeras poblaciones que ocuparon el Geoparque Mundial de la UNESCO Colca y Volcanes de Andagua (GMU-CVA), "Collaguas" y "Cabanas", encontraron terrenos fértiles para la agricultura, pero a la vez inestables. Redujeron sus efectos construyendo terrazas o andenerías, con estructuras de drenaje a fin de evitar la saturación de suelos, la inestabilidad de laderas y mitigar los daños en sus tierras. Muchos de los andenes siguen utilizándose, mientras que otros fueron abandonados durante la Colonia española.

Las geoformas generadas por movimientos en masa son frecuentes en zonas de valle y ladera en el geoparque. Aquellos que permiten interpretar la dinámica de estos procesos, están incluidos en la lista de geositios del GMU-CVA, elementos de carácter educativo y científico en un territorio de resiliencia. Cuatro de estos geositios se comparan con el reciente deslizamiento de Achoma, para contribuir al objetivo del presente artículo, tratándose de deslizamientos rotacionales con actividad en las cuatro últimas décadas. Corresponden a deslizamientos que afectan depósitos aluvio-lacustres, acumulados en el "paleo-lago Colca", originado por una gran avalancha volcánica del flanco norte del complejo volcánico Hualca Hualca, que represó el río Colca. Estos depósitos han sido diferenciados en la estratigrafía local como Formación Colca, los cuales alcanzan cerca de 300 metros de espesor, extendiéndose entre los pueblos de Madrigal y Yanque. Por su naturaleza geológica original, grado de cohesión y saturación, son muy susceptibles

de generar deslizamientos de este tipo como el reciente ocurrido en Achoma. Factores externos como la actividad sísmica asociada a la actividad neotectónica, lluvias estacionales y prácticas inadecuadas de riego, contribuyen como factores detonantes.

El Servicio Geológico del país (INGEMMET), institución que asesora al GMU-CVA entre sus actividades, mantiene una red de monitoreo sísmico y geodésico en el deslizamiento de Maca, así como la red de monitoreo en el volcán Sabancaya. Ambas redes se encuentran dentro del geoparque y son utilizadas para alerta temprana. El día 18 de junio del 2020 a la 1:42 am hora local (06:42 UTC), esta red registró un sismo de 3.2 Ml. Los registros indicaron una duración de 3 minutos aproximadamente; con mayor energía en la estación Maca, ubicada a \pm 8km del poblado de Achoma. Se trataba del deslizamiento ocurrido en la margen izquierda del río Colca que afectó 10 sectores de comunidades de Achoma.

Por la naturaleza del evento geológico, a pesar de la situación de pandemia que se vive en el GMU-CVA, el INGEMMET destacó una brigada para realizar una evaluación geológica de las zonas de deslizamiento y embalse en el valle del Colca. Los aspectos geológicos y geodinámicos, y las conclusiones rápidas que se hicieron, se destacan en el presente artículo, el cual fue realizado por especialistas del INGEMMET, y del Observatorio Vulcanológico con sede en Arequipa. Los trabajos para la ejecución de un desembalse controlado, una de las recomendaciones a las que se llegó a través del informe técnico (INGEMMET, 2020), están siendo realizadas por instituciones vinculadas al gobierno regional de Arequipa, el municipio provincial y local, AUTOCOLCA, la Autoridad del Proyecto Majes (AUTODEMA), y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), quien controla el avance de las cotas del embalse y otros aspectos hidrológicos.

DESLIZAMIENTOS EN EL PALEOLAGO COLCA: GEOSITIOS DE INTERÉS GEODINÁMICO EN EL GMU-CVA CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES AL DESLIZAMIENTO DE ACHOMA

Paleolago Yanque-Madrigal

Uno de los sectores principales con gran distribución de movimientos en masa en el GMU-CVA se ubica en el valle del Colca, entre Sibayo-Tuti-Chivay-Coporaque-Yanque-Ichupampa-Lari-Achoma-Maca-Madrigal-Pinchollo (Figura 1). El análisis sedimentológico en los depósitos lacustres ubicados a lo largo del valle del río Colca, donde se producen estos eventos, indica la preexistencia de tres paleo-lagos originados por distintos eventos geodinámicos y de actividad volcánica, ocurridos durante el Pleistoceno-Holoceno (Benavente et al., 2017). Uno de ellos, el de mayor extensión (Yanque-Madrigal), se originó a partir de una avalancha de rocas del volcán Hualca Hualca (Geositio GS43) con edad inferior a los 0.8 Ma, debido a que sobreyace lavas

datadas en 0.8 ± 0.04 Ma (Gerbe & Thouret, 2003). Un segundo lago denominado La Calera, resultó del emplazamiento de flujos de lavas cuya edad es de 0.23 ± 0.05 Ma (Kaneoka y Guevara, 1984); otro más al este, también por emplazamiento de lavas de 0.147 ± 0.009 Ma (Thouret et al., 2007) originaron el paleo-lago Canocota-Tuti.

La morfología de este valle de represamiento (paleo-lago Yanque-Madrigal; GS09), lo constituyen sus terrazas y piedemontes aluvio-lacustres que rellenaron un paleo-valle entre Yanque hasta antes del inicio del cañón del Colca. Presenta una extensión de 41 km y 10-12 km de ancho promedio y un espesor máximo de 350 m de sedimentos de la unidad estratigráfica denominada Grupo Colca (Palacios y Klinck, 1993). En ella, eventos pre-históricos de movimientos en masa tipo deslizamientos y flujos de detritos, han modificado la morfología, con nuevos procesos geodinámicos, algunos derivados de la actividad sísmica y volcánica. El análisis de susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Colca señala al sector Pinchollo-Sibayo como de susceptibilidad muy alta (Zavala et al., 2014). Para mencionar algunos eventos con características similares a la geodinámica del deslizamiento ocurrido en Achoma, en depósitos del paleo-lago Yanque-Madrigal, se resumen en la Tabla 1 algunos geositos inventariados en el GMU-CVA.

En la Figura 1 se representa la distribución geográfica de estos geositos sobre las unidades geológicas locales. Resalta en el lado oeste una parte del depósito de avalancha de rocas del volcán Hualca Hualca, la cual es fácil diferenciar por su morfología y tonalidad del depósito volcánico. Además de los geositos señalados, se representan diferentes escarpas antiguas de deslizamientos entre los poblados de Lari y Madrigal. El paisaje en estos deslizamientos muestra el trabajo de los pobladores locales para estabilizar y aprovecharlas como zonas de cultivo, mediante terrazas o andenerías, que mantienen las técnicas constructivas de sus antepasados. Estas terrazas siguen la morfología de las escarpas semicirculares originadas por los deslizamientos. Esta misma técnica puede apreciarse a lo largo del valle, ingeniería que es admirada por los turistas que visitan el geoparque.

DESLIZAMIENTO DE ACHOMA DEL 18 DE JUNIO DE 2020

El 18 de junio de 2020 ocurrió el deslizamiento de Achoma, el cual pudo ser caracterizado a partir de las observaciones de campo realizadas en los dos días siguientes a su ocurrencia, así como de la interpretación de imágenes de drone, e imágenes satelitales proporcionadas por la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA) (Figura 2 y Tabla 2). En la Figura 3 se muestra la morfología pre y post-evento de deslizamiento de Achoma.

Tabla 1. Principales geositos de interés geodinámico - sector Yanque-Madrigal (Zavala et al., 2019).

Geositio	Interés Geológico	Descripción	Uso recomendado
G S 5 : Deslizamiento de Maca	Geodinámico	Deslizamiento rotacional antiguo con escarpa de 3.7 km de longitud, reactivado. Avance retrogresivo-progresivo. Reactivaciones en 1991, con sismo. Pérdida de cultivos (andenes). Afecta carretera que conduce al cañón del Colca y canales de irrigación. Sectores con riego por inundación.	Científico; Didáctico
G S 6 : Deslizamiento de Lari	Geodinámico	Deslizamiento rotacional, margen derecha del Colca. Escarpa semicircular al pie de Lari (2.7 km), escarpas semicirculares notorias; cuerpos desplazados en forma rotacional; lagunas o bofedales. Reactivaciones: 1963, 1983 y 2008.	Científico; Didáctico
G S 7 : Deslizamiento de Madrigal	Geodinámico	Rotacional. Corona principal de más de 2 km de longitud; salto vertical de 20-25 m. Hundimientos y agrietamientos entre el pie y corona del deslizamiento. Depresiones con acumulación de agua de infiltración (humedales) y zonas expuestas a riego originan movimientos locales del terreno.	Científico; Didáctico
GS9: Depósitos lacustrinos paleo-lago Colca	Sedimentológico-tectónico	Relleno aluvio-proluvial-lagunar (terrazas), sobre el cual se desarrollan poblaciones y zonas agrícolas, con amplias andenerías y carreteras principales.	Científico; Didáctico
G S 4 3 : Deslizamiento de Ichupampa	Geodinámico	Flujo de tierra. Escarpas sucesivas y basculamientos en cabecera de deslizamiento circular. Movimiento lento que afecta terrenos de cultivo y tramo de antigua carretera Coporaque-Ichupampa.	Científico; Didáctico
GS8: Depósito de avalancha de rocas del volcán Hualca Hualca	Geodinámico; Geomorfológico	Está constituido por bloques heterogéneos de rocas hidrotermalizadas, incluidas en una matriz limo-arenosa. Facies de matriz, y zonas restringidas con facies de bloques. Coloración amarillo-ocre, rojiza y gris-blanquecina. Se aprecia entre Madrigal y Pinchollo	Científico; Didáctico

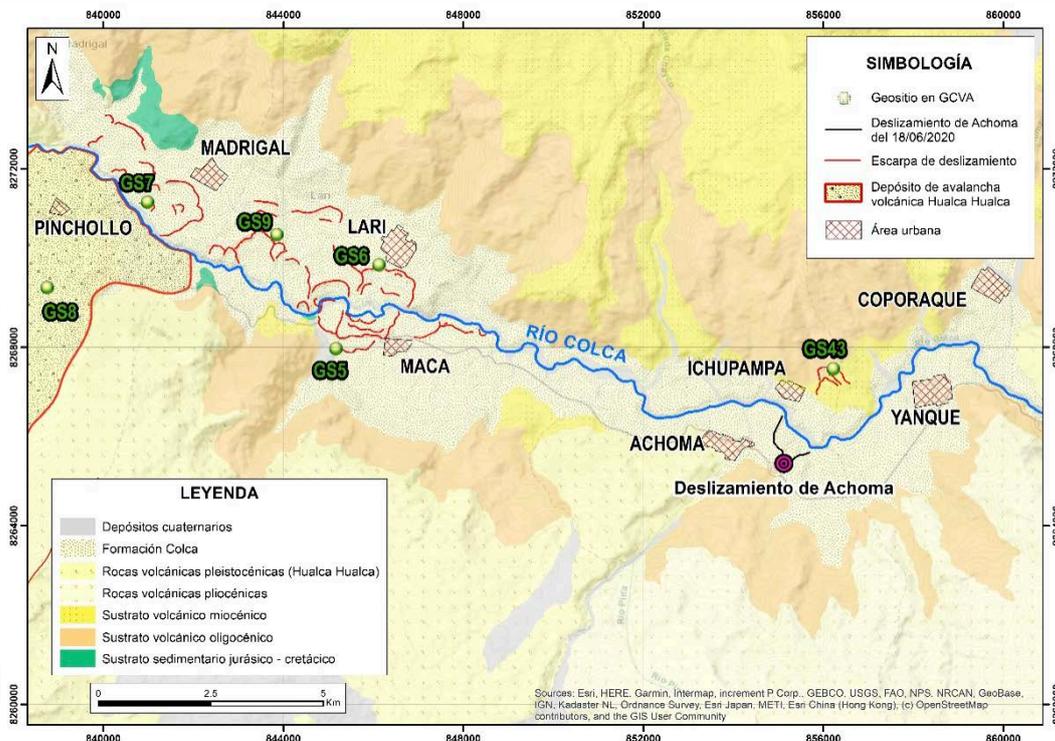


Figura 1. Geositos de interés geodinámico (deslizamientos) en el GMU-CVA, originados en depósitos aluvio-lacustres del "paleo-lago Yanque-Madrigal" que ocupan la zona de valle entre Madrigal y Yanque. En el lado oeste de la figura se observa un sector del depósito de avalancha de rocas que originó este paleo-lago (GS8); en líneas diferentes escarpas de deslizamientos.



Figura 2. Imagen tomada con dron del deslizamiento de Achoma (vista al noroeste).

Tabla 2. Características y dimensiones principales del deslizamiento de Achoma.

Característica / Dimensión	Descripción
Tipo de movimiento en masa	Deslizamiento rotacional retrogresivo
Dimensiones de la escarpa principal: altura y forma	950 m de longitud; 100-150 m de altura y forma cóncava.
Desplazamiento entre escarpa y pie del deslizamiento	500 m
Morfología de la zona deslizada pre-deslizamiento	Tres terrazas aluviales del río Colca (margen izquierda). Zona de arranque del deslizamiento en la tercera terraza. Todas zonas agrícolas.
Dimensiones del dique de embalse	1140 m de longitud x 40-67 m de altura.
Área y volumen del embalse	En base a cinco perfiles topográficos (tres perpendiculares al cauce y dos paralelos al cauce) se calculó un área de 165.135 m ² y un volumen de 5.438.675 m ³ .
Tipo de material en el deslizamiento	Capas de conglomerados intercaladas con capas de arenas y limoarcillitas. La capa de limoarcillita tiene aproximadamente 5 metros de espesor y se encuentra saturada. Corresponde a la Formación Colca. Se aprecia mayor remoción por saturación en el lado NE del deslizamiento (aguas arriba), que lado NO que es de menor altura (aguas abajo).
Morfología del cauce fluvial	Recto en la zona de represamiento; recodo en 90° al inicio de la cola de embalse.
Tipo de embalse	Embalse Tipo I (Clasificación de presas generadas por deslizamientos: Hermanns et al., 2004).
Factores condicionantes	Saturación de suelos compuestos por conglomerados, capas de arenas y limoarcillitas intercaladas, susceptibles a saturación. Influencia de aguas subterráneas (manantiales, oconales).
Factores detonantes:	Influencia antrópica: 1) riego por inundación; 2) canales sin revestir. Ambos casos generan infiltración de agua, saturación de los terrenos y a la vez retención o paso lento. 3) Sismos de origen tectónico y volcánico; 4) Lluvias intensas o prolongadas.

Fuente: Elaboración propia con datos de INGEMMET (2020).

Daños ocasionados por el deslizamiento de Achoma del 18 de junio del 2020

Los daños identificados son: 40 hectáreas de terrenos de cultivo afectados; seis animales perdidos y dos canales de riego destruidos.

Asimismo, se identificó otras zonas con agrietamientos y hundimientos en el terreno, de entre 10 y 50 metros de longitud, con saltos entre 0.50 a 2.00 m. La particularidad de esta zona es que en la parte alta existen sembríos de ajo, los cuales requieren de abundante agua. Esto hace a esta zona altamente susceptible, pudiendo desencadenar nuevos deslizamientos.

Eventos premonitores al deslizamiento de Achoma del 18 de junio:

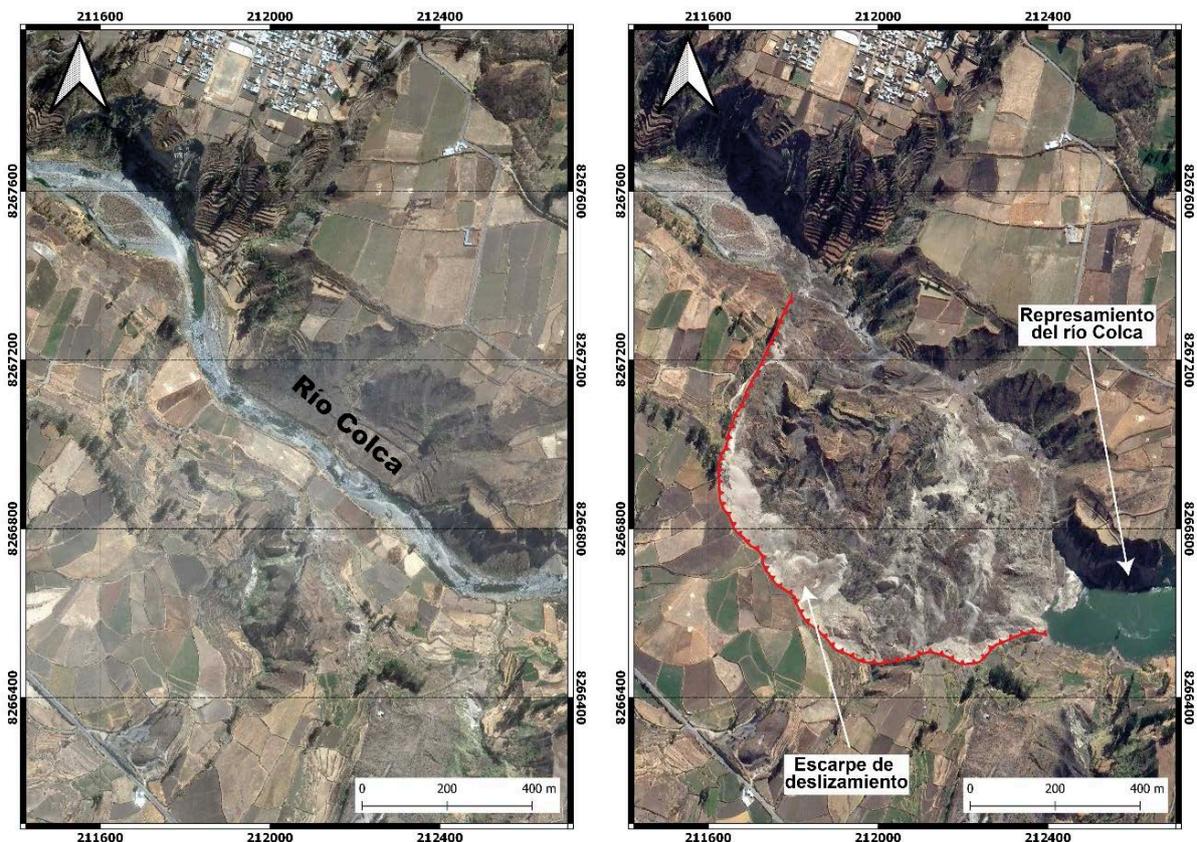


Figura 3. Imágenes antes (izquierda) y después (derecha) del deslizamiento de Achoma. Elaborado con imágenes proporcionadas por CONIDA.

AGRIETAMIENTOS Y OTRAS MANIFESTACIONES

En un informe anterior al deslizamiento, realizado por autoridades locales y representantes de la Junta de Usuarios de Valle del Colca, el presidente de la comisión de usuarios de Anansaya – Achoma, así como usuarios afectados del sector (Tanccayllo, Airampuni, Tira, Cotapampapata, Ccallcha, Quello, Quello laderas, Huancaro, Pasacalle y Mollene), se menciona que entre el 9 y 13 de mayo (algo más de un mes antes) se presentaron fisuras y agrietamientos. Asentamientos mostraban desniveles entre 1.80-2.00 m, en un tramo de 100 m, a unos 900 m del poblado de Achoma. Este agrietamiento

causó diferentes efectos en varios sectores principalmente agrícolas, como canales obstruidos y tuberías colapsadas. Sin embargo, resalta una zona entre 1.6 a 2 km de geometría circular (donde se calculó unas 36 has comprometidas), que coincide con la zona que posteriormente se deslizó.

REGISTRO SÍSMICO DEL DESLIZAMIENTO DE ACHOMA EN LA ESTACIÓN DE MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO DE MACA

El deslizamiento generó un sismo que tuvo una duración de 3 minutos aproximadamente, y que fue registrado en la estación Maca (MAC3) ubicada a ~8 km al noroeste de Achoma (Figura 4), instalada por INGEMMET para el monitoreo sísmico en el deslizamiento de Maca y alrededores. La característica de esta señal sísmica (sismos de muy baja frecuencia: $< 3\text{Hz}$) permitió interpretar los sismogramas obtenidos desde el mes de mayo por esta estación. Estos incrementaron en ocurrencia y energía entre el 7 y 12 de junio, y fueron asociados a fuentes superficiales que corresponden a "pequeños movimientos premonitores del deslizamiento". Tuvieron una duración promedio de 2 minutos y una tasa de ocurrencia entre 2 y 6 sismos por día, con magnitudes $< 2.5\text{ ML}$. Después del 18 de junio, no se ha registrado este tipo de sismicidad, lo cual indica, una calma en el movimiento en esta zona.

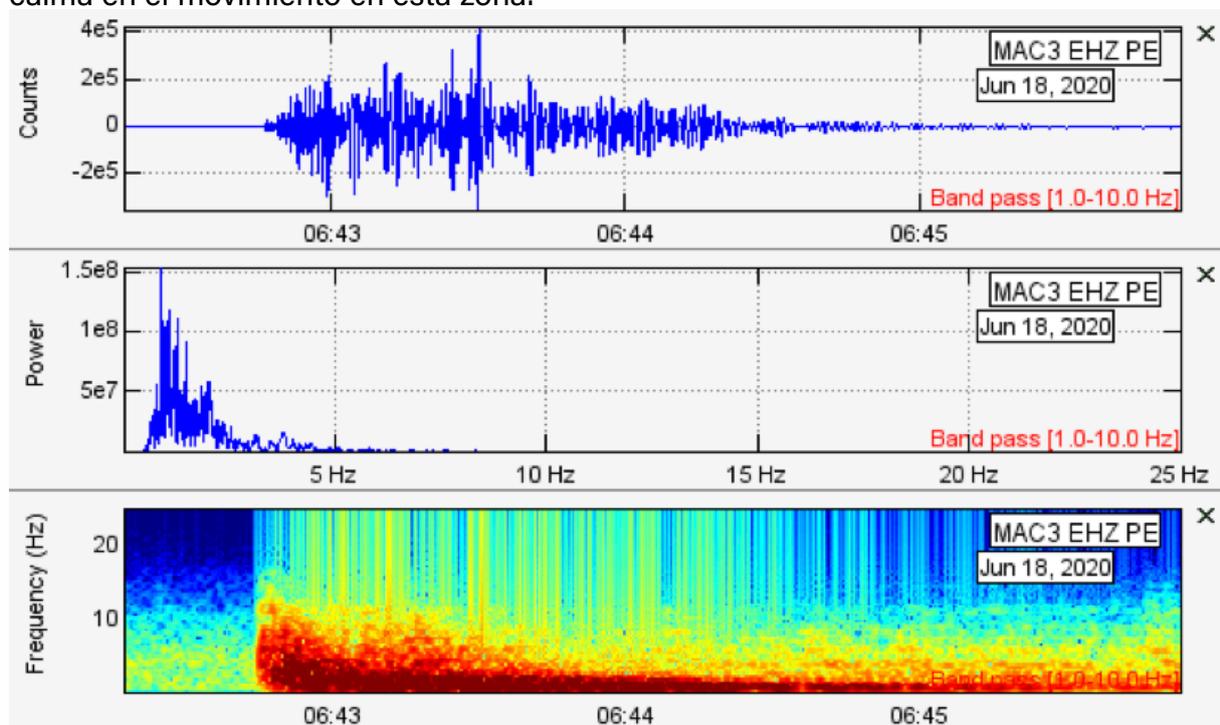


Figura 4. Sismograma, espectro de frecuencias y espectrograma del sismo registrado el día 18 de junio a las 06:42 hora UTC (01:42 am hora local) registrado en la estación MAC03. Fuente INGEMMET.

SITUACIÓN DE EMERGENCIA ORIGINADA POR EL PELIGRO DE DESEMBALSE Y EFECTOS POR LA COLA DEL EMBALSE GENERADA AGUAS ARRIBA

El material deslizado generó un dique y un embalse natural, con una altitud variable

entre 40 a 67 metros. Las autoridades regionales, a través del Comité de Operaciones de Emergencia Regional (COER), designaron a la Autoridad Autónoma del Proyecto Majes (AUTODEMA) como ejecutora del proceso de desembalse controlado, en coordinación con los municipios (provincial de Caylloma y local Achoma), la Autoridad Autónoma del Colca (AUTOCOLCA) y las entidades técnico-científicas para monitorear la zona. A partir del informe elaborado por INGEMMET como ente técnico-científico, se gestionó la declaración del estado de emergencia por parte del gobierno nacional, lo que permite la asignación de presupuestos necesarios para la ejecución de actividades y obras de mitigación y remediación, tanto en las zonas de deslizamiento como en la zona de embalse.

El río Colca, parte de la cuenca Camaná-Majes-Colca, mantiene un control de escorrentía particular, debido a la construcción de obras de regulación aguas arriba de la zona donde se produjo este embalse. Los caudales naturales del río Colca son regulados en la represa Condoroma, ubicada en su cuenca alta. Este caudal regulado es captado en la bocatoma Tuti (ubicada a 31.3 km aguas arriba del dique de embalse), donde se derivan por un canal de aducción (túneles y canales) para la irrigación de las pampas de Majes y Sigwas. Aguas abajo de esta bocatoma, el río Colca recibe los excedentes hídricos que aportan las quebradas y manantiales. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) midió un aforo de 1.80 m³/s en Yanque, a 2.7 km del embalse, dos días después de producirse el deslizamiento (SENAMHI, 2020). Tomando como referencia los datos obtenidos por AUTODEMA entre el 21 de junio y 18 de julio, el nivel del embalse varió entre 3358 y 3373.10 m respectivamente (cotas referenciales), mostrando un incremento acumulado de 15.10 m para este período. El volumen estimado de agua en el embalse varió en 27 días de 505.92 m³ a 4704.96 m³.

Peligros asociados a un desembalse no controlado

La presencia de un dique natural originado a partir de un deslizamiento de tierra representa un peligro latente, pudiendo fallar o romperse, y generar un desembalse violento no controlado del agua y el material detrítico que compone el dique. La descarga de agua y sedimentos puede formar flujos de detritos, con alta concentración de sólidos, o incluso flujos hiperconcentrados provocando inundaciones aguas abajo, afectando y erosionando las riberas o laderas inferiores. En el caso de Achoma, estos flujos podrían haber afectado estructuras existentes como puentes (Lari, Tapay, Choco, Canco, entre otros), terrenos de cultivo y zonas turísticas como Sangalle y Canco, e incluso afectar zonas agrícolas aguas abajo en el valle de Majes.

AUTODEMA, con apoyo de especialistas de la Cia. Minera Southern Perú, trabajaron en forma conjunta para efectuar un desembalse gradual de las aguas del embalse.



Figura 5. Trabajos de remoción de tierras para la construcción del canal de desagüe y efectuar el des-embalse (Fotos: Autocolca).

Paralelo al movimiento de tierras, se monitoreó de manera visual la estabilidad del talud sur, la apertura de agrietamientos en el dique de embalse, infiltraciones y la posibilidad de derrumbes en los trabajos de remoción. Considerando el caudal de ingreso, la primera descarga se inició con un caudal constante de $2 \text{ m}^3/\text{s}$, por dos semanas, para posteriormente incrementarlo a $3 \text{ m}^3/\text{s}$, y así sucesivamente de forma gradual. Este proceso tuvo una duración de 90 días. Para ello se construyó un canal de 189 m con un ancho de 15 m (Figura 5).

Peligros asociados por aumento del volumen y afectación de recursos turísticos y patrimoniales

Los peligros y efectos de este represamiento natural se dieron a través de la elevación del nivel de agua sobre elementos del patrimonio geológico y cultural. El día 28 de junio se inundaron las pozas de aguas termales en los Baños de Chacapi del distrito de Yanque; inundándose completamente en la tercera semana de julio. Asimismo, la aparición de grietas en el material de relleno en el estribo izquierdo del puente Yanque-Ichupampa, Lari y Madrigal obligó a que se cierre el tránsito. A su costado se encuentra un puente peatonal con bases incas y estructura colonial en arco, que es un geositio del GMU-CVA de alto valor cultural que podría verse afectado por el represamiento (Figura 6).

De igual manera, considerando que en varios tramos del río existen en las márgenes los mismos tipos de materiales de la Formación Colca, era posible que estas al saturarse podrían generar también la ocurrencia de derrumbes o deslizamientos que afectarían las andenerías expuestas a esta inundación. Los andenes en el Colca constituyen un Patrimonio Cultural de la Nación.



Figura 6. Infraestructura de los baños termales Chacapi afectada (A); puente vial metálico (B) y puente inca-colonial (C) que podrían verse afectados por el aumento del nivel de embalse (Foto Autocolca).

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN FINAL

-La recurrencia de eventos geodinámicos de este tipo, con deslizamientos de tierras asociados con embalses o no en el valle del Colca, pueden repetirse debido a la alta susceptibilidad a movimientos en masa que representa la Formación Colca como unidad litológica. Esto puede afectar el patrimonio geológico y cultural del geoparque.

-La interpretación de los datos sísmicos registrados por la estación de monitoreo de Maca, premonitores al deslizamiento y el deslizamiento mismo, permite establecer una línea de base para predecir eventos futuros de este tipo, ampliando el sistema de alerta temprana a otras zonas.

-Al existir una influencia de agua subterránea, tanto natural como antrópica, en la generación de movimientos en masa, es imprescindible elaborar un estudio hidrogeológico para afinar un mapa de susceptibilidad en la zona de Achoma y otras áreas con situaciones geodinámicas similares. En relación a la influencia antrópica como factor detonante en los deslizamientos, debe cambiarse el tipo de cultivos que utilicen mucha agua, así como evitar el riego por inundación. Asimismo, revestir los canales y usar técnicas modernas de riego (aspersión o goteo) en este tipo de suelos.

-En la estrategia del GMU-CVA como territorio resiliente, se debe seguir utilizando los aspectos geodinámicos ya identificados como geositos de interés científico y educativo, para sensibilizar a la población en temas de peligros por deslizamientos. El uso de paneles divulgativos, como el elaborado en el deslizamiento de Maca y otros, sirven para este fin. Esta metodología debería ampliarse a temas como el uso adecuado de los

recursos hídricos y la recuperación de andenes prehispánicos.

-Los daños ocasionados por eventos geodinámicos de este tipo, como el deslizamiento de Achoma, afectan no solo a una zona local, sino que tienen influencia y repercusión en muchas áreas (cultivos, carreteras, población, sitios turísticos y patrimoniales, entre otros) en función a su magnitud.

-El 23 de julio del 2020 se ejecutó el desembalse gradual y controlado, a través de un dren construido para descarga de aguas. El Comité de Operaciones de Emergencia del Gobierno Regional de Arequipa desarrolló un plan de contingencia en la zona de apertura (caudal de salida) y control en diferentes puntos del río Colca aguas abajo como medida de prevención. Estas labores se desarrollaron con éxito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENAVENTE, C., DELGADO, G., GARCÍA, B., AGUIRRE, E. & AUDIN, L. (2017). Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 64, 370 p., un mapa.
- GERBE, M.-C. & THOURET, J.-C. (2004). Role of magma mixing in the petrogenesis of lavas erupted during the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya, southern Peru. *Bulletin of Volcanology*, 66(6): 541-561.
- HERMANN, R.L., NIEDERMANN, S., GONZÁLES DÍAZ, F.E., FAUQUE, L., FOLGUERA, A., IVY-OCHS, S., KUBIK, P. (2004). Landslide dams in the Argentine Andes. NATO ARW Proceedings p.79-85 Kyrgyzstan.
- INGEMMET (2020). Deslizamiento de Achoma ocurrido el 18 de junio del 2020. Informe Técnico N° A7066. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Junio 2020. 29p.
- KANEOKA, I. & GUEVARA, C. (1984). K-Ar age determinations of late Tertiary and Quaternary Andean volcanic rocks, southern Peru. *Geochemical Journal*, 18(5): 233-239.
- PALACIOS, O. & KLINCK, B. A. (1993). Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del Lago Titicaca - Sur del Perú (Proyecto integrado del Sur). INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 42, 257 p., 1993.
- SENAMHI (2020). Situación hidrológica de los ríos Colca-Majes. Informe técnico, Dirección de Hidrología / Subdirección de Predicción Hidrológica y Dirección Zonal 6 - Arequipa. Julio 2020. 13p. Disponible en: <<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01403SENA-34.pdf>> [15 de julio 2020]
- THOURET, J.C., WÖRNER G., GUNNELL I., SINGER B., ZHANG X., SOURIOT T. (2007). Geochronologic and stratigraphic constraints on canyon incision and Miocene uplift of the Central Andes in Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 263: 151-166.
- ZAVALA, B.; VILCHEZ, M.; ROSADO, M.; PARI, W. & PEÑA, F. (2014). Estudio Geoambiental en la cuenca del río Colca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 57, 222 p., 11 mapas.
- ZAVALA, B.; CHURATA, D. & VARELA, F. (2019). Geodiversidad y patrimonio geológico en el valle del Colca. INGEMMET, Boletín, Serie I: Patrimonio y Geoturismo, 9, 303 p., 3 mapas.