



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

IGP Instituto
Geofísico
del Perú

EVALUACIÓN GEOFÍSICA DEL DESLIZAMIENTO OCURRIDO EL 18 DE JUNIO DE 2020 EN EL DISTRITO DE ACHOMA

(Caylloma-Arequipa)



Lima-Perú
Julio-2020

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipión

Autores:

Katherine Vargas

Marco Rivera

Juan Villegas

Julio Martínez

Hernando Tavera

Evelyn Arapa

John Cruz

Nino Puma

José Torres

Este informe ha sido producido por:

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo

Teléfono: 51-1-3172300

**EVALUACIÓN GEOFÍSICA DEL DESLIZAMIENTO OCURRIDO
EL 18 DE JUNIO DE 2020 EN EL DISTRITO DE ACHOMA
(Caylloma – Arequipa)**

Lima – Perú
Julio, 2020

RESUMEN

En el presente informe se realiza el análisis geofísico del deslizamiento de tierra ocurrido el 18 de junio de 2020 a la 01:42 horas en el distrito de Achoma, provincia de Caylloma, región Arequipa. Este evento ha tenido su génesis en un proceso gravitatorio, afectando un área de 36.4 hectáreas, con un volumen de $\sim 0.016 \text{ km}^3$, que involucra terrenos de cultivo, canales de riego, cabezas de ganado y el embalse del río Colca.

El análisis de imágenes de radar ha permitido delimitar la existencia de un área inestable, previo al deslizamiento de aproximadamente 36.4 hectáreas, que luego del deslizamiento ocupó una área de cerca de 53 hectáreas, produciendo una escarpa principal sobre la superficie del deslizamiento de $\sim 1.7 \text{ km}$ de longitud. Según las simulaciones numéricas realizadas, el deslizamiento alcanzó velocidades máximas de 8.5 m/s , a los 10 segundos de iniciado, para luego en 3 minutos llegar a depositarse sobre el área antes mencionado.

Este proceso ha generado el represamiento del río Colca con volúmenes de agua, a la fecha, del orden de 8.83 hm^3 . De llegar este volumen a situaciones críticas, su desembalse generaría desbordes aguas abajo alcanzando alturas de hasta 12 m en las cercanías del poblado de Ichupampa. Sin embargo, los daños mayores se presentarían en terrenos de cultivo ubicados aguas abajo en ambos márgenes del río Colca, así como canales de agua y puentes. Esta información debe ser considerada para la toma de decisiones en el corto plazo por el riesgo que representan los escenarios críticos.

CONTENIDO

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

- 1.1.- Reporte sísmico
- 1.2.- Geología local

2.- METODOLOGÍA Y DATOS

- 2.1.- Imágenes de radar
- 2.2. Fotogrametría
- 2.3.- Imágenes satelitales
- 2.4.- Modelamiento numérico

3.- RESULTADOS

- 3.1.- Imágenes de radar
- 3.2.- Área afectada
- 3.3.- Modelo en 3D
- 3.4.- Dinámica del deslizamiento

4.- ESCENARIO DE PROBABLE DESEMBALSE DEL RIO COLCA

5.- DAÑOS Y FUTURAS ZONAS INESTABLES

- 5.1.- Daños ocasionados por el deslizamiento
- 5.2.- Futuras zonas inestables

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

1. INTRODUCCIÓN

La región del valle del río Colca es una de las más dinámicas del Perú desde el punto de vista tectónico, volcánico, sísmico y de procesos de remoción en masa (deslizamiento, derrumbes, etc.) (Tavera, 2016). Al ser una zona de valle rellena de sedimentos poco consolidados (limo, arena, grava), las riberas son inestables y pueden deslizarse o derrumbarse ante cualquier detonante, como un sismo o precipitaciones pluviales intensas, afectando infraestructura física y medios de vida de la población. Históricamente, en el valle del Colca han ocurrido diversos procesos por movimientos en masa y erosión fluvial en las márgenes de quebradas, lo que hace que se considere como una zona de muy alta, a alta susceptibilidad a los derrumbes o deslizamientos (Zavala et al., 2012). El escenario es crítico al identificarse, a lo largo del valle del río Colca, la presencia de más de 14 poblados donde viven cerca de 22 mil personas (INEI, 2018), dedicadas principalmente a la ganadería y agricultura.

Asimismo, la actividad tectónica en el valle del Colca es muy activa debido a la presencia de sistemas de fallas y fracturas de dimensiones y rumbos variados, como las fallas Huanca e Ichupampa (Huamán, 1995; Mering et al. 1996), ubicadas al sur y norte del Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya; fallas Trigal, Solarpampa del sistema de fallas Huambo-Cabanaconde (Sébrier et al., 1985; Huamán, 1995) y la falla Sepina ubicada en el sector de Pampa Sepina (volcan Sabancaya) para extenderse hacia los pueblos de Achoma, Yanque, Ichupampa y Coporaque cruzando el río Colca (Huamán et al. 1993; Mering et al. 1996). Todos estos sistemas de fallas generan actividad sísmica muy recurrente, con eventos de magnitudes menores a M5.0 afectando mayormente a áreas urbanas con presencia de viviendas construidas con materiales precarios.

En el valle del Colca, la actividad volcánica ocurre a 18 km al sur del río Colca, y está representada por la presencia del volcán Sabancaya, cuyo proceso eruptivo se inició en el año 1990 y continúa hasta la actualidad. Este proceso se caracteriza por la generación de explosiones e intensas emisiones de gases y cenizas que muchas veces caen en el valle del Colca, lo que afecta principalmente terrenos de cultivos, terrenos de pastizales, bofedales, etc.

En relación al reciente deslizamiento de tierra ocurrido el 18 de junio en el distrito de Achoma, pobladores locales indicaron que en el mes de mayo observaron la

presencia de agrietamientos en los terrenos de cultivo ubicados al este y noreste de la localidad de Achoma. Estas grietas mostraban desniveles de hasta 30 cm que aumentaron abruptamente a 2.5 m (Figura 1, izquierda), afectando terrenos de cultivo y llegando a dificultar el tránsito de los pobladores por la zona en mención (Figura 1, derecha). El terreno se estaba desplazando hacia el río Colca. Después de algunos días, debido principalmente a la gravedad se produce uno de los deslizamientos más importantes ocurridos en la historia del valle del Colca, por los daños producidos y por causar el embalse del río Colca (Figura 2).



Figura 1: Grietas en el distrito de Achoma reportadas el 15 de mayo de 2020 por pobladores. (<https://www.facebook.com/AchomaPeru/videos/2170168599795797/>)

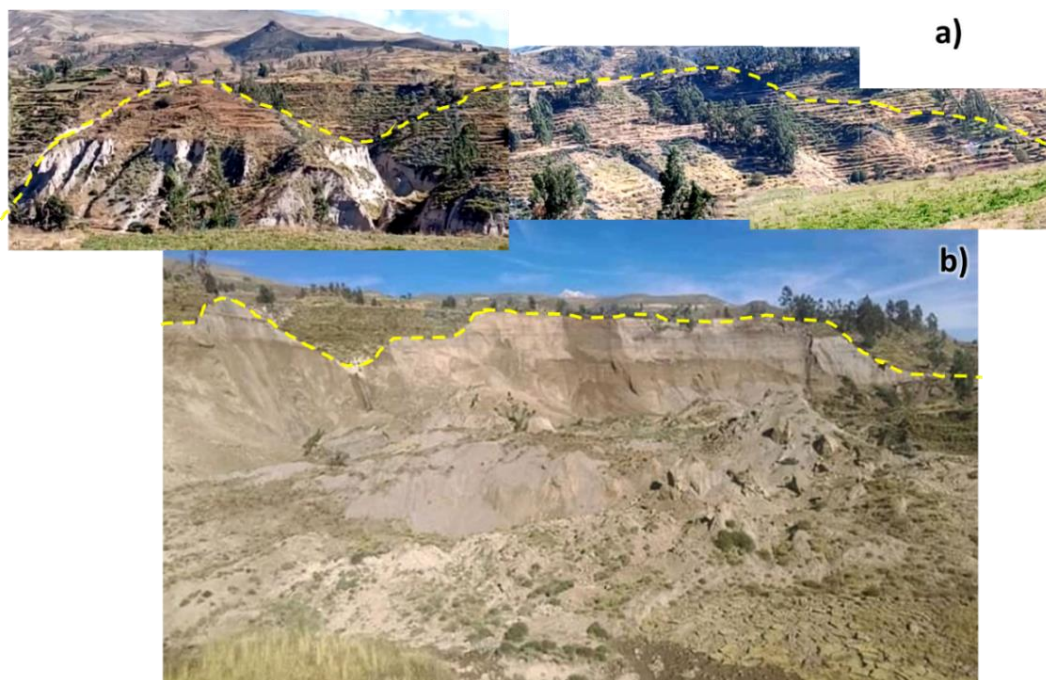


Figura 2: Vista de la zona afectada. El agrietamiento es mostrado con línea entrecortada de color amarillo: a) antes del deslizamiento y b) posterior al deslizamiento.

El presente informe tiene por objetivo mostrar los resultados obtenidos a partir del análisis y procesamiento de imágenes de radar de apertura sintética (método dInSAR), así como el empleo de técnicas de fotogrametría (imágenes de dron) y simulaciones numéricas para describir el desarrollo del deslizamiento de Achoma (sector de Huancaro Quello, distrito de Achoma, provincia de Caylloma, región Arequipa), ocurrido el 18 de junio de 2020 y proponer posibles escenarios de riesgo que podrían ocurrir a lo largo del cauce del río Colca, de presentarse un eventual desembalse del volumen de agua represada a la fecha (Figura 3).

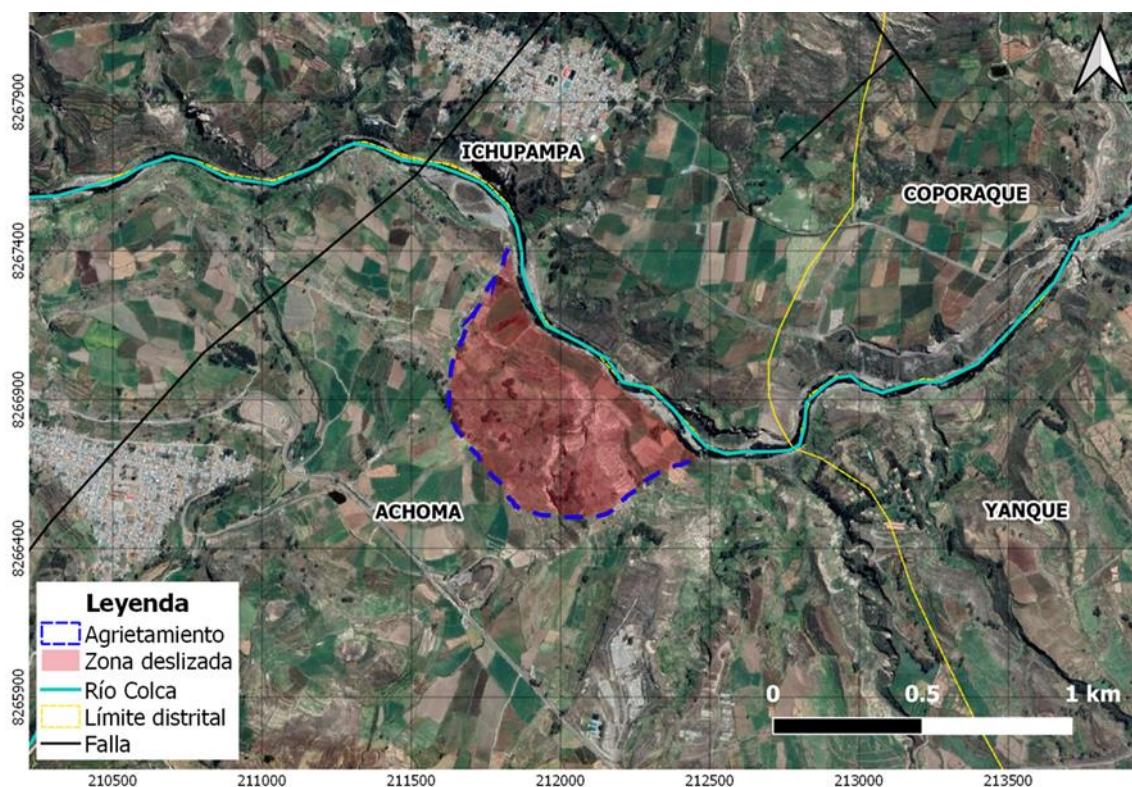


Figura 3: Imagen satelital mostrando la ubicación aproximada de los terrenos afectados por el deslizamiento (sombra roja).

1.1.- Reporte sísmico

El día 18 de junio de 2020, a la 01:42 horas, el Centro Sismológico Nacional (CENSIS), servicio oficial del Estado Peruano responsable del monitoreo de la actividad sísmica en el país, reportó el registro de señales sísmicas anómalas en las estaciones sísmicas de Chivay y Patapampa que fueron atribuidas al desarrollo del proceso de deslizamiento de grandes volúmenes de tierra en el valle del Colca (Figura 4), hipótesis que se corroboró con la ocurrencia de un importante deslizamiento en

inmediaciones de la localidad de Achoma, reportado por pobladores y responsables de Defensa Civil de la Municipalidad Provincial de Caylloma.

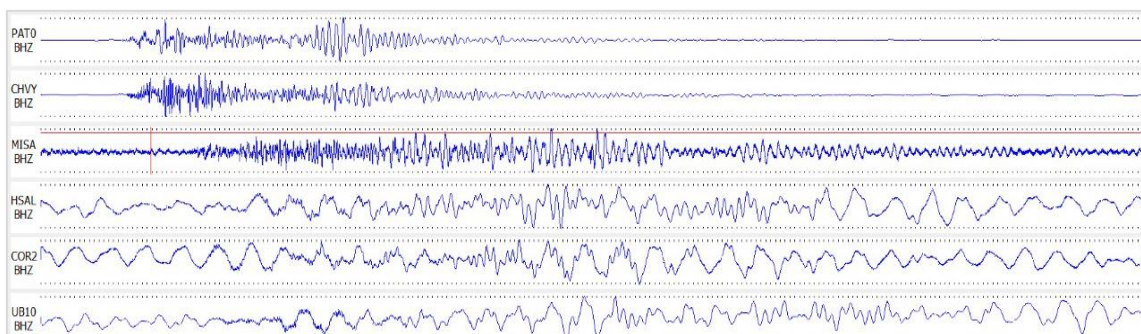


Figura 4.- Registro sísmico de la 01:42 horas asociado al deslizamiento registrado en la zona de Achoma. Las señales sísmicas se caracterizan por presentar periodos largos, propios de procesos de movimientos de masa.

En el valle del Colca, antes de producirse el mencionado deslizamiento, no se ha registrado la ocurrencia de eventos sísmicos con origen en las fallas geológicas presentes en la zona; por lo tanto, este deslizamiento habría tenido su origen debido a la fuerza de la gravedad que afecta suelos o terrenos inestables saturados con agua de lluvias. Los factores geodinámicos que favorecieron a la ocurrencia del deslizamiento son: los suelos constituidos de limo, arena, grava y bloques, poco o no consolidados; la presencia de materiales detríticos saturados de agua y la topografía abrupta a ambos márgenes del río Colca, caracterizada por presentar pendientes mayores a 30°.

1.2.- Geología local

En la zona de estudio se distinguen dos unidades litológicas: la primera corresponde a la presencia de depósitos aluviales (Qh-al en Figura 7) ubicados a ambos márgenes del río Colca y compuestos de bloques, gravas y arenas, mal seleccionados e incluidos dentro de una matriz limo arenosa. Por sus características, este tipo de material presenta condiciones de inestabilidad, sumado a la presencia de terrenos de cultivo que son saturados continuamente de agua. La segunda unidad corresponde a depósitos de flujos piroclásticos o tobas de cristales no soldadas pertenecientes al Complejo Volcánico Mismi (Qpl-cvm/tbk en Figura 5), descritos por Quispesivana & Navarro (2003). Estos últimos afloramientos están alejados del cauce del río y presentes en los extremos del valle del río Colca.

A lo largo del valle del río Colca, aguas abajo, también se distingue la presencia de depósitos lacustrinos estratificados, que forman colinas con evidencias de pequeños derrumbes por erosión fluvial debido a la crecida del río Colca durante los periodos de lluvias (diciembre-marzo).

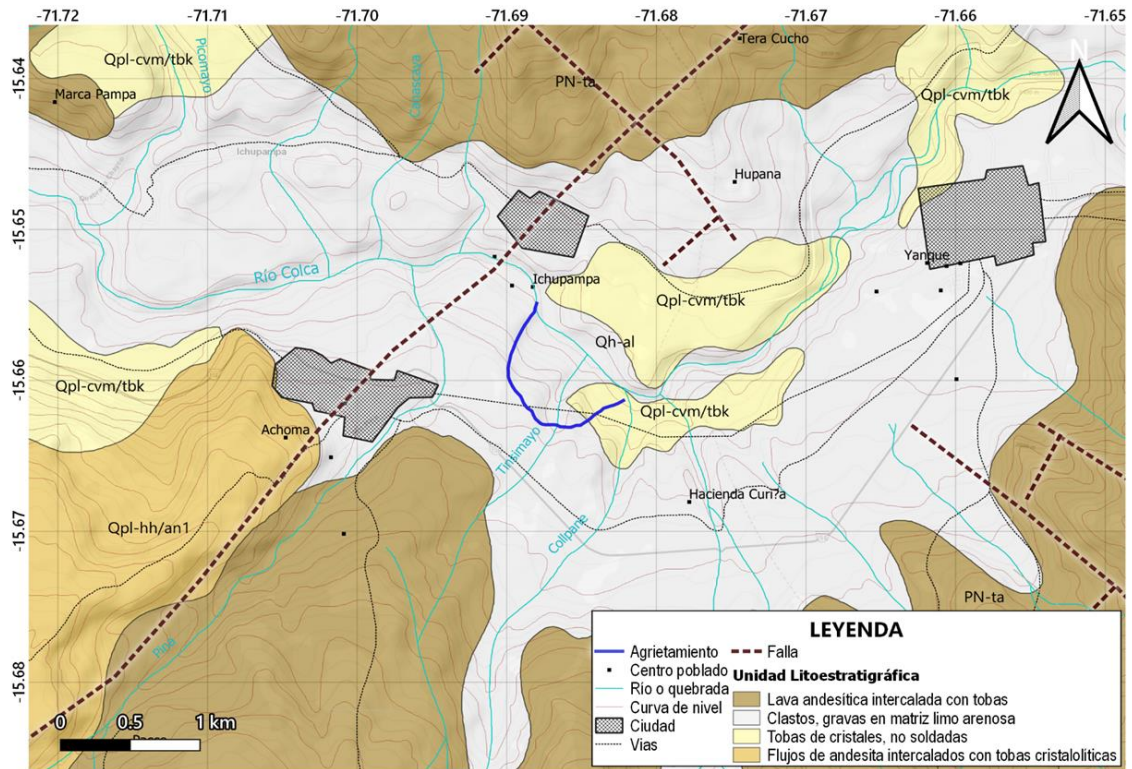


Figura 5.- Mapa geológico del área del deslizamiento de Achoma (modificado del cuadrángulo 32-s Chivay, INGEMMET).

2. METODOLOGÍA Y DATOS

Para el análisis del deslizamiento de Achoma, se aplicaron técnicas geofísicas de interferometría diferencial de radar de apertura sintética (DInSAR), técnicas de fotogrametría usando imágenes captadas con dron y simulaciones numéricas para reconstruir la génesis del deslizamiento y proponer escenarios de riesgo a presentarse ante un eventual desembalse del río Colca.

2.1.- Imágenes de radar

Se ha empleado imágenes satelitales Sentinel-1 proporcionadas por la Agencia Espacial Europea (ESA). Estas imágenes son captadas por satélites que poseen un radar de apertura sintética (SAR) en la banda C (5,40 GHz) y con longitudes de onda de ~5.6 cm. La técnica de análisis se basa en la comparación de dos imágenes de radar SAR (imagen máster y esclava) a fin de obtener una imagen resultante (interferograma) que permite identificar y cuantificar la deformación ocurrida en la superficie. Para obtener el interferograma de la zona de estudio, se ha procesado diversos pares de imágenes captadas en órbita descendente del satélite, todos con repetitividad temporal de 12 días (Tabla 1).

Tabla 1.- Fechas de imágenes SAR para la obtención de interferogramas previo y posterior al deslizamiento ocurrido en Achoma.

Interferograma	Imagen máster	Imagen esclava
I-1	03/01/2020	15/01/2020
I-2	27/03/2020	08/04/2020
I-3	08/04/2020	20/04/2020
I-4	20/04/2020	02/05/2020
I-5	02/05/2020	14/05/2020
I-6	14/05/2020	26/05/2020
I-7	26/05/2020	07/06/2020
I-8	07/06/2020	19/06/2020
I-9	19/06/2020	01/07/2020

2.2.- Fotogrametría

Para el análisis fotogramétrico se utilizaron videos de un sobrevuelo realizado en la zona afectada por el deslizamiento usando un vehículo aéreo no tripulado o dron proporcionado por el Sr. José Coaquira, poblador de la localidad de Achoma y colaborador de nuestra institución. Usando la técnica de fotogrametría y el software *Agisoft Metashape* se obtuvo un modelo digital de elevación (DEM) en tres dimensiones de alta calidad en base al alineamiento de imágenes, utilizando la tecnología multivisor de reconstrucción 3D (Figura 6).



Figura 6: Captura del deslizamiento ocurrido en Achoma a partir del sobrevuelo de un vehículo aéreo no tripulado o dron.

2.3.- Imágenes satelitales

Para el análisis de imágenes satelitales, se ha hecho uso de dos imágenes de la zona afectada por el deslizamiento de Achoma captadas por el satélite PerúSAT-1 (CONIDA) el día 8 de agosto de 2019 (antes del deslizamiento) y 20 de junio de 2020 (después del deslizamiento), Figura 7. Sobre estas imágenes georreferenciadas, se plasmaron las imágenes de radar a fin de determinar el área del deslizamiento y la longitud de la escarpa principal, entre otros.

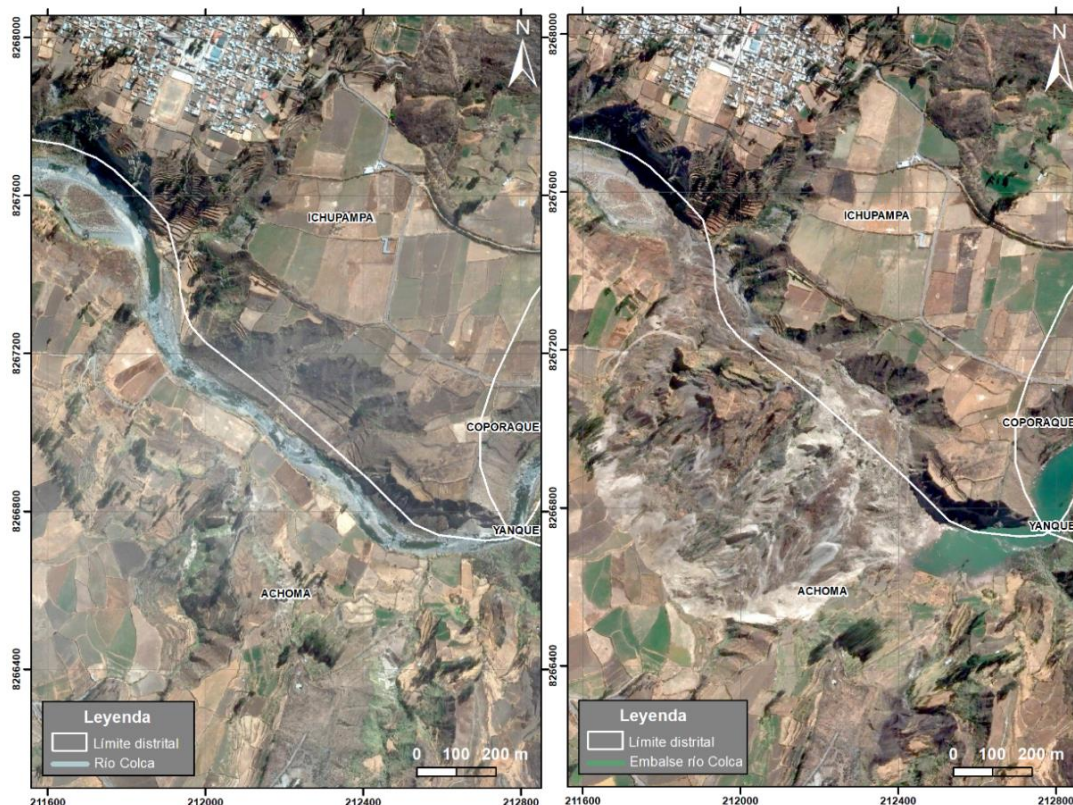


Figura 7: Imágenes del satélite PerúSAT-1 (CONIDA) del 8 de agosto de 2019 (izquierda) y del 20 de junio de 2020 (derecha).

2.4.- Modelamiento numérico

Se ha realizado simulaciones numéricas para describir el desarrollo y la dinámica del deslizamiento de Achoma, así como para proponer posibles escenarios de riesgo a lo largo del cauce del río Colca de presentarse un eventual desembalse del volumen de agua represada a la fecha.

.- Modelamiento numérico del deslizamiento: Para realizar el modelamiento numérico de la dinámica del deslizamiento se ha utilizado el software *TITAN2D*, diseñado para simular flujos granulares secos de un área original de colapso sobre una superficie de terreno natural. En la aplicación de esta técnica es de importancia considerar la fricción de Coulomb para la interfaz entre el material granular y la superficie basal, y un término de fricción interna para el flujo (Pitman et al., 2003; Patra et al., 2005).

Para este modelado numérico, es necesario considerar al área de colapso representado por un paraboloide de dimensiones, coordenadas y volumen obtenidos de las imágenes de radar proporcionadas por CONIDA. Además, se

considera una escala de longitud de 4 km desde el centro del paraboloide y valores de 35° para el ángulo de fricción interno y de 15° para el ángulo de fricción basal de acuerdo a Stinton et al. (2004). En la simulación, no se considera la velocidad inicial del proceso debido a que el colapso del bloque se produce por gravedad (velocidad inicial en sentido vertical).

.- Modelamiento numérico del desembalse: El modelamiento numérico para el desembalse del agua acumulada y retenida por el deslizamiento de Achoma, se realizó con el modelo IBER; es decir, un modelo matemático bidimensional de simulación del flujo en lámina libre, muy utilizado para escenarios de ruptura de presas. Para su aplicación fue necesario definir los siguientes parámetros (Figura 8):

- . *Las características geométricas de la presa: En este caso se consideró la geometría del deslizamiento obtenido con las imágenes satelitales.*
- . *El volumen del agua embalsada: Según SENAMHI, el embalse crítico considera un volumen de 8.83 hm³.*
- . *La topografía de la zona: Fue obtenida del modelo digital de elevación ALOS PALSAR de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA, por sus siglas en inglés).*
- . *Valores de rugosidad del valle aguas abajo: Según Rocha (1998) para el lecho de río se considera valores de 0.023 y para terrenos con escasa vegetación, de 0.025.*
- . *Condiciones iniciales y de contorno del río en estudio: En este caso se consideró 40.0 m de nivel de agua en el embalse y de 0.0 m en el cauce del río (río seco).*



Figura 8: Resquebrajamiento generado por el deslizamiento ocurrido en Achoma.

3. RESULTADOS

3.1.- Imágenes de radar

Para este análisis se consideraron imágenes de radar obtenidos antes y después de ocurrido el deslizamiento de Achoma, siendo sus principales características las siguientes:

.- Imágenes pre-evento: Para el periodo pre-evento se ha obtenido un total de siete interferogramas, con la limitación que estas no permiten analizar la vegetación debido a la longitud de onda que frecuentemente emplea el satélite Sentinel (Banda C), pero que aun así, estas han sido muy útiles para identificar las anomalías en la superficie asociadas a posibles deslizamientos. En la Figura 9 se muestra por fechas algunos de estos interferogramas, siendo sus características las siguientes:

.- Interferogramas, con uso de imágenes de los días 20 de abril y 2 de mayo: Se observa la presencia de perturbaciones que se concentran en la zona del deslizamiento (Figura 9a).

.- Interferogramas, con uso de imágenes de los días 2 y 14 de mayo: Se observa la presencia de perturbaciones que se concentran en la zona del deslizamiento (Figura 9b).

.- Interferogramas, con uso de imágenes de los días 14 y 26 de mayo: Se observa la presencia de perturbaciones que se concentran en la zona del deslizamiento (Figura 9c).

.- Interferogramas, con uso de imágenes de los días 26 y 27 de mayo: Se observa la presencia de anomalías asociadas a la inestabilidad o ligeros desplazamientos del terreno en la zona del deslizamiento (Figura 9d).

.- Imágenes post-evento: Luego de ocurrido el deslizamiento de tierra, se procedió al análisis de imágenes de radar más recientes, llegándose a identificar en los interferogramas obtenidos (Figura 10), anomalías en el área afectada similares a las observadas anteriormente, pero en este caso el área ubicada abarca entre la escarpa del deslizamiento y el río Colca; es decir, un área de mayor extensión, en

aproximadamente 0.5 km². Estos resultados fueron correlacionados con los obtenidos a partir de las imágenes georreferenciadas proporcionadas por CONIDA.

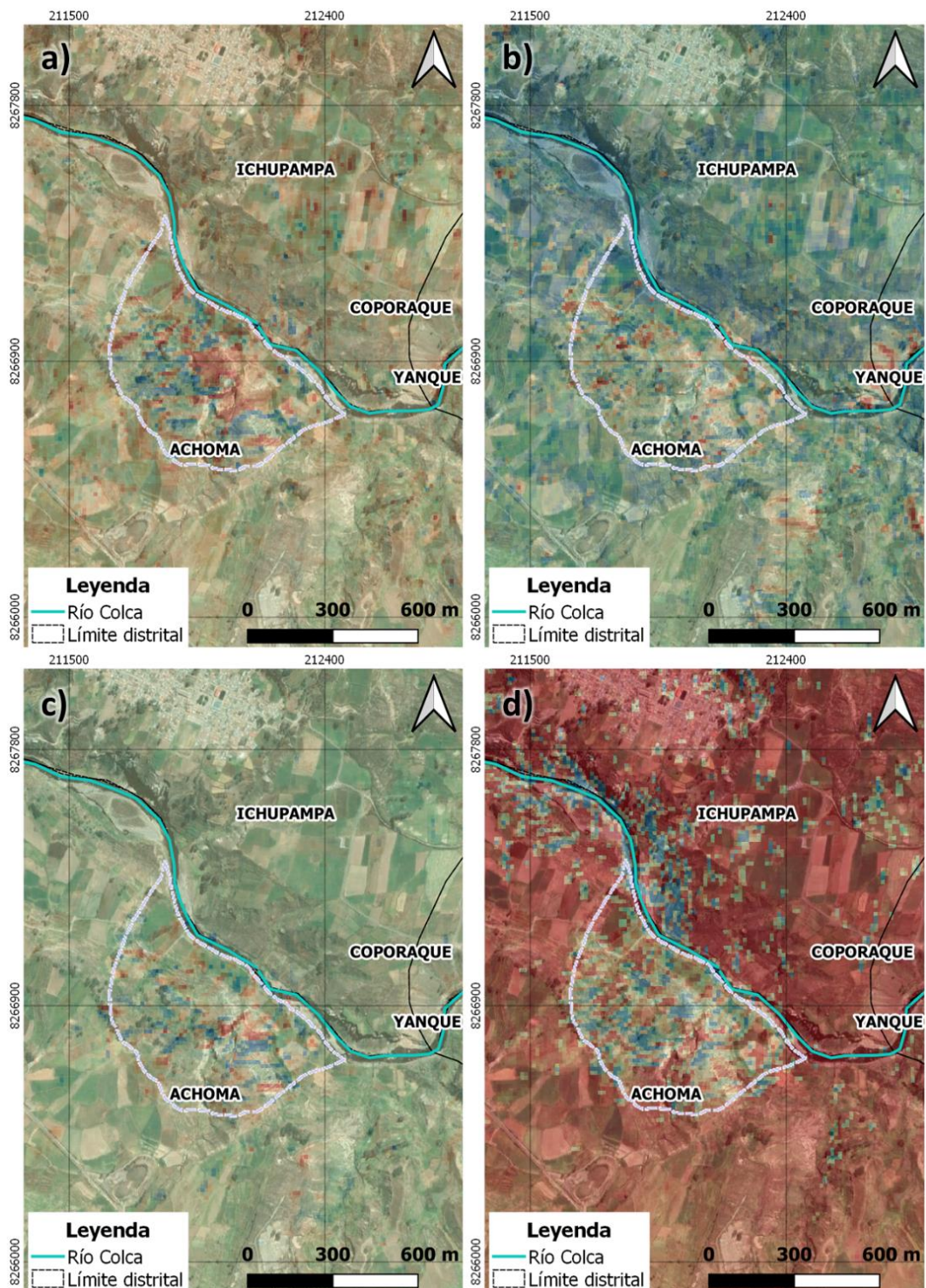


Figura 9: Interferogramas obtenidos a partir de imágenes de radar de fechas: a) 20 de abril y 2 de mayo, b) 2 y 14 de mayo, c) 14 y 26 de mayo y d) 26 de mayo y 7 de junio; todas del año 2020.

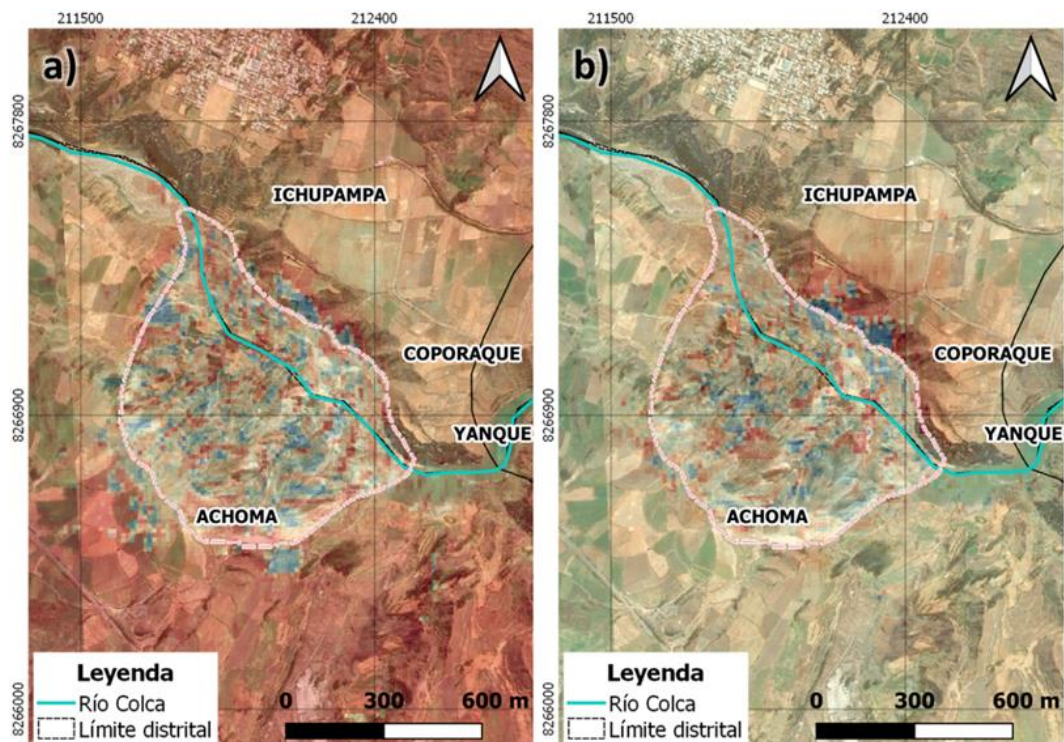


Figura 10: Interferogramas obtenidos a partir de imágenes de radar de fechas: a) 7 y 19 de junio y b) 19 de junio y 1 de julio; todas del año 2020.

3.2.- Área afectada

A partir de la correlación de los interferogramas generados con imágenes de radar de apertura sintética y las imágenes satelitales georreferenciadas proporcionadas por CONIDA, se ha logrado determinar que el área inestable, antes de ocurrido el evento fue de 36.4 hectáreas. Esta área se encuentra limitada por una escarpa de ~1.7 km de longitud (línea amarilla en la Figura 11). Luego de ocurrido el deslizamiento, el área total afectada es de aproximadamente 53 hectáreas (área sombreada de rojo claro en la Figura 11).

3.3.- Modelo en 3D

Haciendo uso de la información recolectada por el dron, se construyó un modelo 3D de la zona del deslizamiento (Figuras 12a). Este modelo permitió determinar las siguientes características del deslizamiento:

- .- *Pendiente de la escarpa principal: La escarpa presenta una pendiente de 75° en dirección noreste (Figuras 12a y 12b).*

- Distancia alcanzada por el deslizamiento: La distancia fue de 700 metros, llegando a represar al río Colca y cubrir su ribera derecha.
- Correlacionar la topografía del terreno antes del deslizamiento (línea roja) y la actual (línea azul), Figura 12b.

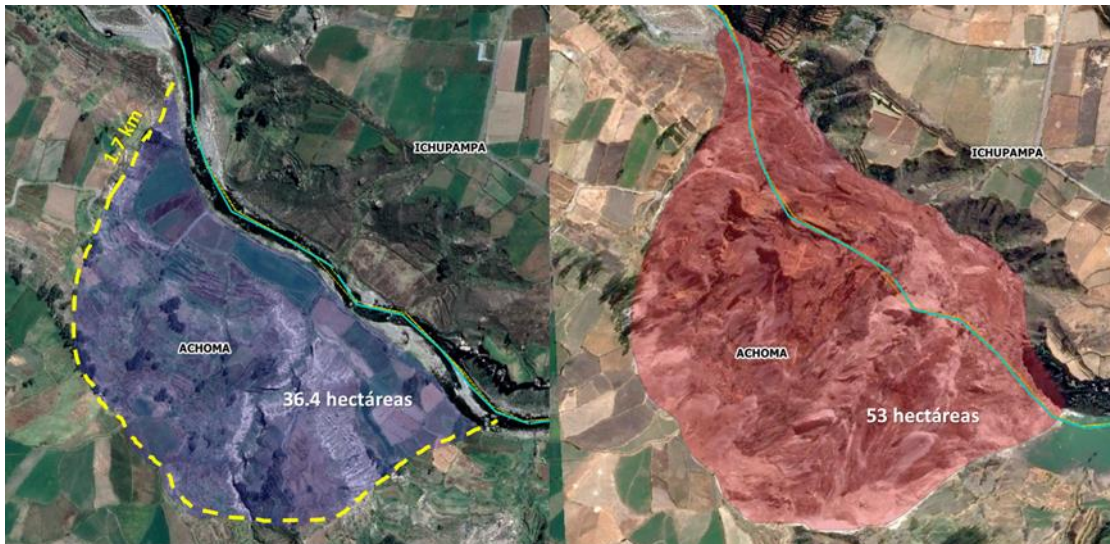


Figura 11: La extensión del área del inestable, antes y después de ocurrido el deslizamiento.

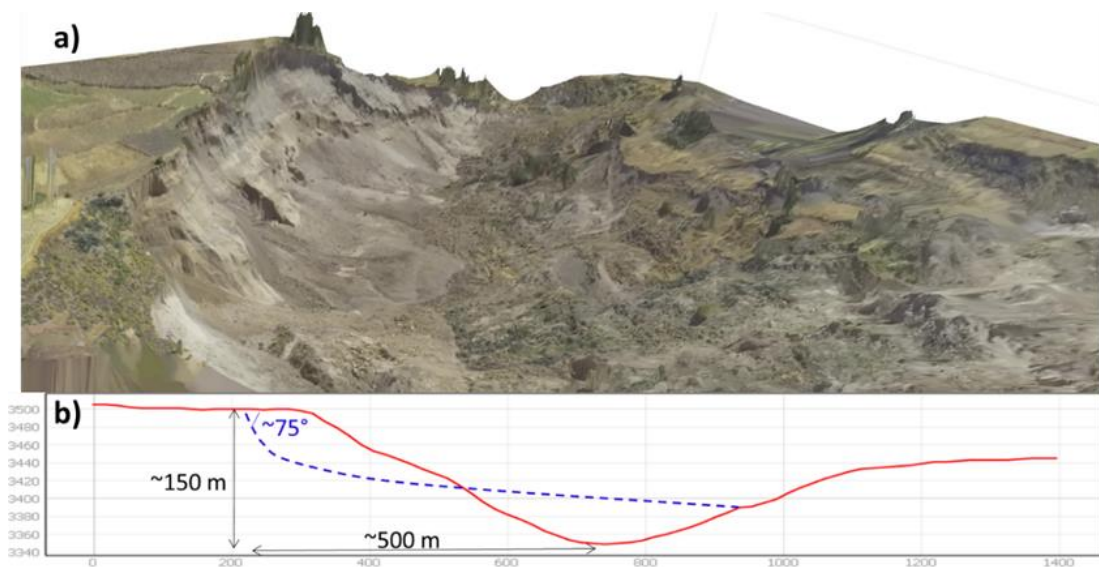


Figura 12: a) Modelo 3D del deslizamiento ocurrido en Achoma obtenido a partir de modelamiento fotogramétrico, b) Perfil del deslizamiento en dirección suroeste a noreste (línea roja, la topografía antes del deslizamiento y línea azul, después del mismo)

3.4.- Dinámica del deslizamiento

A partir del modelamiento realizado con el software *TITAN2D*, se calculó la velocidad del deslizamiento, siendo esta variable conforme avanza el material hacia el río Colca (Figura 13):

- .- En los primeros 10 segundos, el deslizamiento alcanza una velocidad de propagación de 8.5 m/s.*
- .- A los 20 segundos, el deslizamiento avanza a una velocidad promedio de 4.9 m/s.*
- .- A los 30 segundos, el deslizamiento alcanza una velocidad promedio de 2 m/s.*
- .- A los 40 segundos, el deslizamiento alcanza una velocidad promedio de 1.2 m/s.*
- .- A los 60 segundos, el deslizamiento alcanza una velocidad promedio de 1.1 m/s.*
- .- A los 100 segundos, el deslizamiento alcanza una velocidad promedio de 1 m/s.*
- .- A los 120 segundos, el deslizamiento alcanza una velocidad promedio de 0.9 m/s.*

Estos resultados muestran que la mayor velocidad alcanzada por el deslizamiento es directamente proporcional a la mayor pendiente del terreno, ocurrida cerca de la escarpa, para luego en pendientes menores, la velocidad decrece considerablemente.

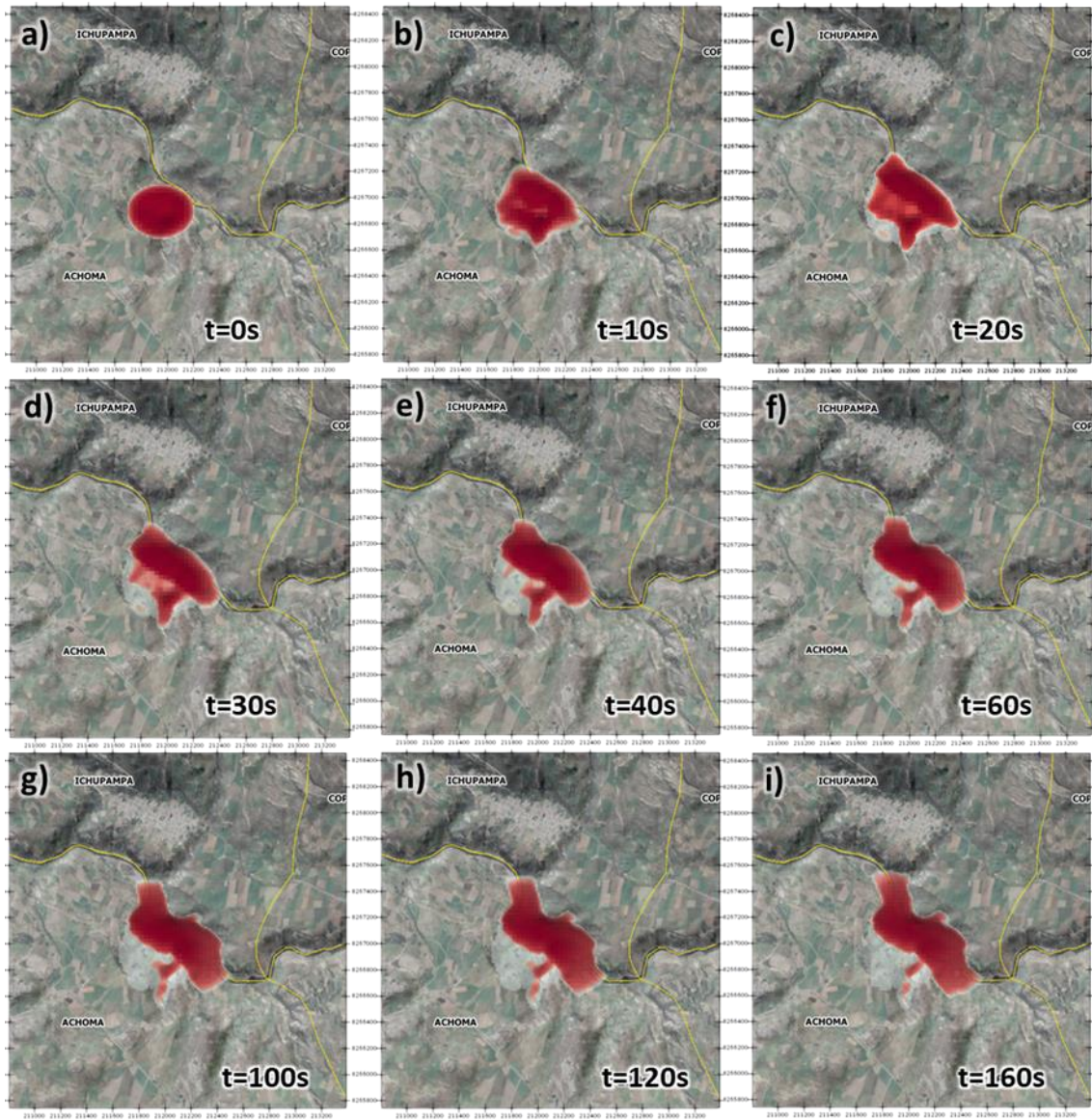


Figura 13: Resultados obtenidos para la velocidad de propagación del deslizamiento de Achoma. En la imagen, se observa el avance del material a diferentes tiempos: A) 0 segundos, B) 10 segundos, C) 20 segundos, D) 30 segundos, E) 40 segundos, F) 60 segundos, G) 100 segundos, H) 120 segundos, I) 160 segundos

4. ESCENARIO DE PROBABLE DESEMBALSE DEL RÍO COLCA

Para construir el escenario crítico ante un eventual desembalse del río Colca por la presencia del deslizamiento de tierra en Achoma, se ha considerado un modelo hidráulico de rotura de una presa de tierra. En este escenario, se considera que el volumen de agua sobrepasa la cota máxima del deslizamiento (40 metros) y la presa falla por sobre vertimiento de la columna inicial de agua (ver Figura 8).

Asimismo, en base a los diferentes volúmenes de almacenamiento de agua en este tiempo debido al caudal constante del agua de entrada al embalse, se ha estimado que para el 27 de julio del presente año (SENAMHI), el volumen del agua almacenada alcanzaría la cota de 40 metros, pudiéndose producir el desembalse del mismo. De ocurrir este escenario, se ha elaborado diferentes perfiles (Figura 14) con el fin de conocer los niveles máximos a alcanzar por el agua en las cercanías de los centros poblados de Ichupampa, Achoma, Maca y Lari (Figura 14). Los resultados muestran que todos estos poblados se encuentran ubicados en cotas superiores a los niveles máximos que podrían alcanzar las aguas; por lo tanto, no presentarían mayor peligro.

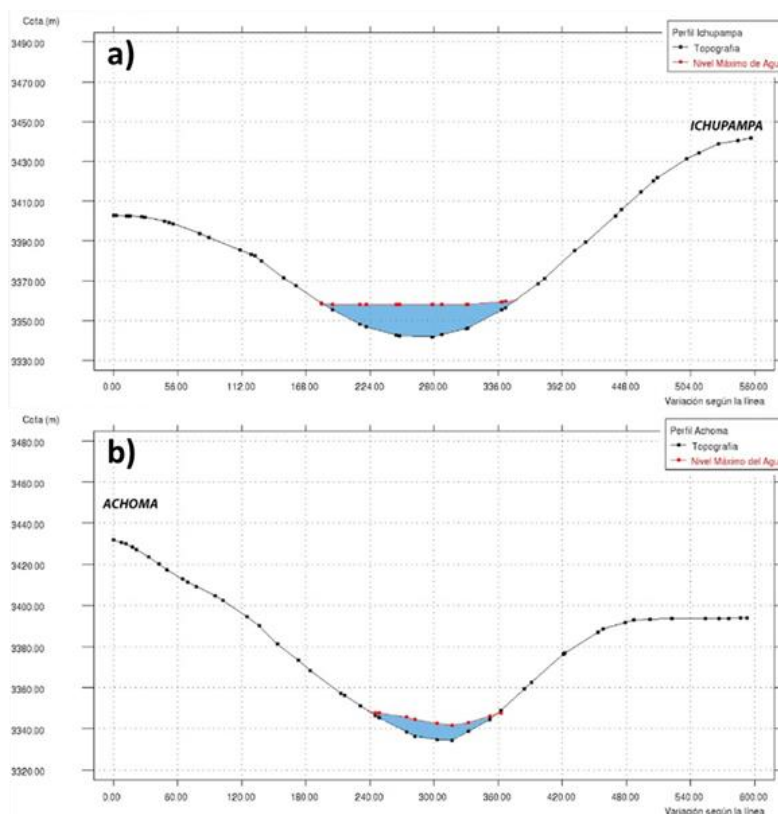


Figura 14: Perfiles mostrando los máximos niveles de agua en las cercanías de las localidades de: a) Ichupampa y b) Achoma.

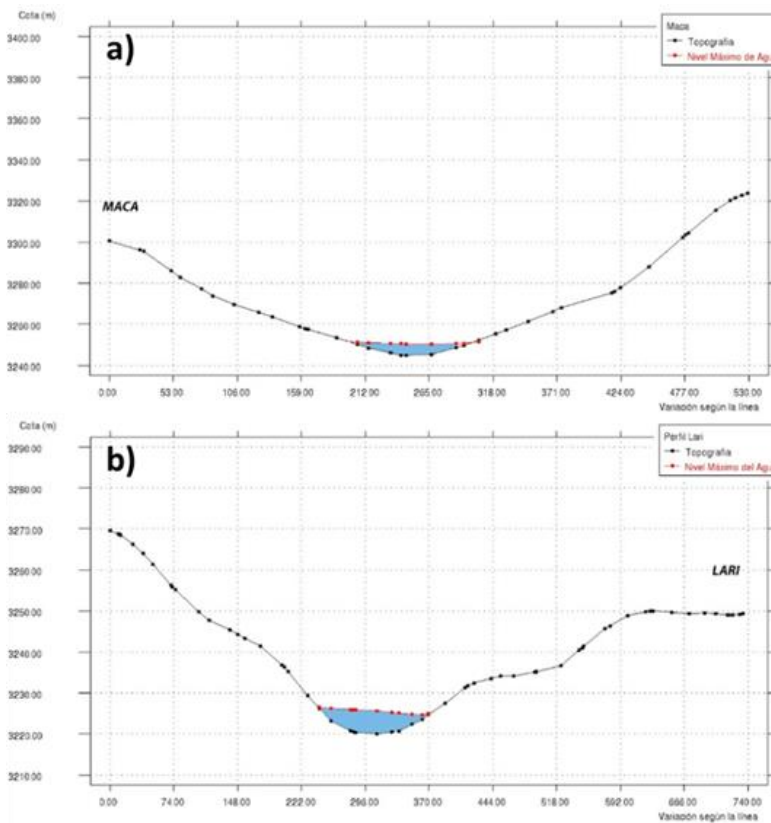


Figura 14: (Continuación). Perfiles mostrando los máximos niveles de agua en las cercanías de las localidades de: a) Maca y b) Lari.

En la Tabla 2, se muestra las cotas de los centros poblados antes mencionados, así como el tiempo de arribo del caudal del agua, altura de la misma y la velocidad que alcanzaría a su paso por dichos poblados.

Tabla 2: Valores de altura y velocidad máxima alcanzada por el flujo de agua posterior a la probable ruptura de la presa generada por el deslizamiento de Achoma.

	Cota del Terreno (m s. n. m.)	Tiempo (minutos)	Cota del Agua (m s. n. m.)	Altura Máxima (m)	Velocidad (m/s)
Ichupampa	3451	8	3357	12	17
Achoma	3534	10	3347	5	10
Maca	3323	38	3246	4.5	9
Lari	3400	42	3229	4	8

Sin embargo, es posible que el flujo del agua llegue afectar, aguas abajo, a terrenos de cultivo, canales de agua y puentes que se encuentran principalmente en el tramo comprendido entre las localidades de Ichupampa y Cabanaconde (Figura 15):

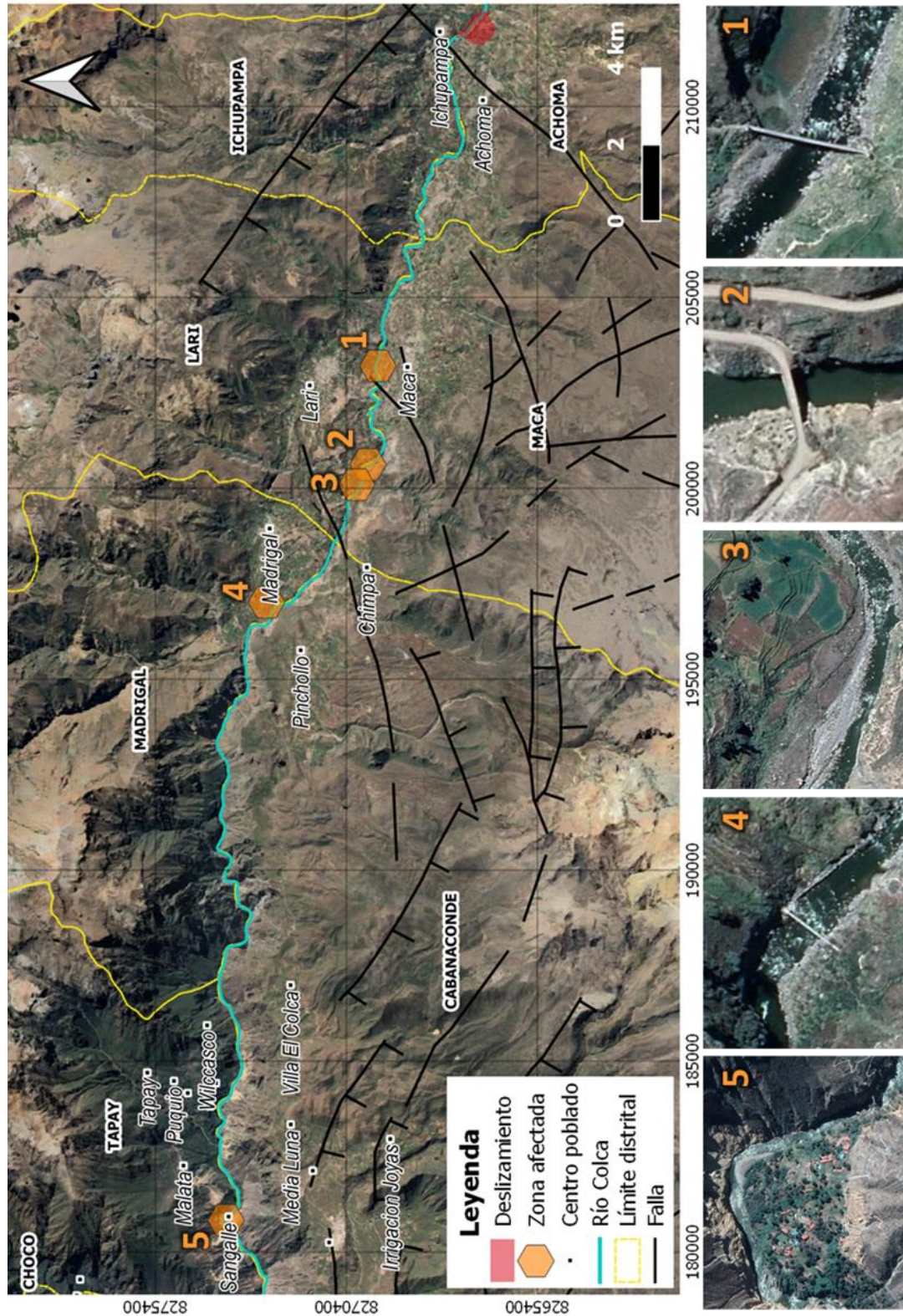


Figura 15: Zonas que pueden ser afectadas luego del desembalse y drenaje del río Colca.

- .- Puentes ubicados a 800 m al norte de la localidad de Maca y a 2.6 km de Lari. Asimismo, el puente que une las localidades de Pinchollo y Madrigal.

- .- Terrenos de cultivos ubicados a 2.4 km al sureste de la localidad de Madrigal y a 2 km al oeste de Madrigal.

- .- Zona turística de Sangalle (Cabanaconde), en la cual se ubican viviendas y bungalós de turismo.

5.- DAÑOS Y FUTURAS ZONAS INESTABLES

5.1.- Daños ocasionados por el deslizamiento

Luego de ocurrido el deslizamiento de Achoma, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) resaltó la ocurrencia de los siguientes daños en la zona afectada:

.- **Terrenos de cultivo:** Fueron afectados terrenos, usados para cultivo y crianza de animales, así como canales de riego ubicados en los sectores de Huancaro, Quello, Tancayllo, Ccalcha, Tira y Airampuni, jurisdicción de la Comisión de Usuarios Achoma-Anansaya, distrito de Achoma.

.- **Represamiento del río Colca:** La acumulación del agua, río arriba, viene afectando a las pozas termomedicinales de la comunidad campesina de Urinsaya y los baños termales de Chacapi en Yanque. Asimismo, existe el riesgo latente que el agua debilite una de las bases del puente colonial Cervantes (Figuras 16 y 17).

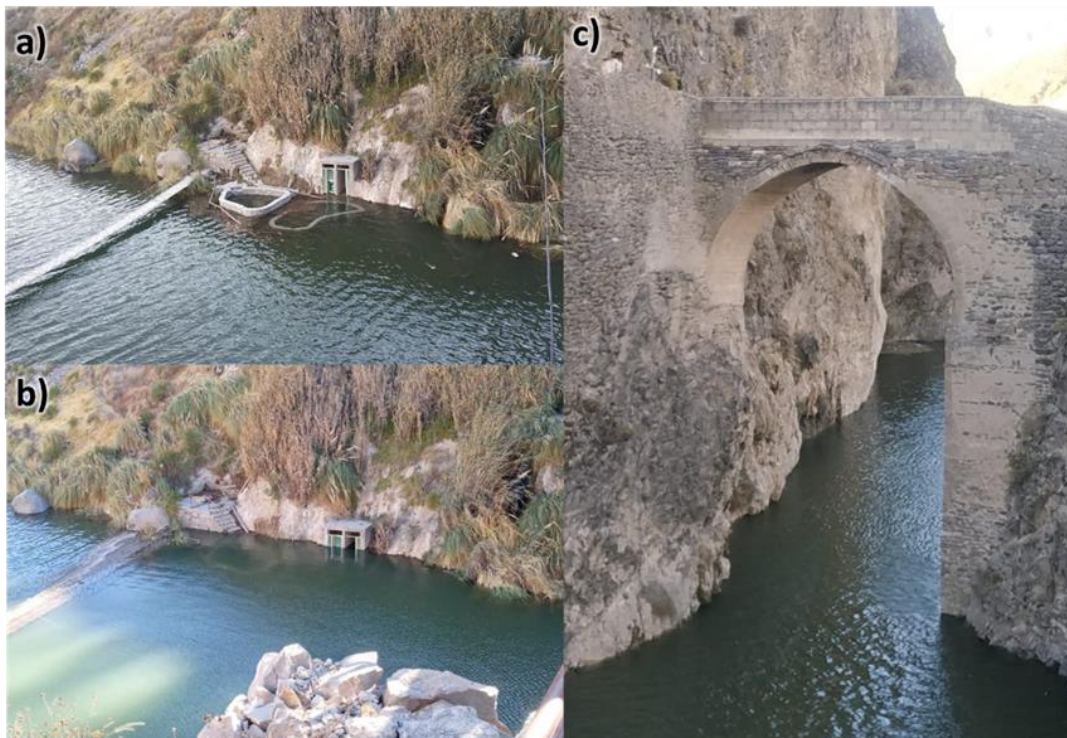


Figura 16: Represamiento del río Colca y afectación de obras de infraestructura: a) los baños termales de Chacapi al 30 de junio de 2020, b) la misma vista de los baños al 4 de julio de 2020 y c) puente colonial Cervantes.

(<https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/arequipa>)

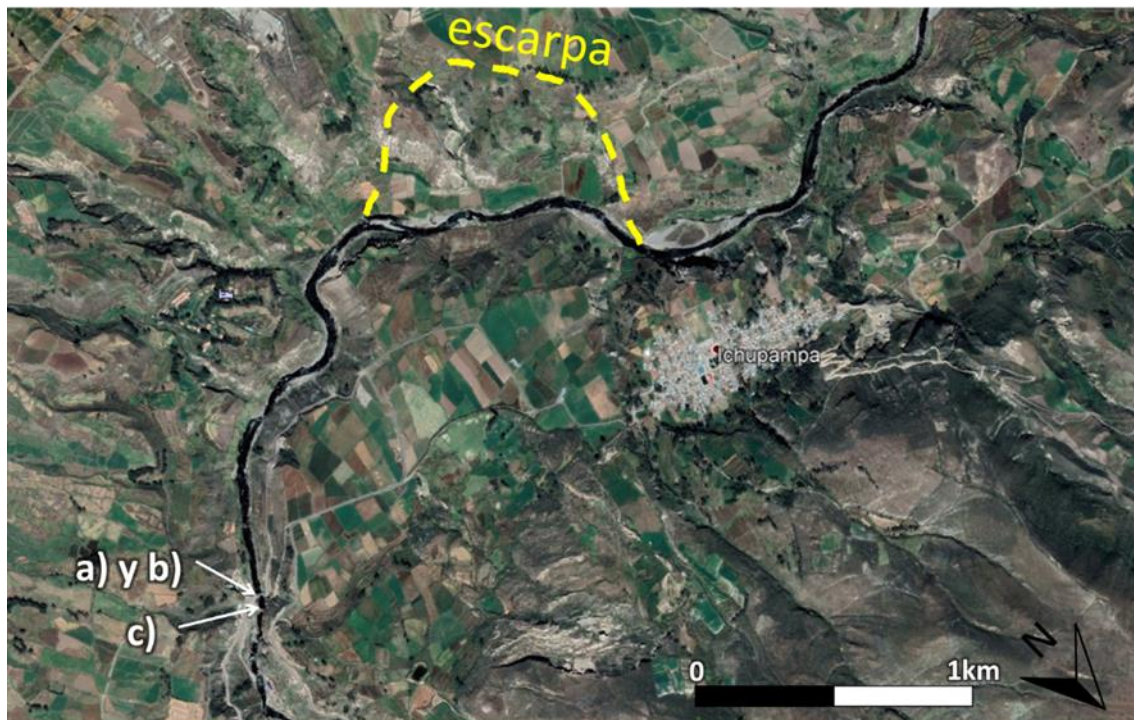


Figura 17: Ubicación de la escarpa del deslizamiento, baños termales de Chacapi (a y b) y puente Colonial Cervantes (c).

5.2.- Futuras zonas inestables

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, la técnica de interferometría de radar resulta ser una herramienta muy útil para la identificación de zonas críticas por deslizamientos de tierra a lo largo del valle del río Colca. Una extensión de la zona de análisis, ha permitido identificar que en el Distrito de Maca (Figura 18) existe un área crítica ubicada en la margen izquierda del río Colca. Esta área se encuentra frente a la zona donde ocurrieron los deslizamientos de Lari en los años 1955 y 2013 (Araujo et al., 2017). Según los estudios geológicos, geofísicos y de monitoreo de movimientos en masa realizados por Zavala et al. (2013), esta zona presenta alta susceptibilidad, siendo favorable para movimientos de masa como deslizamientos y derrumbes. De acuerdo a este escenario, es necesario realizar trabajos de campo para evaluar el comportamiento dinámico de los suelos en esta zona a fin de tomar medidas de prevención y/o mitigación.

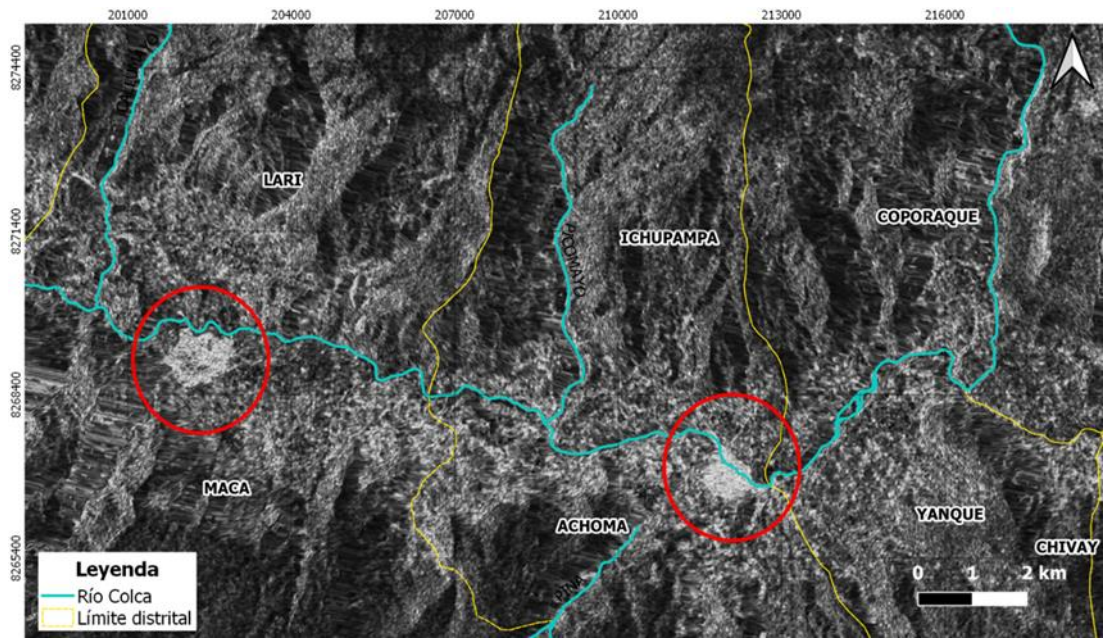


Figura 18: Zonas inestables identificadas en el valle del río Colca a partir de la técnica de interferometría utilizando imágenes de radar. En círculos rojos, las zonas identificadas en los distritos de Maca y Achoma.

CONCLUSIONES

El día 18 de junio de 2020, a la 01:42 horas, el Centro Sismológico Nacional (CENSIS) registró señales sísmicas anómalas en las estaciones de Chivay y Patapampa, asociadas al deslizamiento de tierra ocurrido en el distrito de Achoma, provincia de Caylloma, región Arequipa. El deslizamiento produjo daños en terrenos de cultivo y el embalse del río Colca, presente hasta la publicación de este informe. Las principales conclusiones del presente estudio son:

- El análisis de interferogramas obtenidos a partir de imágenes de radar de fechas anteriores al deslizamiento, mostraron anomalías en sus imágenes indicando la presencia de suelos inestables sobre una área de aproximadamente 36.4 hectáreas; además de una escarpa principal de ~1.7 km de longitud en forma de arco. Luego de ocurrido el deslizamiento, el área afectada fue calculada en 53 hectáreas.
- El empleo de técnicas de fotogrametría usando imágenes capturadas por sobrevuelos de dron, ha permitido elaborar un modelo en 3D del área afectada, llegándose a determinar que la escarpa presenta una pendiente de 75° en dirección noreste. Asimismo, el terreno desplazado alcanzó una distancia de 700 metros en dirección al cauce del río Colca, con alturas o espesores que superan los 40 metros. Este deslizamiento se desarrolló a una velocidad máxima de 8.5 m/s cerca de la escarpa, quedando el mismo estable después de 3 minutos de haberse iniciado.
- En las condiciones actuales, existe una baja o nula posibilidad que el caudal del río Colca desplace el material deslizado; por lo tanto, a fin de evaluar el peligro que representa para la zona esta presa natural, se ha elaborado un escenario más probable de suceder que considera una presa que falla por sobre vertimiento de la columna de agua, es decir por el desembalse del río Colca. La máxima altura que alcanzaría el caudal del agua que discorra, luego del desembalse, sería de aproximadamente 12 metros, estando los poblados de Ichupampa, Achoma, Maca y Lari ubicados a cotas superiores respecto al lecho del río; por lo tanto, no representaría mayor peligro dicho evento.

- El flujo de agua que discurriría río abajo, producto del desembalse, podría desbordar su cauce en algunos sectores y afectar terrenos de cultivo, canales de agua y puentes que se encuentran principalmente en el tramo de Ichupampa a Cabanaconde.

- El análisis de los interferogramas obtenidos a partir de imágenes satelitales de radar ha permitido identificar la presencia de un área inestable en el Distrito de Maca que podría dar origen a un futuro deslizamiento. Esta área se encuentra en la margen izquierda del río Colca, frente a la zona en donde se produjeron los últimos deslizamientos en el poblado de Lari.

REFERENCIAS

- Araujo, G., Valderrama, P., Taipe, E., Miranda, R. (2017). Estudio geológico y monitoreo geodésico en el deslizamiento de Lari, Arequipa. INGEMMET, Informe Técnico N° A6740.
- Decreto Supremo N° 111-2020-PCM, recopilado de: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-declara-el-estado-de-emergencia-en-los-d-decreto-supremo-n-111-2020-pcm-1868951-1/>
- 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 Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 138 p.
- Huamán, D.; Chorowicz, J.; Deffontaines, B.; Guillande, R. & Rudant, J.P. (1993). Cadre structural et risques géologiques étudiés à l'aide de l'imagerie spatiale: la région du Colca (Andes du Sud Pérou). Bulletin Société Géologique de France, 164(6): 807-818.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2020), Deslizamiento en el Distrito De Achoma – Arequipa, REPORTE COMPLEMENTARIO N° 2042 - 22/06/2020 / COEN - INDECI / 20:25 HORAS.
- Mering, C., Huamán, D., Chorowicz, J., Deffontaines, B. & Guillande, R. (1996). New data on the geodynamics of southern Perú from computerized analysis of SPOT and SAR ERS-1 images. Tectonophysics, 259 (1-3): 153-169.
- Patra, A., Bauer A., Nichita, C., Pitman, E.B., Sheridan, M. F. Bursik, M., Rupp, B., Webber, A., Namikawa, L. And Renschler, C. (2005). Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches overnatural terrain. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 139:1–21.
- Pitman, E.B., Patra, A., Bauer, A., Sheridan, M.F., Bursik, M.I. (2003). Computing debris flow and landslides. Physics of Fluids 15, 3638–3646.
- Quispesivana, L. & Navarro, P. (2003), Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (32-s), Cailloma (31-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p). Escala 1:100 000; Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Regional.
- 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 N° 61, 122 p.

- Sébrier, M.; Mercier, J.; Mégard, F.; Laubacher, G.; Carey- Gailhardis, E. (1985). *Quaternary normal and reverse faulting and the state of stress in the central Andes of Peru. Tectonics, 7, 895-928.*
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI (2020) Informe técnico: *Situación hidrológica de los Ríos Colca-Majes; Dirección de Hidrología, Subdirección de Predicción Hidrológica.*
- Stinton, A. J., Sheridan, M.F., Patra, A., Dalbey, K., & Namikawa, L.M. (2004). *Integrating variable bed friction into TITAN2D mass-flowmodel: application to the Little Tahoma Peak avalanches. Washington. Acta Vulcanol. 16, 153-163.*
- Tavera, H. (2016). *Análisis de los Principales Peligros Naturales en el Valle del Colca – Arequipa. Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú.*
- Zavala B., J. Marino, P. Lacroix, E. Taipe, C., Tatard, L., Benavente, C., Pari, W., Delgado, F., Fidel, L., Vilchez, M., Villacorta, S., Ochoa, M., Luque, G., Rosado, M., Antayhua, Y., Nuñez, S., Vasquez, S., Wathelet, M., Guillier, B., Bondoux, F., Norabuena, E., Gomez, J. (2013), *Evaluación de la seguridad física del distrito de Maca, Informe tecnico N° A6628, INGEMMET, abril 2013.*