

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7066

DESLIZAMIENTO DE ACHOMA OCURRIDO EL 18 DE JUNIO DEL 2020

Región Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Achoma



JUNIO
2020

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Metodología de trabajo.....	2
1.2 Objetivo del estudio.....	3
2. GENERALIDADES	3
2.1 Ubicación y accesibilidad	3
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	5
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	9
5. FORMACIÓN DE GRIETAS Y/O FISURAS EN ACHOMA OCURRIDO ENTRE LOS DÍAS 09 Y 13 DE MAYO DEL 2020	10
6. DESLIZAMIENTO DE ACHOMA OCURRIDO EL 18 DE JUNIO DEL 2020	14
7. SISMICIDAD ASOCIADA AL DESLIZAMIENTO DE ACHOMA.....	20
8. MAPA DE PELIGROSIDAD A PROCESOS SÍSMICOS	22
9. PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN	22
CONCLUSIONES.....	26
RECOMENDACIONES.....	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

RESUMEN

El presente informe técnico contiene datos de observaciones realizadas en el deslizamiento de Achoma, distrito Achoma, provincia Caylloma, región Arequipa.

El movimiento en masa ocurrido en Achoma el 18 de junio a las 01:42 horas, se trata de un deslizamiento de tipo rotacional con desplazamiento retrogresivo. La escarpa principal del deslizamiento tiene entre 100 a 150 metros de altura, 950 metros de longitud y 500 metros de desplazamiento.

A consecuencia del deslizamiento, un área de 40 hectáreas de terreno de cultivo se deslizó en dirección del río Colca, formando un dique natural de 1140 metros de longitud, 75 metros de altura, y provocando su represamiento. Este embalse representa un peligro inminente, ya que el dique temporal podría romperse, y afectar terrenos de cultivo en las márgenes del río de las poblaciones asentadas aguas abajo del río.

El deslizamiento de Achoma fue registrado por la estación de Maca (MAC03) localizada a ~8 km al noroeste del distrito de Achoma. El desplazamiento de este volumen de masa en la margen izquierda del Colca, generó un sismo que tuvo una duración de 3 minutos aproximadamente con una magnitud de 3.2 MI. También este sismo fue registrado por la red sísmica instalada en el volcán Sabancaya (Estaciones SAB07, SAB11, SAB16 y SAL01) y por la estación del volcán Misti denominada MST01, ubicada a más de 70 km de Achoma.

Los materiales que constituyen la zona del deslizamiento en el sector de Achoma están constituidos por depósitos lacustres. Se trata de intercalaciones de limoarcillitas de color pardo oscuro con laminación paralela, niveles de areniscas de color gris con laminaciones paralelas y oblicuas. Hacia el tope se observan niveles de conglomerados polimícticos. Desde el punto de vista geotécnico estos depósitos lacustrinos presentan malas características, son muy friables y frágiles al no estar consolidados.

La geomorfología en el área de estudio y alrededores comprende una unidad de planicie (subunidad de terraza alta aluvial), seguido de la unidad de origen volcánico (subunidad estratovolcán) y la unidad de montaña (subunidad de montaña y colina en roca volcánica). El deslizamiento de Achoma se encuentra sobre la subunidad de terraza alta aluvial.

El sector de Achoma está en **la Zona de Peligro Muy Alto**, esto debido principalmente a las características geológicas del suelo, así como la humedad e infiltraciones de agua, que lo hacen muy susceptible a generar procesos de movimientos en masa. La ocurrencia de factores desencadenantes (sismos excepcionales, sismos continuos, precipitaciones intensas y/o actividad antrópica), pueden provocar el futuro avance del deslizamiento y agrietamientos.

Se recomienda realizar una descolmatación controlada del material de represamiento aperturando el cauce del río Colca. Asimismo, restringir el acceso de las personas a la zona del deslizamiento, reducir el caudal de río Colca, controlar los aportes del sistema de riego en la parte alta, implementar un plan de contingencia, para evitar daños que pudiera provocar el desborde no controlado del dique natural, que se formó por el deslizamiento, así como implementar sistemas de monitoreo permanente del deslizamiento de Achoma.

1. INTRODUCCIÓN

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, incorpora dentro de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), la ACT.7: Evaluación de peligros geológicos y consideraciones geotécnicas a nivel nacional.

Su alcance contribuye con entidades gubernamentales en los diferentes niveles de gobierno (nacional, regional y local), a partir del reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos en territorios susceptibles a movimientos en masa, inundaciones u otros peligros geológicos asociados a eventos hidroclimáticos, sísmicos o de reactivación de fallas geológicas, o asociados a actividad volcánica.

Mediante esta asistencia técnica el INGEMMET, proporciona un informe técnico que incluye resultados de la evaluación geológica-geodinámica realizada, así como recomendaciones pertinentes para la mitigación y prevención en el marco del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres.

El Sr. José Benito Merma Cahua, alcalde de la Municipalidad Distrital de Achoma, mediante Oficio N° 000108-2020-MDA/C/AQP, de fecha 19 de mayo del presente año, solicitó una evaluación técnica sobre peligro geológico por deslizamiento en la zona de Achoma. Así mismo, el Ing. Alvaro Cáceres Llica, alcalde de la Municipalidad Provincial de Caylloma, mediante el Oficio N° 135-2020-MPC-CHIVAY-A, de fecha 2 de junio del presente año, solicitó una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el distrito de Achoma.

El INGEMMET mediante el proyecto ACT7: Evaluación de Peligros Geológicos y Consideraciones Geotécnicas a Nivel Nacional, preparó este informe técnico, para mostrar la dinámica del deslizamiento de Achoma, ocurrido el 18 de junio de 2020, así como los efectos destructivos que este evento ocasionó en este sector. Para la evaluación de peligros geológicos en los sectores mencionados, el INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, dispuso una brigada especializada en peligros geológicos para que evalué la zona afectada. La brigada estuvo conformada por los ingenieros, Jessica Vela y Edu Taípe. La inspección técnica se realizó los días 19 y 20 de junio del 2020, cuyos resultados se muestran en el presente informe técnico.

1.1 Metodología de trabajo

La metodología para la elaboración del presente informe consta básicamente de recopilación bibliográfica, trabajos de campo y gabinete, las cuales se describen a continuación:

1.1.1. Recopilación bibliográfica y trabajos de gabinete

Recopilación y análisis de los estudios geológicos y geodinámicos, realizados en la zona de estudio.

1.1.2. Trabajos de campo

Del 19 al 20 de junio se realizó un levantamiento fotogramétrico en la zona de estudio, utilizando el DRONE Phantom 4 Pro. Paralelamente se efectuó toma de datos de las características geológicas y geomorfológicas del sector afectado por el deslizamiento.

1.1.3. Trabajo de gabinete

Los trabajos realizados en esta etapa consistieron en la elaboración de mapas así como el análisis de información sísmica instalada por INGEMMET en las zonas de Maca y el

volcán Sabancaya. Con todo ello se realizó la redacción del informe técnico, el cual contiene las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

1.2 Objetivo del estudio

- Identificar, tipificar y caracterizar los tipos de peligros geológicos que afectan al sector de Achoma.
- Determinar principalmente las causas que originaron el deslizamiento de Achoma ocurrido el 18 de junio del presente.
- Presentar a las autoridades y pobladores de Achoma alternativas de prevención y mitigación para la gestión del riesgo en este sector.

2. GENERALIDADES

2.1 Ubicación y accesibilidad

El área afectada está ubicada en la margen izquierda del río Colca, en el Distrito de Achoma, Provincia Caylloma, Región Arequipa. La zona es accesible por la carretera asfaltada Arequipa – Chivay (capital de la provincia Caylloma) – Maca (Tabla 1, y figuras 1 y 2).

Tabla 1: Distancia y tipo de vía para acceder al sector consultado.

Tramo		Km.	Tipo de vía	Duración
Arequipa	Chivay	163	asfaltada	3h 06 min
Chivay	Achoma	14.3	asfaltada	21 min

Tabla 2: Coordenadas geográficas de las zonas de estudio:

Zonas de estudio	Coordenadas
Deslizamiento de Achoma	– 15°39'40.01"S – 71°41'19.55"O

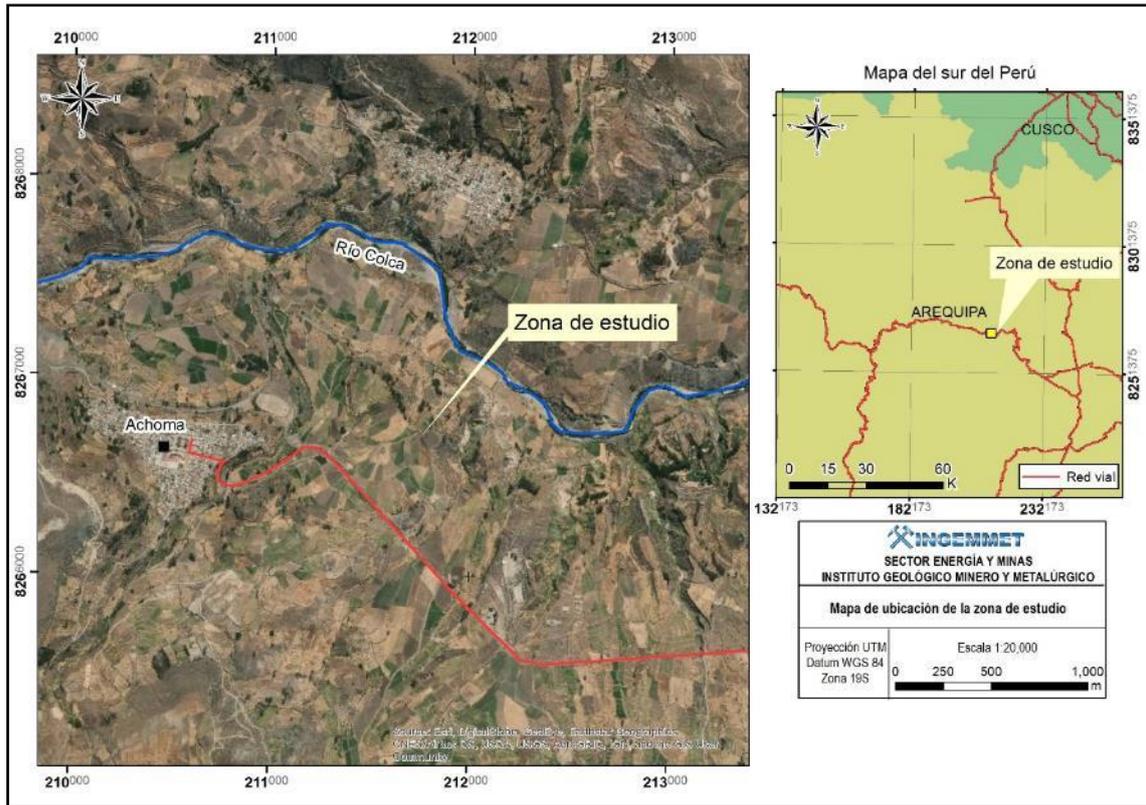


Figura 1. Mapa de ubicación de la localidad de Achoma.



Figura 2. Ruta de acceso desde Arequipa hasta Achoma.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio, se desarrolló teniendo como base la Carta Geológica del Perú: Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chivay, Hoja 32-s, Cuadrante I, escala 1:50 000 (Cerpa & Paniagua, 2009). Mapa publicado por Ingemmet.

Las unidades geológicas que afloran en el área de estudio, corresponden a rocas volcánicas del Paleógeno y Neógeno, así como rocas sedimentarias del Cuaternario (figura 3), diferenciándose las siguientes formaciones:

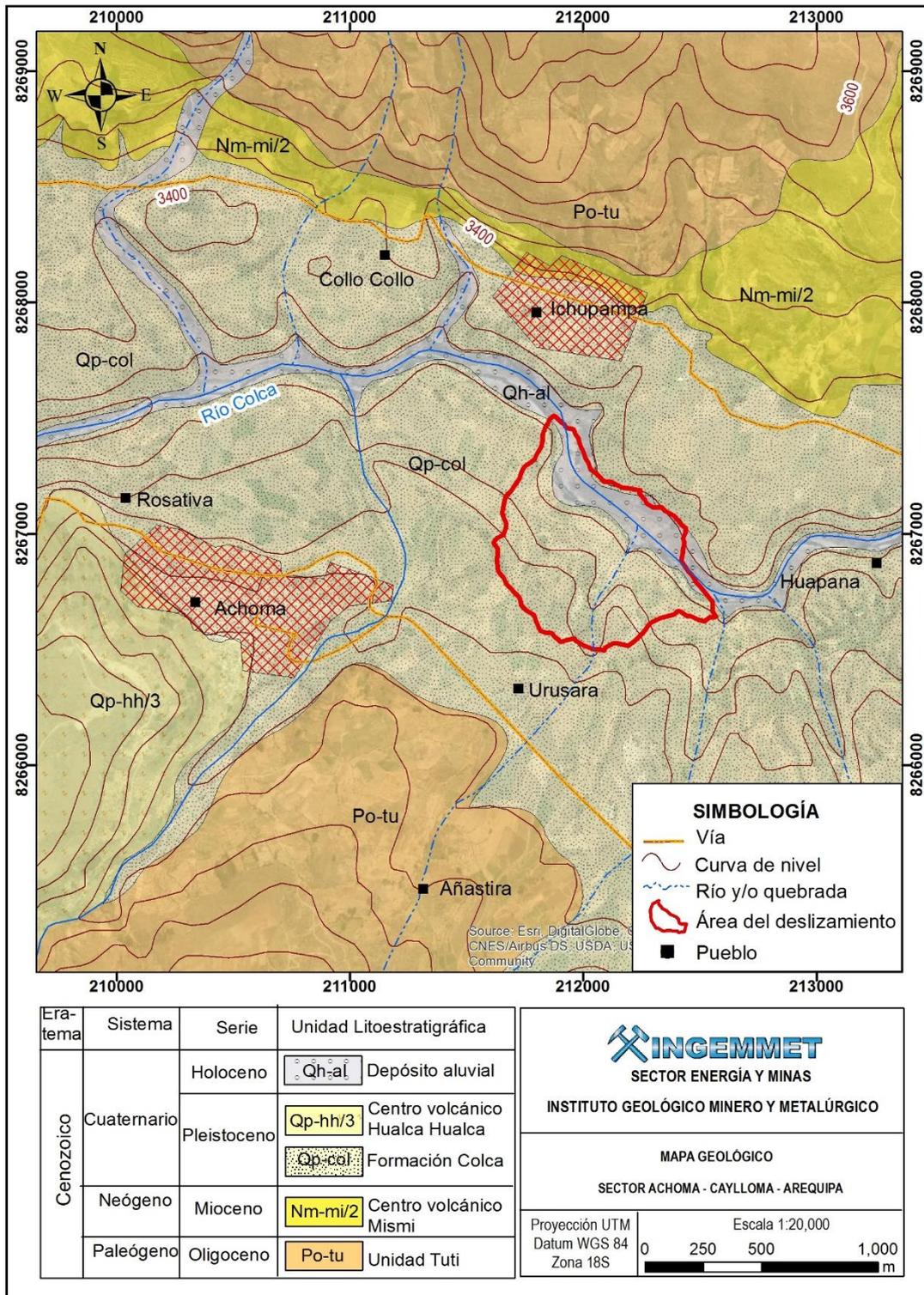


Figura 3. Mapa geológico de Achoma y alrededores (tomado de Cerpa & Paniagua, et al., 2009).

3.1 Unidad Tuti (Po-tu)

Aflora a 200 m al sur de Achoma. El depósito está conformado por flujos de lava gris oscuro y depósitos piroclásticos de cenizas, de coloración gris. Tienen un espesor aproximado de 1000 m (Cerpa et al., 2009).

3.2 Centro volcánico Mismi (Nm-mi/2)

Aflora a 2 km al norte de Achoma. El depósito está conformado por secuencias volcanoclásticas que contienen intercalaciones de cenizas blanquecinas en capas de 5 a 10 cm y sedimentos volcanoclásticos gris blanquecinos con cristales retrabajados (Cerpa et al., 2009).

3.3 Formación Colca (Qp-col)

El valle del río Colca es amplio y forma una cuenca de forma elongada, geofoma que fue modelada por geodinámica activa asociada a actividad glacial, volcánica y sísmica, permitiendo así la formación de dos lagos que dejaron su registro en la estratigrafía del valle del Colca (Klinck, et al., 1986), llaman a estos depósitos finos y laminados como Formación Colca, que está conformado por limoarcillitas.

La localidad de Maca se ubica en el sector donde el valle es más amplio, aflorando de esta manera gran parte de los depósitos lacustres. No se tiene una edad exacta de la formación de estos depósitos, pero la secuencia lacustre se hallan debajo de flujos de lava datados cerca de Achoma en 0.61 Ma (Klinck, et al., 1986).

Litológicamente este sector está constituida por intercalaciones de limoarcillitas de color pardo oscuro con laminación paralela (figura 5), niveles de areniscas de color gris con laminaciones paralelas y oblicuas. Hacia el tope se observan niveles de conglomerados polimícticos con diámetros de clastos que varían entre 1 a 5 cm, de formas sudredondeados a redondeados (figura 6). Esta secuencia corresponde a una zona de transición entre los depósitos finos del lago y los depósitos aluviales y fluviales provenientes de las márgenes de la cuenca, por consiguiente, esta secuencia sedimentológicamente corresponde a un medio lacustre (Zavala, et al., 2012).

Desde el punto de vista geotécnico estos depósitos lacustrinos presentan características no óptimas. Las características en mención, se deben a que son rocas muy friables, frágiles y se encuentran bastante fracturadas. Esta característica se refleja también debido a que en estos depósitos lacustrinos se encuentran la gran mayoría de deslizamientos, derrumbes y reptación de suelos que ocurren en el valle del Colca (Zavala, et al., 2012).



Figura 5. Limoarcillitas de color pardo oscuro con laminación paralela. Foto tomada en las márgenes del deslizamiento de Achoma.

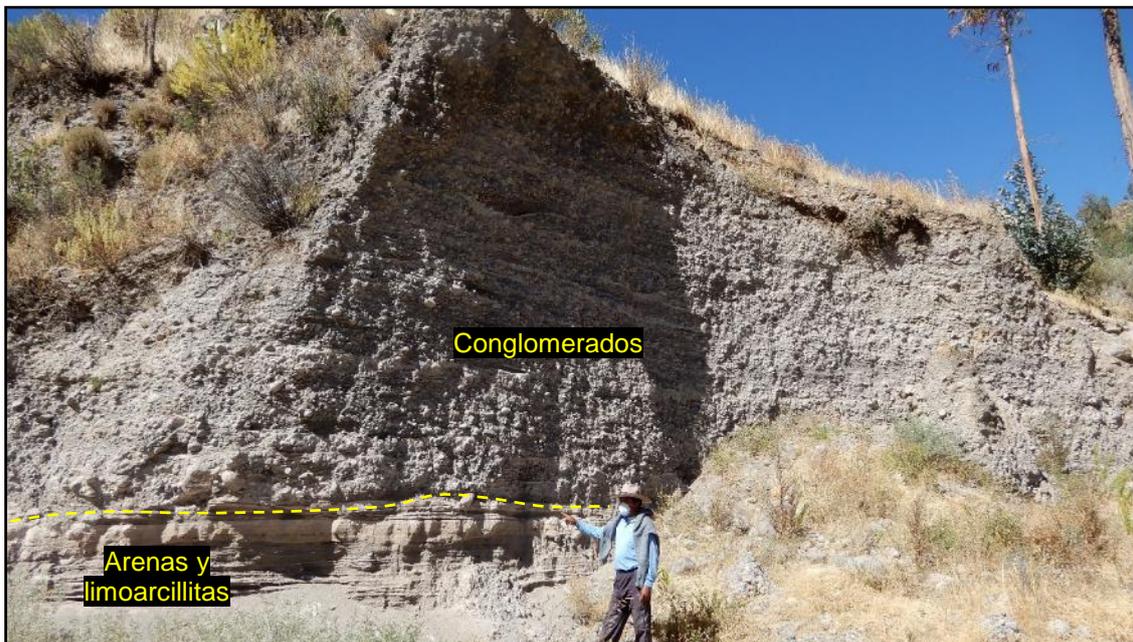


Figura 6. Conglomerados típicos de un sistema fluvial, suprayaciendo a depósitos finos laminados de arenas y limoarcillitas. Foto tomada a 300 m al norte del poblado de Achoma.

3.1 Centro volcánico Hualca Hualca (Qp-hh/3)

Este depósito afuera colindante al pueblo de Achoma (figura 4). El depósito está conformado por flujos de ceniza con cristales gris verdosos, y lavas andesíticas porfíricas gris violáceas. Su espesor promedio es de 200 m (Cerpa et al., 2009).

Los flujos de lava que afloran al oeste de Achoma (datado en 0.61 Ma), se encuentran sobre los depósitos lacustres de la Formación Colca (Thouret et al., 2007).



Figura 4. Rocas volcánicas del volcán Hualca Hualca. Foto tomada a 200 m al noroeste del poblado de Achoma.

3.2 Depósito aluvial (Qh-al)

Los depósitos aluviales se encuentran a lo largo del río Colca, en ambas márgenes, formando pequeñas terrazas. Litológicamente están conformados por arena y limo en capas subhorizontales. Tienen espesores de 10 a 20 m (Cerpa, et al., 2009).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

La geomorfología en el área de estudio y alrededores comprende la unidad de planicie, seguida de la unidad de origen volcánico y la unidad de montaña.

A continuación, se describen las unidades geomorfológicas (figura 7).

4.1 Unidad de Planicie

Son geoformas asociadas a depósitos coluviales y aluviales, limitados por depósitos de piedemonte o ladera de montaña, identificados por presentar pendientes bajas a llanas.

Subunidad de terraza alta aluvial (Ta-al)

Son terrenos con pendientes bajas a subhorizontales, se encuentran a mayor altura que las terrazas bajas y el cauce del río Colca, dispuestos a los costados de la llanura de inundación. Representan niveles antiguos inconsolidados de materiales aluviales, con procesos erosivos como consecuencia de la profundización del valle. El deslizamiento de Achoma se encuentra en esta subunidad.

4.2 Unidad volcánica

Son geoformas asociadas a depósitos volcánicos.

Subunidad estratovolcán (Es-rv)

Son terrenos con pendientes relativamente moderadas con frente escarpado. Corresponde al centro volcánico Hualca Hualca. Está conformada por flujos de ceniza con lavas andesíticas porfiríticas con frentes escarpados, que se presenta hacia el oeste del centro poblado de Achoma.

4.3 Unidad de Montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular.

Subunidad de montaña y colina en roca volcánica (RMC-rv)

Esta unidad geomorfológica se da por la continuidad de la colina hacia la zona de montaña y es difícil de separarla, se compone de flujos de lava gris oscuro y depósitos piroclásticos de cenizas, presenta laderas con pendientes suaves y con un patrón de drenaje sub paralelo.

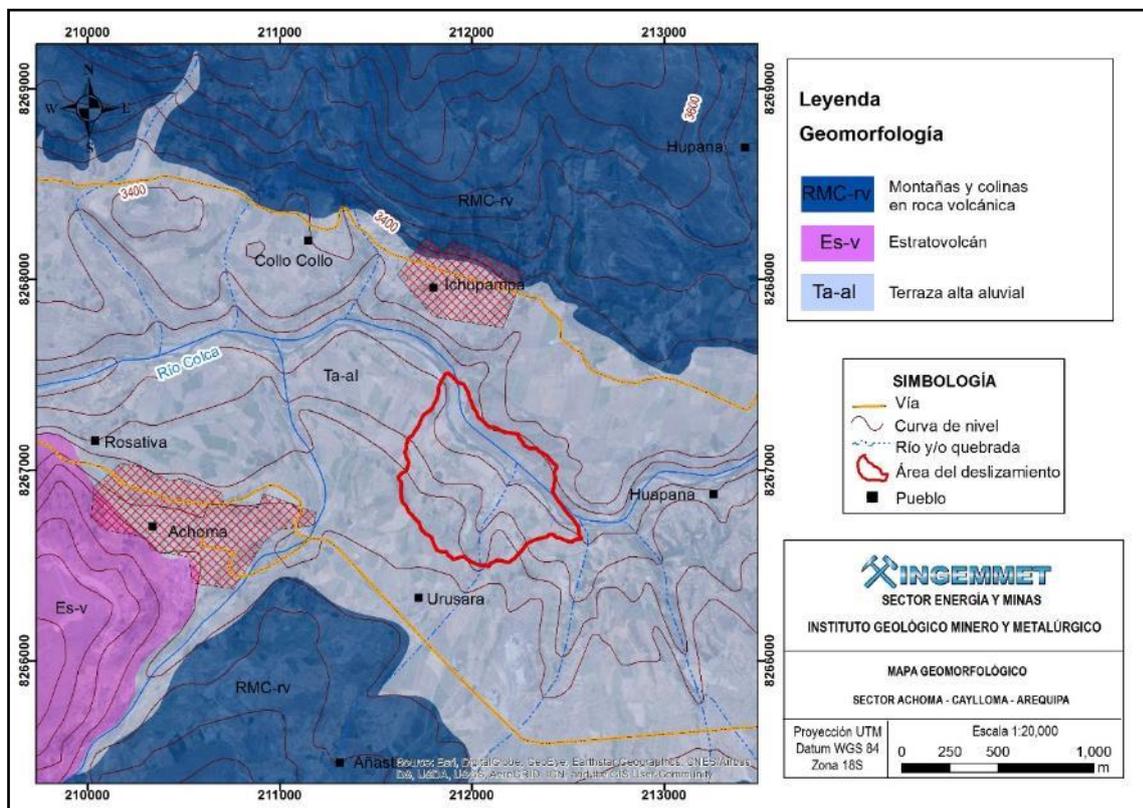


Figura 7. Mapa geomorfológico de Achoma y alrededores.

5. FORMACIÓN DE GRIETAS Y/O FISURAS EN ACHOMA OCURRIDAS ENTRE LOS DÍAS 09 Y 13 DE MAYO DEL 2020

El día 19 de mayo del presente año, las autoridades del distrito de Achoma hicieron una inspección preliminar de la zona de estudio. En esta inspección también participó el representante de la Junta de Usuarios de Valle del Colca, el presidente de la comisión de usuarios de Anasaya – Achoma y usuarios afectados de los sectores de Tancayllo, Airampuni, Tira, Cotapampapata, Ccallcha, Quello, Quello laderas, Huancaro, Pasaclle y Mollene.

En esa inspección se observó fisuras y agrietamientos, localizados aproximadamente a 900 m al este del centro poblado de Achoma. En las coordenadas 8266723 N, 211754 E, se observó un desnivel de terreno entre 1.8 a 2.0 m (zona de escarpa del deslizamiento), en un tramo de 100 m (figuras 8, 9 y 10). Según los pobladores este evento ocurrió entre los días 09 y 13 de mayo del 2020.



Figura 8. Tramo de 100 m de deslizamiento de terreno (línea color roja).



Figura 9. Escarpe de 100 m de longitud en zona agrícola.



Figura 10. Escarpa de deslizamiento, entre 1.80 y 2.0 m.

También se señala en este informe la presencia de agrietamientos de geometría circular en un tramo de 1.6 - 2.0 km (línea negra en el la figura 11). Estos agrietamientos podrían generar desprendimientos ladera abajo de este sector hacia el río Colca. Se calculó que el área vulnerable al deslizamiento es de 36 has aproximadamente.

Según informaron los pobladores, la presencia de estas fisuras y/o grietas se han presentado gradualmente, y cada año se vienen produciendo hundimientos de 0.10 m aproximadamente de profundidad. El área afectada se encuentra en una zona agrícola, lo cual genera pérdidas económicas en los pobladores, ya que representa una zona crítica a posibles deslizamientos en un futuro.



Figura 11. Fisuras y/o grietas a lo largo de 1.6 a 2 km (línea negra).

En la figura 12 se observan hundimientos y/o asentamientos, así como fisuras y/o grietas en las zonas agrícolas ubicadas en la margen izquierda del río Colca. Esto ha provocado la alteración del curso de aguas subterráneas, fuentes naturales que beneficiaban las zonas agrícolas.

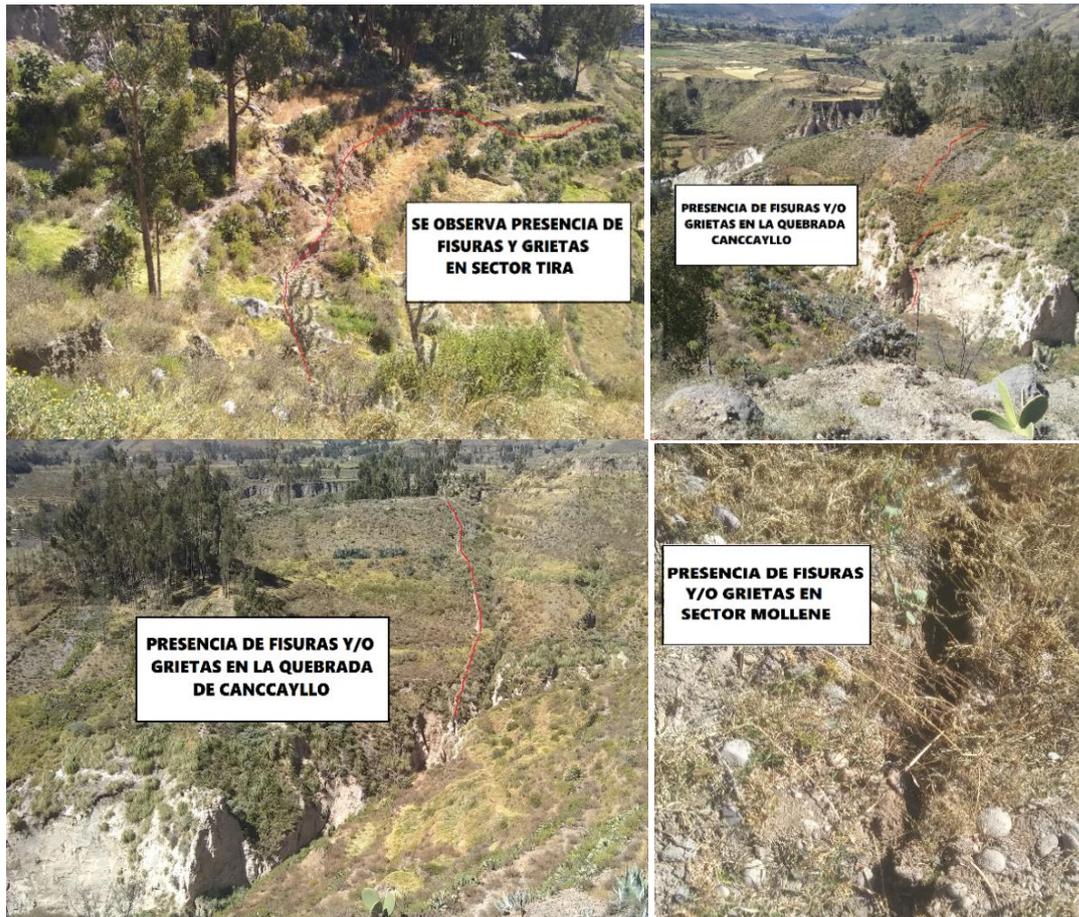


Figura 12. Fisuras y/o grietas en sectores afectados del distrito de Achoma.

Daños ocasionados

De acuerdo al informe N° 009-2020-JUSHMVC/GT, realizado por la Junta de Usuarios del sector hidráulico del Valle del Colca, indica que:

- El área agrícola afectada es de aproximadamente 36 has. Estas áreas son destinadas a la producción agrícola local que comprende cultivos de habas, papa, maíz, arvejas, cebada y alfalfa; y pecuario como vacuno lechero, de igual forma existen plantaciones de forestación, considerándose un aproximado de 96% de tierras agrícolas destinadas a producción.
- El número de agricultores afectados, quienes practican la actividad agropecuaria son 60 usuarios, en la mayoría, familias dedicadas a la agricultura de tenencia de tierra de minifundio.
- Canales de conducción y distribución de agua, con fines agrarios, que en su mayoría son rústicos (figura 13).
 - ✓ Canal principal de Huancaro que tiene una longitud de 1 km aproximadamente. Tiene un desnivel del suelo de 1 m de altura.
 - ✓ Canal Ccalcha 1 y 2, ambos tramos tienen aproximadamente de 0.5 a 0.8 km de longitud, presentando fisuras y agrietamientos ocasionando desniveles en la base de la sección del canal.



Figura 13. Canales obstruidos y/o colapsados, lo cual impide el riego por gravedad.

6. DESLIZAMIENTO DE ACHOMA OCURRIDO EL 18 DE JUNIO DEL 2020

El deslizamiento de Achoma está ubicado en la margen izquierda del río Colca. Se trata de un deslizamiento de tipo rotacional con desplazamiento retrogresivo (figura 14). El deslizamiento ocurrió el 18 de junio a la 01:42 a.m. Una gran masa de terrenos de cultivo se deslizó en dirección del río Colca, formando un dique natural y provocando el represamiento de las aguas del río (figuras 14 y 15). El dique natural tiene una altura de 75 m, longitud de 1140 m, área de 165,135 m² y volumen de 5 438,675 m³.

El embalse generado por el material acumulado continúa incrementando su volumen. Este embalse de aguas representa un peligro inminente, ya que en algún momento podría romper el dique temporal de tierra, y afectar a las poblaciones asentadas aguas abajo, así como áreas de cultivo, vías de acceso hacia los pueblos en ambas márgenes del río Colca.

Actualmente la carretera principal Achoma - Maca se encuentra a 370 m del cuerpo del deslizamiento de Achoma (figura 14). El comportamiento del deslizamiento amenaza con generar desprendimientos que podrían llegar a afectar la carretera. Además, a menos de 200 m de la escarpa, se encuentran minifundios donde habitan familias que se dedican a la agricultura y ganadería.

La escarpa principal del deslizamiento, es de forma cóncava, tiene entre 100 a 150 metros de altura, 950 metros de longitud y 500 metros de desplazamiento (desde la escarpa hasta el río Colca), siendo el área total del deslizamiento de 40 hectáreas y un volumen de 14 447,730 m³. En la escarpa del deslizamiento se puede observar que consiste en capas de conglomerados, intercaladas con capas de arenas y limoarcillitas. La capa de limoarcillita tiene aproximadamente 5 metros de espesor y se encuentra saturada. La disposición y características del material deslizado, hacen indicar una mayor saturación en su lado derecho.

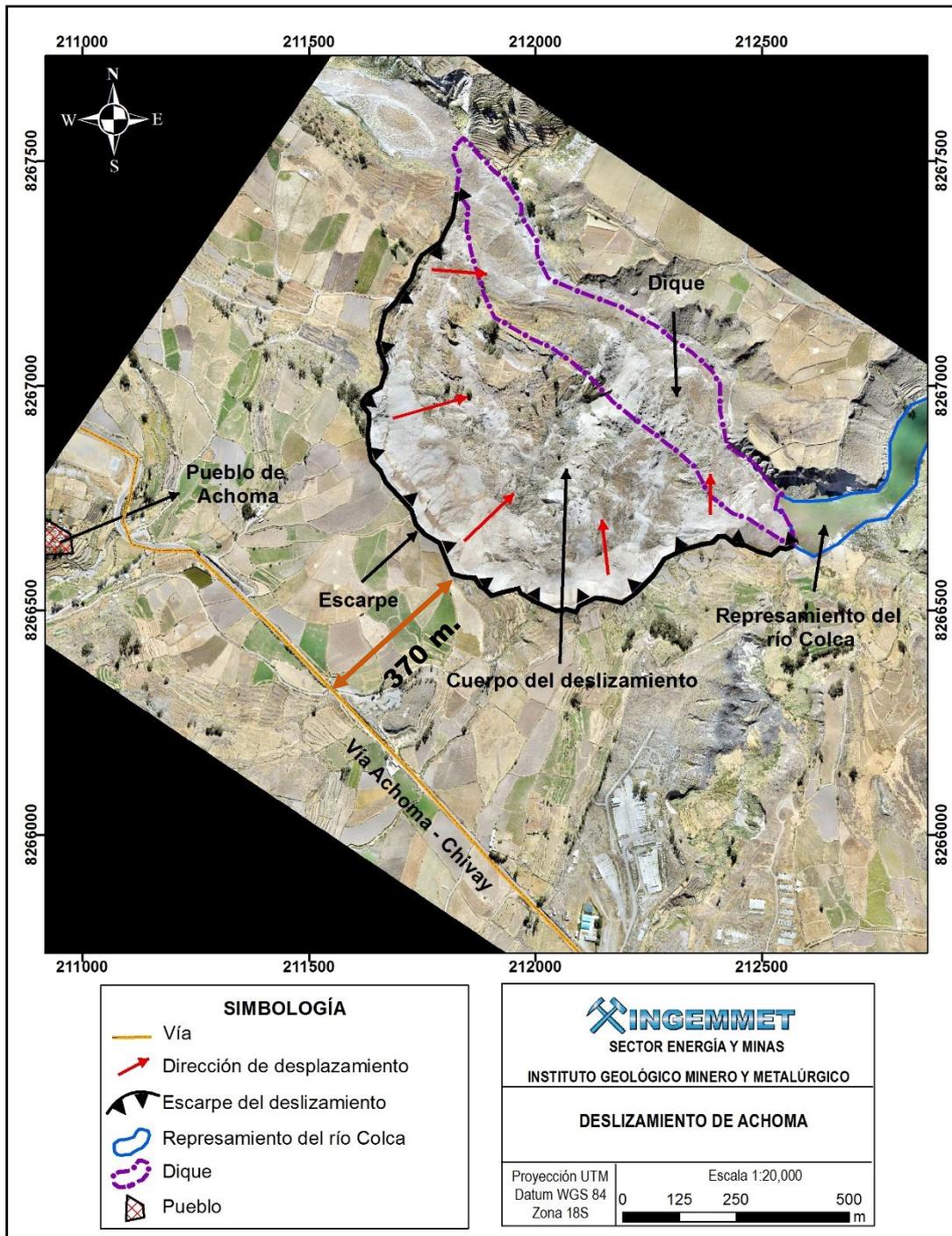


Figura 14. Deslizamiento de Achoma. Muestra la escarpa del deslizamiento, el dique y el represamiento del río Colca.



Figura 15. Imagen tomada con dron, muestra el deslizamiento de Achoma. Vista mirando al noroeste.

En la figura 16 se observan dos imágenes del área de estudio antes y después del deslizamiento. A la izquierda se muestra una imagen correspondiente al 8 de agosto del 2019 y a la derecha una imagen que corresponde al 22 de junio del 2020.

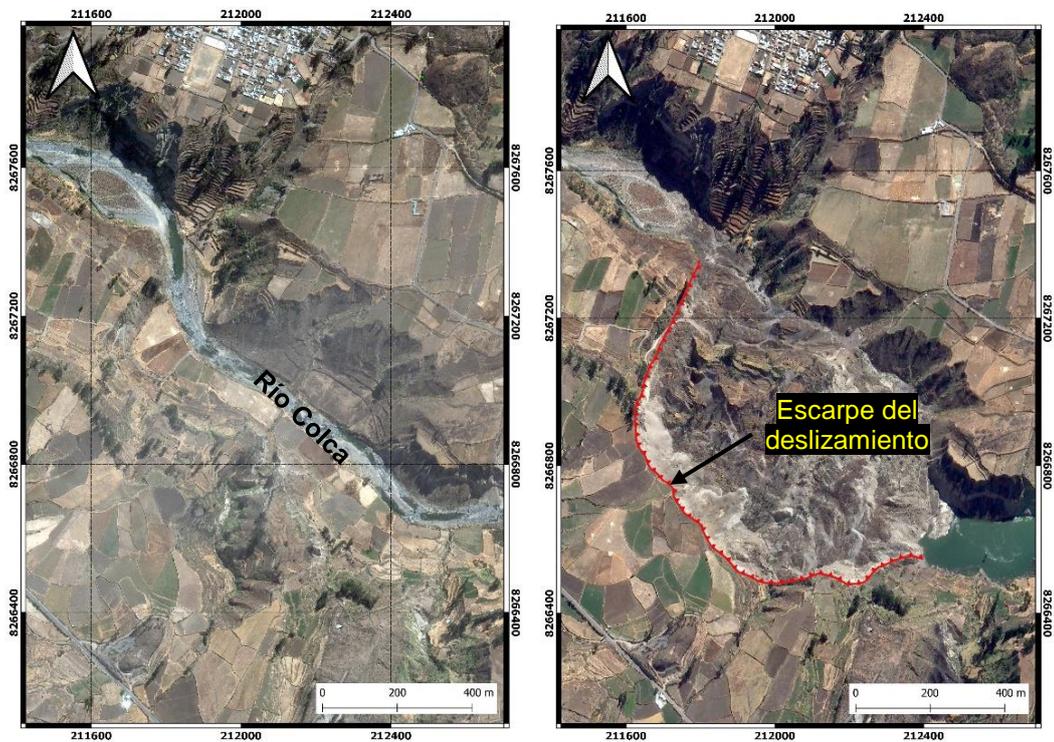


Figura 16. Imágenes antes y después del deslizamiento. Fuente: CONIDA (Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial)

En la figura 17 se muestran 5 perfiles que corresponden al deslizamiento de Achoma (A-A', B-B', C-C', D-D', E-E'). En estos perfiles se observa las cotas de este sector antes y después del deslizamiento. La línea negra representa las cotas del día 10 de junio del 2016 y la línea roja representa las cotas del día 19 de junio del 2020.

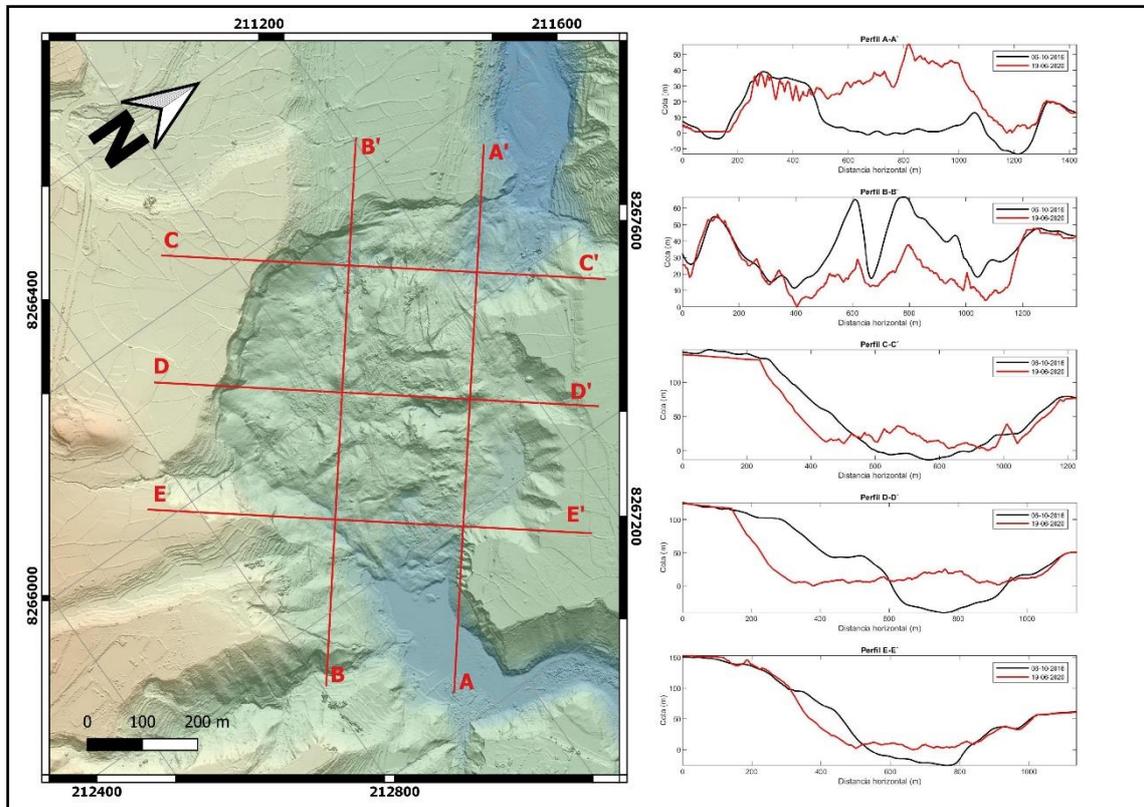


Figura 17. Perfiles en el deslizamiento de Achoma. Muestra las cotas antes y después del deslizamiento.

Factores condicionantes

- Incompetencia del material no consolidado, conformado por depósitos de conglomerados de origen fluvial-lacustre intercalados con capas de arenas y limoarcillitas. Las observaciones de campo permitieron corroborar que los depósitos de limoarcillitas se encuentran saturados de agua.
- Influencia de las aguas subterráneas (ojos de agua, manantiales, oconales, bofedales).

Factores desencadenantes

- Influencia Antrópica: El tipo de riego en el sector de Achoma es por inundación. Además, se observa que los canales no se encuentran revestidos (figura 18). Esto genera infiltraciones de agua y un efecto perjudicial sobre los suelos no consolidados y el avance del deslizamiento.
- Precipitaciones: El periodo de precipitaciones juega un rol importante en la aceleración o desaceleración del deslizamiento, principalmente cuando los valores son muy altos.



Figura 18. Canales de agua sin revestimiento.

Daños ocasionados por el deslizamiento

- Pérdida de 40 hectáreas de terreno de cultivo en el Distrito de Achoma.
- 6 animales domésticos perdidos en Achoma.
- 2 canales de riego destruidos en Achoma.

Es necesario mencionar que a 450 m al norte del poblado de Achoma, se ha identificado una zona de agrietamientos y hundimientos (círculo amarillo, figura 19). Se trata de 4 lineamientos de grietas que se encuentran en terrazas de terreno de cultivo (F1, F2, F3 y F4).

- La grieta F1, tiene una longitud de 50 m, entre 80 cm a 1m de altura, con azimut N335° (figura 20).
- La grieta F2, tiene una longitud de 8 m, entre 50 cm a 60 cm de altura, con azimut N295°.
- La grieta F3, tiene una longitud de 20 m, entre 2 m de altura, con azimut N280°.
- La grieta F4, tiene una longitud de 10 m de largo, entre 50 cm a 60 cm de altura, con azimut N315°.

En la parte baja de estas terrazas no se está cultivando; sin embargo, en la parte alta de las terrazas, donde se encuentra la grieta F1, se observó sembríos de ajo. Este tipo de sembríos requiere de mucha agua, por consiguiente, ocasiona mayor debilidad en los terrenos de esta zona. Este sector es altamente susceptible a ser afectado por deslizamientos. De ocurrir deslizamientos en esta zona, la masa deslizada formaría un dique natural y provocaría otro represamiento en el río Colca.

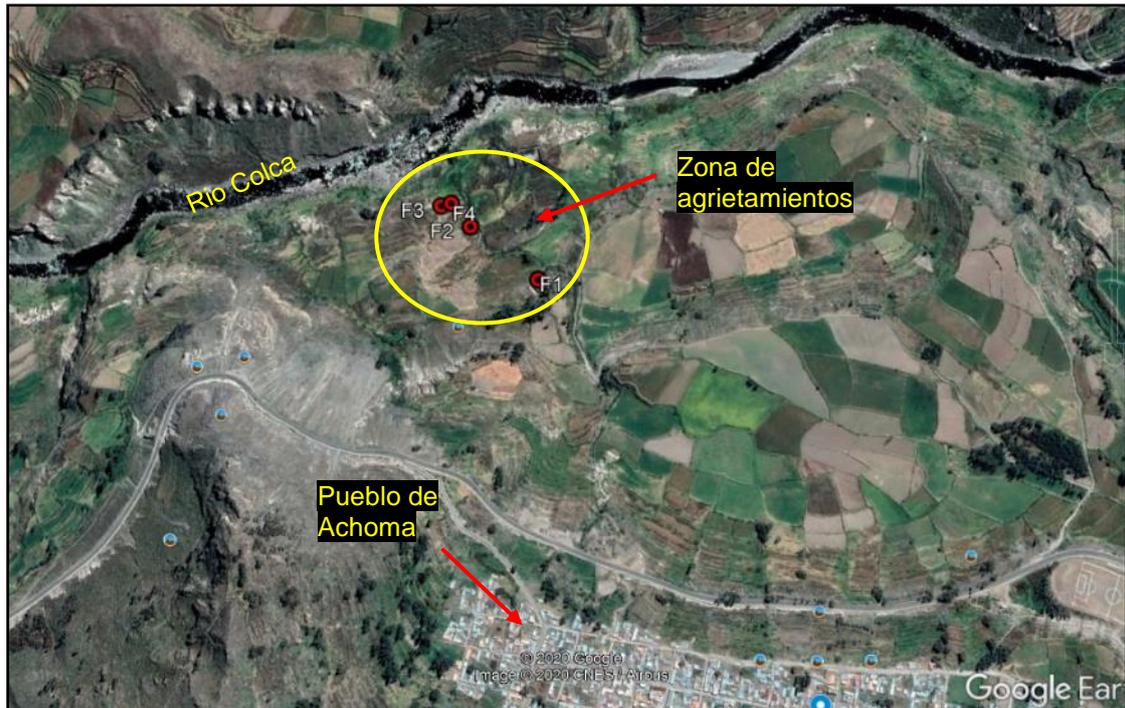


Figura 19. Zona de agrietamientos, localizados a 450 m al norte del pueblo de Achoma.



Figura 20. Grieta F1, en la parte alta de las terrazas de este sector.

Por otro lado, también se hizo una inspección en el canal de Majes, localizado a 2.5 km del pueblo de Achoma. En este sector se han observado varios tramos del canal con grietas y fracturas (figura 21), así como también en los afloramientos de roca volcánica que se encuentran en los alrededores de dicho canal. Las autoridades de la Municipalidad de Achoma indican que desde se construyó el canal, se vienen presentando infiltraciones de agua que migran hacia la zonas agrícolas de Achoma y saturan sus terrenos. Sin embargo, estas declaraciones no se pueden afirmar, ya que

se tienen que realizar estudios hidrogeológicos para determinar las fuentes de infiltración de aguas que producen la saturación de los suelos en Achoma.



Figura 21. Canal de Majes con grietas y fracturas en varios tramos.

7. SISMICIDAD ASOCIADA AL DESLIZAMIENTO DE ACHOMA

El día 18 de junio a las 06:42 UTC (1:42 am hora local) la estación de monitoreo del deslizamiento de Maca (MAC03), así como por la red sísmica del Observatorio Vulcanológico de INGEMMET que monitorea el volcán Sabancaya (SAB07, SAB11, SAB16 y SAL01), registraron un sismo de magnitud 3.2 MI. Este tuvo una duración de 3 minutos aproximadamente y fue registrada con mayor energía por la estación de MAC3 localizada a ~8 km al noroeste del centro poblado de Achoma (figura 22), y presenta características propias de un sismo de fuente superficial.

Dada la magnitud de este evento superficial, fue registrado, inclusive, por la estación del volcán Misti (MST01) ubicada a de 70 km de Achoma, tal como se puede ver en la figura 23.

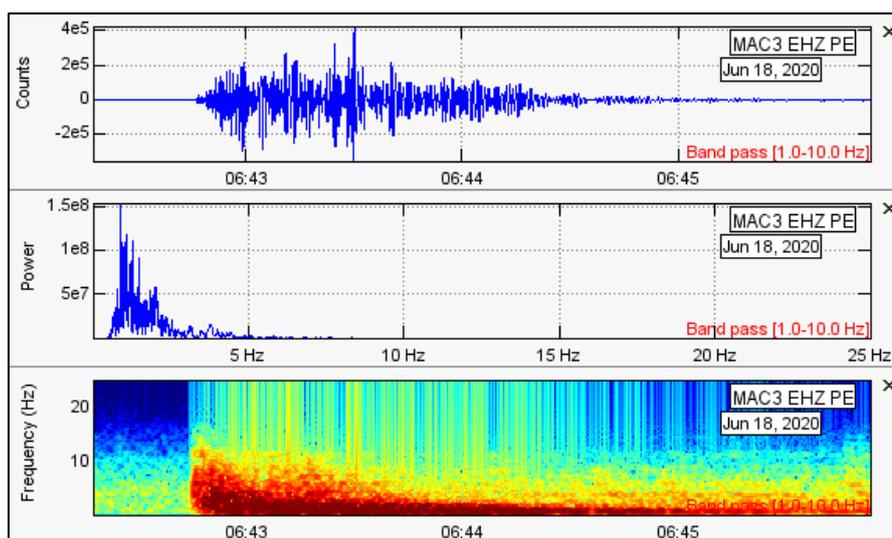


Figura 22. Sismograma, espectro de frecuencias y espectrograma del sismo registrado el día 18 de junio a las 06:42 hora UTC (01:42 am hora local) registrado en la estación MAC03.

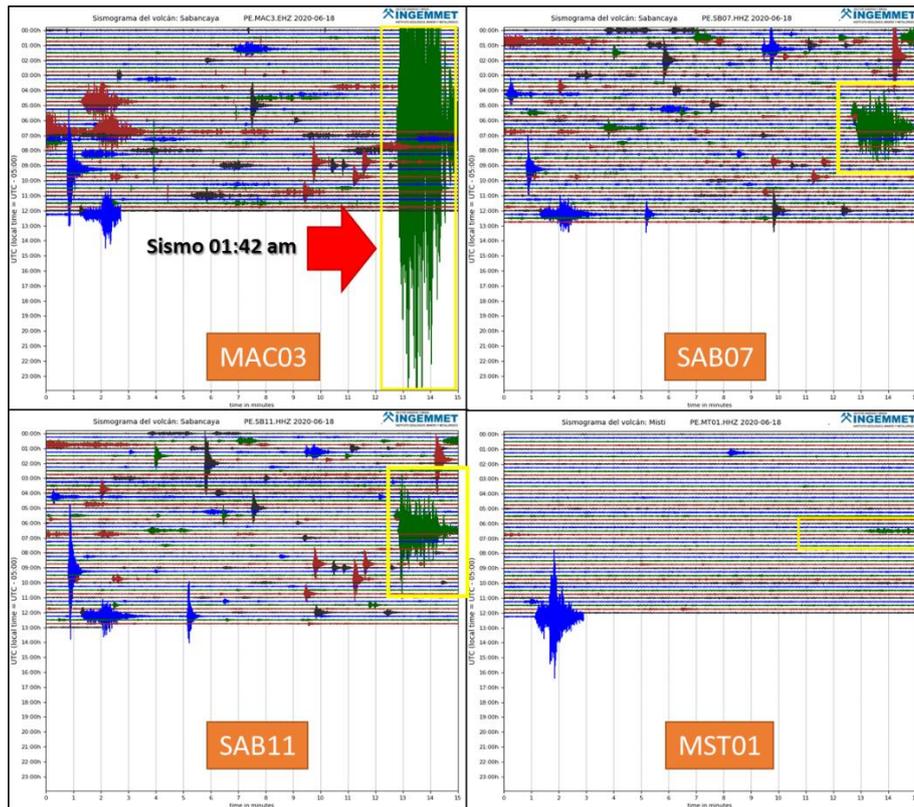


Figura 23. Helicordes sísmicos de las estaciones MAC03, SAB07, SAB11 y MST01, donde se observa el registro de un sismo a las 06:42 hora UTC (01:42 am hora local) resaltado en amarillo.

Como antecedentes de este deslizamiento, se encontró que a principios del mes de mayo la red sísmica del volcán Sabancaya y principalmente la estación MAC03 del deslizamiento de Maca, empezaron a registrar esporádicamente pequeños sismos de muy baja frecuencia (< 3 Hz), los cuales incrementaron en ocurrencia y energía entre el 07 y 12 de junio. Estos sismos están asociados a procesos superficiales, los cuales tuvieron una duración promedio de dos minutos y una tasa de ocurrencia entre 2 y 6 sismos por día, con magnitudes menores a 2.5 ML (figura 24). Sin embargo, a partir de esta fecha, no se ha vuelto a registrar este tipo de sismicidad, entrando en una etapa probablemente en que ya habían terminado de generar todas las grietas.

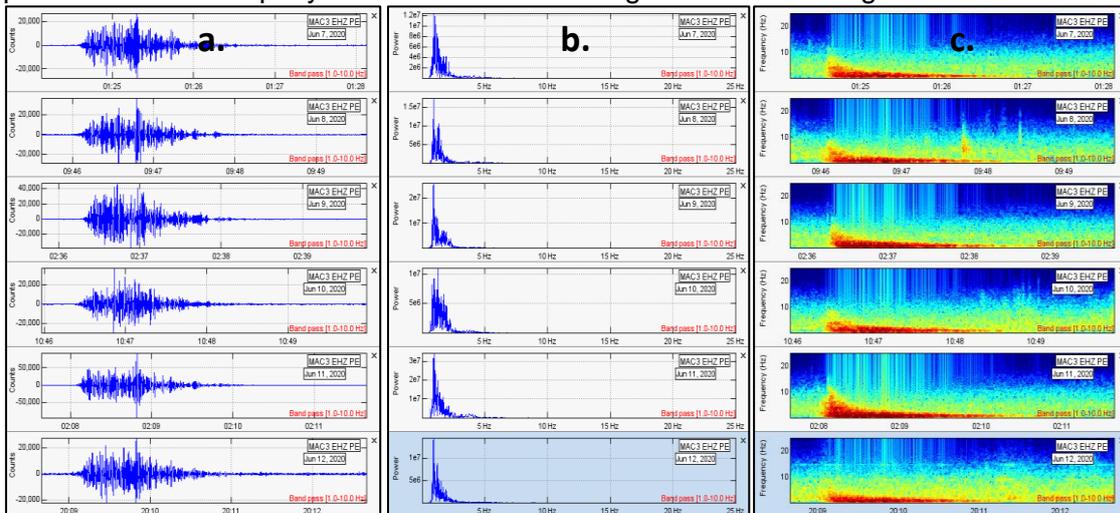


Figura 24. Ejemplo de eventos sísmicos de baja frecuencia registrados entre el 07 y 12 de junio por la estación MAC03 (ubicada en Maca). **a.** Formas de onda; **b.** Espectro de frecuencias; y **c.** Espectrograma.

8. MAPA DE PELIGROSIDAD A PROCESOS SÍSMICOS

Este mapa muestra el grado de afectación que sufriría el sector de Achoma ante la ocurrencia de un sismo originado por la reactivación de una falla geológica activa que se extiende cerca de la localidad de Maca, o por un sismo tectónico de intensidad considerable (sismo de subducción; Valderrama *et al.*, 2017). Se puede notar que todo el sector está en la Zona de Peligro Muy Alto, esto debido principalmente a las características geológicas del suelo (material no consolidado), que lo hacen muy susceptible a generar procesos de licuefacción de suelos durante un sismo que produciría el colapso de viviendas en la zona.

Asimismo, Benavente *et al.*, 2017, consigna el “Mapa de peligrosidad a procesos de licuefacción de suelos detonados por sismos de la falla Maca” (figura 25), que forma parte del Boletín Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Arequipa.

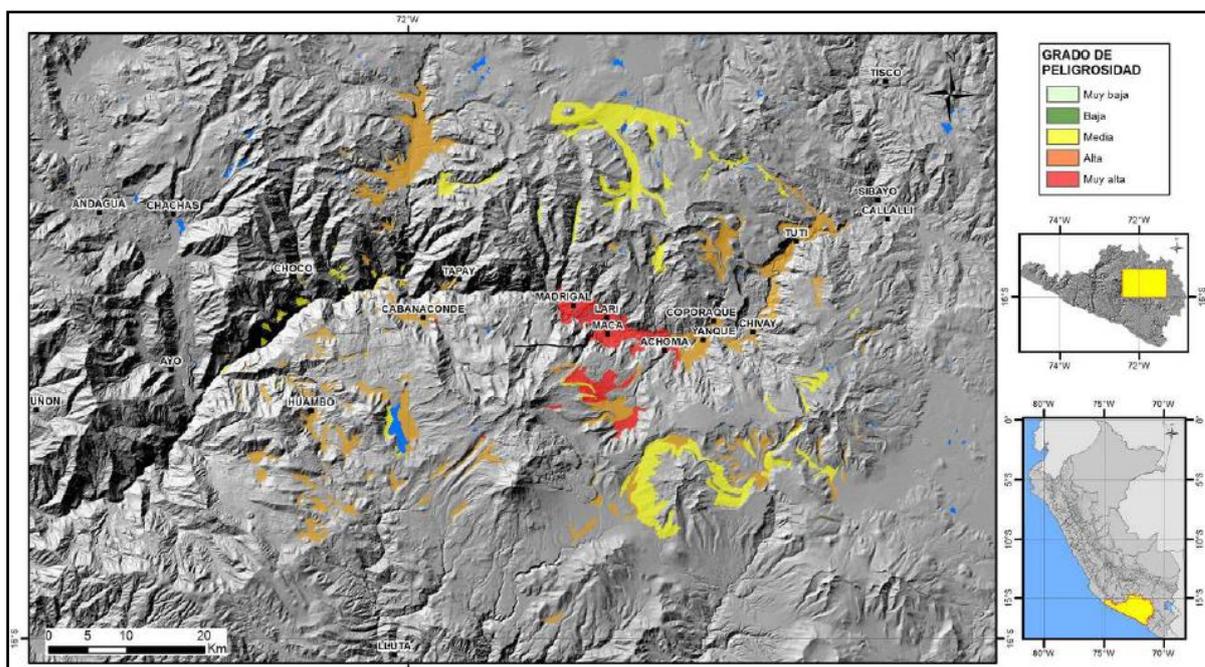


Figura 25. Mapa de peligros a procesos de licuefacción y/o asentamientos de suelos detonados por sismos de la Falla de Maca (Benavente *et al.*, 2017).

9. PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN

Las propuestas de intervención más resaltantes son:

- Urgente descolmatación controlada del material de embalse en el río Colca causado por el deslizamiento.
- Drenar el agua subterránea.
- Impermeabilizar y realizar el mantenimiento periódico de la totalidad de canales de riego y reservorios de irrigación.
- Refaccionar e impermeabilizar los sistemas de drenaje antiguos que poseen los sistemas de andenería.
- Implementar eficientes sistemas de riego de las áreas de cultivo, que permitan reducir la infiltración de aguas en los suelos.
- Reforestar el cuerpo del deslizamiento y áreas adyacentes, con plantas nativas.
- Promover el sembrío de cultivos que no requieran de mucha agua, por las condiciones geológicas del suelo.

Sistemas de drenaje.

Las medidas de drenaje tienen por finalidad eliminar o disminuir el agua presente en el talud y, por lo tanto, las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura y grietas de tracción. Estas medidas son generalmente más efectivas, y aunque el agua es el principal agente desencadenante de los problemas de inestabilidad de taludes, aumentado el peso de la misma masa inestable, elevando el nivel freático y las presiones intersticiales, creando empujes hidrostáticos restableciendo el terreno, erosionándolo, etc. (Alberti et al., 2006).

a) Drenaje superficial

Se llama drenaje superficial a todas las obras civiles que captan agua que discurre por la superficie para conducirlos a lugares donde su propia ubicación ya no es considerada como dañina a la estabilidad de un talud.

Los drenajes superficiales deben ser diseñados para evitar la llegada y acumulación de agua en el talud, sobre todo en la zona de la cabecera y en el caso de taludes escalonados, en las bermas, ya que es frecuente que se produzcan encharcamientos en la época de lluvia en las zonas planas.

Las principales obras de drenaje superficial son:

- ✓ Cuneta (figura 26)
- ✓ Contracunetas
- ✓ Cajas



Figura 26. Cunetas en bermas, en la corona de un talud, utilizando elementos prefabricados de concreto.

b) Drenaje subterráneo o subdrenaje.

El drenaje subterráneo en un talud se proyectara para controlar y/o limitar la humedad de la superficie y de los diversos elementos de un talud.

Sus funciones son las siguientes:

- ✓ Interceptar y desviar corrientes subterráneas.
- ✓ Hacer descender el nivel freático.
- ✓ Sanear las capas de talud, de material suelto y basura.

Un eficaz sistema de drenaje esta compuesto por tres elementos basicos: el drenante, que capta y conduce las aguas de infiltración/percolación, saneando el suelo; el filtrante, que impide el arrastre de particulas de suelo al interior del elemento drenante, lo que provocaría su colmatación y consecuente pérdida de flujo, y un colector que conduce el agua drenada para la descarga.

Drenaje longitudinal de zanja

Son estructuras que consisten en una zanja cuya profundidad oscila generalmente entre 1 a 1.5 m rellenas de un material filtrante debidamente compactado y provistas de un tubo perforado en su fondo que conecta el agua y por gravedad la conduce a lugares donde la descarga no ocasione peligro (figura 27).

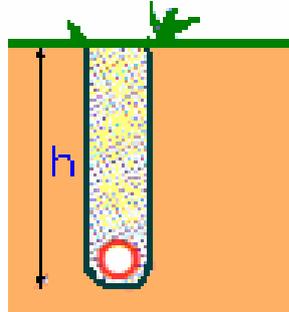


Figura 27. Detalle transversal de un drenaje longitudinal de Zanja.

Lo que se pretende al hacer uso de estas estructuras es dar protección a los taludes mediante la acción de interceptar el flujo de las aguas subterráneas que en muchos casos provienen del nivel freático (figura 28).



Figura 28. Zanja para la colocación de tubería de un drenaje longitudinal. Tomado de libro "Ingeniería Geológica".

Empleo de contrapesos al pie del talud

Al colocarle carga adicional a la base de un talud con una inestabilidad de deslizamiento de tipo rotacional se genera un momento en dirección contraria al movimiento, el cual produce un aumento en el factor de seguridad (figura 29; Alberti et al., 2006).

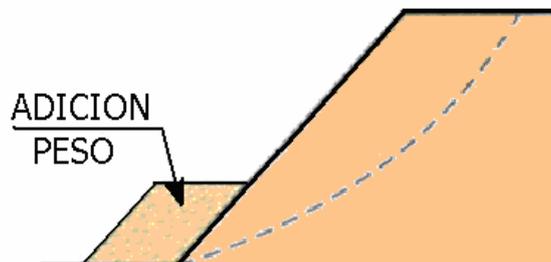


Figura 29. Área de colocación de material al pie del talud

El efecto del sistema de contrapeso es el de hacer que el círculo crítico en la parte inferior del talud se haga más largo (figura 30). Los contrapesos pueden ser estructuras con un muro de contención o rellenos de tierra armada, llantas, etc.

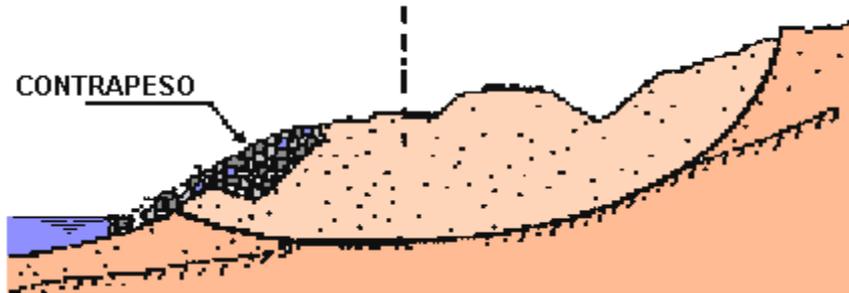


Figura 30. Colocación de contrapeso en talud.

Se debe hacer un análisis del peso requerido para lograr un factor de seguridad determinado. La adecuada cimentación de estos contrapesos debe ser requisito para que el sistema sea exitoso.

Las bermas o contrabermas son usadas para colocar una carga al pie de un terraplén sobre suelo blando y en esta forma aumentar la resistencia abajo del pie. La berma se coloca en el área que de acuerdo al análisis de estabilidad se puede levantar.

La contra berma debe diseñarse de tal forma que sea efectiva para garantizar la estabilidad del terraplén principal y que al mismo tiempo sea estable por sí misma. El efecto de la contraberma es crear un contrapeso que aumente la profundidad del círculo crítico de falla.

Una apropiada forma de la superficie de falla (de preferencia que tienda a elevarse bajo el contrapeso) y que en terreno en la zona de colocación tenga suficiente resistencia para soportar el peso que se impone, son probablemente las dos condiciones básicas que pueda pensarse en el empleo de esta solución.

Material, equipo y procedimiento

Se pueden generalizar como los procesos empleados en los de abatimiento de taludes de relleno, con la única diferencia que solo se realizan en el pie del talud.

CONCLUSIONES

- a) A 900 m al este del centro poblado de Achoma, en la margen izquierda del río Colca, se observó fisuras y agrietamientos en la zona agrícola de este sector. Entre las fechas del 9 y 13 de mayo del 2020, se presentaron grietas y fisuras en el suelo, afectando los predios agrícolas ubicados en los sectores de Huncaro, Quello, Tanccayllo, Ccalcha, Tira y Airampuni, jurisdicción de la Junta de Usuarios Achoma Anansaya, Distrito de Achoma.
- b) El deslizamiento de Achoma ocurrido el 18 de junio a la 01:42 horas, dejó un área de 40 hectáreas de terreno de cultivo que se deslizó en dirección del río Colca, formando un dique natural de 1140 m de longitud y 75 m de altura promedio, y originando su represamiento. Este embalse de aguas representa un peligro inminente, al poder aumentar el nivel de agua. Su desembalse brusco podría afectar a las poblaciones asentadas aguas abajo del río, principalmente áreas de cultivo y carretera.
- c) El deslizamiento de Achoma del 18 de junio originó un sismo que fue registrado por la estación de Maca (MAC03) localizada a ~8 km al noroeste de Achoma, como por la red sísmica del volcán Sabancaya (SAB07, SAB11, SAB16 y SAL01), incluso por la estación del volcán Misti denominada MST01, ubicada a más de 70 km de Achoma. El sismo tuvo una duración de 3 minutos aproximadamente con una magnitud de 3.2 MI y se produjo como consecuencia del deslizamiento. Además, a principios del mes de mayo la estación Maca y la red sísmica del volcán Sabancaya, empezaron a registrar esporádicamente pequeños eventos sísmicos de muy baja frecuencia (banda frecuencial < 3 Hz), los cuales incrementaron en ocurrencia y energía en junio.
- d) El deslizamiento de Achoma es de tipo rotacional con desplazamiento retrogresivo. La escarpa principal del deslizamiento tiene entre 100 a 150 metros de altura, 950 metros de longitud y 500 metros de desplazamiento. Generó el desplazamiento de una masa con un volumen de 14 447,730 m³. La carretera Asfaltada Achoma - Maca se encuentra a solo 370 m de la escarpa principal del deslizamiento; además, a menos de 200 m de la escarpa, se encuentran minifundios donde habitan familias.
- e) La característica de los suelos que constituyen la zona del deslizamiento (intercalaciones de limoarcillitas color pardo oscuro saturadas, niveles de areniscas de color gris y niveles de conglomerados polimícticos no consolidados), los hace considerar desde el punto de vista geotécnico como de mala calidad, que podrían implicar nuevos deslizamientos. La mayoría de deslizamientos existentes en el valle del Colca (como Lari, Madrigal, entre otros), ocurren en este tipo de materiales geológicos conocidos como Formación Colca.
- f) A consecuencia del deslizamiento, se han perdido 40 hectáreas de terreno de cultivo en el Distrito de Achoma. Además, seis animales perdidos y dos canales de riego destruidos en Achoma.
- g) A 450 m al norte del poblado de Achoma, se identificó una zona de agrietamientos y hundimientos en las terrazas de terreno de cultivo. Este sector es altamente susceptible a ser afectado por deslizamientos. De ocurrir el evento mencionado en esta zona, la masa deslizada podría originar otro represamiento en el río Colca, de manera similar al ocurrido el 18 de junio.

- h) El área de estudio se encuentra en una **Zona de Peligro Muy Alto**. Esto es debido principalmente a las características geológicas del suelo, humedad e infiltraciones de agua en este sector, que lo hacen muy susceptible a generar procesos de movimientos en masa durante un sismo que produciría el colapso de infraestructura en la zona, así como pérdida de terrenos de cultivo. En tal sentido, la ocurrencia de factores desencadenantes (sismos excepcionales, sismos continuos, precipitaciones intensas y/o actividad antrópica), pueden provocar el futuro agrietamientos y avance retrogresivo del deslizamiento.

RECOMENDACIONES

1. Descolmatación controlada del represamiento del río Colca provocado por el deslizamiento.
2. Restringir el acceso de las personas a la zona del deslizamiento.
3. Reducir el caudal de río Colca controlando los aportes del sistema de riego controlado en la parte alta.
4. Implementar un plan de contingencia para evitar daños que pudiera provocar el desborde no controlado del dique natural formado, por el deslizamiento.
5. Implementar sistemas de monitoreo permanente del deslizamiento de Achoma.
6. Realizar estudios hidrogeológicos para determinar las fuentes de infiltración de aguas que producen la saturación de los suelos.
7. Prohibir la construcción de carreteras, caminos de herradura, canales de riego u otra actividad antrópica, dentro y en los alrededores del cuerpo activo del deslizamiento de Achoma.
8. Reasentar a la población que habita en los minifundios de las zonas cercanas al cuerpo del deslizamiento activo, ya que representa una amenaza para la vida y bienestar de los pobladores de la zona.
9. Para evitar que se acelere la ocurrencia a movimientos en masa en el sector afectado, se recomienda evitar infiltraciones de agua en el suelo, a través de cambio de técnicas de riego con asesoramiento de las entidades correspondientes. De ser posible, no realizar prácticas agrícolas dentro del sector afectado, especialmente desde el escarpe del deslizamiento hasta la carretera Achoma-Chivay, localizada a 370 m del escarpe.



Jessica Carolina Vela Valdez
Ingeniera Geóloga
CIP N° 215198



César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benavente C.; Delgado G.; García B.; Aguirre E. (2017). Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

Cerpa L. & Paniagua M. (2009). Carta Geológica del Perú: Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chivay, Hoja 32-s, Cuadrante I, escala 1:50 000. Mapa publicado por Ingemmet.

KLINCK, B.A., ELLISON, R.A., HAWKINS, M.P. (1986) - The geology of the Cordillera Occidental and Altiplano, west of Lake Titicaca, southern Peru. INGEMMET, Preliminary Report Lima.

THOURET, J.C., WÖRNER G., GUNNELL Y., SINGER B., ZHANG X., SOURIOT T. (2007) - Geochronologic and stratigraphic constraints on canyon incision and Miocene uplift of the Central Andes in Peru. Earth Plan. Sci. Letters, 263 : 151-166.

Zavala B, Mariño J., Lacroix P., Taïpe E., Tatard L., Benavente C., Pari W., Macedo L., Peña F., Paxi R., Delgado F., Fídel 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 C. (2012). Evaluación de la Seguridad Física del Distrito de Maca. Informe Técnico Nro A6628, INGEMMET.