

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6986

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE COCHACALLAN

Región Arequipa
Provincia La Unión
Distrito Cotahuasi



DICIEMBRE
2019

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Metodología de trabajo.....	2
1.2 Objetivo del estudio.....	2
2. GENERALIDADES.....	2
2.1 Ubicación y accesibilidad.....	2
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	4
4. ASPECTOS GEOMORFÓLOGICOS.....	9
4.1 GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL.....	10
4.2 GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL O AGRADACIONAL....	10
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	12
6. PELIGROS GEOLÓGICOS EN COCHACALLAN.....	12
6.1 Sector I.....	13
6.2 Sector II.....	18
6.3 Sector III.....	22
7. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS.....	26
Para deslizamientos.....	26
Para caída de rocas.....	27
Para cárcavas.....	29
CONCLUSIONES.....	31
RECOMENDACIONES.....	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
GLOSARIO.....	36

RESUMEN

El informe de inspección contiene datos de observaciones realizadas en el sector Cochacallan, Chaucavilca y Cachana, ubicado en el distrito de Cotahuasi, provincia La Unión, departamento de Arequipa.

En el área de estudio las unidades litoestratigráficas las más antiguas corresponden a secuencias sedimentarias del Mesozoico, conformadas por las Formaciones Labra, Hualhuani, Murco y Arcurquina, secuencias volcánicas del Cenozoico, conformadas por el Grupo Tacaza, Centro Volcánico Solimana, Grupo Andagua y Formación Cotahuasi; así como, depósitos aluviales y coluviales de edad cuaternaria.

Los peligros geológicos identificados en la zona evaluada están condicionados por la naturaleza litológica de la zona, la pendiente de las laderas, la configuración geomorfológica y la proximidad a fallas geológicas que cruzan de manera transversal el valle de Cotahuasi. Entre los principales y más recurrentes se encuentran los deslizamientos, seguido de erosiones de laderas (cárcavas) y caída de rocas.

Para temas de evaluación en la zona, se ha diferenciado tres sectores. El sector I, ubicado en inmediaciones del caserío Cochacallan es susceptible a la ocurrencia de múltiples peligros geológicos, principalmente a deslizamientos. Los terrenos en la zona están condicionados por rocas de mala calidad, conformadas principalmente por suelos retrabajados, provenientes de deslizamientos antiguos. Suelos inestables saturados de agua y la existencia de una falla de rumbo con dirección NW-SE, que cruza muy próximo al caserío Cochacallan; además, los canales de regadío presentan fisuras y revestimiento precario que dejan escapar agua y satura los terrenos en la parte baja; por tal motivo Cochacallan y el nuevo trazo de la carretera Cotahuasi - Chaucavilca están ubicados en una **ZONA DE MUY ALTO PELIGRO**; para lo cual se recomienda realizar un nuevo trazo de la carretera Cotahuasi – Chaucavilca por la parte baja de Chaucavilca, teniendo en cuenta estudios geotécnicos.

El sector II está ubicado en inmediaciones del anexo Chaucavilca. El sector es susceptible a la ocurrencia de múltiples peligros geológicos, principalmente deslizamientos y caída de rocas. Los terrenos en la zona están condicionados por rocas de mala calidad, conformadas principalmente por suelos retrabajados, provenientes de deslizamientos antiguos. El anexo Chaucavilca está ubicado en una **ZONA DE ALTO PELIGRO**.

El sector III, ubicado en inmediaciones del anexo Cachana es susceptible a la ocurrencia de peligros geológicos, principalmente deslizamientos, caída de rocas y erosión de ladera. Los terrenos en la zona están condicionados por rocas de mala calidad, conformadas principalmente por suelos retrabajados, provenientes de deslizamientos antiguos y a la existencia de fallas que cruzan este sector. La infraestructura de riego del anexo Cachana (posa de agua) está ubicado en una **ZONA DE MUY ALTO PELIGRO**. Se recomienda hacer nuevos trazos de carretera de acuerdo a estudios detallados, conforme se menciona en el informe.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus funciones brinda asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, que permite identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas urbanas o rurales, que podrían verse afectadas por fenómenos geológicos que pudiera desencadenar en desastres; enmarcados dentro de la actividad 07 de asistencia técnica en evaluación de peligros geológicos a nivel nacional de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

El Gobierno Regional de Arequipa, mediante el oficio N° 453-2019-MPLU, de fecha 18 de junio del presente año, solicita una evaluación técnica en el sector de Cochacallan, anexo Chaucavilca, distrito Cotahuasi, provincia La Unión, región Arequipa. Para lo cual se delega a los ingenieros, Yhon Soncco, David Prudencio y Jessica Vela; atender dicha solicitud, la misma que se atendió con fecha 22 de octubre del presente año.

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 de recursos bibliográficos de estudios anteriores realizados en la zona de estudio. Se elaboraron mapas de fotointerpretación, para ello se utilizaron imágenes satelitales Rapid-Eye y Landsat de los años 2018 – 2019.

1.1.2. Trabajos de campo

El trabajo de campo se realizó en 1 día; donde se elaboró el cartografiado a detalle de peligros geológicos.

1.1.3. Trabajo de gabinete

Los trabajos realizados en esta etapa consistieron en elaborar mapas geológicos y de peligros geológicos para la zona de estudio. Los trabajos culminaron con la redacción del informe técnico.

1.2 Objetivo del estudio

- Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que podrían afectar la zona de estudio.
- Emitir recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros.

2. GENERALIDADES

2.1 Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio (sectores Cochacallan, Chaucavilca y Cachana), se localizan en el distrito de Cotahuasi, provincia La Unión, Región Arequipa (figura 1). Aproximadamente se encuentran a 3 km al este del centro poblado de Cotahuasi.

La zona es accesible desde Arequipa por la carretera asfaltada Arequipa - Aplao (Valle de Majes) - Chuquibamba – Cotahuasi (figura 2). El viaje dura aproximadamente 7 horas.

Tramo		Km.	Tipo de vía	Duración (h)
Arequipa	Aplao	178.7	asfaltada	3h 9min
Aplao	Chuquibamba	49.5	asfaltada	1h 7min
Chuquibamba	Cotahuasi	142.0	asfaltada	2h 36min

Coordenadas geográficas de las zonas de estudio:

Zonas de estudio	Coordenadas
Sector Cochacallan	– 15°12'45.49"S – 72°52'16.01"O
Sector Chaucavilca	– 15°12'41.53"S – 72°51'37.69"O
Sector Cachana	– 15°13'24.57" – 72°51'52.64"O

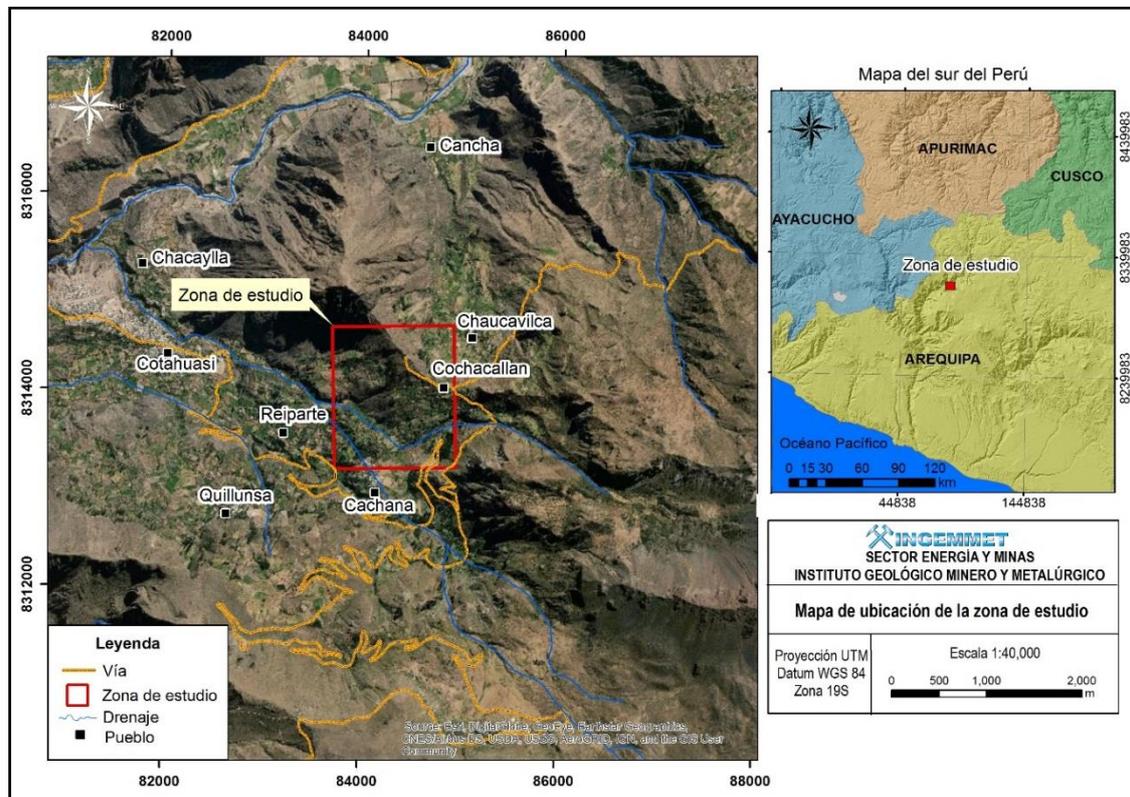


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.



Figura 2. Ruta de acceso desde Arequipa por la carretera asfaltada hasta Cotahuasi.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para el análisis geológico de la zona de estudio se tomó como referencia la geología descrita en el boletín N° 50 Serie A, denominado Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi (hojas 32-q y 31-q) elaborado por E. Olchanski y David Davila, et al (1994).

Las unidades litoestratigráficas más antiguas que afloran en el área de estudio corresponden a secuencias sedimentarias del Mesozoico, conformadas por las Formaciones Labra, Hualhuani, Murco y Arcurquina. También afloran secuencias volcánicas del Cenozoico, conformadas por el Grupo Tacaza, Centro Volcánico Solimana, Grupo Andagua y Formación Cotahuasi; así como, depósitos aluviales y coluviales de edad cuaternaria (figura 3).

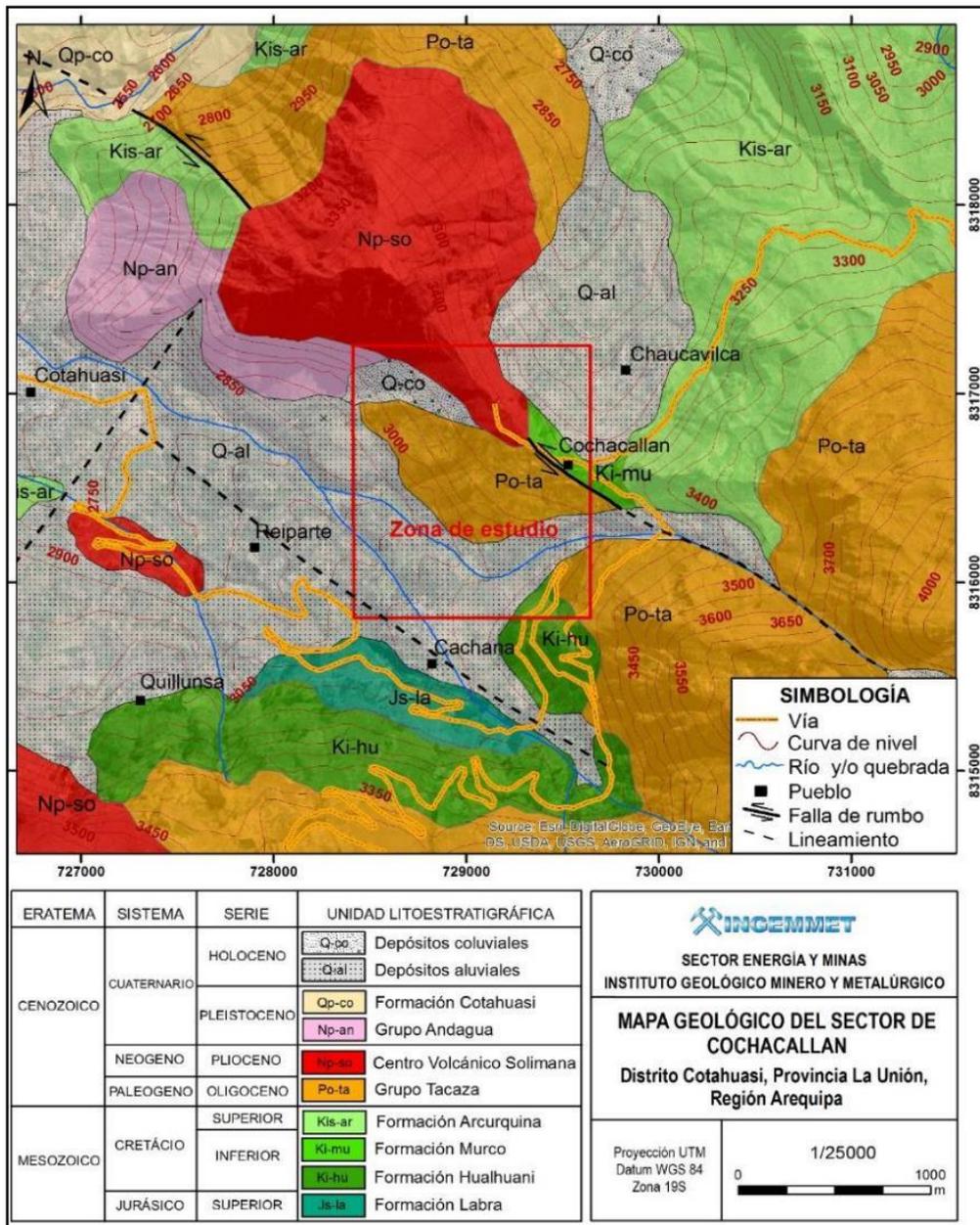


Figura 3. Mapa geológico del sector Cochacallan, tomado de Davila y Olchanski (1994).

- a) **Formación Labra:** Estos depósitos afloran al sur de la zona de estudio (figura 3), constituido por areniscas, areniscas cuarcíticas y cuarcitas, son de color gris claro a pardusco, por intemperismo amarillo rojizas y rosado parduscas. Son de grano medio, con óxidos de fierro en manchas diseminadas. Forman capas de grosor variable y generalmente presentan estratificación cruzada y restos de plantas. Están intercaladas con paquetes gruesos de arcillitas negras, que hacia la base son gris oscuras o carbonosas. La edad de estas rocas es Jurásico superior (Davila et al., 2010).
 Estos depósitos se presentan susceptibles a la generación de caídas de rocas.

- b) Formación Hualhuani:** Estos depósitos afloran a 1 km al sur de la zona de estudio, constituido de areniscas cuarcíticas y cuarcitas de grano grueso, de color blanco que por intemperismo se torna rojo amarillento claro (figura 4). Las rocas de la Formación Hualhuani forman generalmente bancos gruesos, a excepción de la parte media, donde son delgados; y en todos ellos es frecuente la estratificación cruzada y la presencia de restos vegetales. En algunos sectores las areniscas son algo friables, de color pardo claro a violáceo y de grano variable y se intercalan con cuarcitas violáceas de grano fino. Tiene un espesor aproximado de 80 m. La edad de estas rocas es Cretáceo inferior (Davila et al., 2010). Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos.



Figura 4. Afloramientos de la Formación Hualhuani. Sobreyacen rocas del Grupo Tacaza.

- c) Formación Murco:** Constituido por arcillitas de diferentes colores y areniscas blancas o amarillentas. En las areniscas blancas se puede observar nítidamente los granos de cuarzo, aunque la unidad muestra bastante oxidación. En la zona de estudio estos depósitos son afectados por una falla de rumbo con dirección NW-SE (figuras 3 y 5). La Formación Murco descansa concordante sobre las areniscas blancas de la Formación Hualhuani, con igual relación infrayace a las calizas de la Formación Arcurquina. Su espesor llega hasta 250 metros. La Formación Murco es equivalente a los afloramientos de la Formación Murco del área de Arequipa, descritos por Jenks (1948), así como también de las Formaciones Huancané de la región del Lago Titicaca, Farrat y del Grupo Goyllarisquizga del Norte y Centro del Perú. La edad de estas rocas es Cretáceo inferior (Davila et al., 2010).

Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos.

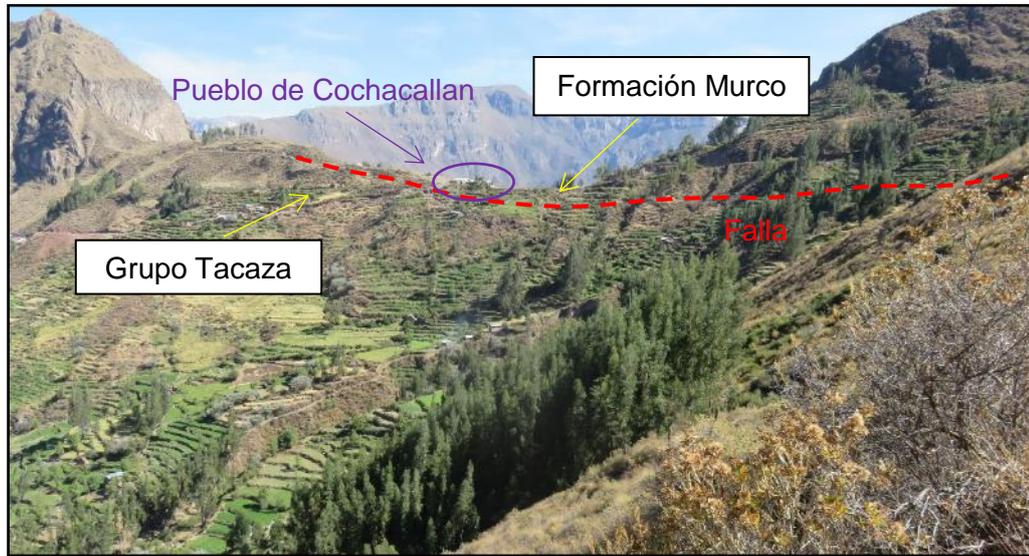


Figura 5. Falla con dirección NW-SE. Afecta a las rocas del Grupo Tacaza y Formación Murco.

d) Formación Arcurquina: Estos depósitos afloran al este y oeste de la zona de estudio (figura 6), conformado por calizas grises, se presentan en estratos gruesos que llegan hasta 2 m de espesor. La Formación Arcurquina descansa concordante sobre la Formación Murco. En los alrededores del pueblo de Chaucaivilca, la caliza se encuentra bastante fracturada y brechosa. En el pueblo de Taurisma se han encontrado abundantes restos de fósiles, la mayoría con dimensiones menores de 1 cm. La edad de estas rocas es Cretáceo superior (Davila et al., 2010). Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos.



Figura 6. Afloramientos de la Formación Arcurquina en los alrededores del pueblo de Chaucavilca.

e) Grupo Tacaza: Este grupo aflora dentro de la zona de estudio, conformado por rocas volcánicas, en especial piroclásticas con algo de sedimentitas. Las ignimbritas son de grano medio y de color gris, que están intruídas por tonalita de grano fino y también se observan óxidos de cobre. El Grupo Tacaza tiene un espesor de hasta 1,500m aproximadamente. En la zona de estudio estos depósitos están afectados por una falla de rumbo con dirección NW-SE (figuras 3 y 5). La topografía que presenta es ondulada y no se observan farallones; la inclinación de los volcánicos se debe mayormente por los desplazamientos ocasionados por fallas. La edad de estas rocas es Paleogeno - Oligoceno (Davila et al., 2010).

Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos.

f) Centro Volcánico Solimana: Aflora al norte de la zona de estudio (figura 7), conformado por tobas blanquecinas, con pómez masivas porfiríticas en cristales de biotitas, y tobas vítricas ricas en líticos volcánicos heterogéneos. Tiene un espesor aproximado de 800 m. La edad de estas rocas es Neogeno - Plioceno (Davila et al., 2010).

Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos.

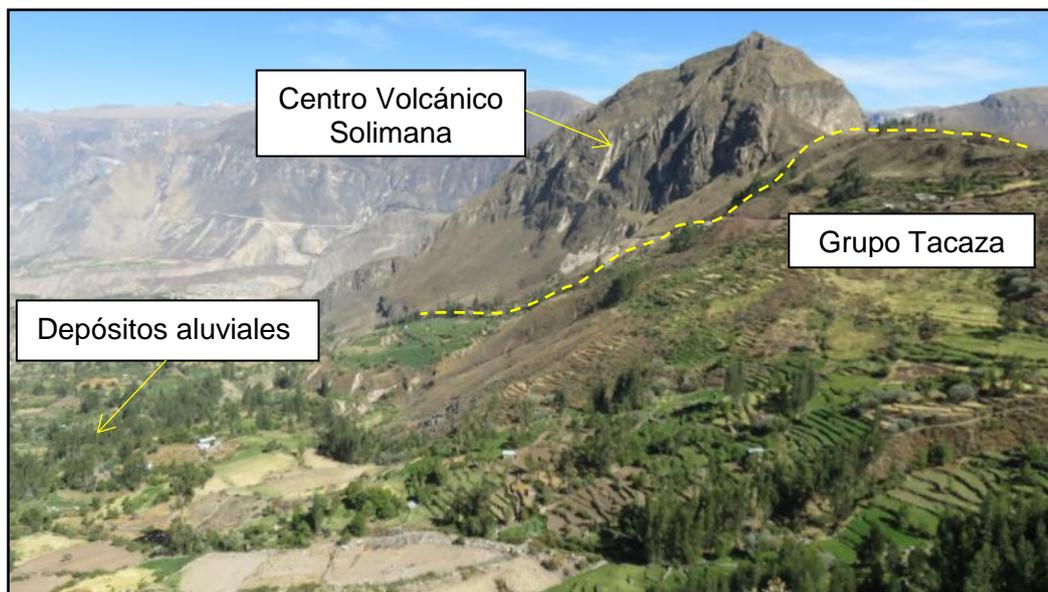


Figura 7. Afloramiento del Centro Volcánico Solimana, sobreyaciendo a rocas del Grupo Tacaza.

g) Grupo Andagua: Aflora al noroeste de la zona de estudio (figura 3). Su nombre proviene del área del valle Andahua en el cuadrángulo de Orcopampa, donde J. Caldas (1993), ha descrito el Grupo Andagua, constituido por rocas volcánicas lávicas y piroclásticas de composición

andesítica a dacítica. El Grupo Andagua se extiende hacia los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, compuestos por pequeños conos volcánicos y flujos de lava de recorrido corto. En general, la composición de las lavas, son andesitas de color gris oscuro a negruzco. La edad de estas rocas es Cuaternario - Pleistoceno (Davila et al., 2010). Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos.

h) Formación Cotahuasi: Este grupo aflora al noroeste de la zona de estudio (figura 3), conformado por intercalaciones de conglomerados matriz soportados, areniscas de grano medio a fino, limolitas gris blanquecinas, tobas de cristales, tobas de lapilli y lahares. Presenta un espesor aproximado de 250 m. La edad de estas rocas es Cuaternario - Pleistoceno (Davila et al., 2010).

Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos.

i) Depósitos Aluviales: A lo largo del valle de Cotahuasi se distinguen varios niveles de terrazas aluviales que conforman espesores de 5 a 20 m (figura 7). Litológicamente está conformado por arcillas, conglomerados y gravas. Al sureste del cuadrángulo de Chuquibamba, en el límite con el cuadrángulo de La Yesera, se presentan unos conglomerados que han sido redepositados sobre las Formaciones Caravelí y Sotillo. Están constituidos por rodados de cuarcitas, calizas y rocas intrusivas que han sufrido mucho transporte; su superficie es de color gris rojizo y su topografía es de relieve moderado. Otros depósitos recientes se encuentran en algunas pampas en el cuadrángulo de Cotahuasi, sobre los 3,400 m s.n.m. Están constituidas por un material suelto, fino, que, en muchos lugares por la presencia de agua, están formando bofedales, como el de Puchuncho (Davila et al., 2010).

j) Depósitos coluviales. Los depósitos coluviales se encuentran en las laderas, constituyendo depósitos de pie de monte, producto de caídas de rocas o derrumbes de corto recorrido. En el sector de Cachana, estos depósitos están conformados por material heterométrico, de dimensiones milimétricas a centimétricas, que soportan bloques decimétricos e incluso métricos. Los bloques son normalmente angulosos a sub-angulosos y de litología diversa, principalmente caliza, lava e ignimbrita. Posee espesor variable, dependiendo de la pendiente y morfología de las laderas de los cerros.

4. ASPECTOS GEOMORFÓLOGICOS

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas de la zona de estudio, se consideran criterios de control como: la homogeneidad litológica y la caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión o denudación y sedimentación o acumulación.

Tomando como base y referencia clasificación y estandarización utilizada en la elaboración del mapa geológico del Perú, elaborado por el INGENMET y

estipulado en documento ISO, como especificación técnica DGAR-ET-002 y Manual guía para la elaboración de mapas productos de a DGAR DEGAR-M-002

4.1 GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005). Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas. Dentro de este grupo se tiene la siguiente unidad:

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 y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

- a) Subunidad de montaña en roca volcánica (RM-rv):** Esta unidad geomorfológica posee un relieve agreste, con pendientes de hasta 70° (figura 8), se presenta formando las altas cumbres en la zona de estudio. Litológicamente está compuesto de rocas del grupo Andagua y el Centro Volcánico Solimana. Esta unidad es susceptible a generar caídas de rocas, deslizamientos y derrumbes.
- b) Subunidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs):** Esta unidad geomorfológica está conformada por anticlinales y sinclinales con superficies onduladas y disectadas por quebradas ligeramente profundas. Las laderas presentan pendiente de 30° a 50°, litológicamente estas montañas están compuestas por rocas de la Formación Labra, Hualhuani, Murco y Arcurquina (figura 8). Esta unidad es susceptible a generar caídas de rocas, deslizamientos y derrumbes.
- c) Subunidad de montaña en roca volcano-sedimentaria (RM-rvs):** Relieve con pendientes abruptas y erosionadas resultantes de la depositación de flujos piroclásticos o ignimbritas. Corresponden a acumulaciones de materiales volcánicos del tipo de derrames lávicos, piroclásticos o intercalaciones de ambos, que muestran diversos grados de erosión (figura 8). Litológicamente están compuestas por lavas de composición dacíticas-riolíticas e ignimbritas del Grupo Tacaza. Esta unidad es susceptible a generar caídas de rocas, deslizamientos y derrumbes.

4.2 GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL O AGRADACIONAL

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos a los que se puede denominar constructivos, determinados por fuerzas de

desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía y vientos; los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados (Villota, 2005).

Unidad de piedemonte

Corresponde a acumulaciones de materiales sueltos al pie de sistemas de montañas o colinas.

- a) **Subunidad de Vertiente o piedemonte coluvio - deluvial (V-cd):** Esta unidad corresponde a las acumulaciones de laderas originadas por procesos de movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas), así como también por la acumulación de material fino y detrítico, caídos o lavados por escorrentía superficial, los cuales se acumulan en las laderas (figura 8). Esta unidad es susceptible a generar caídas de rocas, deslizamientos y derrumbes.

Unidad de planicie

Esta unidad está conformada por Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen en zonas elevadas, se presentan como planicies disectadas y planicies elevadas, principalmente donde estas presentan ondulamientos (lomadas)

- a) **Subunidad de Terraza aluvial (T-al):** Son porciones de terreno que se encuentran dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal del río Cotahuasi, a mayor altura, representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido disectados por las corrientes como consecuencia de la profundización del valle. Sobre estos terrenos se desarrollan las actividades agrícolas del valle de Cotahuasi (figura 8).

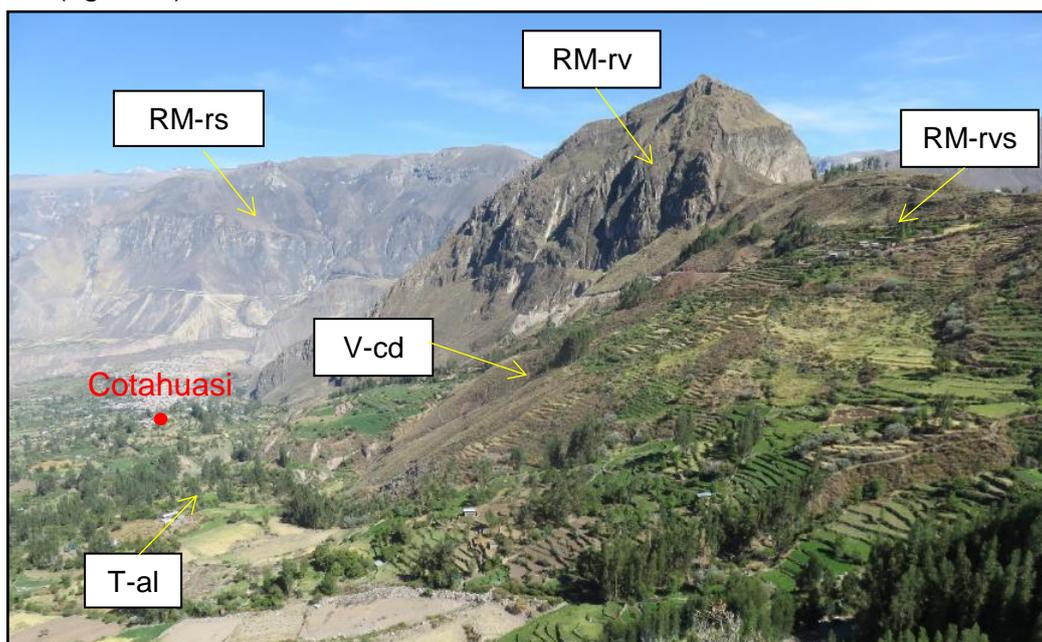


Figura 8. Unidades geomorfológicas en la zona de estudio.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el área de estudio, están asociados principalmente a movimientos en masa. El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991 en PMA: GCA, 2007). Los movimientos en masa representan procesos geológicos superficiales, que involucran la remoción de masas rocosas con características inestables, depósitos inconsolidados de diferente origen, competencia y grado de cohesión, o la combinación de ambos, por efecto de la gravedad, Medina., (2014).

En el área de estudio, los movimientos en masa, están estrechamente ligados a factores desencadenantes como, lluvias de gran intensidad o gran duración asociadas a eventos excepcionales, sismos tectónicos y fallas geológicas y actividad antrópica de utilización de sistemas de riego inadecuado.

Los factores condicionantes o intrínsecos que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa son la litología (calidad de la roca y permeabilidad), morfología y pendiente del terreno.

Los principales peligros geológicos que ocurren en la zona de estudio, corresponden a movimientos en masa de deslizamiento, caída de rocas y erosión de laderas.

6. PELIGROS GEOLÓGICOS EN COCHACALLAN

En el caserío Cochacallan y alrededores se identificó tres sectores con ocurrencias de peligros geológicos como procesos de deslizamientos, erosiones de ladera y caídas de rocas, (figura 9).

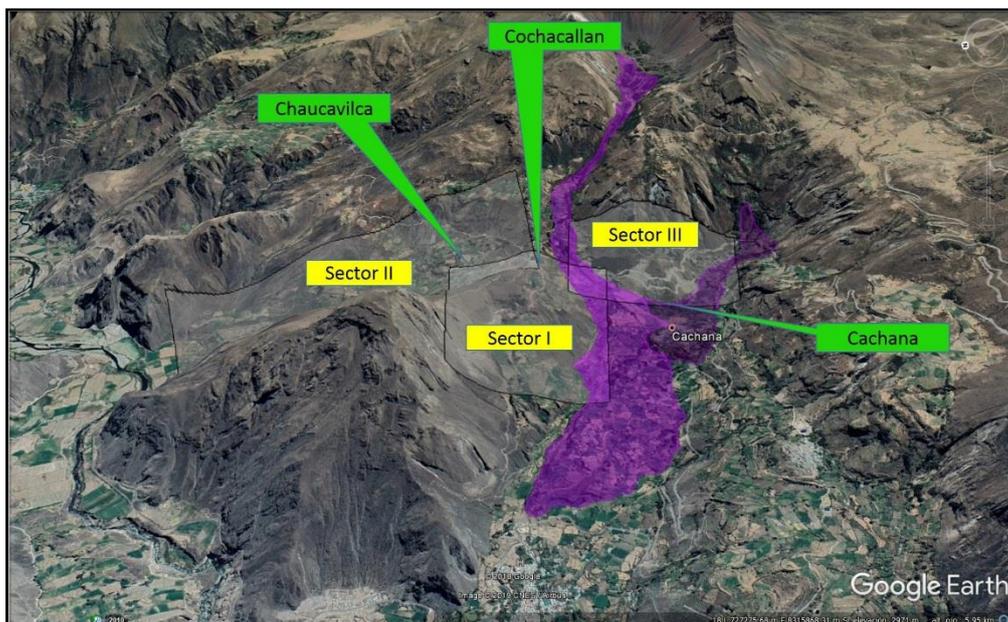


Figura 9. Muestra los tres sectores con ocurrencias de peligros geológicos sobre ocurrencias antiguas de avalanchas de escombros.

6.1 Sector I

Este sector está ubicado en inmediaciones del caserío Cochacallan (figura 10), donde se identificaron ocurrencias de peligros geológicos como, deslizamiento, erosión de ladera y caída de rocas (figura 11). Así también mencionar que por esta zona cruza una falla de rumbo de dirección NW-SE que condiciona el substrato.



Figura 10. Muestra el caserío Cochacallan, ubicado a 3 km al este de Cotahuasi.

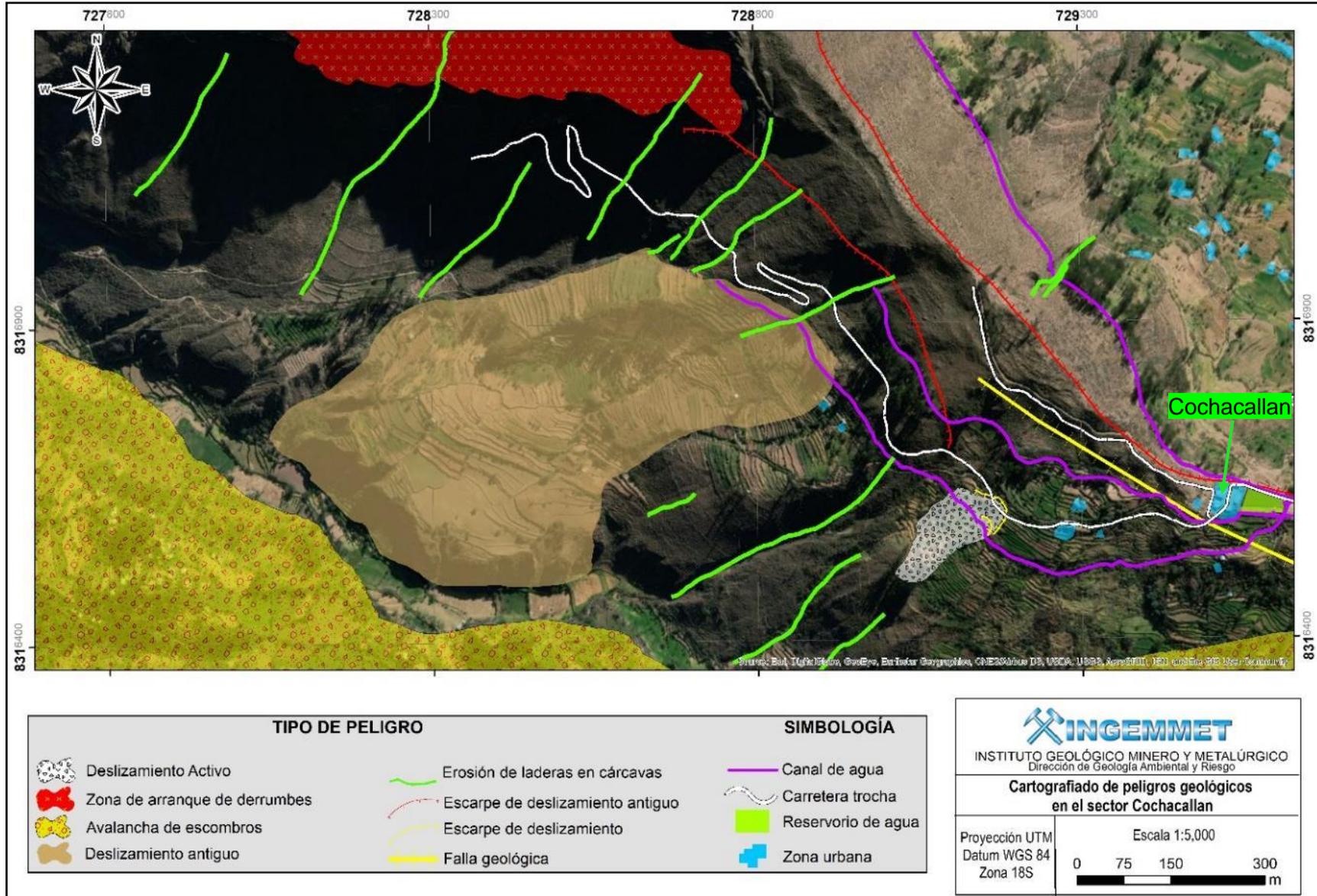


Figura 11. Cartografiado de peligros geológicos del sector Cochacallan.

6.1.1 Deslizamiento

En el sector I, vienen ocurriendo una serie de deslizamientos, ubicados en la parte baja del caserío Cochacallan, el cual se trata de un deslizamiento tipo rotacional. La corona del deslizamiento posee forma regular y mide 110 m, actualmente el escarpe principal del deslizamiento posee 0.2 a 0.5 m (figura 12), este evento está comprendido entre las cotas 3090 m s.n.m. a 3186 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 96 m. La masa movilizada se estima afecto un área de 12000 m².

Causas del deslizamiento principal

Las causas para la ocurrencia de estos procesos, se relacionan con la litología del substrato, pendiente del terreno y presencia de agua en los materiales (rocas y suelos).

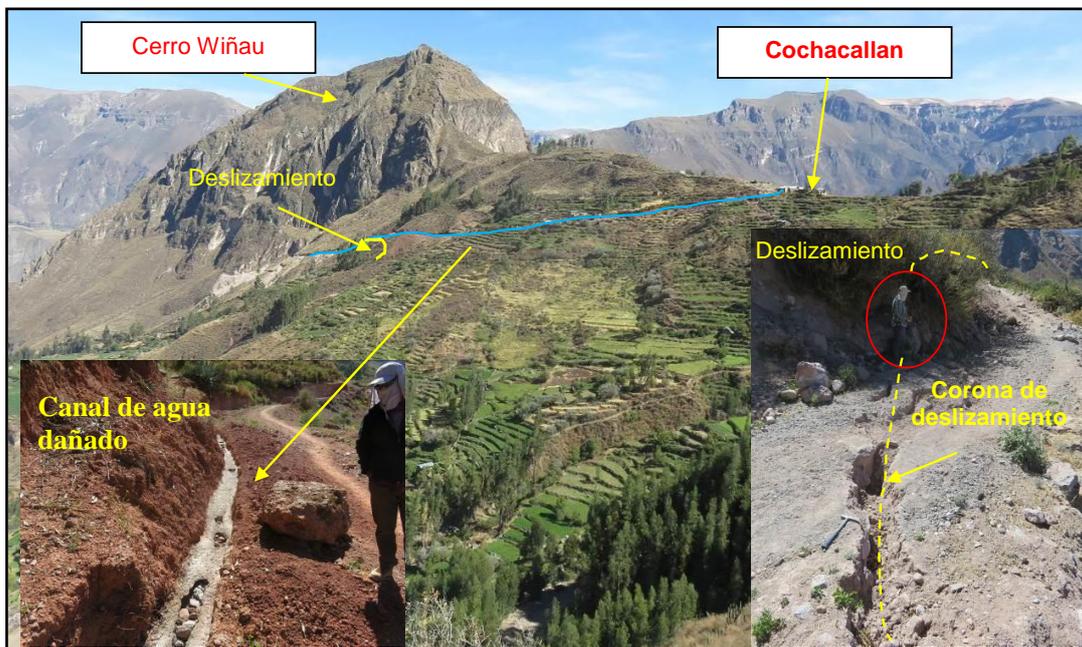


Figura 12. Muestra la corona del deslizamiento, canal-cuneta en la carretera totalmente dañado, por donde se infiltra agua, saturando el substrato en la parte baja.

Condiciones:

- Rocas de mala calidad, conformadas principalmente por suelos retrabajados, provenientes de deslizamientos antiguos en el sector. Suelos inestables si se saturan de agua.
- Pendiente del terreno de 30°, que permite que la masa inestable se desestabilice y se desplace cuesta abajo.
- Corte de carretera, quita soporte y genera infiltración de agua, por lo tanto, genera que los terrenos se saturen de agua.
- La presencia de una falla geológica (figura 13), disminuye la estabilidad en suelos.
- Las fisuras en los canales en el sector aportan agua para saturar el substrato (figura 14).

Desencadenante:

- Precipitaciones pluviales intensas.
- Eventos sísmicos.



Figura 13. Zona de falla, se aprecia una zona de panizo, en algunos bloques se aprecian estrías de desplazamiento.



Figura 14. Fisuras en el canal de irrigación que cruza el sector I, genera infiltración y saturación de agua en la parte baja.

6.1.2 Erosión de laderas

Las laderas de los cerros en el sector Cochacallan vienen siendo afectadas por procesos de erosión de laderas en forma de surcos/cárcavas. Las cárcavas tienen un ancho de hasta 13 m y profundidades aproximada de hasta 6-8 m. Según las dimensiones de las cárcavas, y en base a la clasificación de San Miguel., (1958), estas las consideramos como “grande” (figura 15).

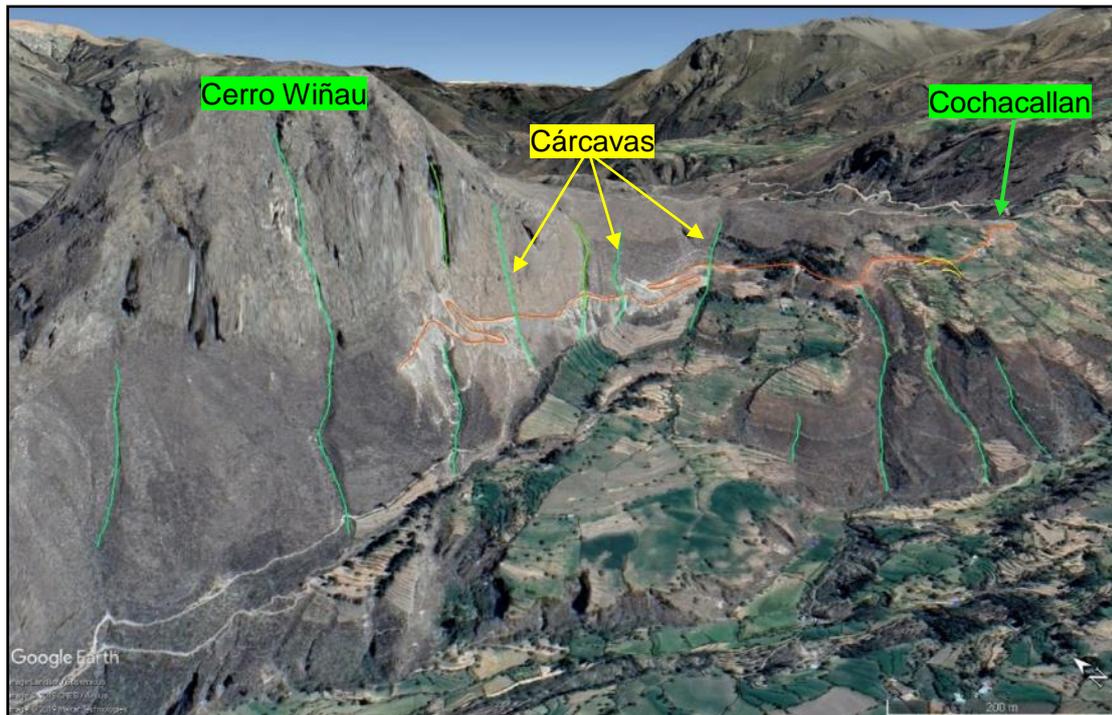


Figura 15. Erosión de laderas en forma de surcos/cárcavas en las laderas en el sector de Cochacallan.

Condicionantes:

- Roca volcánica con moderada a intensa meteorización que produce desestabilización en el macizo rocoso.
- Depósitos inestables, originados por deslizamientos antiguos.
- Pendiente del terreno, comprendida entre 30° a 35°, en el cerro Wiñau la pendiente de la ladera llega hasta 70°.

Desencadenante:

Precipitaciones pluviales intensas.

6.1.3 Caída de rocas

La caída de rocas se origina desde el cerro Wiñau, (figura 16), debido a las características de la roca, como fracturas a favor de la pendiente, formación de cuñas y bloques suspendidos. En la parte alta del cerro Wiñau, se presentan laderas con alto grado de inclinación, donde se puede observar bloques colgados de rocas que podrían caer afectando los terrenos en la parte baja. Además, la caída de rocas afectaría 700 m del trazo de la carretera ubicada en la parte baja.



Figura 16. Muestra la zona donde se generan caídas de rocas, en la parte alta cerro Wiñau.

Los factores condicionantes y desencadenantes para ocurrencia del evento son:

Condicionantes

- Laderas empinadas con pendientes superiores a 45°.
- Morfología de la ladera.
- Macizo rocoso alterado y fracturado.

Desencadenante:

- Precipitaciones pluviales intensas.
- Eventos sísmicos.

6.2 Sector II

Está ubicado en inmediaciones del anexo Chaucavilca, donde se identificaron ocurrencias de peligros geológicos como, deslizamiento, erosión de ladera y caída de rocas (figura 17).

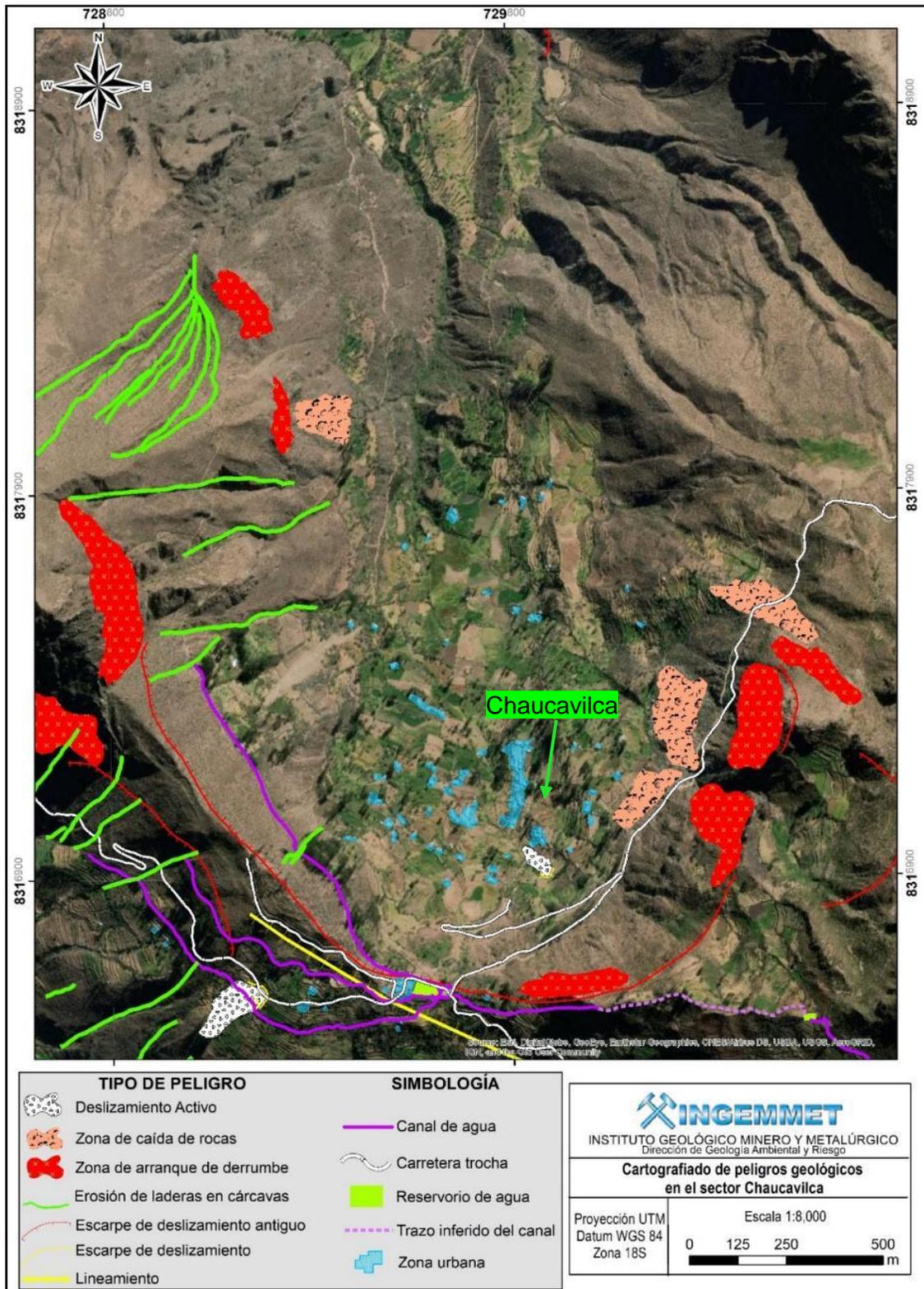


Figura 17. Cartografiado de peligros geológicos del sector Chaucaivilca.

6.2.1 Deslizamiento

En el sector II, se viene presentando un deslizamiento ubicado en el anexo Chaucavilca, se trata de un deslizamiento tipo rotacional, la corona del deslizamiento posee forma regular y mide 52 m, actualmente el escarpe principal del deslizamiento posee hasta 4 m, este evento está comprendido entre las cotas 3108 m s.n.m. a 3144 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 36 m, la masa movilizada se estima afectó un área de 3000 m² (figura 18).

Causas del deslizamiento principal

Las causas para la ocurrencia de estos procesos, se relacionan con la litología del substrato, pendiente del terreno y presencia de agua en los materiales (rocas y suelos).

Condicionantes:

- Rocas de mala calidad, conformadas principalmente por suelos retrabajados, provenientes de deslizamientos antiguos en la zona. Suelos inestables si se saturan de agua.
- El sector posee una pendiente del terreno de 25°-30°, que permite que la masa inestable se desestabilice y se desplace cuesta abajo.
- Filtración de aguas desde la parte alta, según las imágenes satelitales se observa un reservorio de agua y canales de irrigación a 650 m al sureste de la zona.
- La falta de revestimientos en el canal de agua, actualmente el agua discurre por un canal sin revestimiento.

Desencadenante:

- Precipitaciones pluviales intensas.
- Eventos sísmicos.



Figura 18. Muestra la corona del deslizamiento ubicado en Chaucavilca

6.2.2 Erosión de ladera

Las laderas de los cerros en el sector Chaucavilca están siendo afectado por procesos de erosión de laderas en forma de surcos y cárcavas. Las cárcavas tienen un ancho de hasta 20 m. y profundidades de hasta 10 m. aproximadamente. Según las dimensiones de las cárcavas, la clasificación de San Miguel., (1958) la considera como “muy grande” (figura 17).

Condicionantes:

- Roca volcánica con moderada a intensa meteorización que produce desestabilización en el macizo rocoso.
- Pendiente del terreno, comprendida entre 30° a 35°.

Desencadenante:

- Precipitaciones pluviales intensas

6.2.3 Caída de rocas

La caída de rocas es propensa desde la parte alta del anexo de Chaucavilca, (figura 19), debido a las características de la roca, como fracturas a favor de la pendiente, formación de cuñas y bloques suspendidos. Se puede observar bloques colgados de rocas que podrían caer afectando los terrenos en la parte baja. Además, la caída de rocas, podría afectar la carretera hacia Lacrahuanca, carretera ubicada en la parte media de la ladera.

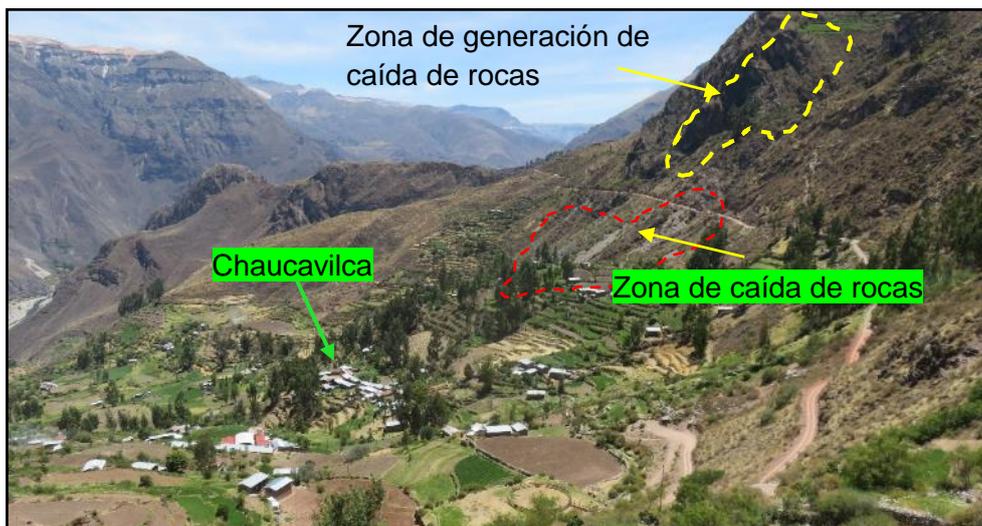


Figura 19. Muestra la corona del deslizamiento ubicado en Chaucavilca.

Condicionantes:

- Laderas empinadas con pendientes superiores a 45°.
- Morfología de la ladera.
- Macizo rocoso alterado y fracturado.

Desencadenante:

- Precipitaciones pluviales intensas.
- Eventos sísmicos.

6.3 Sector III

El sector evaluado se ubica a 7.5 km al sureste de Cotahuasi. En la parte alta del anexo Cachana, se han identificado peligros por movimientos en masa (deslizamiento, erosión de ladera y caída de rocas), que afecta la vía Cotahuasi - Arequipa y la vía que comunica Cotahuasi con los anexos Chaucavilca y caseríos cercanos como Cochacallan, (figuras 20 y 21).

Los deslizamientos ocurren en la ladera de la montaña y afectan aproximadamente 1 km del antiguo trazo de la carretera, dejando incomunicando a los anexos de Chaucavilca, Ancha Pacha y el caserío Cochacallan del distrito de Cotahuasi. En tal sentido, se realizó un nuevo tramo provisional de carretera (figura 21). Es necesario resaltar que los deslizamientos pueden afectar zonas de cultivo y una poza de agua que se encuentra en al pie de la ladera de esta montaña.

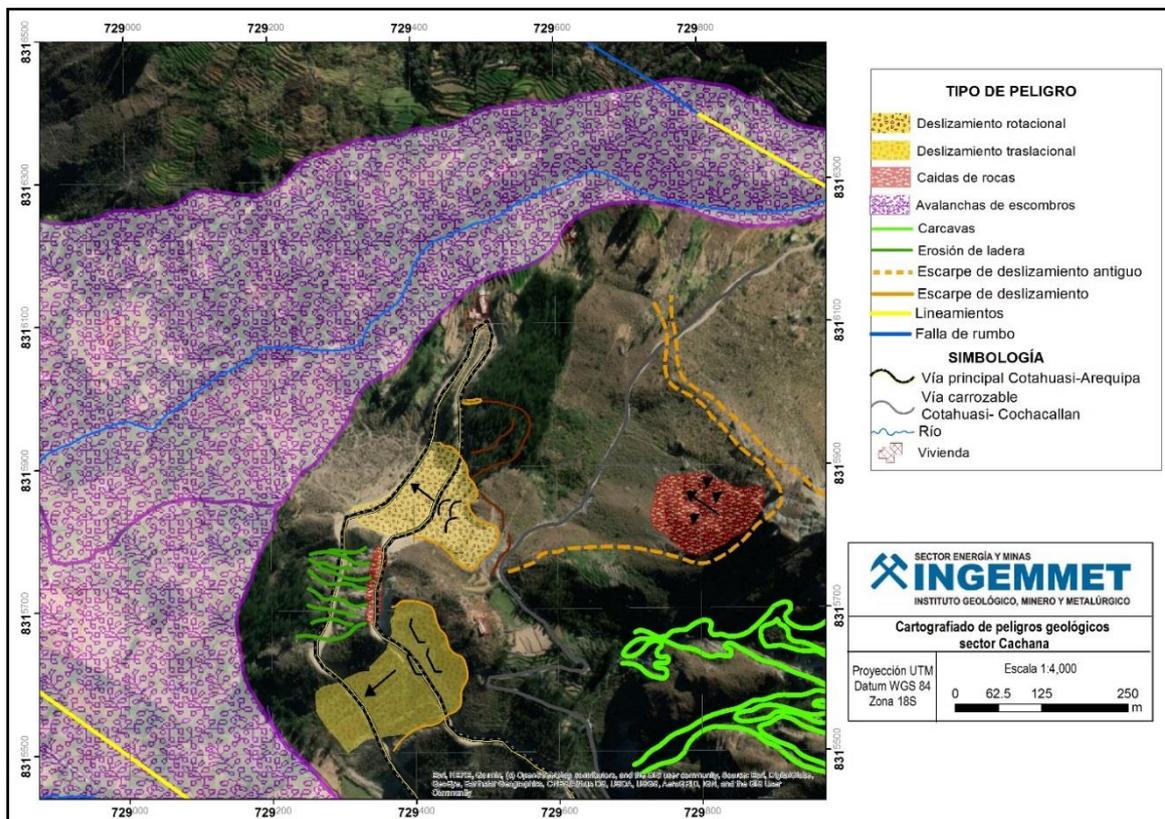


Figura 20. Se aprecia el cartografiado de los peligros geológicos por movimiento en masa del sector Cachana.

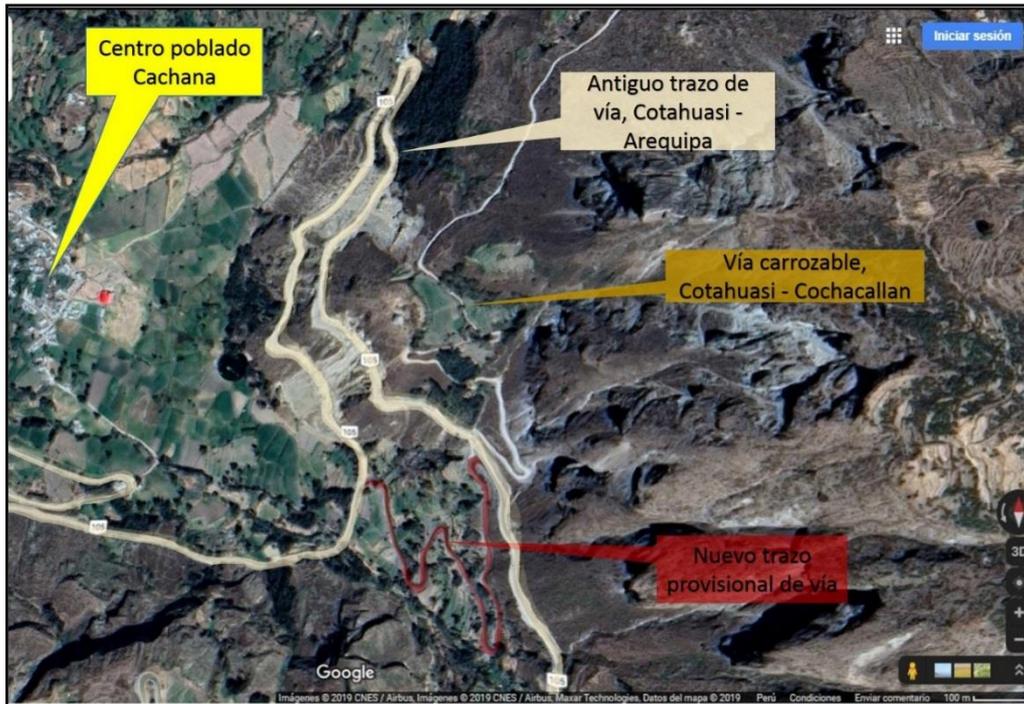


Figura 21. Imagen de la vía en el sector Cachana, se aprecia el nuevo trazo en color rojo que se hizo a causa de los eventos de movimientos en masa que se sufrió el año 2017.

El sector III presenta dos zonas de deslizamientos y una zona con erosión de ladera (cárcavas y surcos). Para un mejor análisis de cada evento del sector III, dividiremos este sector en las zonas A y C (deslizamientos) y zona B (erosión de ladera), (figura 22).

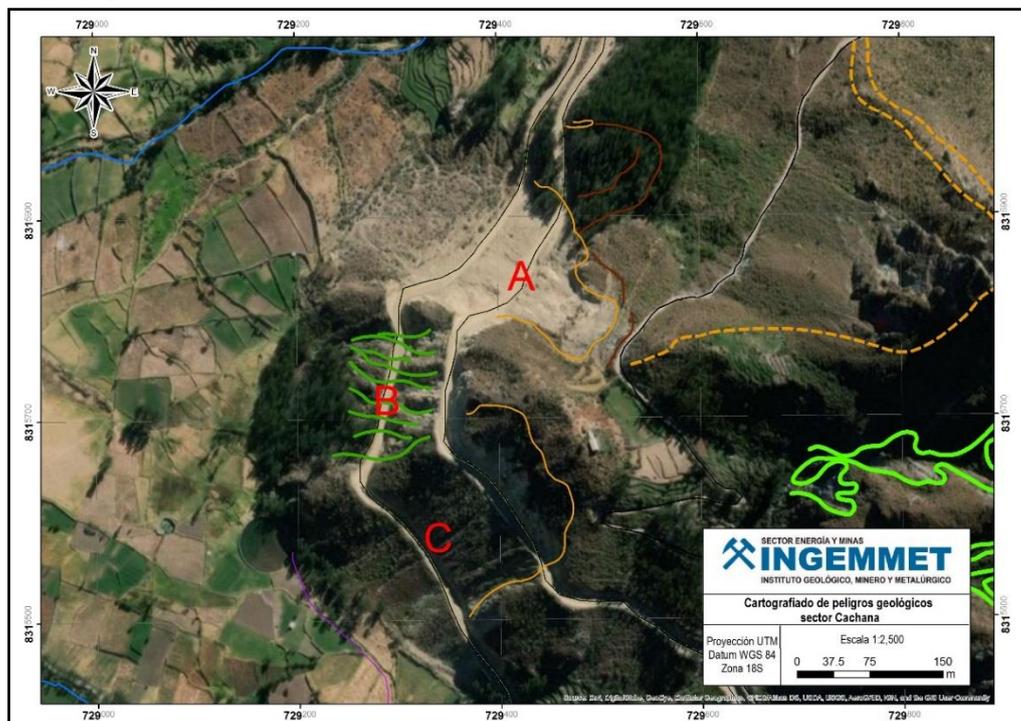


Figura 22. El sector III, para su mejor descripción se dividió en tres zonas de acuerdo a los tres tipos de eventos ocurridos.

Zona A: En esta zona se cartografió un deslizamiento de tipo rotacional con grietas retrogresivas. El deslizamiento tiene un ancho de 125 m en la cabecera y una altura de 137 m. Por encima de este evento se aprecian algunas grietas, indicando que puede continuar deslizándose.

En la cota E:729471 N:8315973, se cartografió un pequeño deslizamiento tipo flujo. El cuerpo del deslizamiento tiene 2 m de ancho y 15 m de altura, y el escarpe tiene 2 m de altura. Dentro del deslizamiento se encuentra una vía, que ha sido afectada en un tramo de 5 m. El corte del talud para la construcción de la vía ha debilitado la ladera (figura 23).



Figura 23. Vía afectada por el pequeño deslizamiento zona A, se parecía el deslizamiento tipo flujo.

Zona B: En esta zona se observa procesos de erosión de laderas a manera de surcos. Las pendientes de las laderas en esta zona son muy fuertes, en promedio tienen 35°. Sobre las laderas se observa bloques rodados que caen desde las partes altas. También, sobre estas laderas se aprecia filtraciones o emanaciones de agua que drenan entre las juntas de las rocas. Las rocas que conforman estas laderas corresponden a brechas volcánicas y areniscas que se encuentran muy fracturadas y plegadas, tienen un azimut de 343° y buzamiento de 30° con dirección noreste. Las caídas de rocas y derrumbes en esta zona, se generan por el debilitamiento que ha generado el corte del talud al construir la carretera (figura 24).

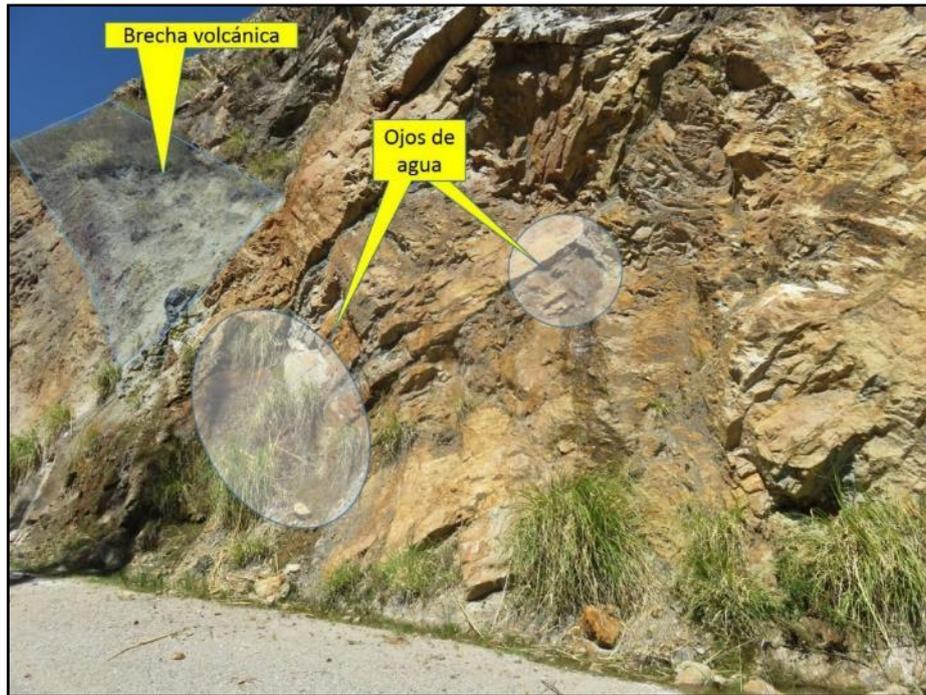


Figura 24. En la Zona B, se aprecia los ojos de agua y la disposición de las areniscas.

Zona C: En esta zona se encuentra un deslizamiento traslacional. En la escarpa se observan planos de fallas con diaclasamientos en la roca. El deslizamiento tiene un ancho de 165 m y 180 m de alto, con una pendiente promedio de 39°, que favorece a procesos erosivos. El material inestable presenta bloques de más de 1.5 m de diámetro, que han sido depositados en la vía y ladera abajo, dejando las partes más bajas erosionadas, propensas a generar otros eventos (figura 25).



Figura 25. En la zona C se aprecia la escarpa del deslizamiento, los planos de falla y bloques con diámetros de más de 1,5 m.

Factores condicionantes

Entre los factores condicionantes de las zonas A,B,y C se tienen:

- Para la zona B: el substrato rocoso está conformado por areniscas fracturadas y plegadas con presencia de brechas volcánicas, así como ignimbritas fracturadas que sobreyacen a las areniscas; además, se observa infiltraciones de agua que debilitan el macizo rocoso de este sector.
- Para la zona A y C: los deslizamientos en estas zonas ocurren en rocas compuestas por ignimbritas no soldadas. Son rocas susceptibles a ser afectadas por deslizamientos.
- La presencia de dos fallas en el sector III, afecta la estabilidad y la resistencia de las rocas de todo el sector, con deformaciones generadas en las rocas volcánicas del Grupo Tacaza y la intensa erosión que sufrieron las rocas de la Formación Hulhuani (Salas et al., 2003).
- Las pendientes en las zonas A, B y C, son muy empinadas a escarpadas, esto predispone a la generación de otros eventos.
- Los trabajos de corte de talud que se realizaron al construir las vías, también afectan a la estabilidad del talud.

Factores desencadenantes:

En este sector el factor que desencadena los peligros geológicos por movimientos en masa es:

- Las intensas lluvias y las infiltraciones de agua producto del regadío de los terrenos de cultivo.
- La ocurrencia de sismos en este sector, genera desprendimiento de rocas y desestabilización en el terreno.

7. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS

En esta sección se dan algunas propuestas generales de solución para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de deslizamientos, caída de rocas, procesos de erosión de laderas, entre otros

Para deslizamientos

Los deslizamientos ocurren esencialmente de forma natural pero también por la actividad antrópica (agrícola, deforestación) mal desarrollada que acelera el proceso; asimismo por el socavamiento al pie de laderas, la utilización de canales sin revestir, etc. A continuación, se proponen algunas medidas para el manejo de estas zonas:

- Manejo agrícola: evitar riegos en exceso, estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos.
- Los canales deben ser revestidos (concreto, mampostería, terrocemento entre otros) para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.
- No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece la infiltración y saturación del terreno.
- El sistema de riego de cultivo debe ser tecnificado, por aspersión controlada o por goteo.
- La remoción de la tierra para realizar el cultivo debe ser superficial pues una remoción más profunda realizada con maquinaria puede favorecer la infiltración y saturación del terreno.
- El desarrollo de vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida de las masas deslizantes; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.
- Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal natural conformada por pastos, malezas y arbustos.
- Reforestar laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles a utilizar deben contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzaran versus la pendiente y profundidad de los suelos; se recomienda que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración con el objeto de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobre pastoreo que produzca deterioro y destrucción de la cobertura vegetal, se debe realizar un manejo de las zonas de pasturas mediante el repoblamiento de pasturas nativas, empleando sistemas de pastoreo rotativo, evitar la quema de pajonales.

Para caída de rocas

Se puede considerar las siguientes medidas:

a) Mallas Ancladas: Son mallas exteriores de alambre galvanizado ancladas con pernos para evitar la ocurrencia de desprendimientos de bloques de roca (figura 26). Las mantas de malla ancladas pueden utilizarse para impedir el movimiento de bloques pequeños (menos de 0.6 a 1.0 metro de diámetro) o masas subsuperficiales delgadas de roca. Sin embargo, en ocasiones las mallas ayudan a atenuar el movimiento de grandes bloques. En principio la malla anclada actúa como una membrana alrededor de la masa o bloque inestable; a su vez pueden ser reforzadas con cables, los cuales se amarran a los anclajes. Se recomienda la utilización de mallas con alambres de calibres BWG 9 a BWG 11. Se pueden utilizar mallas electrosoldadas, de tejido en cadena o mallas hexagonales torsionadas. En la mayoría de los casos se prefiere la malla hexagonal. Las mallas deben usarse solamente en los casos en que ésta queda en contacto directo con la superficie del talud para formar un contacto continuo en toda el área protegida de la fachada del talud. En el caso de la presencia de áreas de bloques pequeños sueltos se deben intensificar los anclajes en estas

áreas. Un sistema de soporte de grandes bloques es el amarrarlos con cables individuales anclados al talud. Estos cables actúan en forma similar a las mallas. En algunos casos las mallas se diseñan para que guíen los bloques sueltos hasta el pie del talud (Suarez, 2001).



Figura 26. Ejemplo de control de caída de rocas utilizando mallas ancladas.

b) Barreras dinámicas de caída de rocas. Las barreras dinámicas de protección contra desprendimientos se caracterizan por su capacidad de absorción de impactos. Tiene como objetivo interceptar y parar rocas en caída de pequeñas y grandes dimensiones. Además, protegen carreteras (o centros habitados, etc.) ubicados en la proximidad del pie de taludes de corte o naturales y brindan protección en los casos en que el talud tratado sea de grandes dimensiones.

Las barreras de geometría variable son constituidas por un sistema complejo de paneles en cable y red metálica de doble torsión para la contención de rocas de dimensiones menores, cables de acero conectados a elementos estructurales, dispositivos de disipación y de anclaje, caracterizadas por su alta capacidad de deformación en condición de garantizar la absorción de altas energías (normalmente en un range de 250-3000 kJ), (figuras 27 y 28)



Figura 27. Ejemplo de mallas dinámicas para caída de rocas.



Figura 28. Ejemplo de mallas dinámicas para caída de rocas.

Para cárcavas

Para reducir la erosión en cárcava, construcción de barrera, rellenos y cortacorrientes en laderas.

Construir obras hidráulicas y de control de erosión, mediante diques transversales como trinchos de madera, de enrocado o gaviones, (figura 29). El objetivo de esta medida, es disminuir la energía del agua y retener sedimentos

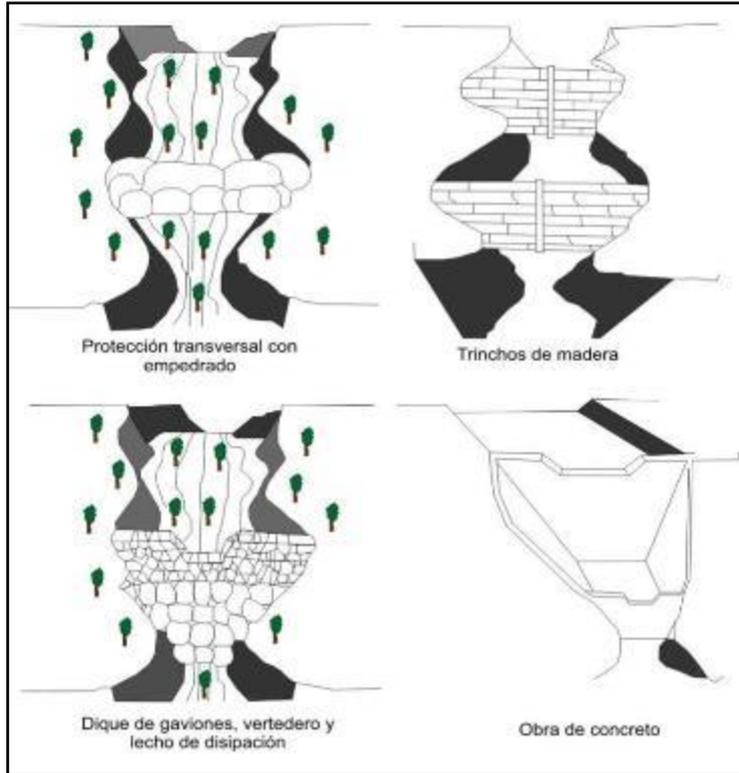


Figura 29. Obras hidráulicas transversales para cárcavas, fijación de sedimentos y protección de desaguaderos naturales (Tomado de Instituto Nacional de Vías-Colombia-1998).

CONCLUSIONES

1. **El sector I** (parte baja de caserío Cochacallan), viene siendo afectado por un deslizamiento de tipo rotacional. La corona del deslizamiento mide 110 m, el escarpe principal del deslizamiento mide 0.2-0.5 m, este evento posee un desnivel de 96 m. La masa movilizada afecto un área de 12000 m².
2. El cartografiado de procesos geológicos superficiales en **el sector I**, nos muestra que existen procesos de erosión de ladera en la parte baja de Cochacallan, y en el cerro Wiñau. Estos procesos generan material suelto que ante la ocurrencia de lluvias extraordinarias podrían afectar sectores de la quebrada Suyo, ubicado en la parte baja del deslizamiento.
3. El caserío Cochacallan, así como el reservorio de agua de Cochacallan y el nuevo trazo de la carretera Cotahuasi – Cochacallan, están ubicados en una **ZONA DE MUY ALTO PELIGRO**. Por este sector cruza una falla con dirección NW-SE, que genera inestabilidad.
4. **El sector II** (anexo Chaucavilca), viene siendo afectado por un deslizamiento de tipo rotacional. La corona del deslizamiento mide 52 m, el escarpe principal del deslizamiento mide 4 m, este evento posee un desnivel de 36 m. La masa movilizada se estima afecto un área de 3000 m².
5. Los procesos de erosión de ladera ocurren en los cerros ubicados en la parte alta del anexo Chaucavilca, sector II. Ante la ocurrencia de intensas lluvias, los sectores ubicados en las partes bajas del valle podrían ser afectados.
6. **El sector III**, (parte alta del anexo Cachana), viene siendo afectado principalmente por un deslizamiento rotacional con grietas retrogresivas y un deslizamiento traslacional. Estos eventos se activan en tiempo de precipitaciones pluviales.
7. **El sector III**, los trabajos de corte de talud en el sector Cachana realizados para la construcción de la vía, generan aumento de inestabilidad del talud, a ello se suma a la fragilidad que presenta este sector por la presencia de fallas y lineamientos.
8. Las infraestructuras de regadío y las áreas agrícolas ubicadas sobre las laderas del anexo Cachana, se encuentran en una **ZONA DE MUY ALTO PELIGRO**.

RECOMENDACIONES

1. Restringir la construcción de infraestructura alguna en el sector de Cochacallan; además, se debe plantear un nuevo trazo de la carretera, debido a que el actual trazo podría ser afectado por múltiples peligros geológicos, descritos en el presente informe. Así mismo, en esta zona cruza una falla geológica de dirección NW-SE.
2. Es necesario revestir los canales de irrigación ubicados en la parte alta del pueblo de Chaucavilca, para evitar futuros deslizamientos originados por la saturación del suelo.
3. Se recomienda realizar un nuevo trazo de la carretera Chaucavilca - Cotahuasi, para habilitar la comunicación de Cotahuasi con el anexo de Chaucavilca y Locrahuanca. La carretera (trocha) de Chaucavilca, actualmente cruza una zona de falla geológica y quebradas dinámicamente activas, que en época de lluvia son susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa. Por lo tanto, se recomienda realizar el nuevo trazo en la parte baja de Chaucavilca, en el área delimitada dentro del polígono amarillo en la figura 30. Es necesario resaltar que, antes de realizar el nuevo trazo en la zona sugerida, se deben realizar **estudios geotécnicos**.



Figura 30. Área a considerar para el nuevo trazo de carretera Chaucavilca - Cotahuasi.

4. Se recomienda cambiar el trazo de la vía del sector Cachana – Cotahuasi, hacia la margen izquierda de la quebrada Huacajara. Antes de conocer

este trazo definitivo, se debe realizar **estudios geotécnicos** detallados en la margen izquierda de la quebrada Huacajara, ya que las rocas en este sector se encuentran intensamente erosionadas; esta recomendación, es porque se evidencia fuerte tectonismo en la zona de evaluación con presencia de fallas, lineamientos y deformaciones en las rocas sedimentarias y volcánicas (Ignimbritas), (figura 31).

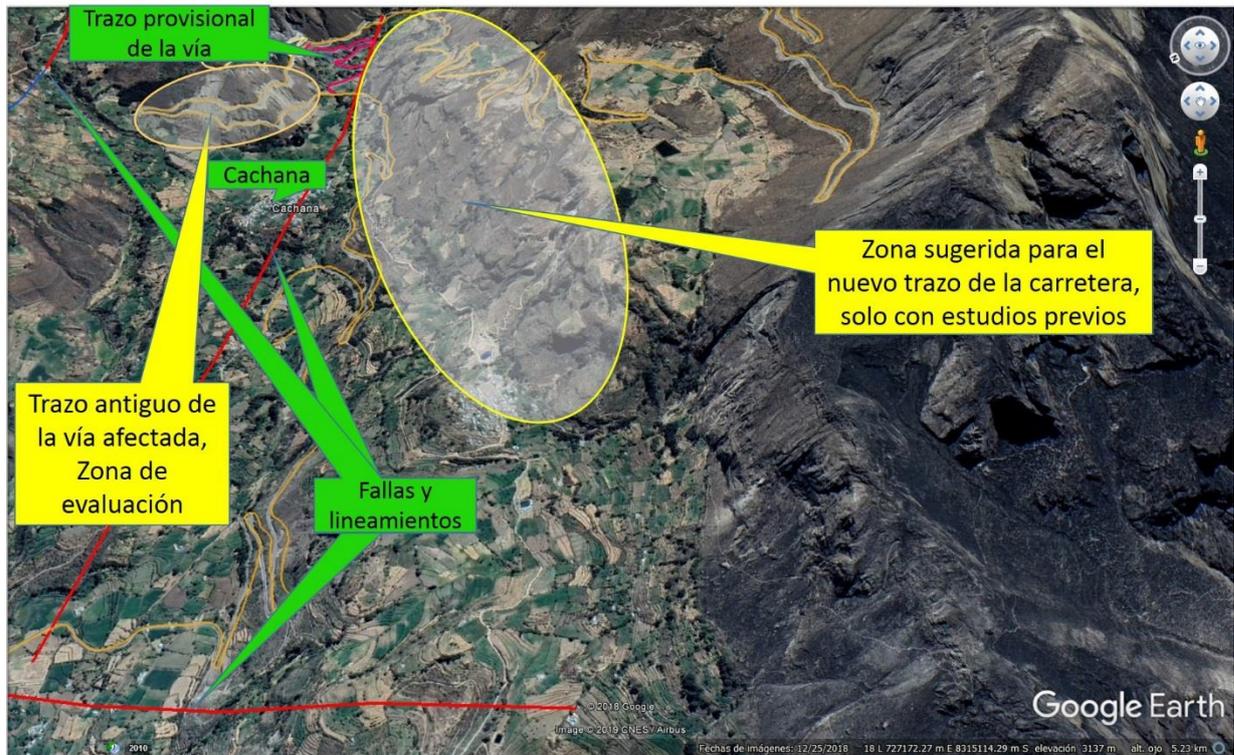


Figura 31. Área a considerar para realizar el nuevo trazo de carretera del sector Cachana, previos estudios geotécnicos detallados.

5. No generar más infraestructura en la parte baja de los deslizamientos, al pie de las laderas, ya que estas zonas serían las más afectadas si estos deslizamientos llegan hasta la base.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Caldas, J. (1993). Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa. INGEMMET, Boletín N° 46, Serie A.

Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre T aludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Davila, D. & Olchauski, L. (2011). Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi. INGEMMET, Hoja 32-q & 31-q, Boletín N° 50, Serie A, Carta Geológica Nacional, 52 p.

Díaz; V.; 2012. Erosión en cárcavas: una revisión de los efectos de los diques forestales. <https://www.researchgate.net/publication>.

FAO (1967). La erosión del suelo por el agua. Cuadernos de fomento agropecuario. N° 81 Roma, 207 p.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

Hudson, N.; 1982. Conservación del suelo. Editorial REVERTÉ. Barcelona.

Medina, L. (2014). “Peligros Geológicos en la Comunidad Campesina Jarahuña”. Distrito Patambuco, Provincia Sandia, Región Puno. INGEMMET. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Informe Técnico N°A6660. 33p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007), Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, N° 4, 432p.

Salas, G; Chávez, A; Aguilar, E; Chávez, E; Lajo, A; Días, J; Umpire, A. & Barrera, M. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Chulca (30-q), Cayarani (30-r), Cotahuasi (31-q) y Orcopampa (31-r). INGEMMET, 58 p.

San Miguel, M. 1958. Manual de geología. 3ra Ed., Edit. Manuel Marín y Cia. Bilbao, España.

Sharma, P.M.; 1993. Prevención y control de cárcavas a nivel de finca por medio de métodos vegetativos y estructurales temporales en Honduras tropical. Proyecto RENARM/ Manejo de cuencas. CATIE. Turrialba (Costa Rica).

Suarez, J. 2001. Control de caídos y deslizamientos en roca. Libro de deslizamientos, Tomo II.

Suarez, J.; 1998. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Colombia.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisis and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33.

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación de tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Bogotá, Colombia.

Vilchez, M., Luque, G. & Rosado, M. (2013) Estudio de riesgo geológico en la región Piura. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 52, 250 p., 9 mapas.

GLOSARIO

PELIGRO: Probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad, en un periodo de tiempo y frecuencia definidos.

PELIGRO GEOLÓGICO: Proceso natural que puede causar daños materiales o la pérdida de vidas, la interrupción de actividades sociales y económicas, así como también la degradación ambiental.

DESLIZAMIENTOS: Movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte de un material (suelo, roca o ambos), a lo largo de una o más superficies de ruptura, y donde la masa original se desliza a distancias variables.

CAÍDAS DE ROCAS: La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978).

COLAPSOS O DERRUMBES

Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, que ocurren a lo largo de varias superficies irregulares o anisotropías, con arranque o desplome visible de material como una sola unidad. Se presentan con dimensiones y longitudes variables, desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros; principalmente están asociados a taludes rocosos, aunque suelen presentarse en suelos poco consolidados.

EROSIÓN DE LADERAS (CÁRCAVAS)

La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas, se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras.