

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7210

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO DE ASTOBAMBA Y ZONAS PROPUESTAS PARA REUBICACIÓN

Departamento Lima
Provincia Cajatambo
Distrito Cajatambo



DICIEMBRE
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO DE ASTOBAMBA Y ZONAS PROPUESTAS PARA REUBICACIÓN

(Distrito y provincia Cajatambo, departamento Lima)

Elaborado por la
Dirección de Geología
Ambiental y Riesgo
Geológico del Ingemmet

Equipo de investigación:

Mauricio Antonio Núñez Peredo

Guisela Choquenaira Gárate

Ely Ccorimanya Chalco

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). "Evaluación de peligros geológicos en el Anexo de Astobamba y zonas propuestas para reubicación, distrito Cajatambo, provincia Cajatambo, departamento de Lima", informe técnico N°A7210, Ingemmet. 58p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Objetivos del estudio.....	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	3
1.3. Aspectos generales.....	6
1.3.1. Ubicación.....	6
1.3.2. Accesibilidad.....	6
1.3.3. Clima.....	8
1.3.4. Zonificación sísmica.....	9
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	10
2.1. Unidades litoestratigráficas.....	10
2.1.1. Formación Condorsenga (Nm-coE1a).....	10
2.1.2. Secuencia Volcánica Cajatambo (Po-cE1).....	11
2.1.3. Depósitos cuaternarios.....	11
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	12
3.1. Pendientes del terreno.....	12
3.2. Unidades geomorfológicas.....	13
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	13
3.2.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional.....	14
4. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	17
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa.....	18
4.2. Deslizamiento-flujo en el Anexo de Astobamba.....	18
4.2.1. Características visuales del evento.....	18
4.2.2. Factores condicionantes.....	26
4.2.3. Factores detonantes o desencadenantes.....	26
4.2.4. Factores antrópicos.....	26
5. EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DE DOS ÁREAS PROPUESTAS PARA LA REUBICACIÓN.....	27
5.1. Sector de Turijirca.....	28
5.1.1. Condiciones geológicas.....	28
5.1.2. Condiciones geomorfológicas.....	28
5.1.3. Condiciones geodinámicas.....	28
5.2. Sector de Chaupilaquiar.....	31
5.2.1. Condiciones geológicas.....	31
5.2.2. Condiciones geomorfológicas.....	31
5.2.3. Condiciones geodinámicas.....	32

6. CONCLUSIONES.....	34
7. RECOMENDACIONES	35
8. BIBLIOGRAFÍA.....	36
ANEXO 1: MAPAS.....	37
ANEXO 2: GLOSARIO.....	42
ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	47

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, en el anexo de Astobamba y de dos zonas (Turijirca y Chaupilaquiar), propuestas por la comunidad, para la reubicación pertenecientes a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Cajatambo, provincia Cajatambo, departamento Lima. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno.

Las unidades litoestratigráficas que afloran en las zonas evaluadas y alrededores, son principalmente de origen volcánico, correspondiente a la Formación Condorsenga y la Secuencia Volcánica Cajatambo, constituidos por tobas litoclásticas y tobas de cenizas, fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas. Así mismo, el anexo de Astobamba se encuentra asentado en un depósito coluvio-deluvial, originado por un deslizamiento-flujo antiguo, reactivado hace más de 15 años. El material está conformado por fragmentos de rocas angulosos con diámetros que varían de 0.05 a 0.15 m envueltos en una matriz areno-arcilloso, producto de la meteorización de rocas volcánicas y removidos por el deslizamiento-flujo.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional y erosional (montañas modeladas en rocas volcánicas) y geoformas de carácter depositacional y agradacional, principalmente originada por procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores, configurando geoformas de piedemonte (vertiente coluvial de detritos, con depósitos de deslizamiento, coluvio – deluvial y aluvio torrencial).

El peligro geológico reconocido, corresponde a un deslizamiento-flujo, originado en la ladera noreste del cerro Yurajirca, a 1.4 km al suroeste del anexo de Astobamba. Las características de avance sugieren de un deslizamiento rotacional, el cual se comporta como un flujo de tierra lento, principalmente en el cuerpo y pie de deslizamiento. Se le atribuye como factor detonante, las lluvias intensas registradas en la zona, con umbrales de 27.2 mm por día, que se suman a las características de sitio como: Substrato rocoso fuertemente fracturado y altamente meteorizado, presencia de suelos inconsolidados de fácil erosión y remoción, laderas con pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°) y la acción de las aguas de escorrentía.

Se tienen dos sectores propuestos para reubicación de Astobamba, los cuales han sido evaluados geológica y geodinámicamente. El primero denominado: Sector de Turijirca, que, además de ser afectado por el deslizamiento-flujo, es influenciado por un proceso de flujo de detritos, generado el presente año en la quebrada s/n, y de acuerdo con versiones de los pobladores, afectó 2 viviendas, terrenos de cultivo y la plaza principal de Astobamba.

El sector de Chaupilaquiar se asienta sobre un depósito coluvio-deluvial originado por dos deslizamientos antiguos; y procesos de erosión en cárcavas retrogresivas resultantes de la sobresaturación de los suelos que existe en la zona.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y dinámicas observadas en los sectores de Turijirca y Chaupilaquiar; estos no son considerados zonas aptas para la reubicación del anexo de Astobamba; además de considerar el área de estudio como **Zona Crítica** y de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de deslizamientos, reptación de

suelos, derrumbes, flujos y erosión de laderas, susceptibles hacer reactivados con lluvias intensas y excepcionales.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones a fin de que las autoridades competentes pongan en práctica, como revestir los canales de riego, realizar la captación y derivación de las aguas de manantiales, realizar drenajes a lo largo de los terrenos de cultivo, cambiar el sistema de riego, entre otros

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa, entre otros peligros geológicos) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de CENEPRED, según Oficio N° 489-2021/CENEPRED/DGP-1.0, es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos en el anexo de Astobamba y de zonas propuestas para reubicación.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Mauricio Núñez Peredo y Guisela Choquenaira Garate, realizar dicha evaluación técnica, llevadas a cabo los días 05 y 06 de noviembre del presente año, en coordinación con representantes de defensa civil de la provincia de Cajatambo, presidente del Anexo de Astobamba y el representante de los residentes del Anexo de Astobamba.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS, fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Provincial de Cajatambo y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar, caracterizar y determinar factores condicionantes y desencadenantes de los peligros geológicos por movimientos en masa en el Anexo de Astobamba.
- b) Evaluar las condiciones geológicas – geodinámicas de las zonas propuestas por la comunidad de Astobamba para su reubicación.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluyen sectores aledaños a las zonas de evaluación (informes técnicos) y otros estudios regionales relacionados a temas de geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N° 76, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la región Lima” (Luque *et al.*, 2020). En este informe, se cataloga al sector de

Cajatambo-Astobamba como zona crítica ante deslizamientos, erosión de laderas, reptación de laderas, flujo de tierra y detritos; además de derrumbes en ambas márgenes de río Cuchichaca. Es importante mencionar, que, en este informe, se recomienda reubicar las viviendas del sector Astobamba, así como revestir el canal, drenar los manantiales, monitoreo del deslizamiento de Cajatambo y construcción de defensa ribereña en ambas márgenes del río Cuchichaca.

En el presente boletín se muestra el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:500 000, donde el Anexo de Astobamba y las zonas propuestas de reubicación, se localizan en zonas de susceptibilidad Alta a Muy Alta, (figura 1). Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa, como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

- B) Informe técnico N°A6589 “Deslizamiento - Flujo de tierra en la Comunidad Campesina Astobamba” (Luque & Rosado, 2012). Este informe concluye que la comunidad campesina de Astobamba se encuentra asentada sobre un depósito de deslizamiento antiguo, reactivado como flujo de tierra cuyo proceso se ha acelerado y avanzado considerablemente; así mismo, los autores consideran la zona de PELIGRO INMINENTE, tanto en temporadas de lluvias, como de la ocurrencia de un eventual movimiento sísmico.
- C) Informe técnico N°A6507 “Evaluación de peligros geológicos en el Anexo de Astobamba”, (Valderrama, P., 2008). Este informe sostiene que el área de estudio se ubica sobre un depósito de deslizamiento antiguo, el cual está siendo afectado por procesos de reptación de suelos por más de 10 años. La principal causa es el mal uso de las aguas de riego en los terrenos de cultivo ladera arriba del Anexo de Astobamba, los cuales son constantemente inundados por un canal sin revestimiento y de flujo permanente.
- D) Boletín N° 76, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca” escala 1:100 000 (Cobbing, *et al.*, 1996). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que corresponde a rocas volcánicas de la Formación Condorsenga (Grupo Calipuy).

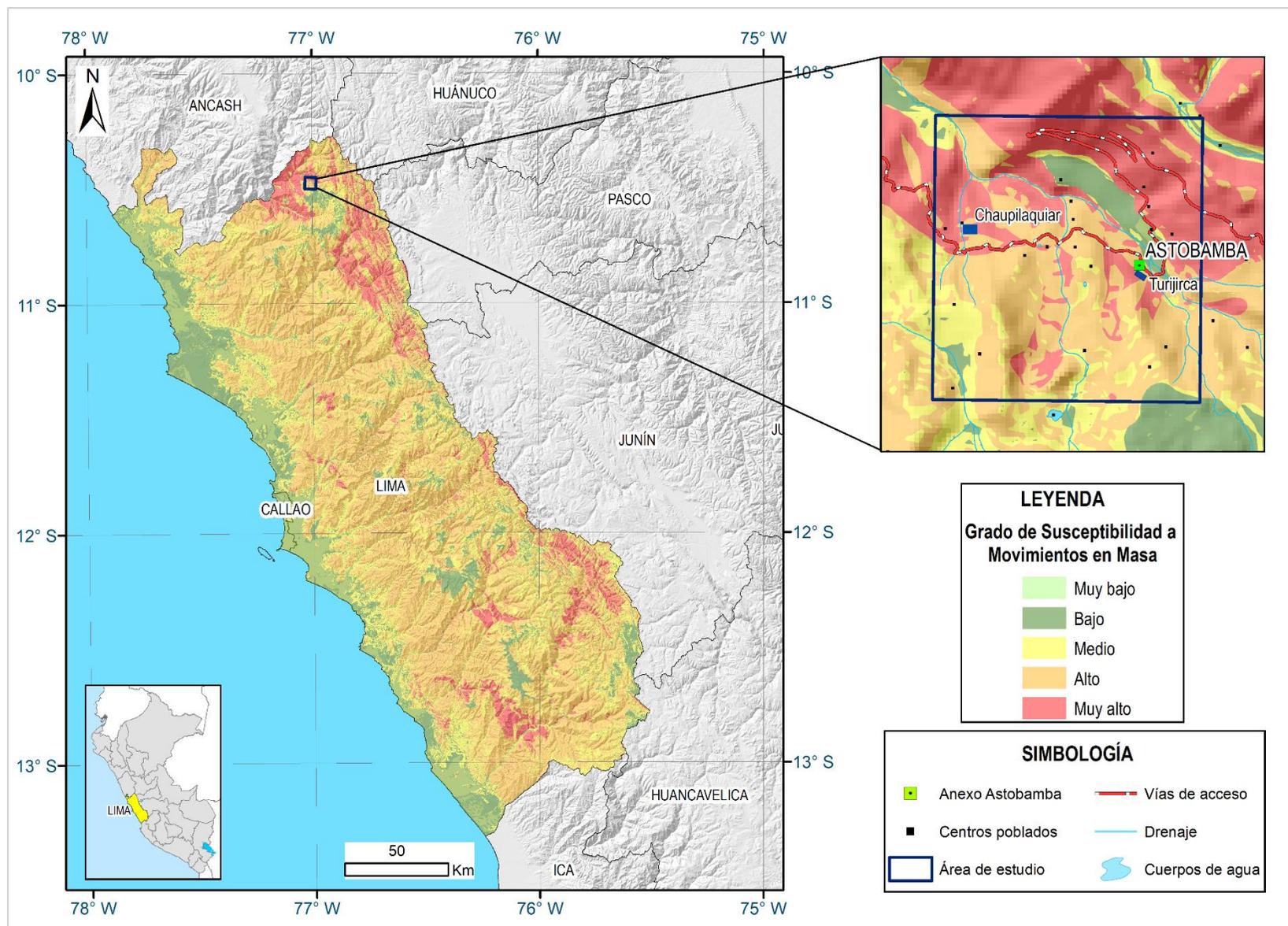


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa del Anexo de Astobamba y alrededores. **Fuente:** Luque et al., 2020.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El anexo de Astobamba se ubica en la margen izquierda del río Shapil, a 750 metros al sur del poblado de Cajatambo, distrito y provincia Cajatambo, departamento de Lima (figura 2), cuenta con las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	283128.49	8843238.69	-10.45°	-76.98°
2	283128.49	8839069.58	-10.49°	-76.98°
3	278940.72	8839069.58	-10.49°	-77.02°
4	278940.72	8843238.69	-10.45°	-77.02°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	281132.54	8840543.23	-10.48°	-76.99°

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la población censada en el Anexo de Astobamba es de 139 habitantes, distribuidos en un total de 112 viviendas particulares; de estas, más del 80% de viviendas han sido afectadas por el proceso de deslizamiento-flujo, (Luque & Rosado, 2012).

1.3.2. Accesibilidad

El acceso se realizó por vía terrestre desde la sede central de Ingemmet (Lima), hasta el anexo de Astobamba (Lima), mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Chancay	Asfaltada	88.7	2 horas 10 min
Chancay - Oyon	Asfaltada	160	3 horas 09 min
Oyon – Cajatambo	Asfaltada	67.7	1 hora 40 min
Cajatambo – Astobamba	Asfaltada	2.2	0 horas 8 min

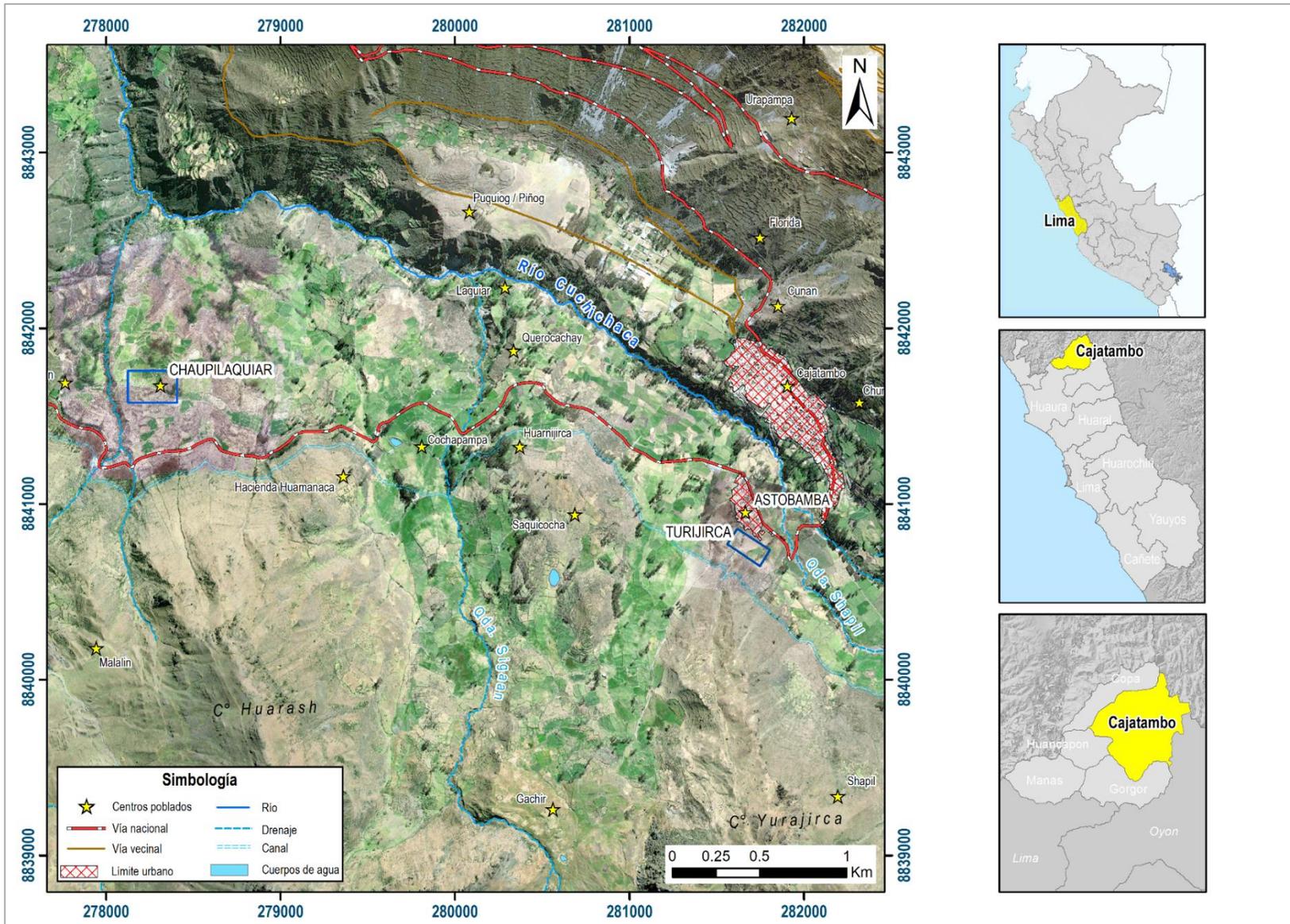


Figura 2: Ubicación del anexo de Astobamba y alrededores.

1.3.3. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el Anexo de Astobamba presenta un clima semiseco, semifrío con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera.

La precipitación pluvial es variable y está vinculada estrechamente a la altitud. La precipitación máxima registrada en la estación pluviométrica de Cajatambo (SENAMHI) en el periodo (enero, 2017 – abril, 2021) fue de 27.2 mm. Así mismo, las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, siendo los meses de julio y agosto, los más secos y los meses de diciembre a abril, los más lluviosos, (figura 3).

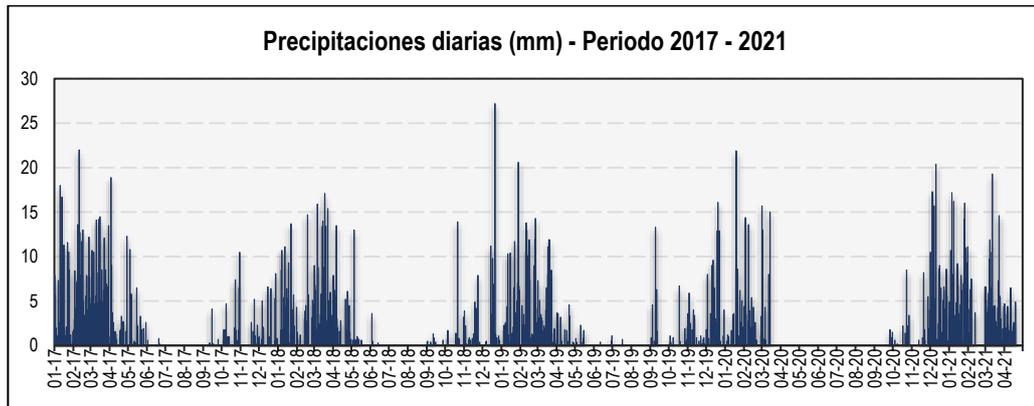


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2017-2021. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. **Fuente:** Estación Cajatambo - SENAMHI.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 21.7°C en verano y un mínimo de 2.9°C en invierno (figura 4). Así mismo, presenta una humedad promedio de 10.26% durante casi todo el año, (Estación Cajatambo, SENAMHI).

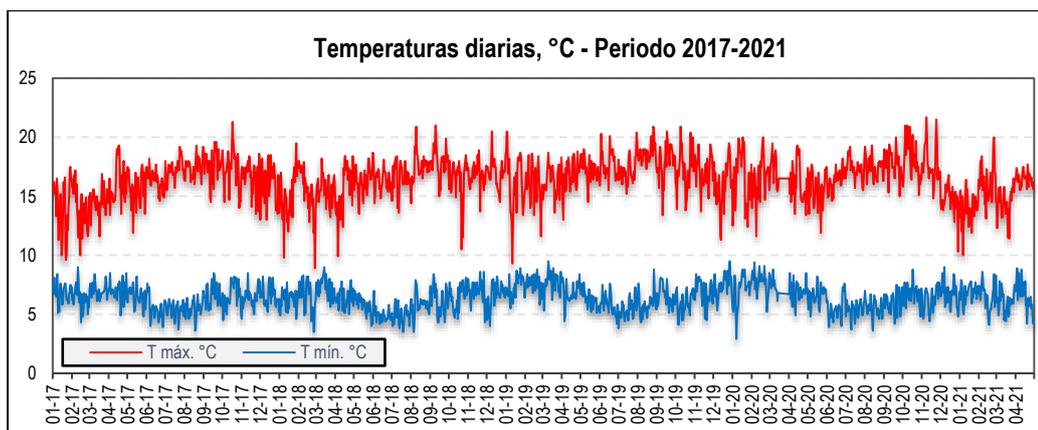


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2017-2021. La figura permite analizar la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. **Fuente:** Estación Cajatambo - SENAMHI.

1.3.4. Zonificación sísmica

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la figura 5. La zonificación propuesta, se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y atenuación de estos con la distancia epicentral, así como la información neotectónica. A cada zona se asigna un factor Z según se indica en el cuadro 3. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (DS No. 003-2016-VIVIENDA).

Según dicho mapa, el área de estudio se ubica en la Zona 3 (sismicidad Alta), localizada desde la línea de costa hasta el margen occidental de la Cordillera de los Andes, determinándose aceleraciones de 0.35 g.

Cuadro 3. Factores de zona Z.

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

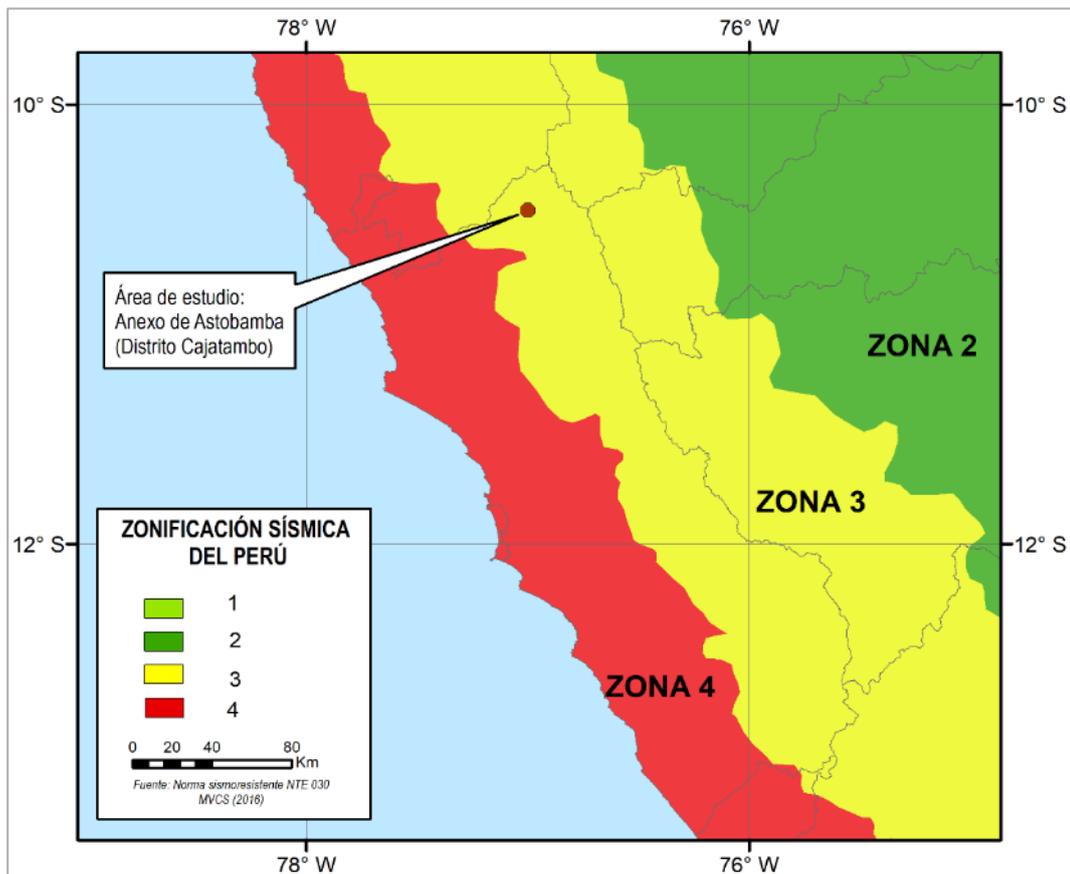


Figura 5. Zonificación sísmica del Perú. Fuente: Alva (1984).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología local, se desarrolló teniendo como base los mapas geológicos de los cuadrángulos de Chiquian 21-i-II y Yanahuanca 21-j-III, a escalas 1:50,000 (Navarro, *et al.* 2013), así como la referencia del Boletín N° 76: “Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca”, escala 1:100 000” (Cobbing, *et al.* 1996), publicados por Ingemmet.

De igual manera, esta información se complementó con trabajos de interpretación de imágenes de satélite, vuelos de dron y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran son principalmente de origen volcánico de la Formación Condorsenga y la Secuencia Volcánica Cajatambo; así como depósitos recientes coluvio-deluvial, proluvial, coluvial y aluvial, (anexo 1 – mapa 01).

2.1.1. Formación Condorsenga (Nm-coE1a)

Esta unidad, anteriormente cartografiada como el Grupo Calipuy (Cerrón & Ticona, 2003), se encuentra distribuida coronando principalmente las partes altas de los cerros Yurajirca y Huarash. Litológicamente esta compuestas por tobas litoclásticas gris oscuras con clastos subangulosos en una matriz de ceniza con presencia de cristales de plagioclasa alterado a arcillas.

El substrato rocoso se encuentra fuertemente fracturado y altamente meteorizado (figura 6); estas características permiten mayor infiltración y retención de aguas subterráneas, lo que condiciona todos los manantes o surgencias de agua identificados en el anexo de Astobamba y alrededores cercanos.

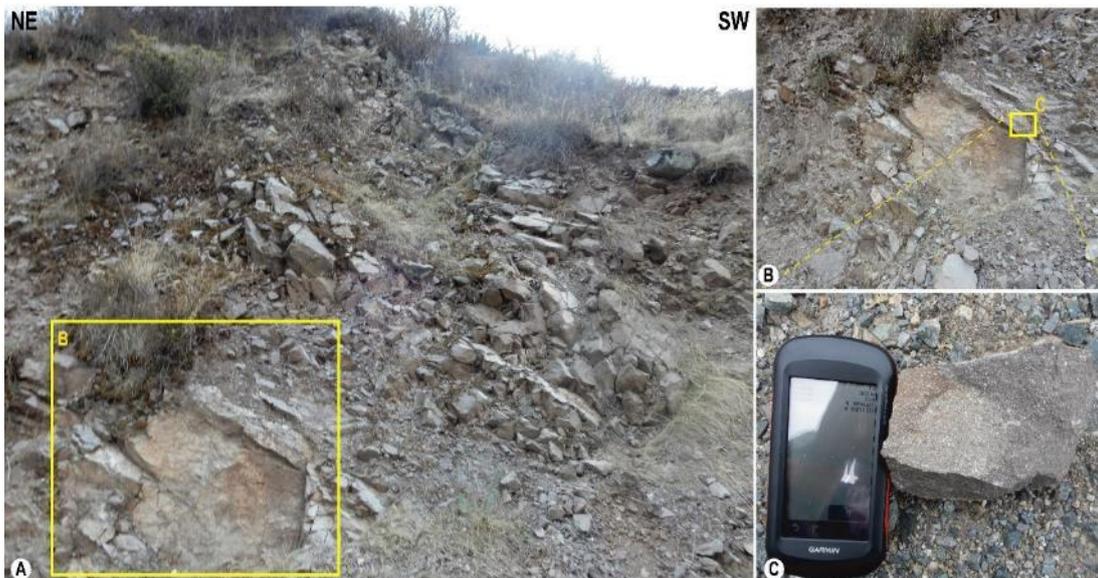


Figura 6. A), B) Substrato rocoso conformado por tobas litoclásticas gris oscura, fuertemente fracturado y altamente meteorizado. C) Muestra de mano de toba, donde se evidenció la fuerte alteración de los cristales de plagioclasa.

2.1.2. Secuencia Volcánica Cajatambo (Po-cE1)

Consiste de una secuencia de tobas de cenizas de color pardo violáceo a gris blanquecina con cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita. Estas rocas se encuentran fuertemente fracturadas, con espaciamentos próximas entre sí (0.06 – 0.20 m) y aberturas algo abiertas (0.1-1.0 mm). Además, se encuentran altamente meteorizadas, es decir más de 50% está descompuesta y/o desintegrada a suelo.

2.1.3. Depósitos cuaternarios

a. Depósito coluvio-deluvial (Q-cl):

Se localizan en forma caótica al pie de laderas por acción de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Están compuestos por fragmentos de roca angulosos con diámetros que varían de 0.05 a 0.25 m envueltos en una matriz areno-arcilloso, (fotografía 1), producto de la meteorización de rocas volcánicas y removidos por procesos de movimientos en masa.



Fotografía 1. Material de depósito coluvio-deluvial compuestos por fragmentos de roca angulosos de tamaños variables envueltos en una matriz areno-arcilloso.

b. Depósito proluvial (Q-pl):

Los depósitos proluviales se originan a partir de los depósitos de los flujos, por la existencia de material detrítico suelto acumulado y cuando ocurren precipitaciones pluviales intensas se saturan, pierden su estabilidad y se movilizan torrente abajo por las quebradas. Sus depósitos llegan a confundirse muchas veces con las terrazas aluviales; el material que los constituye es heterométrico y está mal clasificado, por lo general son subangulosos a subredondeados, englobados en una matriz fina, permeables y medianamente consolidados.

c. Depósito coluvial (Q-cl):

Se encuentran en los flancos de los valles y laderas de pendiente muy fuerte, corresponden principalmente a depósitos de deslizamientos antiguos y recientes, está compuesto por bloques y cantos angulosos de tamaños variables.

d. Depósito aluvial (Q-al):

Son depósitos semi-consolidados, estos últimos por acumulación de material transportado por el río Cuchichaca. Este depósito corresponde a una mezcla heterogénea de gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas, así como limos y arcillas, (fotografía 2); estos materiales tienen selección de regular a buena, presentándose niveles y estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Su permeabilidad es media a alta y se asocia principalmente a terrazas aluviales, susceptibles a la erosión fluvial.



Fotografía 2. Deposito aluvial semiconsolidado constituido por una mezcla heterogénea de gravas, arenas, limos y arcillas, redondeadas a subredondeadas, transportado por el río Cuchichaca.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

El análisis de la pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa; ya que actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el anexo 1 – mapa 02, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS). De acuerdo a este mapa, el Anexo de Astobamba y las zonas propuestas de reubicación, se localizan en laderas de montañas cuyos rangos de pendientes van desde fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°). Este rango de pendientes es el resultado de una intensa erosión y desgaste de la superficie terrestre, cuyas características principales se describen en el cuadro 4:

Cuadro 4. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
0°-1°	Llano (0.19%)	Son terrenos llanos cubiertos por depósitos cuaternarios que se distribuyen principalmente a lo largo de terrazas aluviales y cimas de montañas.
1°a 5°	Inclinación suave (3.26%)	Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen a lo largo de planicies, cimas de montañas y terrazas aluviales. En este rango se ubica principalmente el Anexo de Astobamba.
5°a 15°	Moderado (21.34%)	Terrenos con moderada pendiente, se ubican principalmente al pie de las laderas de montañas volcánicas, quebradas y fondo de valles.
15°a 25°	Fuerte (28.20%)	Pendientes que se distribuyen indistintamente en las laderas de las montañas; a su vez, estas inclinaciones condicionan la erosión de laderas en las vertientes o piedemontes.
25°a 45°	Muy Fuerte (45.43%)	Ocupan áreas muy grandes. Se encuentran en laderas de montañas y márgenes del río Cuchichaca. En este rango de pendiente, generalmente se registran procesos de erosión en cárcava, derrumbes y deslizamientos.
>45°	Muy escarpado (1.58%)	Ocupa áreas muy reducidas, distribuidas a lo largo de laderas y cumbres de montañas.

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (anexo 1 – mapa 03), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación, (Vílchez, M., et al, 2019).

En la zona evaluada y alrededores se han identificado las siguientes geoformas:

3.2.1. 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). Así en el área evaluada se tienen:

3.2.1.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel base local; diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual.

a) *Subunidad de montañas en rocas volcánicas (RM-rv):*

Corresponde a las cadenas montañosas donde los procesos denudativos (fluvio-erosionales) afectaron rocas volcánicas de la Formación Condorsenga y la Secuencia Volcánica de Cajatambo. Las montañas cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas de pendientes fuerte a muy fuerte, varían de 15° a 45°. El anexo de Astobamba y las zonas de reubicación propuestas por la comunidad, se encuentran rodeados por estos lineamientos montañosos (figura 7).

Sus relieves se encuentran asociadas a procesos dominantes de erosión de laderas, deslizamientos, derrumbes y flujos.



Figura 7. Vista de la subunidad de montañas modeladas en rocas volcánicas (RM-rv), cuyas laderas presentan pendientes de fuerte a muy fuerte (15°-45°).

3.2.2. Geformas de carácter tectónico depositacional y agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geformas anteriores. Se tienen las siguientes unidades y subunidades:

3.2.2.1. Unidad de Piedemonte

Corresponde a la acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos, arena, limos y arcilla inconsolidados ubicado al pie de las cadenas montañosas; estos depósitos ocupan grandes extensiones. Se identificó las siguientes subunidades:

a) Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd):

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de laderas de montañas volcánicas, resultantes de la acumulación de material de origen coluvial y deluvial. Los principales agentes formadores de esta subunidad son los procesos de erosión de suelos, la gravedad, las lluvias, el viento, agua de escorrentía superficial y son altamente susceptibles a sufrir procesos geodinámicos como derrumbes y deslizamientos.

Así, por ejemplo, el anexo Astobamba y la zona de reubicación de Turijirca se encuentran asentados en una vertiente coluvio-deluvial, (figura 8), originado por un deslizamiento-flujo antiguo, reactivado hace más de 15 años, (Valderrama, 2008). Así mismo, estas geoformas se encuentran ampliamente desarrolladas en las laderas de ambos márgenes del río Cuchichaca, con pendientes predominantes, de fuerte a muy fuerte (15°-45°) y fáciles de remover.



Figura 8. Vista de la subunidad de Piedemonte coluvio-deluvial (V-cd), y sobre la cual se asientan el Anexo de Astobamba y la zona propuesta de Turijirca. Esta geoforma es cruzada por el canal principal de irrigación sin revestimiento.

b) Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-cd)

Zonas de acumulaciones en ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos. Generalmente su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, de corto a mediano recorrido. Su morfología es usualmente convexa y su disposición es semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Estas geoformas se observaron como cuerpos de deslizamientos antiguos depositadas en las laderas superiores del valle, donde las pendientes van de fuerte a muy fuerte (15°-45°). La zona de reubicación de Chaupilaquiar se encuentra asentada sobre esta subunidad.

c) Subunidad de vertiente aluvio-torrencial (P-at)

Corresponden a planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de los sistemas montañosos, formado por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional, así como lluvias ocasionales muy excepcionales que se presentan en el área de estudio.

Esta unidad es susceptible a remoción por flujo de detritos ubicado principalmente en la desembocadura de la quebrada Shapil.

d) Subunidad de vertiente coluvial de detritos (V-d)

Son depósitos inconsolidados acumulados al pie de las laderas de montañas, en forma de taluds de detritos irregulares de origen coluvial, de edad reciente, que desciende hacia el valle principal. Presentan una naturaleza litológica homogénea de granulometría variable con fragmentos angulosos y grado de compacidad bajo, no consolidado, (figura 9).

Son representados por la escala de trabajo empleado, ubicados en la margen derecha del río Cuchichaca, conforman materiales potencialmente inestables de las laderas que caen o ruedan por la fuerza de gravedad, con ayuda de las lluvias intensas o movimientos sísmicos.



Figura 9. Vista de la subunidad de vertiente coluvial de detritos, acumulado al pie de laderas de montañas y ubicado al noroeste del distrito de Cajatambo.

3.2.2.2. Unidad de Planicie

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, ya que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales.

a) Subunidad Terraza aluvial (T-al)

Son porciones de terreno alargado a ligeramente inclinado (pendiente menor a 5°), con altura relativamente marcada. Se encuentran encima del cauce del río Chaupilaquiar. Su composición litológica es resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferente granulometría (bolos, cantos, gravas con matriz de arenas y limos). Sobre estos terrenos se asienta la población del distrito de Cajatambo y se desarrollan extensas zonas de cultivo, (figura 10). Está sujeta a erosión fluvial.



Figura 10. Vista de la subunidad terraza aluvial con pendientes ligeramente inclinada (menor a 5°) y sobre la cual se asienta la población del distrito de Cajatambo.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada corresponden a los movimientos en masa de tipo deslizamiento, flujo, reptación de suelos, caídas y erosión de laderas, (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son el resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en la Cordillera de los Andes por cursos de agua, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa tienen como causas o condicionantes, factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial–subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “**desencadenante**” de estos eventos a las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona.

Los peligros geológicos identificados en la zona inspeccionada y alrededores corresponden a los subtipos agrupados en la clase de movimientos en masa (anexo 1 – mapa 4).

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

La caracterización de los eventos geodinámicos, se realizó en base a la información obtenida durante los trabajos de campo, donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico, basado en la observación y descripción morfométrica in situ; de igual modo se tomó datos GPS, fotografías a nivel de terreno y levantamiento fotogramétrico con dron, a partir del cual se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.14 y 0.07 cm/pixel respectivamente, complementada con el análisis de imágenes satelitales.

El Anexo de Astobamba se ubica en la margen izquierda del río Shapil, a 750 m al sur del poblado de Cajatambo, presenta una gran actividad geodinámica representada por deslizamientos antiguos y reactivados, reptación de suelos, derrumbes y flujos.

Además, la zona es considerada de muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (Luque et al., 2020).

4.2. Deslizamiento-flujo en el Anexo de Astobamba

El poblado de Astobamba se encuentra asentado sobre un depósito de deslizamiento antiguo, el cual se reactivó hace más de 15 años, comportándose como un flujo de tierra y reptación de suelos al pie del deslizamiento (Valderrama, 2008).

Las evidencias de estos procesos se manifestaron después del sismo de Pisco (15 de agosto del 2007), con agrietamientos de hasta 35 cm de ancho en las paredes de viviendas y asentamientos de terrenos de hasta 1 m de profundidad, (Luque & Rosado, 2012).

De acuerdo con Luque & Rosado (2012) y Luque et al., (2020), estos procesos afectaron un 80% de las viviendas y el 100% de servicios básicos de agua potable de la comunidad de Astobamba.

4.2.1. Características visuales del evento

La ocurrencia del deslizamiento-flujo se originó en la ladera noreste del cerro Yurajirca, a 1.4 km al suroeste del Anexo de Astobamba.

Las características de avance sugieren que se trata, en un inicio, de un deslizamiento rotacional, caracterizada por un escarpe principal de forma irregular y continua de 1.6 km de longitud y el cual se comporta como un flujo de tierra lento, principalmente en el cuerpo y pie del deslizamiento, (figura 11).

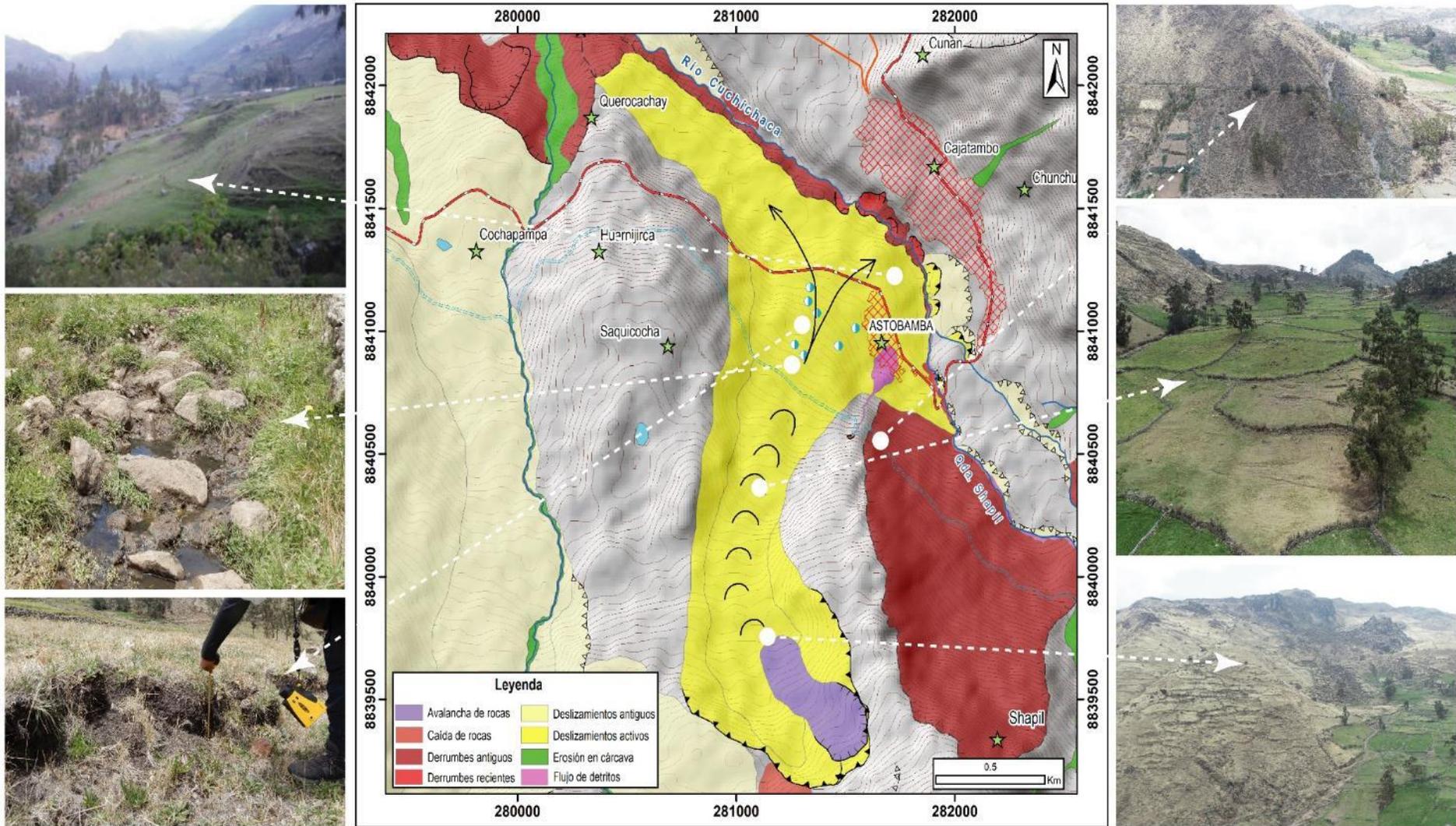


Figura 11. Cartografía de peligros geológicos del deslizamiento-flujo del Anexo de Astobamba.

La masa del deslizamiento empieza desde los 3800 m s.n.m. con un ancho promedio de 400 m y una longitud de aproximadamente 1.2 km; movilizada en una ladera de pendiente variable de 15° a 35°. La distribución o actividad es progresiva, de velocidad lenta e involucra suelos de tipo grava-arcilla, producto de la meteorización de rocas volcánicas (Formación Condorsenga) removidos por el deslizamiento.

Por otro lado, el flujo de tierra empieza sobre los 3550 m s.n.m. y en mayor porcentaje desde los 3500 m s.n.m debido a un canal de irrigación sin revestir, que se menciona como uno de los principales factores desencadenantes de este evento. (figura 12).

En la actualidad, viviendas y terrenos de cultivo de Astobamba, están siendo afectadas por este proceso de flujo de tierra que abarca una extensión de aproximadamente 0.9 km de longitud en la parte superior y de 2.0 km en la base, hasta la confluencia con el río Cuchichaca.

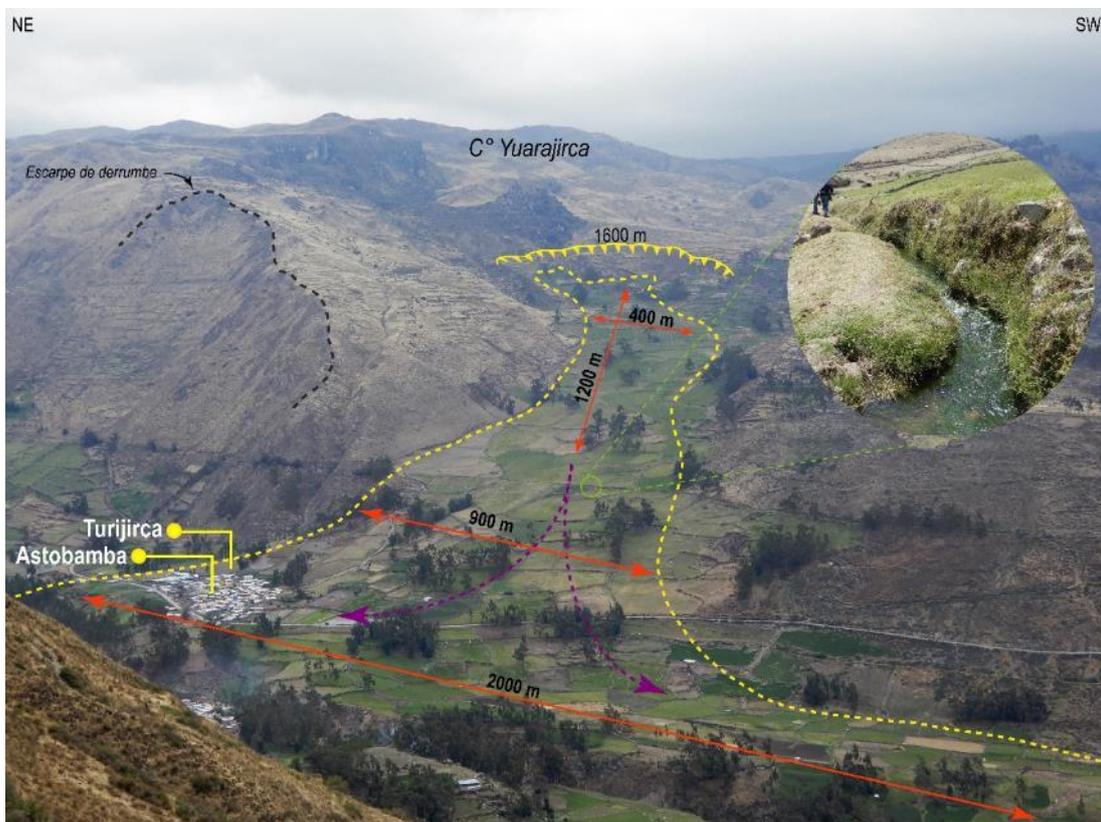


Figura 12. Características visuales y dimensiones del proceso deslizamiento-flujo que afecta tanto al Anexo de Astobamba, como a la zona de Turijirca, propuesta por la comunidad para la reubicación. En líneas entrecortadas verdes se muestra el canal principal de irrigación de aproximadamente 1.5 m de ancho y 0.70 m de profundidad, que discurre de sureste a noreste, desde el sector de Pumaririsco.

Las evidencias recientes se observan en el cuerpo del deslizamiento-flujo en forma de desniveles de terreno (DT) que varían entre 0.22 a 1.8 m, (cuadro 5 y figura 13).

Cuadro 5. Desniveles de terreno registradas en campo.

N°	COORDENADAS UTM			Desnivel de terreno (m)
	Norte	Este	Cota	
DT 1	8841158	281343	3499	1.0 – 1.8
DT 2	8841091	281365	3494	0.8 – 0.10
DT 3	8840931	281318	3513	0.22 – 0.25
DT 4	8841074	281369	3498	0.02 – 0.10

Estas características infieren procesos de reptación de suelos en la parte media e inferior del depósito, originadas en suelos (coluvio-deluviales con matriz arenarcilloso), saturado por aguas que discurren por canales artesanales no impermeabilizadas, los mismos que son utilizados para el riego por inundación de pastos.

Es necesario tener en cuenta a estos procesos, ya que pueden preceder a movimientos más rápidos como deslizamientos, debido a la deformación acumulada durante varios años de ocurrencia, que lleva a la masa reptante a su límite de resistencia.

En la figura 14, se muestra el cartografiado de grietas realizado en los informes técnicos N°A6589 y A6507 (2008 y 2011); así como los últimos realizados entre el 05 y 06 de noviembre del presente año, las cuales se ubican a 70 metros hacia los flancos este y oeste de la comunidad de Astobamba, con longitudes máximas de 160 m. De acuerdo con Luque & Rosado (2012), estos procesos afectan a un 80% de las viviendas.

De igual manera se registraron surgencias de agua (SA), (cuadro 6, fotografía 3 y figura 15), evidentemente controlados por el fracturamiento de la roca y cambio litológico (cobertura de depósitos superficiales). Según manifestaciones de los pobladores, algunos tienen más de 200 años de antigüedad; son estacionales y en temporadas de lluvias incrementan su caudal.

Cuadro 6. Ocurrencias de surgencias de agua registradas en campo.

N°	COORDENADAS UTM			Ocurrencias
	Norte	Este	Cota	
SA 1	8841178	281338	3498	Surgencia de agua
SA 2	8841122	281330	3497	Surgencia de agua
SA 3	8840944	281266	3511	Surgencia de agua
SA 4	8840901	281309	3516	Surgencia de agua
SA 5	8840850	281255	3531	Surgencia de agua
SA 6	8840940	281468	3471	Surgencia de agua
SA 7	8841011	281546	3440	Surgencia de agua

Todos estos rasgos observados en campo son indicativos que la masa deslizada sigue moviéndose hacia el valle del río Cuchichaca como un movimiento activo y latente, con actividad progresiva hacia el norte. Si bien es cierto el movimiento es de velocidad lenta, pero las lluvias intensas y/o prolongadas; así como la infiltración de las aguas puede acelerar el proceso.



Figura 13. Ocurrencias de asentamientos con desniveles de terreno que varían entre 0.22 a 1.8 m, evidenciados en el cuerpo del deslizamiento-flujo.

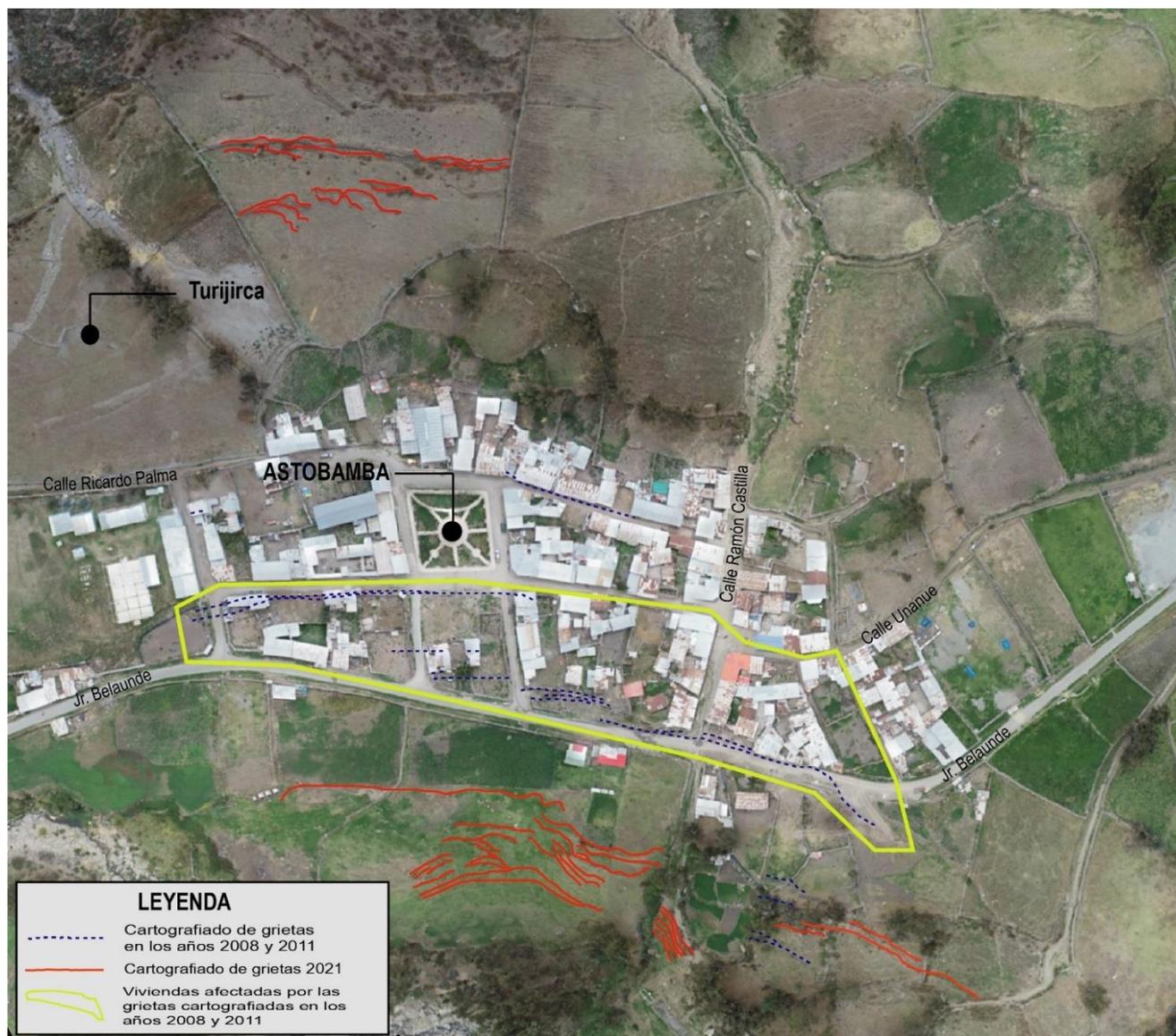


Figura 14. Cartografiado de grietas realizado en los informes técnicos N°A6589 y A6507; así como el cartografiado, reconocido en los trabajos de campo 2021, asociados a los procesos de reptación de suelos.



Fotografía 3. Surgencias de agua estacional (SA 3) observada en el cuerpo del deslizamiento-flujo, que, según manifestaciones de los pobladores, tienen más de 200 años de antigüedad, lo cual indica un nivel freático superficial



Figura 15. Canal artesanal antiguo que se utilizaba para el riego por inundación, actualmente muestra evidencias de surgencias de agua.

Finalmente mencionar que al pie del deslizamiento-flujo, se presenta erosión fluvial de los ríos Shapill y Cuchichaca, lo que condiciona la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes hacia ambas márgenes de los ríos (fotografías 4 y 5); lo que evidencia la actividad geodinámica en la zona y alrededores.



Fotografía 4. Se observa un derrumbe en la margen izquierda del río Shapill y vivienda a punto de colapsar a causa de este proceso.



Fotografía 5. Erosión fluvial en la margen izquierda del río Saphill, lo que provocó la afectación de los pilares del puente Astobamba.

4.2.2. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso de tobas litoclásticas, fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas, que permiten mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en las laderas.
- Presencia de suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), adosados a la ladera noreste del cerro Yurarjirca, compuestos principalmente por fragmentos de roca angulosos con diámetros que varían de 0.05 a 0.15 m envueltos en una matriz areno-arcilloso, producto de la meteorización de rocas volcánicas y removidos por el deslizamiento-flujo.

Factor geomorfológico

- Presencia de montañas modeladas en rocas volcánicas, cuyas laderas presentan pendientes fuertes (15° - 25°) a muy fuertes (25° - 45°); permiten que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

Factor hidrológico – hidrogeológico

- Presencia de manantiales en la parte alta de la ladera.
- Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas que circunscriben el cerro Yurarjirca.
- Presencia de agua subterránea (ojos de agua), los cuales saturan el terreno.

4.2.3. Factores detonantes o desencadenantes

- PRECIPITACIONES: Intensas precipitaciones pluviales y/o excepcionales, principalmente entre los meses de diciembre a abril, que en el último periodo 2017-2021 fue de aproximadamente 27.2 mm
- SISMOS: La presencia de sismos de gran magnitud, que según el Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas (Alva & Meneses, 1984), el área de estudio se encuentra ubicada en la zona 3 que corresponde a sismicidad alta.

4.2.4. Factores antrópicos

- Canales principal y canales de riego sin revestimiento, por donde discurre el agua permanentemente.

5.1. Sector de Turijirca

El sector de Turijirca se ubica a solo 200 metros hacia el sureste del anexo de Astobamba, en la margen izquierda del río Shapil, en las faldas del cerro Yurajirca.

5.1.1. Condiciones geológicas

Presenta las mismas condiciones geológicas descritas líneas arriba; pues al estar ubicado muy cerca al Anexo de Astobamba, la zona de Turijirca también se encuentra asentada en el mismo depósito coluvio-deluvial originado por el deslizamiento-flujo antiguo, reactivado hace más de 15 años.

El material está conformado por fragmentos de rocas volcánicas con diámetros que varían de 0.05 a 0.25 m envueltos en matriz areno-limoarcilloso, (fotografía 6), producto de la meteorización de rocas volcánicas y removidos por el deslizamiento-flujo. El depósito se encuentra medianamente consolidado.



Fotografía 6: Depósito coluvio-deluvial conformado por fragmentos de rocas heterométricas y angulosas envueltos en una matriz areno-arcilloso.

5.1.2. Condiciones geomorfológicas

Geomorfológicamente, el área propuesta, se encuentra asentada en la misma vertiente coluvio-deluvial originado por el deslizamiento-flujo con pendientes que varían entre 5° a 25°, catalogada entre el rango de pendientes de moderada a fuerte. Además, el área está circundada por un depósito coluvio-deluvial originada por derrumbes antiguos con laderas de pendientes muy fuertes (25° a 45°), susceptible a procesos de movimientos en masa de tipo caída.

5.1.3. Condiciones geodinámicas

El sector de Turijirca, además de ser afectado por el deslizamiento-flujo, es condicionado por la recurrencia de flujos de detritos, que se da lugar en la quebrada al suroeste del área mencionada.

Según manifiestan los pobladores, el último proceso se dio este año, recorrió alrededor de 410 m desde la zona de arranque hasta la plaza principal, en cuyo trayecto erosionó el lecho de la quebrada s/n y afectó aproximadamente el 30 % de

la población del Anexo de Astobamba (fotografía 7). Además, afectó dos viviendas, terrenos de cultivo y la plaza principal de Astobamba.

En la parte alta de la quebrada, margen derecha, se evidenció un derrumbe reciente que aporta material detrítico a la zona; con una zona de arranque de forma irregular y continua de aproximadamente 50 m de longitud. En temporada de lluvias intensas y/o prolongas; así como el canal sin revestimiento que lo cruza, aumentarían considerablemente el caudal de la quebrada lo que podría afectar nuevamente a la población asentada en la parte baja, (figura 17).

De igual manera, el área de reubicación propuesta por la comunidad también es afectada por procesos de reptación de suelos, detonado por el mal uso de las aguas de regadío en los terrenos continuos, además de la mala canalización del canal principal de flujo permanente.

Además, la zona es considerada de muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (Luque et al., 2020).



Fotografía 7. Vista del flujo de detritos que se dio origen este año en la quebrada s/n, que compromete el sector de Tijirca y afectó el 30 % población del Anexo de Astobamba.

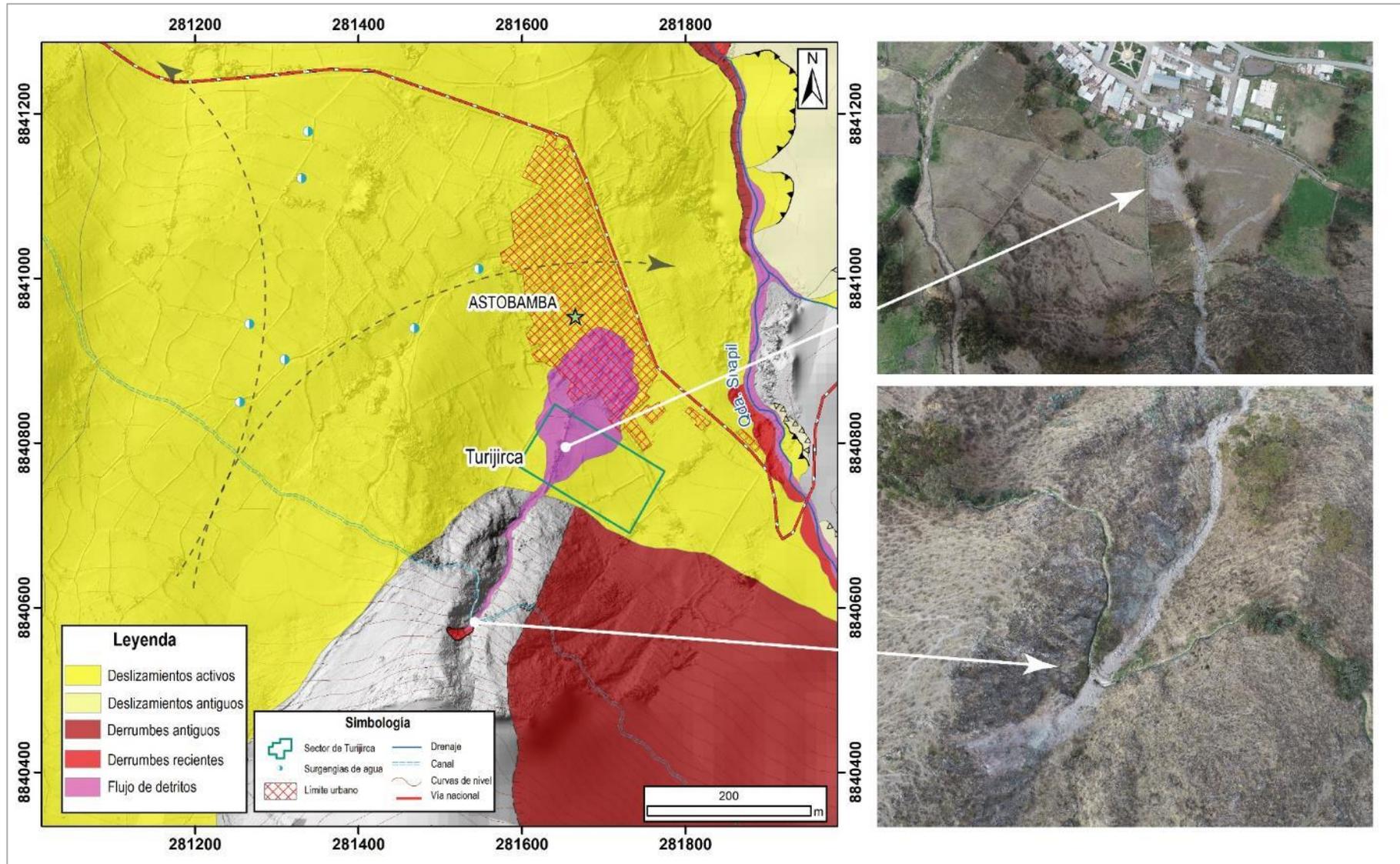


Figura 17. Cartografiado de procesos geológicos del sector de Turijirca. En las fotografías se evidencia la zona de arranque y reactivación de derrumbes recientes provenientes de la parte alta de la quebrada S/N, así como la zona de influencia. Dicho material desplazado al cauce, condicionado por las fuertes precipitaciones, así como el canal sin revestimiento que lo cruza, incrementaron el volumen del flujo.

5.2. Sector de Chaupilaquiar

El sector de Chaupilaquiar se ubica a 3.2 km hacia el noroeste del anexo de Astobamba, en la margen izquierda del río Cuchichaca.

5.2.1. Condiciones geológicas

Geológicamente el área está asentada sobre depósito coluvio-deluvial, originado por deslizamientos antiguos. El material está conformado por fragmentos de rocas angulosos a subangulosos con diámetros que varían de 0.05 a 0.15 m envueltos en una matriz areno-arcilloso, producto de la meteorización de rocas volcánicas de la Formación Condorsinga y removidos por el deslizamiento, (fotografía 8).



Fotografía 8. Depósito coluvio-deluvial conformado por fragmentos de rocas heterométricos y angulosas envueltos en una matriz areno-arcilloso.

5.2.2. Condiciones geomorfológicas

Geomorfológicamente, el área propuesta por la comunidad de Astobamba, se encuentra asentada en vertiente con depósito de deslizamiento, originadas por procesos de movimientos en masa antiguos, con pendientes que varían entre 15° a 25°, catalogada como fuerte. Además, el área esta circundada por montañas en rocas volcánicas con laderas de pendientes muy fuertes (25° a 45°), susceptible a procesos de movimientos en masa de tipo erosión en cárcava y flujos.

5.2.3. Condiciones geodinámicas

El área es afectada por dos deslizamientos antiguos, (figura 18); el primero se originó en la ladera sureste del cerro Urcashirca, que por sus características de avance refieren un deslizamiento rotacional, caracterizado por escarpas múltiples de forma irregular y continua. El escarpe principal es de aproximadamente 3.3 km de longitud, con un salto principal de 220 m y saltos secundarios de 90 m y 60 m. Así mismo, el área es afectado por un segundo deslizamiento, posiblemente contemporáneo al primero, con un escarpe de aproximadamente 1.1 km de longitud, salto principal de 90 m, un ancho promedio de 500 m y una distancia de 1.2 km entre la escarpa y pie del deslizamiento.

Así mismo, el área es afectada por procesos de reptación de suelos y erosión en cárcavas (figura 19), ubicadas dentro y fuera de los cuerpos de los deslizamientos antiguos. La reptación de suelos se observa como discontinuidades pequeñas en la ladera, con longitudes promedio de 80 m, ocupando un área de 0.019 km². La erosión en cárcavas son retrogresivas con un ancho de hasta 110 m en las zonas más amplias y afectando principalmente 0.18 km² de zonas de cultivo.

Estos procesos erosivos deben su origen a la sobresaturación de los suelos que existe en la zona y continuarán de no revestir el canal de regadío, ni de cambiar el sistema de riego de los terrenos cercanos, que actualmente es por inundación.

Además, la zona es considerada de alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (Luque et al., 2020).

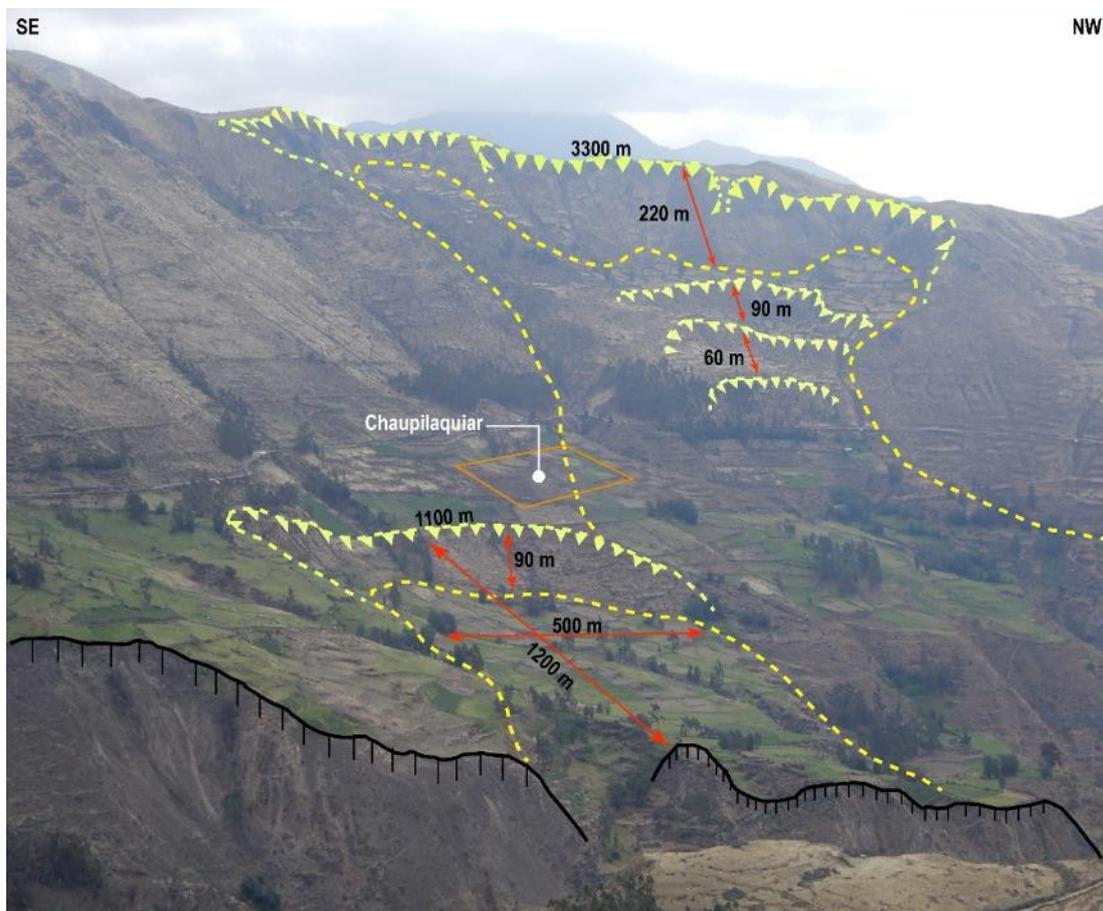


Figura 18. Vista del área de reubicación denominado Cahupilaquiar, influenciada por dos procesos de movimientos en masa antiguos de tipo deslizamiento.

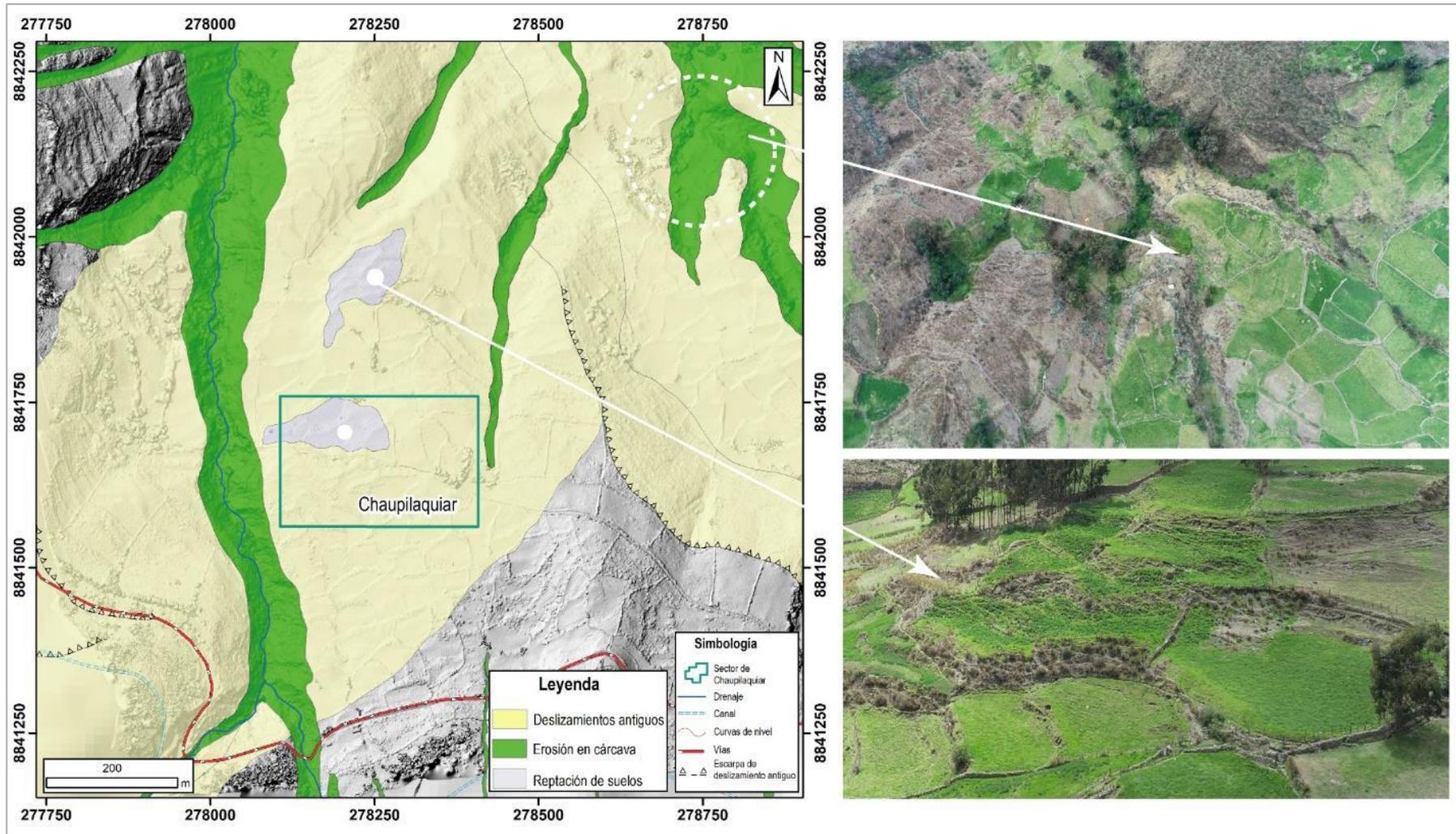


Figura 19. Cartografiado de procesos geológicos del sector de Chaupilaquiar. En las fotografías se observa los procesos de erosión en cárcava de actividad retrogresiva hacia el sur y reptación de suelos observados como saltos y discontinuidades pequeñas en la ladera.

6. CONCLUSIONES

- 1) El anexo Astobamba se encuentra asentado en un depósito coluvio-deluvial conformado por fragmentos de roca angulosos con diámetros que varían de 0.05 a 0.15 m envueltos en una matriz areno-arcilloso, originado por un deslizamiento-flujo antiguo, reactivado hace más de 15 años y que presenta actividad geodinámica permanente.
- 2) La ocurrencia de agrietamientos recientes, con desniveles de terreno que varían entre 0.22 a 1.8 m; así como, las surgencias de agua identificados en el cuerpo del deslizamiento-flujo, son indicativos que la masa sigue moviéndose hacia el valle del río Cuchichaca como un movimiento activo y latente, con actividad progresiva hacia el norte.
- 3) El sector de Turijirca (como área propuesta por la comunidad de Astobamba para la reubicación), se encuentra asentado en el mismo depósito coluvio-deluvial, originado por el deslizamiento-flujo; así mismo el área es afectada por flujos de detritos que en temporada de lluvias intensas y/o prolongas; así como la existencia del canal principal sin revestimiento, aumentarían considerablemente el caudal de la quebrada lo que podría afectar nuevamente a la población asentada en la parte baja.
- 4) El sector de Chaupilaquiar (como área propuesta por la comunidad de Astobamba para la reubicación) está asentada sobre depósito coluvio-deluvial, originado por dos deslizamientos antiguos. Así mismo, el área es afectada por procesos de reptación de suelos y erosión en cárcavas, ubicadas dentro y fuera de los cuerpos de los deslizamientos antiguos y deben su origen a la sobresaturación de los suelos que existe en la zona.
- 5) Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, los sectores de Turijirca y Chaupilaquiar, son considerados zonas **NO APTAS** para la reubicación del anexo de Astobamba.
- 6) La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa en las zonas evaluadas está condicionada por los siguientes factores:
 - Substrato rocoso compuesto de tobas litoclásticas, fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas, que permiten mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en las laderas.
 - Presencia de suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), adosados a las laderas noreste del cerro Yurarjirca
 - Laderas que circunscriben al anexo de Astobamba y zonas de reubicación, con pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°)
 - Acción de las aguas de escorrentía y presencia de agua subterránea (ojos de agua y manantiales) que saturan el terreno.
- 6) El factor desencadenante para la ocurrencia de movimientos en masa en el Anexo de Astobamba y alrededores, se atribuye a las lluvias intensas y/o excepcionales registradas en los meses de diciembre a abril con umbrales de 27.2 mm por día y la actividad sísmica.

7. RECOMENDACIONES

- 1) Las condiciones actuales en Astobamba, implican la reubicación de las viviendas del Anexo de Astobamba (ubicadas entre la calle Unanue y Jr Belaunde) a lugares seguros que puede ser localizado en las partes altas.
- 2) Los canales de riego deben ser revestidos (concreto, mampostería, terrocemento, entre otros), para controlar la infiltración y la saturación de terrenos. Estos trabajos deben ser realizados por un especialista.
- 3) Realizar la captación y la derivación de las aguas de manantiales que se encuentran dentro y cerca del deslizamiento; estas aguas deberán ser conducidas por medio de canales revestidos hacia cauces naturales (quebradas) ubicadas lejos de las zonas inestables.
- 4) Cambiar el sistema de riego, que actualmente es por inundación, por un sistema de riego tecnificado, esto evitaría la excesiva infiltración de agua al subsuelo
- 5) Realizar drenajes a lo largo de los terrenos de cultivo, para así controlar el flujo de las aguas de regadío, con esto se evitará la infiltración excesiva y la erosión superficial.
- 6) Implementar y realizar el monitoreo instrumental del movimiento deslizamiento-flujo identificado en el Anexo de Astobamba.
- 7) Para disminuir el impacto de las zonas de carcavamiento se debe realizar un tratamiento integral (reforestación, sistemas de drenajes, estructuras disipadoras de energía), con el fin de evitar mayor erosión de las mismas.
- 8) Realizar charlas de sensibilización y concientización del peligro y riesgo al que se encuentran expuestos los poblados del Anexo San Antonio.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



.....
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

Alva, J.; Meneses, J. & Guzmán, V. (1984) - Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú (en línea). Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 5, Tacna, 11 p. (consulta: 5 noviembre 2017). Disponible en: http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017) – Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017: XII de Población; VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. (Consulta: Junio 2021). Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm.

Luque, G. & Rosado, M. (2012) – Inspección técnica: deslizamiento - flujo de tierra en la comunidad campesina Astobamba. Distrito de Cajatambo, provincia de Cajatambo, región Lima. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Informe Técnico A6589, 39 p. Disponible en: <http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/ingemmet/1561>.

Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020) - Peligro geológico en la región Lima. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica, 76, 298 p., 9 mapas.

Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016) - Decreto supremo N° 003-2016-VIVIENDA: Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “diseño sismoresistente” del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con decreto supremo N° 002-2014-VIVIENDA. El Peruano, Separata especial, 24 enero 2016, 32 p.

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, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

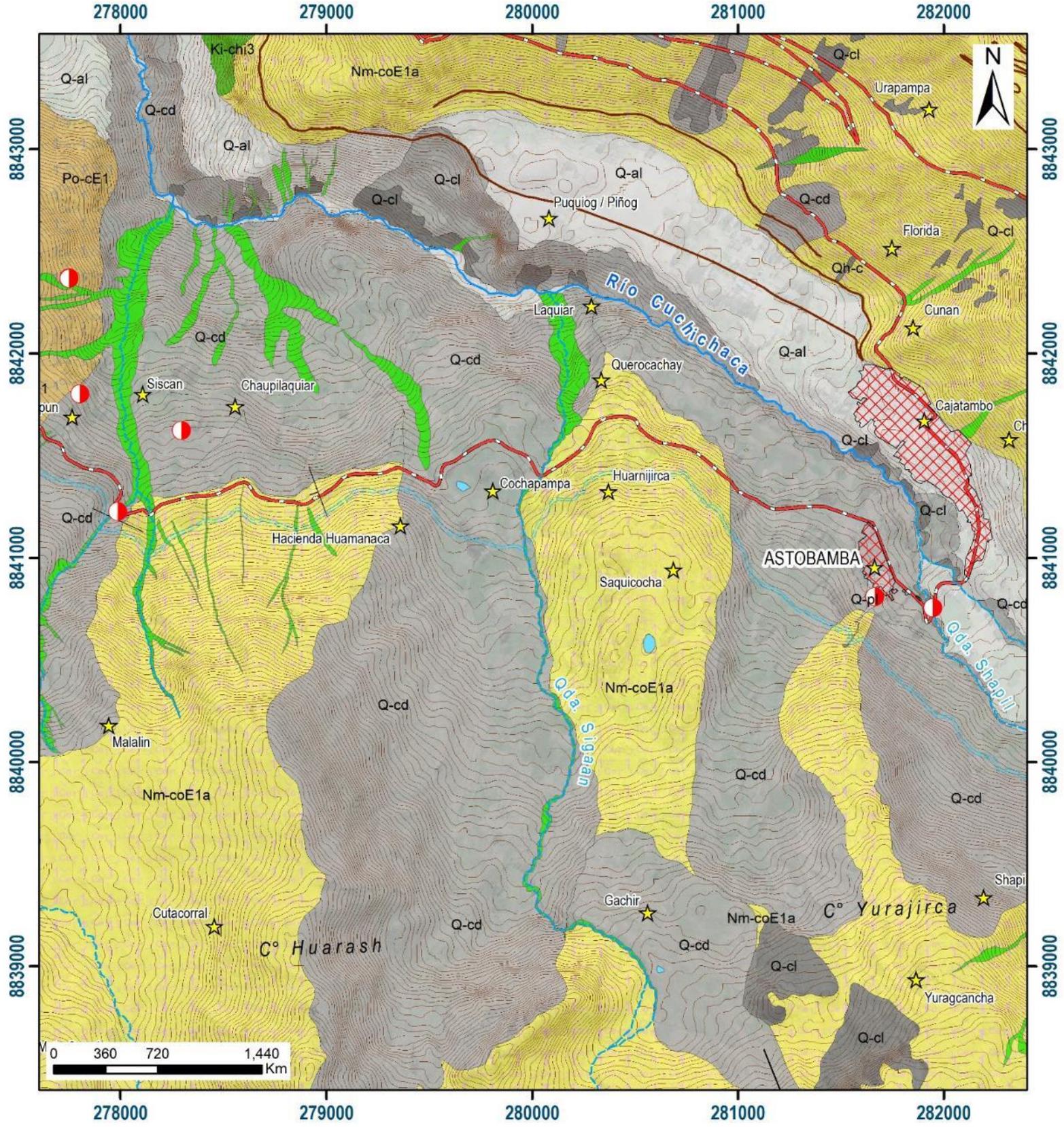
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2020) – SENAMHI. (consulta: Noviembre 2021). <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.

Cobbing J; Sánchez A.; Martínez W.; Zárate H. (1996)- Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca (hojas: 20-h, 20-i, 20-j, 21-j). INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 76, 297p.

Valderrama, P. (2008) – Evaluación de los peligros geológicos en el anexo de Astobamba - Provincia de Cajatambo, Departamento de Lima. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Informe Técnico A6507, 29 p. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2186>.

Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

ANEXO 1: MAPAS



LEYENDA

Q-al	Depósito aluvial
Q-cl	Depósito coluvial
Q-pl	Deposito proluvial
Q-cd	Depósito coluvio-deluvial
Po-cE1	Secuencia volcánica Cajatambo
Nm-coE1a	Formación Condorsenga
Ki-chi3	Grupo Goyllarisquizga

Simbología

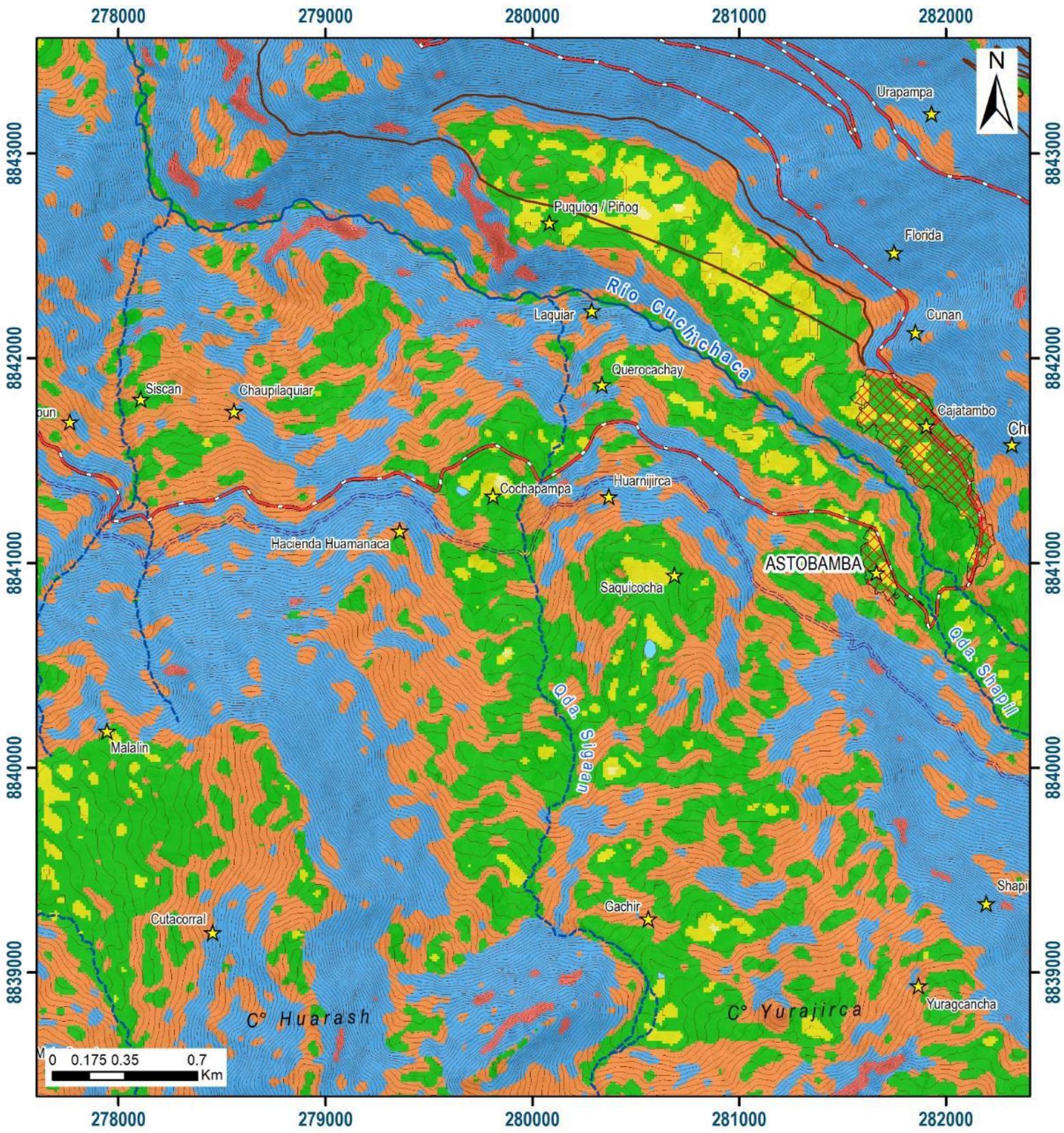
★	Centros poblados
— (red)	Vía nacional
— (brown)	Vía vecinal
▤ (red)	Limite urbano
— (blue)	Río
— (dashed blue)	Drenaje
— (dashed blue)	Canal
— (grey)	Curvas de nivel
— (light blue)	Cuerpos de agua
— (green)	Erosión en cárcava

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: LIMA
 PROVINCIA: CAJATAMBO
 DISTRITO: CAJATAMBO

MAPA GEOLÓGICO

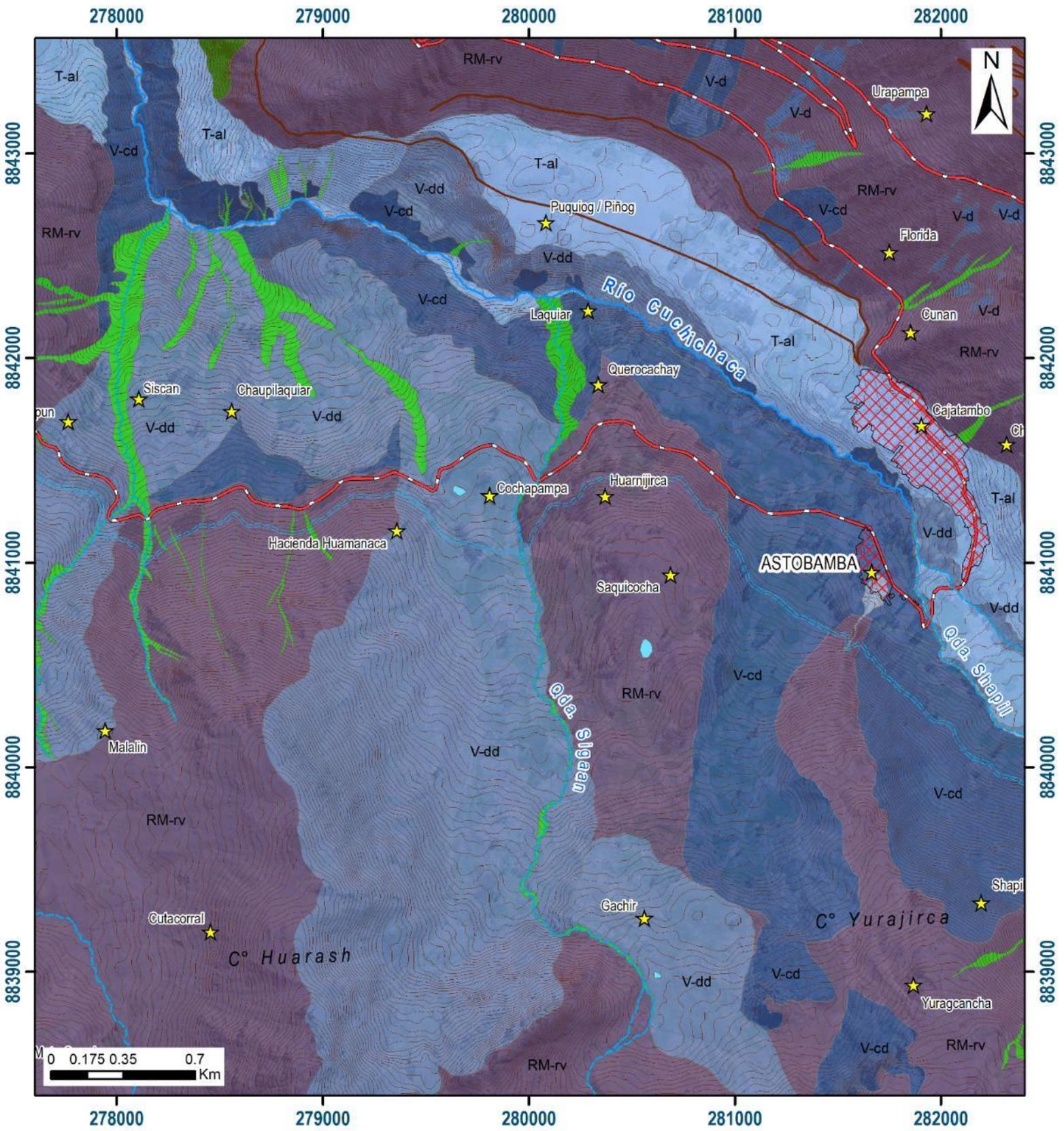
Escala: 1/25,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 01
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2021	Impreso: Noviembre, 2021	



RANGO DE PENDIENTES	
0°-1°	Terreno llano
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5°-15°	Pendiente moderada
15°-25°	Pendiente fuerte
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
>45°	Terreno muy escarpado

Simbología	
★	Centros poblados
— (red)	Via nacional
— (brown)	Via vecinal
▨ (cross-hatched)	Limite urbano
— (blue)	Rio
- - - (blue)	Drenaje
- - - (grey)	Canal
~ (grey)	Curvas de nivel
■ (light blue)	Cuerpos de agua

<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
<p>DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</p>		
<p>DEPARTAMENTO: LIMA PROVINCIA: CAJATAMBO DISTRITO: CAJATAMBO</p>		
<p>MAPA DE PENDIENTES</p>		
Escala: 1/25,000	Elaborado por: Nuñez, M.	<p>MAPA 02</p>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2021	Impreso: Noviembre, 2021	



LEYENDA

RM-rs	Montaña en roca sedimentaria
RM-rv	Montaña en roca volcánica
V-cd	Vertiente coluvio-deluvial
V-d	Vertiente coluvial de detritos
V-dd	Vertiente con depósito de deslizamiento
V-at	Vertiente aluvio-torrencial
T-al	Terraza aluvial

Simbología

★	Centros poblados
—	Via nacional
—	Via vecinal
▨	Límite urbano
—	Río
---	Drenaje
---	Canal
~	Curvas de nivel
■	Cuerpos de agua
■	Erosión en cárcava

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO: LIMA
 PROVINCIA: CAJATAMBO
 DISTRITO: CAJATAMBO

MAPA GEOMORFOLÓGICO

Escala: 1/25,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2021	Impreso: Noviembre, 2021	

278000

279000

280000

281000

282000



8843000

8843000

8842000

8842000

8841000

8841000

8840000

8840000

8839000

8839000

8838000

8838000

278000

279000

280000

281000

282000



Leyenda	
	Avalancha de rocas
	Caída de rocas
	Derrumbes antiguos
	Derrumbes recientes
	Deslizamientos antiguos
	Deslizamientos activos
	Erosión en cárcava
	Flujo de detritos
	Reptación de suelos

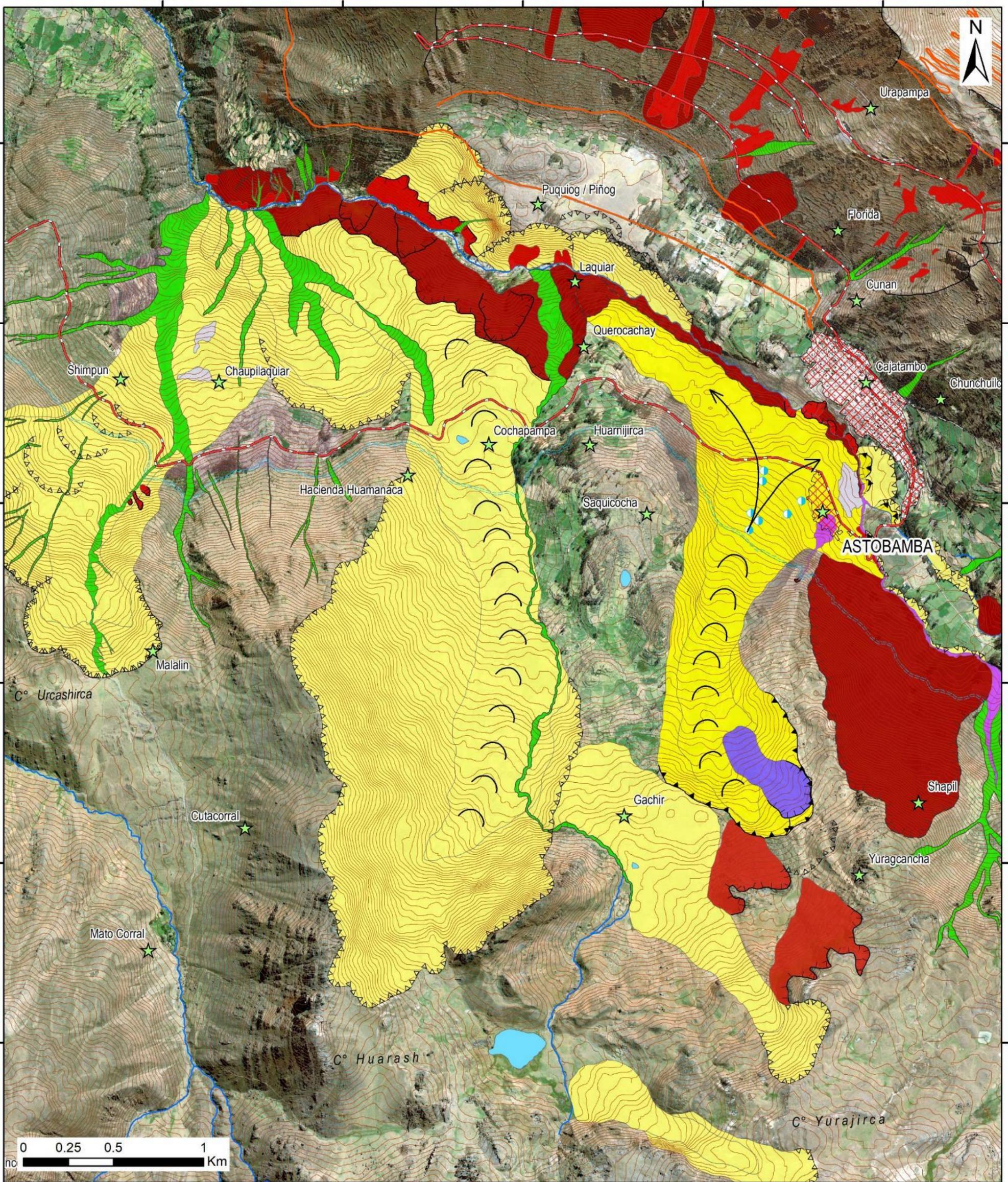
Trama	
	Escarpa de derrumbe antiguo
	Escarpa de derrumbe reciente
	Escarpa de deslizamiento antiguo
	Escarpa de deslizamiento activo

Simbología	
	Centros poblados
	Drenaje
	Surgencias de agua
	Canal
	Vía nacional
	Vía vecinal
	Curvas de nivel
	Cuerpos de agua
	Límite urbano

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 DEPARTAMENTO LIMA
 PROVINCIA CAJATAMBO
 DISTRITO CAJATAMBO

MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS

Escala: 1/20000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 04
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2021	Impreso: Noviembre, 2021	



ANEXO 2: GLOSARIO

Peligros geológicos: Son fenómenos que podrían ocasionar pérdida de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

Movimiento en Masa: Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladero abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

Susceptibilidad: La susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

Deslizamiento (Slide): Es un movimiento, ladera abajo, de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Varnes (1978) clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales, a su vez, pueden ser planares y/o en cuña. (figura 20)

Deslizamiento rotacional: En este tipo de deslizamiento, la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es autodeslizante, y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es, con frecuencia, baja excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

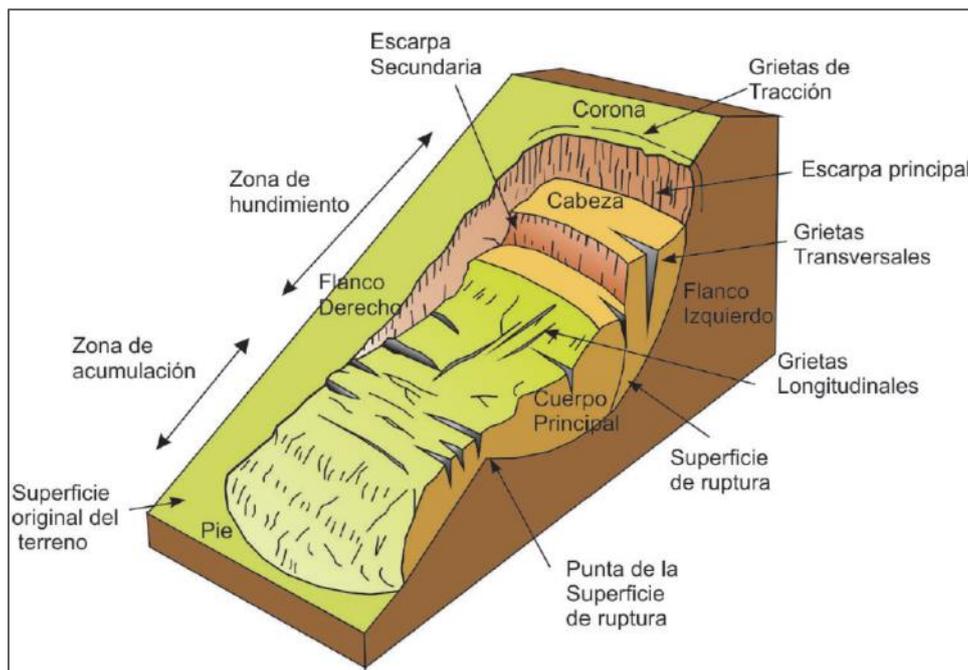


Figura 20. Partes de un deslizamiento rotacional.

Reptación: Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional cuando se asocia a cambios climáticos, o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo, (figura 21).

La reptación de suelos es importante en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos.

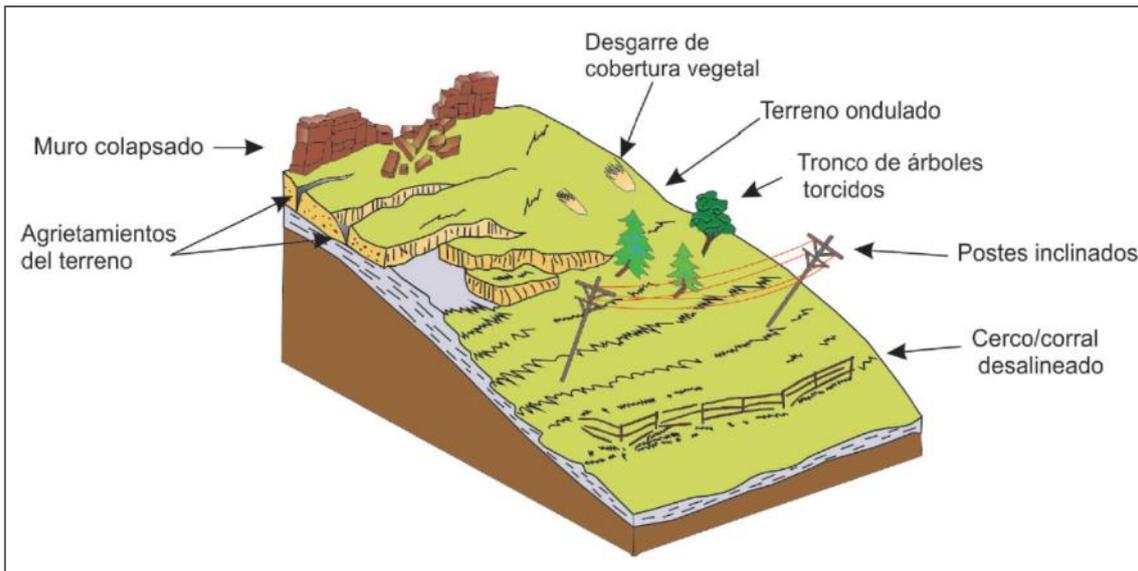


Figura 21. Esquema de reptación

Flujo (Flow): Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco (figura 1). En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Según Hungr & Evans (2004) los flujos se pueden clasificar de acuerdo al tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado, figura 22) y otras características que puedan hacerlos distinguibles. Por ejemplo, se tienen flujos de detritos (huaicos), de lodo, inundación de detritos, etc.

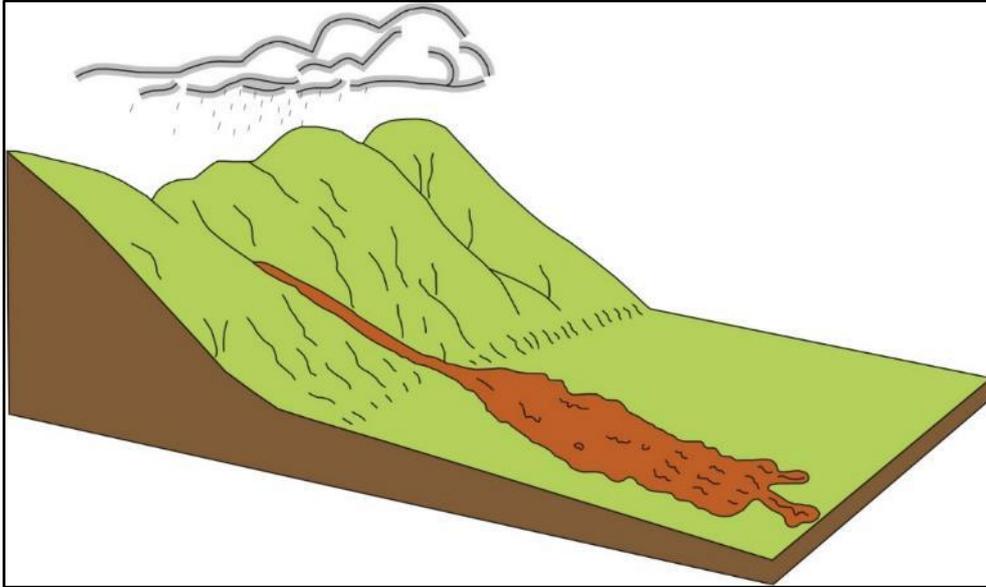


Figura 22. Esquema de flujo

Derrumbe: Son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas de los cerros, consisten en el desprendimiento y caída repentina de una masa de suelo o rocas o ambos, que pueden rodar o caer directamente en forma vertical con ayuda de la gravedad. Son producidos o reactivados por sismos, erosión (socavamiento de la base en riberas fluviales o acantilados rocosos), efecto de la lluvia (saturación de suelos incoherentes) y la actividad humana (acción antrópica: cortes de carreteras o áreas agrícolas). (figura 23)

Estos movimientos tienen velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas (Vilchez, 2019).

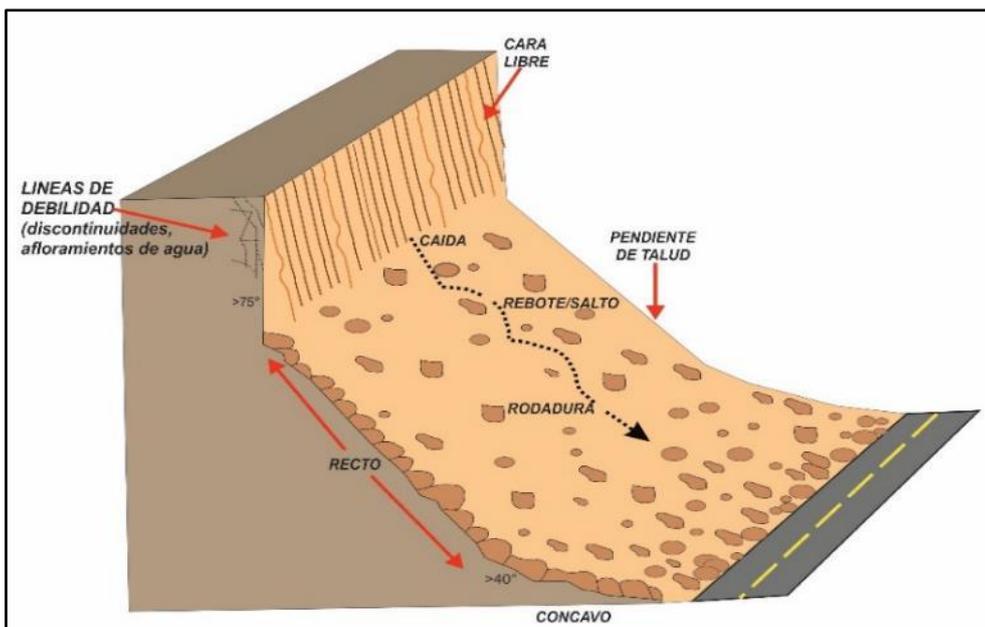


Figura 23. Esquema de Derrumbe (Vilchez 2015).

Movimientos complejos: Su denominación está dada por la conjunción o combinación de dos o más procesos de movimientos en masa en un sector, (figura 24).

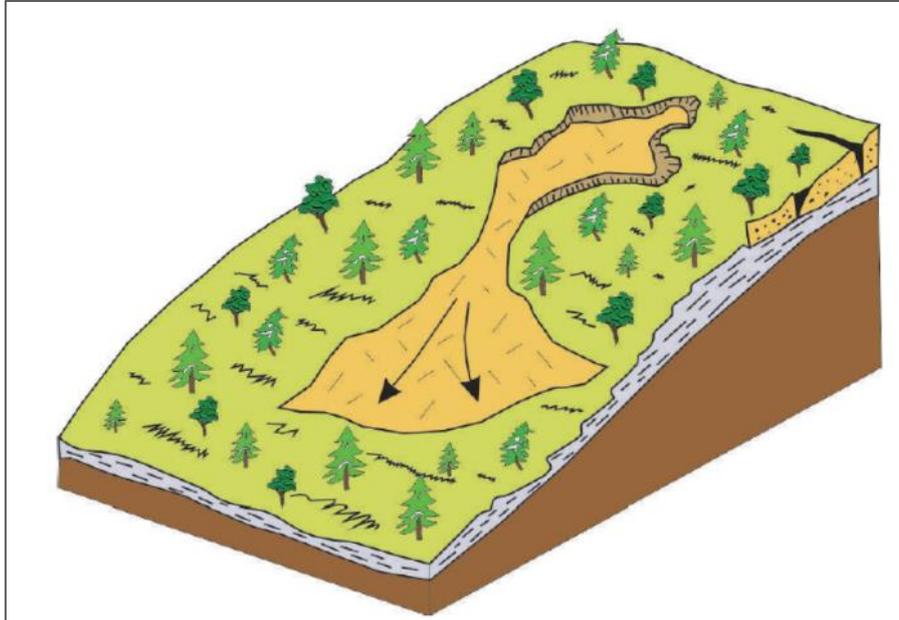


Figura 24. Esquema de un movimiento complejo

Erosión de laderas: Este tipo de eventos son considerados predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas, que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Gonzalo et al., 2002).

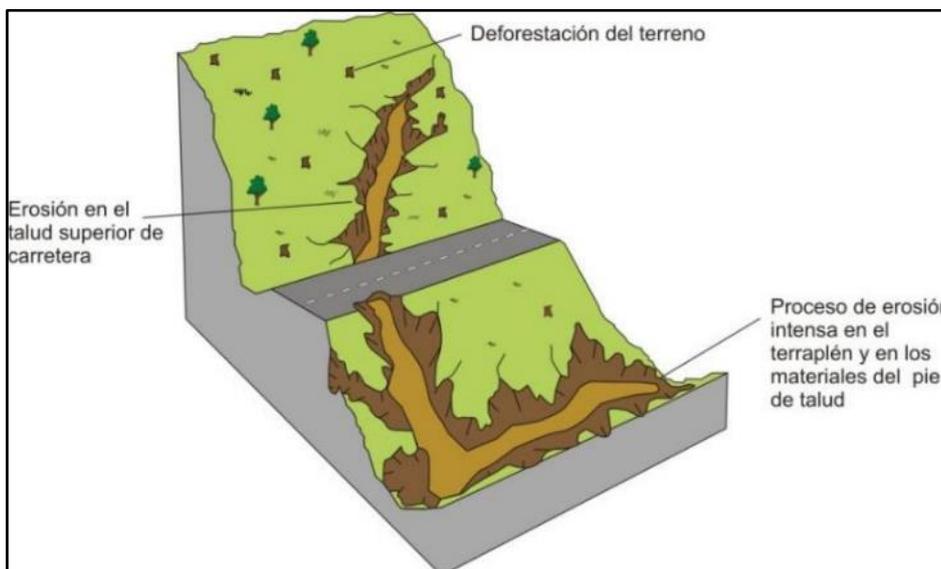


Figura 25. Esquema de erosión de laderas en cárcavas.

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA DESLIZAMIENTOS Y REPTACIÓN DE SUELOS.

1.1. Manejo de aguas de escorrentía

La topografía y el régimen de lluvias pueden favorecer la acción del agua de escorrentía, causante de muchos fenómenos erosivos. Cuando no es posible propiciar una mayor infiltración, porque la topografía no lo permite, es necesario evacuar el agua hasta los cauces naturales, de esta manera se evita la saturación del terreno y disminuye la inestabilidad de la ladera que ha favorecido procesos de movimientos en masa. Las obras de drenajes se recomiendan cuando:

- Hay que evacuar aguas sobrantes superficiales
- Existen volúmenes de agua grandes a drenar
- El nivel freático se encuentra cerca de la superficie del terreno.
- Las características climáticas del sector corresponden a zonas lluviosas.
- Cuando existen filtraciones de agua subterráneas.

En la zona evaluada para la mitigación de los peligros geológicos, se debe controlar la infiltración del agua hacia afuera del cuerpo del deslizamiento y masas de suelo reptante. Los métodos de estabilización de los deslizamientos, que contemplan el control del agua, tanto superficial como subterránea, son muy efectivos y generalmente más económicos que la construcción de grandes obras de contención, desactivan y disminuyen la presión de los poros, considerada el principal elemento desestabilizantes en laderas. El drenaje reduce el peso de la masa y al mismo tiempo aumenta la resistencia de la ladera (Suarez, 1998).

Las medidas de drenaje recomendadas son de dos tipos:

a. **Drenaje superficial:** Las zanjas construidas permiten la recolección de aguas superficiales, captan la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y desvía el agua a las quebradas adyacentes al cuerpo de deslizamiento, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a las quebradas, (figura 26). Éstas deben ser construidas en la parte superior al escarpe principal del deslizamiento.

Es importante el mantenimiento periódico de las zanjas, antes y durante la época de las precipitaciones pluviales.

b. **Drenaje profundo.** La finalidad es deprimir el nivel freático con las consiguientes disminuciones de las presiones intersticiales. Para su uso es necesario conocer previamente las características hidrogeológicas del terreno. Se clasifican en los siguientes grupos:

- i. Drenes horizontales. Se perforan desde la superficie del talud, llamados también drenes californianos. Consisten en taladros de pequeño diámetro, aproximadamente horizontales, entre 5° y 10°, que parten de la superficie del talud y que están generalmente contenidos en una sección transversal del mismo (Figuras 27 y 28).

Sus ventajas son:

- Su instalación es rápida y sencilla.
- El drenaje se realiza por gravedad.
- Requieren poco mantenimiento.
- Es un sistema flexible que puede readaptarse a la geología del área.

Sus desventajas son:

- Su área de influencia es limitada y menor que en el caso de otros métodos de drenaje profundo.
- La seguridad del talud hasta su instalación puede ser precaria.

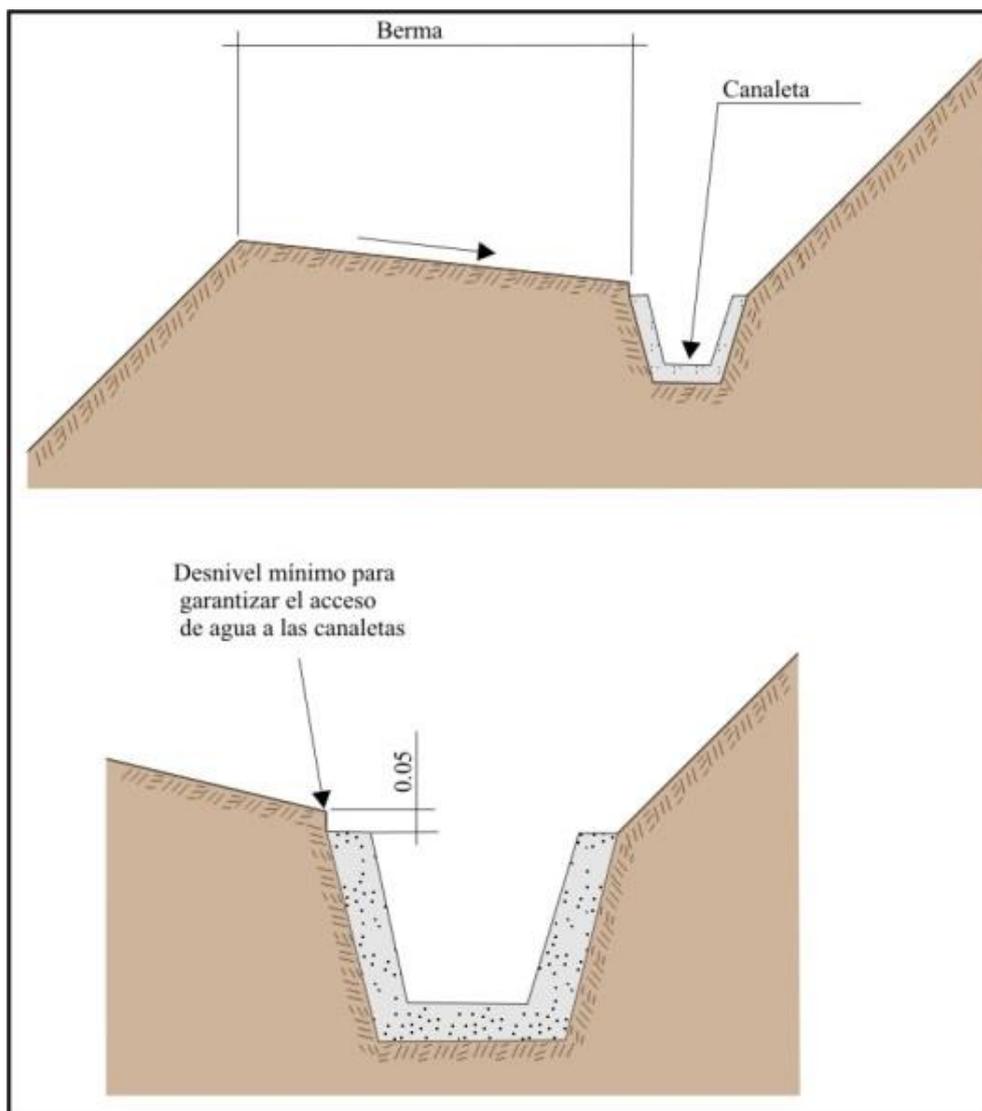


Figura 26. Detalle de una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Fuente: Ingemmet (2000).

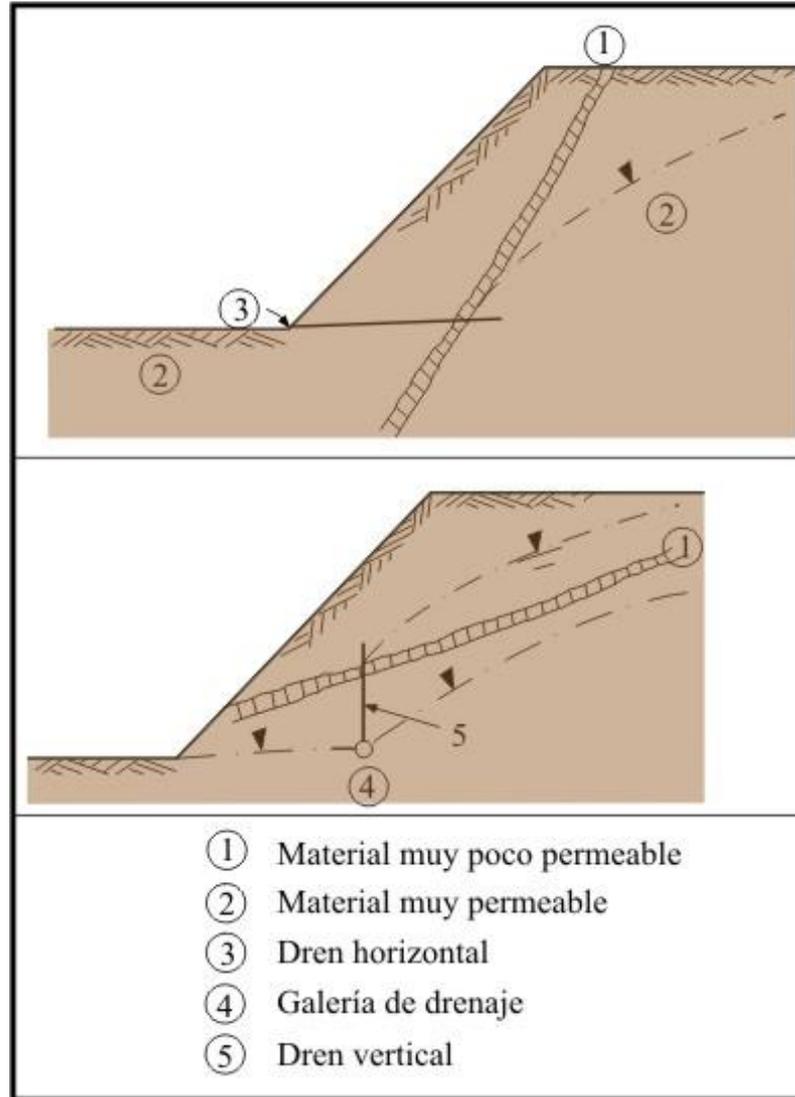


Figura 27. Disposición de sistema de drenaje en taludes no homogéneos. Tomado de INGEMMET, 2000.

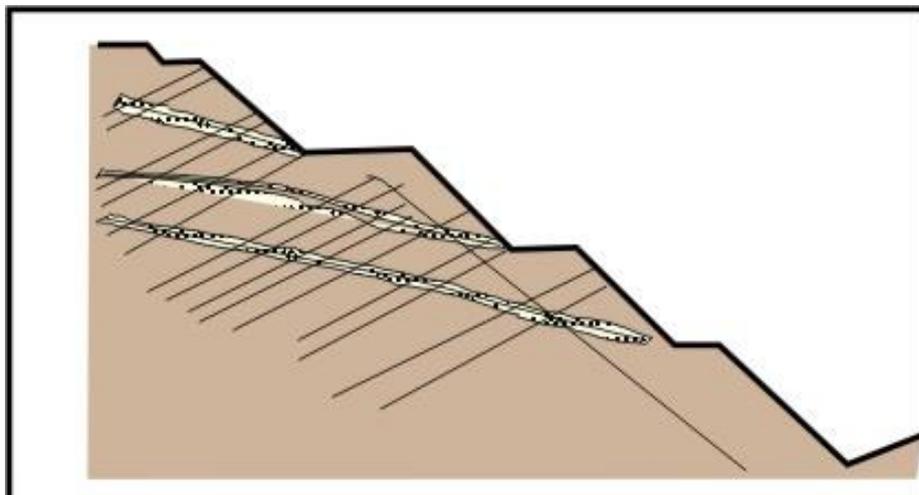


Figura 28. Esquema de drenaje de un talud por medio de drenes californianos. Fuente: López García, 1984.

- ii. Galerías de drenaje. Se ubica generalmente paralela al talud y a bastante profundidad. Son galerías excavadas en el terreno a una distancia considerable de la superficie. Constituye un sistema bastante efectivo pero muy caro, por lo que su uso solo es recomendable en situaciones críticas y en taludes de gran altura. Para aumentar su radio de acción es necesario instalar drenes perforados desde la galería, aumentando así su radio de acción y la efectividad del sistema de drenaje (Figuras 29 y 30).

Dentro de sus ventajas se cuentan las siguientes:

- Tienen mayor capacidad drenante debido a su gran sección transversal.
- Son apropiadas para operaciones a largo plazo dado que el drenaje se realiza por gravedad.
- Sirven para determinar la calidad del terreno.
- No afectan a la superficie del terreno.
- Son apropiadas para zonas de climas fríos debido a que se ubican a gran profundidad.

Sus desventajas son:

- El alto costo que demanda.
- Requieren de estudios hidrogeológicos detallados del área.

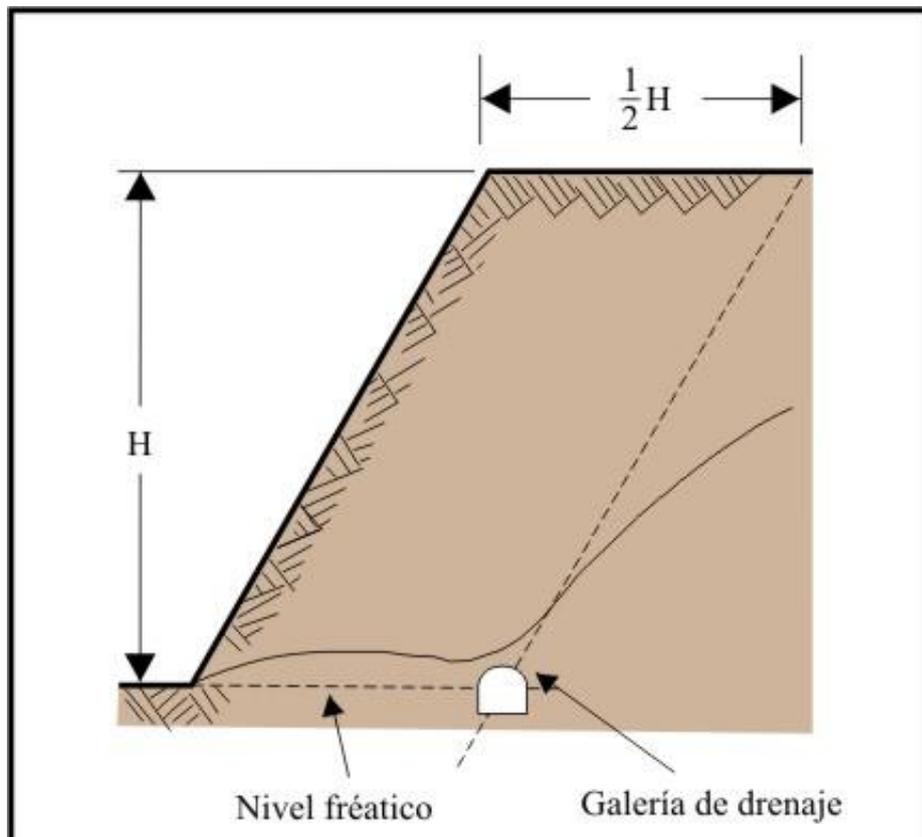


Figura 29. Posición óptima de una galería de drenaje. Fuente: Hoek y Bray, 1997.

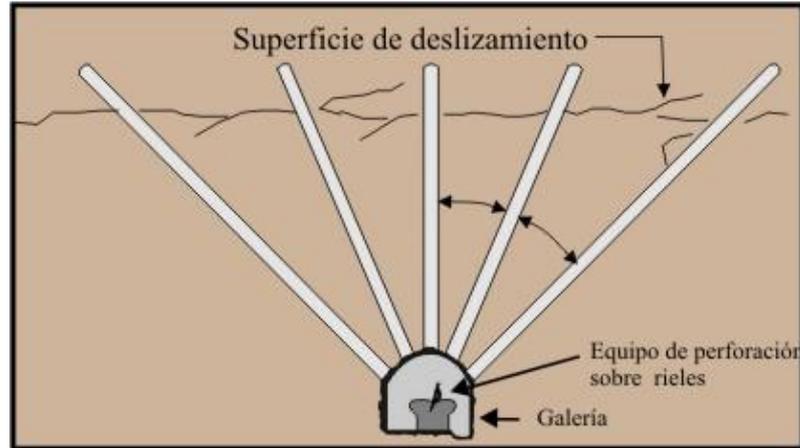


Figura 30. Drenaje de la superficie de deslizamiento desde una galería de drenaje. Fuente: CanneT, 1997.

- iii. Zanjas con relleno drenante. Se construye en la superficie del talud o al pie de él. Consisten en zanjas rellenas de material drenante, excavadas en el talud o más allá del pie del mismo y cuya acción drenante se limita a profundidades pequeñas (Figura 31).

Pueden ser de dos tipos:

- Zanjas de talud: Son las que siguen la línea de máxima pendiente del talud y son aplicables cuando los deslizamientos están situados a poca profundidad (Figura 32).
- Zanjas horizontales: Son paralelas al talud y se sitúan próximos al hombro del talud. Son útiles los drenes en forma de «espina de pescado» (Figura 33), que combinan una zanja drenante según la línea de máxima pendiente con zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central. Su construcción y mantenimiento en zonas críticas debe tener buena vigilancia.

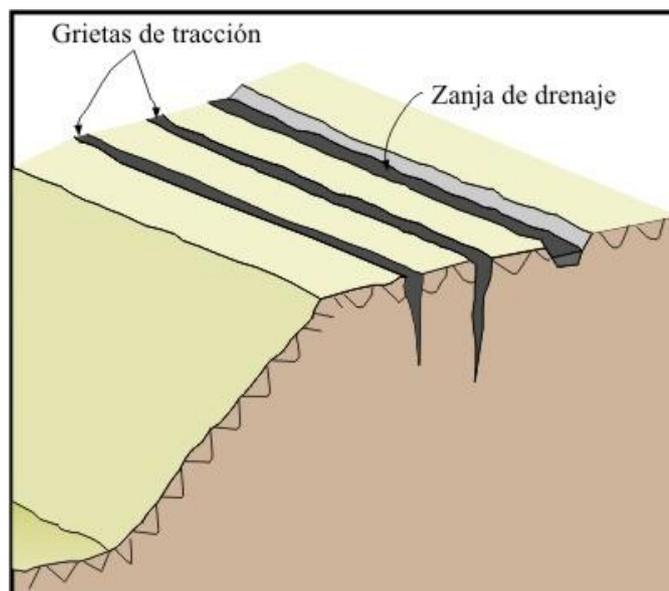


Figura 31. Disposición de zanjas de drenaje en un talud. Tomado de INGEMMET, 2000.

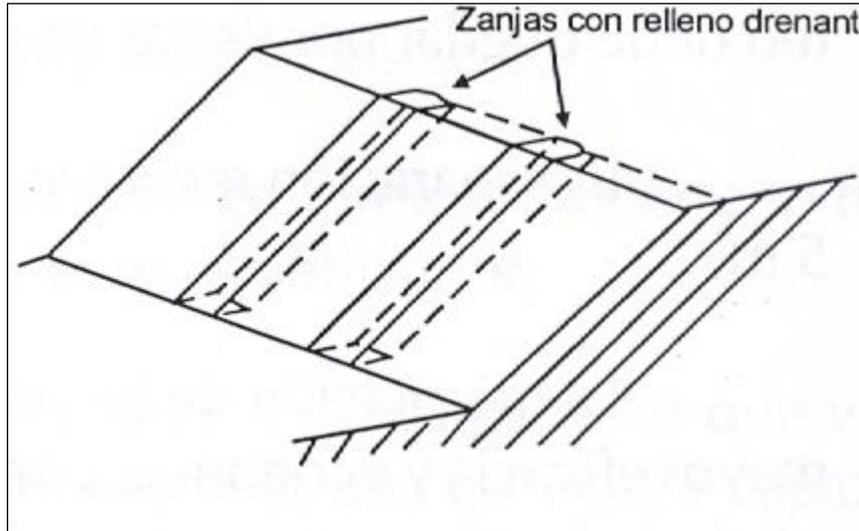


Figura 32. Zanjas de talud. Tomado de INGEMMET, 2000.

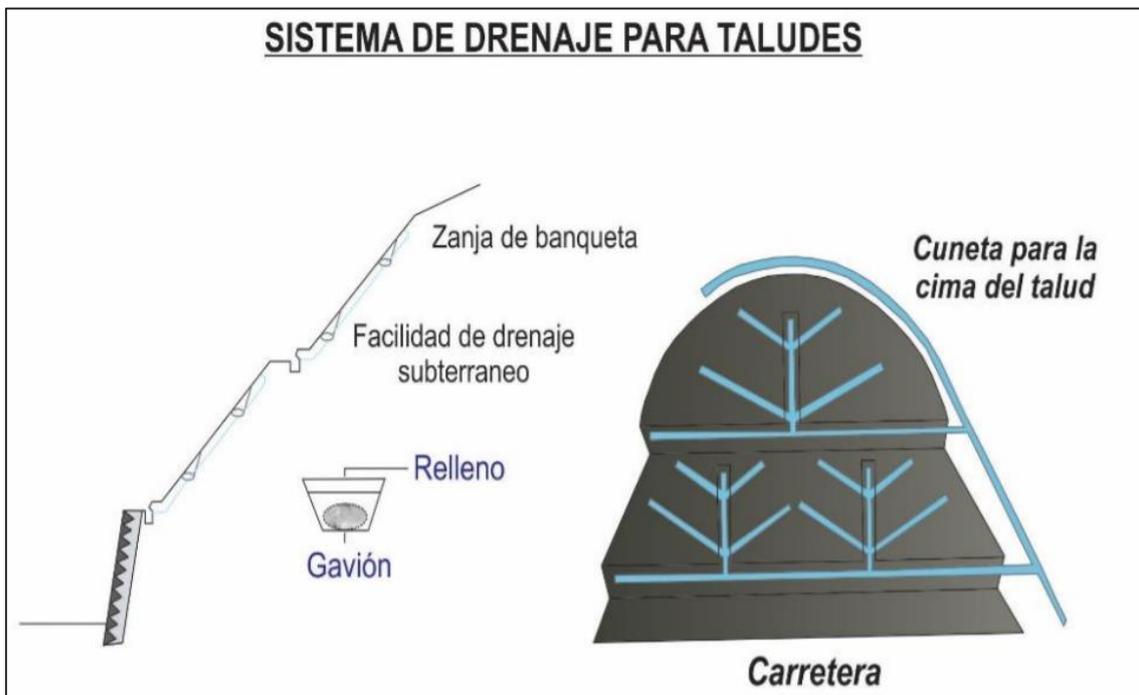


Figura 33. Drenaje tipo espina de pescado. Tomado de INGEMMET, 2000.

1.2. Manejo de aguas subterráneas

El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poro o impedir que estas aumenten.

La cantidad de agua recolectada por un sistema de subdrenaje depende de la permeabilidad de los suelos o rocas y de los gradientes hidráulicos. Cuando se instala un dren generalmente, el nivel piezométrico se disminuye al igual que el gradiente hidráulico, lo cual disminuye el caudal inicial recolectado por los drenes.

Las obras que se podrían implementar para el control de aguas subterráneas son las siguientes:

a) Filtros y trincheras drenantes o subdrenes interceptores: los filtros son muy aptos para abatir el nivel freático, transportar el exceso de lluvia e interceptar corrientes subterráneas. Los subdrenes interceptores son zanjas excavadas a mano o con retroexcavadora, rellenas de material filtrante y elementos de captación y transporte del agua. La profundidad máxima de estas zanjas es de aproximadamente seis metros. Los hay de diversas formas así:

- Con material de filtro y tubo colector
- Con material grueso permeable sin tubo (filtro francés)
- Con geotextil como filtro, material grueso y tubo colector.
- Con geotextil, material grueso y sin tubo.
- Tubo colector con capa gruesa de geotextil a su alrededor.
- Dren sintético con geomalla, geotextil y tubo colector

El tipo de dren interceptor a emplear dependerá de:

- Disponibilidad de materiales en la región y costos.
- Necesidad de captación y caudal del dren.

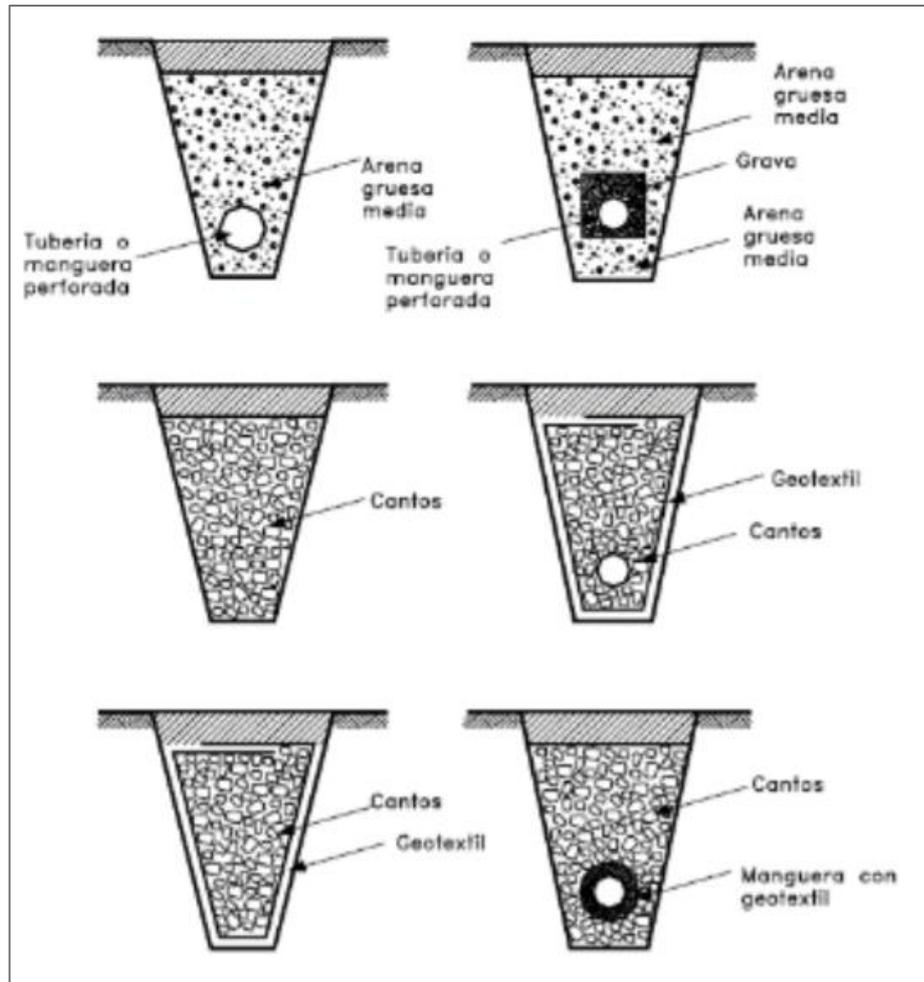


Figura 34. Esquema de sistemas de dren de zanjas.

2. MEDIDAS CORRECTIVAS PARA ZONAS DE CÁRCAVAS

Las erosiones en cárcavas generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de flujos.

Para el control físico del avance de cárcavas se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan:

- El desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos, ramas, etc. (figuras 35).
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo a las condiciones climáticas de la región.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (figura 36), y de esta manera asegurar su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas (figura 37).
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y el tamaño que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. También se recomienda que las plantaciones se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración, con el objetivo de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobrepastoreo, ya que deteriora y destruye la cobertura vegetal. Se debe realizar un manejo de las zonas de pastos mediante el repoblamiento de pastos nativos, empleando sistemas de pastoreo rotativo y sostenible, y finalmente evitar la quema de pajonales.
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo a las condiciones climáticas de las cuencas.

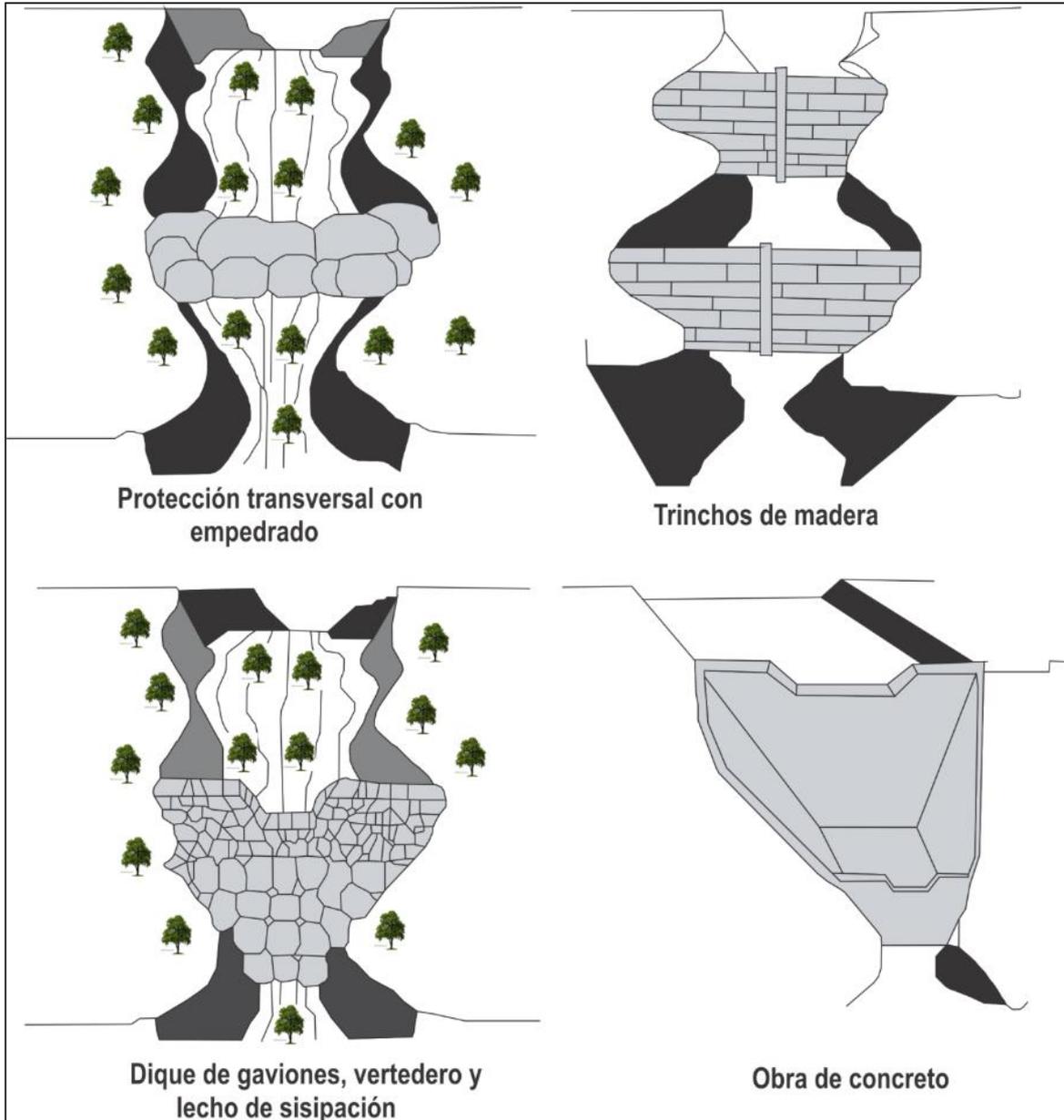


Figura 35. Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas.

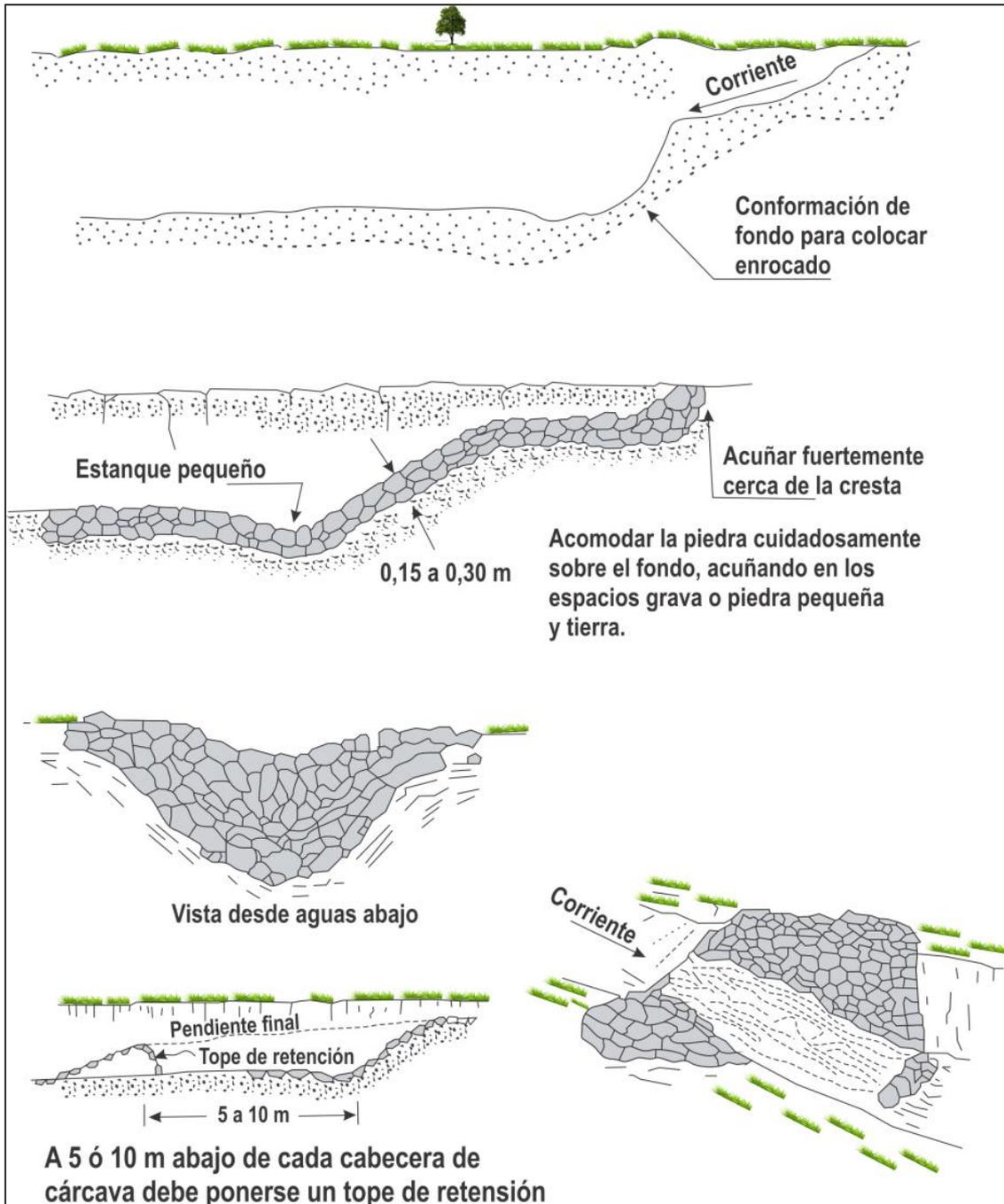


Figura 36. Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina. Adaptado de Valderrama et al., 1964.

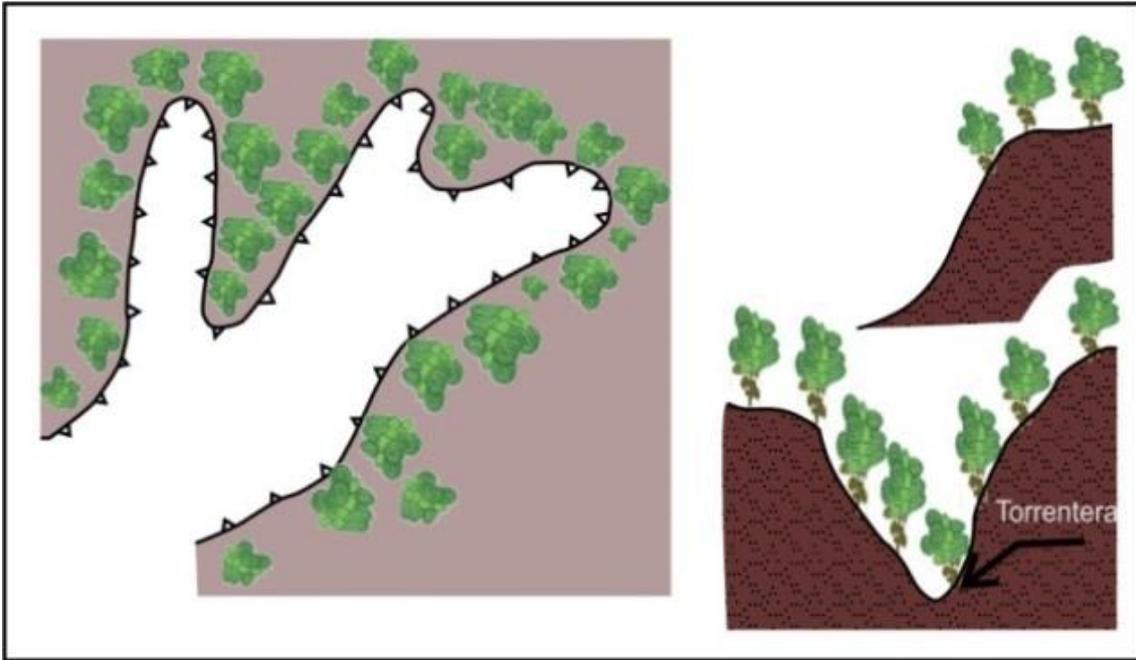


Figura 37. Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

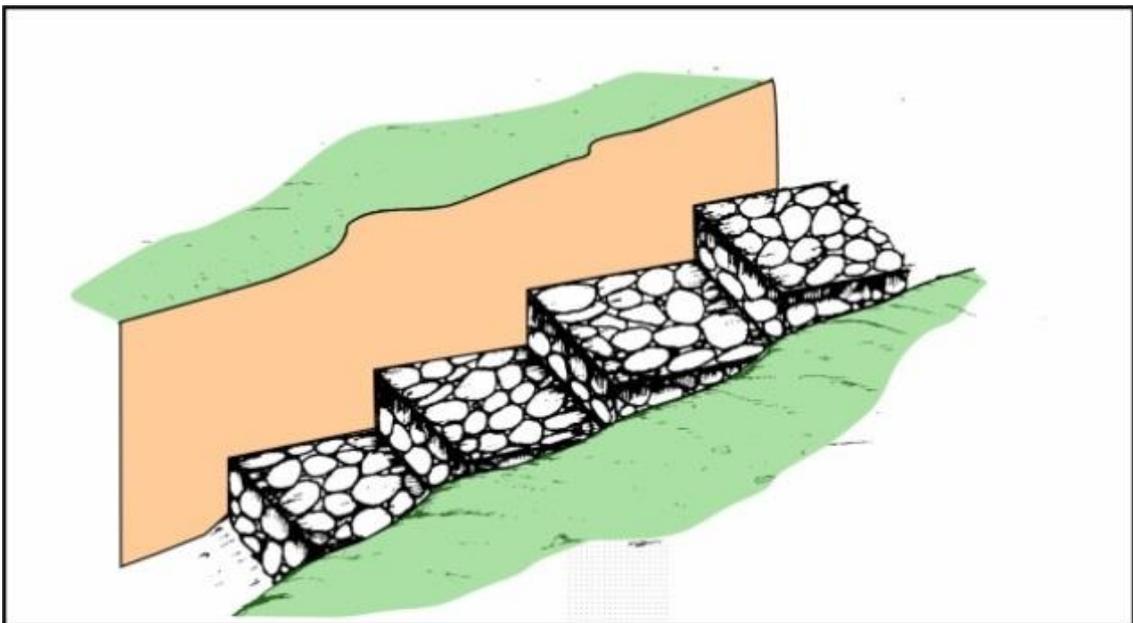


Figura 38. Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), utilizando bloques de roca o concreto armado.