

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7102**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN LA COMUNIDAD CAMPEESINA DE PAMPAMARCA (SECTOR DE MARJUNI)

Región Apurímac  
Provincia Aymaraes  
Distrito Cotaruse



JULIO  
2021

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

*Equipo de investigación:*

*Norma L. Sosa Senticala  
Mauricio A. Núñez Peredo*

**Referencia bibliográfica**

*Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). "Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en la Comunidad Campesina de Pampamarca (sector de Marjuni), Cotaruse, Aymaraes, Apurímac", informe técnico N°A7102, Ingemmet. 43 pág.*

## INDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
1.1. Objetivos del estudio .....	4
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	4
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
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>10</b>
2.3. Unidades litoestratigráficas.....	10
2.3.1. Formación Cachíos (Jm-ca).....	10
2.3.2. Depósitos cuaternarios .....	11
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....</b>	<b>12</b>
3.1. Pendientes del terreno.....	12
3.2. Unidades geomorfológicas .....	12
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	13
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	14
<b>4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS .....</b>	<b>17</b>
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa .....	17
4.2. Deslizamiento Comunidad Campesina de Pampamarca (Sector Marjuni) ....	18
4.2.1. Características visuales del evento.....	21
4.2.2. Análisis de perfil transversal .....	24
4.2.3. Factores condicionantes.....	25
4.2.4. Factores detonantes o desencadenantes .....	26
4.2.5. Factores antrópicos .....	26
4.2.6. Daños por peligros geológicos.....	26
4.2.7. Otras ocurrencias .....	27
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO 1: MAPAS .....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO 2: GLOSARIO.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN.....</b>	<b>41</b>

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en la Comunidad Campesina de Pampamarca (sector Marjuni), que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Cotaruse, provincia Aymaraes, región Apurímac. 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 los alrededores de la zona evaluada corresponden a rocas de origen sedimentario de la Formación Cachíos, compuestas por limoarcillitas de color negro oscuro hacia la base y areniscas grises ferruginosas hacia al tope, muy fracturadas y altamente meteorizadas. Así mismo, la Comunidad Campesina, se encuentra asentada sobre depósitos cuaternarios coluvio-deluviales constituidos por bloques de gravas, guijarros con clastos de naturaleza litológica heterogénea, subangulosos a angulosos, envueltos en una matriz limo arenoso-arcilloso; sobre este material, de naturaleza poco consolidado, se desarrolló las reactivaciones recientes del deslizamiento antiguo.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico degradacional y erosional (montañas en rocas sedimentaria) y geoformas de carácter depositacional y agradacional principalmente originada por procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores y configuran geoformas de piedemonte (vertiente coluvio-deluvial y terrazas aluviales). Se considera que el principal factor condicionante que originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa es la pendiente del terreno que va de moderada ( $5^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ ) a fuerte ( $15^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ ).

El proceso identificado en la Comunidad Campesina de Pampamarca corresponde al denominado movimiento en masa de tipo deslizamiento rotacional, evento que presenta una actividad geodinámica reciente. Este proceso afectó zonas agrícolas y pone en riesgo pozas de oxidación, buzones de desagüe y un poste de tendido eléctrico.

Por las condiciones geológicas, mencionadas anteriormente, la Comunidad Campesina de Pampamarca, se considera como peligro **Alto**, a la ocurrencia de deslizamiento, y se consideraría a este punto como Zona Crítica.

El deslizamiento puede ser detonado por lluvias intensas y/o extraordinarias, filtraciones de agua al subsuelo o por movimientos sísmicos de gran magnitud que generan o activan deslizamientos.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones que se consideran importante que las autoridades competentes pongan en práctica, como es el uso de un sistema de riego tecnificado por parte de los agricultores y sus organizaciones. Estas recomendaciones se plantean con la finalidad de minimizar las ocurrencias y los daños que pueden ocasionar los procesos identificados.

## 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 en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Provincial de Aymaraes, según Oficio N° 252-2021-MPA-CH./AYM/APU, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación del evento de tipo deslizamiento ocurrido el día viernes, 22 de enero de 2021 que afectó zonas agrícolas que sirven como parte de los medios de vida de la población y podría comprometer estructuras como pozas de oxidación, que reciben las aguas servidas de la Comunidad Campesina de Pampamarca, buzones de desagüe y un poste de tendido eléctrico.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a la ingeniera Norma Sosa Senticala y el geol. Mauricio Núñez Peredo, para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, en el sector previamente mencionado y la cual se realizó durante los días 25 y 26 de mayo del presente año en coordinación con representantes de la Unidad de Defensa Civil y Seguridad Ciudadana de la Municipalidad Provincial de Aymaraes.

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), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Provincial de Aymaraes 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:

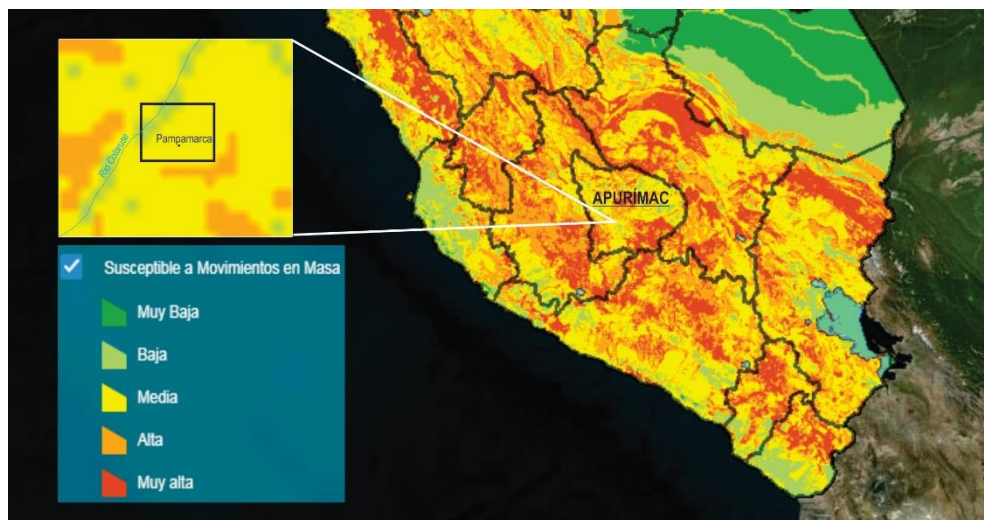
- a) Evaluar y caracterizar el peligro geológico por deslizamiento ocurrido el 22 de enero de 2021 en la Comunidad Campesina de Pampamarca (sector Marjuni), evento que comprometen la seguridad física de la población, viviendas y sus medios de vida en la zona de influencia del evento.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la ocurrencia de peligros geológicos
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

### 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) Segundo reporte de zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Apurímac. Informe técnico N° A6624 (Villacorta *et al.*, 2013). Este estudio describe la ocurrencia de deslizamientos antiguos, ubicados cerca al área de estudio, en el sector de Promesa, distrito de Cotaruse. Las causas que lo ocasionaron fueron: Substrato de mala calidad, muy meteorizado, rocas muy fracturadas, material de remoción antiguo susceptible, precipitaciones pluviales intensas y filtración de agua subterránea.

Así mismo, al hacer la consulta al Sistema de Información Geológico y Catastral Minero – Geocatmin, de acuerdo al mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, se evidencia que la Comunidad Campesina de Pampamarca (sector Marjuni), se encuentran en zonas de susceptibilidad Media (figura 1).



**Figura 1:** Susceptibilidad por movimientos en masa de la Comunidad Campesina de Pampamarca (sector Marjuni) y alrededores (Fuente: Geocatmin).

- B) Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Chalhuanca (29-p) Escala 1: 50 000 (Lipa & Zuloaga, 2003). Este estudio fue realizado dentro del Proyecto de Revisión y Actualización de la Carta Geológica Nacional, el cual contempla la descripción actualizada de la geología de la zona de estudio, que corresponde rocas sedimentarias de la Formación Cachíos del Grupo Yura.
- C) Boletín N° 35, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas” (Pecho, V. 1981). En este boletín se describen las unidades litoestratigráficas aflorantes en la zona de estudio y alrededores; así como la dirección de estructuras principales e interpretaciones geológicas.

### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

La Comunidad Campesina de Pampamarca (sector Marjuni), políticamente pertenece al distrito de Cotaruse, provincia de Aymaraes, región Apurímac (figura 2), se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

**Cuadro 1.** Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	693509.88	8404733.47	-14.42	-73.20
2	693509.88	8404168.58	-14.43	-73.20
3	692959.55	8404168.58	-14.43	-73.21
4	692959.55	8404733.47	-14.42	-73.21
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C	693165.92	8404488.73	-14.42	-73.20

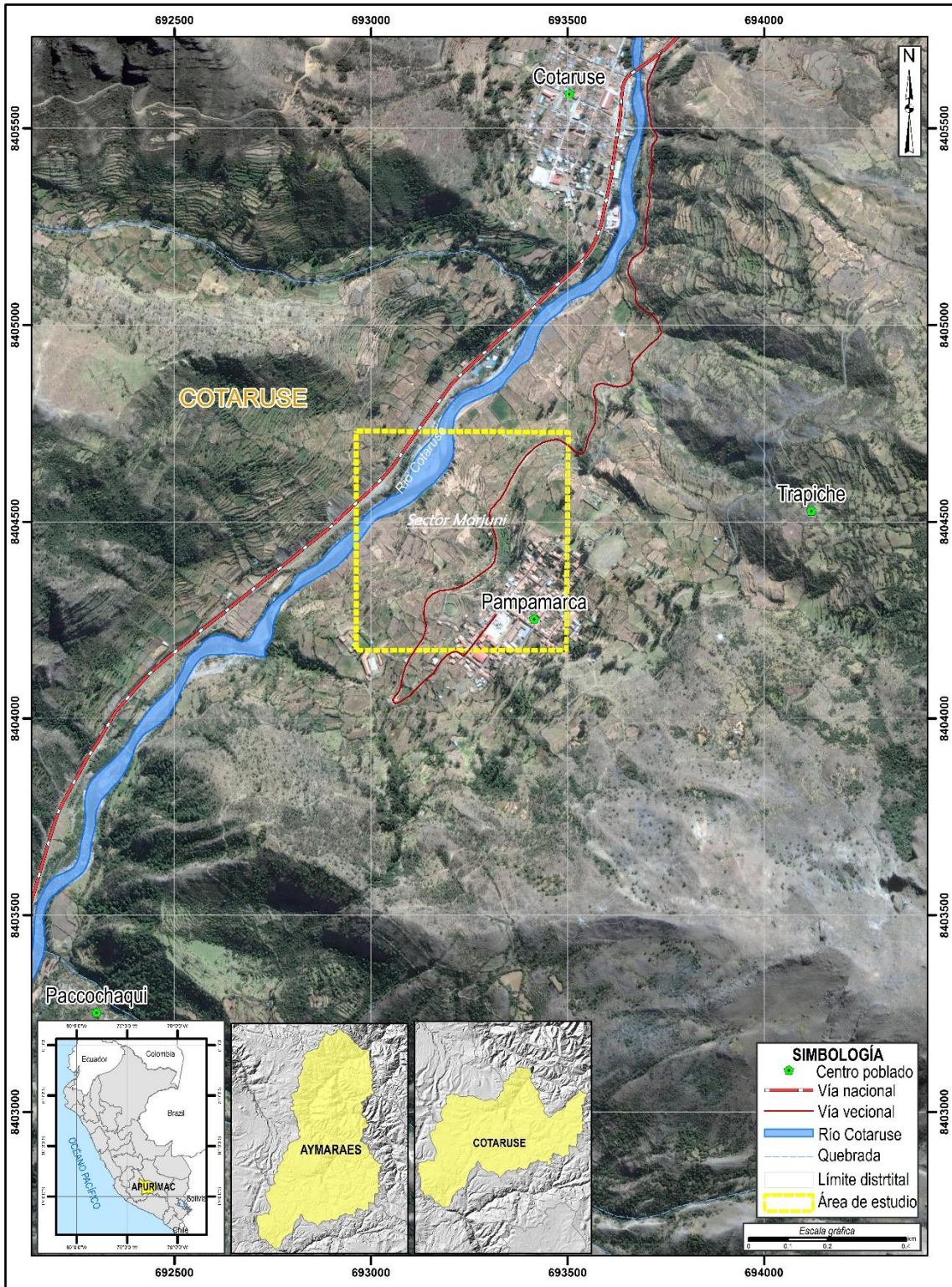
Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la población censada de la Comunidad Campesina de Pampamarca es de 311 habitantes, de los cuales 147 son hombres y 164 mujeres. Así mismo, cuenta con un total de 221 viviendas particulares, de las cuales 212 se encuentran ocupadas y 9 desocupadas.

#### 1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realizó por vía terrestre desde la oficina central de Ingemmet (Lima) hasta la Comunidad Campesina de Pampamarca (Apurímac), mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

**Cuadro 2.** Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Nazca	Asfaltada	436	6 horas 30 min
Nazca – Puquio	Asfaltada	156	3 horas 20 min
Puquio – Cotaruse	Asfaltada	165	2 horas 50 min
Cotaruse – Pampamarca	Afirmada	2.3	0 horas 10 min



**Figura 2:** Ubicación de la Comunidad Campesina de Pampamarca (sector Marjuni) y alrededores.

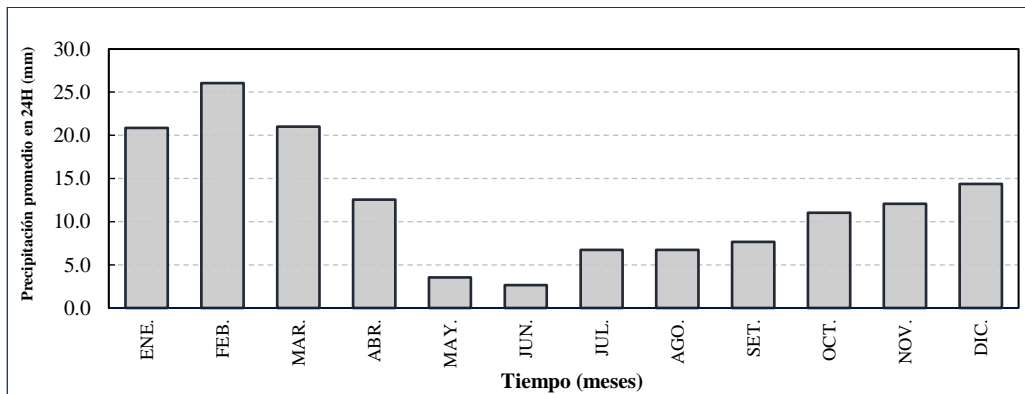


### 1.3.3. Clima

El clima en el distrito de Cotaruse está marcado por dos estaciones bien definidas: El estío entre abril y octubre, caracterizada por días soleados y noches muy frías; y la lluviosa, entre noviembre y marzo, con precipitaciones abundantes.

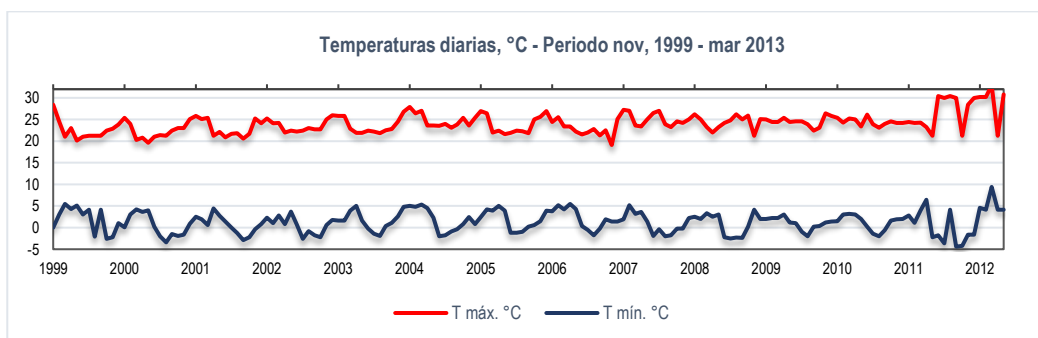
Haciendo una búsqueda de información local, de acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), la Comunidad Campesina de Pampamarca y alrededores está influenciada por un clima semiseco, frío, caracterizado por una deficiencia de lluvias en otoño, con humedad relativa calificada como seca.

La precipitación pluvial es variable y está vinculada estrechamente a la altitud. La precipitación promedio anual, registrada en la estación pluviométrica de Chalhuanca I en los últimos 14 años es de 30.5 mm. Así mismo, las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, siendo el mes de junio, el más seco con 2.6 mm de lluvia y el mes de febrero, alcanza su pico, con un promedio de 26.1 mm (figura 3).



**Figura 3.** Precipitación promedio anual (periodo 1999-2014), distribuidas a lo largo del año para el distrito de Cotaruse. **Fuente:** Estación Chalhuanca I - SENAMHI.

La temperatura anual oscila entre máxima de 32.9°C en verano y mínima de -4.4°C en invierno. Presenta una humedad de 11% durante casi todo el año.



**Figura 4.** Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo: Nov,1999 – mar, 2013, para el distrito de Cotaruse. **Fuente:** Estación Chalhuanca I, SENAMHI.

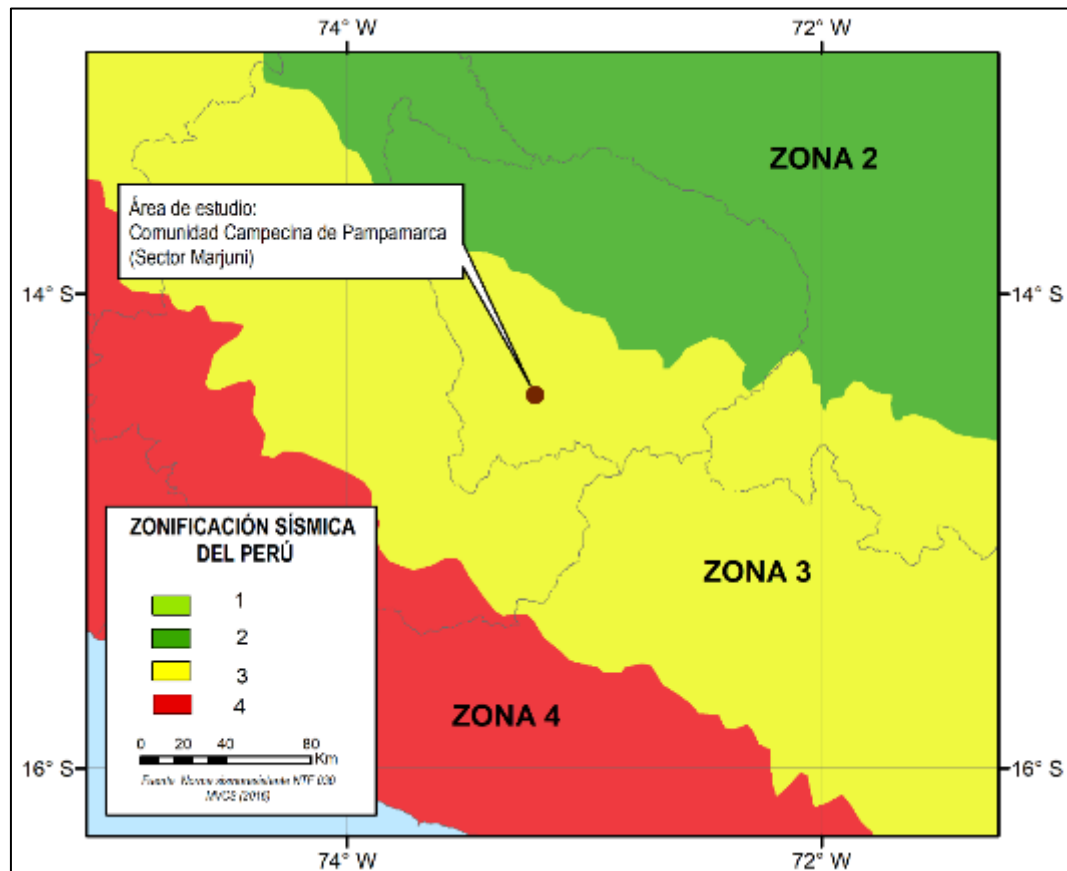
### 1.3.4. Zonificación Sísmica

El territorio nacional se considera dividido en tres 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 la figura 5, 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 del área de estudio se desarrolló teniendo como base el mapa geológico del cuadrángulo de Chalhuanca, 29p-II, escala 1:50,000 (Lipa, et al, 2001), así como la información contenida en el Boletín N° 35: “Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Atabamba y Santo Tomas” (Gutiérrez, et al., 1981) y la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Chalhuanca (29-p), escala 1:50,000” (Lipa et al, 2003), publicados por Ingemmet.

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

### 2.3. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada y alrededores, son principalmente de origen sedimentario de las formaciones Cachíos y Labra del Grupo Yura; así como, depósitos recientes coluvio-deluvial, proluvial, aluvial y fluvial (anexo 1 – mapa 01).

#### 2.3.1. Formación Cachíos (Jm-ca)

Según Lipa et al., (2003), esta unidad comprende aproximadamente 200 m de limoarcillitas de color negro oscuro hacia la base y areniscas grises ferruginosas hacia al tope. Este afloramiento, ha sido reconocido al sureste del mapa geológico, en las proximidades de la Comunidad Campesina de Pampamarca.

Geomecánicamente, estas rocas se encuentran muy fracturadas (F4), con espaciamientos muy próximas entre si (0.05 a 0.30 m) con aberturas de (0.1-1.0 mm). Además, se encuentran altamente meteorizadas (A4), es decir más de 50% esta desintegrada a suelo (fotografía 1).



**Fotografía 1.** Sustrato rocoso conformado por areniscas de grano fino color gris de la Formación Cachíos. Estas rocas se presentan muy fracturas y altamente meteorizadas.

### 2.3.2. Depósitos cuaternarios

#### Depósitos coluvio-deluvial (Q-cd):

Depósito constituido por bloques de gravas, guijarros con clastos de naturaleza litológica heterogénea, subangulosos a angulosos, envueltos en una matriz limo arenoso-arcilloso, acumulados al pie de laderas prominentes, como material de escombros que han sufrido transporte (figura 6).

Sobre esta unidad, de naturaleza poco consolidado, se encuentra asentada la comunidad campesina, y sobre la cual se desarrolló las reactivaciones recientes del deslizamiento antiguo.



**Figura 6.** Depósito coluvio deluvial formado por fragmentos de roca angulosos de tamaño variable envueltos en una matriz limoarcilloso.

#### Depósito aluvial (Q-al):

Conformado por depósitos de gravas y arenas redondeados a subredondeados; transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias, formando parte de la llanura de inundación, así como de las terrazas fluviales; son de edad Cuaternario.

#### Depósito fluvial (Q-fl):

Conformado por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz areno limosa. Se le puede apreciar en el curso principal del río Cotaruse, formando parte de la llanura de inundación, así como de las terrazas fluviales; son del Cuaternario.

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### 3.1. Pendientes del terreno

La pendiente, es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002), es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, como factor condicionante.

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), donde el sector evaluado y alrededores se encuentran en una ladera 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 siguiente cuadro 4:

**Cuadro 4.** Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
0°-1°	Llano	Comprende terrenos planos de las zonas de altiplanicie, extremos más distales de abanicos aluviales y torrenciales, bofedales, terrazas, llanuras de inundación fondos de valle y lagunas.
1°a 5°	Inclinación suave	Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen también a lo largo de fondos de valles, planicies y cimas de lomadas de baja altura, también en terrazas aluviales y planicies.
5°a 15°	Moderado	Terrenos con moderada pendiente, se ubican principalmente al pie de las laderas de las montañas y colinas, a su vez, estas inclinaciones condicionan la erosión de laderas en las vertientes., En este rango se asienta el poblado de Pampamarca.
15°a 25°	Fuerte	Pendientes que se distribuyen indistintamente en las laderas de las colinas, lomadas y montañas. En este rango se ubica el sector Marjuni, en donde se reactivó el deslizamiento.
25°a 45°	Muy fuerte	Se encuentran en laderas de montañas sedimentarias, ubicadas al noroeste del poblado del poblado de Pampamarca. En este rango de pendiente, generalmente se registran procesos de erosión en cárcava y en los cortes de taludes pueden ocurrir deslizamientos, derrumbes o caídas de rocas.
>45°	Muy escarpado	Ocupa áreas muy reducidas, distribución a lo largo de laderas, cumbres de colinas y montañas sedimentarias, así como en quebradas donde existe erosión cárcava.

Fuente: Ingemmet 2017.

#### 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 a la erosión, denudación y sedimentación (Vilchez, 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 de base local; diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual.

**Subunidad de montañas en rocas sedimentarias (RM-rs):** Estas montañas han sido levantadas por la actividad tectónica y su morfología actual depende de procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia-escorrentía, los glaciares y el agua de subsuelo, con fuerte incidencia de la gravedad. En estas montañas el plegamiento de las rocas superficiales no conserva rasgos reconocibles de las estructuras originales, sin embargo, estas pueden presentar localmente laderas controladas por la estratificación de rocas sedimentarias.

La zona evaluada corresponde a montañas en afloramientos de rocas sedimentarias de tipo limoarcillitas de color gris a pardo de la Formación Cachíos (figuras 7 y 8). La pendiente en esta subunidad es de moderada (5°-15°) a fuerte (15°-25°), geodinámicamente se encuentra asociado a movimientos en masa de tipo deslizamientos, derrumbes, flujos de detritos y procesos de erosión de laderas.



**Figura 7.** Vista con dirección al este, donde se aprecia la subunidad de montañas en roca sedimentaria (RM-rs) ubicado en la parte alta y la subunidad de vertiente coluvio deluvial (V-cd), en la parte baja, y sobre la cual se asienta la Comunidad Campesina de Pampamarca.



**Figura 8.** Vista con dirección al noreste (hacia los alrededores de la comunidad), donde se aprecia la subunidad de montañas en afloramientos de rocas sedimentarias de la Formación Cachíos.

### 3.2.2. Geformas de carácter 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 pueden ocupar grandes extensiones. Se identificó la siguiente subunidad:

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

Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial (acarreados y acumulados por efecto de la gravedad) y deluvial (acumulación de material al pie de laderas, depositados por flujos de agua que lavan materiales sueltos de las laderas). Se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales, estos se acumulan al pie de laderas de montañas o acantilados de valles.

Dentro de esta subunidad se reactivaron los deslizamientos, específicamente al pie de la vertiente, como se muestra en la figura 9.

Se pueden asociar geodinámicamente a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo deslizamiento, movimientos complejos, reptación de suelos, avalancha de detritos y flujos de detritos. Los principales agentes formadores son los procesos de erosión de suelos, la gravedad, las lluvias y el viento.



**Figura 10.** Vista con dirección al este, donde se observa subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd), sobre la cual se encuentra asentada la Comunidad Campesina de Pampamarca, al pie de la vertiente coluvio-deluvial se produjieron los deslizamientos..

#### 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 de terraza aluvial (T-al)

Son porciones de terreno alargado ligeramente inclinado (pendiente menor a 5°) que se encuentran ubicados encima del cauce del río Cotaruse, es común que se produzcan en sus márgenes activas erosión fluvial y socavamiento en sus taludes. Su composición litológica es resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferente granulometría (bolos, cantos, gravas con matriz de arenas y limos) que corresponden principalmente a rocas polimícticas. Sobre estos terrenos se desarrollan actividades agrícolas y se asientan algunas viviendas (figura 11).





**Figura 11.** Vista al sureste de la Comunidad Campesina de Pampamarca, donde se observa terrazas aluviales en ambas márgenes del río Cotaruse.

### 3.2.2.3. Unidad de Planicies Inundables

Áreas adyacentes al río, formada por desbordamientos repetidos. Planicies aluviales aledañas a las corrientes de agua superficiales, como ríos, arroyos y lagunas, las cuales se han formado en el pasado con los sedimentos que periódicamente han depositado las inundaciones fluviales.

#### a) Subunidad de terraza fluvial (T-fl)

Depósitos dejados por las corrientes actuales de los ríos cuando disminuyen la pendiente y la capacidad de carga de sedimentos. Litológicamente está compuesto por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos gravas, arenas, etc.) que son transportados por la corriente del río Cotaruse a grandes distancias, también conformando la llanura de inundación o el lecho de los ríos (figura 12).

#### b) Cauce del río (Río)

Se refiere a los cursos de agua que por lo general presentan caudales valorables durante todo el año como sucede en el río Cotaruse, los cuales tienen dimensiones representables a la escala de trabajo. (figura 12).



**Figura 12.** Vista al sureste de la Comunidad Campesina de Pampamarca, donde se observa la subunidad de terrazas fluviales en la margen derecha del río Cotaruse.

#### 4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el sector evaluado corresponden a los movimientos en masa de tipo deslizamiento, derrumbe y erosión de laderas. (PMA: GCA, 2007). Estos procesos son 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 “**desencadenate**” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.

Los peligros geológicos identificados en la zona inspeccionada y sus alrededores corresponden a los subtipos agrupados en la clase de movimientos en masa. Ver anexo 1 – mapa 04.

##### 4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica) actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambiando el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

Para la caracterización de los eventos geodinámico, se realizó en base a la información obtenida de los trabajos de campo, en 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, la toma de datos GPS, fotografías a nivel de terreno y del levantamiento fotogramétrico con dron. Esta información se complementó con el análisis de imágenes de satélite.

En la zona de estudio se han identificado y caracterizado los siguientes peligros geológicos:

#### 4.2. Deslizamiento en la Comunidad Campesina de Pampamarca (Sector Marjuni)

Los trabajos de campo realizados, permitieron identificar 2 deslizamientos recientes (D1 y D2) de tipo rotacional, ambos ubicados en la margen derecha del río Cotaruse, los cuales presentan las siguientes características:

**Cuadro 5.** Ubicación de los deslizamientos identificado.

Código de deslizamiento	Coordenadas UTM WGS-84, 18S		
	Norte	Este	Altitud (m s.n.m)
D1	8404588	693218	3232
D2	8404540	693167	3231

- a) El deslizamiento **D1** que, según lo reportado por los pobladores, se generó hace 10 años, tiene una escarpa principal de 144 m de longitud y un salto principal que varía entre 1 a 3 m (figura 13). Así mismo, se pudo evidenciar que en el cuerpo del deslizamiento existen filtraciones.

Este proceso de movimiento en masa, afectó cultivos de papa, maíz y desde entonces el suelo ha sido muy inestable, motivo por el cual, los lugareños optaron por no volver a utilizar estas áreas como zonas de cultivo. Actualmente la población a bloqueado el paso a este punto, como medida de seguridad.

En temporada de lluvia, además de la reactivación de este, se produce socavamiento del pie del deslizamiento, debido al incremento del caudal del río Cotaruse, lo cual genera mayor preocupación debido a que aguas arriba existen algunas viviendas muy próximas al río.

- b) El deslizamiento **D2** (generado el 22 de enero del presente año) presenta una escarpa principal de 48 m de longitud con un salto principal de aproximadamente 4.6 m (figura 14). Este evento corresponde a una reactivación ubicada dentro del cuerpo de un deslizamiento antiguo, lo que conllevó a la pérdida de cultivos de maíz y papa.



**Figura 13.** Vista del deslizamiento D1, donde se evidencia un escarpe principal de 144 m, así como filtraciones de agua en el cuerpo del deslizamiento. Este evento geodinámico se reactiva frecuentemente en temporadas de lluvias.



**Figura 14.** Vista del deslizamiento D2, donde se evidencia un escarpe principal de 48 m de longitud (actualmente cubierto de pastos) y un salto principal de aproximadamente 4.6 m. Este evento corresponde a una reactivación de un deslizamiento antiguo.



**Figura 15.** Vista donde se puede observar el deslizamiento reactivado(D1) generado hace 10 años atrás y el deslizamiento antiguo (D2) generado en enero del 2021, ubicados en la margen derecha del río Cotaruse.

#### 4.2.1. Características visuales del evento

El deslizamiento ocurrido en la Comunidad Campesina de Pampamarca (Sector Marjuni), presenta las siguientes características y dimensiones:

- Estado de la actividad del movimiento: Reactivado.
- Deslizamiento de tipo: Rotacional
- Forma de la escarpa principal: Elongada y de actividad reciente.
- Superficie de rotura: Irregular y alargada.
- Longitud de la escarpa principal: 144 m.
- Desnivel entre escarpa y pie: 52 m.
- Salto de escarpe principal, comprendido entre: 1 a 3 m.
- Área de afectación 6800 m<sup>2</sup> aproximadamente.

Dentro del cuerpo del deslizamiento se observaron agrietamientos transversales con longitudes de hasta 2 m, profundidades máximas de 1 m y separaciones de hasta 30 cm (figuras 16 y 17), algunas de ellas fueron selladas de forma natural y otras por parte de algunos pobladores.

Adicionalmente se observó un bofedal, ubicado a 100 m en dirección hacia el este, desde la escarpa principal. Presenta un perímetro de 185.60 m, el cual discurre directamente hacia el deslizamiento (figura 18).

Así mismo, se observó un canal sin revestimiento, por donde discurre agua permanentemente, el cual está recubierto de vegetación, tal como se muestra en la figura 19, esta fue modificada para no discurrir directamente al deslizamiento.

Otra característica importante de resaltar, es la existencia de pozos de oxidación, ubicado al noroeste de la Comunidad Campesina de Pampamarca, exactamente a 280 m del poblado en mención y a tan solo 20 m. de la escarpa principal (figura 20). El deslizamiento podría afectar directamente pozos de oxidación de la Comunidad Campesina de Pampamarca.



**Figura 16.** Agrietamiento transversal de 1 m de longitud, profundidad de 1 m, y separación de 30 cm. Ubicado entre las coordenadas UTM 8404512N, 693135E, altitud 3291 m s.n.m.



**Figura 17.** Agrietamiento de dirección NE, con 2 m de longitud y salto de 0.30 cm.

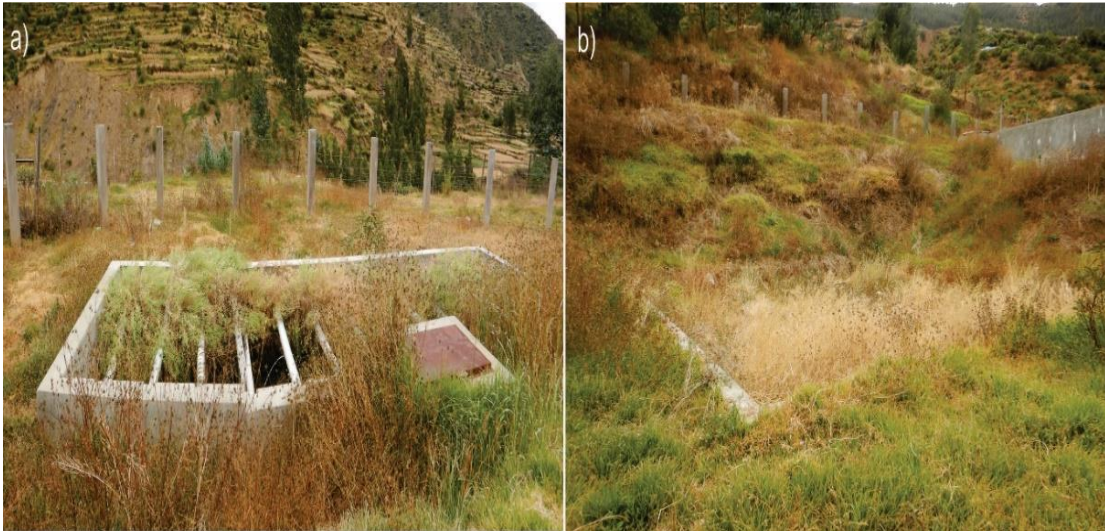


**Figura 18.** Bofedal ubicado a 100 m en dirección hacia el este, desde la escarpa principal. Según información de los pobladores esta siempre presenta agua, lo cual podría estar generando la saturación del suelo. Se encuentra en las coordenadas UTM8404413N, 693271E con una altitud de 3420 m s.n.m.



**Figura 19.** Canal por donde discurre agua por gravedad, la misma que está cubierta de vegetación.





**Figura 20.** Vista donde se puede apreciar los pozos de oxidación de la Comunidad Campesina de Pampamarca.

#### 4.2.2. Análisis de perfil transversal

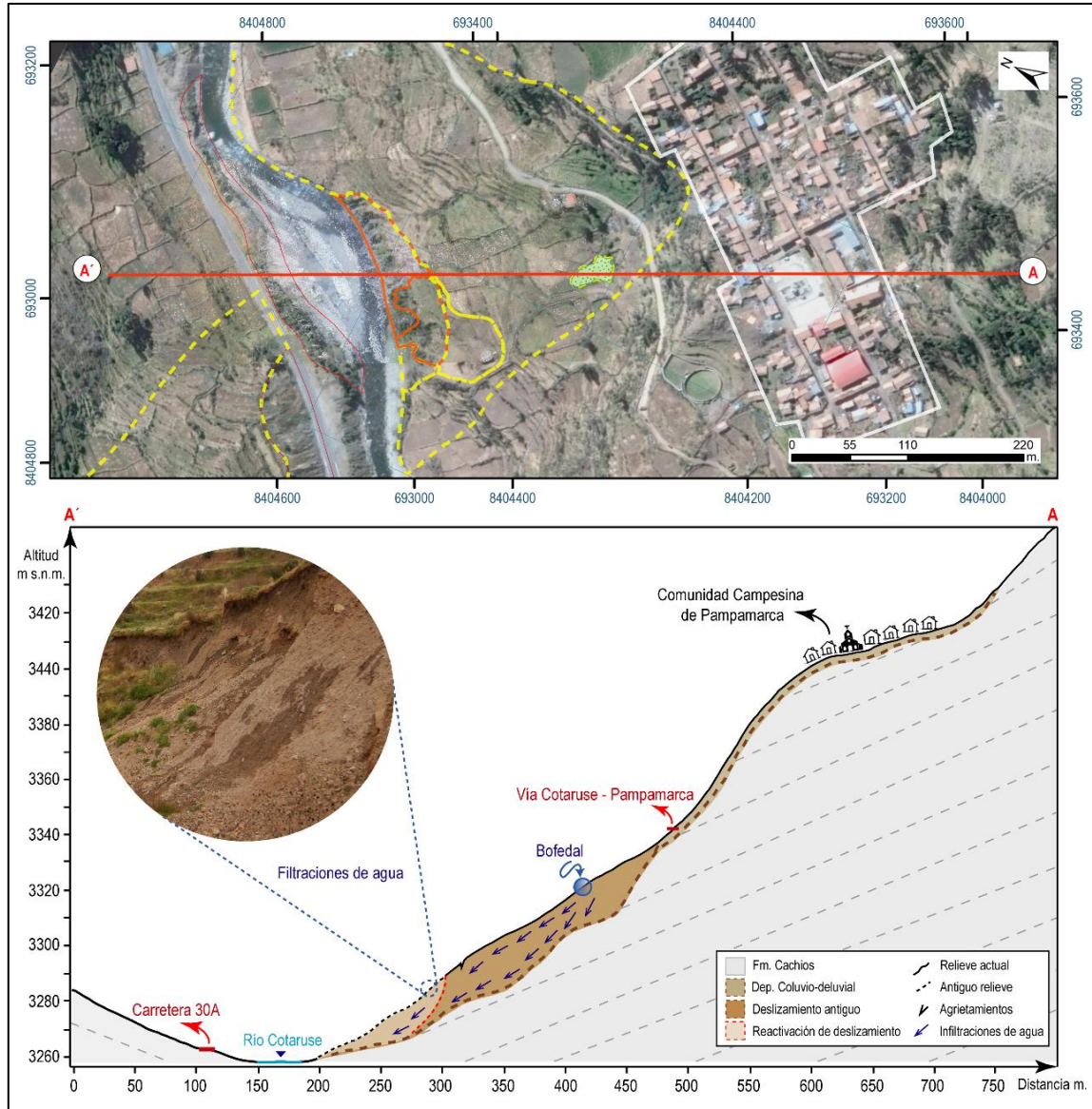
En base al levantamiento fotogramétrico con dron y el modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS), se generó un esquema de la sección transversal del deslizamiento ocurrido el 22 de enero del presente año en la Comunidad Campesina de Pampamarca (figura 21), realizado con el objetivo de caracterizar el movimiento:

El perfil transversal A-A' (Sector Marjuni), muestra el cuerpo de un deslizamiento reactivado de tipo rotacional generado a partir de un deslizamiento antiguo, el cual se originó sobre depósitos coluvio-deluviales. El estado del movimiento es activo caracterizado por un desnivel entre escarpa y pie de aproximadamente 52 m.

El factor detonante son las fuertes lluvias y las aguas que se infiltran desde los canales de riego sin impermeabilizar por donde discurre agua permanentemente; así como la existencia de un bofedal ubicado a 100 m en dirección hacia el este, desde la escarpa principal, los cuales se encuentran en la parte superior del deslizamiento; también se observó la existencia de filtraciones de aguas subterráneas en el cuerpo del deslizamiento. De manera que el efecto del agua infiltrada se combinó desfavorablemente con las propiedades físico mecánicas de los materiales cuaternarios (de naturaleza poco consolidado) y la pendiente de la ladera que en este caso se encuentra de moderada ( $5^\circ$  a  $15^\circ$ ) a fuerte ( $15^\circ$  a  $25^\circ$ ).

Las dimensiones del movimiento fueron de aproximadamente 170 m de largo por 50 m de ancho y una profundidad de 25 m, lo cual determina un volumen de material desplazado del orden de los  $212.500 \text{ m}^3$ .

Este proceso, afectó cultivos y aún se encuentra activo, amenazando con afectar 2 buzones de desagüe y pozos de oxidación de la Comunidad Campesina de Pampamarca.



**Figura 21.** Esquema de la sección transversal del deslizamiento de la Comunidad Campesina de Pampamarca.

#### 4.2.3. Factores condicionantes

- Pendiente pronunciada de la ladera, de moderada ( $5^\circ$  a  $15^\circ$ ) a fuerte ( $15^\circ$  a  $25^\circ$ ).
- Configuración geomorfológica del área (montaña en roca sedimentaria).
- Litología conformada por depósitos coluvio-deluviales de naturaleza poco consolidado, constituido por bloques de gravas, guijarros con clastos de naturaleza litológica heterogénea, subangulosos a angulosos, envueltos en una matriz limo arenoso-arcilloso.

#### 4.2.4. Factores detonantes o desencadenantes

- PRECIPITACIONES: Lluvias intensas y/o excepcionales entre los meses de noviembre y marzo.
- SISMOS: La presencia de sismos de gran magnitud, que según el Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas (Alva & Meneses, 1984), la región Apurímac se encuentra ubicada en la zona 3 que corresponde a sismicidad alta.

#### 4.2.5. Factores antrópicos

- Canales de riego sin revestimiento, por donde discurre el agua permanentemente; lo que podría estar generando la saturación de terreno.

#### 4.2.6. Daños por peligros geológicos

El evento sucedió el 22 de enero del presente año, generó los siguientes daños:

- a) El deslizamiento afectó cultivos de maíz y papa.
- b) Podría afectar 2 buzones de desagüe.
- c) Podría afectar 1 poste de tendido eléctrico.
- d) Podría afectar directamente pozos de oxidación de la Comunidad Campesina de Pampamarca (figura 22).



**Figura 22.** Pozos de oxidación del poblado de Pampamarca, ubicados próximos al deslizamiento, los cuales podría ser afectados.

#### 4.2.7. Otras ocurrencias

La Comunidad Campesina de Pampamarca, presenta, además, otras afectaciones en infraestructuras, las cuales se detallan a continuación:

**Iglesia de Nuestra Señora de las Mercedes de Pampamarca:** Declarado Patrimonio Cultural de la Nación en el año 2016, fue construida en la plaza principal entre los años 1780 y 1814. Cuentan con dos torres, construidas a base de adobe y piedras.

Una de las torres (ubicada en la margen derecha de la iglesia), presenta agrietamientos longitudinales con aberturas de hasta 0.05 cm con longitudes de hasta 1 m (figura 23); según lo reportado por los pobladores estas se generaron por la humedad producto de las fuertes lluvias. Actualmente, por medida de seguridad se instalaron unos tablonces en dos de las caras de la torre (fotografía 2). La población indica además que el campanario se encuentra en iguales condiciones lo que genera preocupación en la población de la Comunidad Campesina de Pampamarca.



**Figura 23.** Torre ubicada en la margen derecha de la Iglesia Nuestra Señora de las Mercedes de Pampamarca. a) Se observa agrietamientos en las paredes, de 0.03 a 0.05 cm, b) Agrietamientos transversales de hasta 1.5 y 3.5 m. la construcción se basa en bloques combinadas con arcilla.



**Fotografía 2.** Tablones en dos de las caras de la torre, instaladas como medida de seguridad, en febrero de este año. Se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM 8404253 N, 693355 E, y una altitud de 3409 m s.n.m.

**Centro educativo Nuestra Señora de las Mercedes N°54310:** Infraestructura construida en dos bloques, uno que tiene una antigüedad aproximada de 50 años y la segunda que fue construida en los años 90, estos últimos presentan afectaciones muy graves en los techos de sus ambientes (fotografía 3), donde se observaron agrietamientos con longitudes entre 0.02 cm hasta 0.30 cm y profundidades visibles de 0.02 cm (figura 24).

Es importante mencionar que estas 2 ocurrencias, no están relacionadas al deslizamiento del sector Marjuni; son producto de la antigüedad y mala construcción.



**Fotografía 3.** Vista de un salón de clase, donde se observa parte del techo colapsado producto de la humedad y del material podrido (carrizos), las mismas que corresponden a la construcción de los años 90.



**Figura 24.** Se observa agrietamientos en las paredes de uno de los bloques, perteneciente a una construcción de hace 50 años.

## 5. CONCLUSIONES

- 1) En la comunidad campesina de Pampamarca (sector Marjuni) y alrededores, se identificaron peligros geológicos por movimientos en masa de tipo deslizamiento, derrumbe, así como erosión de laderas
- 2) La comunidad campesina de Pampamarca (sector Marjuni), se encuentra asentada en el cuerpo de un deslizamiento antiguo, que resulta de la consecución de varios eventos ocurridos en la ladera. tiene una escarpa principal de 144 m. de forma elongada con saltos de 1 a 3 m, con desnivel entre la escarpa y pie de 52 m, el cuerpo del deslizamiento presenta filtraciones de aguas subterráneas.
- 3) El cuerpo del deslizamiento presenta agrietamientos de 0.05 a 0.30 cm, con profundidades máximas de 1 m y de longitudes de hasta 2 m en el suelo de tipo arcillo-limoso con grava. El evento afectó terrenos de cultivos y podría afectar los pozos de oxidación del poblado de Pampamarca.
- 4) Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona de estudio, está conformado por rocas sedimentarias de la Formación Cachíos compuesto por limoarcillitas de color negro oscuro hacia la base y areniscas grises ferruginosas hacia al tope; así mismo la Comunidad Campesina, se asienta sobre depósitos coluvio-deluviales de naturaleza poco consolidado.
- 5) Geomorfológicamente el área de estudio, se encuentran representados por unidades de montañas en roca sedimentaria y geoformas de piedemonte, planicie y planicies inundables; el área que presenta laderas con pendiente moderada (5°- 15°) muy fuerte 25°- 45°).
- 6) Se considera como factor desencadenante, las lluvias durante los meses de diciembre a marzo, así como el factor antropogénico de canales de riego sin revestir.
- 7) Por las condiciones geodinámicas (presencia de movimientos en masa y procesos de erosión de ladera), geológicas (tipo de rocas y suelo de mala calidad geotécnica), la configuración geomorfológica, así como la presencia de agrietamientos en el suelo, se considera al sector Marjuni con **alto** peligro, donde se pueden producir nuevas reactivaciones de movimientos en masa.

## 6. RECOMENDACIONES

- 1) Los canales deben ser revestidos (concreto, mampostería, terrocemento, entre otros), para minimizar la infiltración y saturación de terrenos. Estos trabajos deben ser realizada por un especialista.
- 2) 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.
- 3) Restringir el acceso de las personas a la zona del deslizamiento.
- 4) Implementar un sistema de alerta temprana (SAT), en temporadas de lluvias intensas y/o excepcionales para informar a la población involucrada y que pueda realizarse la evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas.
- 5) Prohibir el riego de cultivos en la parta alta y en el cuerpo del deslizamiento, para evitar la saturación del suelo.
- 6) Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización, en la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y alturas que alcanzarán 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.

**Norma Luz Sosa Senticala**  
Especialista en peligros geológicos  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

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



## 7. 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](http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf)

Gutierrez, P. (1981). Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomás. Hojas: 29-p, 29-q, y 29-r. Ingemmet, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 96 p.

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](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm).

Lipa, V. & Zuloaga, A. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Chalhuanca (29-p) Escala 1:50 000. Ingemmet.

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.

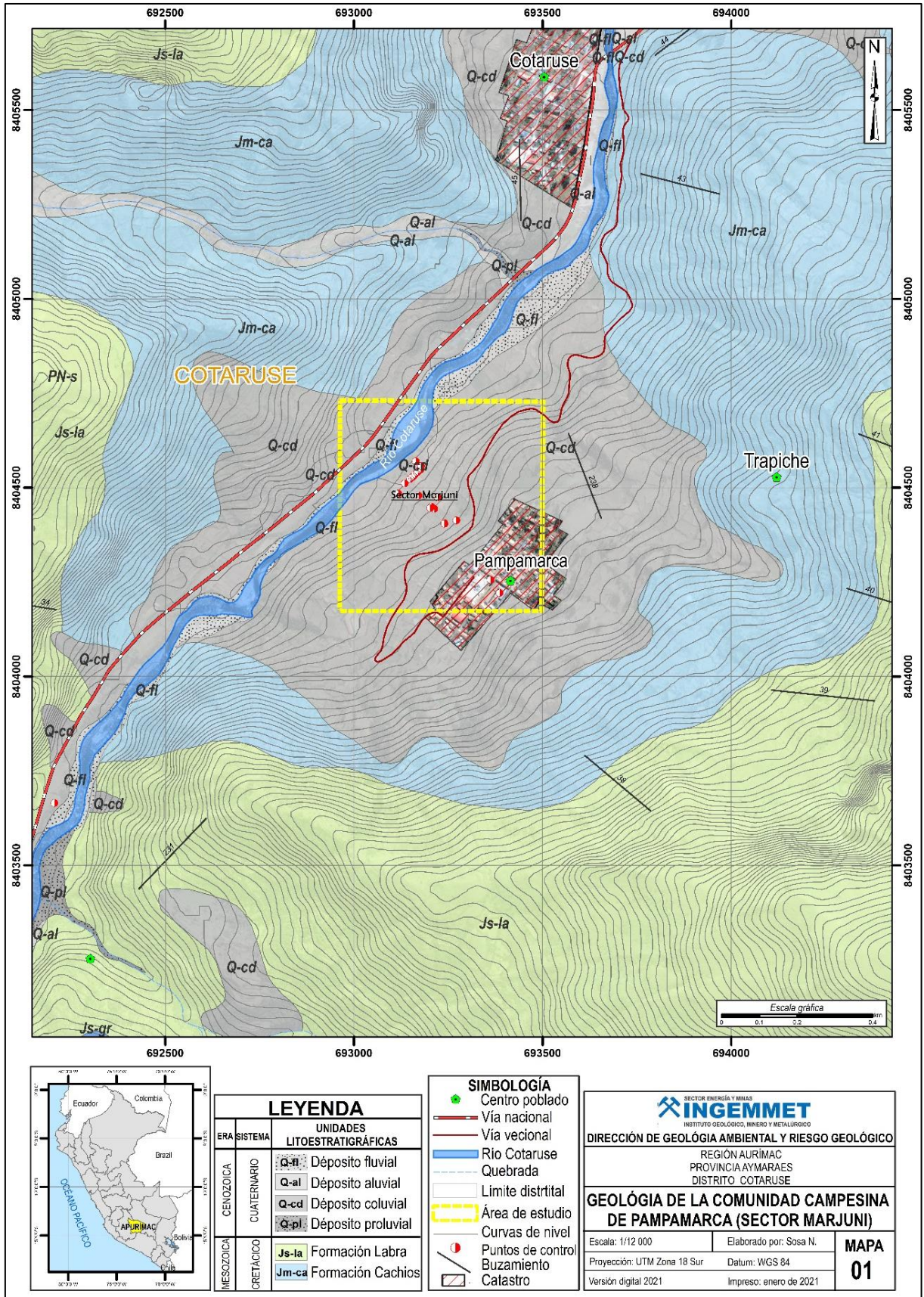
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2020) – SENAMHI. (consulta: junio 2021). <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.

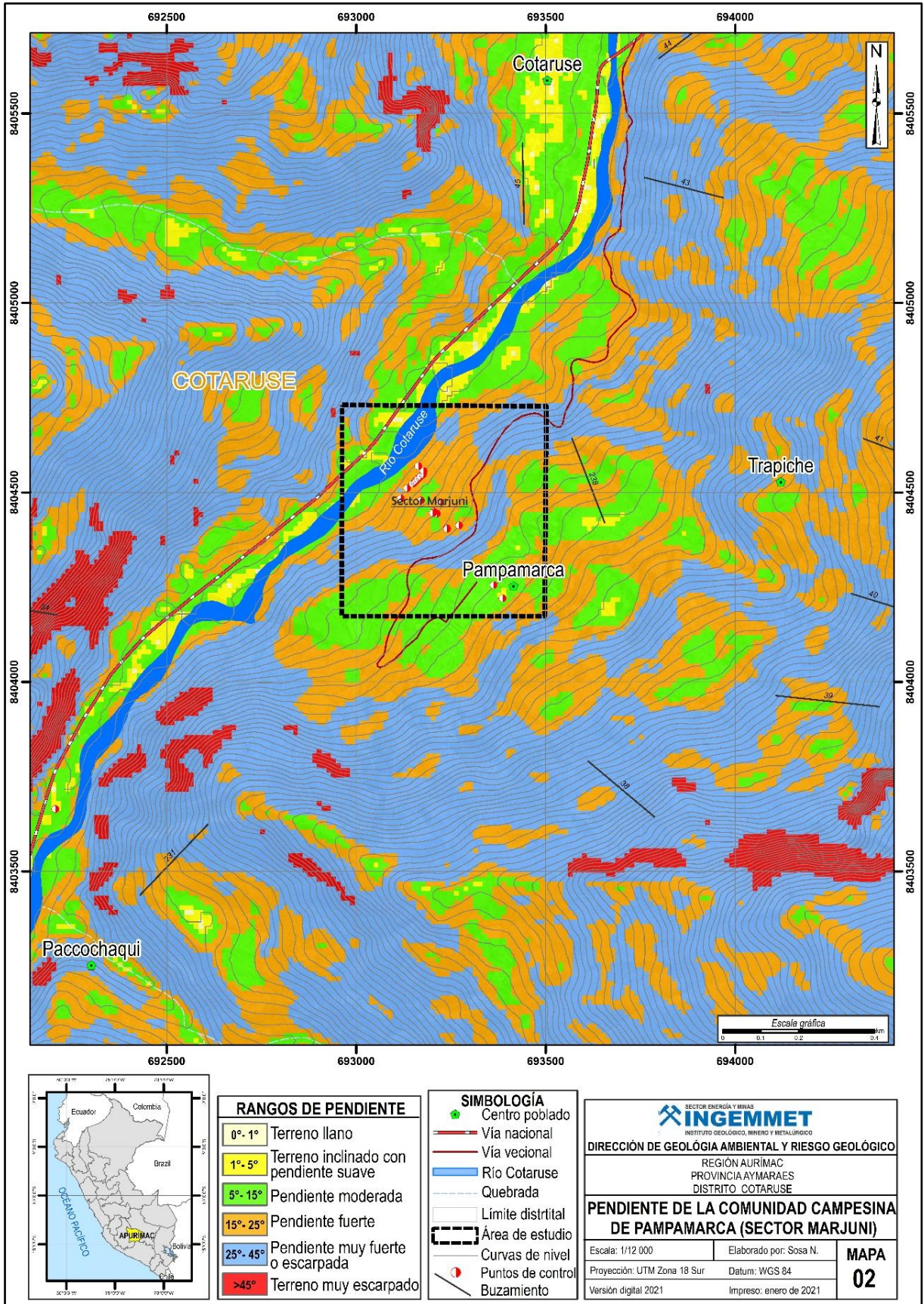
Villacorta, S., Vásquez, E., Valderrama, P. y Madueño, M., (2013). Segundo reporte de Zonas críticas por peligros geológicos y geo-hidrologicos en la región Apurímac. Informe técnico N.º A6524 46 p. 2 mapas. Lima, Perú: Ingemmet.

Villacorta S., Vasquez E., Madueño M. & Chumbes R. (2016) - Análisis de peligros geológicos en la región Apurímac: origen, características y tratamiento.

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

## **ANEXO 1: MAPAS**

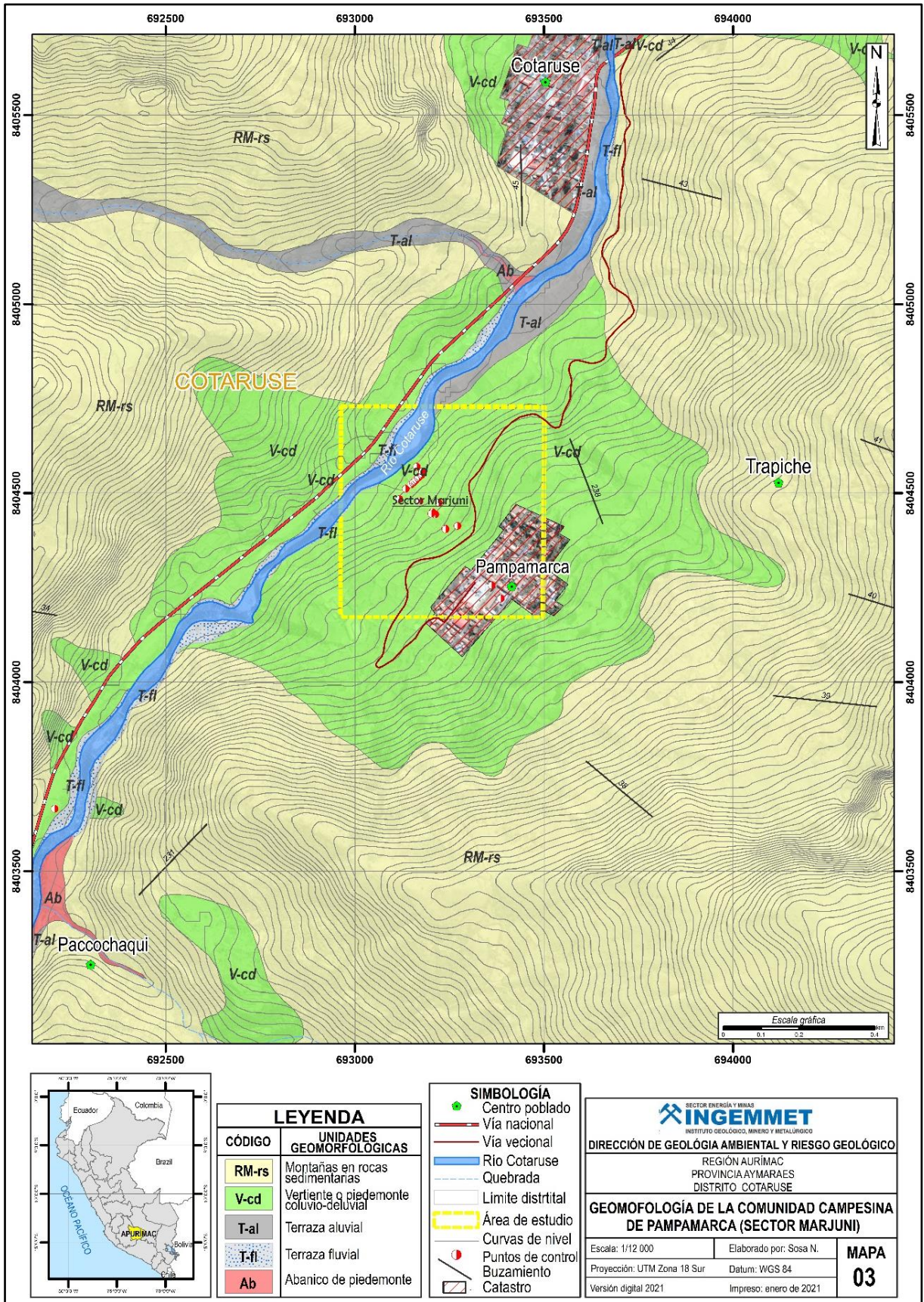


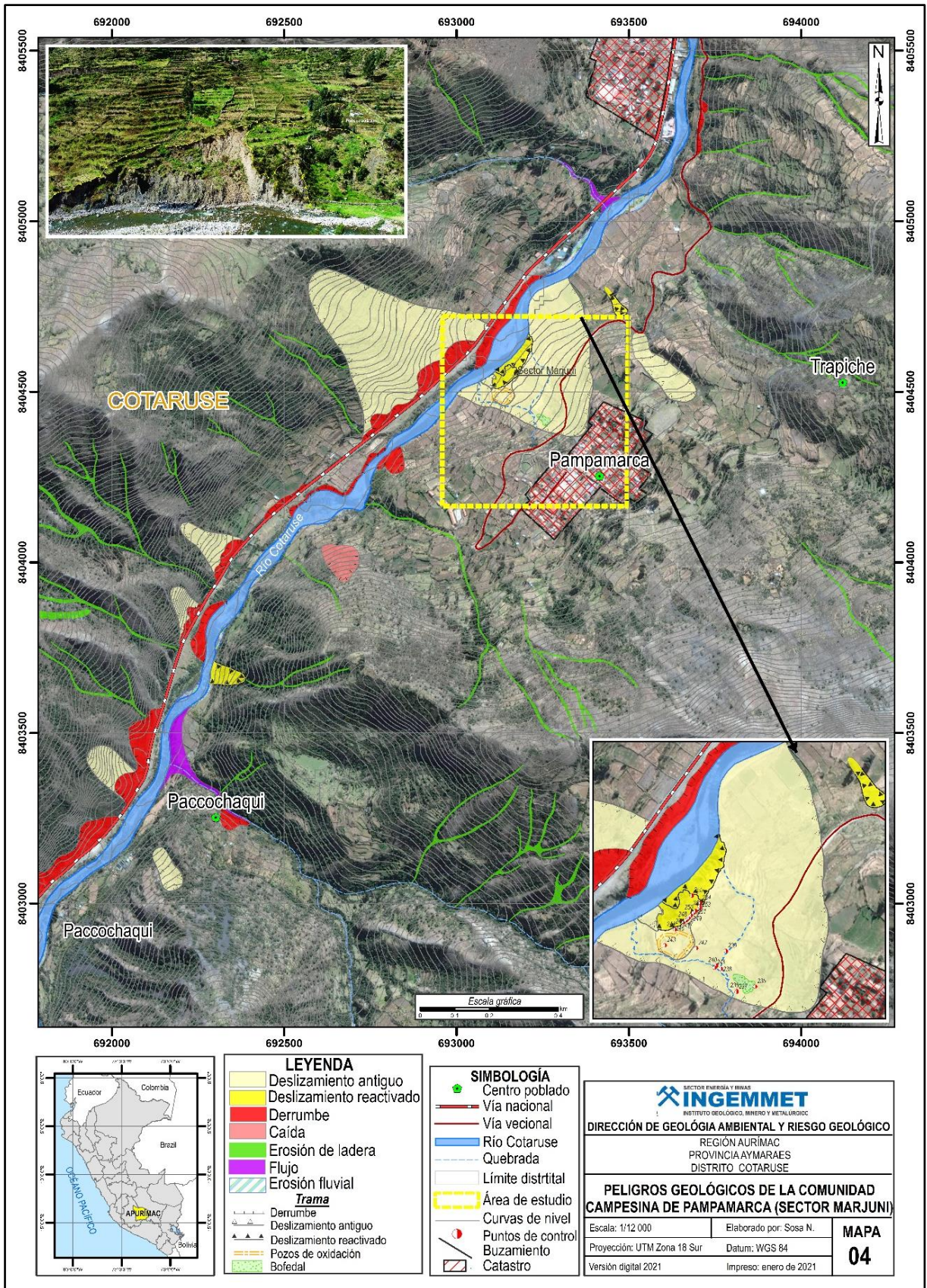


RANGOS DE PENDIENTE	
0° - 1°	Terreno llano
1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5° - 15°	Pendiente moderada
15° - 25°	Pendiente fuerte
25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
>45°	Terreno muy escarpado

SIMBOLOGÍA	
	Centro poblado
	Vía nacional
	Vía vecinal
	Río Cotaruse
	Quebrada
	Limite distrital
	Área de estudio
	Curvas de nivel
	Puntos de control
	Buzamiento

<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS                  INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO REGIÓN AURIMAC PROVINCIA AYMARAEAS DISTRITO COTARUSE		
<b>PENDIENTE DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE PAMPAMARCA (SECTOR MARJUNI)</b>		
Escala: 1/12 000	Elaborado por: Sosa N.	<b>MAPA 02</b>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2021	Impreso: enero de 2021	





## **ANEXO 2: GLOSARIO**

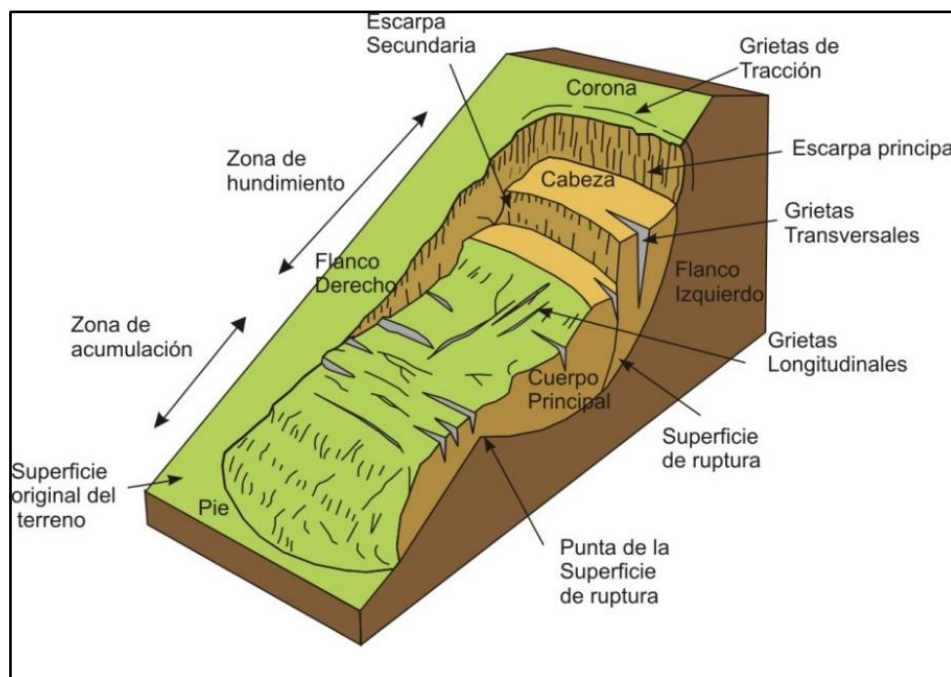
**Peligros geológicos:** Son fenómenos que podrían ocasionar pérdida de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

**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.

**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 una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (figura 1). 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 1.** Partes de un deslizamiento rotacional.

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

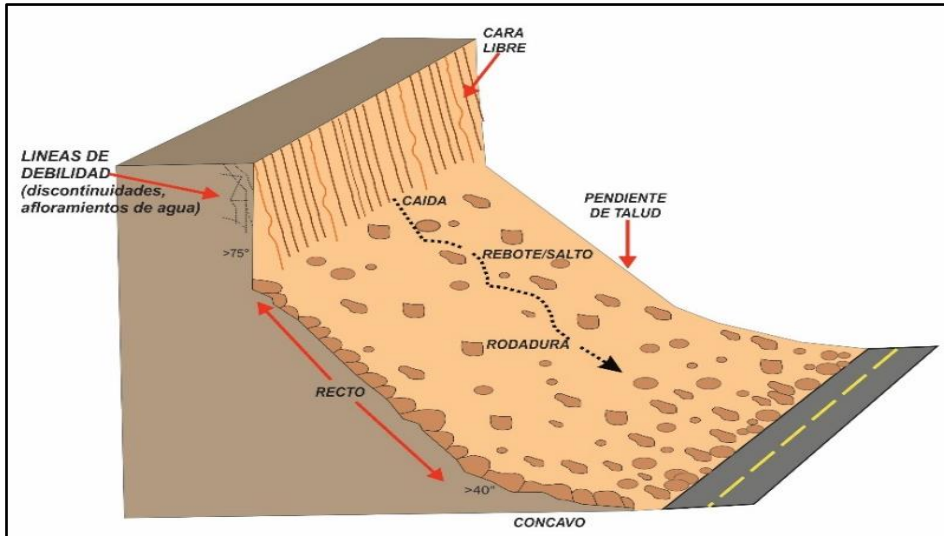


Figura 2. Esquema de Derrumbe (Vilchez 2015).

**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).

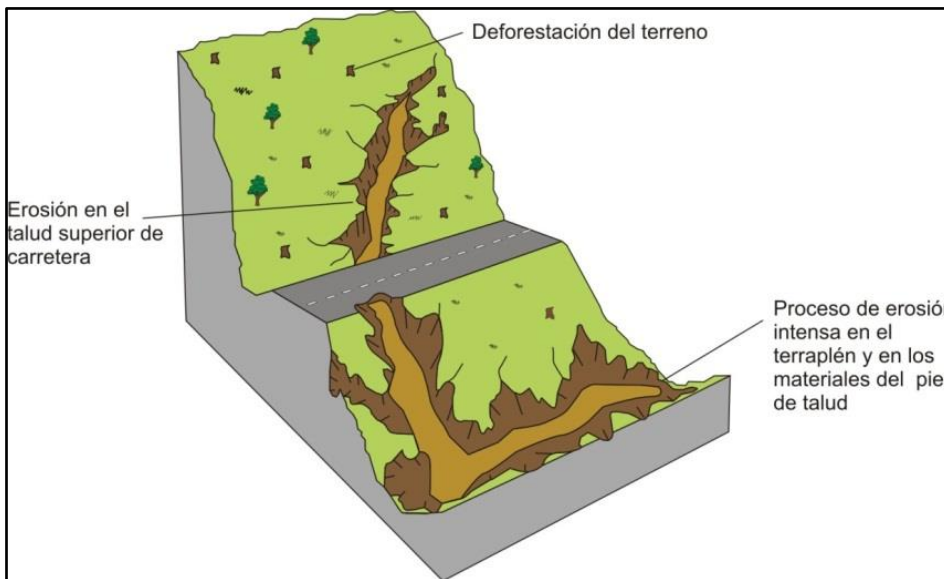
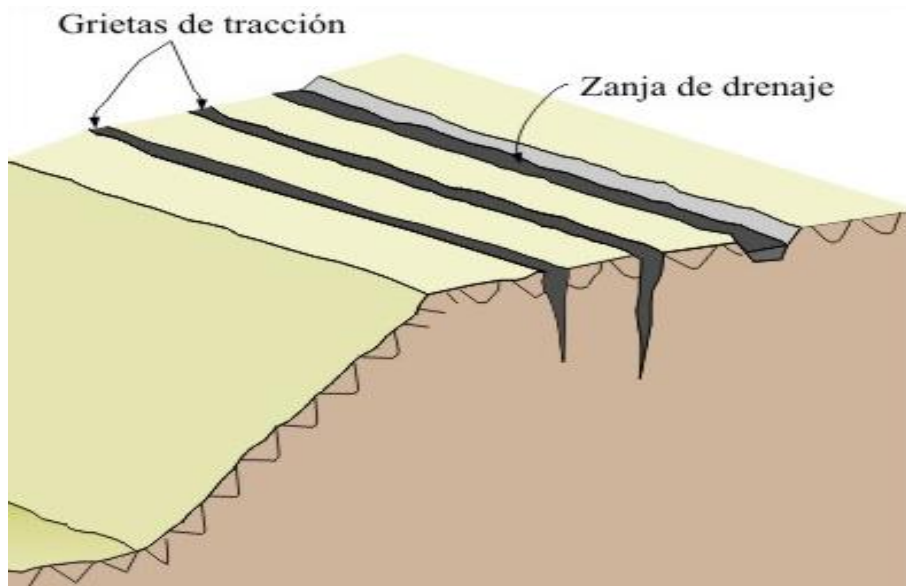


Figura 3. Esquema de erosión de laderas en cárcavas.

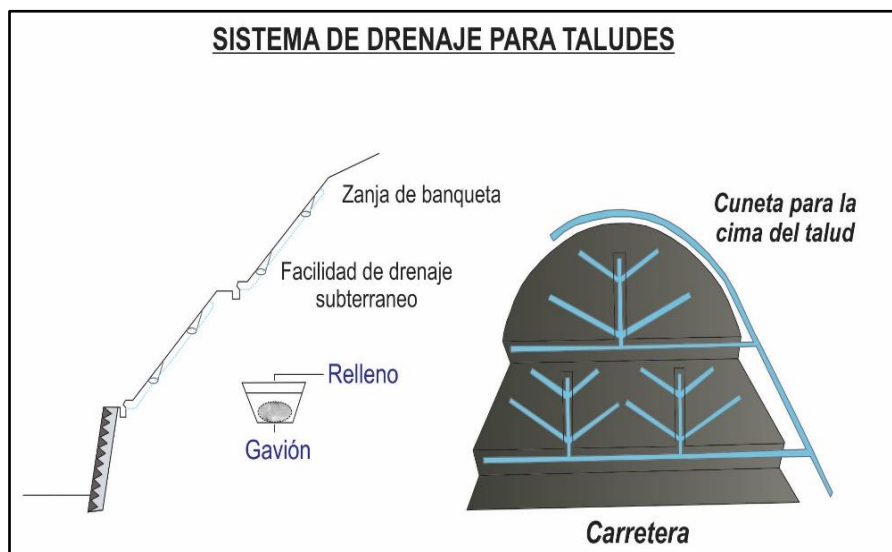
## **ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

- a) Construir zanjas de coronación. Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe (figura 1)



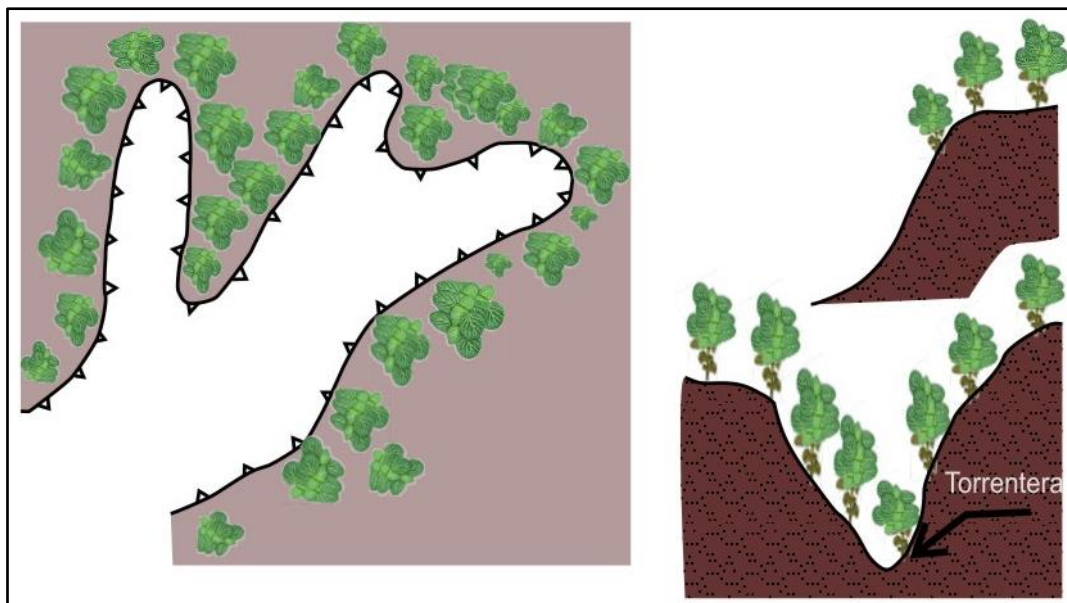
**Figura 1.** Canales de coronación.

- b) Construir un sistema de drenaje tipo Espina de Pescado: Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras (figura 2). Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la reinfiltración del agua.



**Figura 2.** Drenaje tipo espina.

- c) Monitoreo permanente en la zona durante el periodo lluvioso: Implementar un sistema de monitoreo de la zona de arranque, que permita determinar la existencia de movimiento en la masa deslizante, este puede estar constituido por estacas de madera o varillas de fierro, las cuales deben estar colocadas tanto dentro del deslizamiento, como en una zona estable (fuera o encima del cuerpo de deslizamiento), realizándose medidas de la distancia entre estacas, cada cierto tiempo, aumentado la frecuencia de medidas durante periodos de lluvia. De detectarse movimientos rápidos, se informará a la población para que pueda realizarse la evacuación de las zonas que pueden resultar afectadas.
- d) Deben realizarse trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización; en la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos (figura 3). Se recomienda que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración a curvas de nivel con el objeto de captar el agua y controlar la erosión.



**Figura 3.** Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.