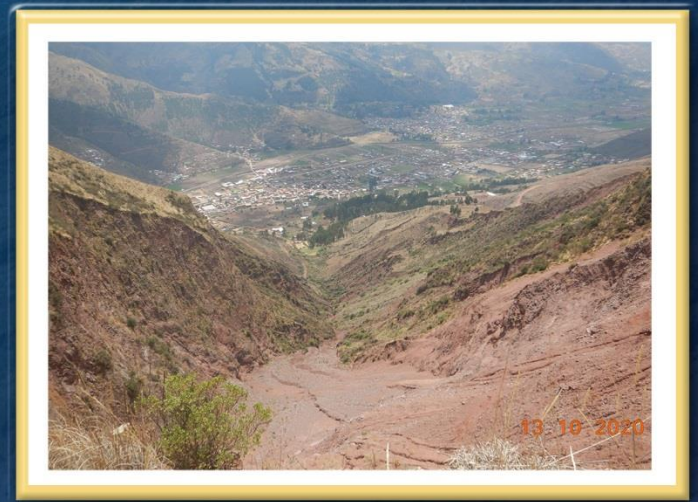
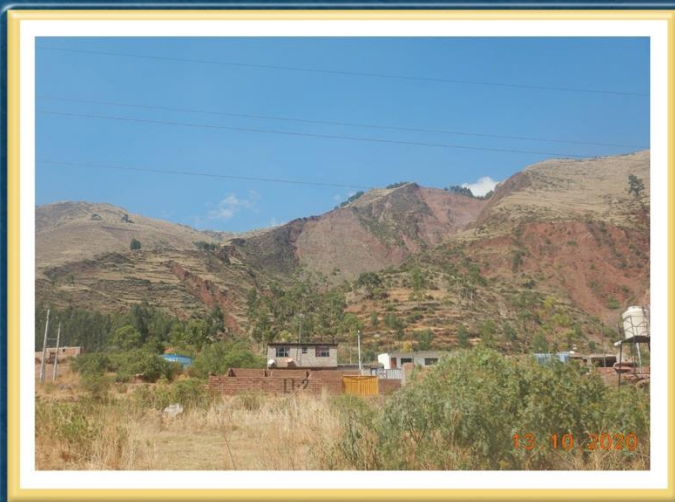


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7100**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA HATUNHUAYCO

Región Cusco  
Provincia Cusco  
Distrito Saylla



NOVIEMBRE  
2020

## **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA HATUNHUAYCO**

*(Distrito de Saylla, provincia Cusco, región Cusco)*

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

*Equipo de investigación:*

*Guisela Choquenaira Garate*

### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020). Evaluación de peligros geológicos de la quebrada Hatunhuayco. Distrito de Saylla, provincia y región Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7100, 31 p.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>1.1. Objetivos del estudio</b> .....	2
<b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores</b> .....	2
<b>1.3. Aspectos generales</b> .....	4
1.3.1. UBICACIÓN .....	4
1.3.2. ACCESIBILIDAD .....	5
1.3.3. CLIMA .....	5
1.3.4. TECTÓNICA.....	6
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	6
<b>2.1. Unidades litoestratigráficas</b> .....	6
2.1.1. FORMACIÓN QUILQUE (Pp-qu).....	8
2.1.2. FORMACIÓN CHILCA (Pp-ch) .....	8
2.1.3. FORMACIÓN KAYRA (Peo-k) .....	9
2.1.4. DEPÓSITO ALUVIAL (Q-al) .....	9
2.1.5. DEPÓSITO PROLUVIAL (Q-pr).....	9
2.1.6. DEPÓSITO COLUVIAL (Q-co).....	10
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	10
<b>3.1. Pendientes del terreno</b> .....	10
<b>3.2. Unidades geomorfológicas</b> .....	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</b> .....	15
<b>4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa</b> .....	16
<b>4.2. Deslizamientos en la quebrada Hatunhuayco</b> .....	17
4.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO 1 .....	17
4.2.2. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO 2.....	19
<b>4.3. Derrumbes</b> .....	20
<b>4.4. Erosión de ladera</b> .....	21
<b>4.5. Factores condicionantes</b> .....	21

<b>4.6. Factores desencadenantes .....</b>	<b>22</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>23</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>24</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>25</b>
<b>ANEXO 1: GLOSARIO .....</b>	<b>26</b>
<b>ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN .....</b>	<b>29</b>

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en la quebrada Hatunhuayco, pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Saylla, provincia y región Cusco. 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 (distrital, regional y nacional).

Las unidades geológicas que afloran en la zona evaluada corresponden a rocas fuertemente fracturadas y meteorizadas de origen sedimentario de las formaciones Quilque (conformado por lutitas, areniscas de color rojo y micro conglomerados), Chilca (yeso, margas y areniscas calcáreas) y Kayra (areniscas intercaladas con lutitas rojas y conglomerados); así como depósitos coluviales conformados por arenas y arcillas gravosas (con tamaños de 2 a 5 cm en promedio), se encuentran distribuidos de forma caótica, con regular a pobre consolidación. Los movimientos en masa identificados en la zona, se desarrollaron principalmente en estos depósitos coluviales.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas en rocas sedimentaria) y geoformas de carácter depositacional y agradacional principalmente originada por la ocurrencia de movimientos antiguos, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento, coluvio – deluvial y aluvio - torrencial) y planicie (terrazas aluviales). Se considera que los principales factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa son los materiales fácilmente erosionables y removidos, el sustrato rocoso muy fracturado y meteorizado, además de la pendiente del terreno, que va de fuerte (25°-45°) a muy fuerte (>45°).

Los procesos identificados en la quebrada Hatunhuayco corresponden a los denominados movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes, flujo de detritos), eventos antiguos que han sufrido reactivaciones; también se identificó zonas con procesos de erosión de laderas (cárcavas) con desarrollo de ensanchamiento y profundización. Estos procesos han afectado viviendas, tramos carreteros y terrenos de cultivo.

Se concluye que el área de estudio es considerada de **Muy Alto** peligro a la ocurrencia de deslizamientos, que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas (octubre a marzo) y por actividad sísmica.

Finalmente, se recomienda implementar sistemas de drenaje, mediante zanjas de coronación, sellado de grietas y uso de un sistema de riego tecnificado por parte de los agricultores y sus organizaciones.

## 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 y consideraciones geotécnicas a nivel nacional (ACT. 7)”, 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) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Saylla, según oficio N° 556-2019-A-MDS/C, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de tipo deslizamientos, derrumbes y erosión de ladera, en la quebrada Hatunhuayco, ocurridos el día sábado, 18 de noviembre de 2019, que afectó viviendas y terrenos de cultivo.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a la geóloga Guisela Choquenaira Garate, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 13 de octubre de 2020.

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 y fotografías), 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 Distrital de Saylla, 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:

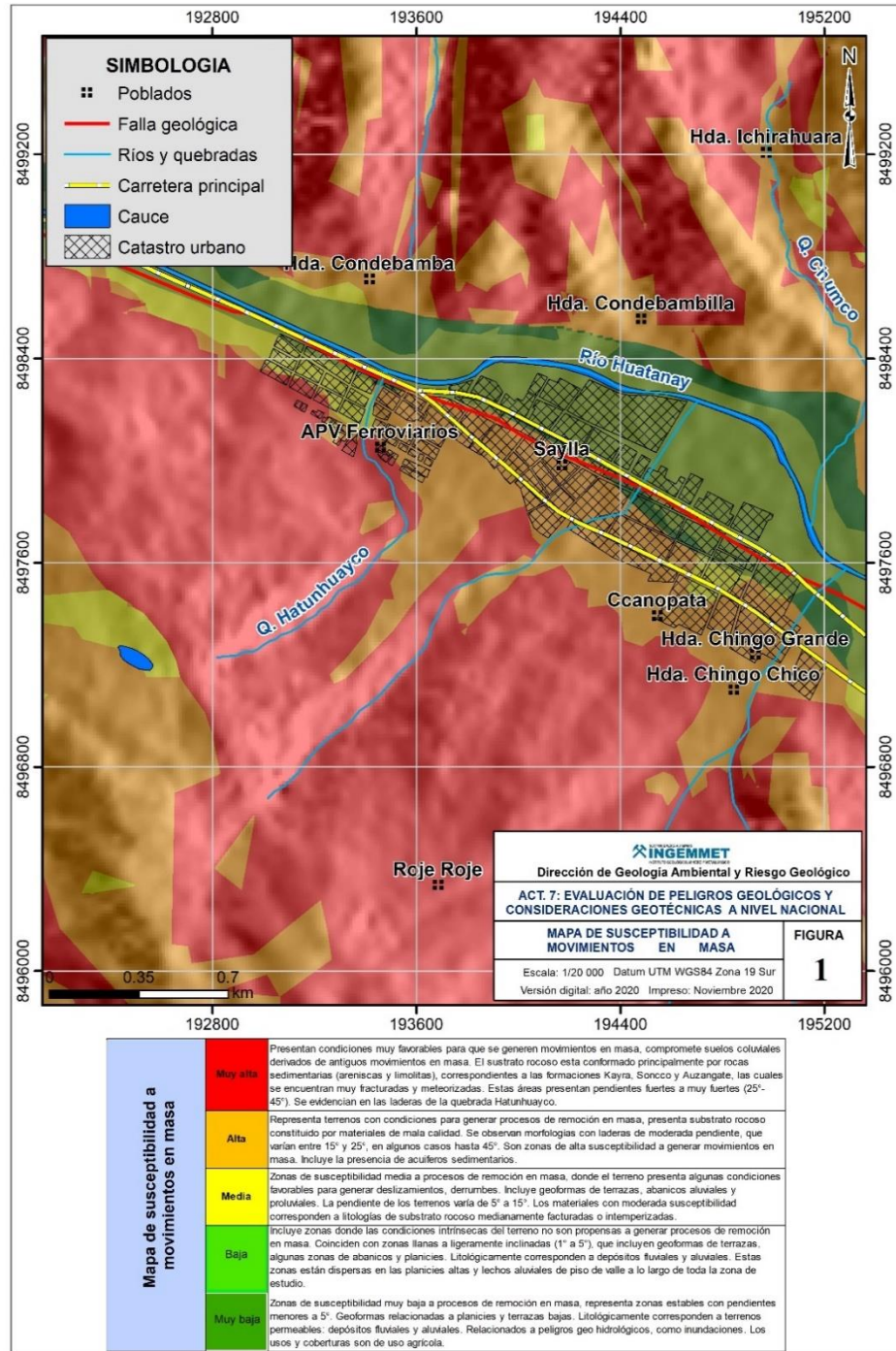
- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que afecten el sector A.P.V. Ferroviarios.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes para la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel regional en la localidad de Saylla, se tienen:

- A) Boletín N° 74, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligro geológico en la región Cusco” (Vílchez et al., 2020); el estudio realiza un análisis de

susceptibilidad a movimientos en masa (escala 1: 100 000), donde la quebrada Hatunhuayco presenta muy alta susceptibilidad (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.



**Figura 1.** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la quebrada Hatunhuayco, distrito de Saylla, provincia y región Cusco.

- B) Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 3 (INGEMMET, 2003) menciona que, en los alrededores de la zona de estudio se han identificado peligros geológicos de tipo deslizamientos y flujo de detritos (huaicos), también peligros hidrogeológicos de tipo inundación fluvial.
- C) Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Cusco (Vílchez, M. & Sosa, N. 2015), determinaron 75 zonas críticas, dentro del cual resaltan áreas, que luego del análisis de los peligros identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestos (infraestructuras, centros poblados y vías de acceso), se les considera como zonas con peligro potencial de generar desastres. Además, señala que, un tramo de 7 km del cauce del río Huatanay comprendido entre los poblados de San Gerónimo y Saylla, con un ancho máximo de la llanura de inundación de hasta 500 m, produce desbordes y erosión en ambas márgenes. Asimismo, discurren flujos de detritos por las quebradas Huacolomayo, Llampahuayjo, Joclapuquio, Pampahuachay, Cacllacancha, Hatunhuayco entre otras sin denominación y de corto recorrido.
- D) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Cusco (28-s) (Carlotto et al., 2011); describe la geología a escala 1: 50 000, información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía. Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas donde se ubica la quebrada Hatunhuayco.

### 1.3. Aspectos generales

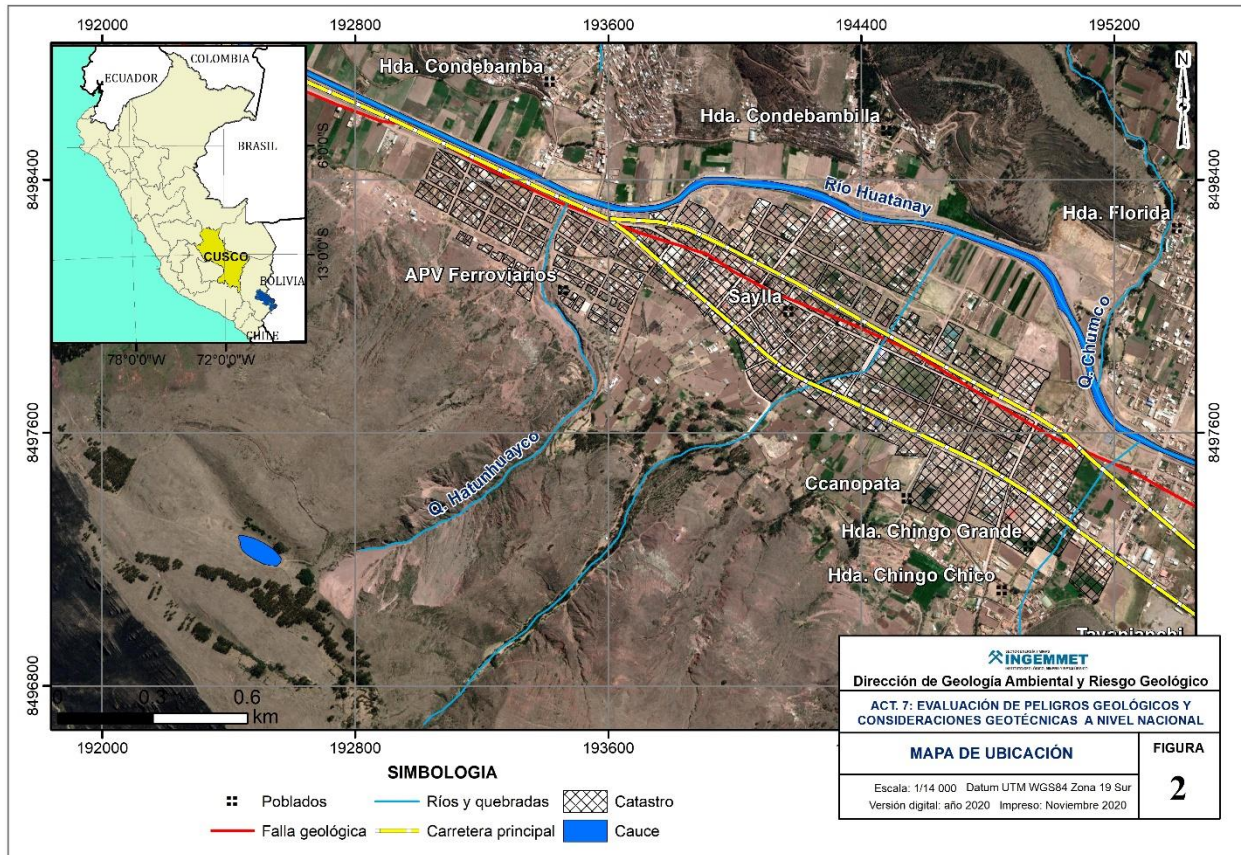
#### 1.3.1. UBICACIÓN

La quebrada Hatunhuayco se ubica en la margen derecha del río Huatanay, a 20 km al este de la ciudad del Cusco. Políticamente pertenece al distrito de Saylla, provincia y región Cusco (figura 1), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19 S) siguientes (cuadro 1):

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

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	192533	8497406	- 13.57°	-71.84°
2	193140	8498228	-13.56°	-71.83°
3	193998	8497530	-13.57°	-71.82°
4	192615	8496711	-13.58°	-71.84°
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C	193200	8497400	-13.57°	-71.83°





**Figura 2.** Mapa de ubicación de la quebrada Hatunhuayco, distrito de Saylla, provincia y región Cusco.

### 1.3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a la quebrada Hatunhuayco, utilizando un vehículo desde la ciudad del Cusco, se realizó mediante la siguiente ruta (cuadro 1):

**Cuadro 2.** Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cusco – Saylla	Asfaltada	20	20 minutos
Saylla – Quebrada Hatunhuayco	Camino de herradura	3	5 minutos

### 1.3.3. CLIMA

El clima en la quebrada Hatunhuayco se caracteriza como templado y seco, con precipitaciones intensas entre los meses de noviembre a marzo, y estiaje entre los meses de abril a octubre.

Según la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Saylla presenta un clima Templado con Invierno Seco, con temperatura media anual de 12.3°C. La precipitación promedio anual es de 596 mm.

#### 1.3.4. TECTÓNICA

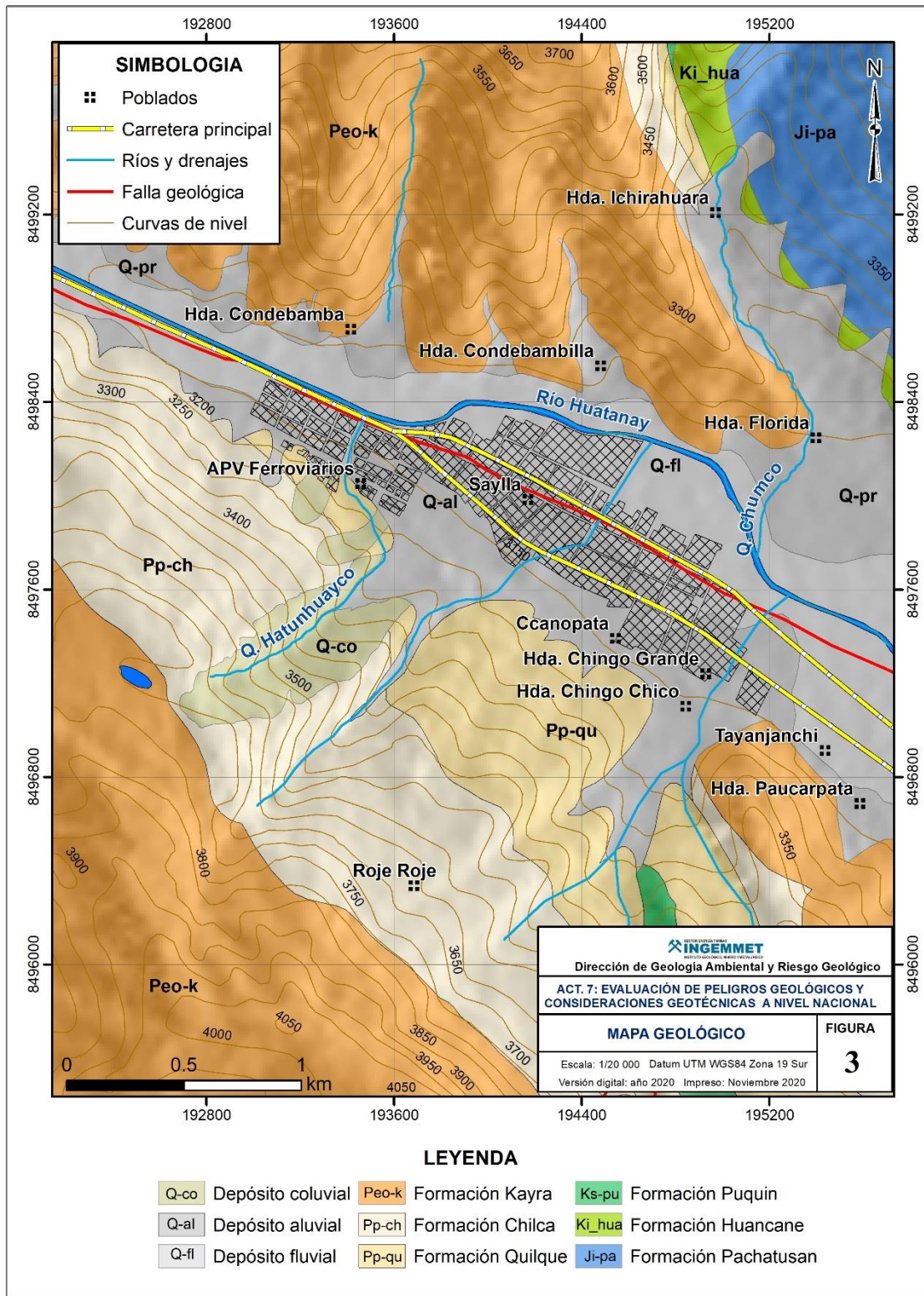
Las rocas de la zona de estudio forman parte del anticlinal de Saylla de dirección NO-SE. El eje del anticlinal atraviesa por la parte media de la quebrada Hatunhuayco, lo que hace que la roca esté fuertemente fracturada y muy deleznable. Las fracturas muestran dos direcciones principales NO-SE y NE-SO. En consecuencia, se puede deducir que la mayor cantidad de fenómenos de movimiento en masa que se halla en el eje de anticlinal, está en relación a la mayor deformación, lo que es un factor adicional a las magras características mecánicas que presentan las rocas de la formación Quilque que hace parte del núcleo del anticlinal de Saylla (Carlotto, 2008).

## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización del cuadrángulo de Cusco (Carlotto, 2011), donde se tienen rocas sedimentarias del Cretácico y principalmente depósitos Cuaternarios. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

### 2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y alrededores son de origen sedimentario, conformado principalmente por las formaciones Quilque, Chilca, Kayra y depósitos coluvio – deluviales, aluviales y fluviales que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (figura 3).

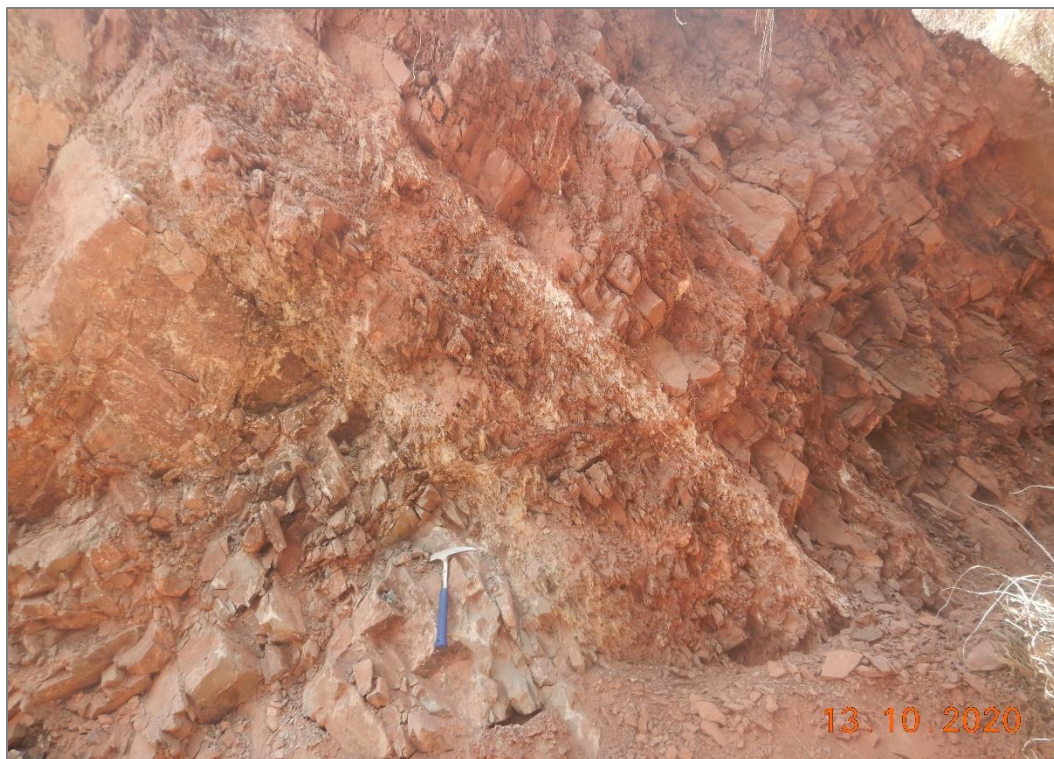


**Figura 3.** Mapa geológico de la quebrada Hatunhuayco, distrito de Saylla, provincia y región Cusco. Modificado de Carlotto, 2011.

### 2.1.1. FORMACIÓN QUILQUE (Pp-qu)

Aflora en los flancos del anticlinal de Saylla y forma parte de la zona baja de la quebrada Hatunhuayco. Está conformado por lutitas, areniscas de color rojo y micro conglomerados de origen lacustre y fluvial, del Paleoceno inferior. En la zona, estas rocas se hallan fuertemente fracturadas y con intensa meteorización (fotografía 1).

En la zona de estudio, parte de los deslizamientos, derrumbes y cárcavas se han originado sobre estos materiales.



**Fotografía 1.** Vista al sureste de areniscas fuertemente fracturadas y meteorizadas, correspondiente a la Formación Quilque.

### 2.1.2. FORMACIÓN CHILCA (Pp-ch)

Esta unidad aflora en la zona media de la quebrada Hatunhuayco, está compuesta por lutitas rojas con láminas de yeso, margas y areniscas calcáreas de medios lacustres, del Paleoceno superior. Las lutitas pasan a areniscas rojas feldespáticas de origen fluvial, las cuales se encuentran fuertemente fracturadas y medianamente meteorizadas (fotografía 2).

Estas rocas son consideradas de mala calidad geotécnica (Carlotto et al., 2008), ya que desarrollan deslizamientos, derrumbes y cárcavas.



**Fotografía 2.** Vista de la zona media de la quebrada Hatunhuayco, conformada por areniscas fracturadas y medianamente meteorizadas, intercaladas con niveles de lutita.

#### 2.1.3. FORMACIÓN KAYRA (Peo-k)

Esta formación aflora en la parte alta de la quebrada Hatunhuayco y se extiende ampliamente en la ladera sur del valle de Huatanay. Está constituida por areniscas intercaladas con lutitas rojas y micro conglomerados. Además, es una de las más importantes, no solamente por la extensión de los afloramientos y el espesor de sedimentos, sino porque constituye el principal acuífero de la cuenca. Son rocas que forman laderas estables y en general, son favorables para la construcción de obras civiles (Carlotto, 2008).

#### 2.1.4. DEPÓSITO ALUVIAL (Q-al)

Se encuentran dispuestos en las márgenes del río Huatanay, conformado por gravas areno arcillosas, con clastos de hasta 30 cm y 5 cm de promedio, de formas subangulosos a subredondeados. Estos materiales han sido afectados por el deslizamiento del 29 de noviembre del 2007.

Sobre este depósito de encuentra ubicado el distrito de Saylla y se desarrollan terrenos de cultivo.

#### 2.1.5. DEPÓSITO PROLUVIAL (Q-pr)

Son el resultado de la depositación de huaicos antiguos en la desembocadura de la quebrada Hatunhuayco.

Está constituido por bloques heterométricos, inmersos en matriz limo arenosa. Sobre este depósito se emplaza el sector A.P.V. Ferroviarios y se desarrollan terrenos de cultivo.

#### 2.1.6. DEPÓSITO COLUVIAL (Q-co)

Se encuentran dispuestos en las laderas de pendiente empinada que circunscriben la quebrada Hatunhuayco (fotografía 3). Están constituidos por arcillas gravosas producto de la descomposición de las rocas sedimentarias aflorantes. Los clastos de las gravas tienen tamaños mayores de 10 cm y el promedio de 2 a 5 cm.



**Fotografía 3.** Vista al suroeste de depósitos coluviales deluviales, en ambas márgenes de la quebrada Hatunhuayco.

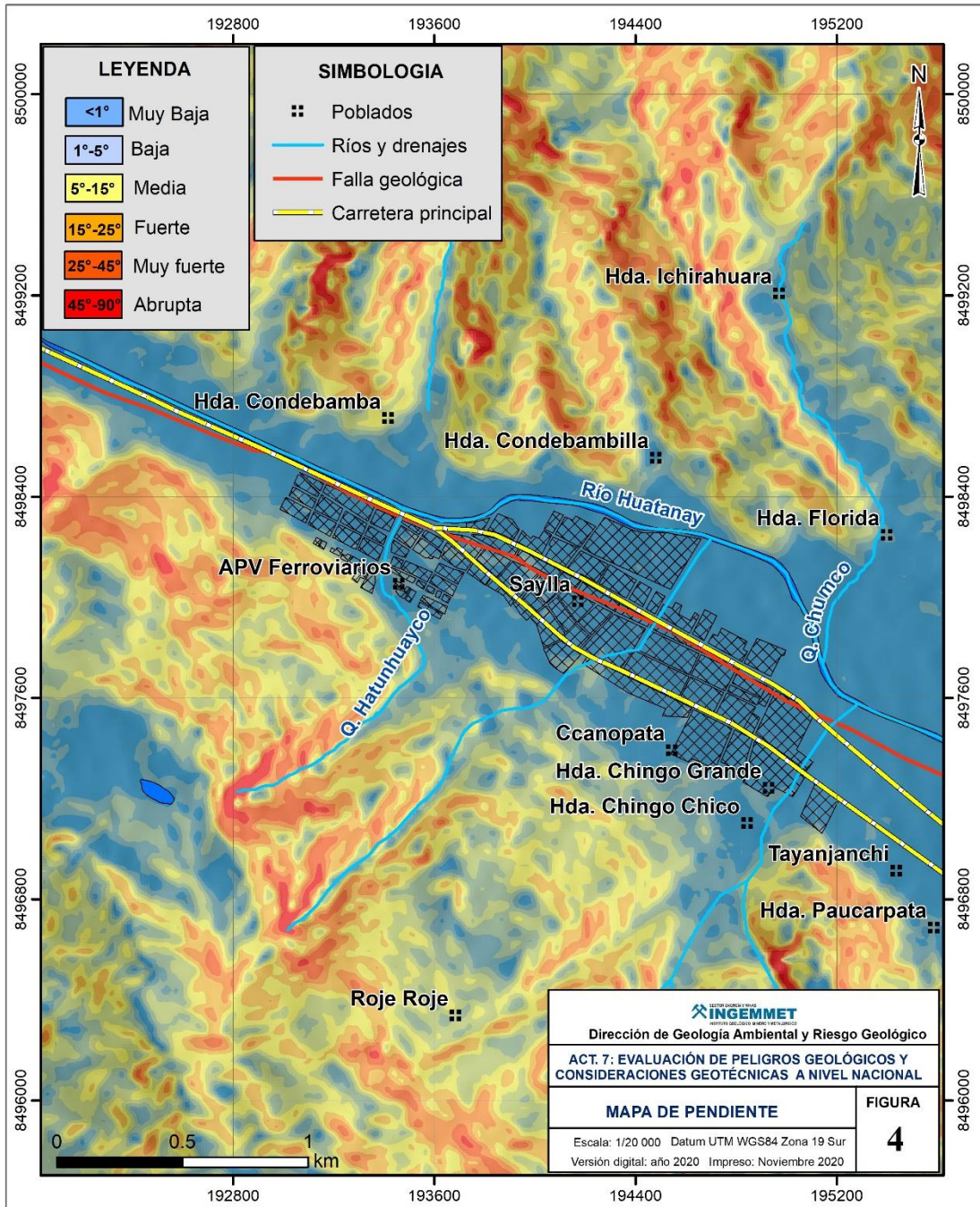
### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### 3.1. Pendientes del terreno

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En la figura 4, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12 m de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas y estribaciones con inclinación de pendientes que van de

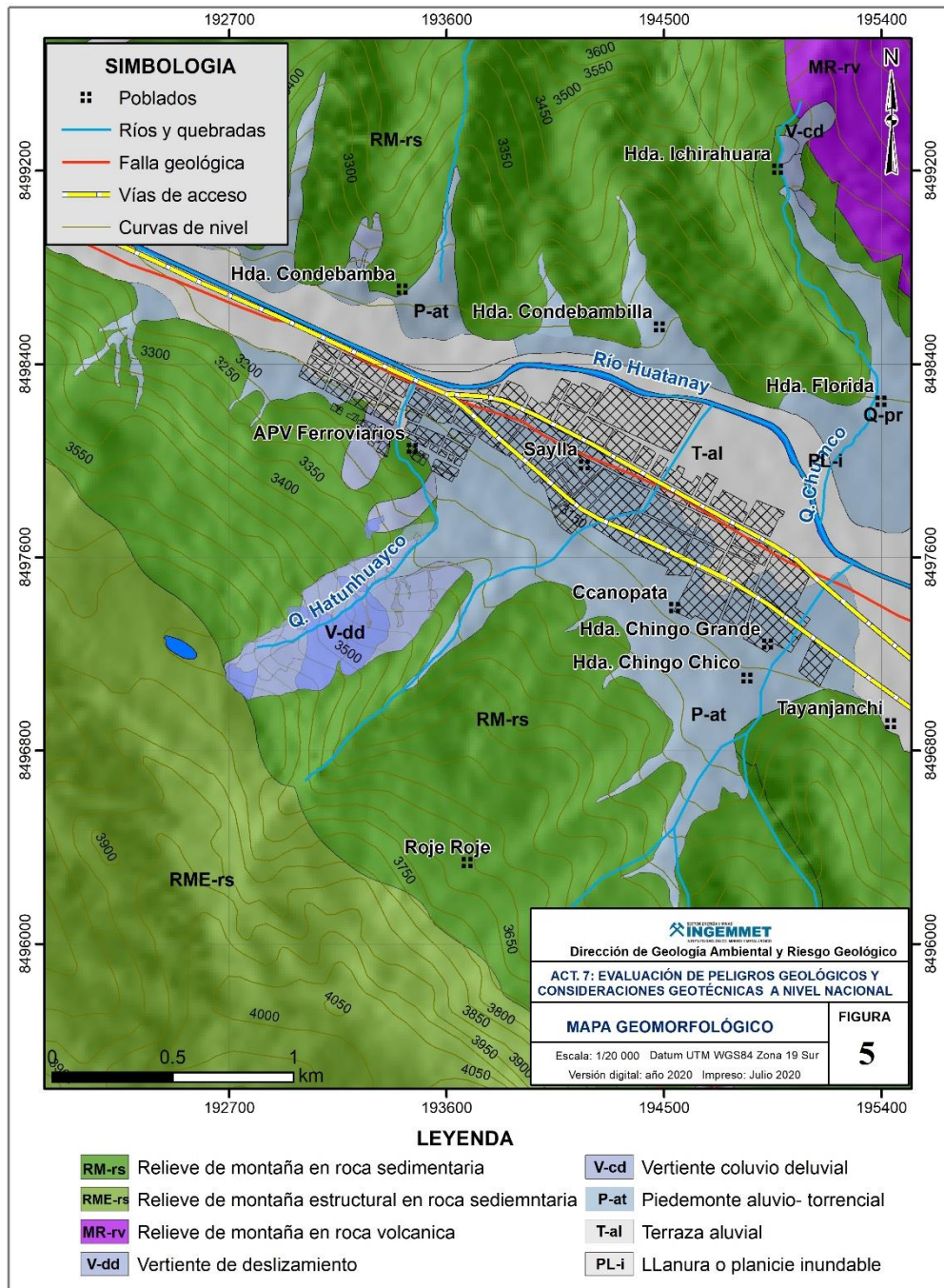
rangos de terrenos llanos a inclinados suavemente ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ), con un cambio abrupto a terrenos escarpados ( $> 45^{\circ}$ ) en la base y zona media del acantilado, a pendiente muy fuerte ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) en la parte alta del acantilado, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.



**Figura 4.** Mapa de pendientes de la quebrada Hatunhuayco, distrito de Saylla, provincia y región Cusco.

### 3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (figura 5), 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 (Vílchez et al., 2020).



**Figura 5.** Mapa geomorfológico de la quebrada Hatunhuayco, distrito de Saylla, provincia y región Cusco.



### 3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

#### 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 conforma y los procesos que han originado su forma actual.

**Subunidad de montañas en rocas sedimentaria (RM-rs):** Representada por laderas de montañas sedimentarias con algunos alineamientos producto de las secuencias estratigráficas, anticlinal de Saylla y fallas geológicas, caracterizado por una topografía accidentada (fotografía 4), de cimas alargadas y pendientes predominantemente empinadas ( $>25^\circ$ ).

Las formaciones Quilque, Chica y Kayra, forman parte de esta unidad.



**Fotografía 4.** Vista al oeste de montañas modeladas en rocas sedimentarias.

### 3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores, aquí se tienen:

#### 3.2.2.1. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa (figura 6).



**Figura 6.** Vista al sur de la subunidad de depósito de deslizamiento (V-dd), margen derecha de la quebrada Hatunhuayco.

#### 3.2.2.2. Subunidad de vertiente coluvio - deluvial

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad y removidos por agua de escorrentía superficial (fotografía 5).

Los depósitos de vertientes coluvio – deluviales más representativos, se encuentran en las laderas que circunscriben la quebrada Hatunhuayco.



**Fotografía 5.** Vista al noroeste de la quebrada Hatunhuayco, la subunidad de vertiente coluvio deluvial (V-cd).

### **3.2.2.3. Subunidad de piedemonte aluvio – torrencial (P-at)**

Son el resultado de la acumulación de material movilizado a manera de flujos de detritos (huaicos), modifican localmente la dirección de los cursos de ríos y se ubican en las desembocaduras de quebradas hacia los ríos principales.

La quebrada Hatunhuayco, afluente al río Huatanay, en periodos de precipitaciones pluviales excepcionales, acarrea material de la parte alta, en su desembocadura forma un abanico, en cuyo depósito se ubica el A.P.V. Ferroviarios.

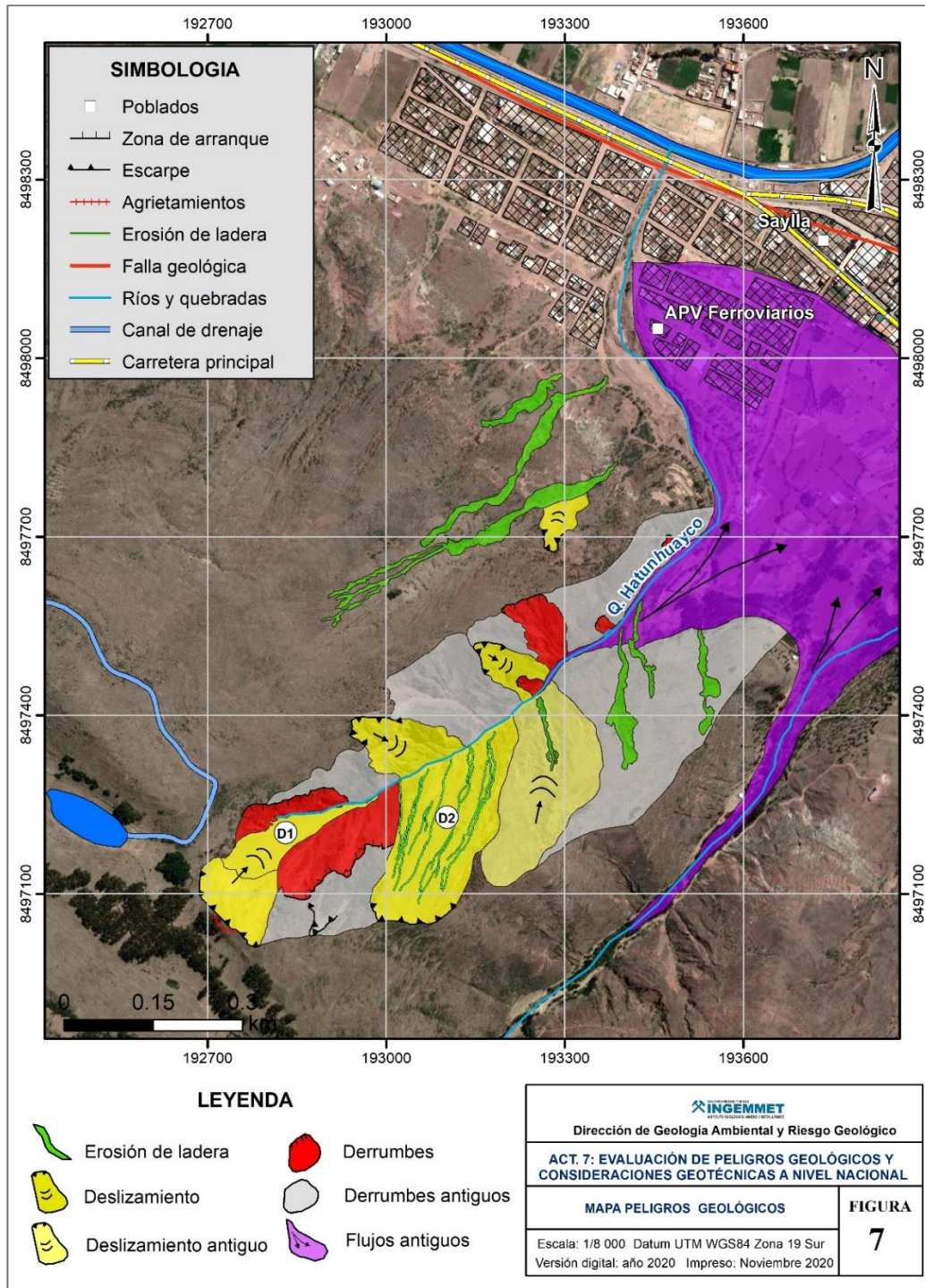
## **4. PELIGROS GEOLÓGICOS**

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, flujos (flujos de detritos o huaicos) y caídas (derrumbes) (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, 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 la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo, el drenaje superficial – subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “desencadenantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.

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

La quebrada Hatunhuayco presenta una geodinámica muy activa, representada por derrumbes, deslizamientos, flujo de detritos y erosión de ladera en cárcavas (figura 7).



**Figura 7.** Mapa de peligro geológico de la quebrada Hatunhuayco, distrito de Saylla, provincia y región Cusco.

## 4.2. Deslizamientos en la quebrada Hatunhuayco

Para un mejor análisis y entendimiento de los procesos por movimientos en masa en la quebrada Hatunhuayco, se describirá a detalle los deslizamientos D1 y D 2, los cuales representan un peligro latente para la población asentada en la zona baja de la quebrada referida.

### - DESLIZAMIENTO D-1:

Evento localizado en la cabecera de la quebrada Hatunhuayco, a una distancia aproximada de 1.7 km de su desembocadura en el río Huatanay. A través del análisis de imágenes satelitales (Google Earth) disponibles desde el año 2011, se observa el proceso evolutivo del deslizamiento. En la imagen del 2011 se identificó una escarpa del deslizamiento de 60 m de longitud, para el año 2016 la escarpa presenta una longitud de 155 m y se observa bastante material suelto disponible en su cuerpo (conformado por clastos arenas y lutitas). En el 2017, el deslizamiento se reactivó nuevamente, el escarpe incrementó en 45 m y finalmente para el 2020, el escarpe presenta 212 m de longitud (figura 8).

El deslizamiento presenta actividad retrogresiva, muestra de ello es la existencia de agrietamientos longitudinales, ubicados en la parte posterior del escarpe, a una distancia de 5 m y con aperturas de hasta 0.8 m (figura 9a). Por sectores se observó desplazamientos que varían de 0.2 a 0.5 m (figura 9b).

### 4.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO 1

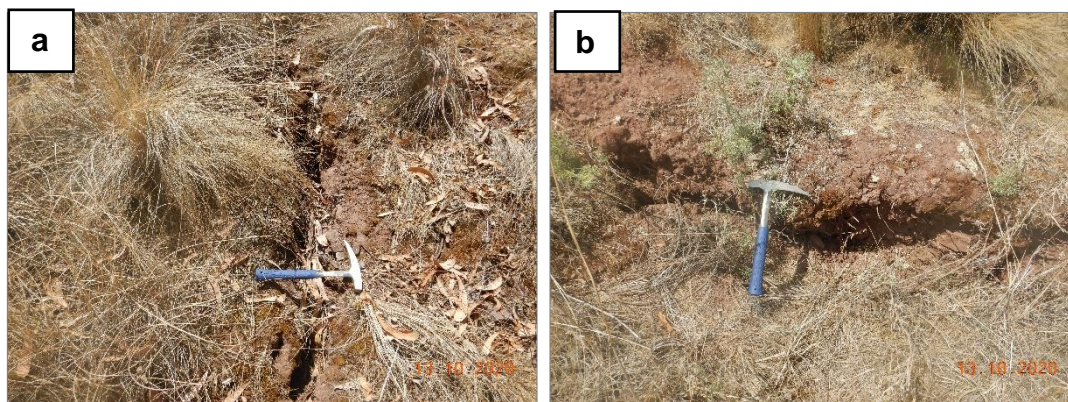
El deslizamiento D-1 tiene las siguientes características y dimensiones:

- Ancho promedio de la zona de arranque: 212 m
- Forma de la superficie de rotura: semicircular - continua
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del deslizamiento: 210 m
- Área del deslizamiento: 22,429.811 m<sup>2</sup>
- Presencia de hasta cuatro familias de fracturas

Por otro lado, en la cabecera de la quebrada se observó un canal de drenaje de forma transversal al escarpe, sin revestimiento. En temporada de lluvia, el agua infiltra a lo largo del canal, esto acelera el proceso de reactivación del deslizamiento.



**Figura 8.** Proceso evolutivo del deslizamiento D1 desde el año 2011, donde se observa claramente la reactivación del deslizamiento el año 2016. Actualmente, el escarpe del deslizamiento presenta 212 m de longitud y muestra actividad retrogresiva.



**Figura 9.** a) Agrietamientos longitudinales con aperturas de hasta 50 cm, ubicados a 5 m aproximadamente del escarpe. B) Vista de desplazamientos que varían de 0.2 a 0.5 m, en la parte posterior al escarpe.

- DESLIZAMIENTO D-2:

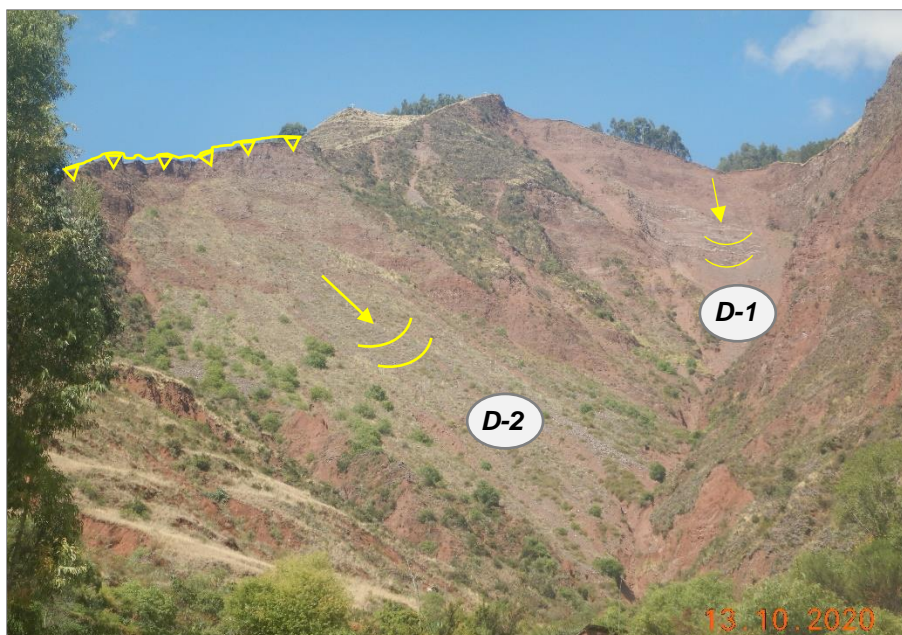
En la margen derecha de la quebrada Hatunhuayco se observó la reactivación de un deslizamiento con escarpa de forma semicircular, con 150 m de longitud. En la parte central del escarpe se observó 1 m de salto (figura 10). En su cuerpo se evidenció bastante material suelto disponible (conformado por bloques, arenas y lutitas), el cual podría ceder cuesta abajo y represar el cauce de la quebrada, su posterior desembalse podría generar flujo de detritos (huaico), esto afectaría directamente a la población asentada en la parte baja. Cabe mencionar que la zona tiene antecedentes de huaicos antiguos.

Por lo observado en las imágenes satelitales se puede indicar que, el deslizamiento D-2 de la quebrada Hatunhuayco, se mantuvo en un estado de latencia (periodo considerado entre la imagen del año 2011 hasta el año 2020 cuando se reactivó), con eventuales caídas de clastos y rocas que no involucraban grandes volúmenes de material.

#### 4.2.2. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO 2

El deslizamiento D-2 tiene las siguientes características y dimensiones:

- Ancho promedio de la zona de arranque: 150 m
- Forma de la superficie de rotura: semicircular
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del deslizamiento: 295 m
- Área del deslizamiento: 20 46484.81 m<sup>2</sup>
- Presencia de hasta tres familias de fracturas



**Figura 10.** Deslizamiento rotacional reactivado, con escarpe de forma semicircular y una longitud de 150 m.

### 4.3. Derrumbes

En la margen izquierda de la quebrada se observó derrumbes continuos y el trazo de un canal de drenaje revestido con 1 m de alto y 0.8 m de ancho, en la parte posterior a las zonas de arranque (figuras 11 y 12), el cual incrementó la estabilidad de la ladera. El canal drena las aguas que se acumulan en la parte posterior en temporada de lluvia.



**Figura 11.** Vista del canal de drenaje revestido (flechas amarillas), en la parte posterior a las zonas de arranque, en la margen izquierda de la quebrada Hatunhuayco.



**Figura 12.** Canal de drenaje con revestimiento, realizado en la parte posterior de la margen izquierda de la quebrada Hatunhuayco, el cual mantiene estable los derrumbes en esa zona.



#### 4.4. Erosión de ladera

En la margen derecha de la quebrada hay mayor desarrollo de procesos por erosión de ladera en cárcavas. La zona de cárcavamiento más activo, de prolongación noroeste - sureste, presenta un área de 4126.35 m<sup>2</sup>, el flujo de agua efímero desemboca en el cauce de la quebrada Hatunhuayco (figura 13).

Trabajos en campo permitieron caracterizarla como cárcava alargada de pendientes escarpadas. En su parte central presenta un ancho de 33 m y una profundidad de 45 m aproximadamente. Si bien la parte media y alta muestra signos de actividad, la parte baja, se halla cubierta por vegetación.

Es importante mencionar que, si las cárcavas no son controladas, pueden ser futuras zonas de deslizamiento o de producción de materiales para flujo de detritos (huaicos).



**Figura 13.** Vista al suroeste de la quebrada Hatunhuayco, con presencia de procesos de erosión de ladera en cárcavas (delimitado en líneas verdes), en la margen derecha de la quebrada referida.

#### 4.5. Factores condicionantes

##### Factor litológico-estructural

- Alternancia de rocas de diferente competencia, el cual permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originado inestabilidad en el talud.
- Substrato rocoso muy fracturado y con intensa meteorización, debido a la presencia del anticlinal de Saylla.
- Suelos inconsolidados (depósitos coluviales), de fácil erosión - remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

- Incidencia de la falla geológica sobre el distrito de Saylla, correspondiente al sistema de fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani.

#### Factor geomorfológico

- La morfología de la quebrada Hatunhuayco, cuyas laderas de pendientes escarpadas varían de 20°-70°, lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.

#### Factor hidrológico - hidrogeológico

- Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas que circunscriben la quebrada Hatunhuayco.
- Presencia de agua subterránea, los cuales saturan el terreno. La circulación del agua está ligado a las características estructurales del macizo rocoso (fallas y fracturas) y a los depósitos superficiales que los cubren.

#### Otros factores antrópicos

- Uso inadecuado del sistema de riego.
- Existencia de un canal de drenaje sin revestimiento, ubicado en forma transversal al escarpe del deslizamiento D-1, con el tiempo el agua de lluvia infiltrará a lo largo del canal, ello contribuirá con las futuras reactivaciones del deslizamiento.

#### 4.6. Factores desencadenantes

- Según la clasificación climática de Koppen y Geiger, el distrito de Saylla presenta un clima Templado con Invierno Seco, con temperatura media anual de 12.3°C. La precipitación promedio anual es de 596 mm.

El factor desencadenante para la reactivación del deslizamiento, fueron las lluvias intensas registradas en el mes de enero (cuadro 3).

**Cuadro 3.** Registro de precipitaciones pluviales, en el mes de enero

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
2020-01-01	22.6	8.2	71.9	5.1
2020-01-02	17.4	9.5	90.1	0.7
2020-01-03	21	9.4	76.1	26.7
2020-01-04	19.2	8.7	76.0	24.5
2020-01-05	20.5	7.2	77.4	14.5
2020-01-06	19.4	5.6	83.8	0.0
2020-01-07	22.5	4	72.5	0.0
2020-01-08	23.2	7.7	64.2	0.0
2020-01-09	20	8	79.7	18.8
2020-01-10	19.2	3.5	79.3	0.0
2020-01-11	16.8	5.5	80.2	0.0
2020-01-12	20.4	6.2	71.8	0.0
2020-01-13	21.6	4.8	72.9	0.0

Fuente: SENAMHI

## 5. CONCLUSIONES

- a) En la quebrada Hatunhuayco se identificaron deslizamientos, derrumbes y erosión de ladera en cárcavas, desarrollados sobre depósitos coluviales y rocas fuertemente fracturadas y meteorizadas, además de la pendiente empinada que circunscriben la quebrada referida.
- b) La activación o reactivación natural de deslizamientos pueden producir el represamiento de la quebrada Haunhuayco, el desembalse podría generar un flujo de detritos (huaico), esto afectaría a la población asentada en la parte baja, infraestructuras y tramos carreteros.
- c) El deslizamiento rotacional D-1 reactivado, presenta actividad retrogresiva, muestra de ello es la existencia de agrietamientos longitudinales en la zona posterior al escarpe.
- d) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta la quebrada Hatunhuayco, es considerado como zona de peligro **Muy Alto** a movimientos en masa.
- e) Los peligros por movimientos en masa están condicionados por los siguientes factores:
  - Material de fácil erosión - remoción (depósito coluvial principalmente), conformado por bloques subangulosos, inmersos en matriz areno-limosa.
  - Substratos rocosos fuertemente fracturados y con intensa meteorización; lo que permite mayor infiltración y retención de agua en su cuerpo.
  - Laderas con pendientes empinadas (20° a 70°), lo que facilita el escurrimiento de agua.
  - Presencia de agua subterránea y acción de las aguas de escorrentía.

El factor desencadenante para la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes son las lluvias intensas, que se registran entre los meses de noviembre a marzo.

## 6. RECOMENDACIONES

### A corto plazo:

- a) Se recomienda alertar a la población sobre el peligro latente que representan los derrumbes, erosión de laderas en cárcavas y reactivación de deslizamientos en la quebrada Hatunhuayco.
- b) Realizar un monitoreo visual y constante sobre el estado de avance y el crecimiento de apertura de los agrietamientos ubicados en la parte posterior al escarpe del deslizamiento D-1.
- c) Prohibir y/o evitar el paso peatonal el pie de los deslizamientos ubicados en la margen derecha de la quebrada Hatunhuayco.

### A largo plazo:

- a) Implementar sistemas de drenaje superficial y subdrenaje en la quebrada Hatunhuayco, especialmente en los alrededores de los deslizamientos D1 y D-2, mediante zanjas de coronación y subdrenes. El sistema de recolección de aguas superficiales debe interceptar y conducir adecuadamente las aguas de lluvia y evitar su paso por el talud; mientras, el subdrenaje reducirá las presiones intersticiales.
- b) Revestir el canal de drenaje, ubicado de forma transversal al escarpe del deslizamiento D-1.
- c) Sellar los agrietamientos longitudinales ubicados en la parte posterior a los deslizamientos D1 y D2, con materiales impermeables, para evitar mayor infiltración de agua de lluvia al terreno.
- d) Realizar un tratamiento integral en las zonas de carcavamientos.
- e) Reforestar las laderas desprovistas de vegetación.



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

- Carlotto, V., Cárdenas, J. y Carlier, G. (2011) - Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p., 6 mapas.
- Carlotto, V., Cárdenas, J., Valderrama, P., fidel, L. (2008) – Geología, geodinámica y estabilidad de taludes de la quebrada Chingo Grande. INGEMMET. Informe técnico: 51, 7p.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- González, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C., eds. (2002) - Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, 732 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 3. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 28, 373 p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2020) – SENAMHI. (consulta: 03 de enero 2020). <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.
- Shruthi, R. B. V., Kerle, N., & Jetten, V. G. (2011) - Object - based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. *Geomorphology*, 134(3-4), 260-268. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.07.003.
- Suárez, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.
- Vílchez, M. & Sosa, N. (2015) – Zonas críticas por peligros geológicos en la región Cusco. Informe técnico geología ambiental. INGEMMET, 100 p.
- Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 155 p.

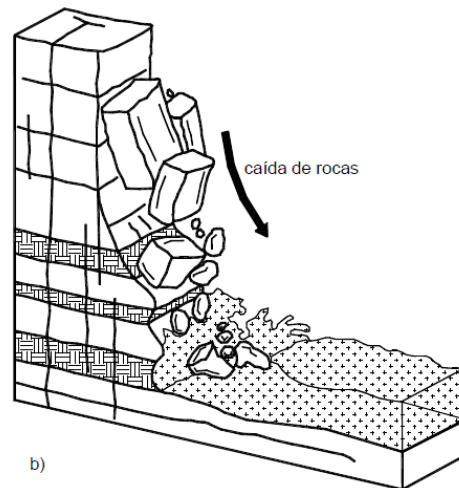
## ANEXO 1: GLOSARIO

En el presente Glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

**AGRIETAMIENTO** (cracking) Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

**CORONA** (crown) Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

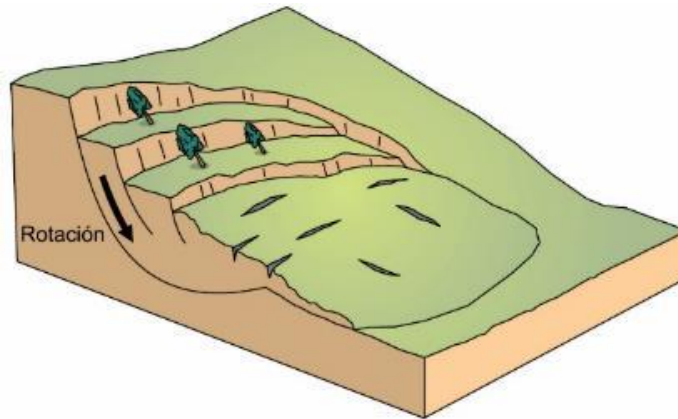
**CAIDA** (landslide) Término común para referirse a diversos tipos de movimientos en masa, particularmente caídas y deslizamientos. En Perú se utiliza este término para diferenciar un tipo de caída. La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable (figura 14). Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  m/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.



**Figura 14.** Esquema de caída de rocas. Fuente Suárez (1998).

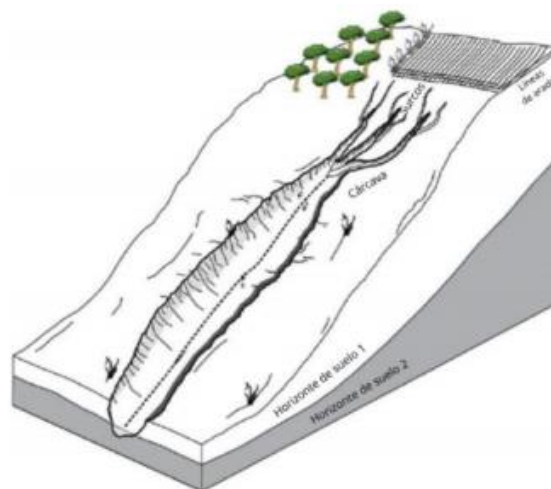
**DESLIZAMIENTO** (slide) Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra (figura 15), hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

Los desplazamientos en masa se dividen en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y el tipo de estabilización que se va a emplear (Suarez J., 2009).



**Figura 15.** Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, 2007)

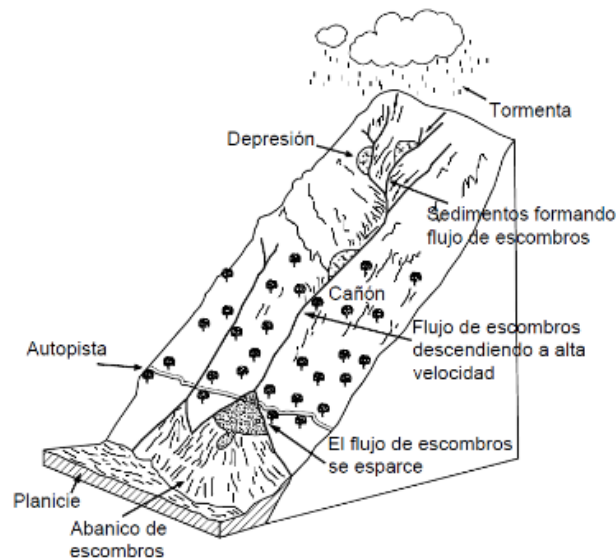
**EROSIÓN DE LADERA** Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. 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 (figura 16); 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 (Duque et al, 2016).



**Figura 16.** Esquema de la formación de cárcavas originadas por profundización en surcos. Tomado y modificado de (Shruthi et al., 2011).

**ESCARPE** (scarp) sin.: escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

**FLUJOS** 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. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes 1978). Según el tipo de material y mecanismo de velocidad de desplazamiento y ocurrencia, se pueden identificar flujos de detritos, de lodo y aluviones (figura 17).



**Figura 17.** Esquema de un flujo de detritos (huaico). Fuente: Suárez J, 2009.

**FRACTURA** (crack) Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

**METEORIZACIÓN** (weathering) Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

**MOVIMIENTO EN MASA** (mass movement, landslide) sin.: 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 ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).



## ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

### A. CORRECCIÓN POR DRENAJE

Unas de las técnicas más efectivas para la estabilización de laderas y taludes es el control de las aguas superficiales y subterráneas (cuadro 4). Su objetivo es controlar el agua y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. El drenaje y el subdrenaje generalmente son poco costosos y muy efectivos como medidas de prevención de los movimientos.

**Cuadro 4.** Métodos de drenaje y subdrenaje

Método	Ventajas	Desventajas
<b>Canales superficiales para el control de escorrentía</b>	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y la disipación de energía.
<b>Subdrenes de zanja</b>	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos, en suelos saturados subsuperficialmente.	Poco efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos o los deslizamientos con nivel freático profundo
<b>Subdrenes horizontales de penetración</b>	Muy efectivos para interceptar y controlar las aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
<b>Galerías o túneles de subdrenaje</b>	Efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos en las formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos y complejos de construir
<b>Pozos profundos de subdrenaje</b>	Útiles en los deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para las excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Fuente: Suárez, 1996.

Los sistemas más comunes para el control del agua son: •

- Zanjas de coronación o canales colectores drenaje superficial).
- Subdrenes de zanja o subdrenes interceptores. •
- Subdrenes horizontales o de penetración

**Drenaje superficial:** El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

Tipos de obra de drenaje superficial

- a. **Canales para redireccionar el agua de escorrentía:** Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.
- b. **Zanjas de corona.** 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.
- c. **Diques en la corona del talud.** Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.
- d. **Drenes Franceses.** Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.
- e. **Trinchos o Cortacorrientes.** Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.
- f. **Torrenteras.** Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.
- g. **Sellado de grietas con arcilla o mortero.** El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.
- h. **Canales colectores en 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. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la nuevamente la infiltración del agua

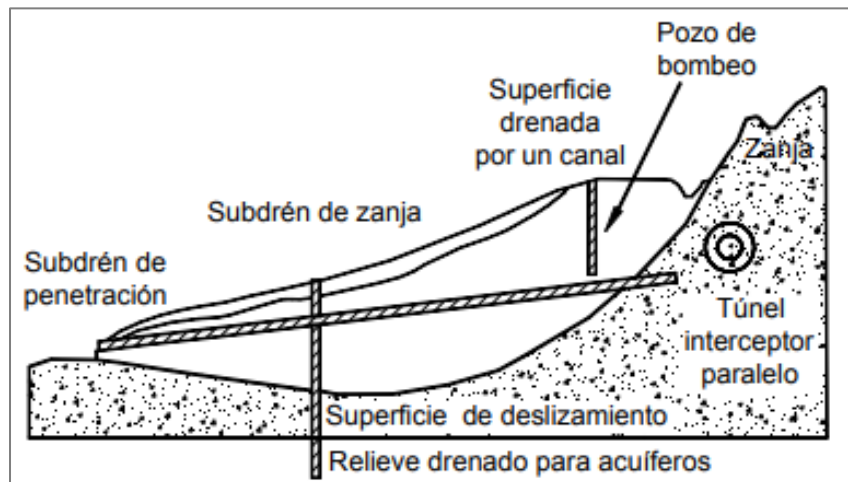
No se recomienda en problemas de taludes, la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, con lo cual se generan problemas de infiltración masiva concentrada.

**Subdrenaje:** Las técnicas de drenaje subterráneo o subdrenaje son uno de los métodos más efectivos para la estabilización de los deslizamientos. El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten (figuras 18 y 19). A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor. El diseño de los sistemas de subdrenaje es complejo debido a que la mayoría de los taludes no son homogéneos desde el punto de vista del drenaje subterráneo y es muy difícil aplicar principios sencillos

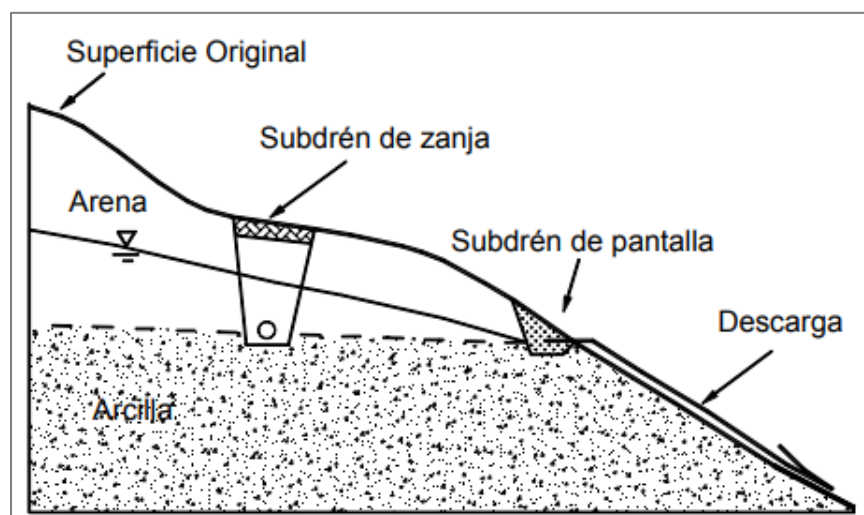
en el diseño de obras de subdrenaje. El movimiento de las aguas en los taludes por lo general, es irregular y complejo.

Elementos para tener en cuenta en el análisis de los sistemas de subdrenaje:

- Falta de continuidad de los mantos o sectores permeables.
- Cantidad de agua recolectada.
- Poco efecto del subdrenaje en el factor de seguridad.
- Poco efecto del subdrenaje cuando el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie de falla.
- Asentamientos en las áreas circunvecinas como efecto del subdrenaje.
- La rata de flujo para el diseño del sistema debe calcularse teniendo en cuenta la permeabilidad del suelo o la roca que se va a drenar.



**Figura 18.** Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).



**Figura 19.** Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).