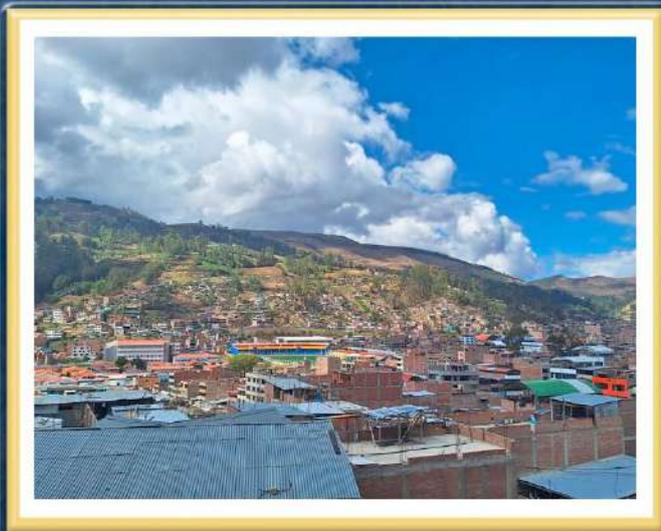


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7521**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR SOL DE ORO

Departamento: Apurímac  
Provincia: Andahuaylas  
Distrito: Andahuaylas



OCTUBRE  
2024

## EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS EN EL SECTOR SOL DE ORO

*(Distrito Andahuaylas, provincia de Andahuaylas, departamento Apurímac)*



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

*Equipo de investigación:*

*Richard Remy Huayta Pacco  
Guisela Choquenaira Garate*

### Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). Evaluación de peligros geológicos en el sector Sol de Oro, distrito Andahuaylas, provincia de Andahuaylas, departamento Apurímac. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7521, 48 p.

## INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
1.1. Objetivos del estudio .....	5
1.2. Alcances .....	5
1.3. Antecedentes y trabajos anteriores .....	6
1.4. Aspectos generales .....	6
1.5. Zonificación Sísmica .....	8
<b>2. DEFINICIONES .....</b>	<b>10</b>
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....</b>	<b>11</b>
3.1. Pendientes del terreno .....	11
3.2. Modelo digital de elevaciones (MDE).....	11
3.3. Unidades geomorfológicas.....	12
<b>4. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>15</b>
4.1. Unidades Litoestratigráficas .....	15
4.2. Unidad Ocobamba.....	17
4.3. Depósitos superficiales .....	17
4.3.1. Depósito coluvial (Qh-co) .....	18
4.3.2. Depósito aluvial (Qh-a): .....	18
<b>5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>20</b>
5.1 Derrumbe Jr. Tupac Amaru – Activo.....	20
5.2 Derrumbe de la I.E. Juan Espinoza – Activo .....	23
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>26</b>
<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>28</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>29</b>
<b>ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXO 3: CALICATAS EXTRAIDAS DE "CREACIÓN DEL SERVICIO DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL SECTOR PROLONGACIÓN JR. TUPAC AMARU DEL DISTRITO DE ANDAHUAYLAS, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS-APURÍMAC" .....</b>	<b>41</b>

## RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos en el sector Sol de Oro, perteneciente a la jurisdicción distrital y provincia de Andahuaylas, departamento Apurímac. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos, para los tres niveles de gobierno.

Las unidades litológicas en el área evaluada se componen principalmente por limo–arcillitas, lutitas rojas, areniscas muy fracturadas y calizas masivas. Hacia la base, se tienen afloramientos de cuarzdioritas que esta moderadamente a muy meteorizada y fracturada. Parte de estos afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos cuaternarios de estructura masiva y textura limo-arenosa, inconsolidados. Estas, presentan malas características geotécnicas y se consideran poco competentes, susceptibles a la generación de movimientos en masa.

Las unidades geomorfológicas identificadas son: colinas estructurales en rocas sedimentarias, intrusivas y volcánicos; junto a vertientes coluviales, depósitos coluviales y una terraza antropizada. Se considera que el actual relieve de la zona está modelado sobre colinas de cimas subredondeadas y alargadas, vertientes coluviales y sobre la cual se encuentra el sector Sol de Oro con pendientes de suaves a muy fuertes (5° y 45°), lo que condiciona la ocurrencia de derrumbes y/o deslizamientos.

En el sector Sol de Oro, se identificaron movimientos en masa de tipo derrumbes principalmente, eventos que afectaron el Jr. Tupac Amaru y la I.E. Juan Espinoza, además de la posibilidad de afectación a vías vecinales con un área de más de 11000 m<sup>2</sup>. Así mismo se pudo evidenciar la socavación de estas laderas por acción antropogénicas.

Por las condiciones geológicas (tipo de rocas y suelos), configuración geomorfológica (terrenos con pendiente moderada a muy fuerte), caracterización ingeniero geológica, así como la presencia de movimientos en masa y procesos geohidrológicos; el sector Sol de Oro se considera con **Peligro Alto**. Estos movimientos en masa pueden ser detonados por lluvias intensas y/o prolongadas, movimientos sísmicos, actividad antrópica: filtraciones de agua al subsuelo por la actividad agrícola y/o mal estado del alcantarillado.

Se recomienda realizar una prospección geofísica para descartar la presencia de cavidades en los materiales cuaternarios, implementar sistemas de monitorio en los derrumbes activos y desarrollar un estudio de estabilidad de taludes. Por último, se recomienda consultar con el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID, para el análisis de las construcciones realizadas.

Finalmente, se hace énfasis en las recomendaciones, considerar su importancia y tenerlas en cuenta para la toma de decisión, así como realizar trabajos de sensibilización a los pobladores en temas de peligros geológicos y gestión de riesgo a fin de minimizar las ocurrencias y daños que pueden ocasionar los procesos identificados. Realizar la EVAR correspondiente.

## 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 “Servicio de Asistencia Técnica en la Evaluación de Peligros Geológicos a nivel Nacional (ACT11)”, 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 Andahuaylas, según oficio N°0514-2023-MPA-AMSH-A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Sol de Oro.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó al Mag. Richard Huayta e Ing. Guisela Choquenaira, realizar una evaluación técnica de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector.

Para la evaluación técnica se llevó a cabo la recopilación de información geológica y geomorfológica del INGEMMET, además de recopilar el testimonio de los habitantes, antecedentes, fotografías y datos del evento. Los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías terrestres y aéreas), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Provincial de Andahuaylas e instituciones técnico normativas del SINAGERD (INDECI y CENEPRED), a fin de proporcionar información técnica de la evaluación, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley N°29664 y con ello sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

### 1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que pueden afectar las viviendas del sector Sol de Oro.
- b) Determinar los factores condicionantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

### 1.2. Alcances

El informe permitirá conocer las características geológicas del macizo rocoso y depósitos cuaternarios sobre el cual se encuentra el sector Sol de Oro, así como sus implicancias en la generación de movimientos en masa que afecta las viviendas; para lo cual se desarrolla las siguientes evaluaciones:

### 1.2.1. Investigaciones básicas

- Caracterización e identificación de los peligros geológicos que afectan las viviendas al sector Sol de Oro, así mismo caracterizar la masa rocosa y depósitos cuaternarios involucrados, en base a un mapeo detallado.
- Evaluación de los factores detonantes que influyen sobre la estabilidad de la infraestructura de las viviendas (precipitaciones pluviales, sismos, actividad antrópica, entre otros).

### 1.3. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel regional, se tiene la siguiente información:

- a) El boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la región Cusco (Vílchez et al., 2020) con el mapa de susceptibilidad regional a escala 1:250 000, es información de referencia que muestra niveles de susceptibilidad bajos en el área de estudio: sin embargo, la evaluación técnica permitió identificar el corte de la carretera Andahuaylas a José María Arguedas como un factor antrópico que modifica la susceptibilidad al nivel alto.
- b) La memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Andahuaylas (28-p), escala 1: 50 000 (Lipa V. et al. 2003), El boletín N°27. Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas (28 p), Abancay y Cotabambas (Morocco R. 1975) describen unidades geológicas que representan el área de estudio.
- c) Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el Cerro Apu Huayhuaca, distrito Andahuaylas, provincia Andahuaylas, departamento Apurímac. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7328, 40 p. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Describen los peligros geológicos en la margen derecha del río Chumbao, en específico en el Cerro Apu Huayhuaca.
- d) Informe Técnico estudio de mecánica de suelos, Proyecto: “Creación del servicio de prevención y reducción del riesgo en el sector prolongación Jr. Tupac Amaru del distrito de Andahuaylas, Provincia de Andahuaylas-Apurímac.” (INGEOLAB S.R.L., 2022); este documento solicitado por la MPA recopila propiedades físico-mecánicas de los materiales aledaños de la zona, para lo cual se realizaron 4 calicatas y ensayos de laboratorio a las muestras de suelos extraídas.

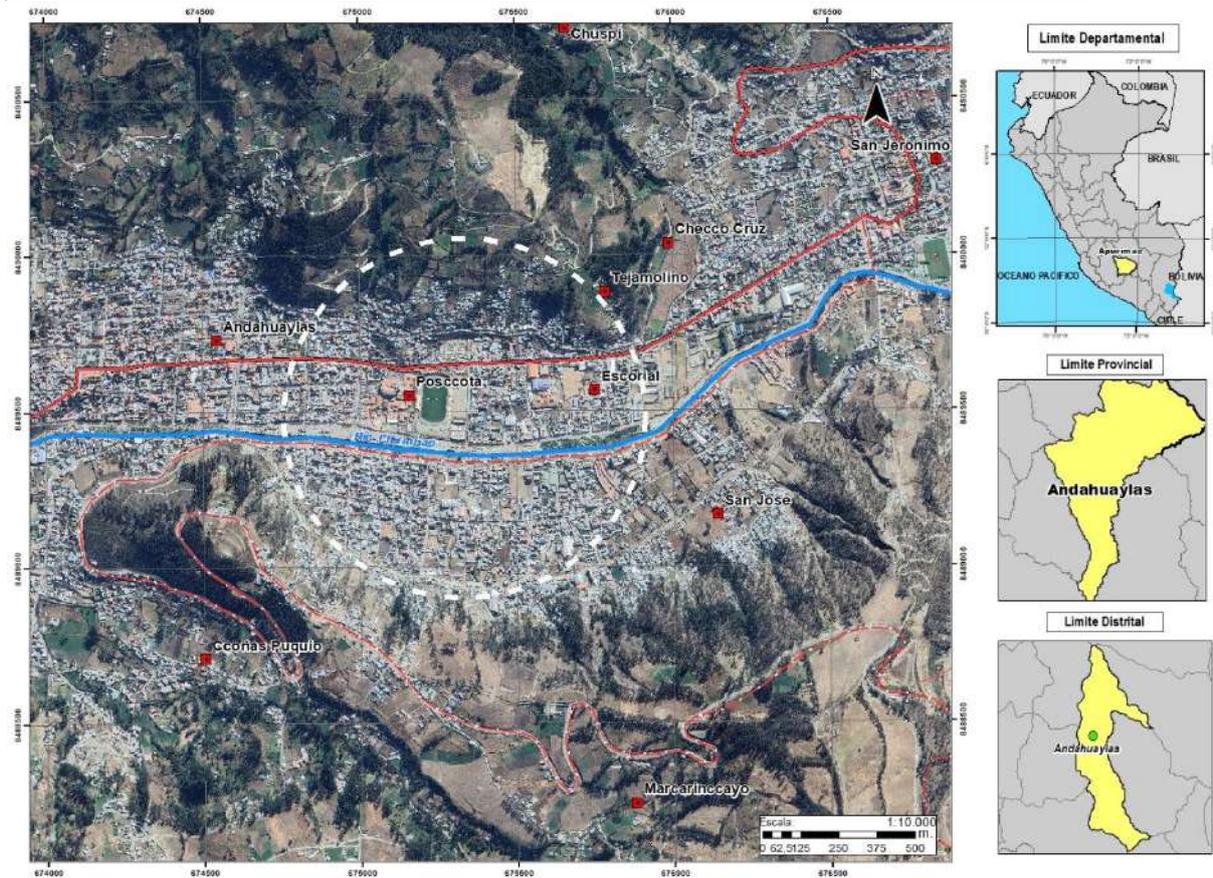
### 1.4. Aspectos generales

#### 1.4.1. Ubicación

El sector Sol de Oro, se ubica en la margen derecha del río Chumbao, frente al C.P. Andahuaylas. A sus faldas se ubican los centros poblados de Sol de Oro, Chumbao y Escorial. Políticamente, pertenece al distrito y provincia Andahuaylas, departamento de Apurímac (Figura 1). La zona de estudio se ubica en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 L) resumido en:

**Tabla 1.** Coordenadas del área evaluada.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18 L		Geográficas - WGS84	
	Este	Norte	Latitud (S/-)	Longitud (W/-)
1	675021	8489976	13°38'54.1"	73°22'54.9"
2	675782	8489900	13°38'56.4"	73°22'29.6"
3	675867	8489311	13°39'15.5"	73°22'26.6"
4	674860	8489336	13°39'14.9"	73°23'0.1"
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C	675340	8489783	12°50'33.59"	74°33'46.14"



**Figura 2.** Mapa de ubicación del área evaluada.

#### 1.4.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad de Lima (INGEMMET-Área evaluada), mediante la siguiente ruta (tabla 2):

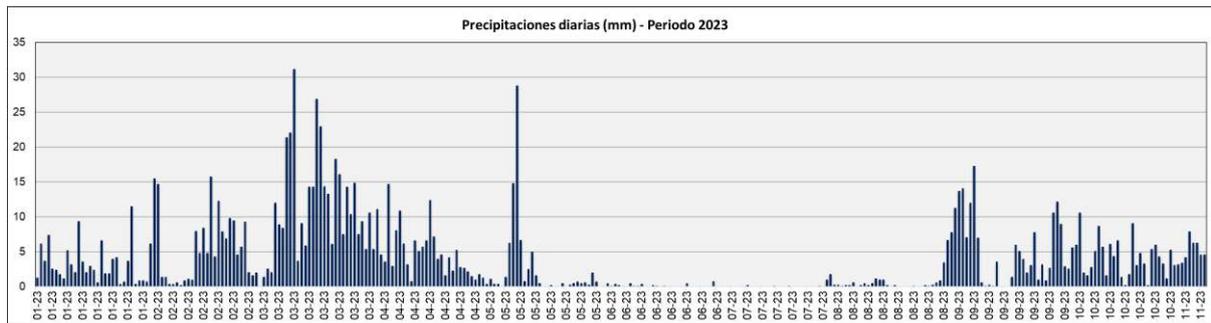
**Tabla 2.** Rutas y accesos al área evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Huaytará	Carretera asfaltada	427	8h 42 minutos
Huaytará - Ayacucho	Carretera asfaltada	220	4h 20 minutos
Ayacucho - Andahuaylas	Carretera asfaltada	235	5 horas

### 1.4.1. Clima

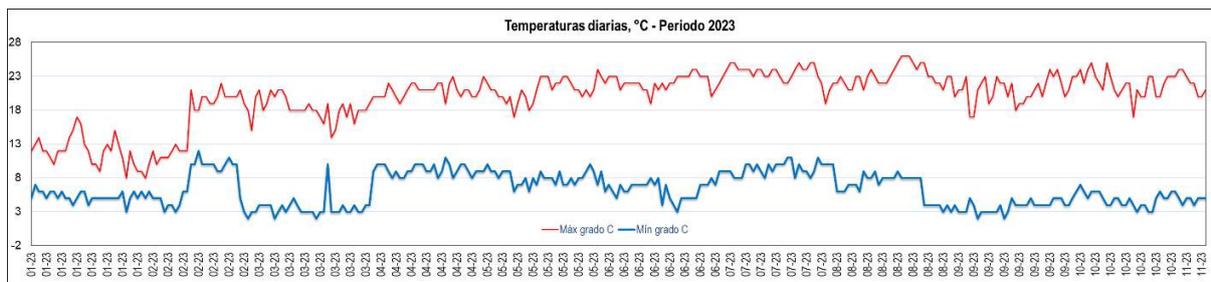
De acuerdo a la clasificación climática de SENAMHI, 2021, en Andahuaylas refiere el clima es semiseco con humedad en todas las estaciones del año y templado C(r)B'.

En cuanto a la cantidad de lluvia, según datos pluviométricos de la estación Andahuaylas (SENAMHI) en el periodo 2023, se presenta una precipitación máxima de hasta 31,2 mm (figura 3), notándose que las lluvias son muy escasas de entre junio y agosto, ocurriendo lluvias intensas entre los meses de febrero a mayo.



**Figura 3.** Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2023. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. **Fuente:** Estación SENAMHI.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 26°C en agosto y un mínimo de 2°C en febrero (figura 4), y una humedad promedio de 70.55% durante casi todo el año, (SENAMHI).



**Figura 4.** Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2013. La figura permite analizar a partir de datos históricos, la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. **Fuente:** Estación SENAMHI.

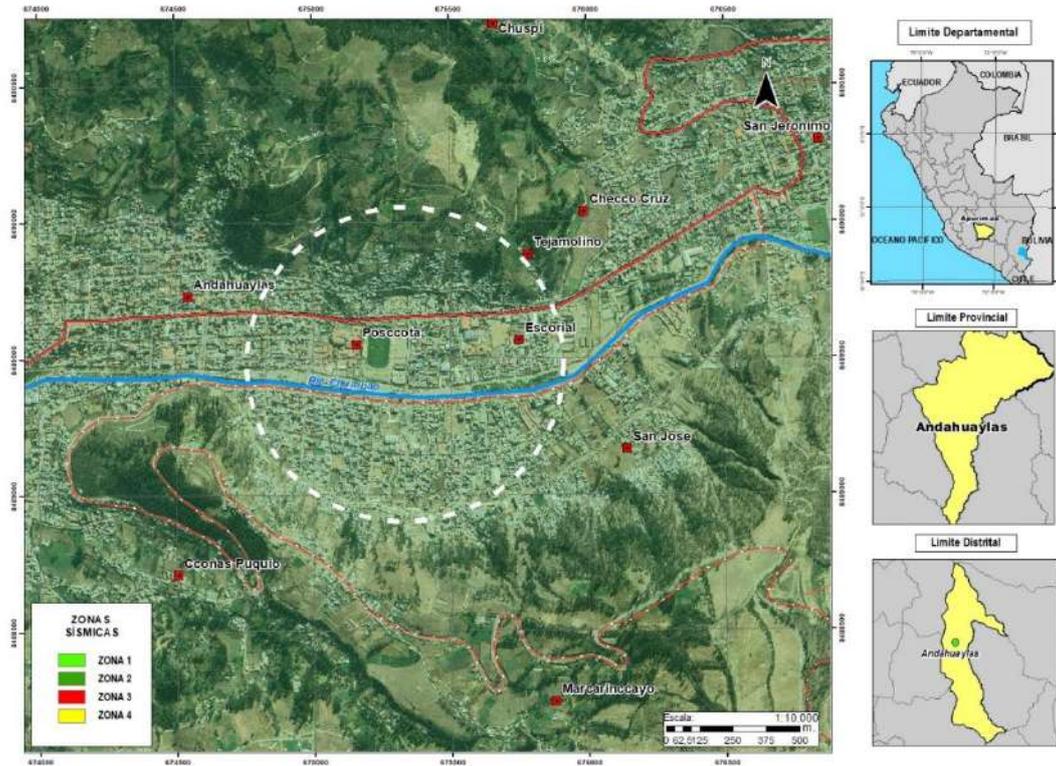
### 1.5. Zonificación Sísmica

El territorio nacional se encuentra dividido en cuatro zonas, a cada zona se le asigna un factor Z según se indica en la tabla 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).

**Tabla 3.** Factores de zona Z. Norma E-030

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Tomando como referencia este documento, Andahuaylas se ubica en la “Zona 2”(sismicidad moderada), determinándose aceleraciones de 0.25 g. (ver Figura 5).



**Figura 5.** Superposición de zona sísmica nacional sobre el área de estudio, Zona 2 (0.25 m/s<sup>2</sup>).

## 2. DEFINICIONES

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

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

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

**COLUVIAL** Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interestratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

**DERRUMBE:** Desplome de una masa de roca, suelo o ambos por gravedad, sin presentar una superficie o plano definido de ruptura, y más bien una zona irregular. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

**DESLIZAMIENTO** Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

**ESCARPE** 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.

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

**SUSCEPTIBILIDAD:** La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos.

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### 3.1. Pendientes del terreno

La pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa; ya que actúa como uno de los factores condicionantes y dinámico en la generación de movimientos en masa.

Se consideraron seis rangos de pendientes que van de 0°-1° considerados como muy baja; 1° a 5° baja; 5° a 15° pendiente media; 15° a 25° pendiente fuerte; 25° a 45° pendiente muy fuerte; finalmente, mayor a 45° terreno abrupto.

En la figura 6, se muestra el mapa de pendientes del actual relieve del sector Sol de Oro, elaborado en base al modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución, obtenido del Alos Palsar; donde se muestra que el sector Sol de Oro se encuentra en pendientes media (5°-15°), con un cambio de pendiente fuerte (15°-25°) en la ladera suroeste, lo que condicionó la ocurrencia de movimientos en masa.

#### 3.2. Modelo digital de elevaciones (MDE)

El mapa de pendientes del área de estudio, clasificados en seis niveles según los grados de pendiente, con la finalidad de visualizar la extensión con respecto a la diferencia de elevaciones.

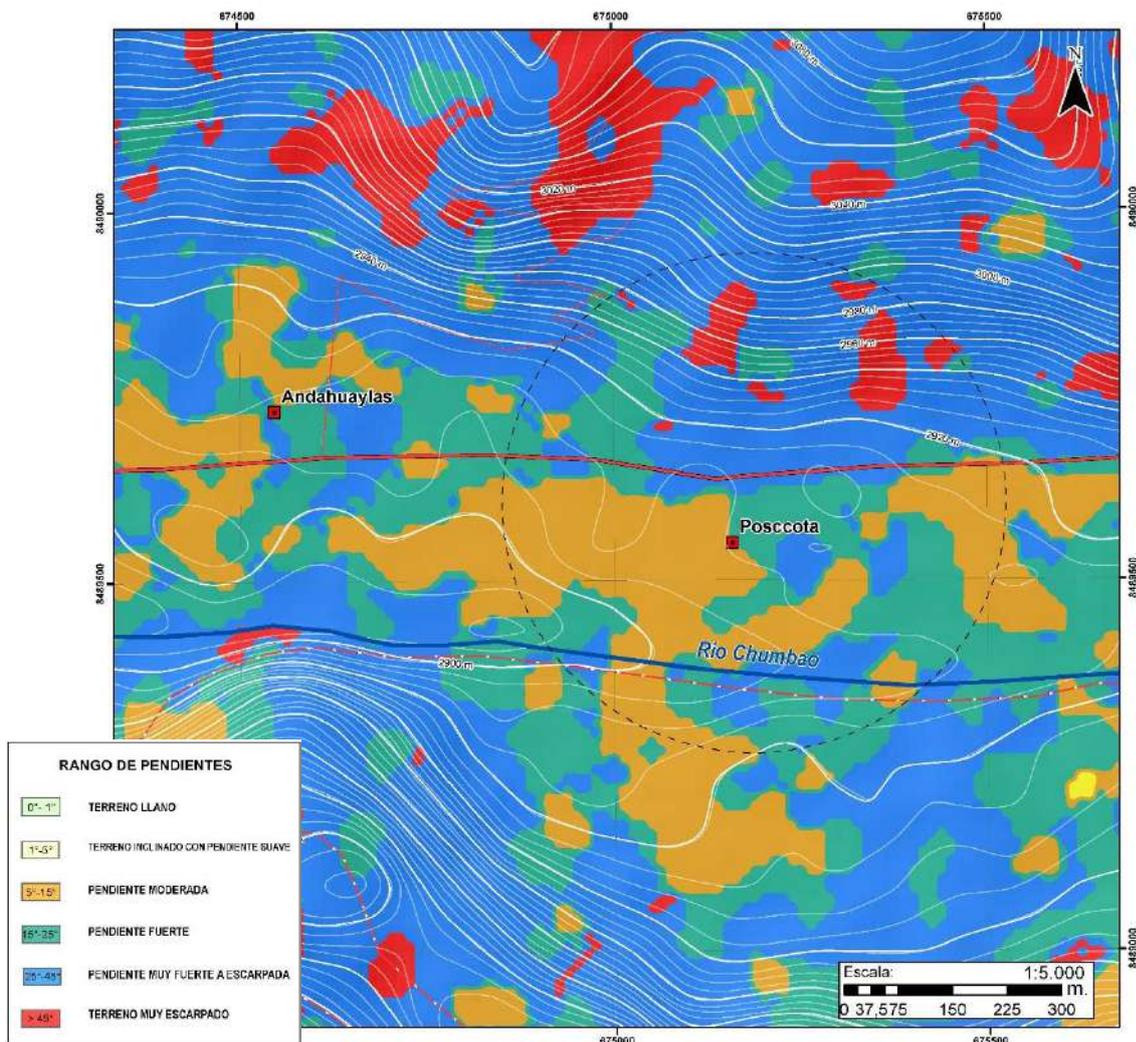


Figura 6. Mapa de pendientes del sector Sol de Oro. (ver Anexo 1 - Mapa 2).

### 3.3. Unidades geomorfológicas

El mapa geomorfológico a escala 1:500 000 del INGEMMET, la fotorinterpretación de imágenes satelitales y fotografías, permitieron cartografiar morfológicamente el Sector Sol de Oro en geformas de carácter tectónico degradacional y erosional (colinas en roca sedimentaria e intrusiva) y geformas de carácter deposicional (vertiente aluvial y coluvial). (ver Anexo 1 - Mapa 3).

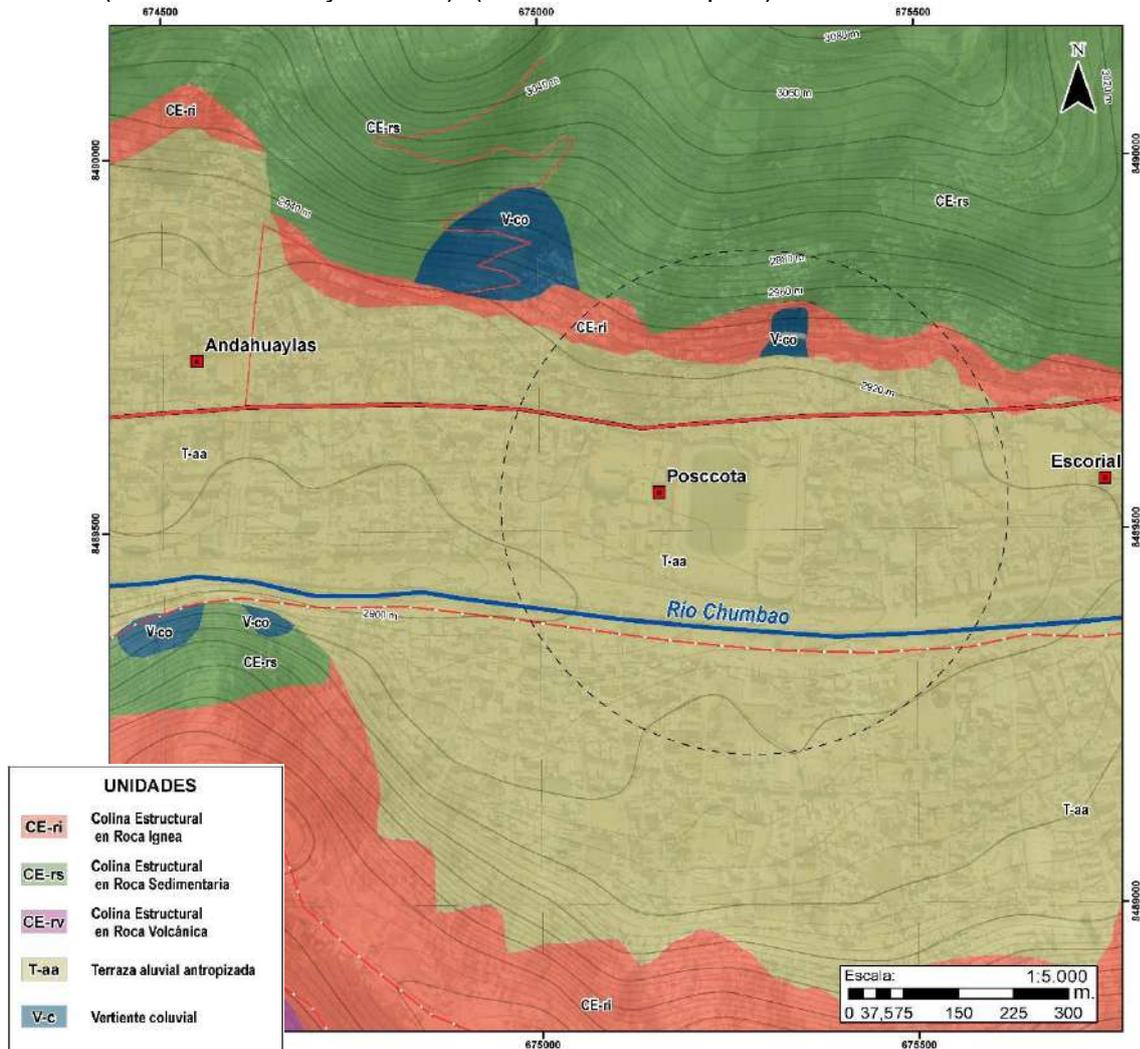


Figura 7. Mapa geomorfológico del sector Sol de Oro. (ver Anexo 1 - Mapa 3).

#### 3.3.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por geformas montañosas con pendientes pronunciadas. La erosión y degradación de su afloramiento en la parte alta originan geformas de carácter deposicional, por transporte arrastre y acumulación de sedimentos.

**Colina Estructural en roca sedimentaria (CE-rs):** Una colina se caracteriza porque no supera los 300 m desde su base. Estas colinas han sido levantadas por la actividad tectónica y su morfología actual depende de procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia-escorrentía y el agua de subsuelo, con fuerte incidencia de la gravedad. En estas colinas 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, sin que lleguen a constituir cadenas montañosas.



**Figura 8.** Vista de división de colinas en roca sedimentaria, en roca ígnea, vertiente coluvial y terraza antropizada del sector Sol de Oro.

***Colina Estructural en roca intrusiva (CE-ri):*** modelada en roca intrusiva por estar geológicamente constituida por afloramientos cuarzodioríticos del Plutón Anchaca, cuyas pendientes son de media a muy fuerte inclinación ( $5^\circ$  a  $45^\circ$ ). Se consideran afloramientos de rocas intrusivas las cuales son cuarzodioritas del Plutón Anchaca, estos depósitos son afectados por procesos fluvio – erosionales por lo cual son susceptibles a ocurrencia de derrumbes, caídas de rocas o flujos secos entre otros. Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas en los; la red de drenaje es subdendrítica a subparalela.

Geodinámicamente, está asociada a la ocurrencia de flujos de detritos y deslizamientos que llegan a ser mega eventos, derrumbes y caída de rocas desde las cumbres y están modelados por actividad fluvial principalmente.

### **3.3.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional**

Estas geoformas son el resultado de varios procesos geomorfológicos, determinados por fuerzas de desplazamiento y factores extrínsecos móviles, como sismos, aguas pluviales y de escorrentía, quienes tienden a modificar la superficie de la tierra, mediante el desprendimiento de materiales sólidos en terrenos elevados producto de procesos denudativos en las colinas que bordean Andahuaylas, se han identificado vertientes coluviales, mientras que al pie se muestra una vertiente aluvial antropizada.

***Subunidad de vertiente coluvial (V-c):*** En nuestras áreas de estudio se tienen escarpes y laderas muy empinadas en las colinas que rodean Sol de Oro. Hay

escasa presencia de suelos y vegetación por la acumulación de fragmentos de roca (entre 50 y 80%) de variado tamaño (gravas a bloques), resultantes de la meteorización física por gelifracción o termofracción de los materiales que los constituyen. Estos fragmentos, deprendidos de los escarpes, se desplazan en caída libre o rodando cuesta abajo.

Los materiales coluviales acomodados al pie de laderas tienen un ángulo de reposo de 35° aproximadamente. Por otro lado, cuando los fragmentos presentan tamaños variados, estos se disponen en un patrón selectivo, con los bloques de mayor tamaño hacia la base debido a su mayor momento y a su facilidad para rodar. Los fragmentos más pequeños se ubican hacia el ápice del depósito (Vilchez, et al. 2020).

Estos depósitos se consideran inestables, ya que no existe cohesión entre sus fragmentos (figura 10). Por esta razón, es fácil que un sobrepeso (caída de nuevos bloques) produzca deslizamiento de parte de los materiales. Cuando el talud o vertiente de detritos es relativamente antiguo y el clima es propicio, se pueden desarrollar suelo y cobertura vegetal estabilizadora (Villota, 2005).

**Terraza aluvial antropizada (T-aa):** Conforman planicies habitadas y urbanizadas, se presentan ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de las colinas donde se desarrolla actualmente la ciudad de Andahuaylas. Están formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, que pueden formar abanicos debido al movimiento lateral-cíclico del curso de los ríos o quebradas que los originan. La pendiente de estos depósitos es de suave a moderada (1-15°) (Anexo 1: Mapa 3). Sobre estos abanicos se pueden depositar también materiales provenientes de flujos torrenciales, comúnmente conocidos como huaicos.



**Figura 10.** A. Vista desde la corona del talud. B. Vista de la vertiente coluvial y terraza antropizada.

#### 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Andahuaylas (28-p IV), escala 1: 50 000 (Lipa V. et al. 2003) y el boletín N°27. Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas (28-p), Abancay y Cotabambas (Morocco R. 1975), describen afloramientos rocosos de las colinas que rodean Andahuaylas (Formación Arcurquina y Plutón Anchaca de la Unidad Ocobamba) (Anexo – Mapa 1).

Mientras que, la descripción de depósitos superficiales no consolidados de origen coluvial y aluvial se da en base a fotointerpretación satelital e inspección en la zona de estudio. El mapa geológico, presentado en el mapa 1: Anexo 1.

##### 4.1. Unidades Litoestratigráficas

Existen múltiples unidades litoestratigráficas que aflora en la zona de estudio una de ellas son el Plutón de Anchaca, corresponde a los intrusivos de la Unidad Ocobamba, en contacto con las calizas de la Formación Arcurquina; también se tiene depósitos coluviales, que han sido acumulados recientemente por acción de la gravedad.

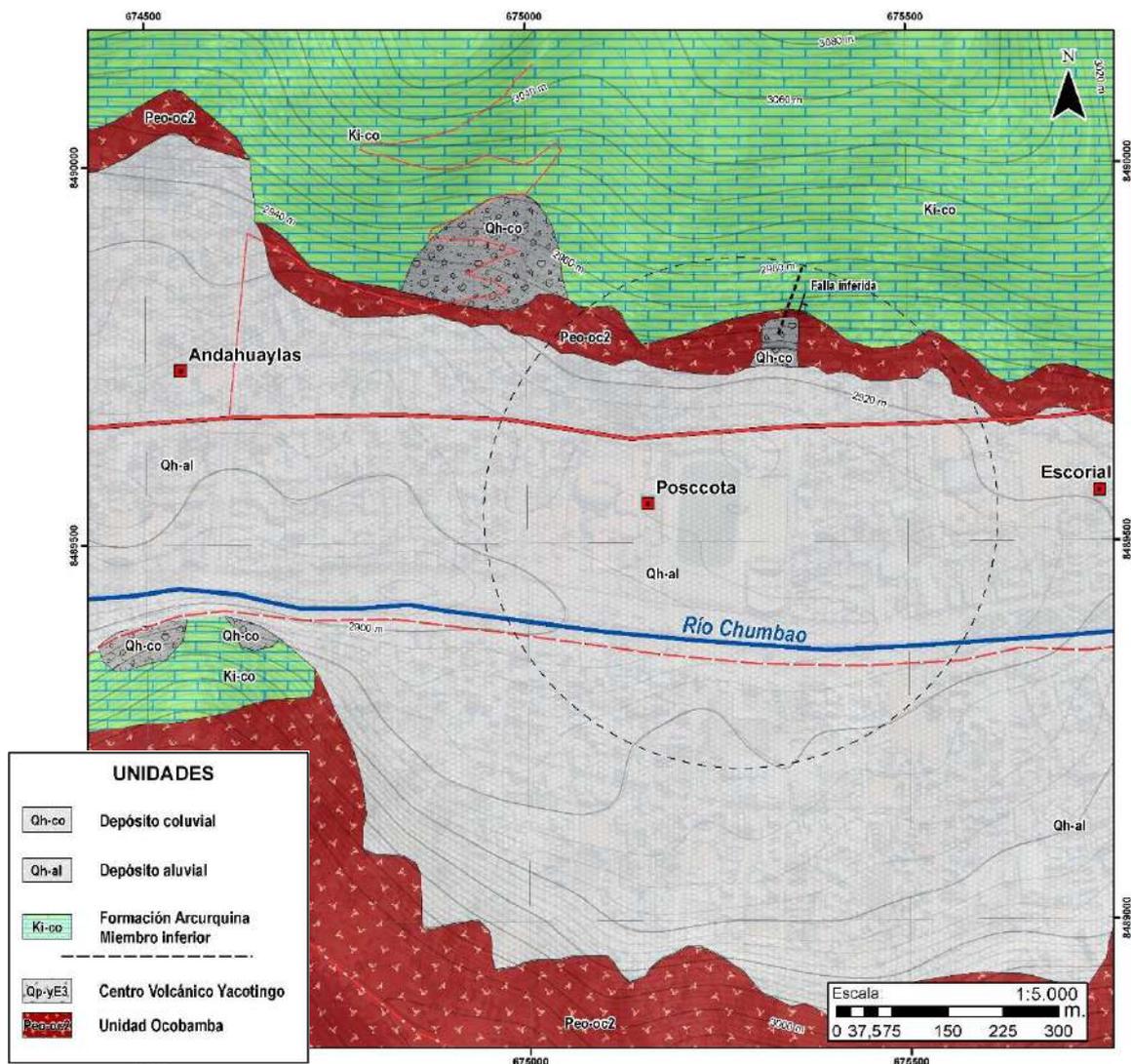


Figura 11. Mapa geológico del sector Sol de Oro. (ver Anexo 1 - Mapa 1).

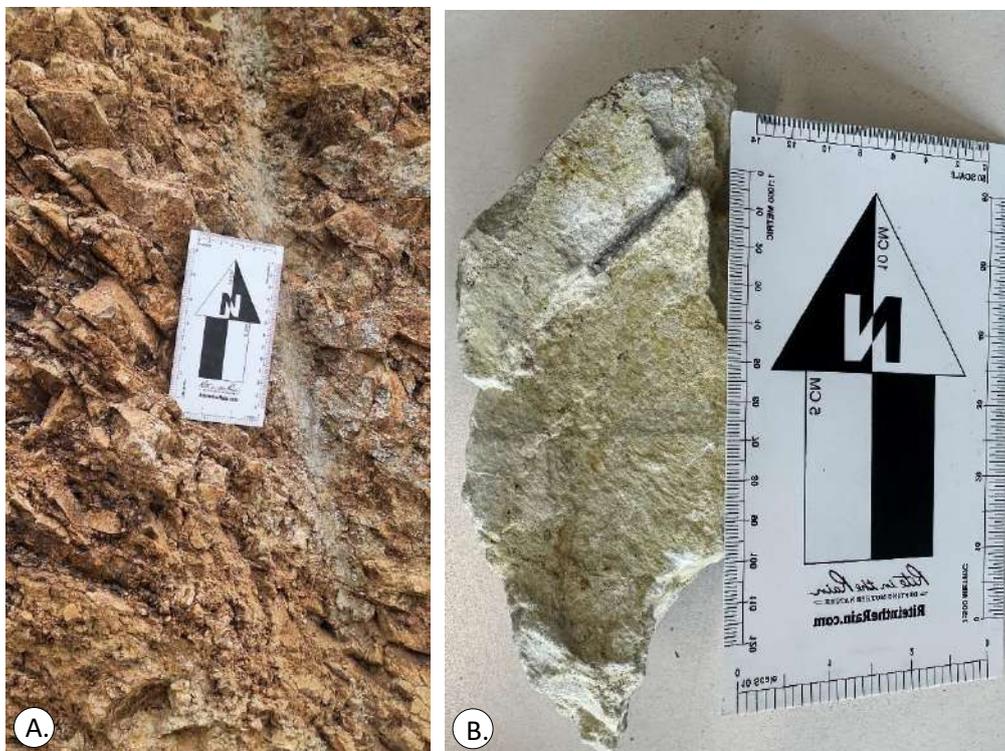
#### 4.1.1. Formación Arcurquina (Kis-ar-a):

Aflora el Miembro inferior a (Kis-ar-a), compuesto de calizas gris negras bien estratificadas; muy fracturadas y ligera a altamente meteorizadas, de estratos potentes, puede presentar nódulos calcáreos de diversas dimensiones y fósiles mal conservados. Sus mejores exposiciones reconocidas están al SO de la hoja de Andahuaylas, y en el cerro Apu Huayhuaca (ver Figura 12).

El grado de meteorización según la clasificación de la ISRM para esta litología corresponde ROCA METEORIZADA (III). De acuerdo a la resistencia, los índices de campo tipifican nuestro material como ROCA BLANDA ( $R_3$ ) a ROCA MODERADAMENTE DURA ( $R_4$ ), por lo cual podemos describir que al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas con un golpe fuerte del martillo, esto nos permite inferir que el rango de la resistencia a compresión simple del material comprende 50 MPa – 150 MPa.

#### 4.1.2. Formación Murco (Kis-ar-a):

Esta formación aflora en muy pocos puntos, al estar en el piso de la formación Arcurquina y tener presencia de intrusivos resultan escasos los afloramientos del mismo, sin embargo, en la zona de estudio se las reconoce por ser paquetes de areniscas y lutitas rojizas muy fracturadas. El grado de meteorización según la clasificación de la ISRM para esta litología corresponde ROCA COMPLETAMENTE METEORIZADA (V). De acuerdo a la resistencia, los índices de campo tipifican nuestro material como ROCA EXTREMADAMENTE BLANDA ( $R_1$ ), por lo cual podemos correlacionar según el rango de la resistencia a compresión simple del material aproximados entre 1 a 5 MPa.



**Figura 12.** A. Ventana de areniscas y lutitas rojas intensamente fracturadas correspondientes a la Fm. Murco. B. Extraído de la zona de estudio, caliza correspondiente a la Fm. Arcurquina.

## 4.2. Unidad Ocobamba

Esta unidad la componen los plutones de Anchaca, Maraypata y Jichsorrall que corresponden a cuarzodiorita, monzodiorita y diorita respectivamente.

**Plutón Anchaca (PN-oc-an):** Compuesto de cuarzodioritas muy fracturadas y altamente meteorizadas que abarcan una gran extensión dentro de la hoja de Andahuaylas, afloran extensamente en la parte este del cerro Apu Huayhuaca. En el sector Sol de Oro afloran en la base en contacto con un nivel muy delgado de la Formación Murco y gran parte con la Formación Arcurquina. Según sus estudios petrográficos, tienen altos contenidos de plagioclasas, mayores al 60%, cuarzo mayor a 5% y feldespatos potásicos mayor a 5%. Presentan un color gris claro ligeramente verdoso.

El grado de meteorización según la clasificación de la ISRM para esta litología corresponde ROCA METEORIZADA (III). De acuerdo a la resistencia, los índices de campo tipifican nuestro material como ROCA BLANDA (R<sub>3</sub>) a ROCA MODERADAMENTE DURA (R<sub>4</sub>), por lo cual podemos describir que al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas con un golpe fuerte del martillo, esto nos permite inferir que el rango de la resistencia a compresión simple del material comprende 50 MPa – 150 MPa.

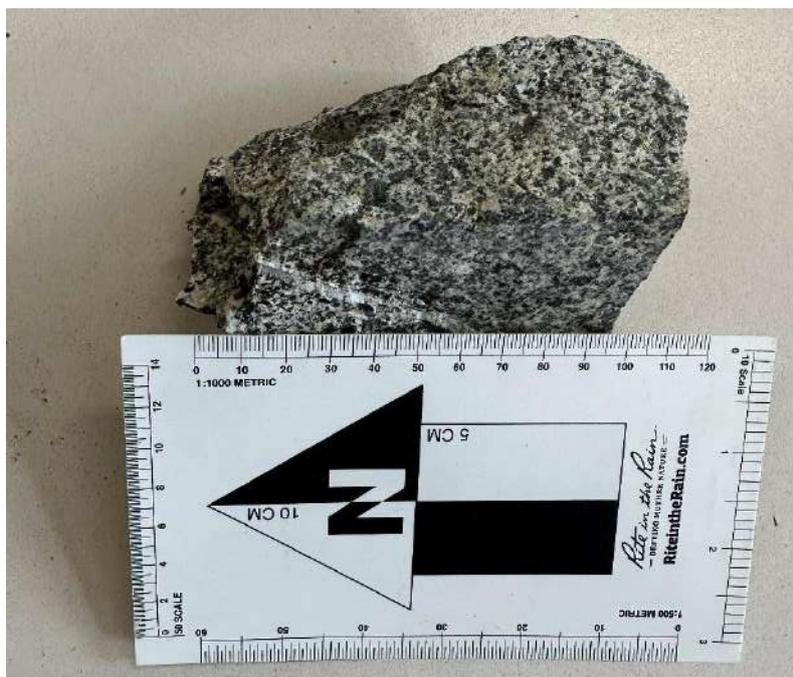


Figura 13. Muestra de cuarzodiorita meteorizada correspondiente a la ladera evaluada, (PN-oc-an).

## 4.3. Depósitos superficiales

Esta unidad está compuesta por materiales poco o nada coherentes, de extensión y grosor variables, de naturaleza litológica heterogénea, heterométricas, depositados desde el Pleistoceno al Cuaternario reciente, y agrupados en función de su génesis.

#### 4.3.1. Depósito coluvial (Qh-co)

Se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos, acumulados al pie de taludes empinados. Los bloques angulosos más gruesos (1 a 2 m) se depositan en la base y los bloques menores (5 cm a 50 cm) disminuyen gradualmente hacia el ápice. Son sueltos, sin cohesión y conforman taludes de reposo poco estables (Vilchez et al., 2020).

También se consideran depósitos coluviales a aquellos materiales que fueron movilizados por algunos tipos de movimientos en masa antiguos, recientes y/o reactivados. En el corte de carretera Jr. Tupac Amará, se han activado derrumbes, que son los principales agentes formadores de estos depósitos coluviales en el área de estudio (ver Figura 14).

#### 4.3.2. Depósito aluvial (Qh-a):

Están conformados por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz areno-limosa. Se puede apreciar en las márgenes del curso principal del río Chumbao y quebradas afluentes, formando parte de la llanura de inundación, así como de terrazas aluviales, actualmente gran parte de la terraza fue urbanizada. Su granulometría está compuesta por bloques (26%), gravas (20%), arenas (9%) y finos (limos con arcillas) (28%).



**Figura 14.** Exposición de múltiples depósitos sobre el Jr. Tupac Amaru.

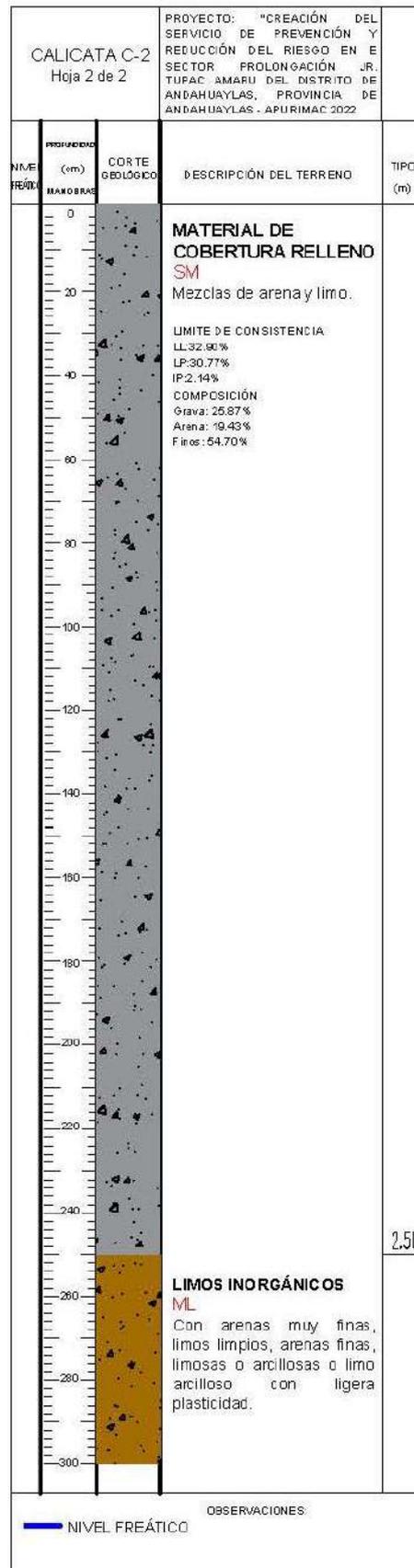
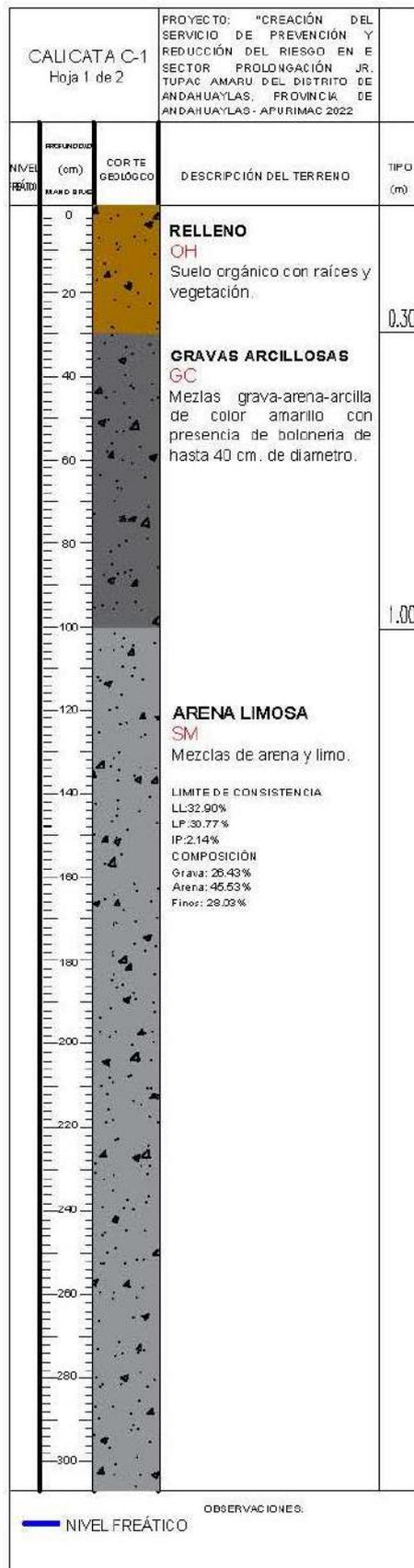


Figura 15. Columnas adaptadas de las calicatas hechas en la prolongación del Jr. Tupac Amaru. (ver Anexo 3).

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el sector Sol de Oro, corresponden a movimientos en masa, tipo: derrumbes – activos y flujos de detritos – inactivos latentes. (PMA: GCA, 2007).

Estos movimientos en masa ubicado en el Jr. Tupac Amaru, tienen como causas o condicionantes principalmente el corte de la carretera del Jirón Tupac Amaru, ello genera un espacio muy estrecho para edificar estructuras alrededor de 5 a 10 m, por lo cual los pobladores en su intento de modificar el relieve socavan la base y este sucumbe a un inminente colapso. Sumarle, además, el desnivel desde el Jirón Tupac Amaru hacia la base que son alrededor de 16 m, donde se presenta otros 2 derrumbes.

Asociar entonces la pendiente del terreno, tipos de rocas, tipos de suelos, drenaje superficial–subterráneo y acción antropogénica, permite la comprensión de la geodinámica. Se tiene como “**desencadenante**” la intervención con maquinaria que socavo la base del talud. Ladera arriba se evidencio infiltración de agua al terreno por la actividad agrícola, al ser rocas calcáreas esto puede permitir la percolación de agua a través de cavidades, hasta los niveles de contacto entre rocas sedimentarias y rocas intrusivas; con todos estos elementos asociados se desencadenan los peligros geológicos identificados en la zona inspeccionada y sus alrededores, estos se presentan en el Anexo 1: mapa 4.

La caracterización de los eventos geodinámicos, se realizó en base a la información obtenida en los trabajos de campo, en donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico. Se basa en la observación y descripción morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel de terreno y del levantamiento fotográfico con dron.

A continuación, se desarrollan las características de los siguientes peligros geológicos:

### 5.1 Derrumbe Jr. Tupac Amaru – Activo

El responsable de la oficina de Defensa Civil de la MPA, mencionó que en julio del 2023 se identificaron algunas grietas en esta zona que es un predio de la MPA, por lo cual decidieron clausurar la vía y unas escaleras (paso peatonal) construidas al costado del derrumbe. Al realizar el monitoreo de la ladera se encontraron que una maquinaria estaba limpiando el lugar, socavando la base de este con la intención de limpiar escombros que venía cayendo, esta acción al no ser reconocida por la MPA, solicitó el inmediato desalojo de la maquinaria y clausura definitiva de las vías.

Al perder resistencia en la base, días después, colapsó una porción de material entre suelos y rocas, y se depositaron en el Jr. Tupac Amaru, desde ese momento se intensificaron las labores de monitoreo, el derrumbe se encuentra **activo**, de seguir el movimiento afectaría a la población aledaña.

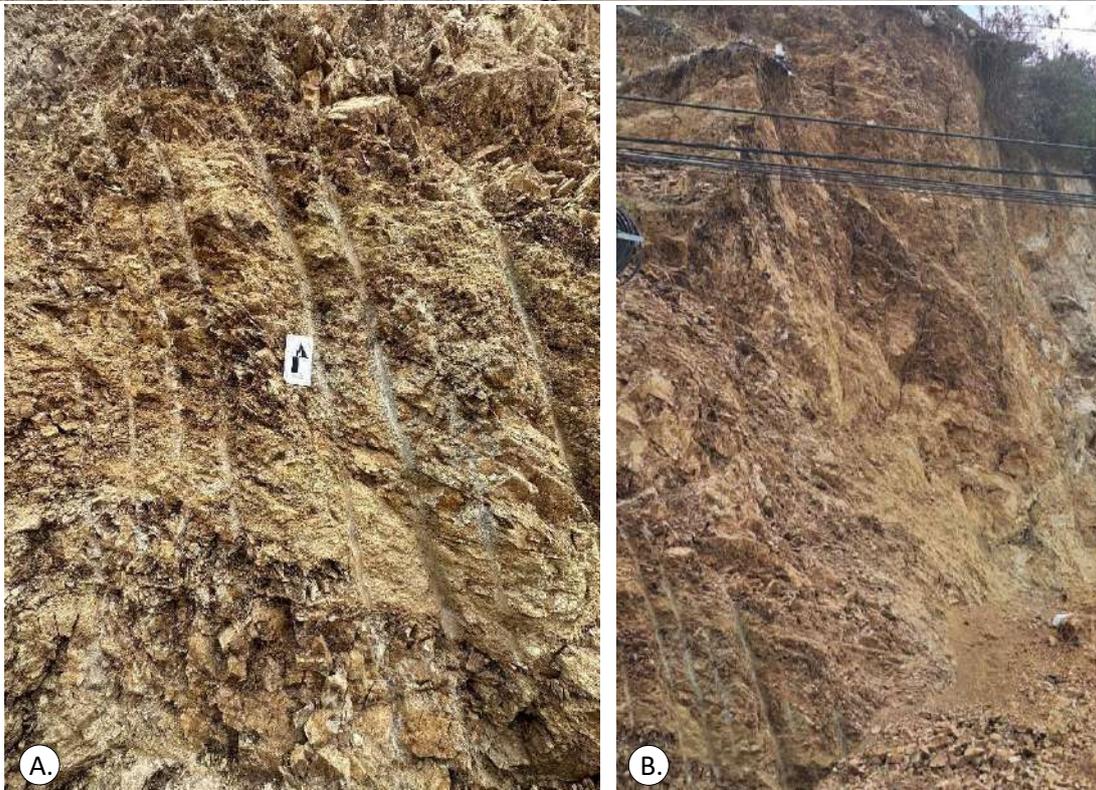
El corte de talud se realizó para la construcción de la I.E. Juan Espinoza.

El evento generó afectaciones en infraestructuras, que se detallan a continuación (Ver Tabla 6):

**Tabla 6.** Afectaciones generadas por los derrumbes

INFRAESTRUCTURA	COORDENADAS UTM-WG84			Afectación (m)
	NORTE	ESTE	COTA	
Jr. Tupac Amaru (Acumulación de material en la vía)	8489783	675340	2948 m.s.n.m.	1100 m <sup>2</sup>

**Figura 16.** Vista panorámica del derrumbe del Jr. Tupac Amaru.



**Figura 17.** A. Ventana donde se exponen las cicatrices que dejó en las rocas la maquinaria, además del intenso fracturamiento de las rocas. B. Derrumbe activo con alto peligro para los transeúntes.

### 5.1.1. Características visuales del evento

El derrumbe Jr. Tupac Amaru, presenta la siguientes características y dimensiones:

- Estado de la actividad del movimiento: Activo.
- Movimiento en masa de tipo: Derrumbe.
- Zona de arranque: continua.

### 5.1.2. Factores condicionantes

- Configuración geomorfológica del área (vertiente coluvial): En esta unidad se presencia movimientos en masa de tipo derrumbes.
- Geometría del terreno: Pendiente del terreno pronunciada, de fuerte ( $15^\circ$  a  $25^\circ$ ) a muy escarpada ( $25^\circ$  a  $45^\circ$ ). Las elevadas pendientes junto a zonas urbanas generan una alta susceptibilidad a ocurrencia de movimientos en masa.
- Litología: Conformada por suelo limo arenoso de una potencia de 3 m. en contacto con lutitas rojas, areniscas muy fracturadas, calizas y afloramientos de cuarzdioritas muy meteorizadas.

### 5.1.3. Factores detonantes

Agotamiento estructural: Al tener la base socavada del macizo rocoso, el material que se sostiene mantiene su estabilidad principalmente por la cohesión entre minerales y materiales que la conforman. Al tener una tensión que permanentemente incita el colapso, esta se reparte a todas las partículas que conforman el macizo rocoso por ello disminuye la cohesión del mismo. El **momento** que transfiere esta tensión encontrara zonas de mayor debilidad, generando una acción en cadena por estas y permitiendo romper la matriz detrítica que es la principal fuerza que la sostiene. Agotamiento estructural hace referencia al desequilibrio de fuerzas a favor de la estabilidad frente a fuerzas a favor del colapso. Asociar además la presencia de falla geológica.

### 5.1.4. Factores antrópicos

- Percolación: La perenne saturación de los suelos a consecuencia del riego por gravedad generan en los materiales calcáreos procesos conocidos como karstificación.
- Intervención con maquinaria: Modificar la geometría del terreno genera una redistribución de esfuerzos que afectan al mismo, por lo cual es de tener consideración los factores condicionantes.

### 5.1.5. Daños por peligros geológicos

Los eventos afectan:

- Ladera arriba: Un área de 1100 m<sup>2</sup>, alrededor se ubican más de 8 viviendas incluyendo 1 centro educativo inicial y terrenos de cultivo
- Ladera abajo: Un área de 3000 m<sup>2</sup>, donde se viene edificando la I.E. Juan Espinoza.

### 5.2 Derrumbe de la I.E. Juan Espinoza – Activo

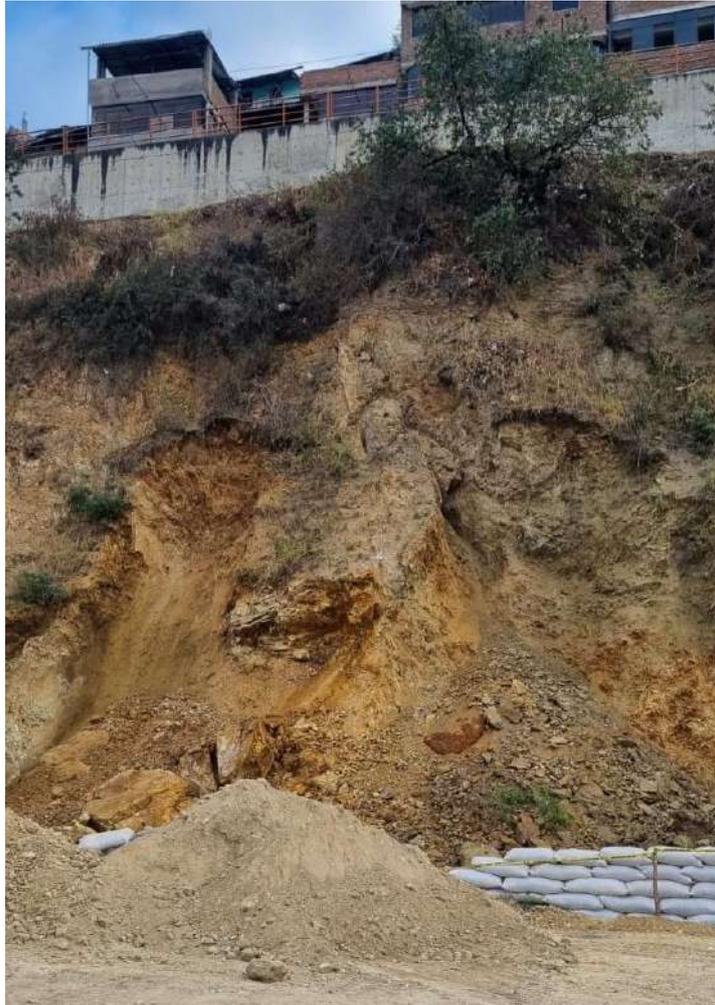
Ladera abajo se viene ejecutando las modernas instalaciones de la I.E. Juan Espinoza, en el corte del talud se evidencio 2 derrumbes, la MPA solicitó a la constructora que tome medidas de prevención para evitar el colapso definitivo de la vía arriba. De acuerdo al testimonio del Ing. Claudio Puma, residente de la obra, los derrumbes se encuentran “estables” y que se está elaborando a pedido de la MPA un estudio de estabilidad de taludes para determinar el diseño final del talud.

Actualmente en la base del talud se viene construyendo la I.E. Juan Espinoza, por lo cual resulta urgente un estudio y ejecución de estabilidad de taludes en el macizo rocoso, el peligro de los derrumbes es alto y sus estados son activos latentes.

El evento generó las siguientes afectaciones en infraestructuras, las que se detallan a continuación (Ver Tabla 7):

**Tabla 7.** Afectaciones generadas por los derrumbes.

INFRAESTRUCTURA	COORDENADAS UTM-WG84			Afectación (m <sup>2</sup> )
	NORTE	ESTE	COTA	
<b>I.E Juan Espinoza</b>	8489727	675313	2922 m.s.n.m.	10000 m <sup>2</sup>



**Figura 18.** Vista frontal de los derrumbes activos ladera abajo del Jr. Tupac Amaru. Actualmente en la base del talud se viene construyendo la I.E. Juan Espinoza.



**Figura 19.** Vista panorámica de los derrumbes, el corte del talud tiene una longitud de 100 m. y una altura de 16 m. y una pendiente de  $75^\circ$ . Se compone principalmente de cuarzodiorita, la zona más fracturada corresponde a lutitas rojas y areniscas muy fracturadas, colapsadas principalmente por la nula cohesión y alta meteorización.

### 5.2.1. Características visuales del evento

El derrumbe I.E. Juan Espinoza, presenta la siguientes características y dimensiones:

- Estado de la actividad del movimiento: Activo
- Movimiento en masa de tipo: Derrumbe.
- Zona de arranque: continua.
- Longitud de la zona de arranque: 100 m
- Altura del derrumbe: 16 m
- Pendiente: 75°

### 5.2.2. Factores condicionantes

- Configuración geomorfológica del área (vertiente coluvial): En esta unidad se presencia movimientos en masa de tipo derrumbes.
- Geometría del terreno: Pendiente del terreno pronunciada, de fuerte (15° a 25°) a muy escarpada (25° a 45°). Las elevadas pendientes junto a zonas urbanas generan una alta susceptibilidad a ocurrencia de movimientos en masa.
- Litología: Lutitas rojas, areniscas muy fracturadas, calizas y afloramientos de cuarzodioritas muy meteorizadas.

### 5.2.3. Factores detonantes

- Agotamiento estructural: Al tener la base socavada del macizo rocoso, el material que se sostiene mantiene su estabilidad principalmente por la cohesión entre minerales y materiales que la conforman. Al tener una tensión que permanentemente incita el colapso, esta se reparte a todas las partículas que conforman el macizo rocoso por ello disminuye la cohesión del mismo. El **momento** que transfiere esta tensión encontrara zonas de mayor debilidad, generando una acción en cadena por estas y permitiendo romper la matriz detrítica que es la principal fuerza que la sostiene. Agotamiento estructural hace referencia al desequilibrio de fuerzas a favor de la estabilidad frente a fuerzas a favor del colapso. Asociar además la presencia de falla geológica.

### 5.2.4. Factores antrópicos

- Percolación: La perenne saturación de los suelos a consecuencia del riego por gravedad generan en los materiales calcáreos procesos conocidos como karstificación.
- Intervención con maquinaria: Modificar la geometría del terreno genera una redistribución de esfuerzos que afectan al mismo, por lo cual es de tener consideración los factores condicionantes

### 5.2.5. Daños por peligros geológicos

Los eventos afectan:

- Ladera arriba: Un área de 1100 m<sup>2</sup>, alrededor se ubican 12 viviendas incluyendo 1 centro educativo inicial y terrenos de cultivo ladera arriba.
- Ladera abajo: Un área de 3000 m<sup>2</sup>, donde se viene edificando la I.E. Juan Espinoza.

## 6. CONCLUSIONES

- a) El sector Sol de Oro está representado por geoformas de carácter tectónico degradacional, como colinas en roca sedimentarias e intrusivas; y geoformas de carácter depositacional como vertientes coluviales de pendiente fuerte a muy fuerte (15° a 45°) y Terraza aluvial antropizada donde se desarrolló Andahuaylas con pendiente baja a media (1° a 15°)
- b) En la zona de estudio afloran rocas sedimentarias calcáreas de la Formación Arcurquina y Formación Murco (muy fracturadas y muy meteorizadas) en contacto con las rocas intrusivas cuarzodioritas del “Plutón Anchaca” fracturadas y meteorizadas. Además, de unidades superficiales no consolidadas como depósitos coluviales, acumulados en laderas por la acción de la gravedad, precipitaciones excepcionales, movimientos sísmicos que dan lugar a movimientos en masa de tipo deslizamiento y derrumbes.
- c) La roca se encuentra completamente meteorizada (V). De acuerdo a la resistencia, los índices de campo tipifican al material como ROCA EXTREMADAMENTE BLANDA (R<sub>1</sub>), por lo cual según el rango de la resistencia a compresión simple del material es aproximadamente de 1 a 5 MPa.
- d) Los peligros geológicos reconocidos en el Jr. Tupac Amaru son movimientos en masa de tipo **derrumbes**. Estos se vienen dando por las condiciones geológicas, geomorfológicas y antrópicas (corte de talud) que se evidencian, se consideran dinámicamente **activas**.
- e) Se considera como factor desencadenante la socavación de las laderas por agotamiento estructural y se asocia la presencia de falla geológica en la zona.
- f) El total de área afectada es de 20000 m<sup>2</sup>, donde se encuentran colegios, vías y viviendas domésticas, estos ciudadanos se encuentran dentro de una zona de alta a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa, lo cual advierte de la alta propensión ante la ocurrencia de movimientos en masa.
- g) Por las condiciones geodinámicas (presencia de movimientos en masa), geológicas (tipo de suelo y roca), la configuración geomorfológica (laderas con pendiente fuerte a muy escarpado); y la presencia de agrietamientos, se considera el derrumbe del Jr. Tupac Amaru e I.E Juan Espinoza de peligro **Alto** a la activación de movimientos en masa a lo largo de los cortes de la ladera del Jr. Tupac Amaru y en el corte del talud de la institución educativa.

## 7. RECOMENDACIONES

### NO ESTRUCTURALES

- a) Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR).
- b) A las autoridades se recomienda, difundir a la comunidad en general, sobre la identificación de las zonas de peligro alto en sus jurisdicciones, a fin de hacerles participe en los planes de preparación, evacuación y acción ante la ocurrencia de estos eventos.
- c) Implementar sistemas de monitoreo que puedan detectar cambios en el comportamiento del terreno y predecir. Esto permitirá tomar medidas preventivas y evacuar áreas en riesgo.
- d) Realizar prospección geofísica a fin de determinar posibles cavidades en las colinas de calizas de la Formación Arcurquina.
- e) Realizar un estudio de estabilidad de taludes para generar diseños de estabilidad en macizos rocosos altamente fracturados
- f) Consultar con el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID, para el análisis de las construcciones realizadas.
- g) Se recomienda implementar obras de mitigación y contención, ya que se afectan directamente pobladores y en un futuro niños de la I.E. Juan Espinoza, ante un progresivo colapso y/o erosión del macizo rocoso.



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



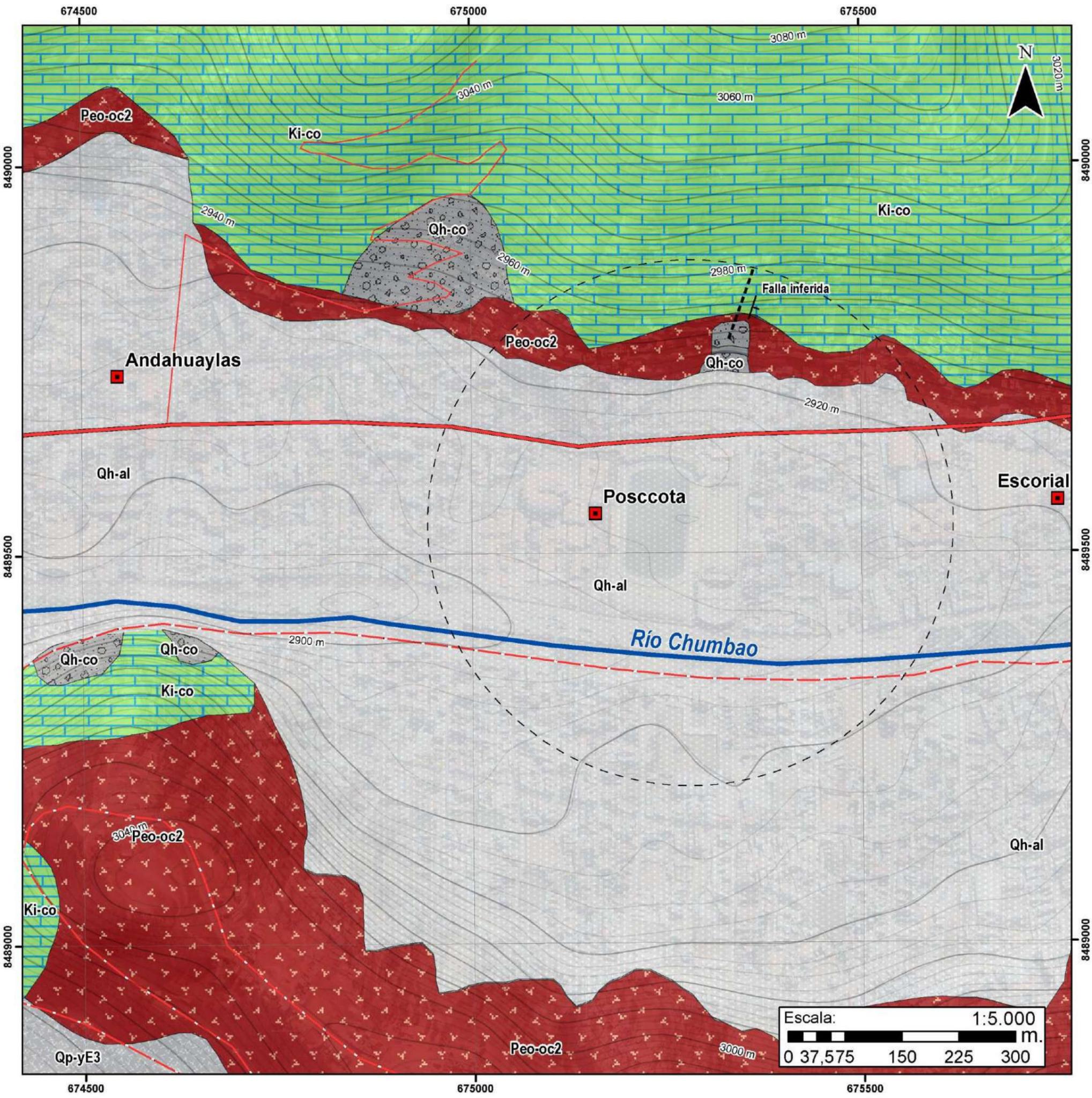
Ing. BILBERTO ZAVALA CARRIÓN  
Director (e)  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## BIBLIOGRAFÍA

- Castro, A., Dávila, C., Laura, W., Cubas Saucedo, F., Ávalos, G., López, C., ... & Marín, D. (2021). Climas del Perú: mapa de clasificación climática nacional. In Climas del Perú: mapa de clasificación climática nacional (pp. 70-70).
- Cobbing, E.J.; Sánchez, A.; Martínez, W. & Zárate, H. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. Hojas: 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j. Ingemmet, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 76, 297 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/199>.
- 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.
- Evaluaci3n de peligros geol3gicos por movimientos en masa en el Cerro Apu Huayhuaca, distrito Andahuaylas, provincia Andahuaylas, departamento Apurímac. Lima: INGEMMET, Informe T3cnico A7328, 40 p. Instituto Geol3gico Minero y Metalúrgico. Direcci3n de Geología Ambiental y Riesgo Geol3gico (2022).
- Köppen, W. (2010). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Clasificaci3n de climas segun temperatura, precipitaci3n y ciclo estacional.). Petermanns Geogr. Mitt., 64, 193-203, 243-248.
- Memoria descriptiva de la revisi3n y actualizaci3n del cuadrángulo de Andahuaylas (28-p), escala 1: 50 000 (Lipa V. et al. 2003), El boletín N°27. Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas (28 p), Abancay y Cotabambas (Morocco R. 1975).
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la regi3n andina: una guía para la evaluaci3n de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicaci3n Geol3gica Multinacional, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Romero. D; Torres. V. (2003) Revisi3n y actualizaci3n del cuadrángulo de Huancavelica (26-n). Escala 1:50 000 <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2118>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010a) – Guía climática turística (en línea). Lima: SENAMHI, 216 p. (consulta: 03 junio 2015). Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.
- Suárez, J. (1996) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaci3n sobre Erosi3n y Deslizamientos, 282 p.
- Varnes, J. (1978) - Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, L. & KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.
- Vílchez Mata, M. S., Sosa Senticala, N. L., Pari Pinto, W., & Peña Laureano, F. (2020). Peligro geol3gico en la regi3n Cusco-[Boletín C 74].

## **ANEXO 1**

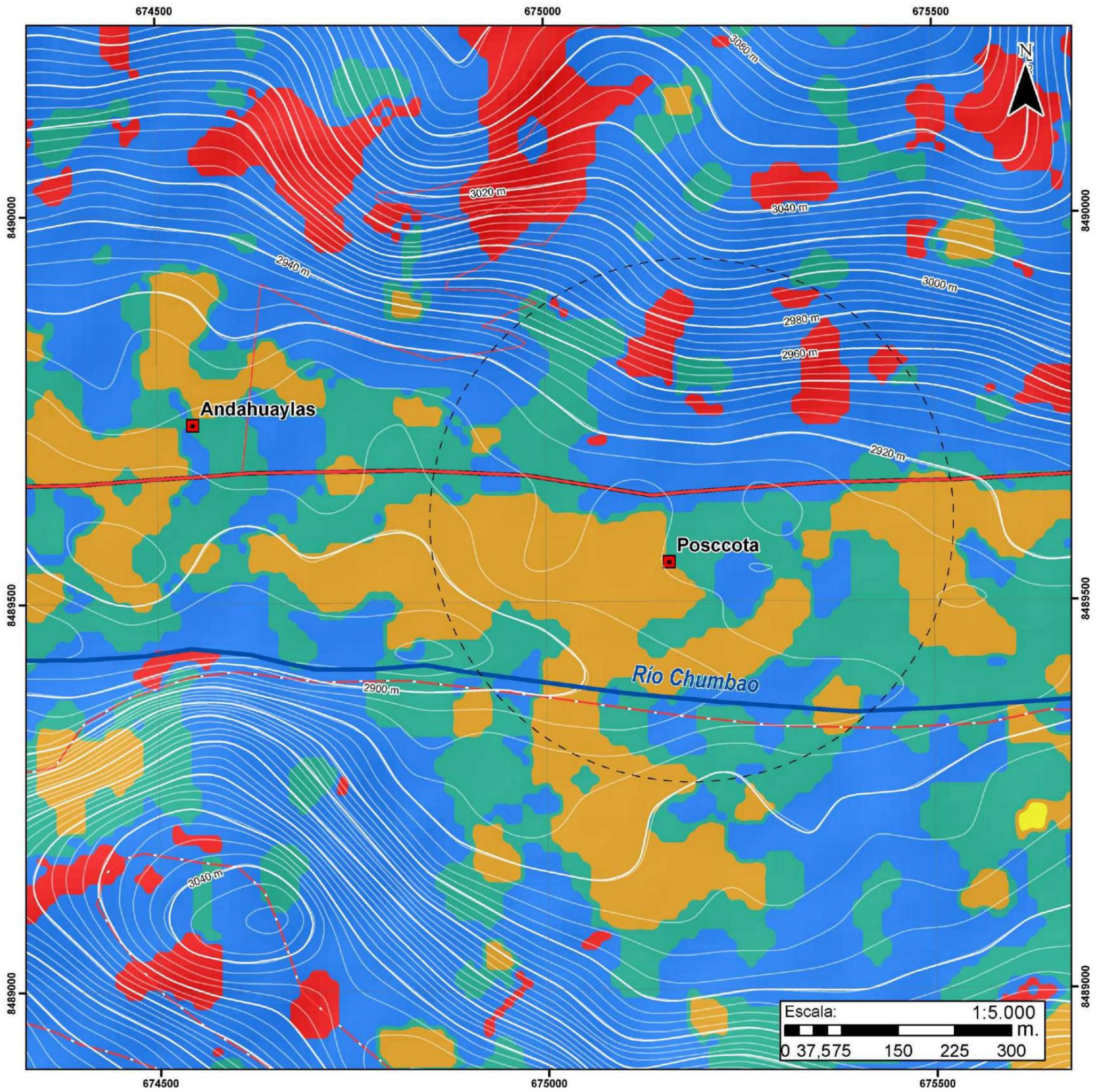
### **MAPAS DEL SECTOR SOL DE ORO**



UNIDADES	
	Depósito coluvial
	Depósito aluvial
	Formación Arcurquina Miembro inferior
	Centro Volcánico Yacotingo
	Unidad Ocobamba

SIMBOLOGÍA	
	Centros poblados
	Carretera
	Vía vecinal
	Ríos
	Curvas de nivel
	Área de estudio
	Falla inferida

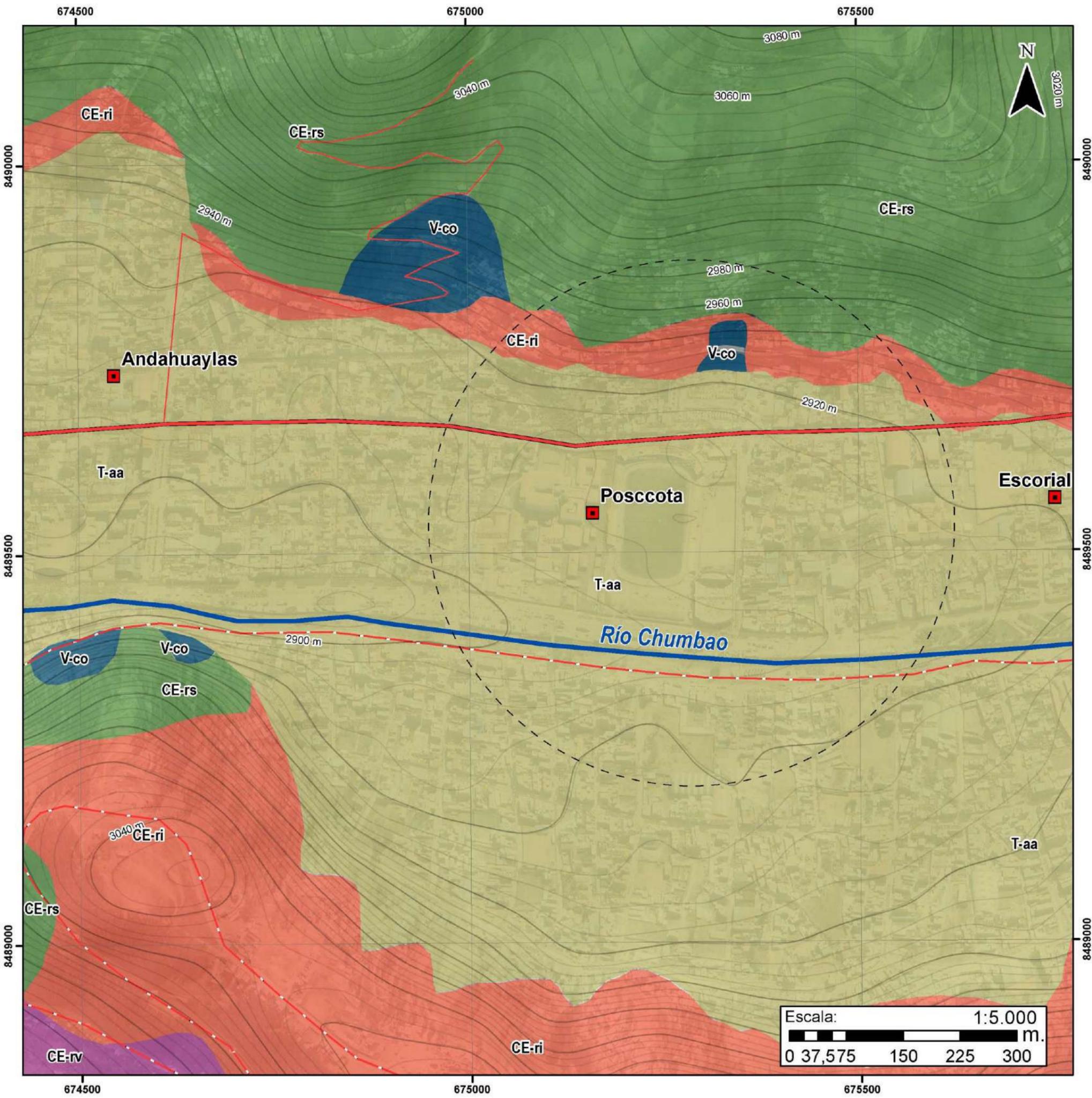
<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS <b>INGEMMET</b> INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>	
<p>DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</p>	
<p>DEPARTAMENTO APÚRIMAC PROVINCIA ANDAHUAYLAS DISTRITO ANDAHUAYLAS SECTOR SOL DE ORO</p>	
<p><b>MAPA GEOLÓGICO</b></p>	
<p>Escala numérica : 1 / 5000</p>	
<p>Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84</p>	
<p>Versión digital 2023 Impreso: Noviembre 2023</p>	
<p>MAPA <b>01</b></p>	



RANGO DE PENDIENTES	
0°- 1°	TERRENO LLANO
1°-5°	TERRENO INCLINADO CON PENDIENTE SUAVE
5°-15°	PENDIENTE MODERADA
15°-25°	PENDIENTE FUERTE
25°-45°	PENDIENTE MUY FUERTE A ESCARPADA
> 45°	TERRENO MUY ESCARPADO

SIMBOLOGÍA	
	Centros poblados
	Carretera
	Vía vecinal
	Ríos
	Curvas de nivel
	Área de estudio

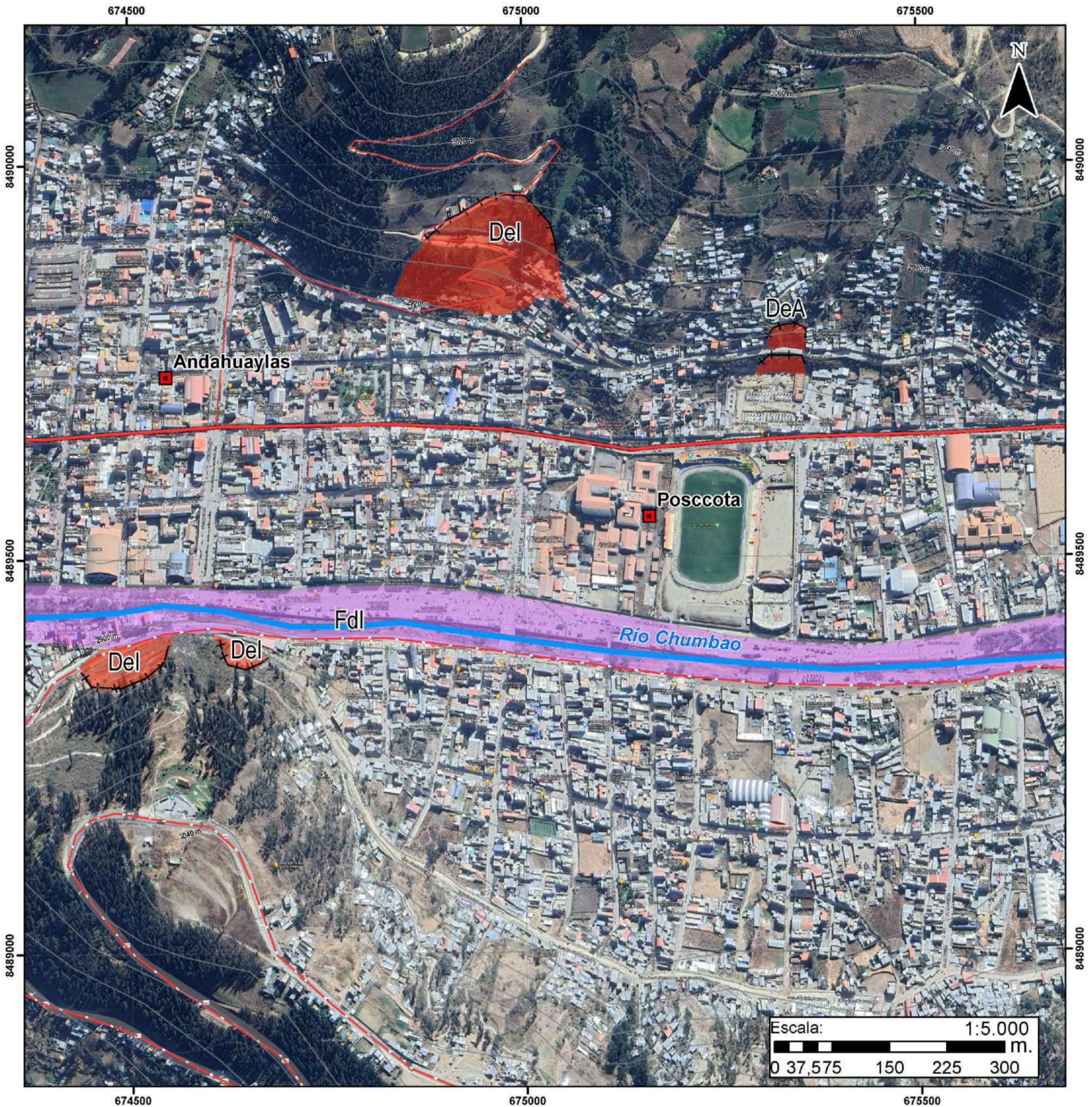
<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS  <b>INGEMMET</b>          INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>	
<b>DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</b>	
DEPARTAMENTO APÚRIMAC PROVINCIA ANDAHUAYLAS DISTRITO ANDAHUAYLAS SECTOR SOL DE ORO	
<b>MAPA DE PENDIENTES</b>	
Escala numérica : 1 / 5000	
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84	
Versión digital 2023 Impreso: Noviembre 2023	
MAPA <b>02</b>	



UNIDADES	
	CE-ri Colina Estructural en Roca Ignea
	CE-rs Colina Estructural en Roca Sedimentaria
	CE-rv Colina Estructural en Roca Volcánica
	T-aa Terraza aluvial antropizada
	V-c Vertiente coluvial

SIMBOLOGÍA	
	Centros poblados
	Carretera
	Vía vecinal
	Ríos
	Curvas de nivel
	Área de estudio

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS <b>INGEMMET</b> INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
DEPARTAMENTO APÚRIMAC PROVINCIA ANDAHUAYLAS DISTRITO ANDAHUAYLAS SECTOR SOL DE ORO	
<b>MAPA GEOMORFOLÓGICO</b>	
Escala numérica : 1 / 5000	
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84	
Versión digital 2023 Impreso: Noviembre 2023	
MAPA	<b>03</b>



**LEYENDA**

**Fdl** Flujo de detritos

**DeA** Derrumbe Activo **Del** Inactivo latente

**TRAMA**

Derrumbe Activo Inactivo latente

**SIMBOLOGÍA**

Centros poblados

Carretera

Vía vecinal

Ríos

Curvas de nivel

Área de zona de estudio

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

**INGEMMET**

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO APÚRIMAC  
PROVINCIA ANDAHUAYLAS  
DISTRITO ANDAHUAYLAS  
SECTOR SOL DE ORO

**MAPA DE PELIGROS GEOLOGICOS**

Escala numérica : 1 / 5000

Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84

Versión digital 2023 Impreso: Noviembre 2023

MAPA **04**

## **ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

A partir de la evaluación geológica-geodinámica realizada, se dan algunas propuestas de intervención de forma general para la zona evaluada. Se debe considerar como medidas de prevención y mitigación ante futuros eventos que puedan causar desastres en las laderas del cerro, el no permitir la expansión urbana hacia las laderas y reubicar las zonas agrícolas, alejándolas de las pendientes de la montaña.

### **Modificar la geometría del talud**

#### **Principios Físicos**

Es relevante el concepto de factor de seguridad y estabilidad de taludes, los cuales se exponen a continuación.

#### **Coefficiente o factor de seguridad**

El factor de seguridad se estipula como coeficiente apto para la estabilidad de taludes, denominado también como F.S., para ello es necesario caracterizar los suelos o macizos rocosos. La resistencia al corte, es la propiedad más importante para determinar la estabilidad de taludes. El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, es la teoría más generalizada en el estudio de mecánica de suelos. “El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, permite definir la tensión tangencial o de corte que se alcanza en un plano en función de la tensión efectiva sobre el mismo y los parámetros resistentes del suelo.” (Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S. & Díaz Orrego, A. 2016).

A continuación, la ecuación que representa el criterio de rotura:

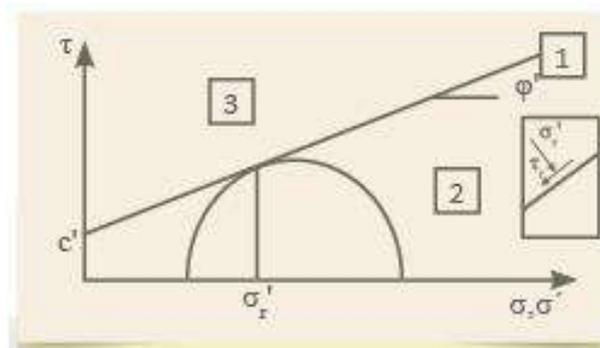
$$T_l = c' + (\sigma - \mu). \tan\phi' = c' + \sigma'. \tan\phi'$$

$T_l$  es la resistencia al corte límite del terreno a lo largo de la superficie de deslizamiento.

$c'$  y  $\phi'$  son la cohesión y ángulo rozamiento interno efectivos del terreno en las mismas superficies.  $\sigma$  y  $\mu$  son la tensión total y la presión intersticial, que actúan perpendicularmente a la superficie de deslizamiento, y  $\sigma'$  es por tanto la tensión efectiva correspondiente. En la figura 1 se observa la gráfica del criterio de rotura Mohr-Coulomb.

Figura 1: Gráfico del criterio de rotura Mohr-Coulomb

**Zona 3**, punto imposible, pues está ubicado por encima de la envolvente de falla de rotura, lo cual es incompatible con la resistencia del suelo.



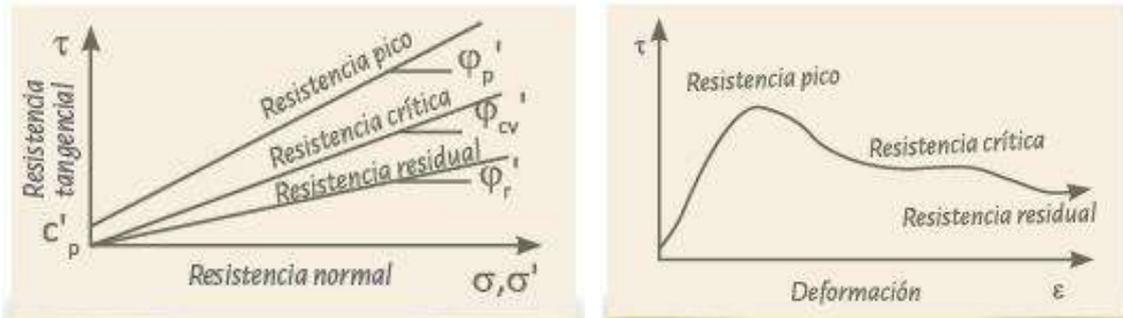
**Zona 1**, representa el estado de rotura.

**Zona 2**, combinación ( $\tau', \sigma'$ ) que cuenta con un margen de seguridad para una determinada tensión efectiva normal; la tensión tangencial es inferior a la máxima movilizable.

Fuente: Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2016).

Desde un enfoque de esfuerzos tenemos la siguiente figura.

Figura 2: A la derecha el gráfico esfuerzo normal vs esfuerzo tangencial, a la izquierda el gráfico tensión deformación en función de ensayos de corte



Fuente: Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2016).

El factor de seguridad es un índice que, según Ortuño A., L., 2010 pueden abordarse de dos maneras. La primera es el F.S. definido como una relación directa entre fuerzas, ello relaciona las fuerzas resistentes en el numerador y las fuerzas desestabilizadoras en el denominar (ver figura 4) y es más práctico para el análisis de macizos rocosos o estabilizar cuñas. En la tabla 1 te tiene un compendio de los FS usados en normativas españolas.

Tabla 1: Valores del factor de seguridad para el ELU de estabilidad global en diferentes documentos españoles de carácter geotécnico

Combinación de acciones	ROM 0.5-05	Guía Cimentaciones Obras de Carreteras	Código Técnico Edificación
Cuasi-permanente	1,4	1,5	1,8
Fundamental	1,3	1,3	(1)
Accidental o sísmica	1,1	1,1	1,2

(1): El Código Técnico de la Edificación distingue únicamente entre situaciones persistentes o transitorias (FS=1,8) y situaciones extraordinarias (FS=1,2)

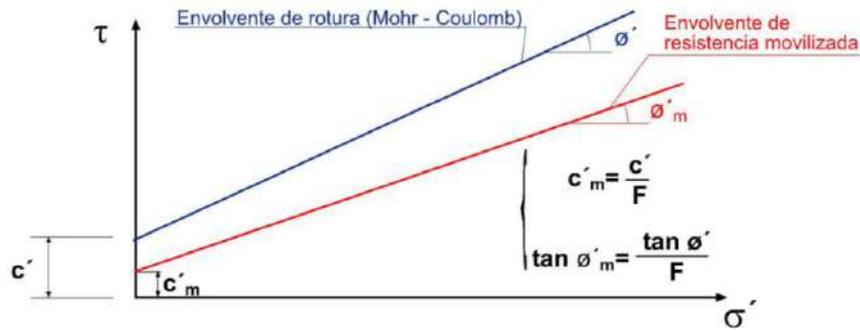
Fuente: Estaire, José & Olivenza, Gracia, 2013.

El segundo enfoque derivado del criterio Mohr-Coulomb y es un enfoque muy práctico para suelos. Es el F.S definido como una reducción de la resistencia al corte límite del terreno, es un enfoque muy práctico para suelos representado a continuación.

$$t_m = \frac{t_f}{F} = \frac{c'}{F} + \sigma' \frac{\tan \phi'}{F} = c'_m + \sigma' \cdot \tan \phi'_m$$

$t_m$  es la superficie de deslizamiento estudiada,  $t_f$  es la resistencia al corte máximo disponible en el terreno, esta relación a lo largo de la superficie de deslizamiento elegida determina el equilibrio estático del mecanismo.  $c'_m$  y  $\phi'_m$  son la cohesión efectiva y ángulo rozamiento interno efectivo movilizado para alcanzar el equilibrio. La figura 3 muestra el criterio de Mohr-Coulomb detallado para suelos.

Figura 3: Criterio de Mohr-Coulomb detallado para suelos



Fuente: Estabilidad de taludes en suelos. Ortuño A., L., 2010.

Figura 4: Esquema de estabilidad de talud.

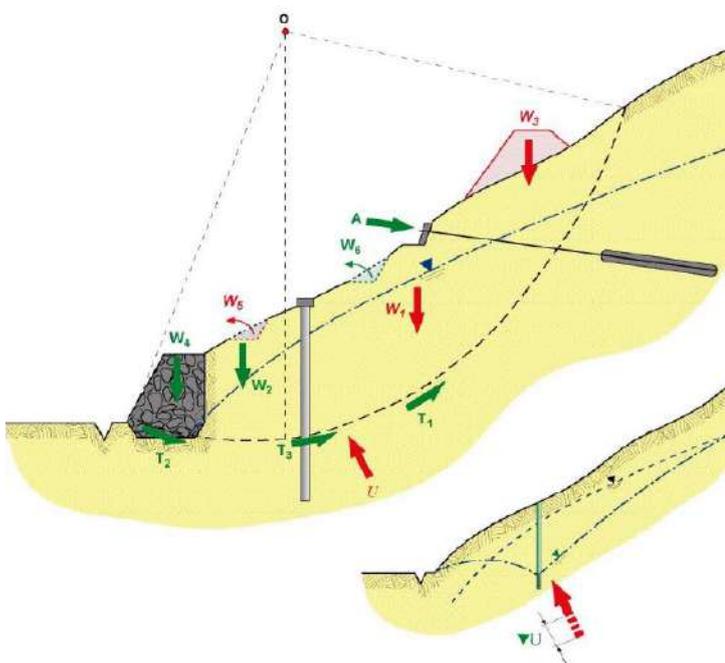


Fuente: Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2016).

### Estabilidad de taludes

En la introducción repasamos ampliamente sobre la estabilidad de taludes. A continuación, en la figura 3.1 se expone los vectores de momentos de fuerza que originan la estabilidad y desestabilidad en los taludes.

Figura 5: Esquema de momentos estabilizadores y desestabilizadores en un talud



### Fuerzas Estabilizadoras

- $T_1$  = Resistencia al corte del terreno
- $W_2$  = Pesos que originan "Momento estabilizador"
- $W_4$  = Pesos que aumentan el "Momento estabilizador"
- $W_6$  = Excavaciones que reducen el "Momento volcador"
- $T_1$  = Aumento local de resistencia al corte (mejorar material)
- $T_3, A$  = Fuerzas estabilizadoras externas
- $\nabla U$  = Reducción de la presión de agua

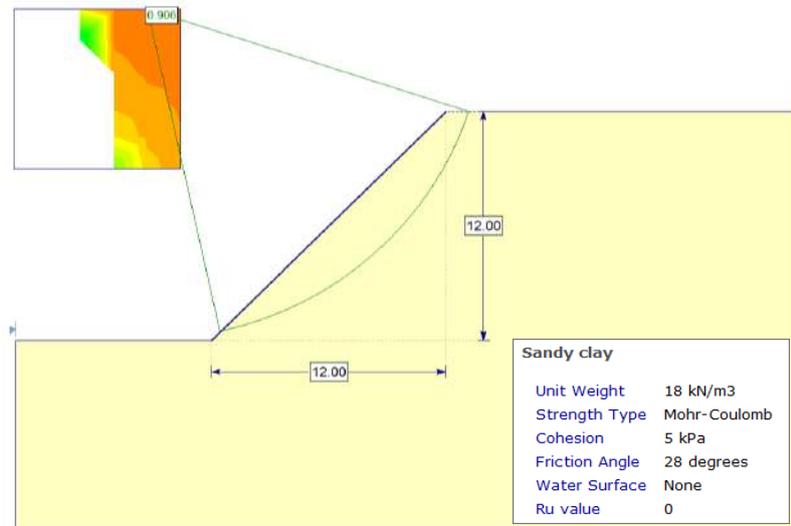
### Fuerzas Desestabilizadoras

- $W_1, W_3$  = Pesos que originan "Momento volcador"
- $U$  = Presión de agua
- $W_5$  = Excavaciones que reducen el "Momento estable"

Fuente: Estabilidad de taludes en suelos. Ortuño A., L., 2010.

Con lo mencionado se concluye que para aumentar la estabilidad de las laderas es necesario modificar la geometría de ambos taludes siguiendo criterios técnicos, actualmente los softwares ingenieriles pueden brindar modelos preliminares para conocer el grado de estabilidad. A continuación, se expone un ejemplo exponemos un talud con una pendiente 1H:1V, podemos ver en la figura 1 la representación para conocer el Factor de Seguridad. Usando el método de GLE / Morgenstern-Price se obtiene un Factor de Seguridad de 0.906.

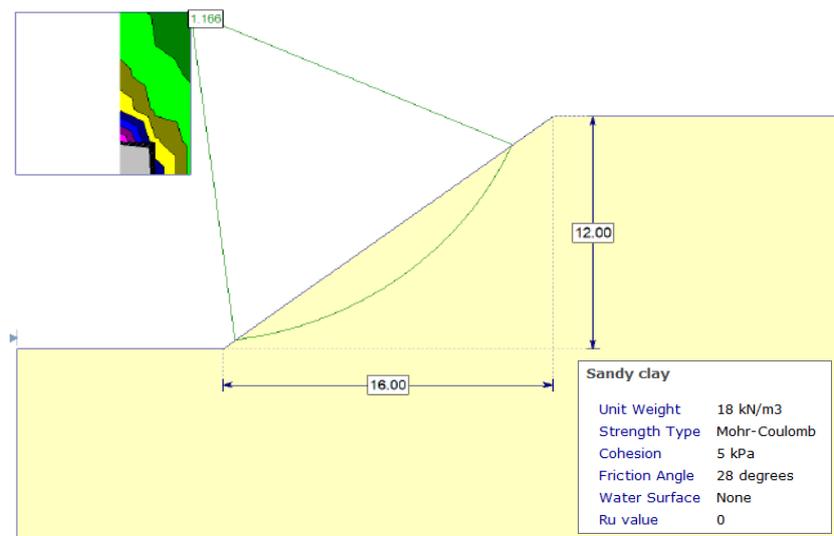
Figura 6: Análisis de estabilidad del talud



Fuente: Propia.

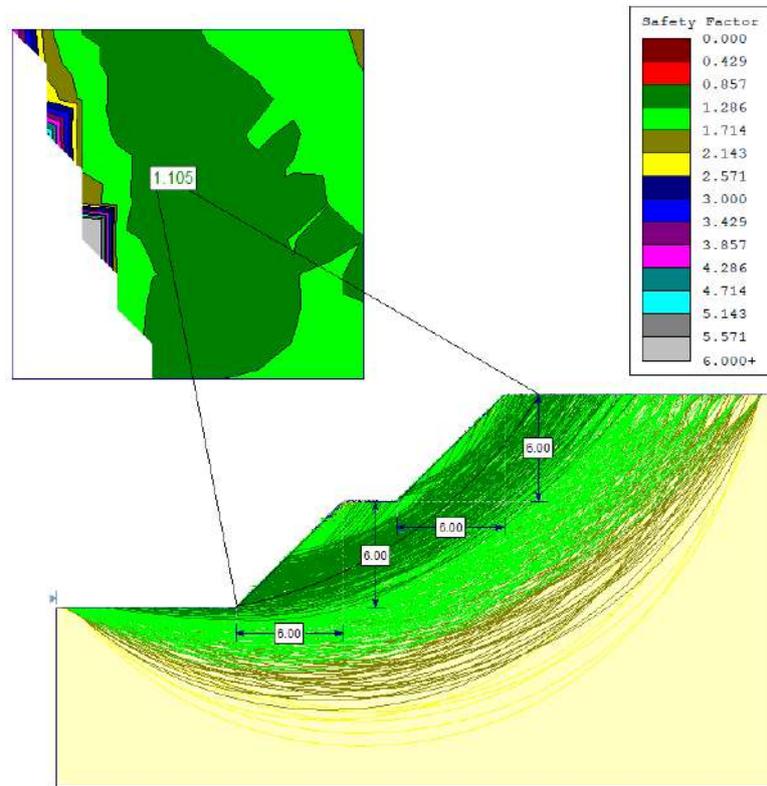
Se debe de tener un Factor de Seguridad F.S. de 1.5, y por ello se deben de analizar otras posibilidades, una de ellas será tendiendo más el talud o generando una berma para conseguir la estabilidad deseada. En la figura 7 mostrada a continuación se puede conocer los Factores de Seguridad en ambos casos planteados.

Figura 7: Segundo análisis de estabilidad del talud tendido



Fuente: Propia.

Figura 8: Tercer análisis de estabilidad del talud con berma



Fuente: Propia.

### Muro de escolleras

En la base de los nuevos taludes es preciso para aumentar la estabilidad de ambos ubicar muros de escollera (ver figura 9 y 10).

Figura 9: Definición geométrica de la sección tipo de un muro de escollera colocada con función de contención

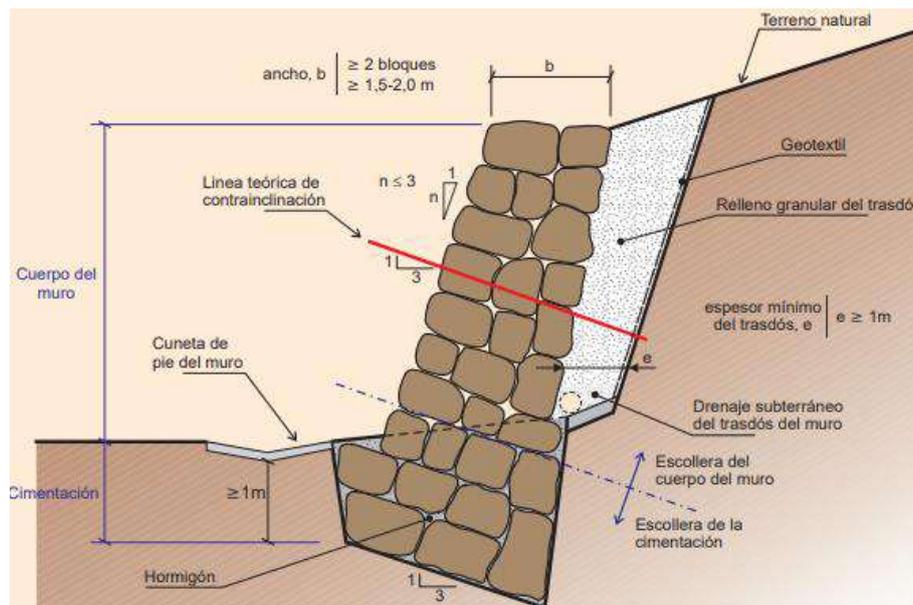
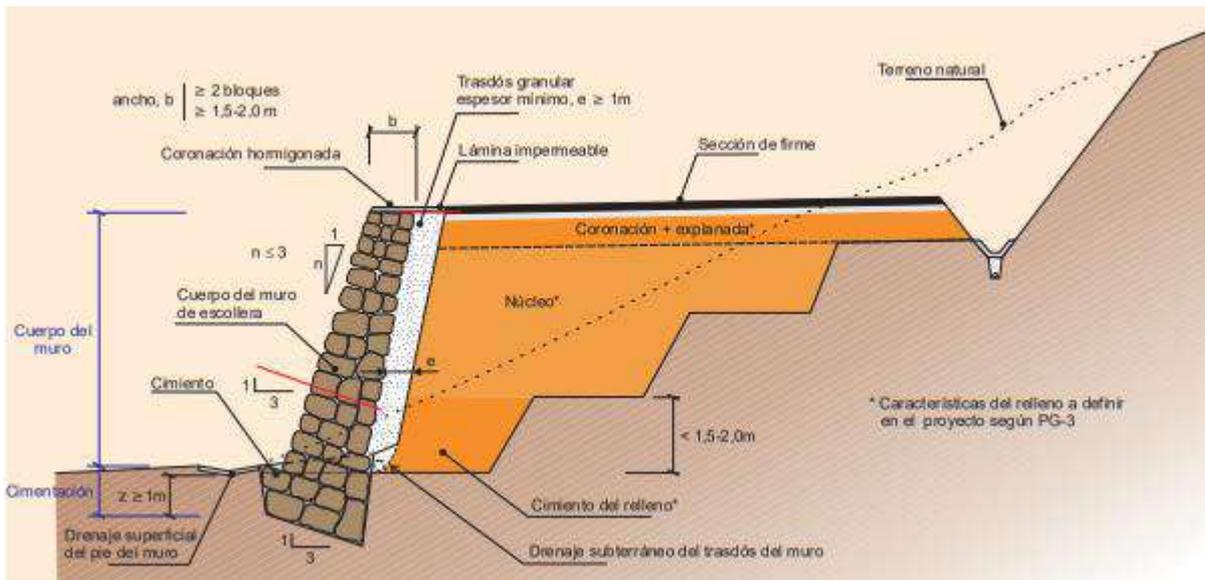


Figura 10: Diagrama de la ubicación de un muro de escollera con geometría corregida



Fuente: Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera, Ministerio de Fomento de España, (2006).

### **Drenes Californianos:**

El agua en el terreno afecta de gran manera la estabilidad global de las infraestructuras por lo que es importante drenar el agua a través de drenes a mitad de los taludes y encausar estos niveles de agua (ver figura 11).

Figura 10: Diagrama de la ubicación de un muro de escollera con geometría corregida



Fuente: Catálogo de productos, Cimentaciones y Voladuras de Galicia, S.L.(2018).

**ANEXO 3: CALICATAS EXTRAIDAS DE "CREACIÓN DEL SERVICIO DE  
PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL SECTOR PROLONGACIÓN  
JR. TUPAC AMARU DEL DISTRITO DE ANDAHUAYLAS, PROVINCIA DE  
ANDAHUAYLAS-APURÍMAC"**



## INGENIERÍA, GEOLOGÍA Y LABORATORIOS S.R.L.

Realizamos trabajos en: Elaboración y Ejecución de Proyectos de Ingeniería (Edificaciones, Carreteras, Puentes, Represas, Reservorios, Canales de irrigación, etc), Geología, Minería, Geotecnia, Impacto Ambiental, Consultoría y Asesoría en General.  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

### 10.5. REGISTRO DE EXCAVACIONES Y PERFIL ESTATRIGRÁFICO





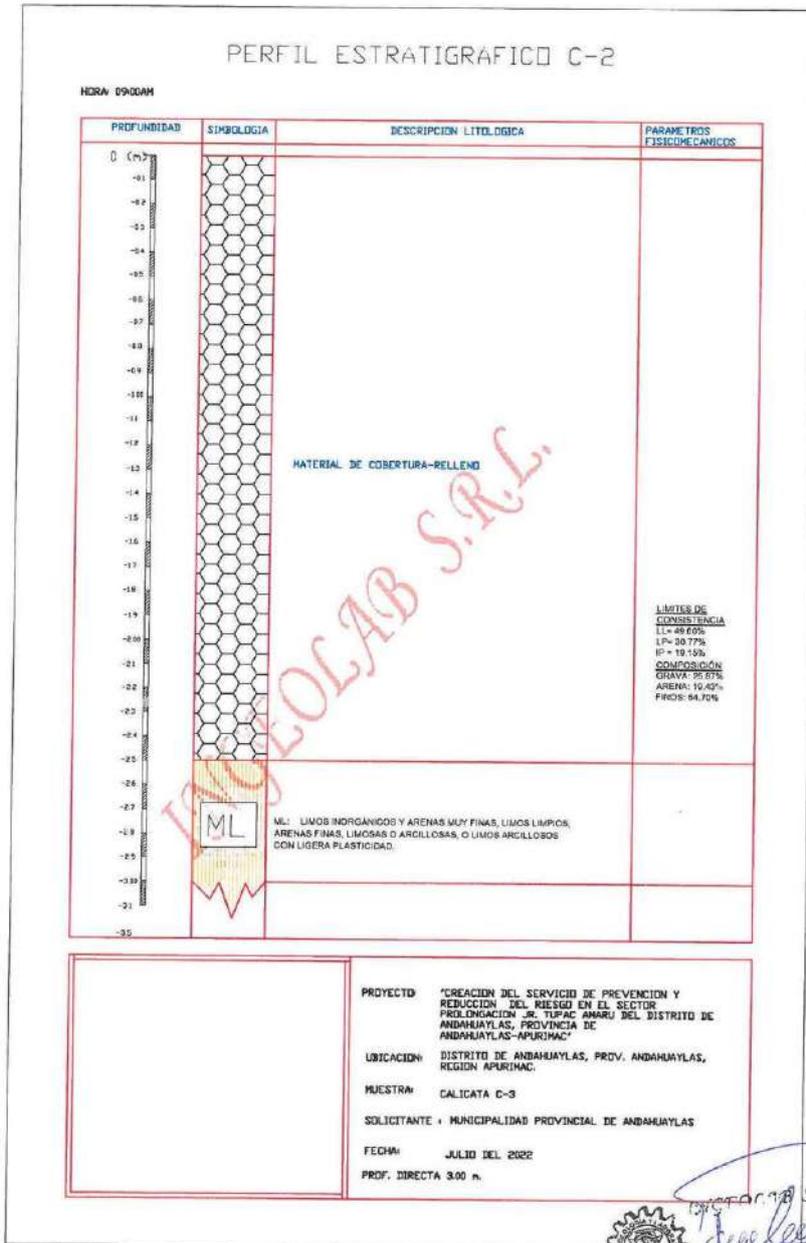


# INGENIERÍA, GEOLOGÍA Y LABORATORIOS S.R.L.

Realizamos trabajos en: Elaboración y ejecución de proyectos de Ingeniería (edificaciones, carreteras, puentes, represas, reservorios, canales de irrigación, etc), Geología, Minería, geotecnia, Impacto Ambiental, Consultoría y asesoría en general.

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

INGEOLAB S.R.L.





## INGENIERÍA, GEOLOGÍA Y LABORATORIOS S.R.L.

Realizamos trabajos en: Elaboración y ejecución de proyectos de Ingeniería (edificaciones, carreteras, puentes, represas, reservorios, canales de irrigación, etc), Geología, Minería, geotecnia, Impacto Ambiental, Consultoría y asesoría en general.  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

### ANEXO: PANEL FOTOGRAFICO

REGISTRO DE CALICATAS PARA EL PROYECTO "CREACION DEL SERVICIO DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO EN EL SECTOR PROLONGACION JR. TUPAC AMARU DEL DISTRITO DE ANDAHUAYLAS. PROVINCIA ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO APURIMAC"

FOTOGRAFIA 01 CALICATA C-1



FOTOGRAFIA 02 CALICATA C-1



INGEOLAB S.R.L.  
*[Signature]*  
Guillermo Portillo Quispe  
CIP 18116  
GERENTE



# INGENIERÍA, GEOLOGÍA Y LABORATORIOS S.R.L.

Realizamos trabajos en: Elaboración y ejecución de proyectos de Ingeniería (edificaciones, carreteras, puentes, represas, reservorios, canales de irrigación, etc), Geología, Minería, geotecnia, Impacto Ambiental, Consultoría y asesoría en general.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

INGEOLAB S.R.L.

FOTOGRAFIA 03 CALICATA C-2



FOTOGRAFIA 04 CALICATA C-2





## INGENIERÍA, GEOLOGÍA Y LABORATORIOS S.R.L.

Realizamos trabajos en: Elaboración y ejecución de proyectos de Ingeniería (edificaciones, carreteras, puentes, represas, reservorios, canales de irrigación, etc), Geología, Minería, geotecnia, Impacto Ambiental, Consultoría y asesoría en general.  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

INGEOLAB S.R.L.

FOTOGRAFIA 05 CALICATA C-3



FOTOGRAFIA 06 CALICATA C-3





# INGENIERÍA, GEOLOGÍA Y LABORATORIOS S.R.L.

Realizamos trabajos en: Elaboración y ejecución de proyectos de Ingeniería (edificaciones, carreteras, puentes, represas, reservorios, canales de irrigación, etc), Geología, Minería, geotecnia, Impacto Ambiental, Consultoría y asesoría en general.  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

FOTOGRAFIA 07 CALICATA C-4



FOTOGRAFIA 08 CALICATA C-4

