

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7267

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CENTRO POBLADO DE SAPSI

Departamento Ayacucho
Provincia Huamanga
Distrito Socos



EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CENTRO POBLADO DE SAPSI

(Distrito Socos, provincia Huamanga, departamento Ayacucho)

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

Equipo de investigación:

Richard Remy Huayta Pacco

Angel Gonzalo Luna Guillen

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). - *Evaluación de peligros geológicos en el centro poblado de Sapsi, distrito Socos, provincia Huamanga, departamento Ayacucho*. Lima: Ingemmet, Informe técnico A7267, p

INDICE

RESUMEN.....	4
DEFINICIONES	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	7
1.3. Aspectos generales	8
1.3.1. Ubicación.....	8
1.3.2. Accesibilidad.....	9
1.3.3. Clima	11
1.3.4. Zonificación Sísmica	12
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	13
2.1. Unidades litoestratigráficas	13
2.1.1. Formación Socos (Pe-so)	13
2.1.2. Formación Sallalli (Nm-sa).....	14
2.1.3. Formación Huanta (Np-huar)	15
2.1.4. Depósitos cuaternarios	16
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	19
3.1. Pendientes del terreno.....	19
3.2. Unidades geomorfológicas.....	20
3.2.1. Subunidad de montañas en rocas sedimentarias (RM-rs)	20
3.2.2. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd)	21
3.2.3. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)	21
3.2.4. Subunidad de vertiente coluvial (V-co).....	22
3.2.5. Subunidad de Terraza aluvial (T-al)	23
3.2.6. Subunidad Abanico de piedemonte (Ab).....	23
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	24
4.1. Reactivación del deslizamiento en Timpusqa ocurrido el 08/01/2022	24
4.2. Reptación en los campos de cultivo, ladera de Timpusqa.....	29
4.3. Reactivación del deslizamiento en Cedro ocurrido el 18/05/2022	31
4.4. Otras ocurrencias.....	33
5. CONCLUSIONES.....	34
6. RECOMENDACIONES.....	36
7. BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXO 1: MAPAS.....	38
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN.....	43

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en el centro poblado de Sapsi, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Socos, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno.

Las rocas aflorantes comprenden principalmente una serie volcánico - sedimentaria; ladera arriba se evidencia una secuencia conglomerática correspondiente a abanicos aluviales, intercalados con algunos niveles de tobas blancas y coladas andesíticas. Estas rocas se encuentran altamente meteorizadas, fracturadas con espaciamentos promedio de 3 cm. Ladera abajo se reconoce la intercalación de niveles de areniscas, limolitas rojas y amarillentas intercaladas con yesos, presentándose moderadamente meteorizadas; también es visible, en la base de la montaña, depósitos superficiales coluvio-deluviales, coluviales (bloques y gravas con clastos de naturaleza heterogénea, subangulosos a angulosos; envueltos en una matriz limo arenoso-arcilloso) no consolidados, asociados a antiguas avalanchas de rocas; también se localizan depósitos aluviales y fluviales compuestos por bloques, gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas, en una matriz limo arcillosos.

Entre las geoformas identificadas, se tienen montañas de rocas sedimentarias y geoformas de piedemonte (vertiente con depósito de deslizamiento, depósitos coluvio-deluviales, y depósitos coluviales); así como planicies (terrazas aluviales y abanicos). Se considera, que el principal factor condicionante, que originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, son las pendientes del terreno que va desde moderada a muy fuerte (5° - 45°).

En los centros poblados de Sapsi y Cedro, se identificaron movimientos en masa de tipo deslizamiento, eventos de gran magnitud que afectaron campos de cultivo, vías vecinales y socavaron la base de la montaña denominada Timpusqa. Así mismo se pudo evidenciar, que al ser socavada la base de la montaña esta desestabilizó las laderas contiguas, ello afecta y pone en gran peligro al poblado de Cedro que se ubica ladera arriba.

Por las condiciones geológicas (tipo de rocas y suelos), configuración geomorfológica (terrenos con pendiente moderada a muy fuerte), así como la presencia de movimientos en masa y procesos geohidrológicos; los centros poblados de Sapsi y Cedro se consideran con **Peligro Muy Alto**. De igual forma, ese sector es considerado como **Zona Crítica**. Estos movimientos en masa pueden ser detonados por lluvias intensas y/o prolongadas, filtraciones de agua al subsuelo por la actividad agrícola de los pobladores o por movimientos sísmicos.

Finalmente, en este informe, se brinda algunas recomendaciones que se consideran importante tomar en cuenta, como reubicar algunas viviendas, 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.

DEFINICIONES

El Perú es un país que por su variedad de climas, complejidad geológica y ubicación en el denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico”, está expuesto a diversos peligros geológicos que pueden convertirse en desastres. Se brinda una definición de los términos más importantes del presente informe:

DESLIZAMIENTO	Es un movimiento, ladera abajo, de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Varnes (1978) clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales, a su vez, pueden ser planares y/o en cuña.
MOVIMIENTOS EN MASA	Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.
PELIGROS GEOLÓGICOS	Son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones (Ingemmet 2004).
SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	La susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado. La estimación de la susceptibilidad se basa en la correlación de los principales factores (intrínsecos) que contribuyen en la formación de movimientos en masa.
ZONA CRÍTICA	Las zonas o áreas consideradas como críticas (Fidel et al., 2006), presentan recurrencia en algunos casos periódica a excepcional de peligros geológicos y geohidrológicos; alta susceptibilidad a procesos geológicos que puede causar desastres y alto grado de vulnerabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

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

Atendiendo la solicitud del gobierno regional de Ayacucho, según Oficio N° 050-2022-GRA/SIREDECI-ST, en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación del deslizamiento ocurrido el día 15 de enero del 2022 en la localidad de Sapsi, distrito de Socos, provincia de Huamanga. Este evento afectó campos de cultivo del poblado, haciendo colapsar los mismos.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designo al Geólogo Richard Remy Huayta Pacco y Gonzalo Luna Guillen, para realizar la evaluación de peligros geológicos en el sector previamente mencionado, el día 20 de abril del 2022, en coordinación con representantes del poblado de Sapsi y de la Unidad de Defensa Civil de la municipalidad de Socos.

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 (putos de control GPS, fotografías terrestres y aéreas), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

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

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos ocurridos en el centro poblado de Sapsi, eventos que comprometen la seguridad física de la población, viviendas y sus medios de vida en la zona de influencia del evento.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la ocurrencia de peligros geológicos
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET, que sirven de referencia, tales como informes técnicos y otros estudios regionales relacionados a temas de geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes:

- A) Informe técnico N° A7007: Inspección Geológica-geodinámica del centro poblado de Ranca (Vílchez M, 2020), Rachas es el poblado que se ubica frente a Sapsi, las ocurrencias son deslizamientos, flujo de detritos, reptación y movimientos complejos. (PMA: GCA, 2007).
- B) Boletín N° 70, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológicos en la Región Ayacucho” (Vílchez et al., 2019). Contiene el inventario de peligros geológicos en la región Ayacucho, en la zona de estudio se registra en el año 2020 varias comunidades del distrito de Socos fueron afectadas, quedando un saldo de 180 damnificados, 30 viviendas destruidas, 08 has. de cultivos perdidos. En general en la región se registran un total de 1 390 ocurrencias. Así mismo, de acuerdo con el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:300 000, se evidencia que el centro poblado de Sapsi se encuentra en **zona de susceptibilidad muy alta** (figura 1).
- C) Informe técnico: Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Huancavelica (Vílchez & Ochoa, 2014), en el cuadro 1: Zonas críticas identificada el distrito de Socos, afectado por deslizamientos, erosión de laderas y flujos de detritos. Dentro de este estudio también realizaron el inventario de 1390 ocurrencias, dos de estas ocurrencias se encuentran dentro de la zona de estudio.
- D) Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huancavelica (27-ñ), Escala 1: 100 000 (Rodríguez, R., et. al., 2003); Este estudio fue realizado dentro del Proyecto de Revisión y Actualización de la Carta Geológica Nacional, contempla la descripción actualizada de la geología de la zona de estudio.
- E) Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, N° 61: “Geología del cuadrángulo de Ayacucho Hoja:27ñ (Morche, W., et. al., 1995). En este boletín se muestran las unidades litoestratigráficas identificadas en la zona de estudio y alrededores conformada por rocas sedimentarias Chúlec, Pariatambo y Pampachacra.

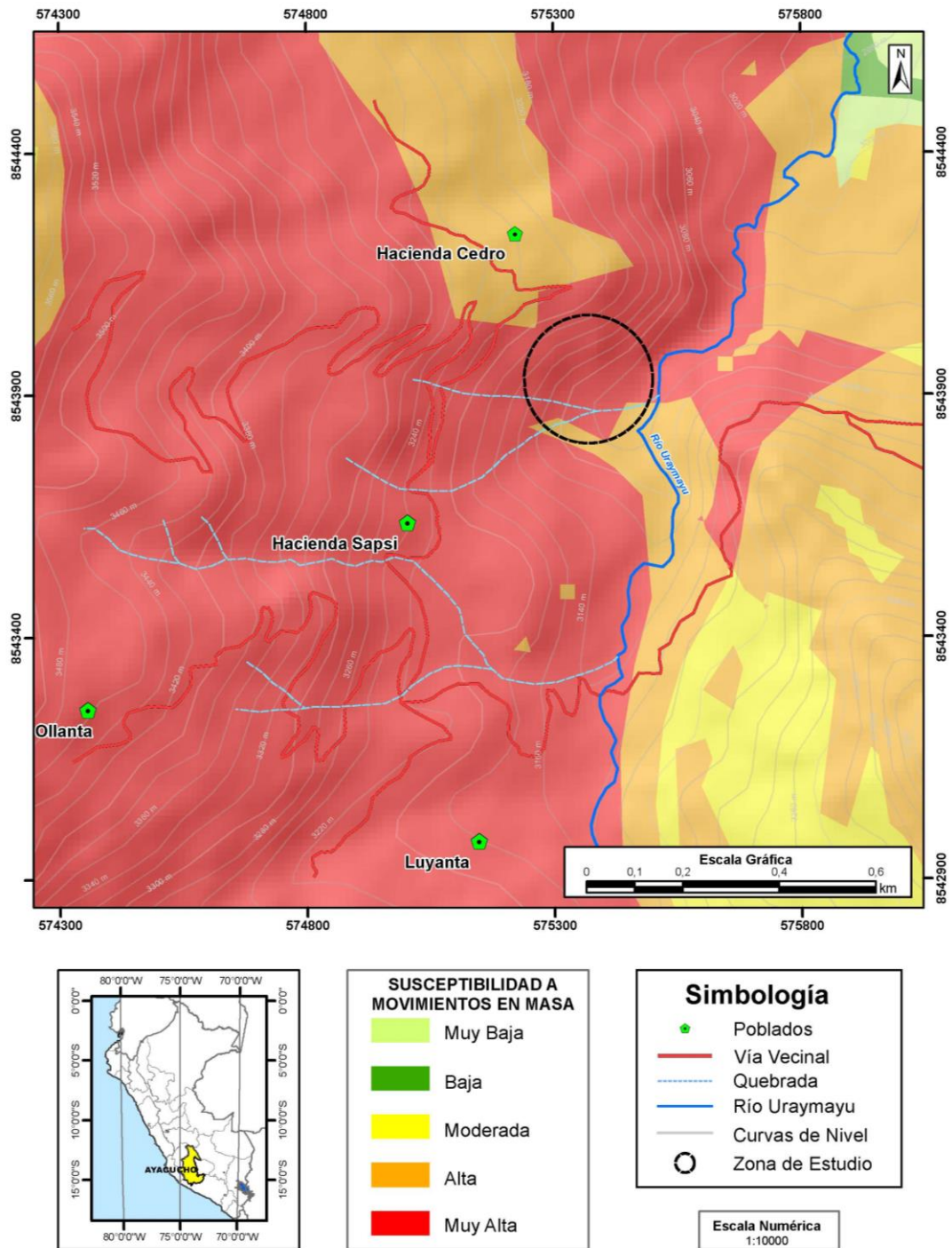


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa del centro poblado de Sapsi y alrededores. Fuente: Vilchez et al., 2019.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El centro poblado de Sapsi, políticamente pertenece al distrito de Socos, Provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho (figura 2), el cual se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	575000.00	8543700.00	-13.17	-74.31
2	575460.00	8544202.00	-13.16	-74.30
3	575780.00	8543920.00	-13.17	-74.30
4	575620.00	8543430.00	-13.17	-74.30
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	575330.00	8543990.00	-13.16	-74.30

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la población censada del centro poblado de Sapsi es de 236 habitantes, distribuidos en un total de 73 viviendas.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realizó por vía terrestre desde la oficina central de Ingemmet (Lima), hasta el centro poblado de Sapsi (Ayacucho), mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Ruta de acceso

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – San Clemente	Asfaltada	219	3 horas
San Clemente – Huaytará	Asfaltada	111	2 horas
Huaytará - Ayacucho	Asfaltada	218	4 horas 15 min
Ayacucho - Sapsi	Afirmada	22	50 min

A continuación, en la figura 2 observamos el mapa de ubicación de la zona afectada.

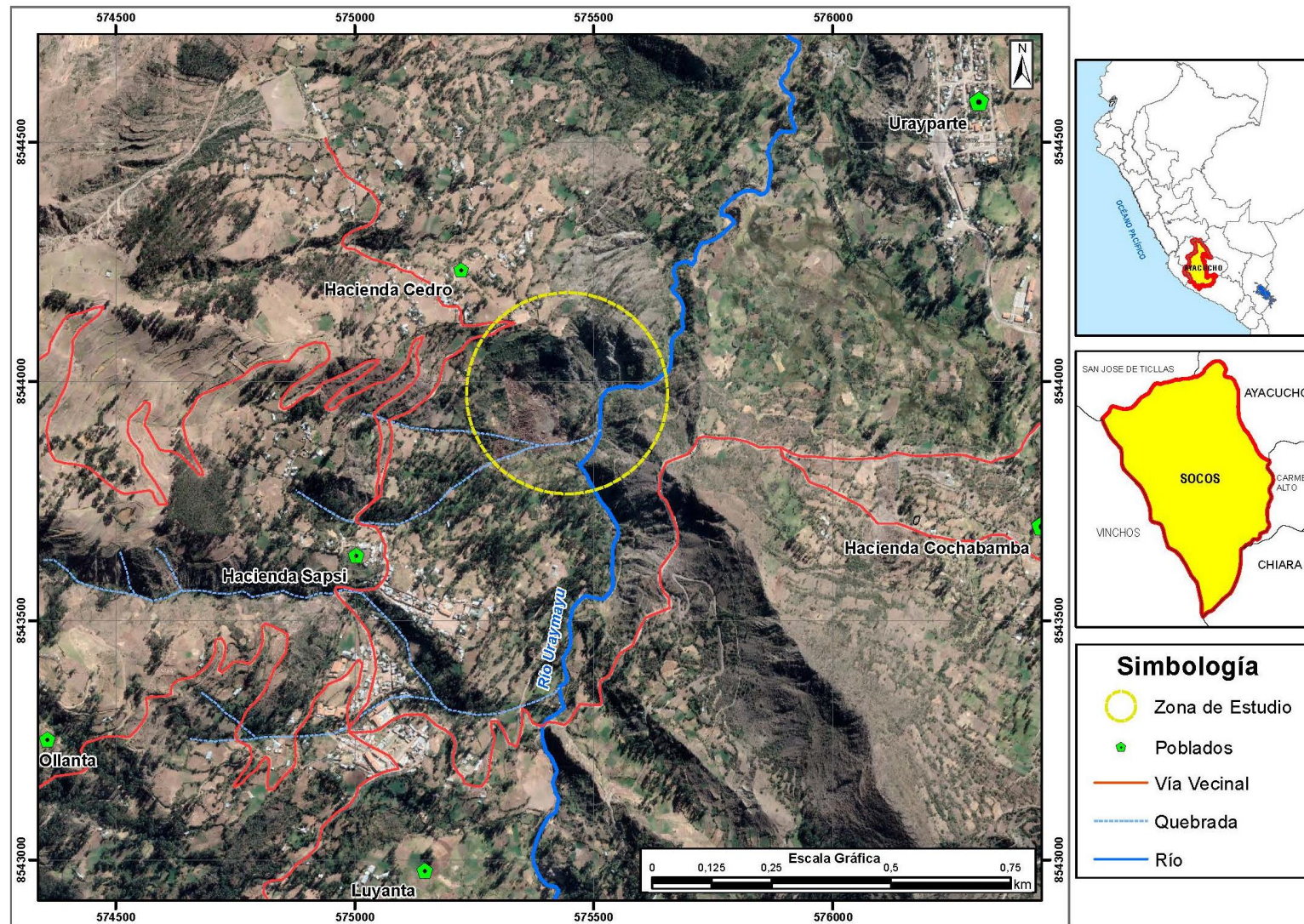


Figura 2: Ubicación del centro poblado de Sapsi y alrededores.

1.3.3. Clima

El clima en el distrito de Socos de acuerdo con la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020) C(r)B¹: caracterizado especialmente por tener un clima de tipo: Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado.

Localmente, este tipo climático cuyo relieve está formado por zonas altoandinas, con temperaturas bajas durante todo el año que varían entre 3 °C y 5°C, descendiendo en ocasiones a valores de 0 °C. La temperatura máxima anual oscila entre máxima de 18°C en verano y mínima de 3°C en invierno (figura 3).

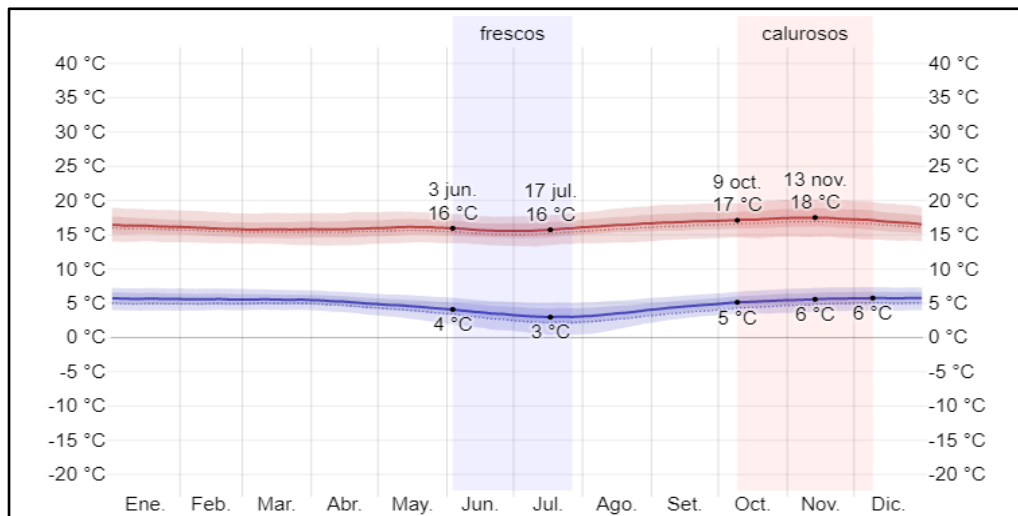


Figura 3. Temperaturas máximas (línea roja) y mínimas diarias (línea azul), promedio diario, para el distrito de Socos. **Fuente:** Weather Spark, 2021.

La precipitación pluvial es variable y está vinculada estrechamente a la altitud. La temporada de lluvia dura 7.2 meses, del 16 de setiembre al 21 de abril, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Socos es febrero, con un promedio de 74 milímetros de lluvia. en el último año 2021, podemos apreciar en promedio unos 50 mm. Las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen en un intervalo a lo largo del año, produciéndose generalmente de diciembre a marzo (figura 4).

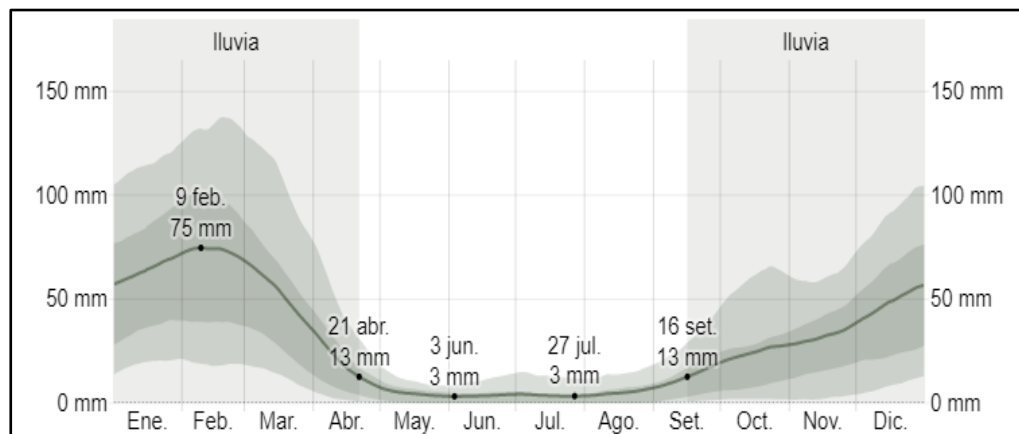


Figura 4. Precipitación promedio anual 2021. **Fuente:** Weather Spark, 2021.

1.3.4. Zonificación Sísmica

El territorio nacional se encuentra dividido en tres zonas, como se muestra en la figura 5. A cada zona se asigna un factor Z según se indica en el cuadro 3. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (DS No. 003-2016-VIVIENDA).

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

Cuadro 3. Factores de zona Z.

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

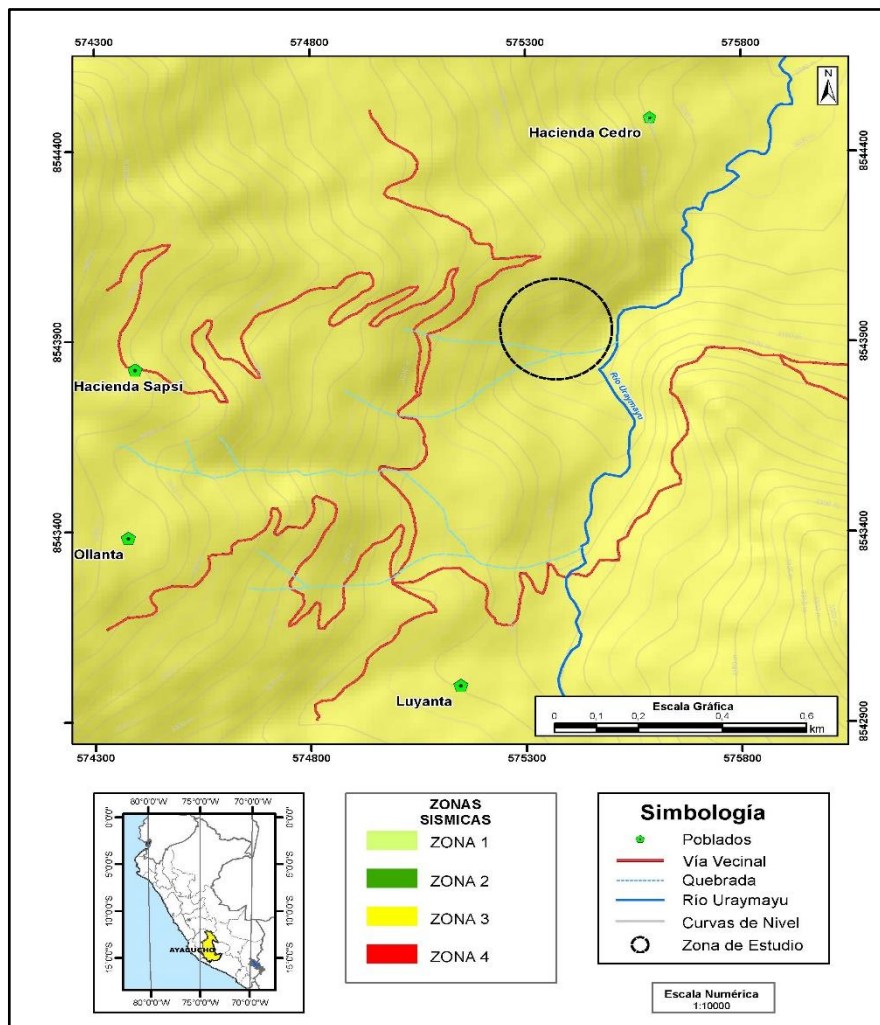


Figura 5. Zonificación sísmica del Perú. Fuente: Alva (1984).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología del área de estudio se desarrolló teniendo como base el mapa geológico del cuadrángulo de Ayacucho 27-ñ, escala 1:100 000 (Morche, W., et al., 1995) y la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huancavelica (27-ñ) Escala 1: 100 000” (Rodríguez, R. & Chacaltana, C., 2003); publicados por INGENMET.

Respecto al marco geológico, la zona comprende múltiples unidades geológicas, estas tuvieron fases tectónicas intensas y prolongadas, que sumados a otros factores convergen en una litología predispuesta a la ocurrencia de movimientos en masa.

Desde un enfoque geotécnico se analiza nuestra zona de estudio a partir de tres propiedades correspondientes a la matriz rocosa, las cuales son: identificación litológica, grado de meteorización y la resistencia del material, en este último punto los índices se propondrán a partir de fuentes bibliográficas.

El respectivo informe se sostiene con los trabajos de interpretación de imágenes de satélite, vuelos de dron y la inspección en campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

2.1.1. Formación Socos (Pe-so)

Según Vílchez, M., Ochoa, M. & Pari, W. (2019), refieren que está constituida por limoarcillitas y lodolitas intercaladas con areniscas y conglomerados, considerados rocas muy susceptibles a que sean afectadas por movimientos en masa. En la figura 6 se observa una ventana de esta Formación.

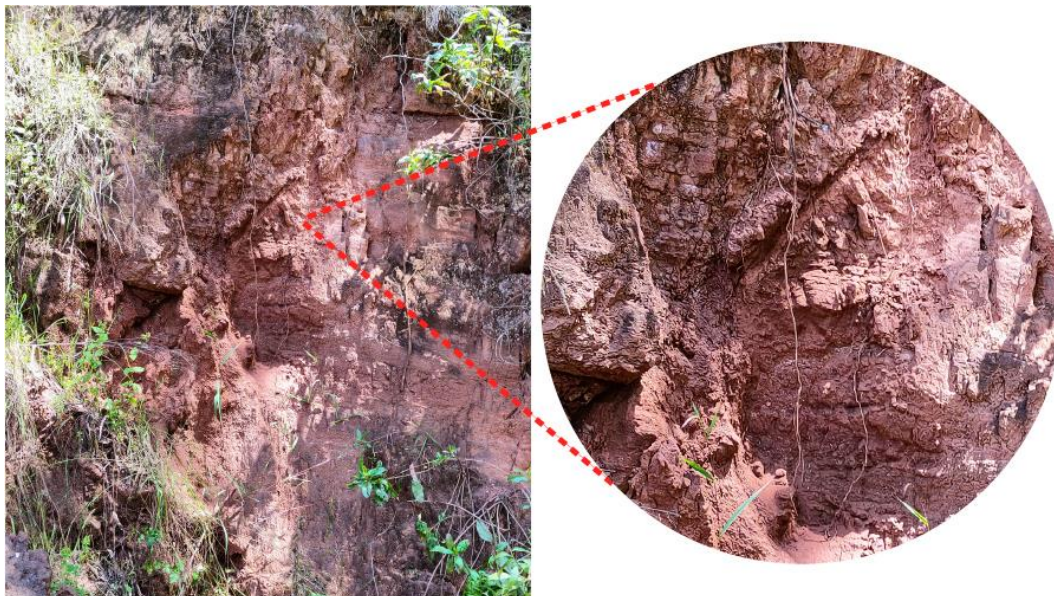


Figura 6. Ventana donde es visible la Fm. Socos, en la fotografía se observan sustratos rocosos conformado por un conglomerado de lodolitas en una matriz de limoarcillitas altamente meteorizadas.

Se evidencia además estratos de sulfatos, Morche, W. & et, al (1995) refieren que se intercalan capas de yeso entre los sedimentos finos alcanzando espesores notables en Ticllas, Socos y San Pedro de Cachi. En Ticllas el yeso se halla hacia la base de un

sinclinal y estratigráficamente sirve de nivel guía. A continuación, en la fotografía 1 se observa los niveles de yesos identificados en campo.



Fotografía 1. Estrato de yeso de 30 cm., se identifican presencia de selenita y halita.

El grado de meteorización según la clasificación de la ISRM para volcans sedimentario corresponde a SUELO RESIDUAL (V) - MUY METEORIZADAS (IV), la alteración de los materiales es de tipo ALTAMENTE DESCOMPUESTA por lo que se trata de rocas meteorizadas a suelos, conservándose la fábrica original. Los granos minerales están sin alterar, pero la roca es friable.

De acuerdo a la resistencia, los índices de campo según la ISRM tipifican nuestro material como ROCA MUY BLANDA (R_1) a ROCA EXTREMADAMENTE BLANDA (R_0), por lo cual podemos describir que las rocas se desmenuzan al golpear con la punta del martillo o en algunas zonas con los dedos, esto nos permite inferir que el rango de la resistencia a compresión simple del material comprende de 0.25 MPa – 5.0 MPa.

2.1.2. Formación Sallalli (Nm-sa)

La Fm. Sallalli que corresponde a una serie volcans-sedimentaria, según la Carta Nacional, hoja 27ñ. Rodríguez, R. & Chacaltana, César, refieren que esta Formación está constituida por una secuencia conglomerática correspondiente a abanicos aluviales, intercalada con algunos niveles de tobas blancas, intercalándose luego niveles de coladas andesíticas que pueden sobrepasar 100 m de espesor (fotografía 2).



Fotografía 2. Ventana donde es visible la Fm. Sallali, en la fotografía se observa una secuencia conglomerática de abanicos aluviales intercaladas con coladas andesíticas.

El grado de meteorización según la clasificación de la ISRM para esta litología volcánico sedimentario corresponde a ROCA MUY METEORIZADA (IV) a ROCA METEORIZADA (III), la alteración de la zona es DECOLORADA, se observan cambios en el color original de la roca debidos a la meteorización.

De acuerdo a la resistencia, los índices de campo tipifican nuestro material como ROCA BLANDA (R₂) a ROCA MODERADAMENTE DURA (R₃), por lo cual podemos describir que las rocas se tallan con dificultad con una navaja, al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas o puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo, esto nos permite inferir que el rango de la resistencia a compresión simple del material comprende de 5.0 MPa – 50 MPa.

2.1.3. Formación Huanta (Np-huar)

La Fm. Huanta se superpone a la Fm. Sallali, esta comprende conglomerados con clastos de volcánicos (fotografía 3) y matriz arenosa de color rojo o verde intercalado con arenas rojas y verdes (Neógeno Mioceno).

El grado de meteorización según la clasificación de la ISRM para volcánico sedimentario corresponde a SUELO RESIDUAL (V) - MUY METEORIZADAS (IV), la alteración de estos materiales va desde EXTREMADAMENTE DESCOMPUESTA a LIGERAMENTE DESINTEGRADA, por lo que se trata de rocas meteorizadas a suelos, conservándose la fábrica original. Los granos minerales están sin alterar, pero la roca es friable y algunos granos minerales están descompuestos.

De acuerdo a la resistencia, los índices de campo según la ISRM tipifican nuestro material como ROCA MUY BLANDA (R_1) a ROCA EXTREMADAMENTE BLANDA (R_0), por lo cual podemos describir que las rocas se desmenuzan al golpear con la punta del martillo o en algunas zonas con los dedos, esto nos permite inferir que el rango de la resistencia a compresión simple del material comprende de 0.25 MPa – 5.0 MPa.



Fotografía 3. Vista aérea de la Fm. Huanta, fotografía tomada por el dron.

2.1.4. Depósitos cuaternarios

Depósitos coluvio-deluvial (Q-cd):

Depósito inconsolidado constituido por bloques de gravas, gujarros con clastos de naturaleza litológica heterogénea, subangulosos a angulosos, envueltos en una matriz limo arenoso-arcilloso, acumulados al pie de laderas prominentes, como material de escombros que han sufrido transporte (figura 7).

Depósito coluvial (Qh-co)

Estos depósitos están inconsolidados, compuestos por fragmentos de roca angulosos de tamaños variables y de naturaleza litológica homogénea. Presentan nula o poca compactación y acumulados al pie de taludes escarpados (figura 8).

Depósito aluvial (Q-al):

Conformados por depósitos de gravas y arenas redondeados a subredondeados de forma discoidal; transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias (figura 10). Su granulometría está compuesta por bloques (20%), bolos (15%), gravas (30%), arenas (30%) y limos (5%); Formando parte de la llanura de inundación, así como de las terrazas fluviales; son de edad Cuaternario.



Figura 7. Depósitos coluvio deluvial formado por fragmentos de roca angulosos de tamaño variable envueltos en una matriz limoarcilloso.



Figura 8. Depósito coluvial al noreste del poblado de Sapsi.

Depósito fluvial (Q-fl):

Conformados por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz arenolimoso. Se le puede apreciar en el curso principal del río Ichu, formando parte de la llanura de

inundación, así como de las terrazas fluviales (figura 9 y 10). Su granulometría está compuesta por bloques (30%), gravas (30%), arenas (30%) y limos (5%).



Figura 9. Vista donde se puede observar los depósitos aluviales en la margen izquierda de la quebrada Intayahuayccoc.



Figura 10. Depósito fluvial conformado por material redondeado, ubicado en el río Uraymayu, fotografía tomada por el dron.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

En el anexo 1 – mapa 2, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS).

Del cual se puede determinar que el sector evaluado y alrededores se encuentran en una ladera cuyos rangos de pendiente van desde la conformación de terrenos llanos (0°-1°), pasan de inclinación suave (1°-5°) a pendiente moderada (5°-15°), conformando una amplia depresión de dirección norte sur, originada por la erosión fluvial y la actividad geodinámica. Así mismo se observa un cambio abrupto a terrenos de pendientes fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°) hasta llegar a terrenos muy escarpados (>45°), los cuales corresponde laderas de montañas, resultantes de una intensa erosión y desgaste de la superficie terrestre.

En promedio, la pendiente del sector evaluado se encuentra en una ladera cuyos rangos varían entre muy escarpado (>45°) a moderado (5°-15°), cuyas características principales se describen en el siguiente cuadro 4:

Cuadro 4. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
0°-1°	Llano	Comprende terrenos planos de las zonas de altiplanicie, extremos más distales de abanicos aluviales y torrenciales, bofedales, terrazas, llanuras de inundación fondos de valle y lagunas.
1°a 5°	Inclinación suave	Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen también a lo largo de fondos de valles, planicies y cimas de lomadas de baja altura, también en terrazas aluviales y planicies.
5°a 15°	Moderado	Laderas con inclinaciones entre 5° y 15° se consideran con susceptibilidad moderada a los movimientos en masa de tipo reptación de suelos, flujos de detritos. En este rango se asienta el centro poblado de Sapsi y se identificaron derrumbes en ambas márgenes de la quebrada Intayahuayccoc.
15°a 25°	Fuerte	Pendientes que se distribuyen principalmente en los bordes de abanicos aluviales, conos, piedemontes proluviales-aluviales y planicies.
25°a 45°	Muy fuerte	Se encuentran en laderas de colinas y montañas volcano sedimentarias, así como terrazas aluviales, que forman acantilados, vertientes de los valles. En este rango se generó el deslizamiento reciente y se tienen avalanchas de rocas antiguas.
>45°	Muy escarpado	Distribución a lo largo de laderas, cumbres de colinas y montañas sedimentarias, así como acantilados, donde se generaron la mayor cantidad de deslizamientos.

Fuente: Elaboración propia

3.2. Unidades geomorfológicas

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

En la zona evaluada y alrededores se observan las siguientes unidades y subunidades geomorfológicas:

Cuadra 5. Unidades y subunidades geomorfológicas

Unidades geomorfológicas de carácter tectónico degradacional y erosional	
Unidad	Subunidad
Montaña	Montañas en roca volcano sedimentaria (Rm-vs)
Unidades geomorfológicas de carácter depositacional o agradacional	
Unidad	Subunidad
Piedemonte	Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)
	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)
	Vertiente o piedemonte coluvial (V-co)
Planicie	Terraza aluvial (T-al)
	Abanico de piedemonte (Ab)

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

3.2.1. Subunidad de montañas en rocas sedimentarias (RM-rs)

Estas subunidades han sido levantadas por la actividad tectónica y su morfología actual depende de procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia-escorrentía, los glaciares y el agua de subsuelo, con fuerte incidencia de la gravedad. En estas montañas, el plegamiento de las rocas superficiales no conserva rasgos reconocibles de las estructuras originales, sin embargo, estas pueden presentar localmente laderas controladas por la estratificación de rocas sedimentarias, sin que lleguen a constituir cadenas montañosas.

El área evaluada corresponde a montañas en afloramientos de rocas sedimentarias de las formaciones Socos y Sallalli; sus relieves se encuentran asociados a procesos dominantes de erosión de ladera, derrumbes y deslizamientos. Se distribuyen en forma adyacente a las zonas de fuerte pendiente y se ubican al norte del centro poblado de Sapsi (figura 11).

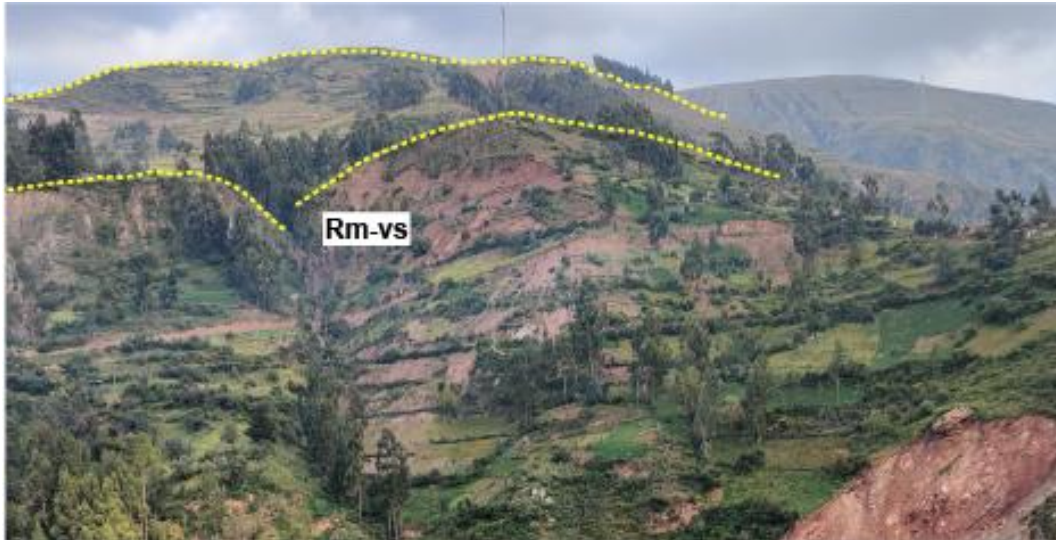


Figura 11. Vista con dirección al NW, donde se observa montañas en rocas sedimentarias (Rm-vs) de la Formación Sallalli y Socos, ubicada al oeste del centro poblado de Sapsi.

Unidad de Piedemonte: Esta unidad son resultado de procesos geomorfológicos constructivos determinados por fuerzas de desplazamiento como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía, los glaciares, las corrientes marinas, las mareas y los vientos, los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados

3.2.2. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd)

Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial (acarreados y acumulados por efecto de la gravedad) y deluvial (acumulación de material al pie de laderas, depositados por flujos de agua que lavan materiales sueltos de las laderas). Se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales, estos se acumulan al pie de laderas de montañas o acantilados de valles. Se pueden asociar geodinámicamente a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo movimientos complejos, reptación de suelos, avalancha de detritos y flujos de detritos (figura 12).

3.2.3. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Son 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, son depósitos de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles.

Su morfología es cóncava y su disposición es elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa, también se incluye deslizamientos en procesos de formación cuya escarpa ya ha definido un cuerpo, que tienen avance lento (figura 13).

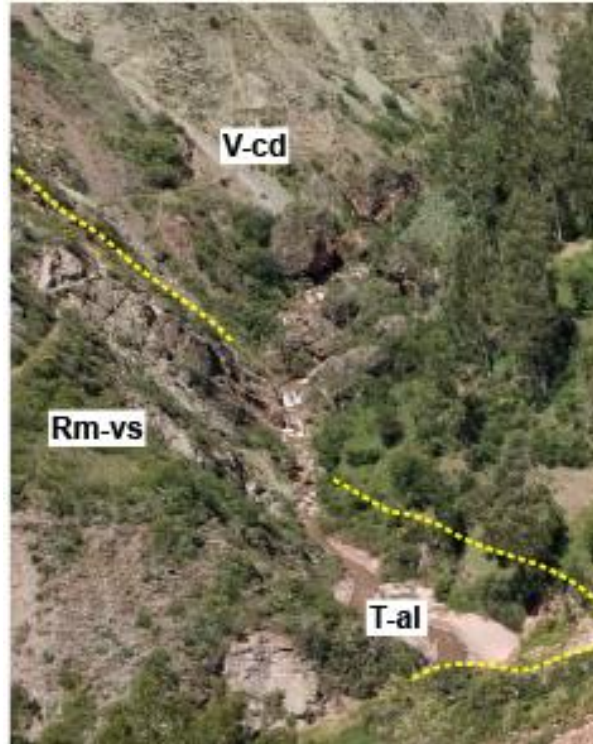


Figura 1. En la margen derecha del río Uraymayu, se delimitó con líneas de color amarillo a la terraza aluvial en la parte inferior; así como en la parte alta a montañas de roca volcánica sedimentaria y vertiente coluvio-deluvial.

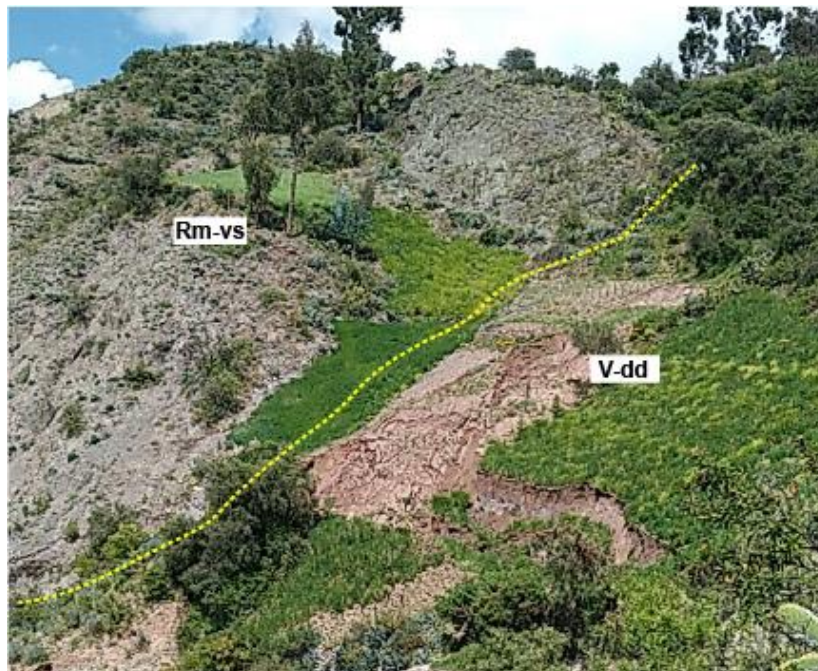


Figura 13. Vista de subunidad vertiente con depósito de deslizamiento, ubicada en el centro poblado de Cedro.

3.2.4. Subunidad de vertiente coluvial (V-co)

Son aquellos depósitos que se encuentran acumulados al pie de laderas, como material del escombro constituido por fragmentos rocosos angulosos heterométricos

y de naturaleza litológica homogénea. Los depósitos de esta unidad carecen de relleno, son sueltos sin cohesión, conformando taludes de reposo poco estables (figura 14).



Figura 14. Vista con dirección al NW donde se delimitó la vertiente coluvial (con líneas de color amarillo).

3.2.5. Subunidad de Terraza aluvial (T-al)

Son porciones de terreno que se encuentran dispuestas a los costados de las llanuras de inundaciones o del lecho principal del río Ichu, a mayor altura, presentan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido disectadas por las corrientes como consecuencia de profundización del valle. Sobre estos terrenos se desarrollan actividades agrícolas.

3.2.6. Subunidad Abanico de piedemonte (Ab)

Es una forma del relieve depositacional originado en la base o pie de un frente montañoso, asociada a la descarga de sedimentos de un curso de agua (río o quebrada), drena desde un área topográficamente elevada a un área baja y plana adyacente. Esta subunidad se encuentra al pie de la quebrada Molinuyoc (figura 15).

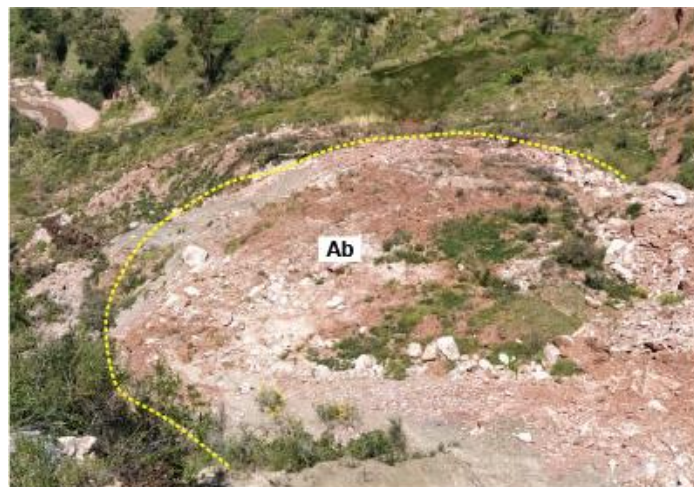


Figura 25. En la base de la montaña, se delimitó con líneas el abanico de la quebrada Intayahuayccoc.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el centro poblado de Sapsi, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento, avalancha de rocas, reptación, derrumbe y erosión de laderas (PMA: GCA, 2007).

Este movimiento en masa, tienen como causas o condicionantes, factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, pendiente del terreno, tipo de roca, tipo de suelos, drenaje superficial–subterráneo y cobertura vegetal. Se tiene como “**desencadenante**” de estos eventos la baja capacidad portante de la litología, las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, la actividad agrícola en las laderas que permite la infiltración de agua hasta los niveles de sulfatos lo cual desestabiliza el talud hasta su colapso.

Los peligros geológicos identificados en la zona inspeccionada y sus alrededores se presentan en el anexo 1 – mapa 4.

Para la caracterización de los eventos geodinámicos, se realizó en base a la información obtenida de los trabajos de campo, en donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico, basado en la observación y descripción morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel de terreno y del levantamiento fotogramétrico con dron, de donde se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.45 cm y 0.03 cm por pixel, respectivamente.

En la zona de estudio se han identificaron y caracterizaron los siguientes peligros geológicos:

4.1. Reactivación del deslizamiento en Timpusqa ocurrido el 08/01/2022

El 8 de enero del 2022, aproximadamente a las 05:30 horas, a consecuencias de las intensas lluvias se produjo un deslizamiento (figuras 16 y 17).

El deslizamiento es de tipo rotacional, presenta una escarpa principal con longitud de 72 m, salto de 7 m aproximado, con una distancia entre escarpa y el pie de deslizamiento de 180 m, ubicado entre las coordenadas UTM 8544008 N, 575330 E, con una altitud de 3160 m s.n.m (figura 18).

Este deslizamiento se generó en la ladera de la montaña Timpusqa, con lo cual produjo el asentamiento de terreno que afectó 2 ha. en los campos de cultivo de los pobladores de Sapsi.

El deslizamiento generó las siguientes afectaciones en infraestructuras, las que se detallan a continuación:

Cuadro 6: Afectaciones generadas por el deslizamiento del 16/01/2021

INFRAESTRUCTURA	COORDENADAS UTM-WG84			Afectación (m)
	NORTE	ESTE	COTA	
Campos de cultivo	8544040	575300	3195 m s.n.m.	2 ha.



Figura 16. Vista del deslizamiento ocurrido en enero del 2021, se delimito la escarpa de color amarilla.

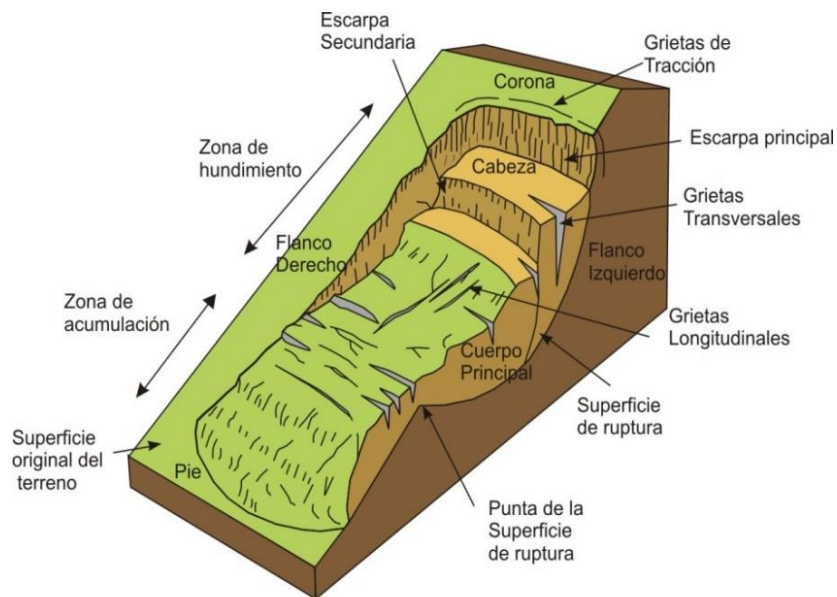


Figura 17. Esquema de un deslizamiento rotacional donde se muestran sus diferentes partes.



Figura 18. Imagen tomada con el dron, donde puede apreciarse el deslizamiento (delimitado con línea punteada de color amarillo), que afectó los campos de cultivo en el sector denominado por los pobladores como Timpusqa; agrietamientos con dirección NE, con líneas punteadas de color rojo en los campos de cultivo.

A 5 m de la escarpa del deslizamiento se observaron agrietamientos transversales con longitudes de hasta 4 m, profundidades visibles de hasta 50 cm., separaciones entre 0.5 cm a 40 cm., con saltos de hasta 0.30 cm (figura 19).



Figura 19. Agrietamientos transversales de hasta 4 m de longitud, ubicada a 5 m del deslizamiento rotacional, con dirección NW-SE, con saltos de 0.30 cm.

Se muestra la evolución del deslizamiento usando imágenes satelitales de los años 2008, 2013, 2017, 2019 y 2021; obtenidas de la plataforma Google Earth (figura 20). Donde se observa que el deslizamiento se generó a partir del 2019.

Algunos pobladores indicaron que, como producto de la construcción de la nueva carretera asfaltada, generó el deslizamiento en medio del cuerpo de una avalancha de rocas, cabe mencionar que, en el estudio “Peligro Geológicos en la Región Huancavelica” (Vílchez et al., 2019); ya se había identificado en la zona, la avalancha de rocas con el Código de inventario: 37807; donde indicaron que dicho evento podría afectar el tramo de la carretera afirmada Km 3+900 y algunas viviendas.

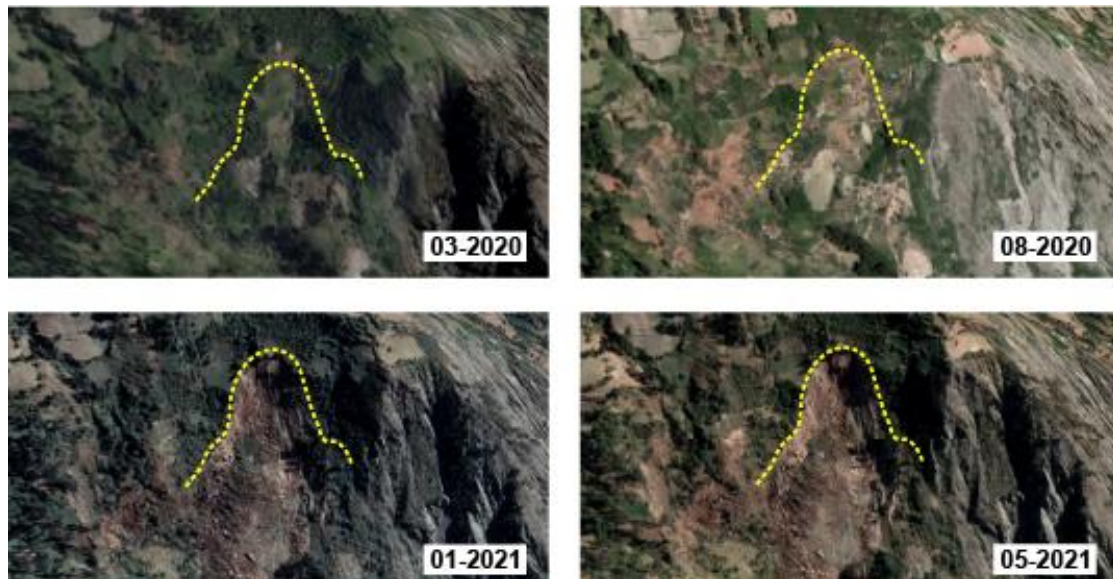


Figura 20. Evolución del deslizamiento ocurrido el 8 de enero del 2022, en donde se observa el avance del mismo; cabe mencionar que la zona afectada forma parte de un terreno agrícola con sistema de riego por goteo, este es el factor principal de la desestabilización de la ladera, filtrando agua al terreno continuamente y en el material permeable se generó el deslizamiento.

4.1.1. Características visuales del evento

El deslizamiento ocurrido en la comunidad campesina de Sapsi, presenta la siguientes características y dimensiones:

- Estado de la actividad del movimiento: Activo
- Deslizamiento de tipo: Rotacional
- Forma de la escarpa principal: Semicircular.
- Superficie de rotura: Semicircular y alargada.
- Longitud de la escarpa: 75 m.
- Desnivel entre escarpa y pie: 240 m.
- Salto de escarpa principal, comprendido entre: 5 a 7 m

En el pie del deslizamiento se observó emanación de agua subterránea, según indican los pobladores esta apareció 6 meses antes del deslizamiento (fotografía 21).



Figura 21. Se observa emanación de agua en el pie del cuerpo del deslizamiento, esta se debe a la percolación por el sistema de riego y ayudo a desencadenar el evento.

4.1.2. Factores condicionantes

- Pendiente pronunciada de la ladera, muy escarpada (25° a 45°).
- Configuración geomorfológica del área (montaña en roca volcano sedimentaria), en esta unidad se observa mayor frecuencia de erosión de laderas y presencia de movimientos en masa, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y depósitos de deslizamientos.
- Litología conformada por conglomerados y un estrato de fosfatos.

4.1.3. Factores detonantes y desencadenantes

- PRECIPITACIONES: Lluvias intensas y/o excepcionales de 100 mm entre los meses de diciembre a marzo, que saturan los terrenos y los desestabilizan.
- GEOMETRIA DEL TERRENO: Las elevadas pendiente de la zona de estudio genera una alta susceptibilidad a ocurrencia de deslizamientos.
- NIVEL DE FOSFATOS: Se encuentra bajo la superficie un nivel de yesos, con presencia de selenita, halita y más minerales.

4.1.4. Daños por peligros geológicos

Deslizamiento reactivado:

- Afectó 2 ha. de campos de cultivo de los pobladores de Sapsi.
- Podría afectar las 6 casas aledañas a la plaza principal.
- Podría afectar la plaza principal del centro poblado Cedro.

4.2. Reptación en los campos de cultivo, ladera de Timpusqa.

Dentro de los campos de cultivo en Timpusqa se identificó la reptación en los campos de cultivo, en la margen izquierda de la quebrada Intayahuayccoc, presentan salto en secuencia paralela con dirección NW-SE, con una separación entre ellas de 5 m.; ubicada entre las coordenadas UTM 8543965N, 575265E con una altitud de 3194 m s.n.m.; este evento está afectando alrededor de 2 ha (figuras 22, 23 y 24).

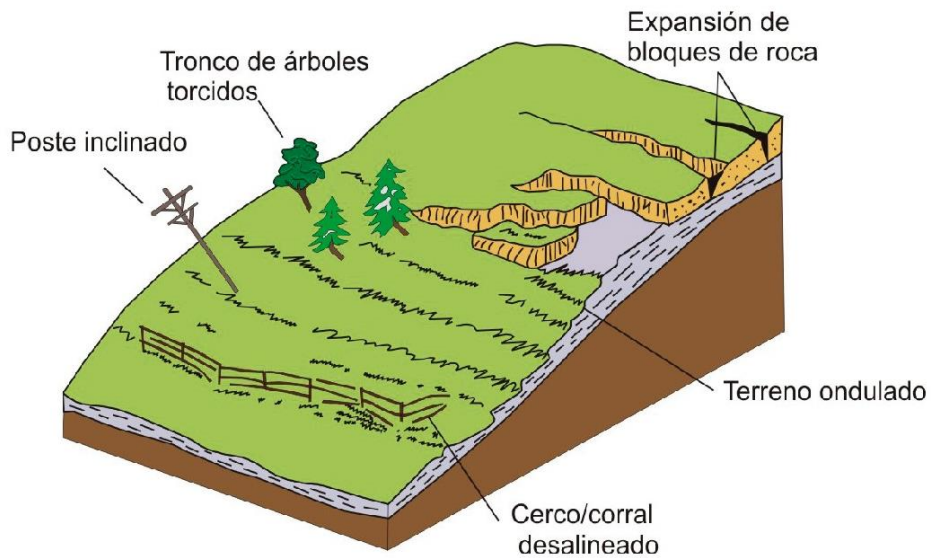


Figura 22. Esquema de un evento de reptación.

Fuente: INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N°69



Figura 23. En la fotografía es posible observar con una línea punteada los planos de deslizamiento cuasi perpendiculares. Al costado se hace una ampliación donde se observa el árbol quebrado.



Figura 24. Se observa con líneas punteadas grietas en el terreno, además un terreno ondulado en los campos de cultivo.

4.2.1. Factores condicionantes

- Configuración geomorfológica del área (montaña en roca volcánico sedimentaria), en esta unidad se observa mayor frecuencia de erosión de laderas y presencia de movimientos en masa, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y depósitos de deslizamientos.
- GEOMETRIA DEL TERRENO: Pendiente del terreno pronunciada, de fuerte (15° a 25°) a muy escarpada (25° a 45°). Las elevadas pendiente de la zona de estudio genera una alta susceptibilidad a ocurrencia de deslizamientos.
- NIVEL DE FOSFATOS: Litología conformada por conglomerados con niveles potentes de fosfatos. Esta se encuentra bajo la superficie un nivel de yesos, con presencia de selenita, halita, entre otros minerales.

4.2.2. Factores detonantes

- PRECIPITACIONES: Lluvias intensas y/o excepcionales de 100 mm entre los meses de diciembre a marzo, que saturan los terrenos y los desestabilizan.
- Movimientos telúricos o sismos que actúan a favor de la desestabilidad de la ladera.

4.2.3. Factores antrópicos

- PERCOLACIÓN: En consecuencia, de la actividad agrícola, la percolación del agua de riego por goteo llega a los niveles de fosfatos, esto activa el deslizamiento en masa del terreno.

4.2.4. Daños por peligros geológicos

- Afecta 4 ha. de terrenos de cultivo
- Podría afectar la vía vecinal que conecta Sapsi con Cedro.

4.3. Reactivación del deslizamiento en Cedro ocurrido el 18/05/2022

En el estudio: “Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N°70, Región Ayacucho” (Vílchez et al., 2019), identificaron esta zona con ALTA SUCEPTIBILIDAD a la ocurrencia de peligros geológicos.

El deslizamiento es de tipo rotacional, presenta múltiples escarpas, la principal de 70 m de longitud, salto de 3 m aproximado, con una distancia entre escarpa y el pie de deslizamiento de 120 m, ubicado entre las coordenadas UTM 8544355 N, 575487 E con una altitud de 3181 m.s.n.m. (figura 25).



Figura 25. Vista donde observa de color amarillo en línea punteada escarpa del deslizamiento de 70 m. con un salto de 3 m.

En horas de la madrugada del día 19 de abril los pobladores de Cedro se percataron del deslizamiento ocurrido la noche anterior, este evento se desencadenó en los terrenos de cultivos de pobladores de la localidad, además afectó una vía vecinal y pone en muy alto peligro 4 casas como se aprecia en la figura 26.

4.3.1. Factores condicionantes

- Pendiente del terreno pronunciada, muy escarpada (25° a 45°).
- Configuración geomorfológica del área (montaña en roca volcánica sedimentaria), en esta unidad se observa mayor frecuencia de erosión de laderas y presencia de movimientos en masa, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y depósitos de deslizamientos (figura 27).
- Litología conformada por conglomerados con niveles potentes de fosfatos.



Figura 26. Se observan 4 casas ubicadas sobre la corona del deslizamiento.



Figura 27. En el cuerpo del deslizamiento se observa de color rojo una grieta transversal, esta corta un escarpe secundario delineado con línea punteada de color amarillo.

4.3.2. Factores detonantes

- **PRECIPITACIONES:** Lluvias intensas y/o excepcionales de 100 mm entre los meses de diciembre a marzo, que saturan los terrenos y los desestabilizan.

- **GEOMETRIA DEL TERRENO:** Las elevadas pendiente de la zona de estudio genera una alta susceptibilidad a ocurrencia de deslizamientos.
- **NIVEL DE FOSFATOS:** Se encuentra bajo la superficie un nivel de yesos, con presencia de selenita, halita, entre otros minerales.

4.3.3. Factores antrópicos

- **PERCOLACIÓN:** En consecuencia, de la actividad agrícola, la percolación del agua de riego por goteo llega a los niveles de fosfatos, esto activa el deslizamiento en masa del terreno.

4.2.4. Daños por peligros geológicos

Deslizamiento reactivado:

- Afectó 3 ha. de campos de cultivo de los pobladores de Cedro.
- Afectó la vía vecina que conecta Cedro con sus campos de cultivos.
- Podría afectar las 4 casas ubicadas sobre la corona del deslizamiento.

4.4. Otras ocurrencias

Actualmente, la única vía vecinal tiene una alta susceptibilidad de deslizamiento como se observa en la figura 28, en la imagen de la izquierda se puede apreciar grietas en las laderas que desencadenaran en un deslizamiento, que pone en peligro muy alto a los poblados de Sapsi y Cedro. En la imagen de la derecha se observa un deslizamiento ya ocurrido, este evento afectó la conexión del sistema de riego. Las vías generadas por los pobladores sin criterio técnico, como comentan ellos, agregan mayor susceptibilidad a la ocurrencia de peligros geológicos, al socavar las laderas y sumado a ello la poca capacidad portante del material, genera un efecto que pone en alto riesgo estas vías vecinales y a los vehículos que transiten por el mismo.



Figura 28. Vista aérea donde se observan los deslizamientos y grietas en un tramo de la vía vecinal, afectó un carril. En la imagen de la izquierda es un evento a deslizarse y en la imagen de la derecha es un deslizamiento ya ocurrido.

5. CONCLUSIONES

- 1) En los centros poblados de Sapsi y Cedro, se identificaron peligros geológicos por movimientos en masa (deslizamiento, reptación, caída de rocas y derrumbes), como también procesos de erosión de laderas.
- 2) La reactivación del deslizamiento de Sapsi se generó el 8 de enero del 2022, aproximadamente a las 05:30 horas; en forma rotacional, presenta una escarpa principal 72 m, con salto de 5 - 7 m y un desnivel entre la escarpa y el pie de 180 m; afectó 2 ha. de campos de cultivos; y podría afectar la vía vecinal Sapsi-Cedro como también podría generar el colapso de la plaza de Cedro.
- 3) La reactivación del deslizamiento de Cedro se generó el 18 de abril del 2022 en horas de la madrugada; es de tipo rotacional y presenta una escarpa principal 70 m, con salto de 2 - 3 m y un desnivel entre la escarpa y el pie de 120 m; afectó campos de cultivos en 3 ha. y la vía vecinal que conecta Cedro con los campos de cultivo ladera abajo, podría generar el colapso de las 4 viviendas ubicadas muy próximas a la corona del deslizamiento.
- 4) Las rocas en la zona evaluada y alrededores, son de origen volcánico sedimentario, conformado por las formaciones Socos y Sallali; están constituidas por limoarcillitas y lodolitas intercaladas con areniscas y conglomerados, meteorizadas según la clasificación de la ISRM como SUELO RESIDUAL (V) - MUY METEORIZADAS (IV) con una alteración de tipo ALTAMENTE DESCOMPUESTA, estas rocas geotécnicamente se clasifican como ROCA MUY BLANDA (R1) a ROCA EXTREMADAMENTE BLANDA (R0) por lo que tendrían índices de resistencia a compresión simple entre 0.25 MPa. 5.0 MPa.; más del 50% esta desintegrada a suelo, lo que permitiría la filtración de agua que desestabiliza la ladera.
- 5) Geomorfológicamente, la zona de estudio se encuentra en vertientes con depósitos de deslizamiento y coluvio-deluvial, circundadas con montañas de rocas volcánicas sedimentarias, las laderas presentan pendientes fuertes (15°-25) a muy fuerte (25°-45°), y la parte baja corresponde a abanicos de pie de monte (5°-15°) donde se ubican las vertientes de depósito, coluvio-deluvial y terrazas fluviales.
- 6) El sector Timpusqa, perteneciente a el centro poblado de Sapsi y el centro poblado de Cedro se asienta sobre depósitos coluvio-deluviales, con ALTA SUCEPTIBILIDAD a ocurrencia de peligros geológicos, las mismas que fueron identificadas e inventariadas en el estudio: “Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N°70 Región Ayacucho” (Vilchez et al., 2019).
- 7) Se considera como factor desencadenante la percolación de las aguas usadas en el sistema de riego por goteo, estas filtran hacia los niveles de sulfatos que por reacción química eleva la presión de hinchamiento de este nivel y por ende bajan su capacidad portante, ello desestabiliza el material que soporta y en consecuencia ocurren los colapsos de terreno.

- 8) Por las condiciones geodinámicas (presencia de movimientos en masa y procesos de erosión de laderas), geológicas (tipo de roca), la configuración geomorfológica (laderas con pendiente fuerte a muy escarpado); y la presencia de agrietamientos, se considera a el centro poblado de Cedro de **Peligro Muy Alto** y como **Zona Crítica**, donde se pueden producir nuevas reactivaciones de movimientos en masa y la progresión de las ya ocurridas.
- 9) Con respecto a lo antes mencionado, cabe recalcar que el perímetro del centro poblado de Cedro, se encuentra 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.



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



Ing. Segundo Núñez Juárez

6. RECOMENDACIONES

Para la zona del deslizamiento del 08 de enero de 2022

- 1) Reubicar las viviendas y campos de cultivos que están en los de 300 m. alrededor de la corona de deslizamiento.
- 2) Reubicar las viviendas y campos de cultivos que están en los de 100 m. alrededor de la plaza de Cedro.
- 3) Reubicar las zonas agrícolas y evitar el riego en estas zonas agrícolas de ALTA SUCEPTIBILIDAD.
- 4) Prohibir la construcción de nuevas viviendas en las laderas de Timpusqa y Cedro.
- 5) Realizar la captación y la derivación de las aguas de manantiales que se encuentran en el cuerpo del deslizamiento y aledañas; estas aguas deberán ser conducidas por medio de canales revestidos hacia cauces naturales (quebradas).
- 6) Prohibir la construcción de nuevas carreteras sin sustento técnico en las laderas de Timpusqa y Cedro.
- 7) Si continúa la expansión de las grietas; se debe considerar la propuesta de hacer un nuevo trazo de la vía, para el cual es importante realizar estudios geotécnicos previos a la construcción de infraestructura.

Para la zona del deslizamiento del 18 de abril del 2022

- 1) Reubicar las viviendas y campos de cultivos que están en los de 200 m. alrededor de la corona de deslizamiento.
- 2) Implementar y realizar el monitoreo a través de puntos topográficos como apoyo y control para mediciones topográficas del movimiento del deslizamiento.
- 3) Modificar la geometría del talud y ubicar drenes californianos para desaguar el agua infiltrada en las laderas.
- 4) Realizar trabajos de sensibilización en temas de peligros geológicos masa y gestión del riesgo de desastres.
- 5) Reubicar las zonas agrícolas y evitar el riego en estas zonas agrícolas de ALTA SUCEPTIBILIDAD.
- 6) Prohibir la construcción de nuevas carreteras sin sustento técnico en las laderas de Timpusqa y Cedro.

7. BIBLIOGRAFÍA

Abad, L. O. ESTABILIDAD DE TALUDES EN SUELOS.

Bañón, L., & Beviá García, J. F. (2000). Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto. Caminos I.

Dirección de Geología Ambiental (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú-Franja N° 3. INGEMMET, *Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 28, 373 p.

Iqbal, M. J., & Mohanty, B. (2007). Experimental calibration of ISRM suggested fracture toughness measurement techniques in selected brittle rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40(5), 453-475.

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

Morche, W., Albán Avila, C. A., De la Cruz Wetzell, J. S., & Cerrón Zeballos, F. (1995). Geología del cuadrángulo de Ayacucho. Hoja: 27-ñ-[Boletín A 61].

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Rodriguez, . & Chacaltana, V. (2013) - Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho (27-ñ), Escala 1: 50 000 Ingemmet.

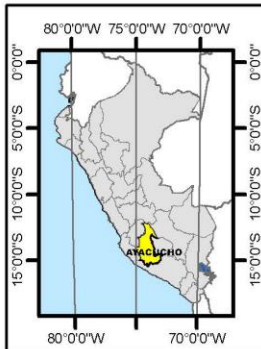
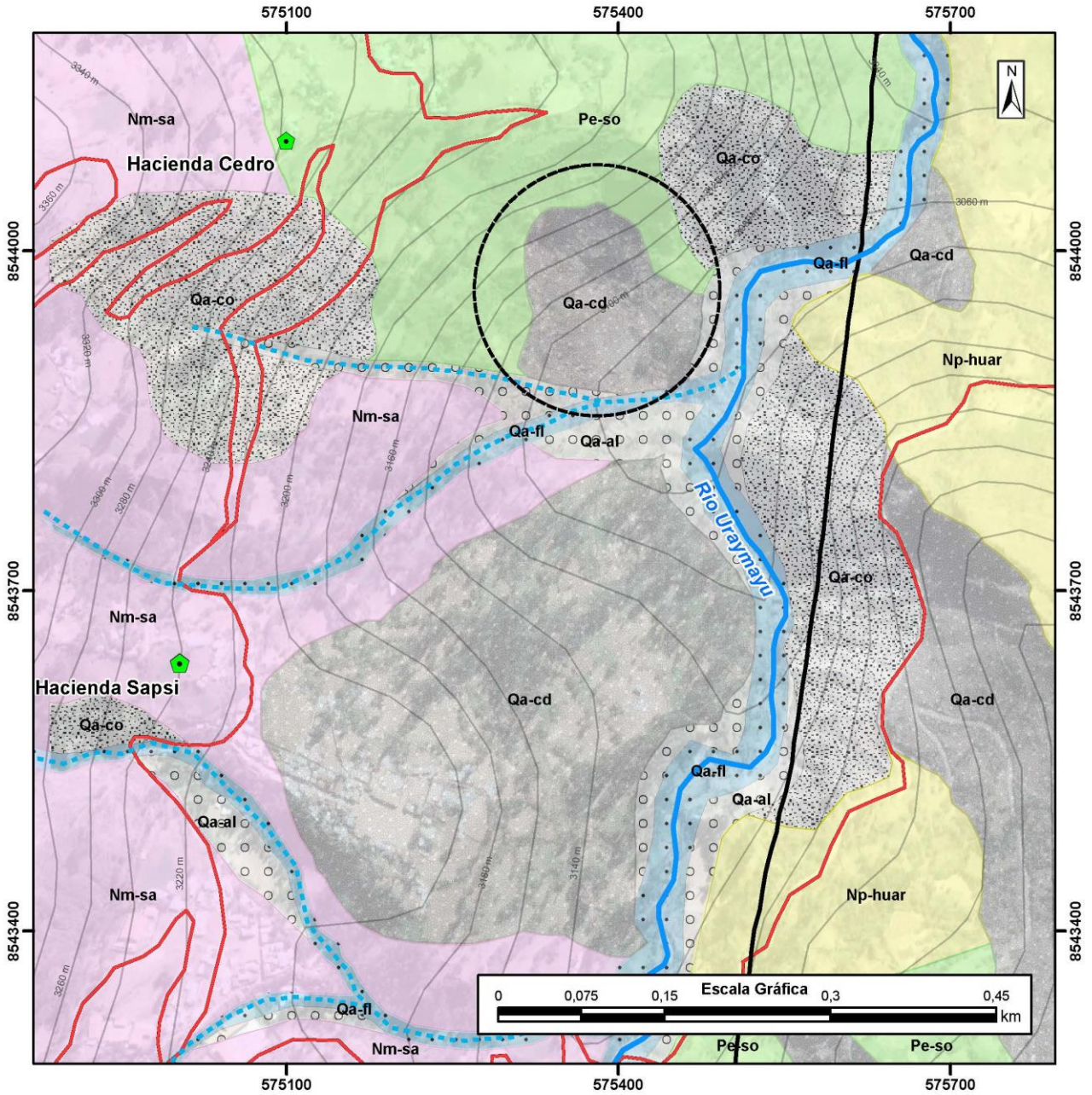
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2020) – SENAMHI. (consulta: enero 2022). <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.

Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2016). Estabilidad taludes, conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. *Revista civilizate*, (7), 50-54.

Vilchez, M.; Ochoa, M. & Pari, W. (2019) - Peligro geológico en la región Ayacucho. INGEMMET, *Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 69, 225 p., 9 mapas.

Vílchez Mata, M. S., & Ochoa Zubiarte, M. B. (2014). Zonas críticas por peligros geológicos en la región Ayacucho.

ANEXO 1: MAPAS



LEYENDA			
SIMBOLOGÍA	ERA	SISTEMA	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS
			Depósito aluvial
			Depósito coluvial
			Depósito fluvial
			Depósito coluvio-deluvial
			Fm. Huanta
			Fm. Sallali
			Fm. Socos
	CENOZOICA	CUATERNARIO	
		NEÓGENO	
	PALEÓGENO		

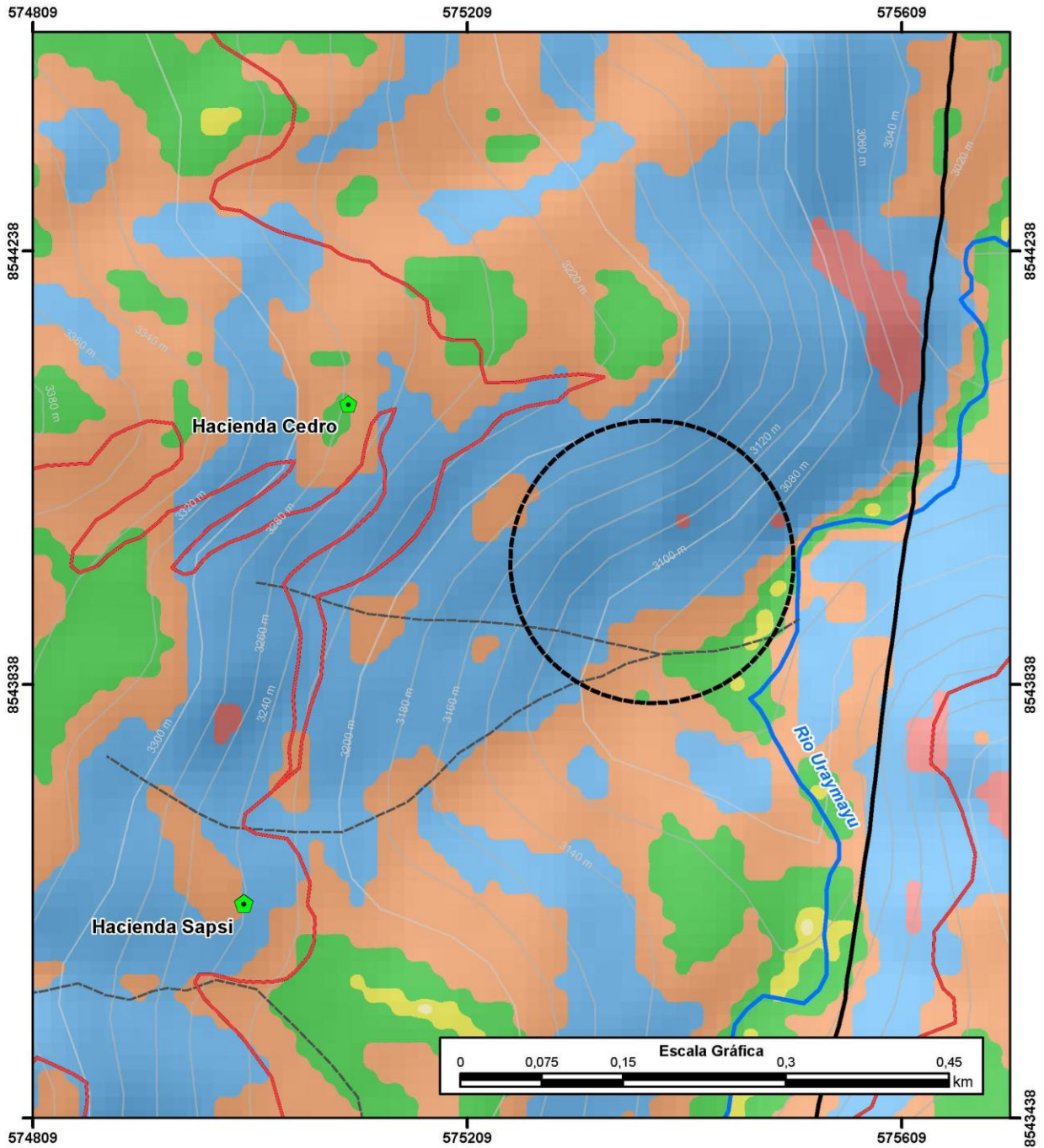
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

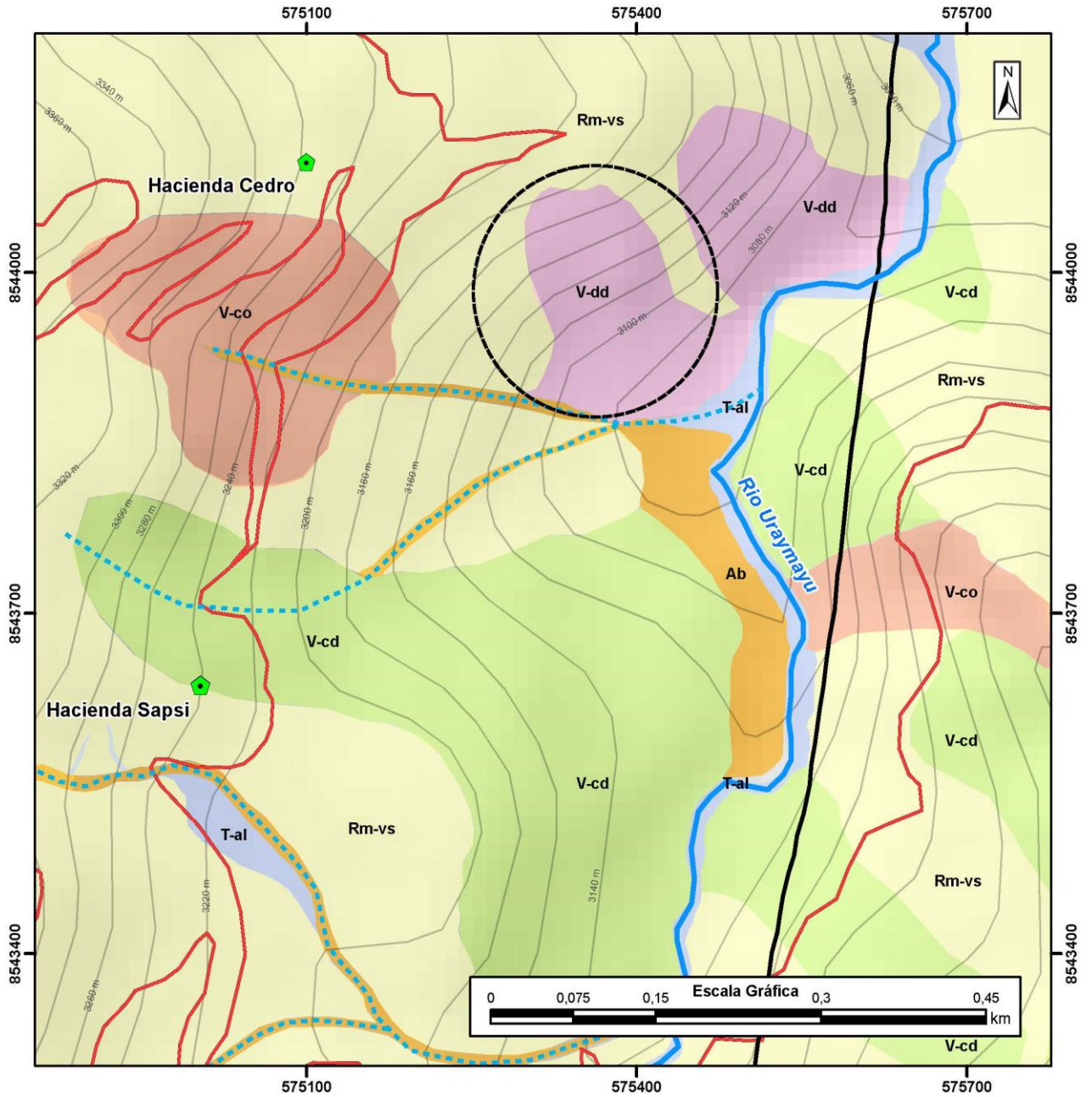
DEPARTAMENTO AYACUCHO
 PROVINCIA HUAMANGA
 DISTRITO SOCOS

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL CENTRO POBLADO SAPSI & CEDRO

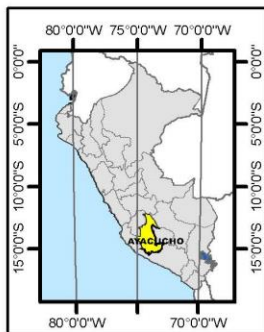
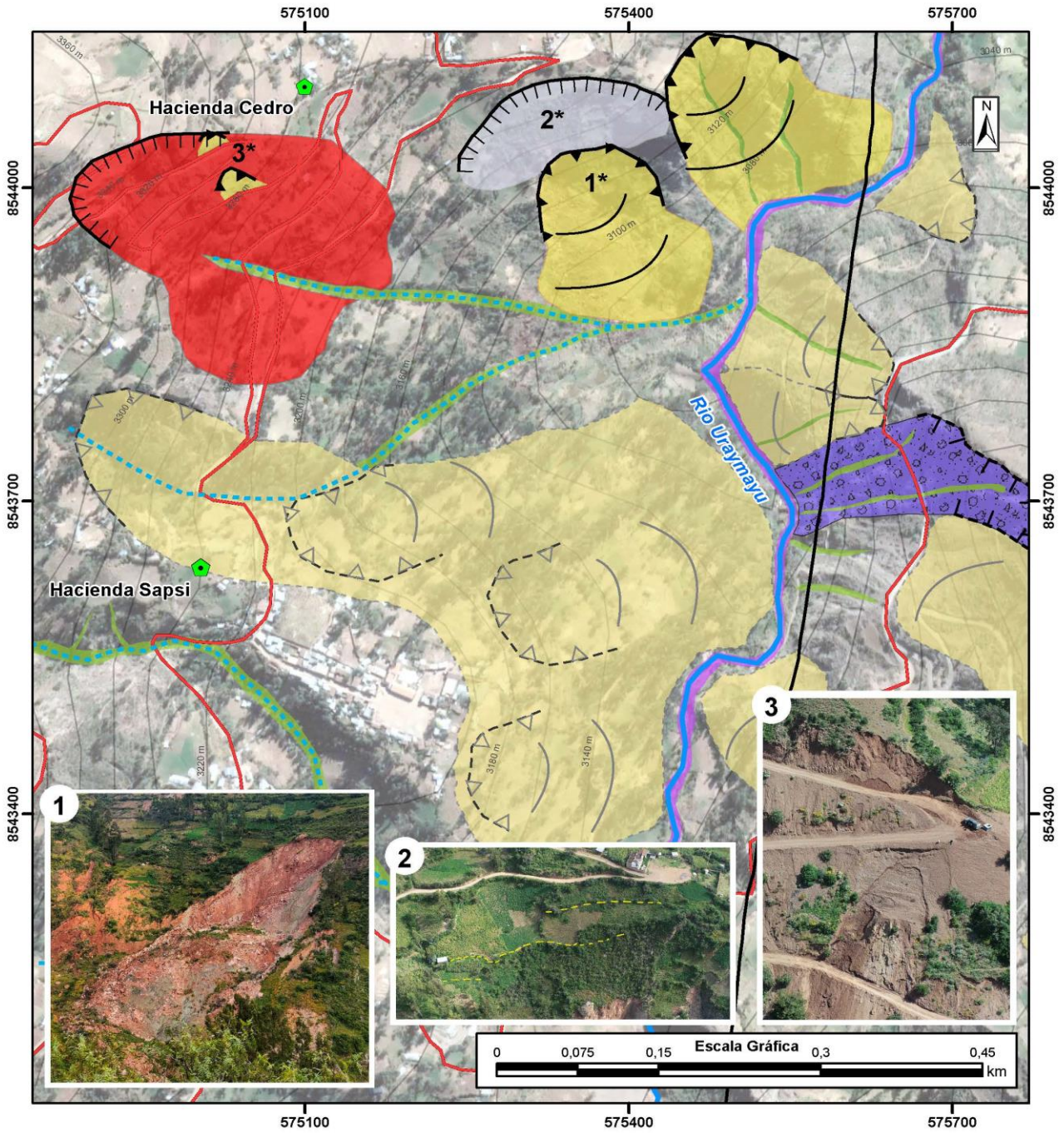
Escala Numérica: 1:5000	Elaborado por: RICHARD REMY H.	MAPA 01
Proyección: UTM Zona 18 Sur Versión digital 2022	Datum: WGS 84 Impreso: Mayo 2022	



LEYENDA		SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
SIMBOLOGÍA ● Poblados — Via Vecinal - - - - - Quebrada — Río Uraymayu — Curvas de Nivel ○ Zona de Estudio — Falla Geológica	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS <math>< 1^\circ</math> Montaña en rocas volcánico-sedimentario $1^\circ - 5^\circ$ Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial $5^\circ - 15^\circ$ Vertiente o piedemonte coluvial $15^\circ - 25^\circ$ Vertiente con depósito de deslizamiento $25^\circ - 45^\circ$ Abanico de piedemonte $> 45^\circ$ Terraza aluvial	DEPARTAMENTO AYACUCHO PROVINCIA HUAMANGA DISTRITO SOCOS PENDIENTES DEL CENTRO POBLADO SAPSI & CEDRO	Escala Numérica: 1:5000 Proyección: UTM Zona 18 Sur Versión digital 2022
		Elaborado por: RICHARD REMY H.	MAPA 02
		Impreso: Mayo, 2022	



LEYENDA		SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
SIMBOLOGÍA	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
Poblados	Rm-vs Montaña en rocas volcánico-sedimentario	DEPARTAMENTO AYACUCHO PROVINCIA HUAMANGA DISTRITO SOCOS	
Via Vecinal	V-cd Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial		
Quebrada	V-co Vertiente o piedemonte coluvial	GEOMORFOLOGÍA DEL CENTRO POBLADO SAPSI & CEDRO	
Rio Uraymayu	V-dd Vertiente con depósito de deslizamiento		
Curvas de Nivel	Ab Abanico de piedemonte	Escala Numérica: 1:5000	Elaborado por: RICHARD REMY H.
Zona de Estudio	T-al Terraza aluvial	Proyección: UTM Zona 18 Sur Versión digital 2022	Datum: WGS 84 Impreso: Mayo, 2022
Falla Geológica		MAPA 03	



LEYENDA	
SIMBOLOGÍA	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS
Poblados	Caída de rocas antigua
Vía Vecinal	Derrumbe
Quebrada	Deslizamiento activo
Río Uraymayu	Deslizamiento antiguo
Curvas de Nivel	Erosión de ladera
Zona de Estudio	Flujo de detritos
	Reptación

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO DEPARTAMENTO AYACUCHO PROVINCIA HUAMANGA DISTRITO SOCOS	
PELIGROS GEOLÓGICOS DEL CENTRO POBLADO SAPSI & CEDRO	
Escala Numérica: 1:5000	Elaborado por: RICHARD REMY H.
Proyección: UTM Zona 18 Sur Versión digital 2022	Datum: WGS 84 Impreso: Mayo, 2022
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:

Coeficiente 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).

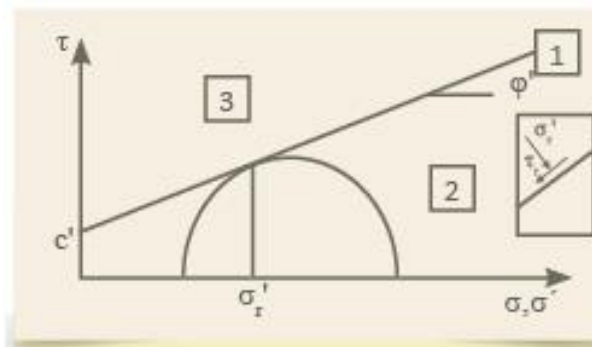
A continuación, la ecuación que representa el criterio de rotura:

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

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

c' y ϕ' son la cohesión y ángulo rozamiento interno efectivos del terreno en las mismas superficies. σ y μ son la tensión total y la presión intersticial, que actúan perpendicularmente a la superficie de deslizamiento, y σ' es por tanto la tensión efectiva correspondiente. En la figura 29 se observa la gráfica 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 (τ, σ') que cuenta con un margen de seguridad para una determinada tensión efectiva normal; la tensión tangencial es inferior a la máxima movilizable.

Figura 29: Gráfico del criterio de rotura Mohr-Coulomb

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

Desde un enfoque de esfuerzos tenemos la siguiente figura.

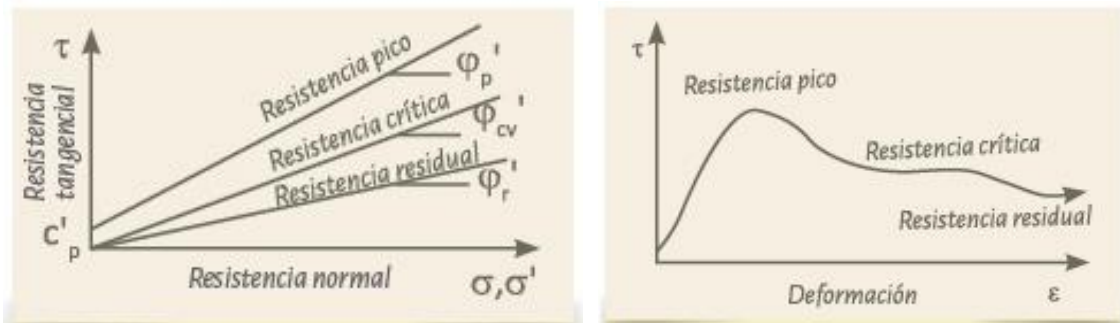


Figura 30: A la derecha el gráfico esfuerzo normal vs esfuerzo tangencial, a la izquierda el gráfico tensión deformación en función de ensayos de corte.

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 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 máxima disponible en el terreno, esta relación a lo largo de la superficie de deslizamiento elegida determina el equilibrio estático del mecanismo. c'_m y ϕ'_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.

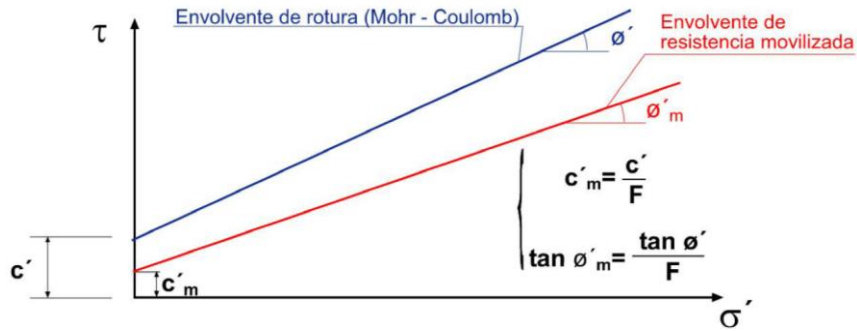


Figura 31: Criterio de Mohr-Coulomb detallado para suelos.
 Fuente: Estabilidad de taludes en suelos. Ortuño A., L., 2010.

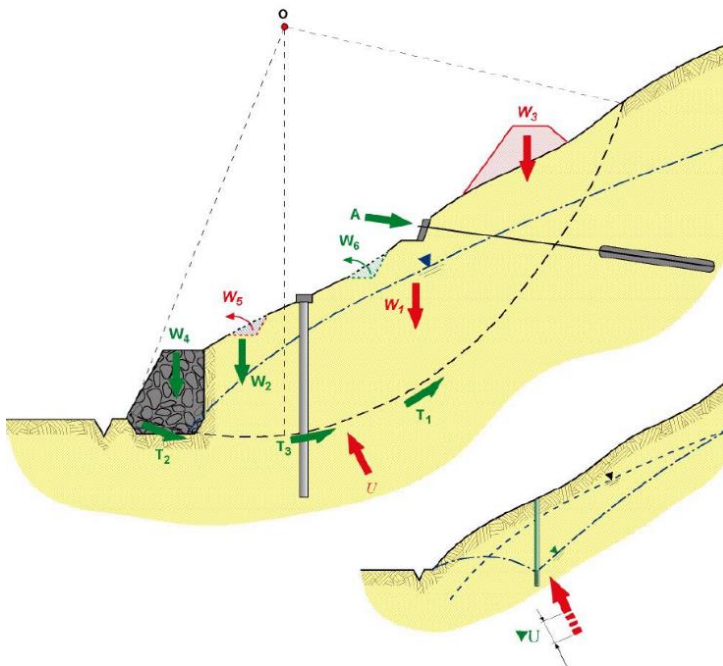


Figura 32: Esquema de estabilidad de talud.

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 33 se expone los vectores de momentos de fuerza que originan la estabilidad y desestabilidad en los taludes.



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

∇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"

Figura 33. Esquema de momentos estabilizadores y desestabilizadores en un talud.

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 34, la representación para conocer el Factor de Seguridad. Usando el método de GLE / Morgenstern-Price se obtiene un Factor de Seguridad de 0.906.

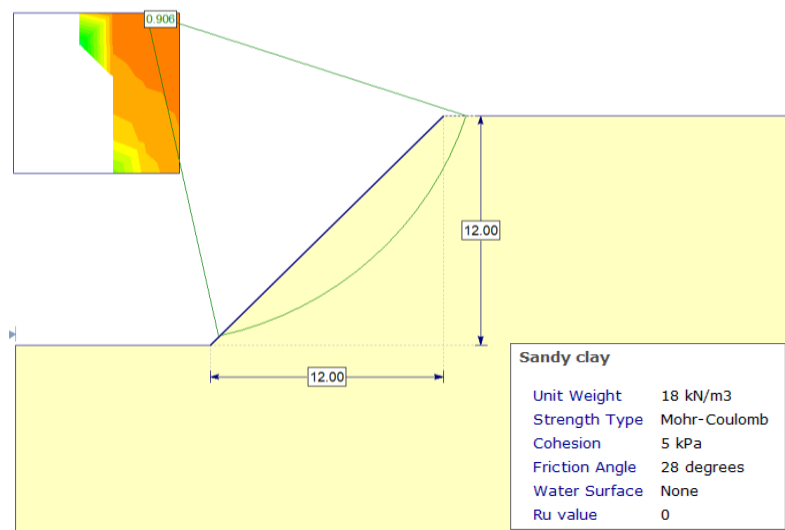


Figura 34: Análisis de estabilidad del talud. Fuente: Propia

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

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 35 mostrada a continuación se puede conocer los Factores de Seguridad en ambos casos planteados.

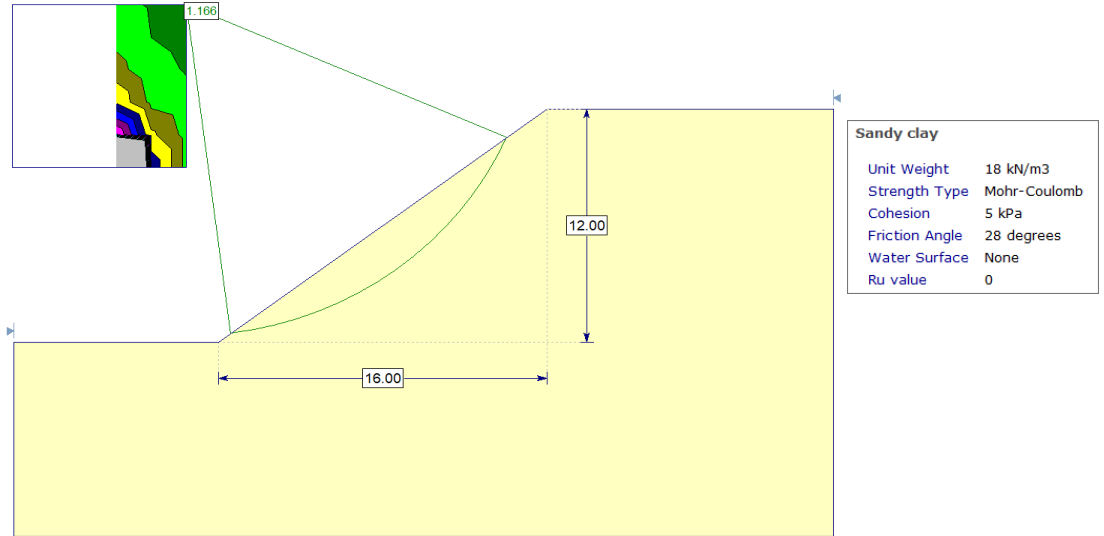


Figura 35: Segundo análisis de estabilidad del talud tendido. Fuente: Propia.

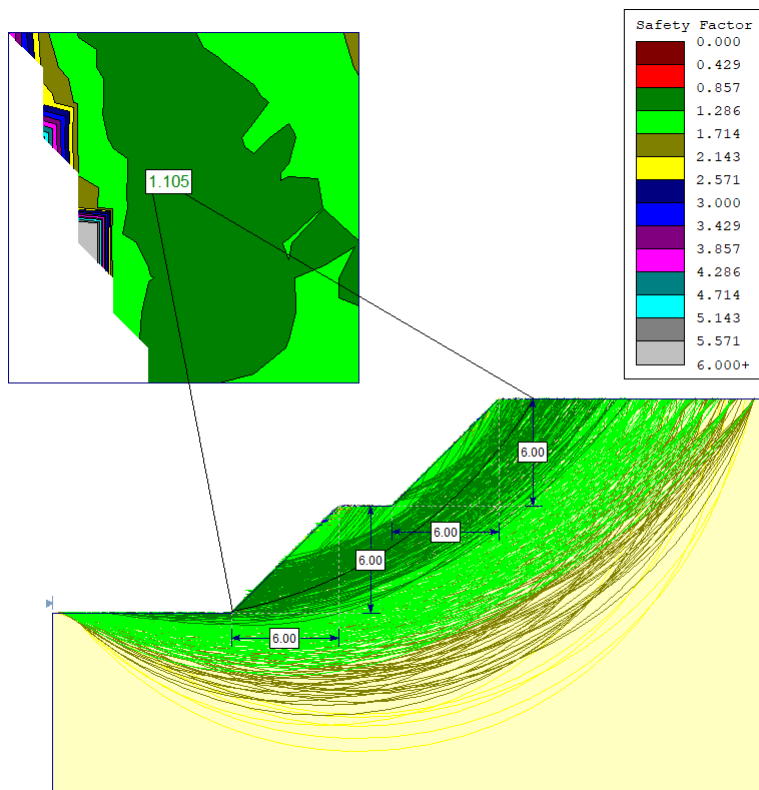


Figura 36. Tercer análisis de estabilidad del talud con berma.
 Fuente: Propia.

Muro de escolleras

En la base de los nuevos taludes es preciso para aumentar la estabilidad de ambos ubicar muros de escollera (figura 37 y 38).

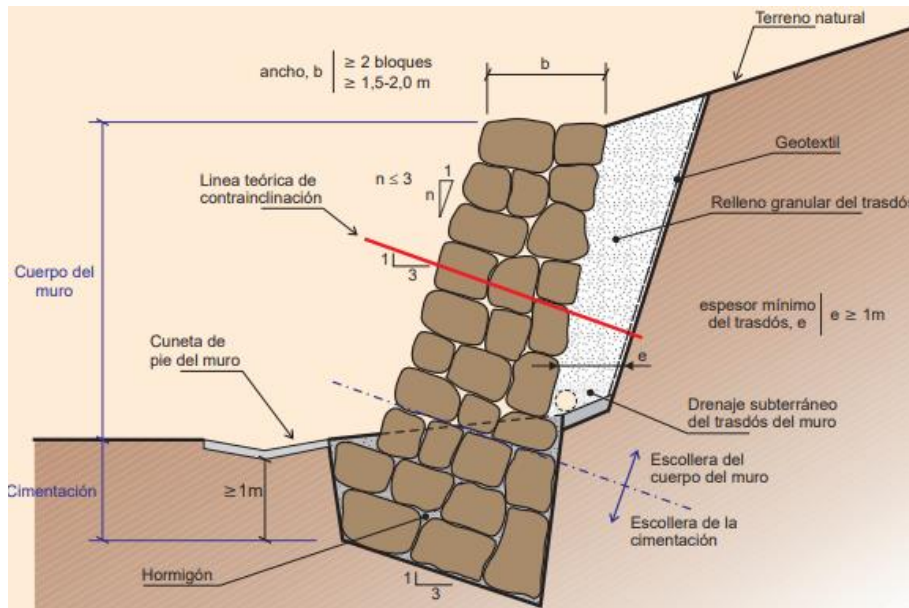


Figura 37: Definición geométrica de la sección tipo de un muro de escollera colocada con función de contención.

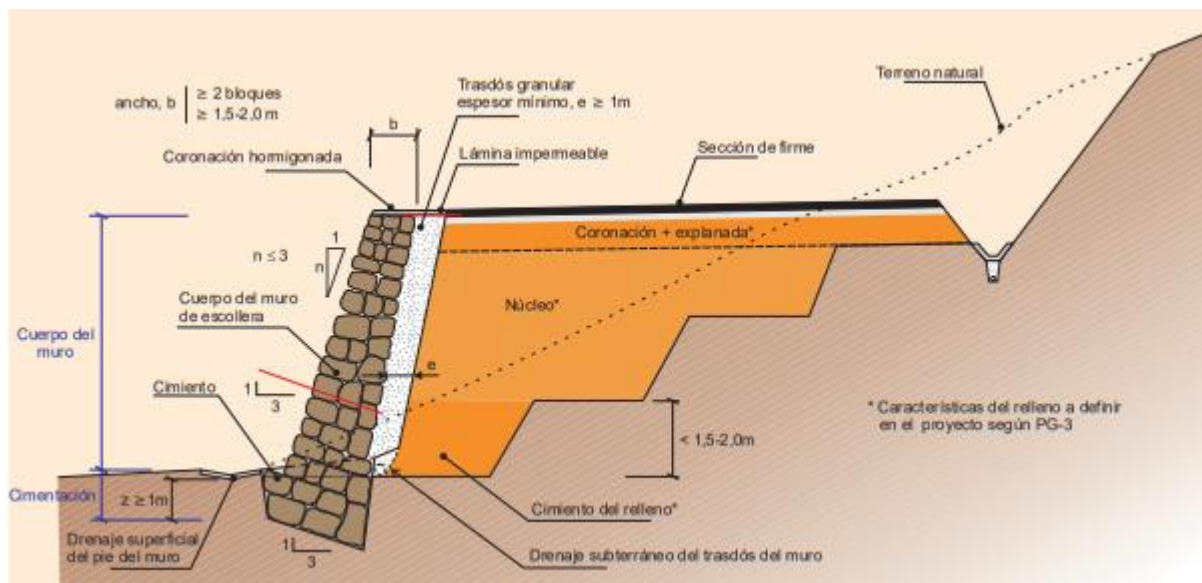


Figura 38 Diagrama de la ubicación de un muro de escollera con geometría corregida

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 (figura 39).



Figura 39. Diagrama de la ubicación de un muro de escollera con geometría corregida.

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