

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7214**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A AMBOS FLANCOS DE LOS RÍOS CCOLPANI Y ABRA MÁLAGA, DESDE EL SECTOR DE CCOLPANI A TANCCAC, COMUNIDAD DE PHIRY

Departamento Cusco  
Provincia Urubamba  
Distrito Ollantaytambo



ENERO  
2022

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

*Equipo de investigación:*

*Gael Araujo  
Norma Sosa  
David Prudencio*

#### **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). *Evaluación de Peligros Geológicos a ambos flancos de los ríos Ccolpani y Abra Málaga, desde el sector de Ccolpani a Tanccac, comunidad de Phiry*. Distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba y departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7214, 47 p.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
1.1. Objetivos del estudio .....	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores .....	6
1.3. Aspectos generales .....	7
1.3.1. UBICACIÓN.....	7
1.3.2. ACCESIBILIDAD.....	8
1.3.3. CLIMA .....	8
1.3.4. USOS DE SUELO .....	9
<b>2. DEFINICIONES</b> .....	9
<b>3. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	10
3.1. Unidades litoestratigráficas .....	10
3.1.1. GRUPO OLLANTAYTA MBO .....	10
- Micaesquistos, cuarcitas, esquistos, filita (CA-Oi-o-mesq,cct,esq,fil) .....	11
3.1.2. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al).....	11
3.1.3. DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co) .....	12
3.1.4. DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-fl).....	13
3.2. ASPECTOS TECTÓNICOS.....	14
<b>4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	15
4.1. Pendientes del terreno .....	16
4.2. Unidades geomorfológicas.....	16
4.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL .....	17
4.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL .....	19
<b>5. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA Y DAÑOS</b> .....	22
5.1. PARTE ALTA – SECTOR CCOLPANI: Peligros geológicos y Volúmenes Inferidos .....	23
5.1.1. PELIGROS GEOLÓGICOS CARTOGRAFIADOS EN EL SECTOR DE CCOLPANI .....	23
5.1.2. DINÁMICA Y CÁLCULOS VOLUMÉTRICOS INFERIDOS DEL DESLIZAMIENTO ACTIVO .....	30
5.2. PARTE MEDIA: Peligros geológicos .....	35
5.2.1. ZONA 1: RUTA CCOLPANI – HABASPA MPA Y PAMPA LLACTA .....	35
5.2.2. ZONA 2: RUTA PAMPALLACTA – PHIRY (parte alta) .....	37
5.3. PARTE BAJA - SECTOR DE PHIRY Y TANCCA C: Peligros geológicos .....	38
5.4. Daños en el área de estudio .....	39
5.5. Factores condicionantes y desencadenantes .....	39
5.5.1. FACTORES CONDICIONANTES .....	39
5.5.2. FACTORES DESENCADENANTES.....	40
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	41
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	43
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	43
<b>ANEXOS (MAPAS)</b> .....	45

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos de ambos flancos de los ríos Ccolpani y Abra Málaga, entre los sectores de Ccolpani y Tanccac, comunidad de Phiry, distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba y departamento de Cusco, situados en las faldas del flanco izquierdo del nevado Verónica y/o a 5.5 km al norte de la comunidad de Phiry.

Con este trabajo, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – Ingemmet cumple con la función de brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada y confiable en el tema de peligros geológicos a los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En el área de estudio afloran rocas metamórficas del Grupo Ollantaytambo (micasquistos, cuarcitas, esquistos y filita), ligeramente meteorizadas. Al norte de este afloramiento, se observa el sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba-Kimbiri, cuya existencia ha influenciado en el ligero fracturamiento de afloramientos del grupo Ollantaytambo y sobre todo en la activación de deslizamientos antiguos. Los depósitos no consolidados que afloran en la zona de estudio son depósitos aluviales (fragmentos heterométricos y heterogéneos envueltos en una matriz areno-arcillosa/limosa), depósitos coluviales (fragmentos heterogéneos con matriz limo-arcillosa) y depósitos fluviales con bloques, cantos y gravas subredondeados envueltos en matriz arenosa o limosa y dispuestos sobre el fondo de valle, quebradas principales y lecho de ríos

Las unidades geomorfológicas en el área de estudio corresponden a geoformas de carácter tectónico degradacional como montañas en roca metamórfica (pendientes que varían de muy fuerte 25° - 45° a abrupta >45°), y geoformas de carácter deposicional como las vertientes con depósito de deslizamiento, vertiente coluviales de detrito y vertientes aluvio-torrenciales, con laderas cuyas pendientes varían de baja 1° - 5° a media 5° - 15°. Estas características y las asociadas a la geología, clasifican el área con un grado de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa de **media a muy alta**,

Los peligros geológicos reconocidos, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, caídas (derrumbes), flujo de detritos y lodo. En febrero de 2010 se registró un flujo de detritos a lo largo de los ríos Ccolpani y Allnapata que convergieron al río Abra Málaga, generando ensanchamiento y profundización de sus cauces. Este evento destruyó restos arqueológicos (Muro de Peñas y 200 m del camino Inca 'Qhapac Ñan'), la captación hídrica del centro poblado de Ccolpani, 7 bocatomas, piscigranjas, puentes antiguos, aproximadamente 8 hectáreas de terrenos de cultivos de los sectores de Ccolpani, Pampallacta, Phiry y Tanccac; así como viviendas del centro poblado de Tanccac, carreteras asfaltadas y la plataforma del puente Santa Rosa (Pampallacta - Phiry). Al mismo tiempo la activación de un deslizamiento en el flanco izquierdo del río Abra Málaga, sector de Ccolpani – cerro Yuraccancha, que podría desplazarse hacia el centro poblado de Ccolpani. Por lo tanto, en este estudio se realizaron los estudios para estimar posibles escenarios de afectación de los sectores comprometidos.

Se concluye que, las áreas de estudio presentan peligro **muy alto** a la ocurrencia de movimientos en masa en temporadas de precipitaciones pluviales intensas y/o prolongadas.

El presente informe se pone a disposición de las autoridades, a fin de que las conclusiones y recomendaciones sirvan como instrumento, para contribuir en los planes de reducción de riesgo de desastre.

## 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 (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 Distrital de Ollantaytambo, según oficio N° 416-2021-A-MDO, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de eventos de tipo “flujo de detritos, deslizamientos y caída de detritos” ocurridos en febrero de 2010 a lo largo del cauce de los ríos Ccolpani y Abra Málaga. Estos peligros geológicos destruyeron 200 m del sistema vial andino “Qhapac Ñan” considerado patrimonio mundial de la UNESCO el 2014, terrenos de cultivos, captaciones de agua, 7 bocatomas, tuberías superficiales, piscigranjas, caminos de trocha, plataforma de puentes recientes, estructura de puentes antiguos, tramos de carreteras asfaltadas y viviendas, ubicados en el flanco derecho de los ríos Ccolpani y Abra Málaga.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Gael Araujo, Norma Sosa y David Prudencio, para realizar una evaluación técnica de peligros geológicos de ambos flancos de los ríos Ccolpani y Abra Málaga, desde el sector de Ccolpani a Tanccac, comunidad de Phiry, llevándose a cabo una inspección técnica a la zona afectada el 15 de octubre de 2021.

La evaluación técnica se basó en etapas de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET, etapas de campo a través de la observación, toma de datos de campo (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada, y la etapa final de gabinete a través del procesamiento de información terrestre y aérea, fotointerpretación de imágenes satelitales, elaboración de mapas/figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Ollantaytambo e instituciones técnico normativas del SINAGERD (INDECI y CENEPRED), a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la ley 29664.

### 1.1. Objetivos del estudio

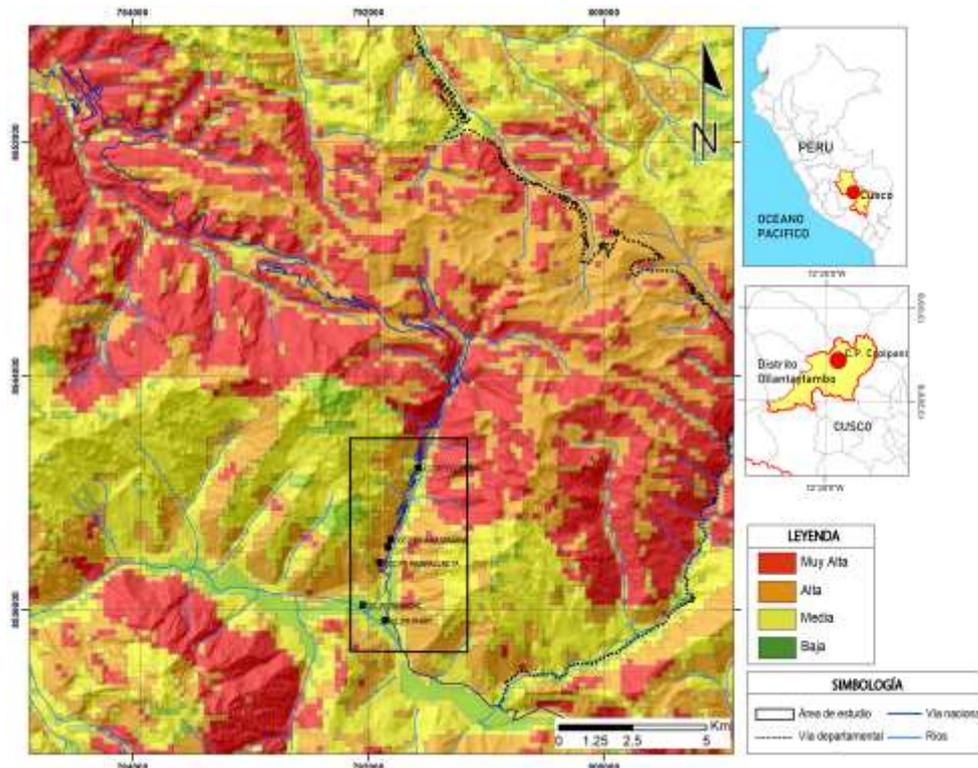
El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar, cartografiar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa a ambos flancos de los ríos Ccolpani y Abra Málaga, desde el sector de Ccolpani a Tanccac.

- b) Emitir conclusiones y recomendaciones que contribuyan en los planes de prevención y/o mitigación del riesgo de desastre por movimientos en masa.

**1.2. Antecedentes y trabajos anteriores**

- A) El mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la región Cusco elaborado por Ingemmet (Vílchez et al., 2020), en el distrito de Ollantaytambo, departamento Cusco, muestra que los sectores ubicados en ambos flancos de los ríos Ccolpani y Abra Málaga (Ccolpani, Habaspampa, Pampallacta, Phiry y Tanccac), presentan niveles de susceptibilidad media a muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa (figura 1 y cuadro 1).



**Figura 1.** Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa del área de estudio. Fuente: Vílchez et al., 2020

- B) El boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la región Cusco (Vílchez et al., 2020) muestra la descripción de los niveles de susceptibilidad y pendientes de los peligros geológicos frente a movimientos en masa en el Cusco (figura 1 y cuadro 1).

GRADO	CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS	RECOMENDACIONES
<b>BAJA</b>	Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa. Estas áreas presentan una topografía plano-ondulada con pendientes muy bajas a medias (0°- 15°) en algunos sectores. Se tienen depósitos de materiales superficiales aluviales, deluviales, coluviales y glacio-fluvial. El substrato está constituido por rocas sedimentarias (calizas macizas, areniscas y lutitas, y areniscas cuarzosas), rocas intrusivas (granito, monzogranito; dioritas, tonalitas y gabrodiorita), rocas volcánicas (secuencia de rocas piroclásticas, lavas andesíticas y basálticas), secuencias volcano-sedimentarias y gneis. La cobertura vegetal está representada por matorrales, bosques húmedos de montañas, colinas, lomadas y terrazas pajonales, y zonas agrícolas.	En esta zona se puede permitir el desarrollo de infraestructura siempre y cuando se incorporen las recomendaciones del estudio de diseño para hacer viable cualquier proyecto o adaptarse a las condiciones del terreno.

<b>MEDIA</b>	Aquí algunas condiciones pueden favorecer la ocurrencia de movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes bajas a medias (5°–15°). Así se tienen depósitos de material superficial coluvio-deluvial, glaciar, poligénico, aluvial y proluvial. El sustrato es de rocas sedimentarias. Estas rocas se encuentran fracturadas por los procesos tectónicos que los levantaron y plegaron, así como por las fallas que las cortan. También se hallan alteradas (meteorizadas) por efectos del clima. Las unidades hidrogeológicas que favorecen esta susceptibilidad son los acuíferos (sedimentarios, fisurados sedimentarios y volcánicos), acuitados (intrusivos, sedimentarios, metamórficos y volcánicos).	Es probable que cuando se construyan obras de infraestructura en estas áreas se generen movimientos en masa, por lo que se recomienda conocer en detalle las propiedades de los terrenos y también conocer las condiciones geodinámicas de las áreas Circundantes.
<b>ALTA</b>	En esta zona confluyen la mayoría de condiciones favorables del terreno a generar movimientos en masa, cuando se desestabilizan las laderas por causas naturales (por levantamiento o abatimiento de niv el freático, erosión en el pie de laderas, etc.) o por modificación de taludes por acción del hombre.	Se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana y de instalaciones o esta debe de ser muy bien planificada y contar con sus respectivos estudios de zonificación por peligros,
<b>MUY ALTA</b>	Presentan condiciones del terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes fuertes a muy fuertes (15- 45°), compromete suelos coluviales derivados de antiguos movimientos en masa, proluviales y glaciares; el sustrato está conformado por rocas sedimentarias, Aquí se produce la mayor cantidad de movimientos en masa (mega eventos de tipo deslizamientos, caídas, flujos y movimientos complejos), además de procesos de erosión de laderas. Los taludes de corte de carretera presentan problemas de derrumbes y caídas de rocas, por el alto grado de fracturamiento de la roca y la elevada pendiente de las laderas, a las cuales se les puede considerar inestables.	Se recomienda prohibir el desarrollo de toda infraestructura de cualquier tipo (carreteras, puente, presas, hidroeléctricas) o habilitación urbana sin el conocimiento geológico detallado previo.

**Cuadro 1.** Niveles de Susceptibilidad en el área de estudio. Fuente: Vilchez et al. 2020

C) El boletín N° 65, de la carta geológica nacional. Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas 27-r y 27-s (Carlotto et al., 1996) y el boletín N°74, serie C: de peligros geológicos en la región Cusco describen las unidades geológicas presentes en la zona evaluada.

### 1.3. Aspectos generales

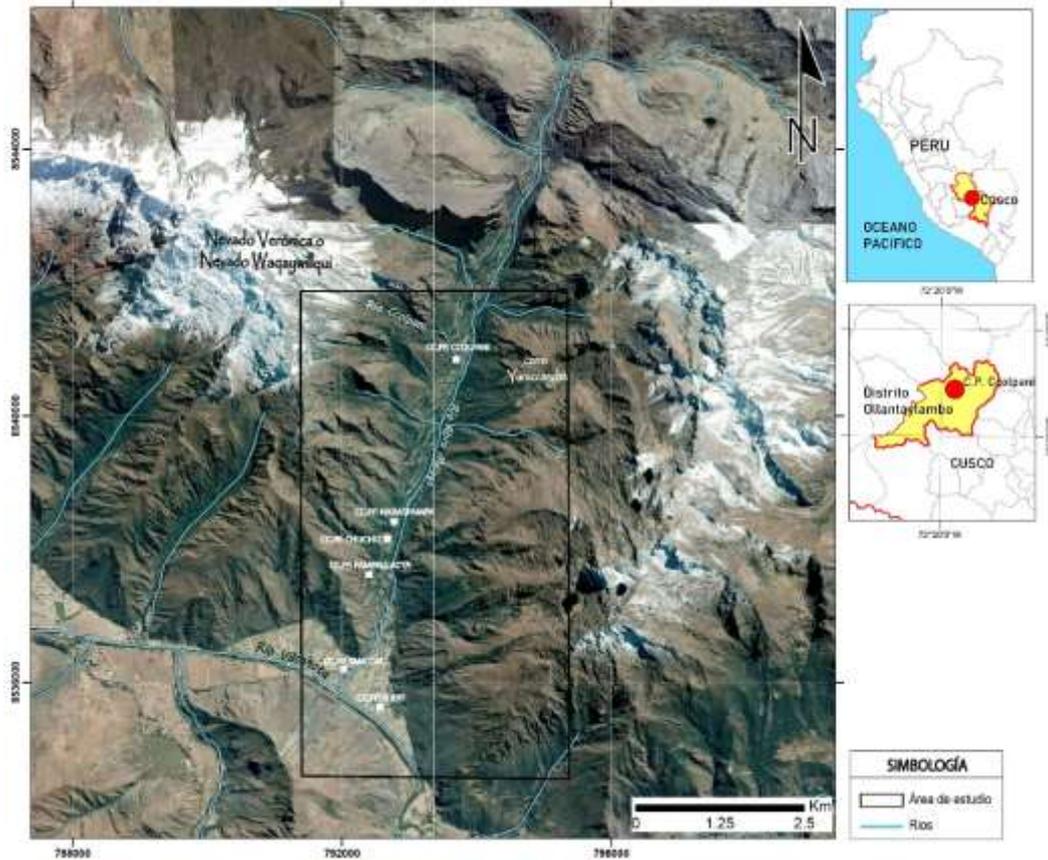
#### 1.3.1. UBICACIÓN

El río Ccolpani se extiende ~2.7 km en dirección SE hasta unirse al río Abra Málaga, quien se extiende ~6.5 km en dirección NW desde el sector de Ccolpani hasta confluir con el río Vilcanota en el sector de Tanccac (figura 2). El área de estudio está ubicada en la comunidad de Phiry, distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba y región del Cusco, en las coordenadas UTM WGS84 y geográficas mostradas en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Coordenadas del área de estudio

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	792740	8542442	--13.170 °	-72.299°
2	795414	8542035	-13.173°	-72.274°
3	790762	8536489	-13.224°	-72.317°
4	792950	8535054	-13.237°	-72.296°
<b>COORDENADA REPRESENTATIVA</b>				
C	794111	8540703	-13.186°	-72.286°

**Cuadro 2.** Coordenadas del área de estudio



**Figura 2.** Ubicación del área de estudio.

### 1.3.2. ACCESIBILIDAD

Teniendo como base la provincia del Cusco, el área de estudio es accesible por la ruta Cusco – Ollantaytambo – Phiry, a través de la carretera nacional ‘28 B’ (ruta del valle sagrado) o ‘3S \_ CU-110’ (ruta Huarcoondo - Pachar) con un total de 2 horas y 1 hora con 42 min respectivamente (cuadro 3).

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco – Ollantaytambo	1) Carretera nacional 28B	66.5	1 h 36 min
	2) Carretera nacional 3S y CU-110	56.0	1 h 18 min
Ollantaytambo - Phiry	Carretera nacional 28B	6.3	12 min
Phiry - Ccolpani	Carretera nacional 28B	7.6	12 min

**Cuadro 3.** Rutas y accesos a las zonas evaluadas

### 1.3.3. CLIMA

- Temperaturas, precipitaciones y concentración de humedad

Según el Mapa climático Nacional del SENAMHI (2020), el sector de Ccolpani presenta un clima lluvioso con invierno seco. Templado. Alcanza temperaturas

máximas promedio históricas de 1981 – 2010, entre 17°C a 23 °C, y temperaturas mínimas promedio entre 7°C a 11°C. Precipitaciones anuales entre 1200 mm y 1800 mm (lluvioso), eficiencia térmica templada y concentración de humedad con invierno seco. En el invierno, los friajes afectan indirectamente a esta región principalmente con precipitaciones, las cuales pueden llegar a ser intensas. Mientras que en el sector de Tancac (aguas abajo del río Abra Malaga) se presenta un clima semiseco con otoño e invierno secos. Templado. Alcanza temperaturas máximas promedio entre 23°C a 27 °C, y temperaturas mínimas promedio entre 5°C a 11°C. Precipitaciones anuales entre 500 mm y 900 mm (semiseco), eficiencia térmica templada y concentración de humedad con otoño e invierno seco

#### 1.3.4. USOS DE SUELO

Los pobladores de las comunidades de Ccolpani, Habaspampa y Pampallacta, utilizaban ambos flancos del río Abra Málaga como terrenos de cultivos para la siembra y cosecha de papa y hortalizas, regados por gravedad y aspersión con agua del río Ccolpani y Abra Málaga.

## 2. 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. El lugar donde vives puede estar expuesto a estos procesos geológicos; si no conocemos los peligros, no estaremos preparados para afrontarlos. Para que los peligros no causen daños y muertes debemos conocerlos, estar alertas y preparados. En este sentido el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, INGEMMET, cuenta con equipos de trabajos multidisciplinarios, compuestos por geólogos, geodestas, geofísicos y geoquímicos, especializados en la identificación, evaluación y análisis de los peligros geológicos del territorio nacional. Con el fin de dar a conocer el resultado de los estudios a las autoridades y puestos a disposición del público en general, se brinda una definición de los términos más importantes del presente informe.

PELIGROS GEOLÓGICOS	Los 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.
MOVIMIENTOS EN MASA	Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. 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.
DESLIZAMIENTOS	Movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de un plano de falla. Según la forma de la plano de falla se clasifican en traslacionales (plano de falla plana u ondulada) y rotacionales (plano de falla curva y cóncava).

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO EN MASA	<p>INACTIVO RELICTO: Movimiento en masa que ocurrió bajo condiciones geomorfológicas o climáticas diferentes a las actuales, posiblemente hace miles de años (Cruden y Varners, 1996)</p> <p>REACTIVADO: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo</p> <p>ACTIVO: Movimiento en Masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.</p>
CAIDA	Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando. Se le conoce también como desprendimiento de rocas, suelos y/o derrumbes.
FLUJOS	Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea deslizamiento o una caída. Estos pueden ser canalizados (fujos de detritos o huaicos) y no canalizados (avalanchas).
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD	Este mapa muestra las áreas propensas a movimientos en masa (deslizamientos, huaicos, caída de rocas, etc) en el territorio nacional. A menor escala junto con el mapa de peligros determinan las zonas críticas ante peligros geológicos. Se cuenta también con mapas regionales y por cuencas.
FALLAS GEOLÓGICAS ACTIVAS	Las fallas geológicas activas son importantes fuentes sismogénicas originadas en continente, estas estructuras son capaces de generar sismos con magnitudes de hasta 7 Mw. A diferencia de los sismos originados por la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana, las fallas geológicas activas presentan sismicidad superficial, es decir, tienen epicentros superficiales (
SISMOS	Los sismos son movimientos que se producen al interior de la tierra y liberan energía de manera violenta, se originan por: i) el contacto de placas tectónicas, por ejemplo de las Placas de Nazca y Sudamericana; y ii) la deformación de la corteza en el interior del continente que da origen a las fallas activas

### 3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El mapa y la descripción geológica regional a escala 1: 1000, se desarrolló en base al boletín N° 65 de la Carta Geológica Nacional de geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca elaborado por Carlotto et al (1996) y el mapa geológico del cuadrángulo de Urubamba (hoja 27-r), actualizado por Sanchez & Zapata (2002), de la base geológica de Carlotto et al. Además, del boletín N° 74: Peligros geológicos en la región Cusco, elaborado por Vilchez et al.

#### 3.1. Unidades litoestratigráficas

El área de estudio está conformado por unidades litoestratigráficas del Grupo Ollantaytambo (CA-Oi-o-mesq,cct,esq,fil), depósitos aluviales (Qh-al) y coluviales (Q-co). Sin embargo, en la parte montañosa y fuera de la zona de estudio se observa la presencia de la Formación Verónica representado por conglomerados de clastos polimicticos del nevado Verónica a 5,893 m s.n.m., en el flanco derecho del valle del Abra Málaga. Así como también la Formación Málaga representada por pizarras, esquistos-sericita y arenisca gris verdoso (mapa 1). A continuación, se realiza una descripción detallada de las unidades litoestratigráficas de la zona de estudio:

##### 3.1.1. GRUPO OLLANTAYTAMBO

- Micaesquistos, cuarcitas, esquistos, filita (CA-Oi-o-mesq,cct,esq,fil)

El Grupo Ollantaytambo constituye la unidad más antigua de los cuadrángulos, Infrayace a los conglomerados de la Formación Verónica y a la Formación San José del Ordoviciano. Marocco (1977, 1978). Se le atribuye una edad Cámbrica por su posición estratigráfica, se extiende sobre el Cuadrángulo de Urubamba aflorando al pie de las ruinas incas de Ollantaytambo y se extiende hacia el norte hasta cerca del Abra de Málaga.

Todas las rocas del Grupo Ollantaytambo fueron afectadas por la esquistosidad Eoherciniana (Carlotto et al. 1996). Sobre el cuadrángulo 27-r (Ingemmet. 2017) se cartografió micaesquistos, cuarcitas, esquistos y filitas. El espesor aflorante es de aproximadamente 1,000 metros (Carlotto et al. 1996) y se encuentran ligeramente meteorizadas y fracturadas.

Sobre el cauce del río Abra Málaga, a la altura del sector Ccolpani (zona de estudio) se observa bloques metamórficos (esquistos y pizarras) subredondeados de 20 cm a 1 m de diámetro (fotografía 1).



**Fotografía 1.** Bloques de pizarras y esquistos a lo largo del cauce del río Abra Málaga UTM X:793794 Y:8540743

### 3.1.2. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al)

Estos depósitos aluviales de edad Cuaternaria – Holocena, se encuentran distribuidos en toda el área de estudio rellenando el fondo de los valles, quebradas principales, llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes al valle principal de los ríos Ccolpani, Abra Málaga y Vilcanota (fotografía 2).

Está compuesto por una mezcla de fragmentos heterométricos de 10 cm a 30 cm y heterogéneos (bolones, cantos, gravas, arenas y limos), los cantos son redondeados a sub-redondeados, transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias. Presentan estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Se

observa terrazas diferenciadas de depósitos aluviales más antiguos a ambos flancos de los ríos. Estos depósitos son utilizados como terrenos de sembríos o asentamiento urbano en la zona de estudio.



**Fotografía 2:** Vista de depósitos aluviales formando terrazas en el flanco derecho del río Cusco Mayo.

### 3.1.3. DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co)

Se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos, acumulados al pie de taludes empinados (fotografía 3). Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los bloques menores 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. Cerca de la comunidad del Túpac Amaru II se observa depósitos coluviales con bloques que varían de 10 cm a 30 cm, muchos de ellos clastos soportados, envueltos en una matriz limosa (fotografía 5).

Los principales agentes formadores de estos depósitos son la meteorización, la gravedad, movimientos sísmicos, movimientos en masa (deslizamientos, caída de rocas o suelo (derrumbes), movimientos complejos, etc.) (fotografía 4).



**Fotografía 3:** Vista de depósitos coluviales en el corte de talud de la carretera Tunasmoco (ruta Ollantaytambo – Quillabamba).



**Fotografía 4:** Vista de deslizamientos y derrumbes en el flanco izquierdo del río Abra Málaga que forman depósitos coluviales de fragmentos heterogéneos sub-angulosos envueltos en una matriz limo-arcillosa.

#### 3.1.4. DEPÓSITOS FLUVIALES (Q-fl)

Los depósitos fluviales constituyen los materiales del lecho de ríos, terrazas bajas y llanura de inundación. Son depósitos no consolidados heterométricos constituidos por bolones, cantos y gravas sub-redondeadas en matriz arenosa o limosa. Son transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y depositados en forma de terrazas o playas, removibles por el curso actual del río y ubicados en su llanura de inundación (Vilchez et al., 2020). En las zonas de

estudio, los depósitos fluviales se encuentran inconsolidados, distribuidos a lo largo de los lechos de los ríos Túpac Amaru I, II, II, Santa Fe y Cusco Mayo, con cantos que varían de 10 a 60 cm (fotografía 5), estos son fácilmente removibles.



**Fotografía 5:** Bloques metamórficos redondeados a subredondeados sobre el cauce del río Abra Málaga, sector de Ccolpani.

### 3.2. ASPECTOS TECTÓNICOS

#### PLIEGUES SINCLINALES Y ANTICLINALES

El mapa geológico del cuadrángulo de Urubamba (Carlotto et al. 1996), muestra el cartografiado de pliegues con ejes anticlinales y sinclinales en, dirección E-O, entre los 2.8 km a 6.8 km al norte del área de estudio (sector de Ccolpani) (ver mapa 1).

#### FALLAS DE LA CORDILLERA ORIENTAL

Bajo este nombre se ponen en evidencia fallas activas y cuaternarias ubicadas en la parte alta de la cordillera Oriental. Se pueden distinguir dos sistemas de fallas con direcciones preferenciales a la deflexión de la cadena andina, así tenemos: a) sistema de fallas río Mapacho-Paucartambo y b) **sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba-Kimbiri** con direcciones este-oeste y que se extienden a lo largo de 110 kilómetros desde el norte de Ollantaytambo hasta el río Vilcanota (localidades de Bellavista, Kimbiri, entre otras) (Benavente C., et al. 2013).

El sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba-Kimbiri tiene un trazo de falla de ~110 km con dirección E-O y afecta desde rocas de basamento y de cobertura cuaternaria, incluyendo depósitos fluvio-glaciares y morrena (Benavente C., et al. 2013). Se ubica a ~8 km al norte de la zona de estudio (sector de Ccolpani) (ver mapa 1). Se debe aclarar que no se encontraron muchas evidencias en superficie de actividad tectónica cuaternaria a lo largo de todo el sistema, debido posiblemente a que gran parte de ellas fueron erosionadas por la intensa actividad climática. Sin embargo, una de las evidencias de actividad tectónica con ruptura superficial se

ubica al sur del poblado de Vilcabamba, donde se observa un trazo de falla de 10 kilómetros que afecta rocas de basamento y de cobertura cuaternaria, incluyendo depósitos fluvio-glaciares y morrenas (Benavente C., et al. 2013). (figura 3). Además, se muestra escarpes de falla en la localidad de Choquecancha (figura 4)



**Figura 3.** Escarpe de falla ubicado al sur del poblado de Vilcabamba, donde es posible observar que la falla Ollantaytambo-Vilcabamba-Kimbiri afecta depósitos aluviales y fluvio-glaciares. (Benavente C., et al. 2013).



**Figura 4.** Escarpes de falla conservados en la parte alta del cerro Conoorcco, en la localidad de Choquecancha. (Benavente C., et al. 2013).

Según el testimonio de los pobladores, no se sintió ningún sismo cuando ocurrió el flujo de detritos y activación de deslizamientos a ambos flancos de los ríos Ccolpani y Abra Málaga, solo percibieron la presencia de intensas lluvias días antes el evento, lo cual es propio de los meses lluviosos en la zona de estudio. Sin embargo, es importante mencionar que las fallas regionales y locales activas son detonante de peligros geológicos por movimientos en masa. Además su presencia ha contribuido con el fracturamiento de los afloramientos rocosos y la presencia de deslizamientos antiguos en la zona de estudio

#### 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### 4.1. Pendientes del terreno

El mapa de pendientes generado a través del modelo de elevación digital de 'Alaska Satellite Facility' con una resolución de 12.5 m, muestra que los sectores ubicados a lo largo de la zona de estudio (sector Ccolpani, Habaspampa, Pampallacta, Phiry y Tanccac) presentan pendientes que varían entre abrupta a baja inclinación (cuadro 4) (ver anexos - mapa 2).

Sectores	Pendientes
Ccolpani	Media (5° - 15°) a abrupta (> 45°)
Habaspampa	Media (5° - 15°) a muy fuerte (25° - 45°)
Pampallacta	Media (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°)
Phiry	Muy bajo (<1°) a bajo (1° - 5°)
Tanccac	Muy bajo (<1°) a bajo (1° - 5°)

**Cuadro 4.** Pendientes de sectores distribuidos a lo largo del cauce del río Abra Málaga

Los sectores con poblados del mismo nombre, se ubican a lo largo del flanco derecho del cauce de los ríos Ccolpani y Abra Málaga y se encuentran distribuidos desde la parte alta (sector Ccolpani) hasta la desembocadura del río Abra Málaga (sector Tanccac), es así que se observa pendientes de abrupta a muy baja inclinación respectivamente. La activación de flujo de detritos y deslizamientos a lo largo del flanco del río Abra Málaga tendrá distinto impacto sobre los poblados, de acuerdo a su ubicación y las pendientes donde estos yacen. La descripción de la clasificación de pendientes del mapa 2, se da en el cuadro 5:

PENDIENTES	DESCRIPCIÓN
<b>Muy Baja/ Muy Llanos</b>	Es muy difícil que se generen movimientos en masa, pero son afectadas por el alcance de eventos originados en las porciones adyacentes o superiores de mayor pendiente. Sin embargo, se debe considerar que, debido a precipitaciones pluviales intensas, estos terrenos planos elevados (mesetas y terrenos plano ondulados) pueden presentarse cortados por surcos, cárcavas y pequeñas torrenteras por donde discurren flujos excepcionalmente. Son afectados por inundaciones, por ser terrenos con escaso drenaje. Se observa pendientes de muy baja a llana inclinación distribuidos en algunos sectores de los C.P. de Tanccac y Phiry (anexo – mapa 2)
<b>Baja/ Suave</b>	Áreas poco susceptibles a movimientos en masa de inclinación suave afectadas o cortadas por eventos que se generan en zonas más altas o de pendiente más inclinada, generalmente flujos de detritos que depositan los materiales que acarrear en estas zonas planas, formando abanicos. En la desembocadura del río Abra Málaga se observa pendientes de baja a suave inclinación, donde se asientan los sectores de Tanccac y Phiry (anexo – mapa 2)
<b>Media</b>	Conforman relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a los movimientos en masa. Se observa pendientes de media inclinación a ambos flancos del río Abra Málaga (anexo – mapa 2)
<b>Fuerte</b>	Conforman relieves inclinados, se les considera altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa. Se observa pendientes de fuerte inclinación a ambos flancos del río Abra Málaga, en el sector de Ccolpani (anexo – mapa 2)
<b>Muy fuerte</b>	Caracterizado por presentar muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Se observa pendientes de fuerte inclinación a ambos flancos del valle del río Abra Málaga, en el sector de Ccolpani - cerro Yuraccancha (anexo – mapa 2)
<b>Abrupto/ Muy Escarpado</b>	Son zonas abruptas. La ocurrencia de peligros dependerá de las condiciones intrínsecas de la roca (grado de fracturamiento y orientación, estratificación, etc.), la presencia de suelo y de los detonantes (lluvia, sismos). Se les ha considerado con alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Se observa pendientes de abrupta a muy escarpada inclinación en la parte alta, en el valle del río Abra Málaga, sector de Ccolpani (cerro Yuraccancha y Nevado la Verónica) (anexo – mapa 2)

**Cuadro 5.** Descripción de pendientes mostradas en el mapa 2. Fuente: Vílchez et al., 2020

#### 4.2. Unidades geomorfológicas

El mapa geomorfológico a escala 1:500 000 del boletín N° 74: Peligros Geológicos en la región Cusco y la fotointerpretación de imágenes satelitales, clasifica regionalmente el área de estudio en geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional (montañas en roca metamórfica) y geoformas de carácter deposicional (vertiente con depósito de deslizamiento, vertiente coluvial de detritos y vertiente aluvio torrencial) (Ver Anexos - mapa 3).

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

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

##### 4.2.1.1. Montañas en roca Metamórfica (RM-rm)

Esta subunidad geomorfológica corresponde a cadenas montañosas en donde procesos denudativos (fluvio-erosionales, glaciario y glacio-fluvial) afectaron rocas metamórficas y se hallan expuestas a ambos flancos del valle del río Abra Málaga. Litológicamente corresponden a rocas metamórficas del Grupo Ollantaytambo (ver anexos – mapa 3 y fotografía 7).

Las montañas tienen pendientes de muy fuertes a abrupta inclinación (ver anexo – mapa 2, fotografías 7 y 8). El patrón de drenaje es paralelo, con valles profundos en forma de V. Geodinámicamente, están asociadas a grandes deslizamientos y caídas antiguas (fotografía 9).

A lo largo de esta subunidad geomorfológicas, se extienden ríos y quebradas afluentes del río Abra Málaga (fotografía 9), producto de la recarga de lagunas y nevados en la unidad de montaña con cobertura glaciario y valles glaciares (ver anexos – mapa 3).



**Fotografía 7:** Vista aérea de montañas metamórficas de rocas metamórficas del Grupo Ollantaytambo, con pendientes fuertes y abruptas en el flanco izquierdo del valle del río Abra Málaga (sector de Ccolpani)



**Fotografía 8.** Vista del flanco izquierdo del valle del río Abra Málaga (sector de Ccolpani). Dirección de flujo del río Abra Málaga hacia el SW



**Fotografía 9:** Vista de escarpes de deslizamientos antiguos reactivados en el flanco izquierdo del valle del río Abra Málaga, cubiertos por abundante vegetación. Y vista de la quebrada Pucmuyuc cortando geomorfología montañosa.

#### 4.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Están representadas por relieves formados por depósito o acumulación de sedimentos en piedemontes o vertientes.

##### 4.2.2.1. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Esta unidad corresponde a acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, prehistóricos, antiguos y recientes, en el área de estudio son de tipo deslizamientos (fotografía 10).

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.

Esta unidad abarca el 1.59% de la superficie de la región de Cusco. Geodinámicamente se asocia a reactivaciones en los materiales depositados por los movimientos en masa antiguos, así como por nuevos aportes de material provenientes de la actividad retrogresiva e eventos activos (Vilchez et al. 2020).



**Fotografía 10:** Vista aérea del flanco izquierdo del río Abra Málaga (sector Ccolpani), se observa laderas generadas por deslizamientos antiguos al pie de la montaña de roca metamórfica.

#### 4.2.2.2. Vertiente coluvial de detritos (V-cd)

En esta unidad se agrupan los depósitos de naturaleza coluvial, producto de la denudación – transporte de sedimentos o deslizamientos históricos, recientes y/o reactivaciones. Estas vertientes son cortadas por ríos, en donde se observa mayor erosión de laderas y presencia de movimientos en masa (Vilchez et al., 2020).

En las zonas de estudio se observa depósitos coluviales al pie de laderas de fuerte a muy fuerte inclinación (fotografía 11). Estos depósitos se consideran inestables, ya que no existe cohesión entre sus fragmentos. Por esta razón, es fácil que un sobrepeso (caída de nuevos bloques) produzca inestabilidad.

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). El centro poblado de Ccolpani yace sobre estos depósitos coluviales (fotografía 11)



**Fotografía 11.** Vista aérea de montañas de roca metamórfica en el flanco derecho del valle del río Abra Málaga (sector de Ccolpani). Dirección de flujo del río Abra Málaga hacia el SW

Se observa la presencia de deslizamiento de detritos sobre la geoforma de vertiente coluvial

#### 4.2.2.3. Vertiente aluvio-torrencial (P-at)

Esta unidad corresponde a planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, ubicadas al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Están formadas por la acumulación de sedimentos que son acarreados por corrientes de agua de carácter excepcional relacionadas a lluvias ocasionales, extraordinarias y muy excepcionales.

La pendiente de estos depósitos es suave a moderada (1-15°). Se observa estas geoformas a lo largo del valle del Abra Málaga (fotografía 12) y Vilcanota. Todos estos abanicos son formados por los materiales acumulados por flujos de detritos constituidos en quebradas tributarias, que alcanzan los cauces principales del río Ccolpani y Abra Málaga (fotografía 12).

Esta unidad es susceptible a remoción por flujo de detritos y por erosión fluvial en los márgenes de las quebradas. Sus materiales pueden ser arrancados y transportados por las corrientes de ríos principales en los cuales confluyen.



**Fotografía 12:** Vista aérea de la geofoma vertiente aluvio-torrencial del valle de Abra Málaga.

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA Y DAÑOS

En febrero de 2010, el desprendimiento de tierras en los flancos de las laderas de los ríos Allnapata y Ccolpani, asociado a crecida de caudales por las intensas lluvias de la época, generó flujos de detritos que se unieron aguas abajo y extendieron 5.5 km a lo largo del río Abra Málaga hasta desembocar en el río Vilcanota.

Geodinámicamente el flujo de detritos generó el ensanchamiento y profundización del cauce de los ríos Ccolpani, Allnapata y Abra Málaga, como también el socavamiento de las laderas que dio origen a caídas (derrumbes) de ambos flancos de su cauce.

Al mismo tiempo también se reactivó un deslizamiento de 190 m de ancho y 215 m de largo en el flanco izquierdo del río Abra Málaga (cerro Yuraccanacha) (fotografía 13 y figura 6).

El testimonio de los pobladores indica que dicho evento duró 3 días, en los cuales se observó desprendimiento constante de masas de tierra y la posterior recarga - arrastre de sedimentos dentro de un flujo de detritos (huayco) que se extendía desde el sector de Ccolpani hasta el centro poblado de Tanccac (río Vilcanota).

Los daños asociados al flujo de detritos sobre los ríos Ccolpani y Allnapata - Abra Málaga fueron la destrucción de: Restos arqueológicos (muro de Peñas y 200 m del camino Inca 'Qhapac Ñan'), captación hídrica del centro poblado de Ccolpani, 7 bocatomas, piscigranjas, puentes antiguos, ~ 8 hectáreas de terrenos de cultivos de los sectores de Ccolpani, Pampallacta, Phiry y Tanccac. Así como la afectación de viviendas en el centro poblado de Tanccac, carreteras asfaltadas y la plataforma del puente Santa Rosa.

Los peligros geológicos reconocidos en el área de estudio, corresponde a movimientos en masa de tipo deslizamiento, caídas (derrumbes), flujos de detritos y lodo.

Los derrumbes y deslizamientos identificados se desarrollan sobre vertientes coluviales de detritos y con depósito de deslizamientos, asociados a la ocurrencia de movimientos en masa antiguos, de pendiente fuerte ( $15^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ ) a muy fuerte ( $25^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ ), cuyos depósitos se encuentran no consolidados. Mientras que el flujo de detritos y lodo se extiende a lo largo de geoformas de vertientes aluvio-torrenciales cuyas pendientes tienen inclinaciones bajas ( $1^{\circ}$  -  $5^{\circ}$ ) a medias ( $5^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ ).

El evento de febrero de 2010 fue desencadenado por lluvias intensas, quien, asociado las condiciones geológicas y geomorfológicas del terreno antes descritas, son sectores de alta a muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (ver figura 1).

A continuación, se describe detalladamente la dinámica y daños que generó el flujo de detritos en febrero de 2010 (con curso desde el sector de Ccolpani hasta el centro poblado de Tanccac), además de otros peligros geológicos latentes en la actualidad, a través de la tripartición del área de estudio:

## **5.1. PARTE ALTA – SECTOR CCOLPANI: Peligros geológicos y Volúmenes Inferidos**

### **5.1.1. PELIGROS GEOLÓGICOS CARTOGRAFIADOS EN EL SECTOR DE CCOLPANI**

#### **a) Flujo de detritos**

Las imágenes satelitales de Google Earth muestran que antes del evento (febrero de 2006) el cauce del río Abra Málaga (sector de Ccolpani) tenía un ancho entre 5 m a 12 m a lo largo de su recorrido (figura 5), en donde ambos flancos eran usados como terrenos de cultivos. Mientras que las imágenes dron, para octubre de 2021, muestran que el cauce actual del río Abra Málaga tiene un ancho entre 10 m a 35 m. Se observa un cambio evidente del ancho de los ríos Ccolpani, Allnapata - Abra Málaga y sobre todo la destrucción de los terrenos antes usados para cultivo de papa y hortalizas en los sectores de Ccolpani (figura 6 y fotografía 13), Pampallacta, Phiry y Tanccac, después del flujo de detritos de 2010 (figura 5).



**Figura 5:** Vista del ancho del cauce del río Abra Málaga antes y después del flujo de detritos de febrero de 2010.

80% de los agricultores de la zona de estudio regaban sus cultivos bajo la técnica de aspersión (8h/día), y el 20% de ellos por gravedad, a partir de tuberías conectadas a los ríos Ccolpani y Abra Málaga.



**Figura 6:** Ubicación de lugares afectados en el sector de Ccolpani.



**Fotografía 13:** Anterior límite del flanco derecho del río Abra Málaga se encontraba a 15 m del límite actual, estas áreas eran usadas como terrenos de cultivo antes del evento.

El flujo de detritos que bajo por el río Ccolpani destruyó un puente antiguo (15 m de longitud) (fotografía 14) usado para tránsito peatonal, piscigranjas y la plataforma del puente vehicular de Ccolpani (puente construido en el 2003 con una longitud de 30 m). Además de la captación artesanal y tuberías usadas para abastecer de agua potable a 20 familias del centro poblado de Ccolpani (captación de manantial). El flujo cubrió el puente de Ccolpani, actualmente se observa una altura de 3 m entre el cauce del río y el puente Ccolpani.

Como parte de los trabajos de rehabilitación, se observó muros de piedra, limpieza del cauce y reforzamiento de la plataforma del puente Ccolpani (fotografía 15 y figura 6), Sin embargo, a la fecha no fue restablecido la captación de agua potable para las familias de Ccolpani, los pobladores direccionan el agua del río Ccolpani al pozo de clorificación y filtro (figura 14), pero el exceso de arenillas, detritos y otros materiales suspendidos en el cauce del río Ccolpani hacen ineficiente la finalidad de los pozos.



**Fotografía 14:** Puente antiguo de tránsito peatonal destruido y vista de pozos de clorificación y filtro ineficiente.



**Fotografía 15:** Muros de piedra para la protección de la plataforma del puente Ccolpani.

El flujo de detritos que bajó por los ríos Ccolpani y Allnapata se unieron para formar el río Subsector hidráulico (Abra Málaga) (fotografía 16), los remanentes del flujo de detritos del 2010 muestra bloques metamórficos subangulosos a subredondeados de 20 cm a 1 m de diámetro (fotografía 17).



**Fotografía 16:** Confluencia entre los ríos Ccolpani y Allnapata, forman el río Abra Málaga. Vista de bloques remanentes del flujo de detritos del evento de 2010.



**Fotografía 17:** Bloques rocosos metamórficos en el río Abra Málaga, como remanentes del flujo de detritos de febrero de 2021

**b) Peligros Geológicos latentes**

Se realizaron 2 sobrevuelos dron en el sector de Ccolpani, los cuales permitieron identificar deslizamientos activo, reactivado e inactivo relicto (deslizamiento antiguo) en el flanco izquierdo del valle del río Abra Málaga – cerro Yuraccancha. Además de derrumbes al pie de deslizamiento (fotografía 18 y figura 7).

El deslizamiento activo presenta dimensiones de 190 m de ancho y 215 m de largo, además de saltos de ~10 m, agrietamientos y aperturas en el terreno <10 m, se ubica en la parte baja de un deslizamiento antiguo reactivado de mayores dimensiones (250 km de ancho y 355 km de largo con saltos de 5 m). La dinámica activa de los deslizamientos ubicados en el cerro Yuraccancha inició en febrero de 2010.



**Fotografía 18:** Vista de los escarpes de los deslizamientos activo y reactivado en el flanco izquierdo del río Abra Málaga, sobre pendientes de fuerte a muy fuerte inclinación.

A 11 años del evento (febrero de 2010), el deslizamiento activo del cerro Yuraccancha (flanco izquierdo del valle del río Abra Málaga) es cubierto por vegetación. Sin embargo, las aperturas y saltos de tierra en su superficie son visibles en las fotografías dron, obtenidas el pasado 15 de octubre de 2021 (fotografía 18).

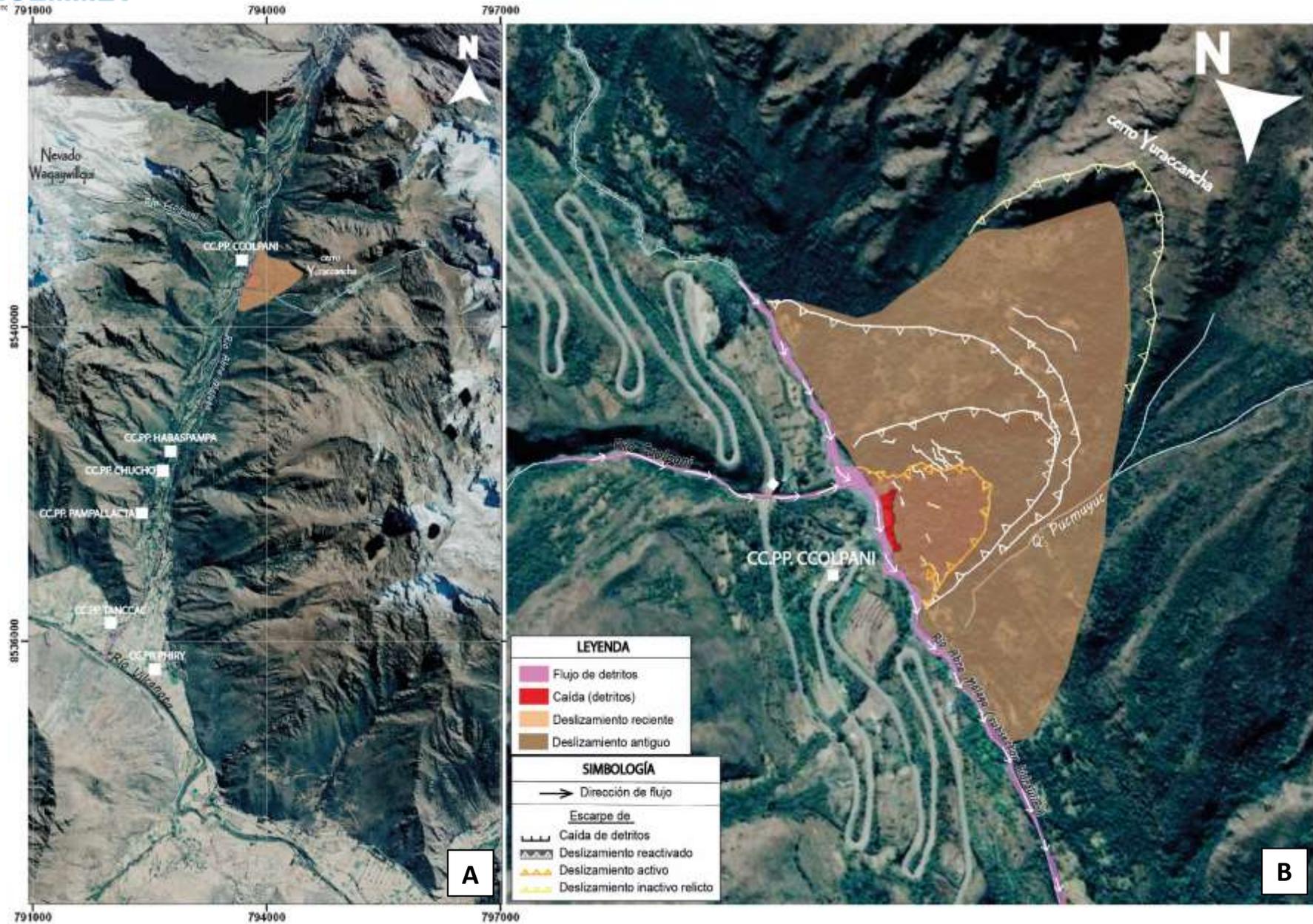


Figura 7. Cartografía de Peligros Geológicos en el valle del río Abra Málaga. A) sector de Ccolpani al sector de Tanccac). B) Sector de Ccolpani..

### 5.1.2. DINÁMICA Y CÁLCULOS VOLUMÉTRICOS INFERIDOS DEL DESLIZAMIENTO ACTIVO

El estado actual de los deslizamientos activo y reactivado en el cerro Yuraccancha, sumado a precipitaciones intensas de la zona de estudio, geomorfología, pendiente del terreno de inclinación fuerte a muy fuerte, muestran una dinámica **muy activa** y la alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos sobre el cerro Yuraccancha.

De ocurrir el desprendimiento de masas de este deslizamiento activo puede causar el represamiento del cauce del río Abra Málaga, flujo de detritos de grandes dimensiones que afectaría centros poblados en la parte baja (Ccolpani, Pampallacta, Phiry y Tanccac), y sobre todo comprometería la seguridad de los habitantes del centro poblado de Ccolpani (ubicado 80 m frente al deslizamiento activo) (figura 7 y fotografía 19). Por lo tanto, el peligro es **muy alto**.



**Fotografía 19:** Centro poblado de Ccolpani ubicado a 80 metros del deslizamiento activo identificado.

- Volumen inferido del deslizamiento o masa de detritos, que **podría desprenderse** en el cerro Yuraccancha.

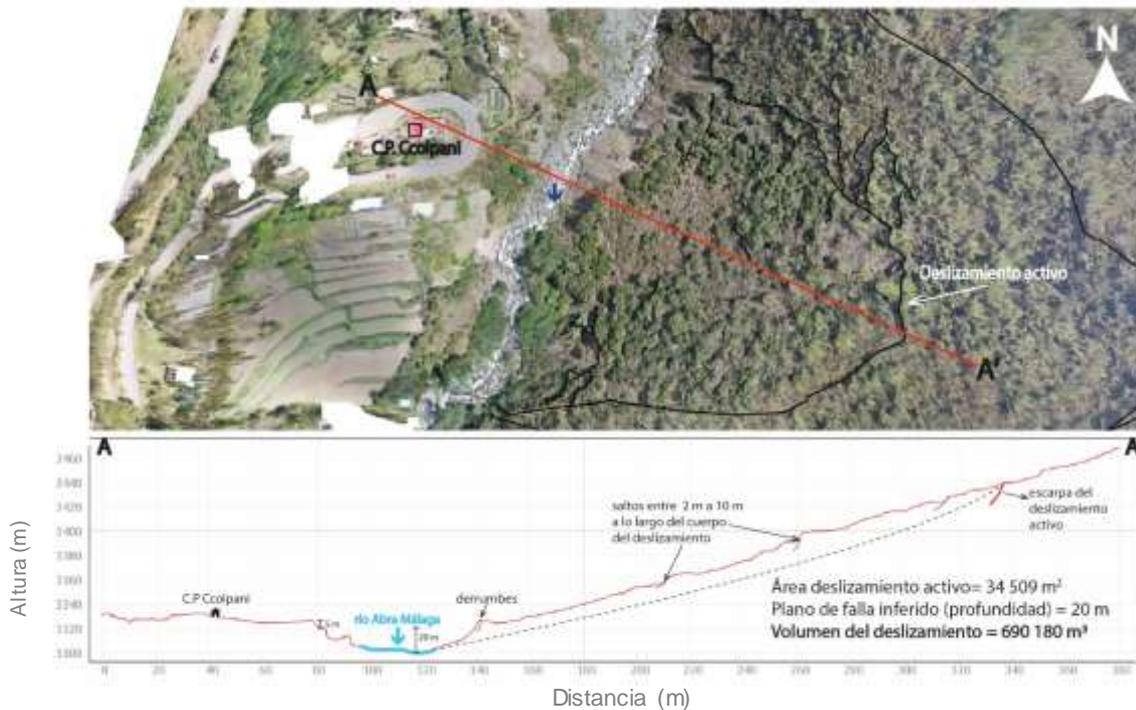
Se ha realizado el perfil transversal A – A', cuyo trazo va desde el centro poblado de Ccolpani hasta la parte alta del deslizamiento activo cartografiado en la figura 6. El perfil alcanza alturas entre 3228 m s.n.m. (río del Abra Málaga) a 3470 m s.n.m. (cabecera del deslizamiento activo).

El deslizamiento activo ubicado en el flanco izquierdo del río Abra Málaga yace sobre una pendiente de fuerte inclinación (16°).

El modelo de elevación de 3 m de resolución (producto del sobrevuelo dron) permitió identificar escarpes secundarios con saltos de 2 m a 10 m a lo largo de la superficie del deslizamiento activo (figura 8).

A través de softwares en el campo de Sistemas de Información Geográfica (ArcGis y Qgis), se realizó la representación de la superficie actual del perfil A-A', en donde se calculó un volumen inferido de 690 180 m<sup>3</sup>, considerando el área del deslizamiento (34 509 m<sup>2</sup>) y un plano de falla a 20 m de profundidad.

Esto indica que, de detonar el deslizamiento, 690 180 m<sup>3</sup> de masas de detritos se desprenderían a lo largo de una superficie con 16° de inclinación en dirección al río del Abra Málaga y centro poblado de Ccolpani (ubicado a 3330 m s.n.m. y a ~ 29 m de altura del piso de valle del río Abra Málaga (figura 8).



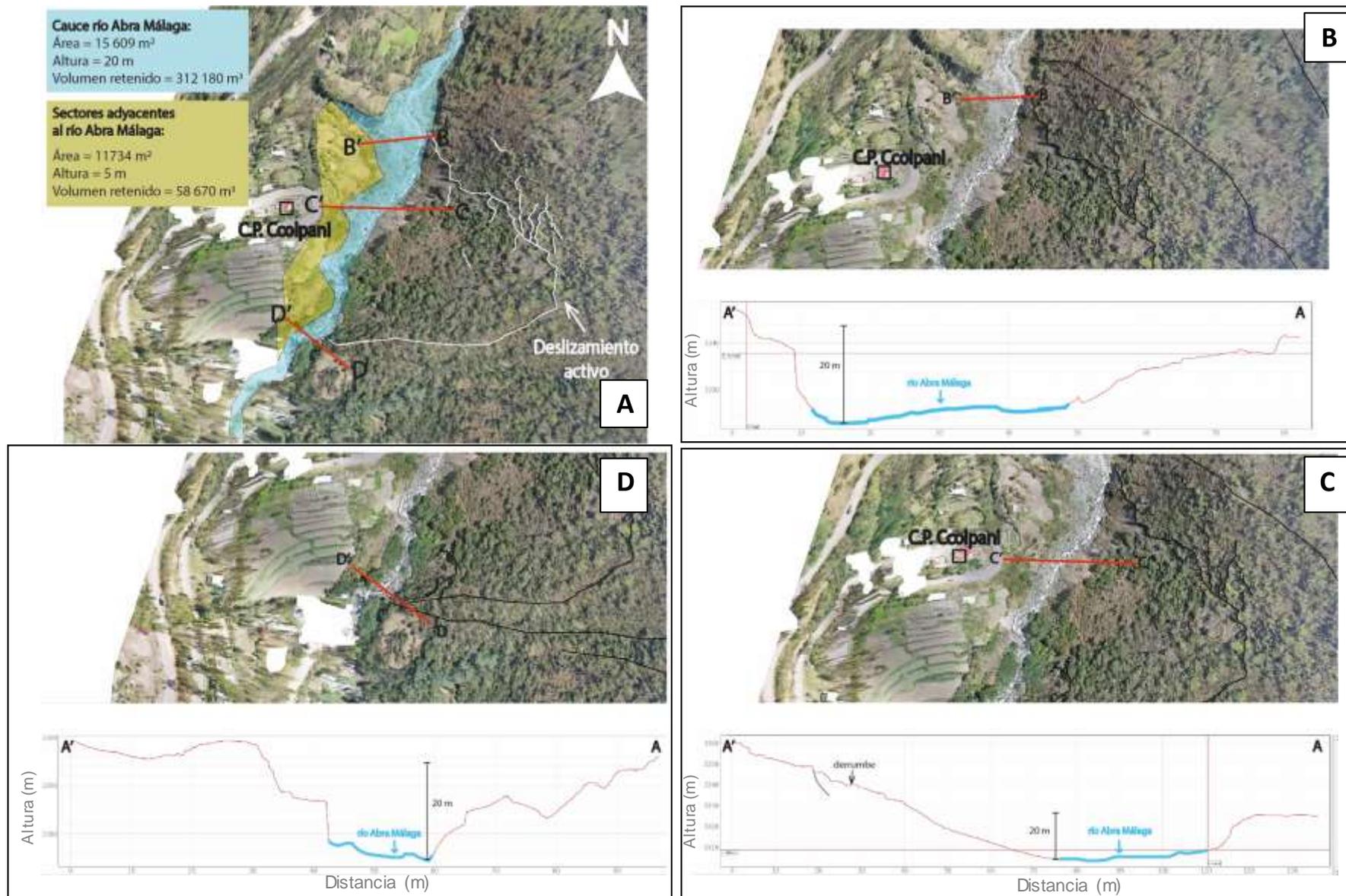
**Figura 8.** Perfil A – A', muestra el corte transversal del río Abra Málaga, desde el centro poblado de Ccolpani (flanco derecho) hasta la parte alta del escarpe del deslizamiento activo (flanco izquierdo).

- Volumen inferido del deslizamiento, que podría ser retenido:

### En el cauce del río y sectores adyacentes al río Abra Málaga

Se realizó el cartografiado de la posible área del cauce del río Abra Málaga (polígono celeste en la figura 9) y áreas adyacentes (polígono amarillo en la figura 9 y figura 8), sobre las cuales se retendría la masa de deslizamiento desplazado. Este cálculo muestra áreas de 15 609 m<sup>2</sup> y 11 734 m<sup>2</sup> respectivamente.

Para determinar la altura que el río, se realizó 3 perfiles transversales (B-B', C-C', D-D'). De los cuales se concluye que el cauce del río puede almacenar una altura promedio de ~ 20 m (figura 9) y ~ 5 m en los sectores adyacentes (figura 8). Por lo tanto, el volumen de masa desliza que podría retenerse en el cauce del río y sectores adyacentes cartografiados es de 312 180 m<sup>3</sup> y 58 670 m<sup>3</sup> respectivamente (figura 9 A).



**Figura 9.** Perfiles transversales en el cauce del río Abra Málaga. **A)** Cartografiado del cauce y sectores adyacentes. **B)** Perfil B - B'. **C)** Perfil C - C' **D)** Perfil D - D'. 32

### **Sobre la superficie de falla del deslizamiento activo**

Un deslizamiento al ser detonado, se desplaza a lo largo de su superficie de falla hasta alcanzar su equilibrio. Por lo tanto, es posible que gran parte de su masa pueda ser retenida en la superficie sobre la cual se desplaza, esto dependerá de la pendiente, dimensiones del deslizamiento y sobre todo de magnitud de su desplazamiento.

Para realizar el cálculo volumétrico del material de deslizamiento que podría ser retenido sobre su plano de falla, se representó **2 escenarios probables de ocurrencia**.

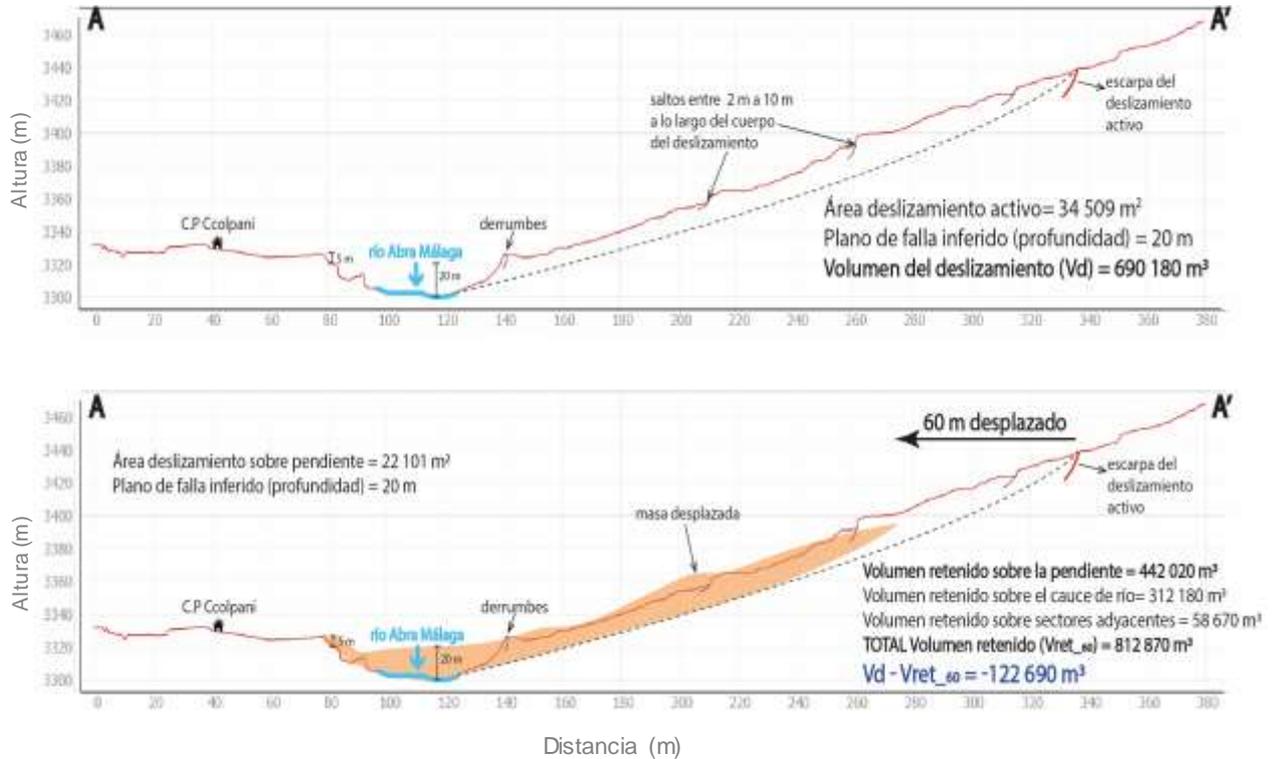
- Deslizamiento desplazado 60m, sobre su plano de falla: Si el deslizamiento se desplazaría 60 m, quedaría retenido 442 020 m<sup>3</sup> sobre su plano de falla, debido a que se cartografió un área de 22 101 m<sup>2</sup> y se consideró una profundidad de 20m (figura 10B).
- Deslizamiento desplazado 110m, sobre su plano de falla: Si el deslizamiento se desplazaría 110 m, quedaría retenido 292 720 m<sup>3</sup> sobre su plano de falla, debido a que se cartografió un área de 14 636 m<sup>2</sup> y se consideró una profundidad de 20m (figura 11).

Volumen del deslizamiento (podría desprenderse) – Volumen del deslizamiento (podría ser retenido).

### **Deslizamiento desplazado 60 m**

Considerando el volumen retenido sobre el cauce del río, sectores adyacentes y plano de falla del deslizamiento se obtiene un volumen retenido total de 812 870 m<sup>3</sup>. La diferencia entre el volumen del deslizamiento calculado inicialmente (690 180 m<sup>3</sup>) y el volumen retenido total (812 870 m<sup>3</sup>) es de -122 690 m<sup>3</sup>. El valor negativo indica que **hay suficiente espacio** para retener la masa del deslizamiento y 122 690 m<sup>3</sup> más, si este se desplaza 60 m a lo largo de su plano de falla.

Es importante mencionar que la carretera nacional 28 B, con ruta Ollantaytambo - Quillabamba (altura C.P. Ccolpani), se encuentra a pocos metros del flanco derecho del río Abra Málaga, por lo tanto, esta infraestructura puede llegar a ser cubierta ligeramente por detritos de la masa desplazada.

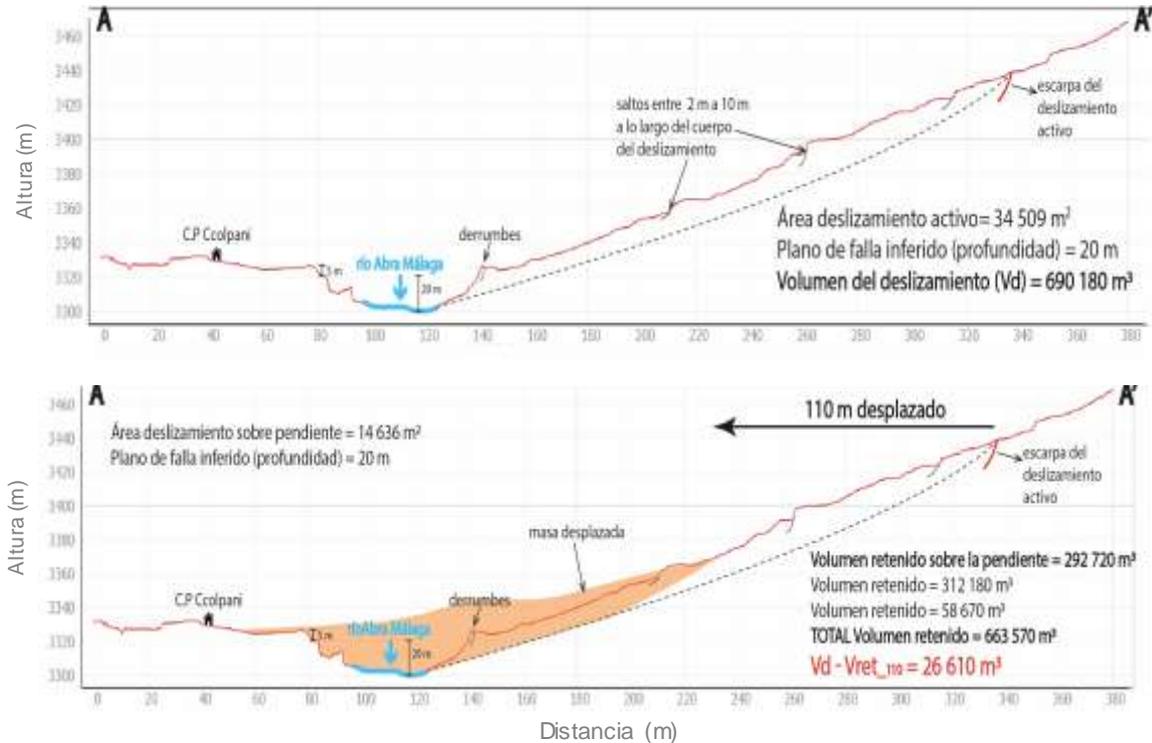


**Figura 10. A)** Perfil transversal A-A. **B)** Representación del material del deslizamiento desplazado 60 m a lo largo de su plano de falla

### Deslizamiento desplazado 110 m

Considerando el volumen retenido sobre el cauce del río, sectores adyacentes y plano de falla del deslizamiento se obtiene un volumen retenido total de 663 570 m<sup>3</sup>. La diferencia entre el volumen del deslizamiento calculado inicialmente (690 180 m<sup>3</sup>) (figura 11A) y el volumen retenido total (663 570 m<sup>3</sup>) es de 26 610 m<sup>3</sup>. El valor positivo indica que **NO hay suficiente espacio** para retener la masa de deslizamiento si este se desplaza 110 m a lo largo de su plano de falla, faltaría espacio para retener 26 610 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, este volumen restante afectaría el centro poblado de Ccolpani (por encontrarse en la dirección de la masa desplazada) (figura 11B).

Este cálculo fue realizado considerando un plano de falla ubicado a 20 m de profundidad, si la masa de deslizamiento a desprenderse compromete más área o mayor profundidad del plano de falla, el volumen desplazado sería mucho mayor al calculado y generaría el represamiento del cauce del río Abra Málaga y posterior flujo de detritos de grandes dimensiones que afectaría centros poblados en la parte baja (Ccolpani, Pampallacta, Phiry y Tanccac). Además de la posible afectación del centro poblado de Ccolpani,



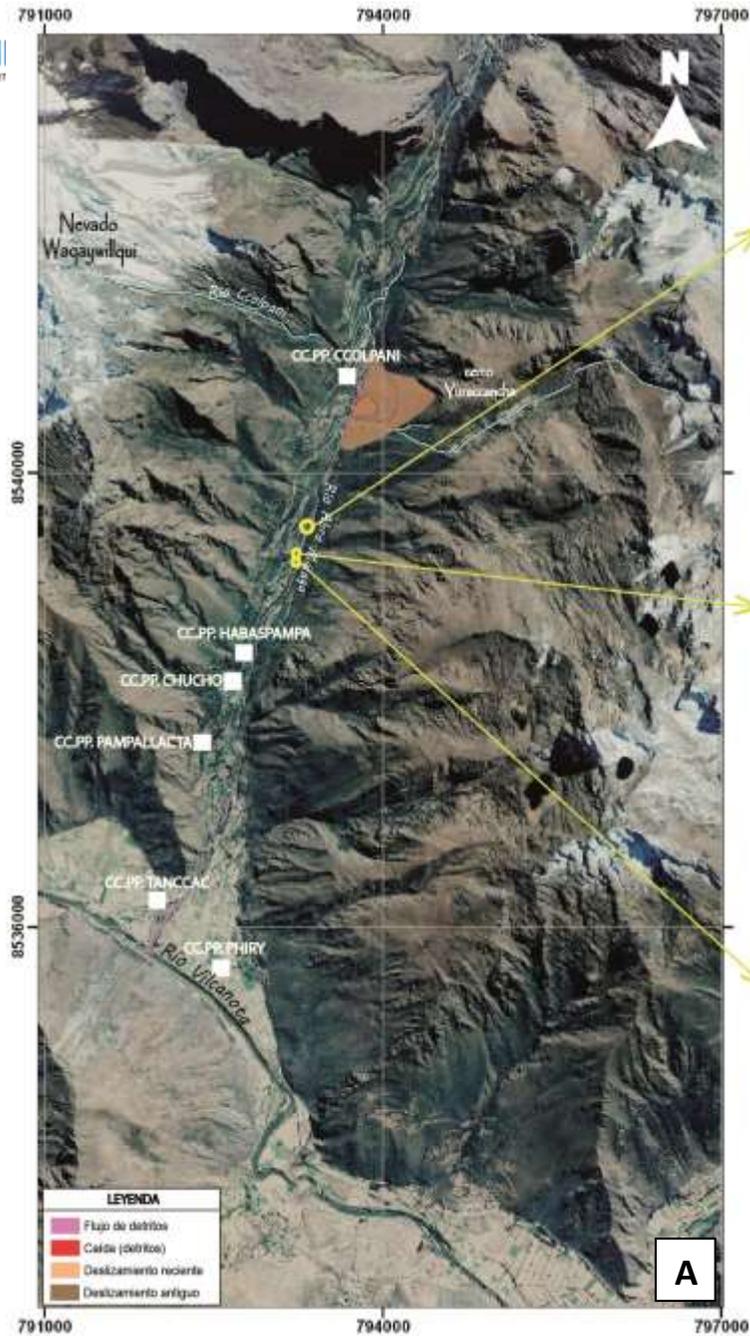
**Figura 11. A)** Perfil transversal A-A. **B)** Representación del material del deslizamiento desplazado 100 m a lo largo de su plano de falla

## 5.2. PARTE MEDIA: Peligros geológicos

### 5.2.1. ZONA 1: RUTA CCOLPANI – HABASPAMPA Y PAMPALLACTA

El flujo de detritos se extiende en dirección SW a lo largo de los sectores de Ccolpani, Habaspampa y Pampallacta con centros poblados del mismo nombre (figura 12A), destruyendo terrenos de cultivo, caminos peatonales y afectando tramos de 0.5 m a 1.2 m de la carretera Tunasmoco (ruta Ollantaytambo - Quillabamba) (figura 12B y 12C), bocatomas, un tramo del canal de regadío, tuberías superficiales usadas para riego de terrenos de cultivo de 30 familias de los habitantes de Habaspampa y Pampallacta en el flanco derecho del río Abra Málaga (figura 12D).

Actualmente se observa la carretera de Tunasmoco ya rehabilitada, se colocaron tuberías superficiales que conectan al canal de regadío en Habaspampa (captación del río Abra Málaga). Sin embargo, se observa filtraciones en la tubería para riego y una vivienda en el sector de Habaspampa ubicada a solo 4 m del flanco derecho del río Abra Málaga (figura 12E).



A7214

**Figura 12. A)** Peligros Geológicos en el río de Abra Málaga (Sector de Ccolpani a C.P. Tanccac. **B)** Carretera Tunasmoco rehabilitada. **C)** Camino peatonal destruido por el flujo de detritos. **D)** Bocatoma y tuberías de riego destruidos. **E)** Vivienda en Habaspampa ubicada a ~4 m del flanco derecho del río, después del flujo de detritos. 36

5.2.2. ZONA 2: RUTA PAMPALLACTA – PHIRY (parte alta)

Siguiendo la ruta del flujo de detritos y los daños generados en el evento de febrero de 2010, Aguas abajo se observa el puente Santa Rosa, quien divide a los centros poblados de Pampallacta y Phiry (figura 13A). En el 2010 no existía viviendas ubicadas cerca al puente Santa Rosa, por lo que el desborde del flujo de detritos no afectó ninguna vivienda. Sin embargo, actualmente hay más de 15 viviendas a solo 30 m del puente Santa Rosa (en el flanco izquierdo del río Abra Málaga) (figura 13C), quienes estarían comprometidas directamente de ocurrir un nuevo flujo extraordinario.

Se observa gaviones de ~3 m de longitud en el flanco izquierdo del río Abra Málaga, lado izquierdo del puente Santa Rosa (figura 13B).

**Figura 13. A)** Peligros Geológicos en el río de Abra Málaga (Sector de Ccolpani a C.P. Tanccac.

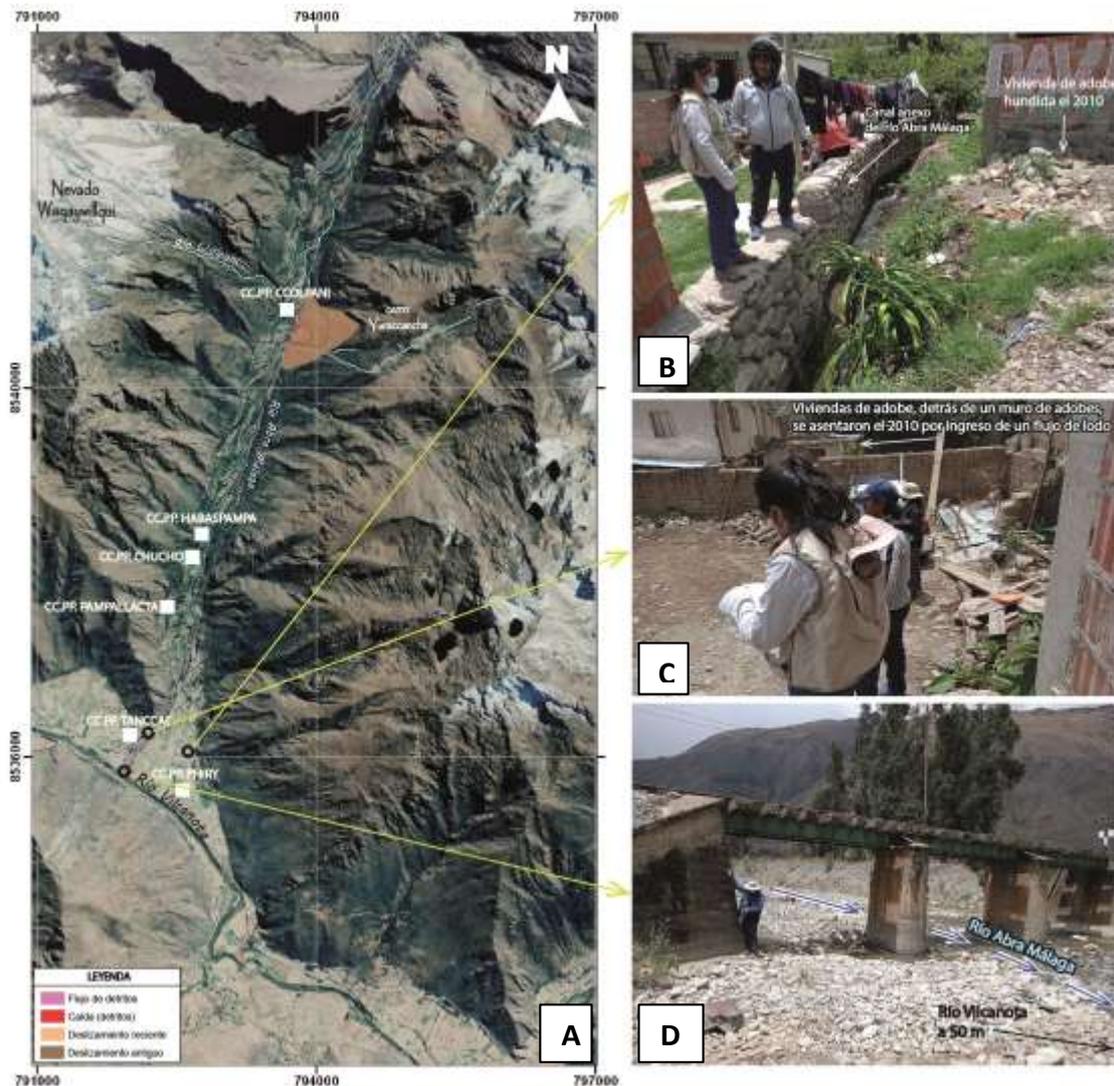


**B)** Puente Santa Rosa y gaviones realizados en el flanco izquierdo. **C)** viviendas del C.P. Phiry ubicado en el flanco izquierdo del río Abra Málaga.

### 5.3. PARTE BAJA - SECTOR DE PHIRY Y TANCCAC: Peligros geológicos

El centro poblado de Phiry (Parte baja), tiene un cauce artesanal de riego que conecta al río Abra Málaga. El flujo de detritos de febrero de 2010 colmató el cauce artesanal generando inundación y desborde de flujos de lodo en Phiry, provocando la destrucción de viviendas precarias, por asentamiento (figura 14B).

Siguiendo su cauce, el flujo de detritos entró al centro poblado de Tanccac cubriendo 1m de altura el nivel de la superficie. Gran parte de las viviendas de Tanccac fueron protegidas por un muro de roca y barro (figura 14C), sin embargo, el flujo de lodo que logró entrar generando un desnivel de 1m y el asentamiento/agrietamiento de 18 viviendas precarias en el flanco derecho (figura 14C) y 8 viviendas en el flanco izquierdo. Actualmente se observan viviendas agrietadas en el flanco derecho, pero la mayoría son construcciones recientes. En la desembocadura del río Abra Málaga (confluencia con el río Vilcanota), se observa la acumulación de clastos subredondeados de 1 cm a 20 cm de diámetro, envueltos en una matriz arenosa (figura 14D).



**Figura 14. A)** Peligros Geológicos en el río de Abra Málaga (Sector de Ccolpani al C.P. Tanccac. **B)** Canal por donde se desvió una parte del flujo de lodo. **C)** muro de adobe que sirvió de protección del C.P. Tanccac. **D)** Puente de Tanccac, el río Abra Málaga se une con el río Vilcanota.

#### 5.4. Daños en el área de estudio

- ✓ Destrucción de restos arqueológicos: Muro de Peñas y 200 m del camino Inca 'Qhapac Ñan'.
- ✓ Destrucción de la captación hídrica del centro poblado de Ccolpani,
- ✓ Destrucción de 7 bocatomas en el cauce del río Abra Málaga
- ✓ Destrucción de Piscigranjas
- ✓ Destrucción del puente antiguo del sector de Ccolpani
- ✓ Destrucción de ~ 8 hectáreas de terrenos de cultivos de los sectores de Ccolpani, Pampallacta, Phiry y Tanccac.
- ✓ Afectación de viviendas en el centro poblado de Tanccac
- ✓ Afectación de carreteras asfaltadas en el sector de Phiry
- ✓ Afectación de la plataforma del puente Santa Rosa

#### 5.5. Factores condicionantes y desencadenantes

##### 5.5.1. FACTORES CONDICIONANTES

- GEOLOGÍA: Las unidades geológicas que conforman el área de estudio son rocas metamórficas del Grupo Ollantaytambo, cubierto por depósitos aluviales, coluviales y fluviales acumulados en quebradas, laderas empinadas y lechos de río, generados por meteorización, gravedad, movimientos sísmicos y movimientos en masa (deslizamiento, derrumbes y flujos de detrito).
- TECTÓNICA: Regionalmente se observa la presencia de fallas activas cuaternarias del sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba-Kimbiri, que se extienden a lo largo de 110 kilómetros en dirección E-O, su existencia condiciona la presencia de sismos en la zona de estudio.
- GEOMORFOLOGÍA: Están conformadas por montañas en rocas metamórficas en la parte alta y vertientes con depósito de deslizamiento, coluvial de detritos y aluvio-torrencial, estas vertientes son disectadas por quebradas y ríos, y al mismo tiempo se observa la presencia de movimientos en masa recientes y antiguos.
- PENDIENTE: A lo largo del río Abra Málaga (sector de Ccolpani a Tanccac), se observa terrenos con pendientes que varían de abrupta (>45°) a muy baja (<1°) inclinación, desde el sector de Ccolpani al centro poblado de Tanccac.

#### 5.5.2. FACTORES DESENCADENANTES

- **LLUVIAS INTENSAS:** La parte alta del área de estudio (sector Ccolpani), registra precipitaciones anuales entre 1200 mm y 1800 m, siendo considerando un clima lluvioso.
- **SISMOS:** A pesar de que el testimonio de pobladores indica que no sintieron ningún movimiento telúrico cuando desencadenó el evento, los sismos son uno de los factores que condicionan la ocurrencia de grandes movimientos en masa.

## 6. CONCLUSIONES

- a) Geológicamente, en el área de estudio afloran rocas metamórficas del Grupo Ollantaytambo (micasquistos, cuarcitas, esquistos y filita), afloramientos rocosos que se encuentran ligeramente meteorizados. 3 km al norte de estos afloramientos se observa la presencia del sistema de fallas Ollantaytambo–Vilcabamba-Kimbiri quien ha influenciado el ligero fracturamiento de rocas y activación de deslizamientos antiguos. Además, las unidades no consolidadas que del área de estudio son depósitos aluviales (fragmentos heterométricos y heterogéneos envueltos en una matriz areno-arcillosa/limosa), depósitos coluviales (fragmentos heterogéneos con material fino de arena y limo) y depósitos fluviales con bolones, cantos y gravas subredondeados en matriz arenosa o limosa, distribuidos en el fondo de valle, quebradas principales y lecho de ríos.
- b) Las unidades geomorfológicas que se tienen son geoformas de carácter tectónico degradacional como las montañas en roca metamórfica con terrenos de pendientes que varían de muy fuerte (25° - 45°) a abrupta (>45°). Geoformas de carácter depositacional como las vertientes con depósito de deslizamiento, vertientes coluviales de detrito y vertiente aluvio-torrencial, donde los terrenos tienen pendientes que varían de baja (1° - 5°) a media inclinación (5° - 15°). Estas características asociadas a la geología clasifican el área con un grado de susceptibilidad **media a muy alta**, a la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Los sectores evaluados, por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que evidencian, se consideran como dinámicamente **muy activos**, por lo tanto, las áreas de estudio tienen un nivel de **peligro muy alto** en temporada de lluvia intensa y prolongadas.
- d) Los peligros geológicos reconocidos, corresponden a movimientos en masa de tipo 'deslizamientos, caídas (derrumbes), flujo de detritos y lodo', desencadenados lo largo de río Abra Málaga.
- e) En febrero de 2010, el desprendimiento de tierras en los flancos del río Allnapata y Ccolpani, asociado a la crecida de sus caudales por lluvias intensas de la época, generó flujos de detrito que se extendieron a lo largo del río Abra Málaga hasta desembocar en el río Vilcanota, este evento destruyó restos arqueológicos (muro de Peñas y 200 m del camino Inca 'Qhapac Ñan'), captación hídrica del centro poblado de Ccolpani, 7 bocatomas, piscigranjas, puentes antiguos, ~ 8 hectáreas de terrenos de cultivos de los sectores de Ccolpani, Pampallacta, Phiry y Tanccac, afectó viviendas del centro poblado de Tanccac, carreteras asfaltadas y la plataforma del puente Santa Rosa (Pampallacta - Phiry).
- f) Al mismo tiempo las lluvias de febrero de 2010 provocaron la activación de un deslizamiento en el flanco izquierdo del Abra Málaga (sector de Ccolpani – cerro Yuraccancha), que puede afectar al centro poblado de Ccolpani. Por lo tanto, el área de estudio es de peligro **muy alto**.

- g) Los cálculos volumétricos demuestran que, si el deslizamiento activo en el cerro Yuraccancha se desplaza 60 m, su volumen sería retenido en la ladera sobre la que se desplazaría, cauce del río Abra Málaga y sectores adyacentes, afectando ligeramente la carretera asfaltada con ruta Olantaytambo - Quillabamba. Sin embargo, de desplazarse 110 m, el volumen de su masa desplazada podría afectar el centro poblado de Ccolpani, represar el cauce del río Abra Málaga y activar un flujo de detritos aguas abajo que afectaría los centros poblados de Ccolpani, Pampallacta, Phiry y Tanccac.
- h) Los factores condicionantes del área de estudio son la geología, geomorfología y pendiente, mientras que sus factores desencadenantes son lluvias intensas y sismos de gran magnitud.

## 7. RECOMENDACIONES

- A) Realizar la descolmatación del cauce del río Abra Málaga en la parte alta (sector de Ccolpani)
- B) Restablecer la captación hídrica y realizar el mantenimiento de pozos de filtro y clorificación para abastecer de agua potable al centro poblado de Ccolpani, debido a que el consumo prolongado de agua no tratada es un riesgo para la salud poblacional.
- C) Monitorear permanentemente las aperturas, saltos y grietas del deslizamiento activo en el cerro Yuraccancha.
- D) Realizar forestación en el área del deslizamiento activo y reactivado.
- E) Elaborar un sistema de alerta temprana que permita avisar a la población de Ccolpani, el posible desplome del deslizamiento activo, para ponerse a resguardo.
- F) Se debe respetar el cauce del río Abra Málaga (generado después del flujo de detritos de febrero de 2010), no se debe permitir el desarrollo de actividades agrícolas, piscícolas, ni de urbanización.
- G) Realizar trabajos de enrocado y/o gaviones a ambos flancos del puente Ccolpani, Santa Rosa y cauce artesanal del centro poblado de Phiry (parte baja).
- H) Reubicar las viviendas del centro poblado de Phiry (parte alta) y/o contratar a un especialista que brinde soluciones ingenieriles que permitan proteger el centro poblado de flujo de detritos extraordinarios.



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



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

## 8. BIBLIOGRAFÍA

*Benavente, C.; Delgado, F.; Taipe, E.; Audin, L. & Pari, W. (2013) - Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245 p.*

*Carlotto V., Cárdenas J. & Chávez R. (1998). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca, hojas 27-r y 27-s. Boletín N° 65. Serie A: Carta Geológica Nacional. INGEMMET. 255p*

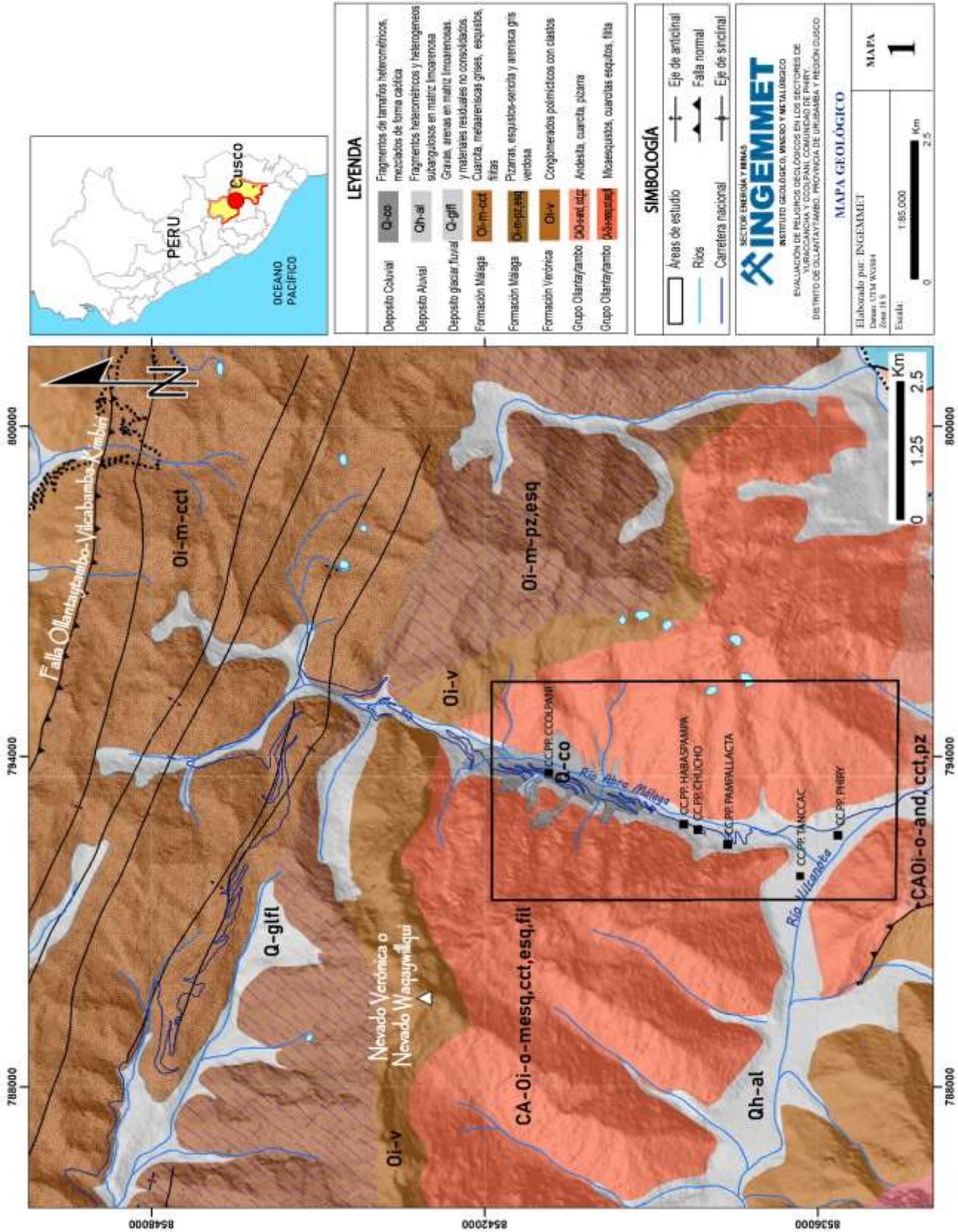
*Proyecto Multinacional Andino: GCA,2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Servicio Nacional De Geología Y Minería. Publicación Geológica Multinacional No. 4, 2007.*

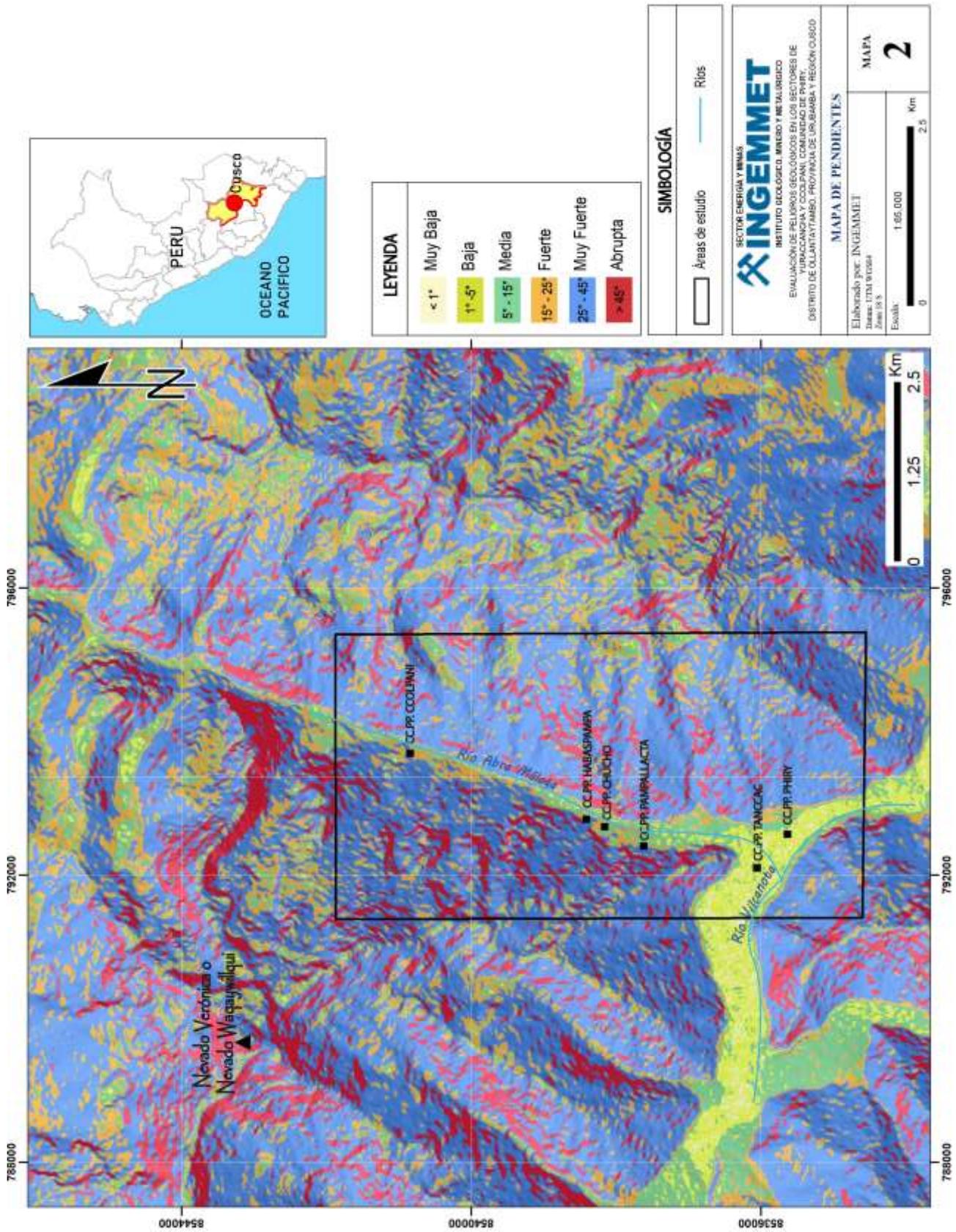
*SENAMHI, 2020. Climas del Perú\_Mapa de Clasificación Climática Nacional. Resumen Ejecutivo. 7 p.*

*Vilchez M., Sosa N., Pari W., Peña F. (2020). Peligro Geológico en la región de Cusco. Boletín N° 74. Serie C. INGEMMET.*

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

**ANEXOS**





Mapa 2. Mapa de pendientes. Fuente DEM: Alaska satellite facility

