

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7299

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA UNUHUAYCO – RETAMACHAYOO, APV VILLA PFACCHAYOO

Departamento Cusco
Provincia Cusco
Distrito San Sebastián



SETIEMBRE
2022

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA UNUHUYCO – RETAMACHAYOQ, APV. VILLA PFACCHAYOQ.

(Distrito San Sebastián, provincia Cusco, departamento Cusco)

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

Responsable de la investigación:

Gael Araujo Huamán

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). *Evaluación de Peligros Geológicos por movimientos en masa en la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, APV. Villa Pfacchayoq*. Distrito San Sebastián, provincia Cusco, departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7299, 39 p.

INDICE

| | | |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 5 |
| 1.1. | Objetivos del estudio | 5 |
| 1.2. | Antecedentes y trabajos anteriores | 5 |
| 1.3. | Aspectos generales | 7 |
| 1.3.1. | UBICACIÓN | 7 |
| 1.3.2. | POBLACIÓN..... | 8 |
| 1.3.3. | ACCESIBILIDAD | 8 |
| 1.3.4. | CLIMA | 8 |
| 2. | ASPECTOS GEOLÓGICOS | 11 |
| 2.1. | Unidades litoestratigráficas | 11 |
| 2.1.1. | GRUPO SAN JERÓNIMO..... | 11 |
| - | FORMACIÓN KAYRA (Peo-ky) | 11 |
| - | FORMACIÓN SONCCO (Peo-so)..... | 12 |
| 2.1.2. | FORMACIÓN SAN SEBASTIAN (Q-sa) | 13 |
| 2.1.3. | DEPÓSITOS SUPERFICIALES NO CONSOLIDADOS | 14 |
| - | DEPÓSITOS COLUVIO-DELUVIALES (Q-cd)..... | 14 |
| - | DEPÓSITOS PROLUVIALES (Q-pl) | 15 |
| 3. | ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS..... | 16 |
| 3.1. | Pendientes del terreno | 16 |
| 3.2. | Unidades geomorfológicas | 17 |
| 3.2.1. | GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL..... | 17 |
| 3.2.2. | GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL..... | 17 |
| 4. | PELIGROS GEOLÓGICOS | 20 |
| 4.1. | Caracterización de Peligros por Movimientos en Masa | 20 |
| 4.2. | Evolución temporal de ambos márgenes de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, sector de Pfacchayoq..... | 21 |
| 4.3. | Perfil Longitudinal y transversal del deslizamiento de Pfacchayoq..... | 29 |
| 4.4. | Factores condicionantes y desencadenantes | 32 |
| 4.4.1. | FACTORES CONDICIONANTES | 32 |
| 4.4.2. | FACTORES DESENCADENANTES | 32 |
| 5. | CONCLUSIONES | 33 |
| 6. | RECOMENDACIONES..... | 34 |
| 7. | BIBLIOGRAFÍA..... | 35 |
| | ANEXOS | 36 |

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa a ambos márgenes de la quebrada Unuhuayco –Retamachayoq, APV Villa Pfacchayoq, distrito de San Sebastián, provincia y departamento de Cusco.

Con este trabajo el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En la quebrada de Unuhuayco - Retamachayoq, sector Pfacchayoq afloran rocas sedimentarias como areniscas y lutitas altamente fracturadas y ligera a moderadamente meteorizadas de las formaciones Kayra y San Sebastián. Cubriendo estos afloramientos se tienen depósitos superficiales no consolidados de tipo coluvio – deluvial, acumulados en laderas de pendiente muy fuerte (25° a 45°), generados por erosión y gravedad.

Las unidades geomorfológicas cartografiadas en el área corresponden a: montaña estructural en roca sedimentarias; vertientes coluvio – deluviales con pendientes entre muy fuerte a abrupta (25° a >45°); así como piedemonte proluvial o aluvio-torrencial con pendiente baja (1° a 5°). Por las características mencionadas, se considera la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, como de **susceptibilidad alta** a la ocurrencia de movimientos en masa.

La evolución multitemporal de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq en 20 años (2002 al 2022), muestra que 05 sectores del su flanco izquierdo eran históricamente cortados por cárcavas cuya longitud variaba de 120 m a 1000 m. Sin embargo, cuando inició el reasentamiento poblacional en el 2013, dichas cárcavas fueron cubiertas con material de relleno (desmonte). Desde entonces y por casi 10 años se han generado derrumbes y deslizamientos sobre el material de relleno.

El 2013, meses después del relleno de cárcavas, se activó un deslizamiento con longitud de 93 m (desde la escarpa al pie) y una escarpa de 52 m, en el sector de Pfacchayoq. El mismo que el 22 de enero de 2022 fue reactivado, con una longitud de 87 m (desde la escarpa al pie) y escarpa de 54, modificando el talud a una pendiente muy fuerte (28°).

Este evento destruyó tuberías de agua, 02 postes de alumbrado público, un muro de ladrillos de longitud de 2.5 m, terrenos de cultivo de capulí, durazno, habas y papas, en un área de 1000 m², dos trochas vecinales cuyo ancho era de 2 m y longitud de 13 m y 35 m en la cabecera y al pie del deslizamiento. Además, afectó 02 viviendas y provocó daños a la vida de 02 de sus 05 habitantes.

Además de las viviendas asentadas cerca y sobre la cárcava recubierta con desmonte en la APV Villa Pfacchayoq, los otros 04 sectores son considerados como zonas críticas, al ser **dinámicamente muy activas** y de **peligro muy alto** a la reactivación de deslizamientos y derrumbes, en temporada de lluvia intensa y prolongada.

El presente informe se pone a disposición de las autoridades, a fin de que las conclusiones y recomendaciones sirvan como instrumento y guía en el marco de la gestión de riesgos de desastres.

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 San Sebastián, según Oficio N°039-2022-GM-MDSS, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, de tipo deslizamientos y derrumbes a ambas márgenes de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoc, sector de Pfacchayoq, reactivados el 22 de enero de 2022.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a la ingeniera Gael Araujo y David Prudencio, realizar una evaluación técnica insitu de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector de Pfacchayoq, quebrada Unuhuayco – Retamachayoc - Terevinto, llevada a cabo el 23 de abril y 12 de julio de 2022.

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 (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada, y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, elaboración de mapas / figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de San Sebastián 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 caracteriza peligros geológicos por movimientos en masa en la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, sector de Pafcchayoc –
- 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) En el boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la región Cusco (Vílchez et al., 2020) presenta el mapa de susceptibilidad regional a escala 1:250 000; esta información de referencia sumada a la evaluación técnica de campo, permitió corroborar y zonificar regionalmente el área de estudio y sus alrededores en niveles de susceptibilidad media a muy alta, predominando niveles de susceptibilidad alto en la margen izquierda y derecha de la quebrada Unuhuyco – Retamachayoq, cuyos taludes presentan pendientes de (25° a 55°), en donde se generan deslizamientos y derrumbes (figura 1 y cuadro 1).

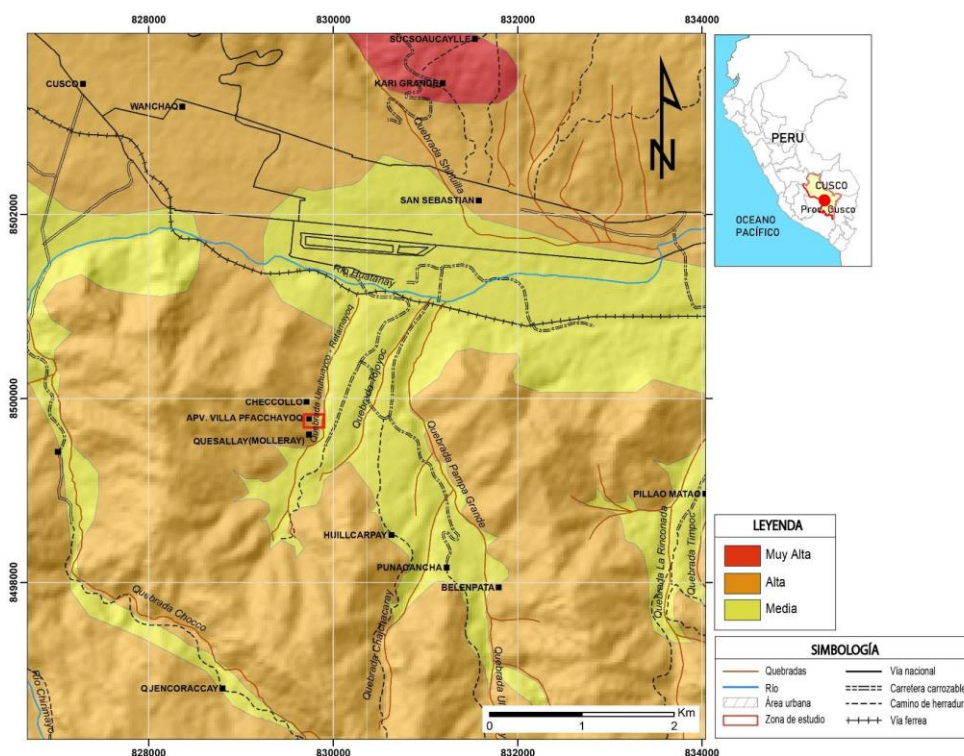


Figura 1. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa. Fuente: modificado de Vílchez et al., 2020

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

| GRADO | CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS | RECOMENDACIONES |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MEDIA | Aquí algunas condiciones pueden favorecer la ocurrencia de movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes bajas a medias (5°–15°). Así se tienen depósitos aluviales y coluvio-deluviales. Con sustratos de rocas sedimentarias fracturadas. Representa algunas terrazas y quebradas formadas por depósitos coluvio-deluviales y aluviales antiguos de movimientos en masa. | 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 del área circundante. |
| ALTA | En esta zona confluyen la mayoría de condiciones de terreno favorables a generar movimientos en masa, cuando se desestabilizan las laderas por causas naturales o por acción antrópica. Toda la zona de estudio está representada por pendientes de fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°) inclinación, que condiciona la ocurrencia de movimientos en masa de tipo derrumbes y deslizamientos que pueden generar flujo de detritos. | 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 geológicos. |
| MUY ALTA | Presentan condiciones del terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes de abrupta inclinación (> 45°), compromete suelos coluvio-deluviales derivados de antiguos movimientos en masa; dispuestos sobre sustratos de rocas sedimentarias. | Se recomienda prohibir el desarrollo de toda infraestructura de cualquier tipo (carreteras, puentes, presas, hidroeléctricas) o habitación urbana. |

A) El Boletín N° 138, Serie A, de la Carta Geológica Nacional. Geología del cuadrángulo de Cusco (28-s) (Carlotto et al. 2011), y el boletín N°74, Serie C: Peligros geológicos en la Región Cusco (Vilchez et al. 2020), describen las unidades geológicas presentes en la zona evaluada.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. UBICACIÓN

La A.P.V. Villa Pfacchayoq se asienta sobre una ladera de $>25^\circ$ de inclinación, en la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq. Políticamente, pertenece al distrito de San Sebastián, provincia y departamento del Cusco (figura 2). Además, el sector y su área de influencia está ubicado en las coordenadas UTM WGS84 y geográficas mostradas en el cuadro 2.

La quebrada Unuhuayco – Retamachayoq se extiende por más de 3km hasta desembocar en el río Huatanay.

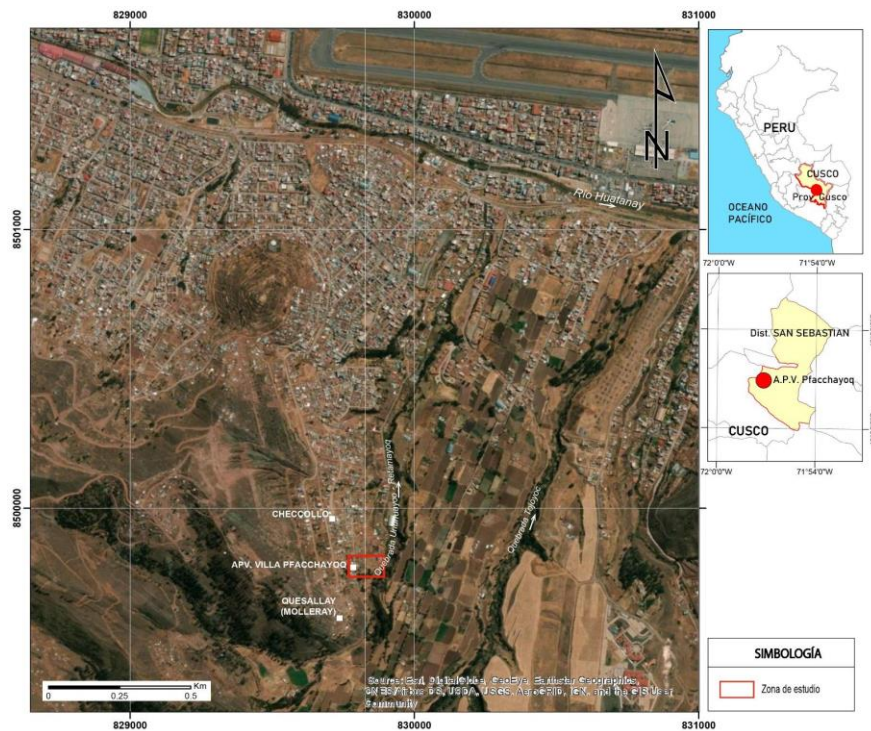


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

Cuadro 2. Coordenadas UTM y geográficas del área de estudio

| N° | UTM - WGS84 - Zona 18L | | Geográficas | |
|---------------------------|------------------------|---------|-------------|-------------|
| | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | 180342 | 8499970 | 13° 33.07'S | 71° 57.19'O |
| 2 | 180346 | 8499890 | 13° 33.11'S | 71° 57.19'O |
| 3 | 180474 | 8499961 | 13° 33.08'S | 71° 57.12'O |
| 4 | 180459 | 8499886 | 13° 33.12'S | 71° 57.13'O |
| <i>Coordenada Central</i> | | | | |
| C | 180359 | 8499928 | 13° 33.09'S | 71° 57.18'O |

1.3.2. POBLACIÓN

Según cifras oficiales del censo del 2017 del INEI, la población del distrito de San Sebastián es de 33,394 habitantes. El distrito está conformado por 15 centros poblados hasta el 2017, sin embargo, otros nuevos fueron conformados desde entonces, tal es el caso de A.P.V. Villa Pfacchayoq, quien cuenta con más de 30 viviendas (figura 2).

1.3.3. ACCESIBILIDAD

Partiendo de la plaza de armas del Cusco, la APV Villa Pfacchayoq es accesible por el centro comercial Molino II – Urbanización Ttio, en dirección al paradero final de la empresa Willpillay y posteriormente en dirección al centro poblado de Quesallay(Molleray). Desde la APV Villa Pfacchayoq, parte alta del área de estudio, se observa la quebrada de Unuhuayco – Retamachayoq,

El tiempo estimado para acceder a la zona de estudio es de 25 min.

Cuadro 3. Rutas de acceso al área de inspección

| Ruta | Tipo de vía | Distancia (km) | Tiempo estimado |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| PROVINCIA DEL CUSCO | Por la carretera asfaltada de la Av. El sol – Tullumayu – San Martin – Luis Vallejo Santoni por el final de la empresa de transportes Willpillay | 6 km | 25 min |
| Desde la Plaza de Armas del Cusco a la APV. Villa Pfacchayoq | Vía asfaltada andres Avelino Cáceres – Mariano melgar - Atahuallpa | | |
| | Continuar recto por las trochas de la APV Villa Pfacchayoq | | |

1.3.4. CLIMA

- Temperaturas y precipitaciones

Según el Mapa climático Nacional del SENAMHI (2020), el sector de Pfacchayoc y sus alrededores están zonificados como clima de tipo semiseco, templado y con otoño e invierno seco (3500 m.s.n.m. a 4000 m.s.n.m.). Esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 23°C a 27°C y temperaturas mínimas de 5°C a 11°C. Asimismo, los acumulados anuales de lluvias alcanzan valores desde los 500 mm hasta los 900 mm aproximadamente.

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. Con el fin de dar a conocer el resultado de los estudios a las autoridades y público en general, se brinda una definición de los términos más importantes acuñados en el 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, huaycos, 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 una superficie de falla. Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava). |
| CAÍDA | DERRUMBE: Un tipo de caída, 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 (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes. |
| ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO EN MASA | REACTIVADO: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo |
| ESCARPE | Escarpe o escarpa: Superficie vertical o semivertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos. |
| MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD | Este mapa muestra las áreas propensas a movimientos en masa (deslizamientos, huaycos, 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.

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.

METEORIZACIÓN

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

FRACTURA

Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El boletín N° 138, serie A, Geología del Cuadrángulo de Cusco (28-s), el mapa regional 28s-IV, a escala 1:50000 (Carlotto et al. 2011); el boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la Región Cusco (Vilchez et al. 2020), y la fotointerpretación de imágenes satelitales; se llegó a cartografiar regionalmente la zona en afloramientos de rocas sedimentarias del Grupo San Jerónimo (Formación Soncco y Kayra) y Formación San Sebastián, así como depósitos superficiales no consolidados de origen coluvial, proluvial y fluvial. siendo todos a excepción del Grupo San Jerónimo y depósitos superficiales de origen fluvial los que afloran extensamente en el sector de Pfacchayoq (figura 3 y anexo – mapa 1 (anexo – mapa 1).



Figura 3: Estratigrafía de las unidades litológicas del sector de Pomate y alrededores

2.1. Unidades litoestratigráficas

A continuación, se realiza una descripción detallada de las unidades litoestratigráficas de la zona de estudio:

2.1.1. GRUPO SAN JERÓNIMO

Una potente serie roja de origen continental de más de 6000 m de espesor conocida como Grupo San Jerónimo (Córdova, 1986), aflora ampliamente en la región de Cusco. Las Formaciones Kayra y Soncco fueron redefinidas como parte del Grupo San Jerónimo (Carlotto et al., 1997b; Carlotto, 1998-2002; Carlotto et al., 2005) y están constituidas por areniscas feldespáticas intercaladas con limolitas y algunos bancos de conglomerados, todos de origen fluvial y de edad eocena inferior a oligocena inferior (Carlotto, 1998, 2002, 2006a).

- FORMACIÓN KAYRA (Peo-ky)

Aflora ampliamente al sur de la ciudad del Cusco al igual que el sector de Pfacchayoq (fotografía 1 y 3).

Los afloramientos rocosos observados cerca del sector de Pfacchayoq son areniscas feldespáticas y lutitas altamente fracturadas y moderadamente meteorizadas (fotografía 1), de medios fluviales y canales divagantes.



Fotografía 1. Areniscas y lutitas de la formación Kayra en la parte alta de la APV Villa Pfacchayoq. En las coordenadas UTM: E:180354; N:8499825. Fuente: INDECI San Sebastián, 2022

- FORMACIÓN SONCCO (Peo-so)

Según Córdova, 1986, sobreyace concordantemente o en discordancia progresiva a la Formación Kayra. Aflora en los mismos lugares donde lo hace la Formación Kayra. La Formación Soncco se divide en dos miembros: El Miembro I o inferior (200-300 m) está constituido por lutitas rojas de llanura de inundación, intercaladas con niveles de areniscas finas (con mineralización de cobre). El Miembro II o superior (1000 - 2000 m) está compuesto por areniscas y conglomerados de sistemas fluviales.

Regionalmente se observa el inicio de la Formación Soncco, con sus dos miembros, en la cabecera de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, extendiéndose en dirección NE-SW, en contacto con la Formación Kayra y San Sebastián.

2.1.2. FORMACIÓN SAN SEBASTIAN (Q-sa)

Fue definida por Gregory (1916) en la depresión y quebradas del Cusco. La quebrada Unuhuayco – Retamachayoq y sus márgenes está constituida por areniscas fluviales y lutitas lacustres o palustres altamente fracturadas y ligeramente meteorizadas. Además de niveles diatomíticos de la formación San Sebastián.

Varios afloramientos son expuestos en la trocha que lleva a la APV Villa Pfacchayoq (fotografía 2) y margen derecha de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq (fotografía 3)..



Fotografía 2: Arenisca con niveles diatomíticos de la Formación San Sebastián, coordenadas UTM: E:180553; N:8500829. Fuente: INDECI San Sebastián, 2022



Fotografía 3: Vista de los afloramientos de la formación San Sebastián y Kayra en la margen derecha e izquierda de la quebrada Unuhuayco –Retamachayoq.

2.1.3. DEPÓSITOS SUPERFICIALES NO CONSOLIDADOS

- DEPÓSITOS COLUVIO-DELUVIALES (Q-cd)

Se encuentran conformados por bloques sedimentarios, envueltos en matriz limo – arcillosa, a lo largo de laderas con pendiente de muy fuerte a abrupta (25° a $> 45^\circ$) (Anexo - Mapa 2) (fotografía 3). Los principales agentes formadores de estos depósitos, son la meteorización, la gravedad, movimientos sísmicos y precipitaciones intensas, que da lugar a la reactivación de movimientos en masa anteriores, como deslizamientos y caída (derrumbes) a ambas márgenes de la quebrada Unuhuayco - Retamachayoq (fotografía 3).

Los depósitos coluvio-deluviales de movimientos en masa recientes se encuentran sueltos, sin cohesión y superpuestos sobre otros depósitos no consolidados de reactivaciones antiguas, como la masa desprendida de la reactivación del deslizamiento de Pfacchayoq, que se encuentra en la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq (fotografía 4).

- DEPÓSITOS PROLUVIALES (Q-pl)

Están compuestos por una mezcla de fragmentos heterométricos y heterogéneos de arenisca envueltos en matriz de tipo arenoso, limoso y arcilloso. Son transportados por la corriente de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq (fotografía 4).



Fotografía 4: Vista de depósitos coluvio-deluviales a ambas márgenes de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq. Fuente: INDECI - San Sebastián, 2022.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

El mapa de pendientes, elaborado a partir del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución, obtenido de la instalación de procesamiento de datos y estación de rastreo satelital de Alaska 'Alaska Satellite Facility', muestra la distribución de pendientes del terreno que varían entre baja a abrupta (1° a $> 45^\circ$), predominando pendientes fuertes (15° a 25°), en el sector Pfacchayoq antes del evento del 22 de enero de 2022 (ver Anexo – Mapa 2).

Sin embargo, en el sector de Pfacchayoq, el modelo de elevación digital de 9 m obtenido del sobrevuelo dron, después del evento el talud se modificó a una pendiente muy fuerte (28°).

La descripción de la clasificación de pendientes, se da en el cuadro 4:

Cuadro 4. Descripción de pendientes mostradas en la figura 4. Fuente: Vílchez et al, 2020

| PENDIENTES | DESCRIPCIÓN |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baja | Áreas poco susceptibles a movimientos en masa, de inclinación suave afectadas. Como la depresión del Cusco y cauce de las quebradas que desembocan en el río Huatanay. |
| Media | Conforman relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a los movimientos en masa (deslizamientos y derrumbes). Algunos tramos de la parte alta y margen derecha de la quebrada Unuhuayco - Retamachayoq tienen pendientes de media inclinación (5° a 15°). |
| Fuerte | Conforman relieves inclinados, se les considera altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa. Algunos tramos de las laderas ubicadas en la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, sobre todo el sector de Pfachayoq son de fuerte inclinación (15° a 25°). |
| Muy fuerte | Caracterizado por presentar muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Generalmente está representada por montañas sedimentarias, de la Formación Kayra, con pendientes de muy fuerte inclinación (25° a 45°), |
| Abrupto/ Muy Escarpado | La ocurrencia de peligros geológicos dependerá de las condiciones intrínsecas del estrato rocoso (grado de fracturamiento, meteorización, orientación, estratificación, etc.), presencia de suelo, movimientos en masa antiguos y detonantes (lluvia, sismos). Alcanza pendientes $>45^\circ$ de inclinación. |

3.2. Unidades geomorfológicas

El mapa geomorfológico a escala 1:500 000 del boletín N° 74: Peligros Geológicos en la Región Cusco, la fotointerpretación de imágenes satelitales y los trabajos en campo, permitieron cartografiar regionalmente la quebrada Unuhuayco - Retamachayoq y sus áreas circundantes en geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional (montaña estructural en roca sedimentaria) y geoformas de carácter deposicional (vertiente coluvial y piedemonte proluvial o aluvio-torrencial). (anexo - mapa 3).

3.2.1. 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,

3.2.1.1. Montaña estructural en roca sedimentaria

Este grupo incluye montañas cuya altura y formas se deben al plegamiento de las rocas superficiales de la corteza terrestre y que todavía conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales, a pesar de haber sido afectadas por procesos erosionales (Vilchez et al. 2020).

Su asociación litológica es principalmente sedimentaria; estructuralmente se presentan alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas plegadas y/o con el buzamiento de las capas de roca que controlan la pendiente de las laderas.

En esta unidad, predominan laderas con pendientes de fuerte a muy fuerte (15° a 45) (fotografía 5 y Anexo – Mapa 2). Las rocas sedimentarias expuestas cercanas al sector de Pfacchayoq, son areniscas altamente fracturadas y moderadamente meteorizadas de la Formación Kayra.

Los procesos erosivos de estas geoformas han generado deslizamientos y/o movimientos en masa complejos antiguos en el área de inspección, representados litológicamente como depósitos coluvio-deluviales, dispuestos sobre una vertiente con depósito de deslizamiento.

El sector de estudio y sus alrededores forma parte de unidades litoestratigráficas de rocas sedimentarias con presencia de fallas por lo tanto geomorfológicamente están clasificadas por montañas estructurales en rocas sedimentarias (fotografía 6).

3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Estas geoformas son el resultado de varios procesos geomorfológicos, determinados por fuerzas de desplazamiento y factores extrínsecos móviles, como sismos, aguas pluviales y de escorrentía, quienes tienden a modificar la superficie de la tierra,

mediante el desprendimiento de materiales sólidos en terrenos elevados producto de procesos denudativos. En la depresión del Cusco y sus anexos se han identificado vertientes coluvio-deluviales, aluviales y aluvio-torrenciales. Sin embargo, el sector de Pfacchayoq está cartografiado por la vertiente coluvial en su totalidad.



Fotografía 5: Montañas estructurales en roca sedimentaria al sur de la depresión de Cusco, parte alta de la quebrada Unhuayco – Retamachayoq.

3.2.2.1. Vertiente coluvio-deluvial (V-co)

Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Están acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles. Los depósitos coluviales se conforman por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea (Vilchez et al. 2020), son acumulados al pie de taludes de muy fuerte a abrupta pendiente a ambas márgenes de la quebrada Unhuayco - Retamachayoq, en forma de conos.

Los principales agentes formadores son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, deslizamientos, derrumbes, etc (fotografía 6).

Los depósitos deluviales se caracterizan por estar conformados por capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos. Se depositan y cubren las laderas de los cerros, con taludes suaves a moderados.

Los depósitos coluviales y deluviales se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales (Vilchez et al. 2020)

3.2.2.2. Piedemonte proluvial o aluvio-torrencial (P-pral)

Esta unidad corresponde a planicies suaves a ligeramente inclinadas (1° a 5°), se cartografió a ambos flancos del río Huatanay y a lo largo del cauce de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoc y otras quebradas que desembocan en el río Huatanay. Sin embargo, todos estos abanicos son formados por los materiales acumulados por flujos de detritos constituidos en quebradas tributarias (Vilchez et al. 2020). Están constituidos por bloques heterométricos y sedimentarios envueltos en una matriz limo-arcillosa.



Fotografía 6: Vertiente coluvio-deluvial a ambos márgenes de la quebrada Unuhuayco-Retamachayoc.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

4.1. Caracterización de Peligros por Movimientos en Masa

La quebrada de Unuhuayco – Retamachayoq nace en la montaña Ana Huarqui (Anexo 1 – Mapa 1) y se extiende por aproximadamente 3.7 km hasta desembocar en el río Huatanay. Sus márgenes (laderas) presentan taludes con alturas entre 45 m y 54 m, desde el cauce del río hasta la parte alta. El terreno presenta pendiente muy fuerte a abrupta (25° a $>45^\circ$). Dicha quebrada en su margen izquierda presenta cárcavas antiguas, que posteriormente fueron cubiertas por material de relleno, usadas para el esparsimiento territorial de la población en el 2013 (figura 4 y figura 5).

El relleno de la cárcava, quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, se desarrolló sin ninguna técnica ingenieril ni práctica agroecológica. Han llegado a cubrir parte del deslizamiento antiguo. Además, el relleno se encuentra perpendicular a la dirección del cauce de la quebrada, lo que facilitará la generación de un posible flujo.

Se tiene que desde el 2013 la activación de deslizamientos es constante y amenaza con continuar destruyendo infraestructura, viviendas y terrenos de cultivo en la margen izquierda de la quebrada.

Uno de los cinco sectores afectados por la reactivación permanente de movimientos en masa (deslizamientos y derrumbes) en cárcavas recubiertas, es la APV. Villa de Pfacchayoq (figura 4A). En donde se rellenó 120 m de una cárcava entre el 2012 y 2013, desde entonces se observa la activación de deslizamientos y derrumbes en el sector de Pfacchayoq, a lo largo de la cárcava recubierta (figura 5).

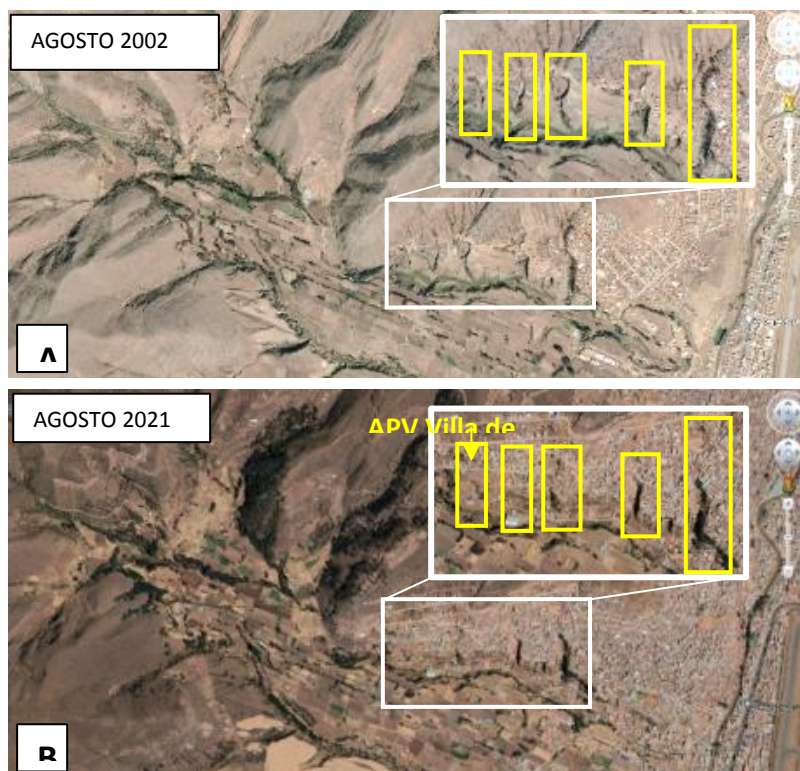


Figura 4. A: Vista de cárcavas en la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq en el 2002. B: vista de cárcavas cubiertas con material de relleno y exparsimiento poblacional en el 2021.

4.2. Evolución temporal de ambas márgenes de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, sector de Pfacchayoq

- Año 2002 - 2012

En la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, según la imagen satelital del 2002, muestra cárcavas con longitudes de 120 m a 1000 m, sobre terrenos de pendientes de fuerte (15° a 25°). Esto da lugar a la activación de deslizamientos.

En mayo de 2012, se observó la activación de flujos de detritos y nuevos derrumbes / deslizamientos al pie, en las cárcavas de la izquierda de la quebrada Unuhuayco - Retamachayoq. Además, los trabajos de apertura de trocha y compactación del terreno, fueron parte de las causas de los eventos mencionados. También son indicadores de expansión urbana, que se inició en la cabecera de dichas cárcavas.

- Año 2013

En la imagen satelital de abril de 2013 se observó cárcavas cubiertas con material de relleno y viviendas asentadas cerca y en la cabecera de las mismas. Sumado a la reactivación de deslizamientos cerca y a lo largo del área de cárcavamiento.

Uno de los APVs donde inició urbanización del flanco izquierdo de la quebrada Pfacchayoq, es la APV Villa Pfacchayoq (ver cuadro rojo de la imagen satelital de abril 2013), ubicado dentro y en la cabecera de una cárcava con longitud de 120 m y rellenada a finales de 2012. Sin embargo, las lluvias del 2013 activaron el deslizamiento de Pfacchayoq, que presentó una longitud de 93 m y ancho de 15 m, a lo largo de la cárcava. Además de la reactivación de otros deslizamientos, con coronas de longitudes de hasta 65 m y ancho de 55 m; que se encuentran en el talud de la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco - Retamachayoq.

- Año 2014

En junio de 2014, se observó la apertura de una trocha carrozable en el talud de la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco - Retamachayoq. La trocha corta cuerpos de deslizamientos activos y cárcavas recubiertas.

- Año 2015 – 2021

En la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, en base a lo observado en la imagen satelital de septiembre de 2015, se muestra la reactivación de deslizamientos en el sector de Pfacchayoq y destrucción de la trocha carrozable. Además del crecimiento urbano al pie del talud de la margen izquierda de la quebrada.

Desde septiembre 2015 a agosto 2021, la reactivación de derrumbes / deslizamientos, afectó la zona urbana que se encuentra asentada sobre el relleno.

En el 2018 se realizó nuevamente el corte/limpieza de trocha carrozable. Sin embargo, la reactivación es permanente de deslizamientos y derrumbes, lo que afecta el trazo de la vía.

- 22 de enero de 2022

El deslizamiento de Pfacchayoq activado desde el 2013, a lo largo de la cárcava recubierta con material de relleno, nuevamente se reactivó el 22 de enero de 2022, con una longitud de 87 m y ancho de 20 m, y escarpa principal con longitud de 54m de y salto de 1.5 m (figura 5A). El evento modificó la pendiente del talud de fuerte (15° a 25°) a muy fuerte inclinación (28°) (figura 6) y destruyó tuberías, 02 poste de alumbrado público, 2.5 m² de un muro de ladrillos (fotografía 7), 1000 m² de terrenos de cultivo de capulí, durazno, habas y papas, 13 m y 35 m de trocha de 2 m de ancho en la cabecera y al pie del deslizamiento. Además, afectó 02 viviendas y daños a la vida de 02 de sus 05 habitantes (Mansilla S. 2022).

Según el testimonio de los habitantes, la APV Pfacchayoq no cuenta con un sistema de drenaje y sus aguas residuales domésticas discurren por el talud desde hace casi 10 años. Actualmente se observa que el agua de lavado ingresa a la cabecera del deslizamiento de Pfacchayoq (fotografía 7) y se infiltra a lo largo de su masa desplazada.



Fotografía 7: Vista de la cabecera del deslizamiento de Pfacchayoq e infraestructura destruida (muro de ladrillos, trocha de 2 m de ancho). Además de aguas residuales domésticas que discurren sobre la cabecera principal del deslizamiento de Pfacchayoq.

La masa desplazada del deslizamiento de Pfacchayoq se extendió hasta la margen derecha de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq (cerrando su cauce) (fotografía 8 y figura 5A). El impacto de la masa del deslizamiento en la margen derecha reactivó deslizamientos de menor dimensión (fotografía 8 y figura 5B).



Fotografía 8: La masa desplazada del deslizamiento Pfacchayoq llegó a la margen derecha de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, cubriendo su cauce y reactivando deslizamientos.

Entre mayo e inicios de julio de 2022, se desarrollaron obras de descolmatación del cauce de la quebrada de Unuhuayco – Retamachayoq y limpieza de la masa desplazada al pie del deslizamiento (fotografía 9 y figura 5B). Sin embargo, de continuar la infiltración de aguas residuales domésticas, aguas pluviales y de no realizar trabajos de estabilización de taludes, el deslizamiento puede reactivarse y ampliar sus dimensiones.

Las viviendas asentadas 40 m por encima de la cabecera del deslizamiento se encuentran sobre o cerca de la cárcava coberturada, este material de relleno no se encuentra estabilizado; más la pendiente del terreno (fuerte).

Por lo mencionado la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq se considera de **peligro muy alto**, por lo que se pueden reactivar deslizamientos y derrumbes en temporada de lluvia, sismo o bajo condiciones antrópicas que favorezcan su desencadenamiento.



Fotografía 9: Trabajos de limpieza de la masa desplazada del deslizamiento Pfacchayoq, al pie del talud

Es importante mencionar que las imágenes multitemporales del 2002 al 2022 (20 años), muestra la activación de derrumbes y deslizamientos sobre el talud de toda margen izquierda de la quebrada Unhuayco, por lo tanto las viviendas asentadas en la parte alta son susceptibles a ser afectadas por la activación de movimientos en masa y las viviendas de la parte baja pueden ser enterradas por estos movimientos en masa reactivados sobre el talud, como el caso del deslizamiento de Pfacchayoq.

En el ultimo año se observa el expandimiento de viviendas sobre el cauce de la quebrada de Unhuayco – Reramachayoc (fotografía 10), la misma que puede llegar a crecer 80 cm de altura y cubrir un ancho de 1 m en temporada de lluvia.



Fotografía 10: Viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada Unhuayco – Retamachayoq

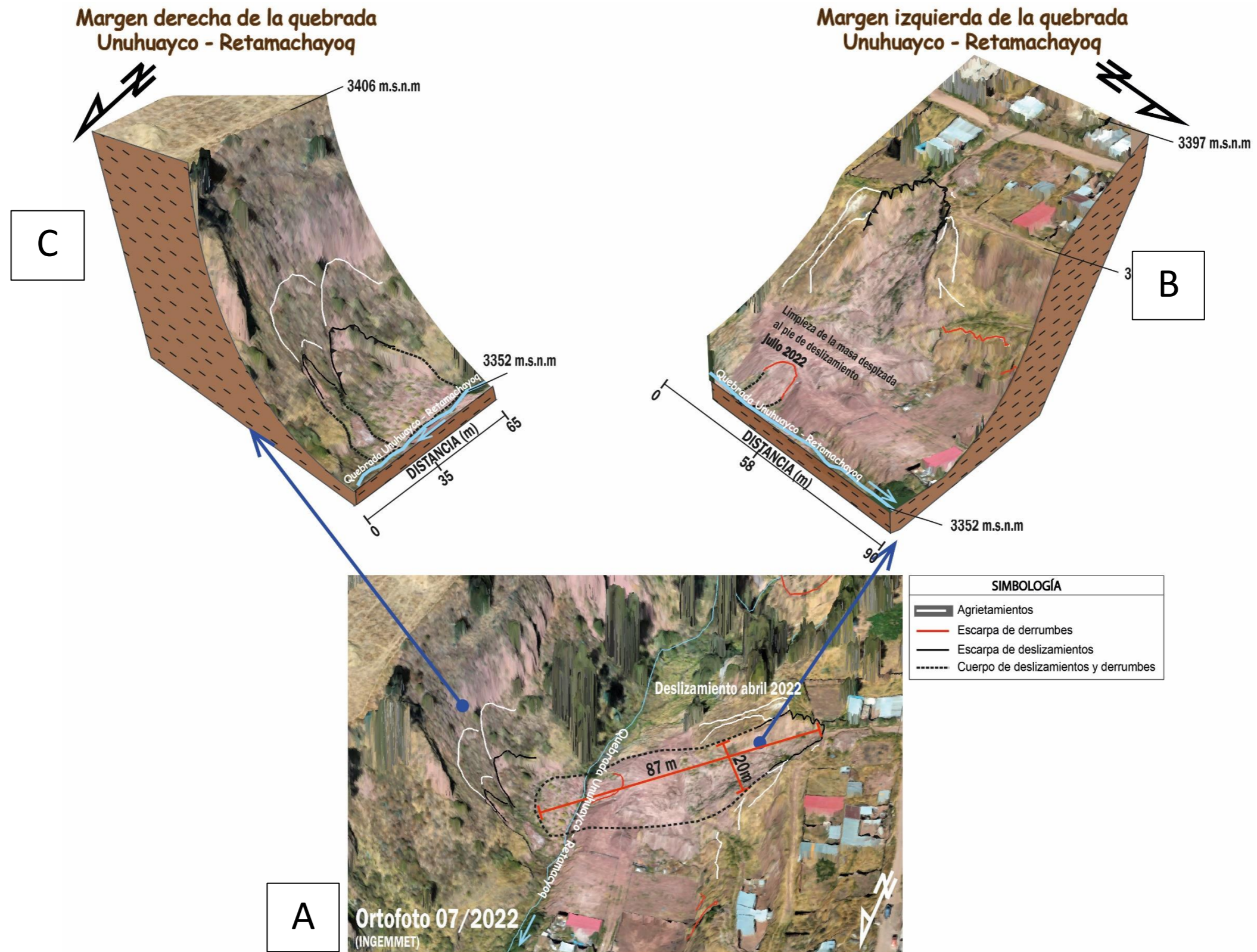


Figura 5. Bloc diagrama desde el cerro Apuntiya hasta la desembocadura del río Delicias – Huacayoc – Terevinto en el río Apurimac y geología representativa del sector. A. Vista satelital del área de estudio, con vegetación densa. B. Cartografiado de peligros geológicos por movimientos en masa sobre el Modelo de elevación digital.

4.3. Perfil Longitudinal y transversal del deslizamiento de Pfacchayoq

En julio de 2022 se realizó un sobrevuelo dron sobre el sector de Pfacchayoq, del cual se obtuvo un modelo de elevación digital y ortofoto de 9 m y 2 m de resolución respectivamente, que fueron usados para elaborar un perfil longitudinal y transversal que muestre el cambio de la forma del talud después de la reactivación del deslizamiento de Pfacchayoq en 22 de enero de 2022.

El perfil A - A' (figura 6): Desde la margen derecha (A) a la izquierda (A') de la quebrada Unuhuayco - Retamachayoq, corta longitudinalmente el deslizamiento de Pfacchayoq.

Las viviendas y trocha de la APV Villa Pacchayoq se disponen sobre un terreno con pendiente de media y muy fuerte inclinación (8° y 26.5°), pendientes sobre la cual discurren aguas residuales domésticas en dirección a la escarpa o cabecera del deslizamiento de Pfacchayoq, cuyo talud presenta una pendiente de muy fuerte inclinación (28°) (figura 6).

La forma natural del deslizamiento no fue modificada en el talud de la margen izquierda, sin embargo, entre mayo e inicios de julio de 2022 se desarrollaron trabajos de limpieza y descolmatación de la masa del deslizamiento en la parte media y baja (cauce de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq), esta intervención es visible a 73 m del perfil A - A', cuyo salto de 5 m muestra la remoción de masa en la margen izquierda de la quebrada. Continuando con el corte del perfil, hacia la margen derecha de la quebrada Unuhuayco Retamachayoc se observa un talud de abrupta inclinación (54°) sobre el cual se reactivaron deslizamientos más pequeños, por el impacto de la masa del deslizamiento de Pfacchayoq y lluvias intensas de enero 2022.

El perfil B- B' (figura 7), disecta transversalmente la parte alta del deslizamiento de Pfacchayoq, en dirección S – N. Se observa la presencia de agrietamientos a ambos flancos del deslizamiento como indicadores de posible ampliación de las dimensiones del movimiento o reactivación de otros eventos. Además, la forma cóncava generada por el desplazamiento de la masa sobre el talud y cauce de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq tiene una profundidad de de casi 7 metros respecto al talud estable a ambos lados del deslizamiento (figura 7).

Se calcula que el volumen del deslizamiento es de 6 mil m³

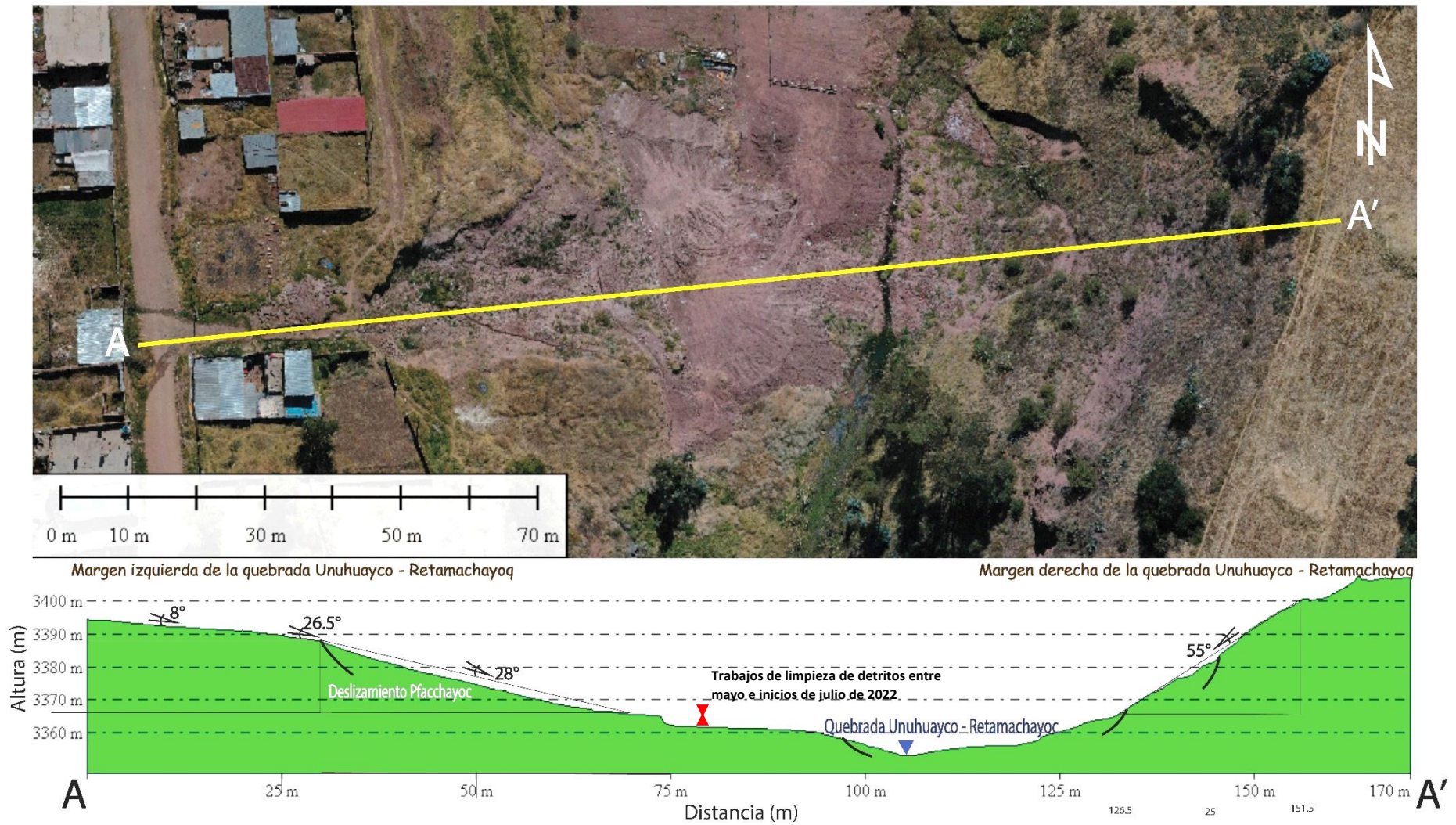


Figura 6: Perfil longitudinal A – A' del deslizamiento de Pfacchayoc.

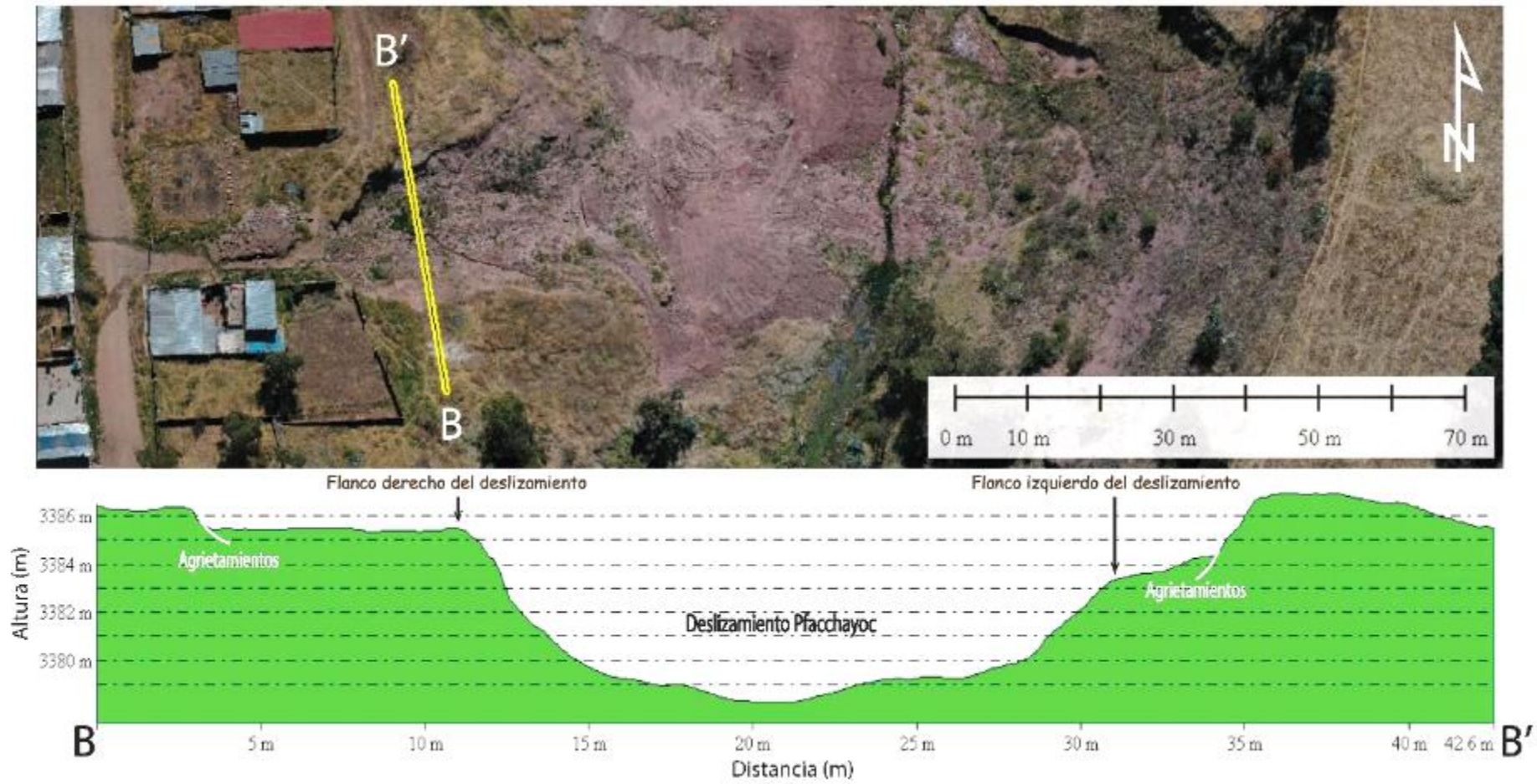


Figura 7: Perfil transversal B – B' del deslizamiento de Pfacchayoc.

4.4. Factores condicionantes y desencadenantes

4.4.1. FACTORES CONDICIONANTES

- **LITOLÓGICO:** Rocas sedimentarias como areniscas y lutitas altamente fracturadas y entre ligera a moderadamente meteorizadas de las formaciones Kayra y San Sebastián. Cubriendo estos afloramientos tienen depósitos coluvio – deluviales, acumulados en laderas de pendiente muy fuerte (25°).
- **GEOMORFOLOGÍA:** Las unidades geomorfológicas que conforman el área de estudio son montañas estructurales en roca sedimentaria de la Formación Kayra y vertiente coluvio – deluvial.

El sector de Pfacchayoq ubicado en la margen izquierdo de la quebrada Unuhuayco - Retamachayoq es disectado por una cárcava cubierta por material de relleno (perpendicular a la quebrada).

- **PENDIENTE:** Después de la reactivación del deslizamiento de Pfacchayoq, margen izquierda de la quebrada Unuhuaco – Retamachayoq, el terreno cambió de fuerte a muy fuerte (28°).

4.4.2. FACTORES DESENCADENANTES

- **LLUVIAS INTENSAS Y PROLONGADAS:** En el área de estudio, se registran precipitaciones anuales acumuladas entre 500 mm a 900 mm, de clima semiseco, templado y con otoño e invierno seco.

En enero de 2022, se reactivó un deslizamiento en la APV Villa Pfacchayoq, sobre la cárcava cubierta con material de relleno el 2012.

- **SISMOS:** Son uno de los factores que condicionan la ocurrencia de grandes movimientos en masa, sin embargo, según el testimonio de los pobladores no ocurren muchos sismos en las zonas evaluadas.
- **FACTORES ANTRÓPICOS:** El uso de maquinaria pesada para la apertura de trochas carrozables en zonas dinámicamente muy activas en la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, da lugar a la reactivación de derrumbes y deslizamientos.

5. CONCLUSIONES


- A) Se tienen afloramientos de rocas sedimentarias como areniscas y lutitas altamente fracturadas y ligera - moderadamente meteorizadas de las formaciones Kayra y San Sebastián. Y depósitos superficiales no consolidados de origen coluvio-deluvial y proluvial formados por bloques sedimentarios dispuestos en un matriz limo – arenosa, de fácil erosión, a ambos flancos y en el cauce de la quebrada de Unuhuayco – Retamachayoc.
- B) Las unidades geomorfológicas que representan la parte alta y baja de la quebrada de Unuhuayco – Retamachayoqs en montaña estructural en roca sedimentarias; Y vertientes coluvio – deluviales, piedemontos proluviales o aluvio-torrenciales. Predominando vertientes coluvio – deluviales de pendiente muy fuertes a abrupta (25° a $>45^\circ$), en el sector de Pfacchayoq.
- C) La cárcava de la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco, en el 2013, fue cubierta con material de relleno (desmote) para la construcción de viviendas y esparcimiento poblacional, desde entonces y por casi 10 años se ha generado derrumbes y deslizamientos sobre el material de relleno y taludes. En este sector el terreno presenta una pendiente muy fuerte a abrupta.
- D) Se han identificado 05 sectores afectados por cárcavas recubiertas por material de desmote sin el uso de ninguna tecnología y/o prácticas agroecológicas que garanticen su efectividad y reducción de peligro, en el sector de Pfacchayoq y anexos. Por lo tanto, se considera que ambas márgenes de la quebrada Unuhuayco – Retamachayooc son **dinámicamente muy activas** y de **peligro muy alto** a movimientos en masa, en temporada de lluvia.
- E) En la APV Villa Pfacchayoq, el 22 de enero de 2022, se reactivó el deslizamiento del mismo nombre, que presentó una longitud de 87 m y ancho de 20 m. El evento se dio sobre una cárcava rellena con material de desmote.
- F) La masa desplazada del deslizamiento de Pfacchayoq modificó el talud a pendientes muy fuertes (28°). Además, destruyó tuberías de agua postes de alumbrado público (02), muro de ladrillos con longitud de 2.5 m; terrenos de cultivo de capulí, durazno, habas y papas (1000 m^2), trochas vecinales de 2 m de ancho y longitud de 15 m y 35 m en la cabecera y pie del deslizamiento respectivamente. Además, afectó viviendas (02) y daños a la vida de 02 personas.
- G) Las viviendas de la APV Villa Pfacchayoq se asientan entre siete a cuarenta metros por encima de la cabecera del deslizamiento del mismo nombre. El terreno presenta pendientes de media (8°) y muy fuertes (26.5°), siguiendo la extensión de la cárcava rellena.
- H) Los agrietamientos a ambos lados del deslizamiento mencionado anteriormente, sugiere una ampliación lateral de las dimensiones del mismo o la reactivación de nuevos movimientos en masa en la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco Retamachayoq. El volumen estimado del deslizamiento Pfacchayoq es de 6 mil m^3
- I) La masa de deslizamientos activados, en la parte alta de la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, se desplaza por el talud hasta cubrir el cauce, llanura y terrazas de la quebrada, en donde se asientan viviendas.

6. RECOMENDACIONES

- A) De realizar futuros rellenos de cárcavas en la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco Retamachayoq, para la recuperación de praderas y especies vegetales de interés, puede considerarse el uso de materia orgánica para relleno de cárcavas asociado a estructuras metálicas (Lorena Droguett, 2022), por lo tanto, es imprescindible contar con un especialista con experiencia en uso de tecnologías y/o prácticas agroecológicas para relleno de cárcavas y mejoramiento de entorno.
- B) Realizar el relleno de talud con material orgánico y en forma de andenería o gradería, asociado a la reforestación del talud del sector de Pfacchayoq (deslizamiento), con especies nativas de raíces profundas. Este proceso de reforestación debe extenderse a todas las riberas o taludes de la margen izquierda de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq y zonas de cárcavas antiguas recubiertas con material de relleno.
- C) Prohibir la construcción de nuevas viviendas dentro o cerca de las zonas de cárcavas coberturadas y deslizamientos.
- D) Prohibir cortes de talud para trazos de trocha, dentro de zona de cárcavas recubiertas y zona de deslizamientos.
- E) Implementar un sistema de drenaje en la APV Villa Pacchayoq. Prohibir que las aguas residuales domésticas discurran por el deslizamiento de Pacchayoq o talud de la margen izquierda.
- F) Prohibir el uso del área del deslizamiento de Pfacchayoq como terreno de cultivos de papa u otro cultivo que necesita de mediana a abundante agua para sobrevivir.
- G) Realizar la delimitación de franjas marginales de la quebrada Unuhuayco – Retamachayoq, para limitar la construcción de viviendas dentro del cauce de la misma.
- H) Prohibir el estrechamiento del cauce de la quebrada o el uso de su lecho como terrenos de cultivo u otra actividad.
- I) Monitorear el comportamiento del deslizamiento de Pfacchayoq, en temporada de lluvia y el estado de viviendas ubicadas en la cabecera del mismo. De presentarse evidencias de agrietamientos o asentamientos en la vivienda ubicada siete metros por encima de la cabecera de deslizamiento, reubicarla.



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

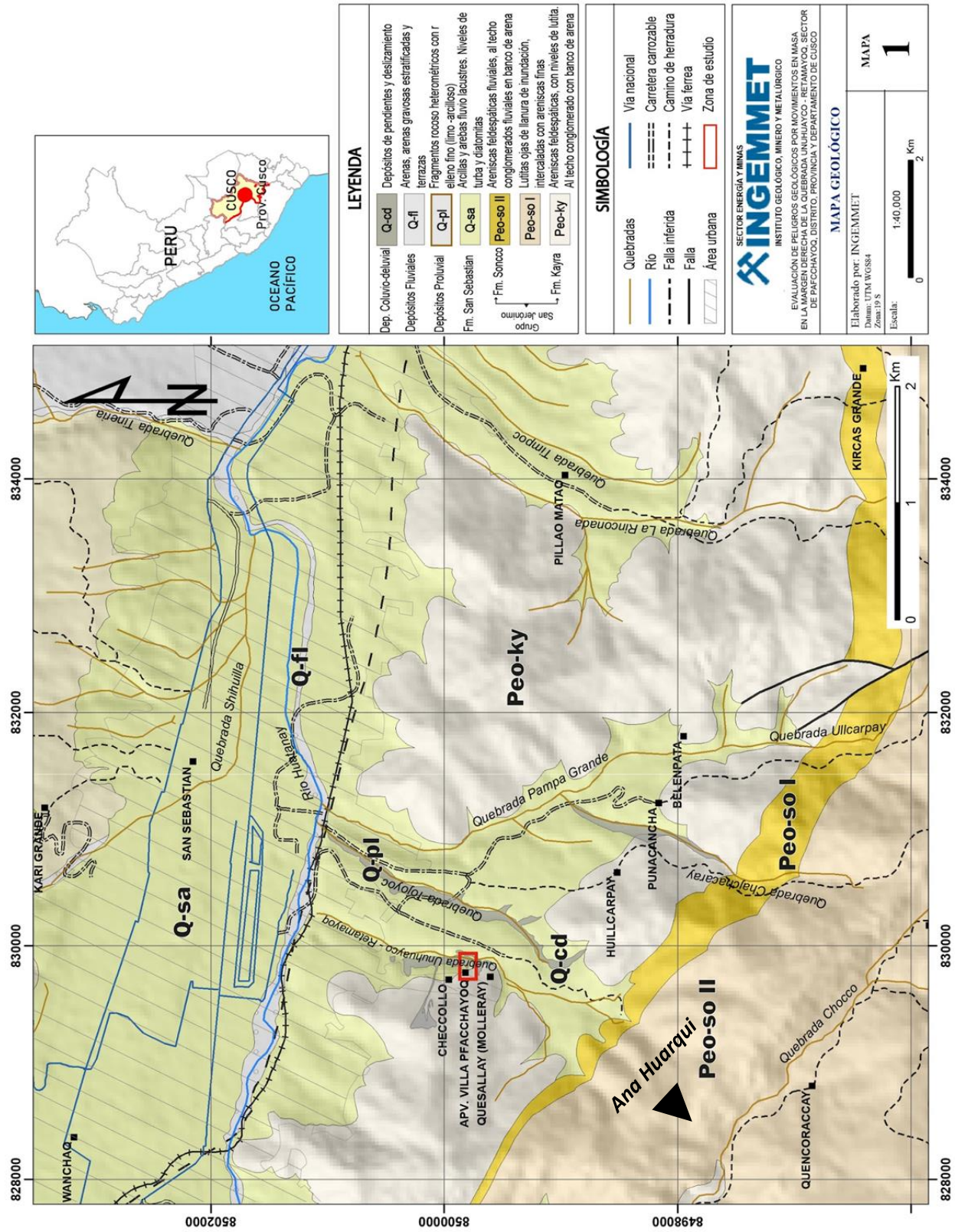


Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

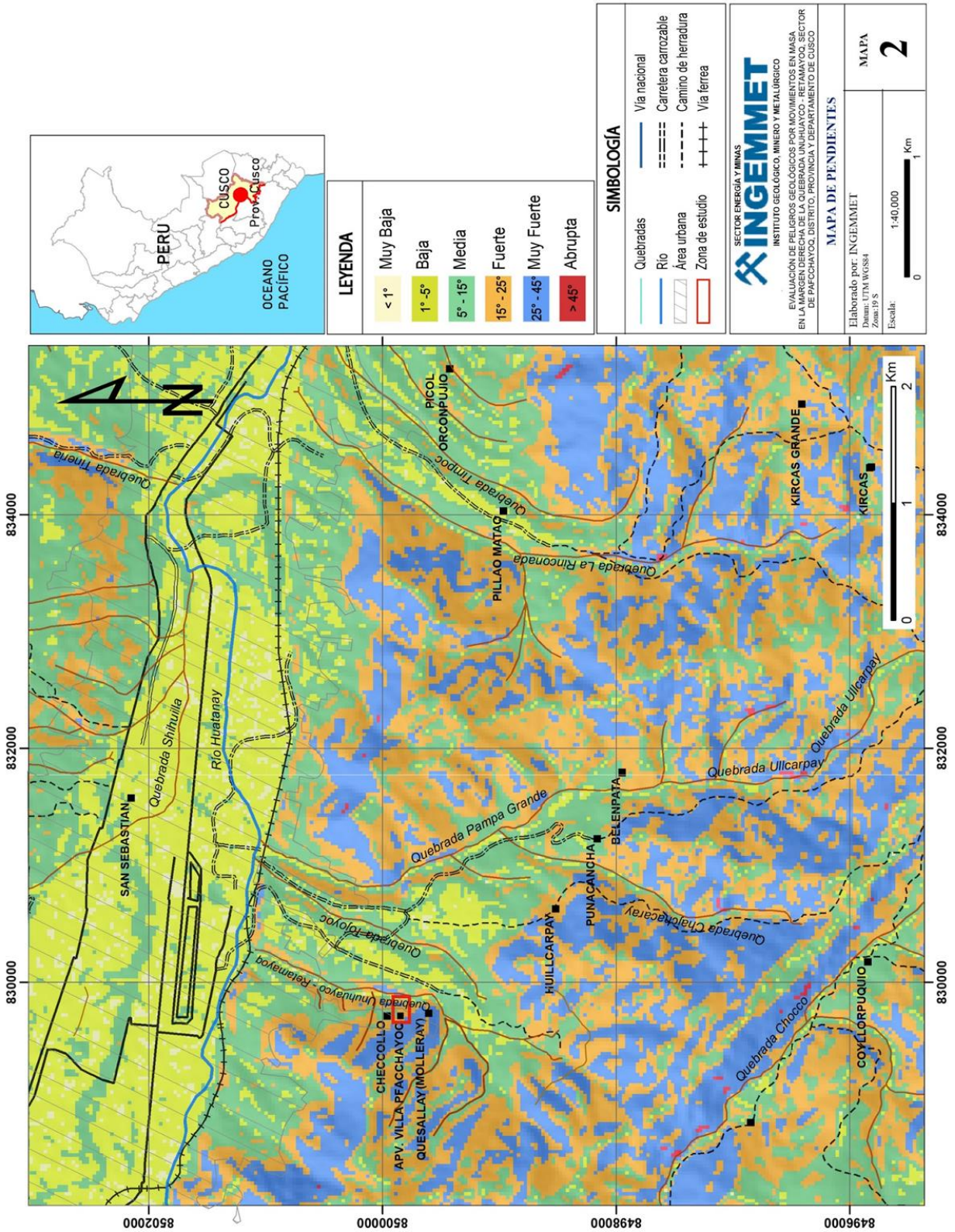
7. BIBLIOGRAFÍA

- Carlotto, V. (1992) - *Relations entre sédimentation, paléogéographie et tectonique dans la région de Cuzco (Sud du Pérou) entre le Jurassique supérieur et le Paléocène. Mémoire DEA, Université de Grenoble I, 113 p*
- Carlotto, V.; Jaillard, E.; Carlier, G. & Mascle, G. (1997b) - *Las cuencas sin-orogénicas (Eoceno-Mioceno) de la terminación NO del Altiplano (Cusco). En: Congreso Peruano de Geología, 9, Lima, 1997. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 267-271.*
- Carlotto, V. (1998) - *Évolution andine et raccourcissement au niveau de Cusco (13-16°S), Pérou: enregistrement sédimentaire, chronologie, contrôles paléogéographiques, évolution cinématique. Thèse Docteur, Université de Grenoble I, 159 p.*
- Carlotto, V. (2002) - *Évolution andine et raccourcissement au niveau de Cusco (13-16°S), Pérou: enregistrement sédimentaire, chronologie, contrôles paléogéographiques, évolution cinématique. Thèse Docteur, Université de Grenoble I, 203 p., Géologie Alpine, Mémoire H.S., 39*
- Carlotto, V.; Jaillard, E.; Carlier, G.; Cárdenas, J.; Cerpa, L., et al. (2005) - *Las cuencas terciarias sinorogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del sur del Perú. En: Arce, J., ed. Alberto Giesecke Matto. Lima: Sociedad Geológica del Perú, Volumen Especial 6, p. 103-126*
- Carlotto, V. (2006a) - *Dataciones por trazas de fisión en los 250 depósitos continentales terciarios de la región de Cusco. En: Congreso Peruano de Geología, 13, Lima, 2006, Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 521-524.*
- Carlotto V., Cárdenas J., Carlier, G. (2011). *Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000. Boletín A 138. Serie A. INGEMMET*
- Córdova, E. (1986) *Un bassin intramontagneux andin péruvien. Les couches rouges du bassin de Cuzco (Maestrichtien-Paléocène). Docteur du 3ème cycle, Université de Pau et des Pays de L'Adour, Laboratoire de Géodynamique des Bassins Sédimentaires, Pau, 272 p*
- Gregory, H.E. (1916) *A geological reconnaissance of the Cuzco valley, Peru. American Journal of Sciences, 41(241): 1-100.*
- Droguett Lorena (2022), *Relleno de cárcavas para evitar erosión.* <https://tecnologiaslocales.cl/tecnologias/relleno-de-carcavas-para-evitar-erosion>
- Mansilla Soledad. *Informe N°005-2021-OGRD/SMQ. Municipalidad distrital de San Sebastián. Oficina de Gestión de riesgos y desastres. p10*
- 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.*
- 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.*

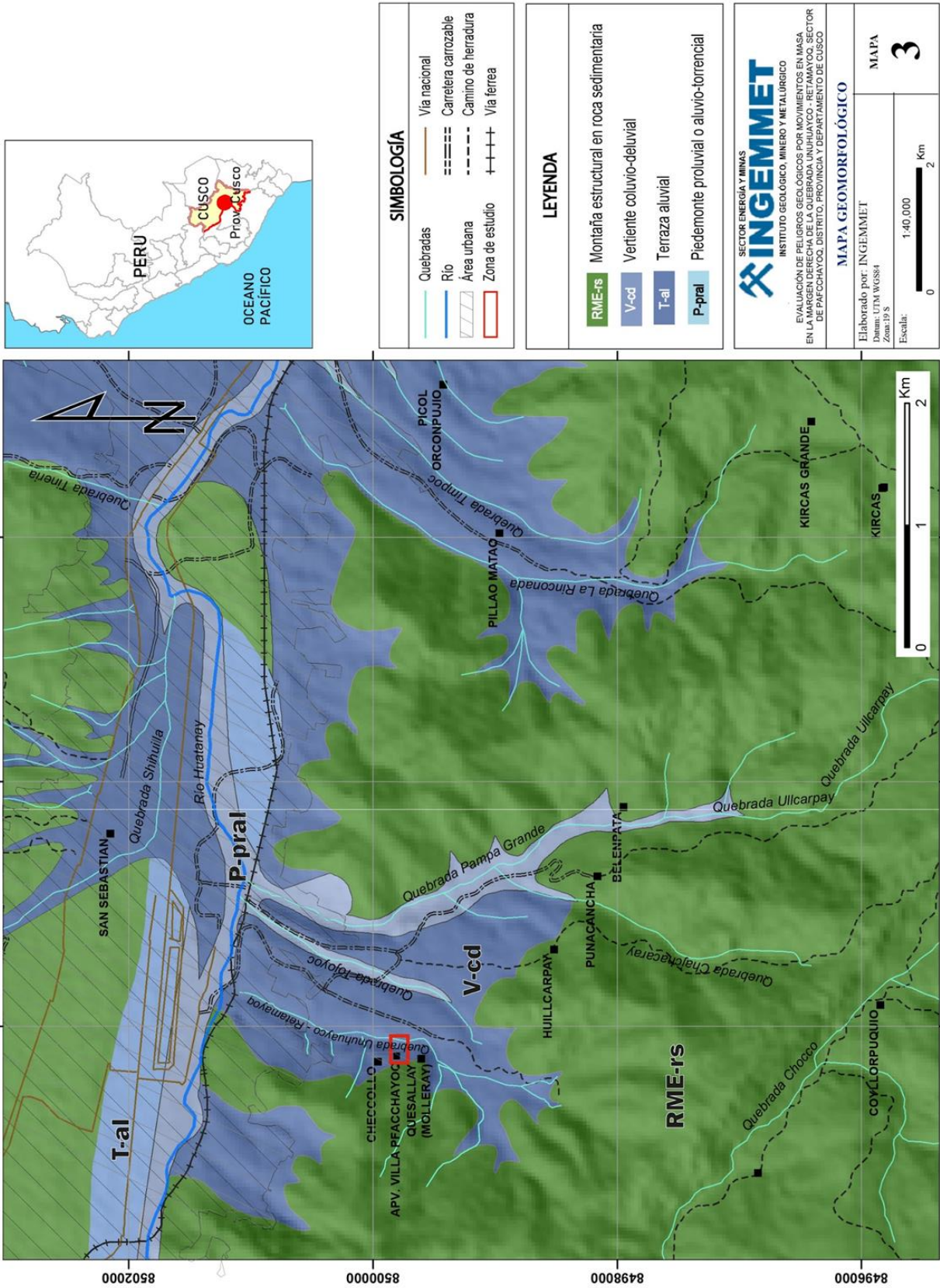
ANEXOS



Mapa 1. Mapa geológico. Fuente: Ramos W. & Minaya I. 2021. INGGEMMET 1 : 50,000



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

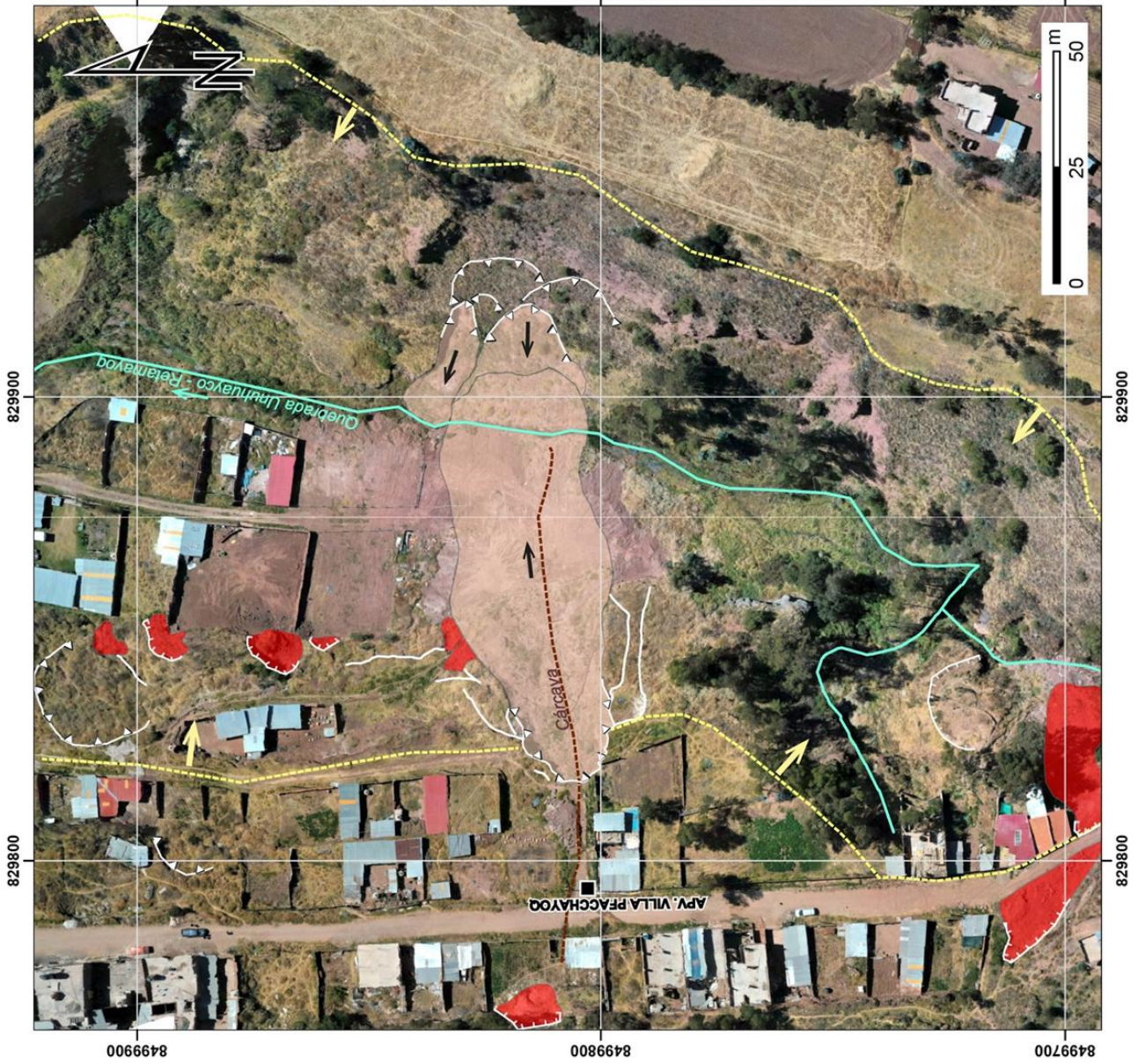




| | |
|----------------|--------------------------|
| LEYENDA | |
| | Deslizamiento reactivado |
| | Caida (Derrumbe) |

| | |
|-------------------|------------------------------------------|
| SIMBOLOGÍA | |
| | Quebrada |
| | Agritamiento |
| | Zona de estudio |
| | Cárcava cubierta con material de relleno |
| | Escapa deslizamiento |
| | Escarpa derrumbe |
| | Trocha vecinal |
| | Límites de márgenes de la quebrada |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO | |
| EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA MARGEN DERECHA DE LA QUEBRADA UNHUAYCO - RETAMAYOC, SECTOR DE PARCHAYOC, DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CUSCO | |
| PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA | |
| Elaborado por: INGENMET | |
| Datum: UTM WGS84 | |
| Zona: 19 S | |
| Escala: 1:1.200 | |
| | |
| MAPA | 4 |



Mapa 4. Peligros geológicos en la cuenca del río Delicias – Huacayoc - Terevinto.