

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7292

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE HURINSAYAC - HANASAYAC - COLLANA AYLLU (POMATE)

Departamento Cusco
Provincia Paruro
Distrito Yaurisque



SETIEMBRE
2022

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN
EL SECTOR DE HURINSAYAC – HANASAYAC – COLLANA AYLLU [POMATE]**
(Distrito Yaurisque, provincia Paruro, departamento Cusco)

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

Responsable de la investigación:

Gael Araujo

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). *Evaluación de Peligros Geológicos por movimientos en masa en el sector de Hurinsayac – Hanasayac – Collana Ayllu [Pomate]*. Distrito de Yaurisque, provincia Paruro, departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7292, 37 p.

ÍNDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	6
1.2. Aspectos generales.....	7
1.2.1. Ubicación.....	7
1.2.2. Población.....	8
1.2.3. Accesibilidad.....	8
1.2.4. Clima.....	9
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	11
2.1. Unidades litoestratigráficas.....	11
2.1.1. Grupo Yuncaypata	11
2.1.2. Formación Quilque (Pp-qu)	12
2.1.3. Formación Chilca (Pp-ch).....	13
2.1.4. Grupo San Jerónimo	13
2.1.5. Depósitos Coluvio-Deluviales (Q-cd)	13
2.1.6. Depósitos Aluviales (Q-al).....	15
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	15
3.1. Pendientes del terreno	15
3.2. Unidades geomorfológicas	16
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	16
3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	17
4. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	20
4.1. Caracterización del Peligros por Movimientos en Masa.....	20
4.1.1. Parte alta - media del sector de Pomate.....	23
4.1.2. Parte media - baja del sector de Pomate.....	23
4.1.3. Parte Baja del sector de Pomate. Reactivación de deslizamiento _ Derrumbes en el flanco derecho del río Araycalla	26
4.2. Factores condicionantes y desencadenantes	30
4.2.1. Factores condicionantes.....	30
4.2.2. Factores desencadenantes.....	30
5. CONCLUSIONES	31
6. RECOMENDACIONES	32
7. BIBLIOGRAFÍA	33
ANEXOS	34

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimiento en masa en el sector de Hurinsayac – Hanasayac – Collana Ayllu, conocido como sector de Pomate, distrito Yaurisque, provincia Paruro y departamento de Cusco.

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

El sector de Pomate con la comunidad del mismo nombre, se ubica en el flanco derecho del río Araycalla, sobre una ladera de fuerte pendiente (25° a 45°), alterada, en su parte alta y media, por trazos de la carretera departamental CU-117 (ruta Cusco – Paruro).

Se tienen afloramientos de rocas sedimentarias como arcillas, areniscas y conglomerados de la Formación Puquin, Quilque, Chilca y Kayra, unidades litológicas ligeramente meteorizadas y altamente fracturadas. Además, se tiene la presencia de depósitos superficiales no consolidadas como: depósitos coluvio – deluviales y aluviales, acumulados en quebradas, laderas empinadas y lechos de río, los cuales son de fácil erosión.

Las unidades geomorfológicas corresponden a montañas estructurales en roca sedimentaria; así como vertientes de deslizamiento dispuestas sobre pendientes que varían de fuerte a muy fuerte (15° a 45°) a muy fuerte y vertientes aluviales y aluvio-torrencial de pendiente baja a media (0° a 15°). Estas características asociadas a la geología califican al área con un **grado de susceptibilidad alta**, a la ocurrencia de movimientos en masa.

En el sector de Pomate se cartografió un deslizamiento antiguo con largo de 410 m y ancho de 250 m, el cual presentó reactivaciones en forma de derrumbes y deslizamientos, actualmente inactiva y suspendida. Desde enero de 2022, se identificó un deslizamiento en proceso de reactivación con un largo de 70 m y ancho de 50 m de ancho, con reactivación de derrumbes al pie del mismo.

Los eventos afectaron la carretera Cusco – Paruro en 40m, destrucción de cuneta de evacuación de aguas pluviales en 28 m de y una trocha vecinal en 25 m. El factor detonante corresponde a la presencia de intensas y/o prolongadas precipitaciones pluviales. Si esto ocurriera, provocaría la destrucción completa de la infraestructura ya afectada, además del pozo de desagüe, tubos de desagüe y tubos de agua del centro poblado de Pomate. Por lo tanto el área de estudio se considera en **peligro muy alto**.

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 Yaurisque, según oficio N° 0126-2022/MDY/P, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, de tipo deslizamientos y caída (derrumbes) en el sector de Pomate, cuyo proceso de re-activación más reciente y amenazante fue evidenciada en enero de 2022, causando hundimientos en un tramo de 40 m de la carretera departamental Cusco – Paruro, destrucción de 28 m de la cuneta de aguas pluviales (parte alta). Además de la destrucción de 25 m de trocha vecinal, exposición de pozos de desagüe, tubos de desagüe y agua (parte baja).

La comunidad de Pomate y sus alrededores, se sobre una pendiente promedio de muy fuerte inclinación (28°), sobre una vertiente de depósito de deslizamientos rodeada por montañas estructurales en roca sedimentaria, debido a que litológicamente afloran areniscas y lutitas de la Formación Quilque y Puquin. Estas condiciones geológicas y geomorfológicas, sumadas al factores antrópicos (cortes de talud) y lluvias excepcionales entre los meses de diciembre a abril, generan susceptibilidades muy altas a la reactivación de deslizamientos y derrumbes en el sector de Pomate.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Gael Araujo y David Prudencio, realizar una evaluación técnica de peligros geológicos en la comunidad de Pomate, llevándose a cabo el 22 de abril 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 de campo (puntos GPS y 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 Yaurisque 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 que ocurren la comunidad de Hurinsayac – Hanasayac – Collana Ayllu (Pomate).

- 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) se ha elaborado el mapa de susceptibilidad regional a escala 1:250 000; el cual sirve de referencia, se denota una susceptibilidad media a alta en la zona evaluada. Ya con la evaluación técnica de campo, a detalle, se presenta rangos de susceptibilidad alta en su totalidad, debido a la reactivación de derrumbes y deslizamientos inducidos por cortes de carretera (figura 1 y cuadro 1).

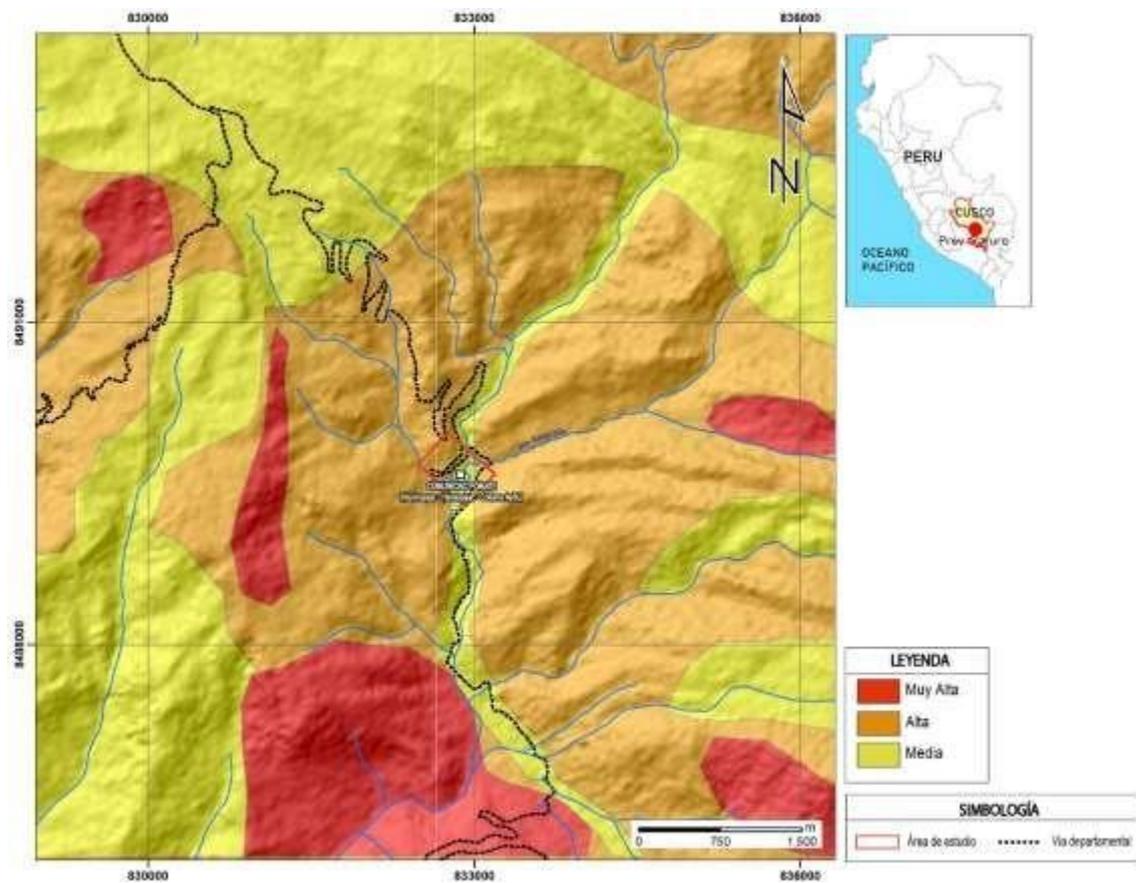


Figura 1. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa del área de estudio. Fuente: modificado de Vílchez et al., 2020

GRADO	CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS	RECOMENDACIONES
BAJA	Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa. Estas áreas presentan una topografía plano-ondulada a con pendientes muy bajas a medias (0°- 15°) en algunos sectores. Se tienen depósitos de materiales superficiales aluviales y fluviales. El substrato está constituido por rocas sedimentarias con intenso fracturamiento.	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.
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. Con substrato es de rocas sedimentarias altamente fracturadas. También se hallan alteradas (meteorizadas) por efectos del clima.	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 favorables del terreno a generar movimientos en masa, cuando se desestabilizan las laderas por causas naturales o por acción antrópica. La zona de estudio está disectada por quebradas sobre una pendiente de fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45° inclinación), que condiciona la ocurrencia de movimientos en masa de tipo derrumbes y 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,
MUY ALTA	Presentan condiciones del terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes de muy fuertes (25° a 45°) a abrupta (> 45°), compromete suelos coluviales derivados de antiguos movimientos en masa; el sustrato está conformado por rocas sedimentarias, Aquí se produce la mayor cantidad de movimientos en masa (megaeventos de tipo deslizamientos, caídas, flujos y movimientos complejos), además de procesos de erosión de laderas y reptación.	Se recomienda prohibir el desarrollo de toda infraestructura de cualquier tipo (carreteras, puente, presas, hidroeléctricas) o habilitación urbana.

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

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 L: de peligros geológicos en la región Cusco (Vilchez et al. 2020), se describen las unidades geológicas presentes en la zona evaluada.

1.2. Aspectos generales

1.2.1. Ubicación

La comunidad de de Hurinsayac – Hanasayac – Collana Ayllu, más conocida como la comunidad de Pomate, se ubica a 20 min o 2.9 km al norte del centro poblado de Yaurisque, distrito del mismo nombre, provincia de Paruro y departamento de Cusco. Se ubica en el flanco derecho del río Araycalla y es disectado por trazos de la carretera departamental CU117 (km29) (parte alta) y la trocha carrozables de 2m de ancho (parte baja) de la comunidad de Pomate (figura 2), en las coordenadas UTM WGS84 y geográficas mostradas en el cuadro 2.

Cuadro 2. Coordenadas UTM y geográficas del área de estudio

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	183548	8490120	13°38'25"S	71°55'29"O
2	183335	8490031	13°38'28"S	71°55'36"O
3	183810	8489881	13°38'33"S	71°55'20"O
4	183712	8489600	13°38'42"S	71°55'23"O
COORDENADA REPRESENTATIVA				
C	183701	8489923	13°38'32.45"S	71°55'24"O

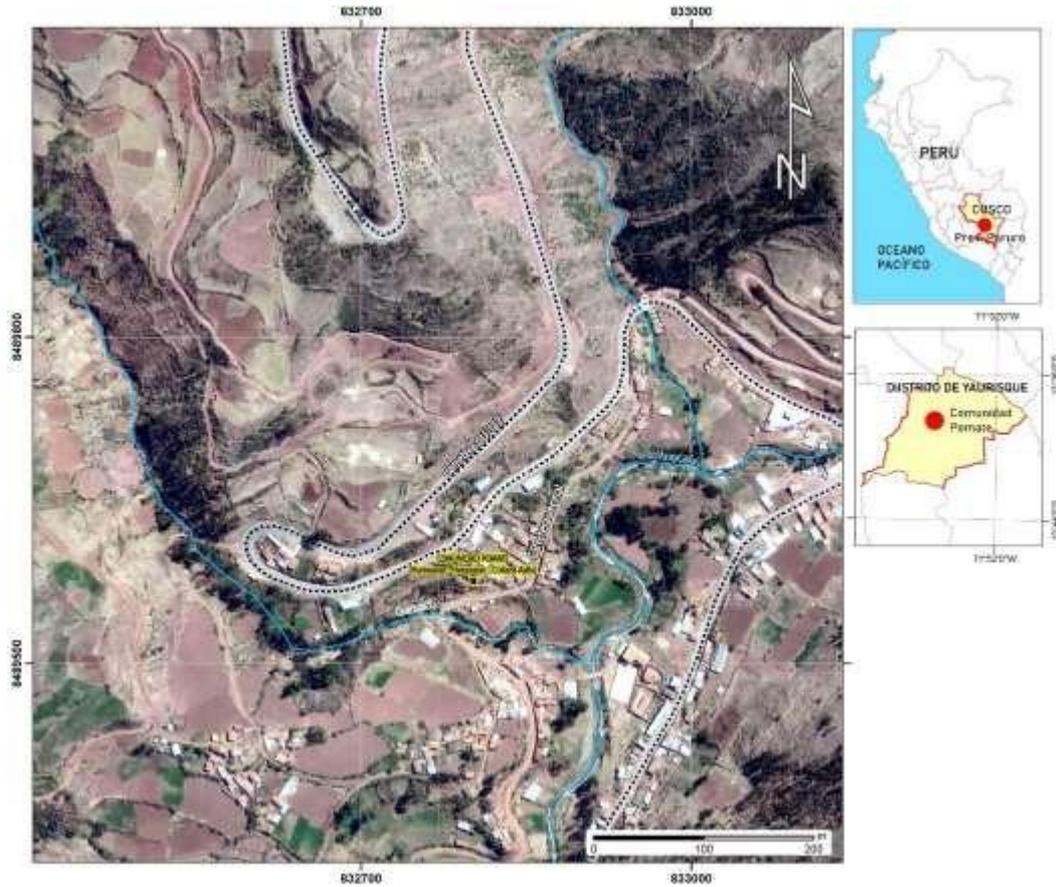


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

1.2.2. Población

Pomate es una de las 49 comunidades campesinas que conforman el distrito de Yaurisque. Según el último censo del INEI (2017), Pomate cuenta con aproximadamente 100 viviendas, habitadas por 250 pobladores (50 familias).

1.2.3. Accesibilidad

Partiendo de la ciudad del Cusco, hacia el malecón de Huancaro y por la carretera 'CU-117' (en ruta Cusco - Paruro), se llega a la comunidad de Pomate por 30.5 kilómetros y 48 minutos de recorrido (cuadro 3). La zona de estudio se encuentra en el Km 29.

Cuadro 3. Rutas de acceso al área de inspección

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco – CC. Occopata – CC. Pomate	Carreteras nacionales CU-117	30.5	48 min

1.2.4. Clima

- Temperaturas y precipitaciones

Según el Mapa climático Nacional del SENAMHI (2020), el C.C. Pomate, presenta un clima lluvioso con otoño e invierno secos en la parte alta (> 4200 msnm) y un clima semiseco con invierno seco en la parte baja (3000 msnm a 3500 msnm).

El clima lluvioso con otoño e invierno secos, esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 9°C a 19°C y temperaturas mínimas de -3°C a 3°C. Además, los acumulados anuales de precipitación de pueden variar desde los 500 mm hasta los 1200 mm aproximadamente.

El clima semiseco con invierno seco de este sector presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 21°C a 25°C en áreas del norte y centro y, de 15°C a 21°C en la sierra sur; mientras que, las temperaturas mínimas oscilan entre los 7°C y 11°C. Los acumulados anuales de lluvias en esta zona alcanzan entre los 300 mm a 700 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 (cuadro 4).

<p>PELIGROS GEOLÓGICOS</p>	<p>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.</p>
<p>MOVIMIENTOS EN MASA</p>	<p>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.</p>

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).
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO EN MASA	<p>REACTIVADO: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo</p> <p>SUSPENDIDO: Movimiento en masa que se desplazó durante el último ciclo anual de las estaciones climáticas, pero que en el momento no presenta movimiento (Varnes, 1978).</p> <p>INACTIVO LATENTE: Movimientos en masa aparentemente inactivo o sin movimiento, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen (WP/WPI, 1993).</p>
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.
ESCARPE	Escarpe o escarpa: Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD	Este mapa muestra las áreas propensas a movimientos en masa (deslizamientos, huacos, 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 a escala 1:50 000 (Carlotto et al. 2011), y el boletín N°74, serie L: de peligros geológicos en la región Cusco (Vilchez et al. 2020), describen las unidades geológicas del sector de Pomate, donde afloran rocas sedimentarias del Grupo Yuncaypata (Formación Puquin), Formación Quilque, Chilca, Grupo San Jerónimo (Formación Kayra) (figura 3), así como depósitos inconsolidados de origen coluvio - deluvial y aluvial (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 Yuncaypata

El Grupo Yuncaypata agrupa las formaciones Paucarbamba, Maras, Ayabacas y Puquín (Carlotto et al. 1996). En la zona de estudio aflora únicamente la Formación Puquín (figura 3).

Formación Puquin (Ks-pu)

La Formación Puquín aflora en la parte alta del deslizamiento antiguo, al norte del área de estudio. Litológicamente esta formada por lutitas rojas y moradas lacustres y yesos (Carlotto et al. 2011). Además de areniscas fluviales (fotografía 1).

Esta es representada por 3 miembros, con presencia de fósiles que datan una edad Cretácico superior, del campaneano al Maastrichtiano (Carlotto et al, 1992; Jaillard et al, 1994).



Fotografía 1. Vista de depósitos de areniscas y arcillas en el contacto entre la Formación Puquin y Quilque

2.1.2. Formación Quilque (Pp-qu)

La Formación Quilque se conoce como capas rojas que reposan en discordancia erosional sobre la formación Púquin (Gregory, 1916; Carlotto, 1992). Esta dispuesta de EW a NE en la parte media – alta de la sector de Pomate (anexo – mapa 1).

Litológicamente está compuesta por Es un conjunto de lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados (Carlotto et al. 2011). El corte de la carretera departamental CU-117 expone afloramientos de arenisca muy fracturadas, separadas en bloques tabulares, y ligeramente meteorizadas (fotografía 1).



Fotografía 2. Vista de areniscas tabulares muy fracturadas y ligeramente meteorizadas en el corte de carretera departamental CU-117. Ubicadas en las cordenasas UTM: X: 183636 Y:8489963.

2.1.3. Formación Chilca (Pp-ch)

Esta unidad ha sido definida en Cusco por Carlotto (1992), quien indica que se encuentra en los mismos lugares donde aflora la Formación Quilque. Aflora a ambos flancos del río Araycalla, en la parte baja de la comunidad de Pomate, y en discordancia erosional sobre la Formación Quilque (Paleoceno inferior) y bajo la Formación Kayra (Eoceno inferior).

Litologicamente está constituido por lutitas rojas con láminas de yeso, margas y areniscas calcáreas de medios lacustres. La discordancia observada entre las formaciones Chilca y Quilque parece corresponder a un efecto del evento tectónico del Paleoceno, al mismo tiempo el área de estudio muestra la falla de Paruro en dirección N-S, delimitando las formaciones Puquin, Quilque, Chilca con la formación Kayra. Del mismo modo, se observa una falla inversa de dirección SW – NE, que diferencia los afloramientos de la formación Puquin y Kayra al norte del área de estudio (anexo – mapa 1).

2.1.4. 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 del Cusco. Actualmente solo las formaciones Kayra y Soncco se han redefinido como parte del Grupo San Jerónimo (Carlotto et al., 1997b; Carlotto, 1998-2002; Carlotto et al., 2005) que sobreyace en discordancia erosional a las formaciones Quilque y Chilca.

- Formación Kayra (Peo-ky)

La Formación Kayra puede observarse al otro flanco de la comunidad de Pomate, flanco izquierdo del río Araycalla, así como a 600 m al oeste y norte del área de estudio. Aflora ampliamente al sur de la ciudad del Cusco, formando parte del sinclinal de Ancaschaca, en Yaurisque-Paruro.

Litologicamente está constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas y areniscas con microconglomerados de clastos volcánicos y cuarcíticos.

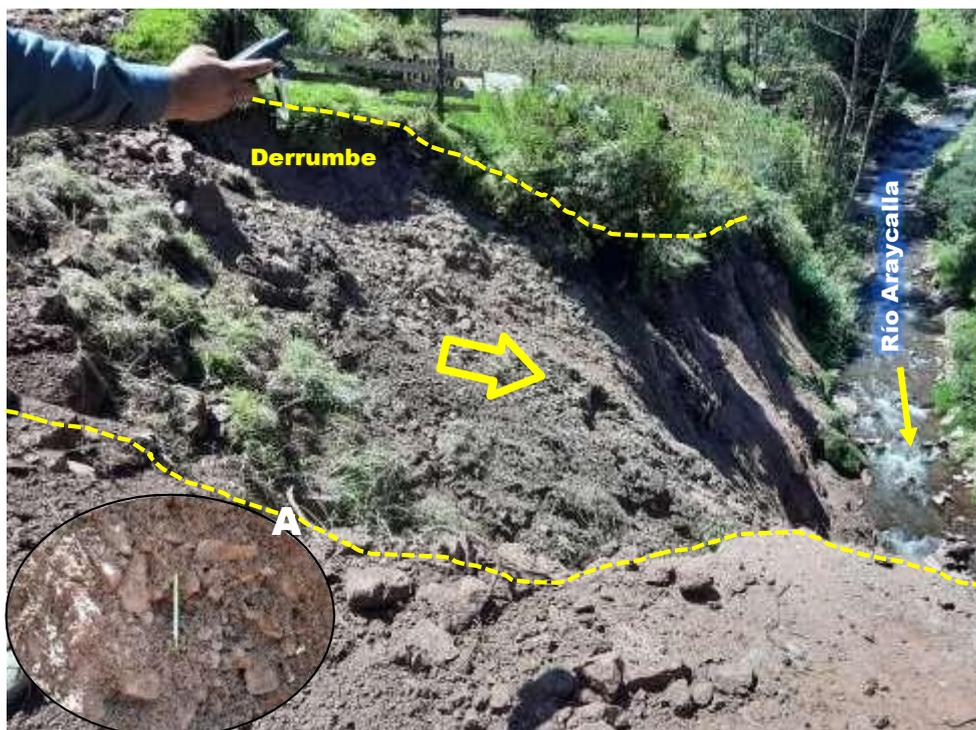
2.1.5. Depósitos Coluvio-Deluviales (Q-cd)

Se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos de naturaleza sedimentaria de 2 cm a 15 cm de diámetro, envueltos en una matriz limo-arcillosa (fotografía 3 y 4A), dispuestas a lo largo de pendientes de fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°) inclinación (anexo - mapa 2). Sus bloques son angulosos. Mientras que su matriz no tiene cohesión. En el sector de Pomate estos depósitos fueron movilizados por un deslizamiento antiguo y sus reactivaciones (otros deslizamientos y derrumbes) (figura 3 y 4).

Los principales agentes formadores de estos depósitos, son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, precipitaciones intensas y ocurrencia/reactivación de movimientos en masa.



Fotografía 3: Depósitos coluviales formados por la activación de deslizamientos después del corte de carretera departamental, parte alta de la comunidad de Pomate.



Fotografía 4: Depósitos coluviales formados por la activación de derrumbes en el flanco derecho del río Araycalla, parte baja de la comunidad de Pomate.

2.1.6. Depósitos Aluviales (Q-al)

Estos depósitos, se encuentran distribuidos en las quebradas principales y secundarias del sector de Pomate, llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes a río Araycalla (aguas abajo) (fotografía 5).

Está compuesto por una mezcla de fragmentos heterométricos y heterogéneos sedimentarios redondeados a subredondeados, y matriz de tipo arenoso, limoso y arcilloso, transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias.

Dentro de esta unidad también se incluyen los depósitos fluviales visibles en ambos márgenes y curso principal del río Kumpirushiato (fotografía 5), del lecho de ríos y quebradas, terrazas bajas y llanura de inundación. Son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles, cuya permeabilidad es alta (Vilchez et al. 2020).



Fotografía 5. Depósitos aluviales a ambos flancos del río Araycalla..

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

Las pendientes, son generadas a través del modelo de elevación digital de 'Alaska Satellite Facility' con una resolución de 12.5 m. Se muestra que el área de inspección (sector de Pomate) presenta pendientes que varían de fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°) inclinación (anexo – mapa 2).

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

PENDIENTES	DESCRIPCIÓN
Baja	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 zona de estudio, se observan pendientes de baja inclinación (1° a 5°) en el flanco izquierdo del río Araycalla, frente a la comunidad de Pomate. Y esta representado por depósitos coluviales producto de un antiguo deslizamiento.
Media	Conforman relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a los movimientos en masa. Algunos sectores en la parte baja de la comunidad de Pomate, tienen pendientes de media inclinación (5° a 15°).
Fuerte	Conforman relieves inclinados, se les considera altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa. Mas del 60% del área de estudio está formada por relieves de fuerte pendiente (15° a 25°)
Muy fuerte	Caracterizado por presentar muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. 30% del área de estudio está formada por relieves de muy fuerte pendiente (25° a 45°)
Abrupto/ Muy Escarpado	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 observa que la zona montañosa frente a la comunidad de Pomate, presenta algunos sectores con pendientes de abrupta inclinación (>45°)

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

3.2. 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, determinan regionalmente la comunidad de Pomate y aledaños en geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional (montaña estructural en roca sedimentaria) y geoformas de carácter deposicional (vertiente con depósito de deslizamiento, aluvial, y piedemonte 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 depositacional, por transporte arrastre y acumulación de sedimentos.

3.2.1.1. Montañas estructural en roca Sedimentaria (RM-rs)

En esta subunidad geomorfológica se encuentran las elevaciones de terreno que hacen parte de las cordilleras levantadas por la actividad tectónica, cuya morfología actual depende de procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia de escorrentía, y agua de subsuelo, con fuerte incidencia de la gravedad. En el área de estudio esta unidad, tienen pendientes de fuerte (15° a 25°) muy fuerte (25° a 45°) inclinación (fotografía 5 y anexo – mapa 2). Las rocas sedimentarias expuestas en la parte alta del área de influencia, son areniscas ligeramente fracturadas y con alto grado de fracturamiento, por lo que permite la salida de ojos de agua. 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 litoestratigraficas de rocas sedientarias con presencia de fallas por lo tanto geomorfológicamente están clasificadas por montañas estructurales en rocas sedimentarias (fotografía 6).



Fotografía 6. Vista de montañas sedimentarias frente a la comunidad de Pomate.

3.2.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

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

3.2.2.1. 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 6 y 7), dispuestas sobre una pendiente de inclinación fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°).

Son producto del proceso erosivo de montañas en roca sedimentaria, donde se observa la disposición de fragmentos pizarrosos subangulares a subangulosos envueltos en una matriz limo-arcillosa. Esta unidad es disectada por quebradas entre 2 m a 36 m de ancho en su cauce principal (fotografía 8).



Fotografía 7: Depósito de deslizamiento antiguo inactivo latente



Fotografía 8: Depósitos de deslizamiento suspendido en el corte de carretera CU-117

3.2.2.2. Vertiente aluvial (V-al)

Conforma planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Están formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, que pueden formar abanicos debido al movimiento lateral-cíclico del curso de los ríos o quebradas que los originan. La pendiente de estos depósitos es de suave a moderada (1-15°)(ver anexo – mapa 2). Sobre estos abanicos se pueden depositar también materiales provenientes de flujos torrenciales, comúnmente conocidos como huaicos (Vilchez et al.2020).

Esta unidad es visible en las llanuras de inundación a ambos flancos del río Kumpirushiato (fotografía 10) y en los de conos de deyección producto de flujos de detritos antiguos y recientes sobre quebradas del flanco izquierdo del mismo río (fotografía 4 y anexo – mapa 3).

3.2.2.3. Vertiente aluvio-torrencial (P-at)

Esta unidad corresponde a planicies ligeramente inclinadas y extendidas. 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 baja (1°-5°) y está representada por el cauce del río Kumpirushiato. Esta geoforma está formada por materiales acumulados de flujo de detritos constituidos en quebradas tributarias, que alcanzan los cauces principales del río Kumpirushiato (fotografía 10).

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



Fotografía 9. Disposición de vertientes aluviales y aluvio-torrenciales en la parte baja

4. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

4.1. Caracterización del Peligros por Movimientos en Masa

La fotointerpretación de imágenes satelitales y el cartografiado de peligros geológicos en el sector de Pomate ha permitido identificar un deslizamiento antiguo de 410 m de largo y 250 m de ancho (figura 4B), sobre una pendiente promedio de 28° (figura 5B).

Dentro del cuerpo antiguo se asienta la comunidad de Pomate (parte media y baja) y desde hace aproximadamente 10 años, se realizó 02 cortes de carretera departamental CU-117 (parte media) (figura 4A), la misma que dio lugar a la reactivación de derrumbes y deslizamientos por el corte de talud y asentamientos / desniveles en el asfalto (figura 4B).

La deslizamientos y derrumbes se dan mayoritariamente en época de lluvias (noviembre a abril), los movimientos que solo son activados en este periodo climático son considerados de actividad 'suspendida', mientras aquellos cuyo movimiento continua todo el año después de su activación son considerados de actividad 'reactivada' (Cruden y Varnes. 1996).

En enero de 2022 se evidenciaron indicios de la reactivación de otro deslizamiento más pequeño (70 m de largo y 50 m de ancho) con derrumbes al pie (flanco derecho del río Araycalla), en el lado derecho _ parte baja del deslizamiento antiguo (Km 29 de CU-117) (figura 4B)..

La reactivación del deslizamiento causó el hundimiento de la carretera principal con un desnivel de 10 cm (más evidente entre febrero y abril), destrucción de la cuneta de carretera (parte alta) y destrucción de la plataforma de trocha vecinal (parte baja) (figura 6 y 8). Sin embargo, amenaza con destruir 40 m de la carretera departamental, terrenos, 65 m de la carretera de trocha vecinal, tubos y pozo de desagüe de la comunidad de Pomate. Por lo tanto de no realizar medidas de mitigación a corto plazo el deslizamiento sería detonado en temporada de lluvia, siendo considerado un **peligro de nivel muy alto**.

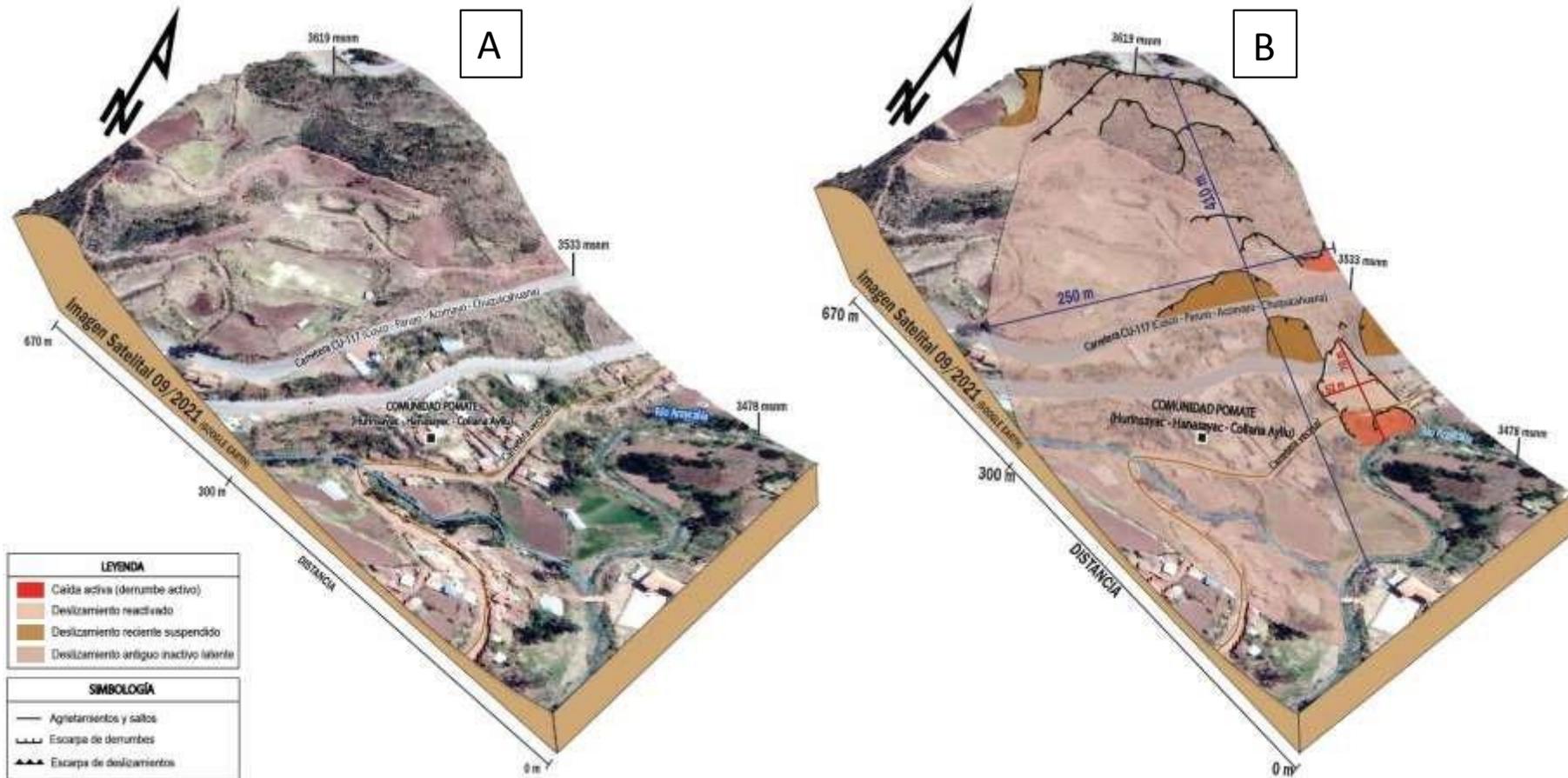


Figura 4. A. Vista del sector de Pomate. B. Peligros geológicos por movimientos en masa en el sector de Pomate: Cartografiado y fotointerpretación de la imagen satelital del 09 / 2021

4.1.1. Parte alta - media del sector de Pomate

La imagen satelital de septiembre de 2021 muestra una escarpa antigua de geometría circular en la parte alta del sector de Pomate, como trazas de un deslizamiento antiguo de 410 m de largo y 250 m de ancho, en estado inactivo latente, sobre el cual se asienta la comunidad de Pomate y 02 trazos de la carretera departamental CU-117, a la actualidad. Además de otros deslizamientos / derrumbes antiguos, recientes y en proceso de reactivación más pequeños dentro del cuerpo antiguo (figura 5A).

En la parte alta - media del deslizamiento antiguo, se observa una escarpa de 45 m de extensión, con saltos entre 1.5 a 2.5 m (figura 5A y 5C), cuyo movimiento no presenta deformación aparente. Siguiendo esa dirección, pendiente abajo se observa dos deslizamientos de actividad suspendida y escarpas entre 110 m (figura 5D) y 130 m (figura 5E) de longitud y saltos de 1 m y 2 a 3 m, en el lado izquierdo de la carretera CU-117 (ruta Cusco a Paruro) (figura 5A). Para el primero de ellos, se realizó un muro de gaviones de 39 m de longitud, al pie del talud. Sin embargo este muro actualmente muestra una inclinación de 75° (figura 5D).

Según el testimonio de los pobladores, por más de 30 años se observó la presencia de manantes y ojos de agua caudalosos en el sector de Pomate, sin embargo después de las explosiones realizadas para la construcción de la carretera departamental, estos desaparecieron o redujeron su caudal en la parte alta – media y otros aparecieron en la parte media – baja del sector.

Al mismo tiempo se ha observado materiales areno – arcillosos muy saturados en los cortes de talud y muy cerca del contacto entre la Formación Puquin y Quilque (ver anexo_ mapa 1).

4.1.2. Parte media - baja del sector de Pomate

En enero de 2022 inició el proceso de reactivación de un deslizamiento de 70 m de largo y 50 m de ancho (figura 5B), cuya escarpa de geometría circular, tiene una longitud de 85 m, con saltos de 1.5 m (figura 5F), profundidad de 30 cm y apertura de 45 cm (figura 5F).

La carretera CU-117 (km 29), ubicada 15 m más abajo del corte de la escarpa principal, forma parte de la cabecera del deslizamiento en proceso de reactivación (figura 5F y 5G).

Los daños causados con la reactivación de la escarpa del deslizamiento fueron: El hundimiento de 40 m de la carretera CU-117 (figura 6A), destrucción de 28 m de la cuneta de aguas pluviales (figura 6A, 6C y 6D1).

Después del hundimiento de la carretera, se realizó su nivelación con material de relleno, sin embargo entre febrero y abril el desnivel se hizo mas evidente, llegando a ser de 10 cm (figura 6B). Sin embargo las áreas cercanas donde no se colocó material de relleno muestran saltos de 60 cm y aperturas entre 20 cm a 30 cm (figura 7A y 7A1). Además se procedió a la colocación de plástico en reemplazo a cunetas destruidas, para evitar la infiltración de aguas pluviales al terreno inestable (figura 6C).

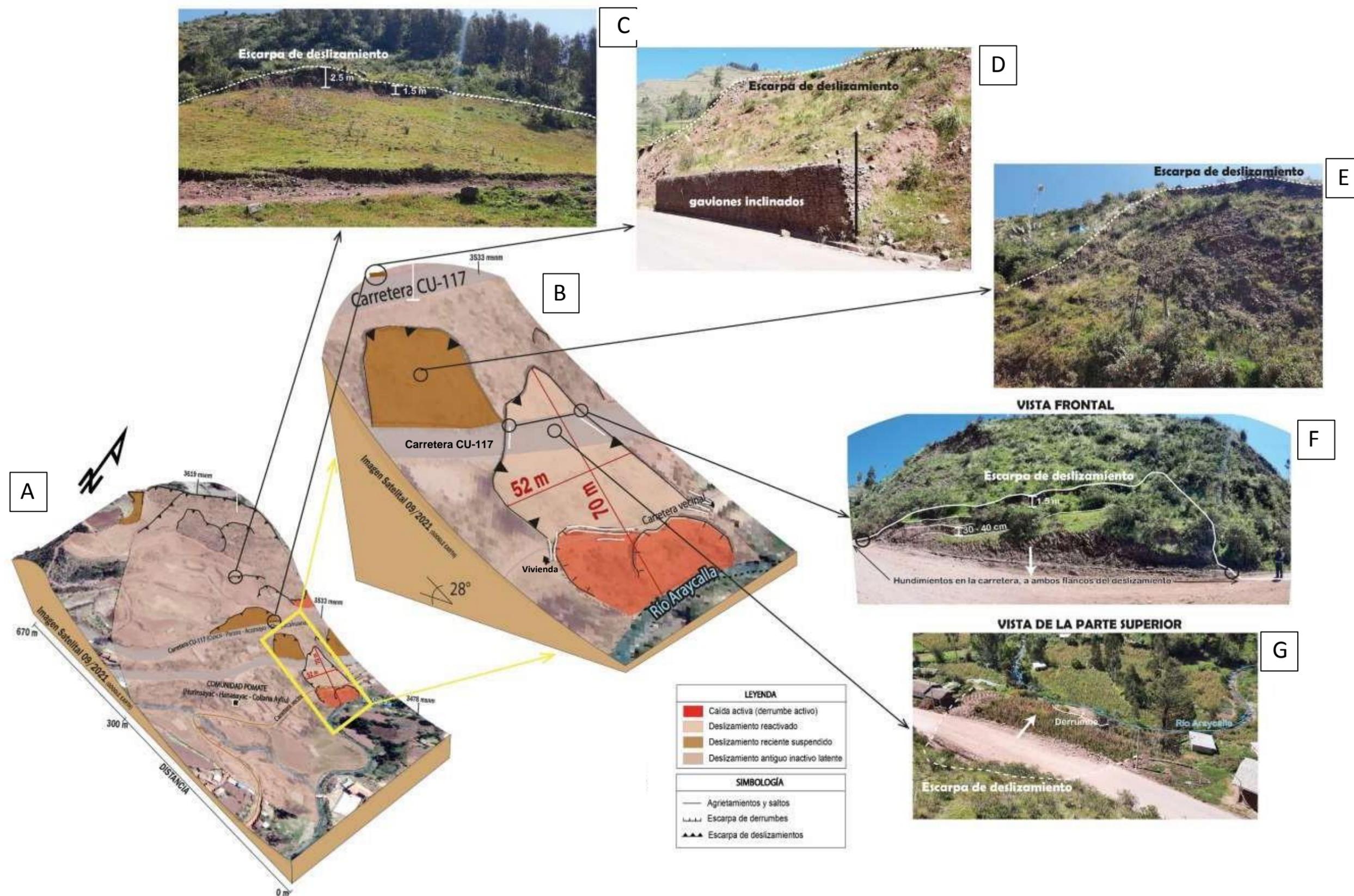


Figura 5. A. Bloc diagrama de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector de Pomate. B: Zoom del área de interés. C. Vista de la escarpa de un deslizamiento inactivo. D. Vista de un deslizamiento de actividad suspendida, que genera inclinación del muro de gaviones en el pie del talud. E. Deslizamiento en el lado derecho de la zona de interés. F: Zona de interés: Vista frontal de la escarpa principal de un deslizamiento en proceso de activación. G. Zona de Interés. Vista de la parte superior del deslizamiento en proceso de activación, desde los 15 m por encima de la carretera hasta el río Araycalla (70 m de longitud).

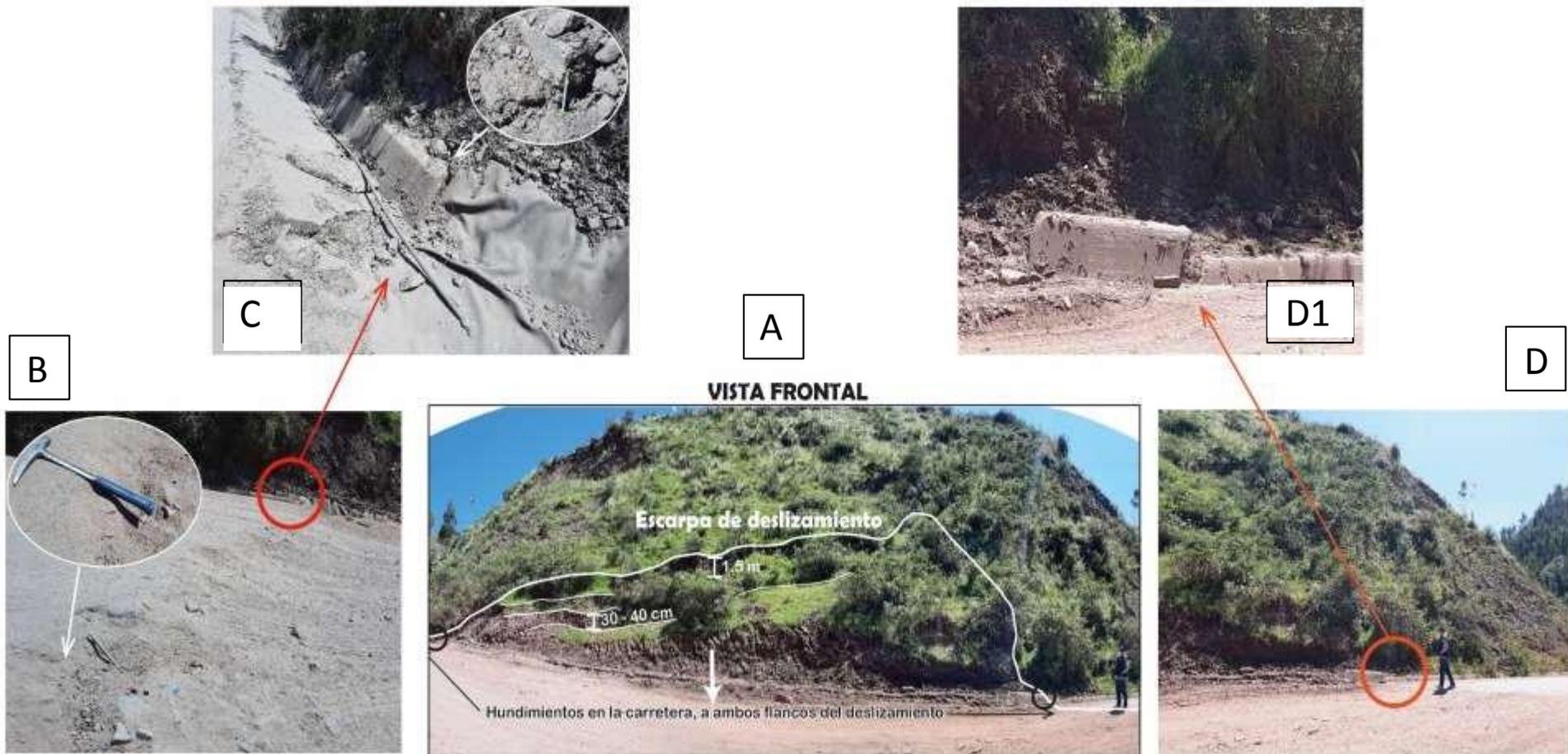
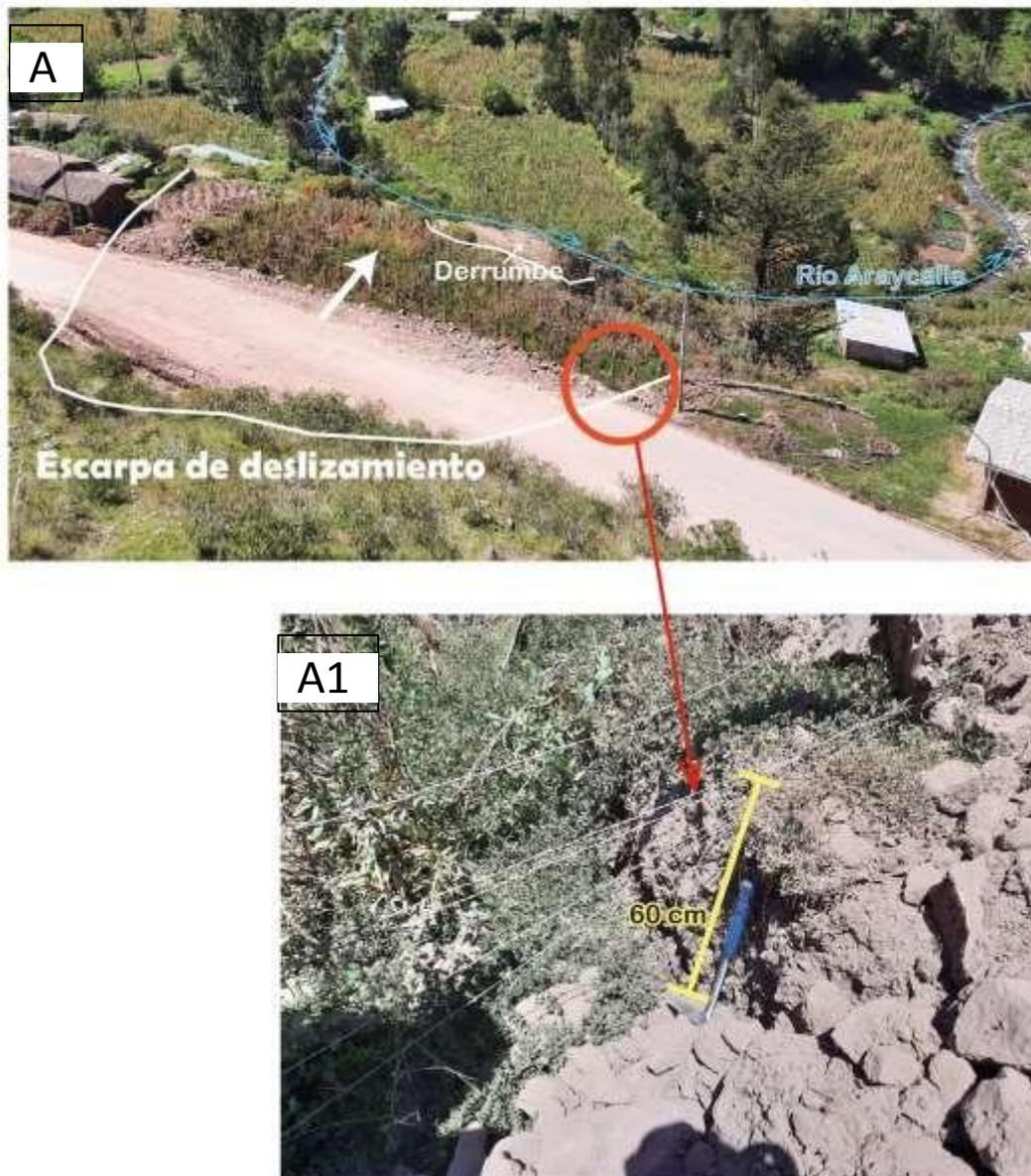


Figura 6. A. Vista frontal de la escarpa principal de un deslizamiento en proceso de activación y daños en la infraestructura. Flanco derecho del deslizamiento. A. Desnivel de la carretera CU-117 (Km 29). C. Cuneta destruida y colocación de plásticos en el tramo destruido. Flanco izquierdo del deslizamiento. D. Extremo izquierdo de la cuneta destruida.

VISTA DE LA PARTE SUPERIOR



a

Figura 7. A. Vista de la parte alta de la escarpa principal de un deslizamiento en proceso de activación y daños en la infraestructura. B. Sectores cercanos a la carretera CU-117, donde no se colocó material de relleno muestran santos hasta de 60 cm.

4.1.3. Parte Baja del sector de Pomate. Reactivación de deslizamiento _ Derrumbes en el flanco derecho del río Araycalla

El deslizamiento en proceso de reactivación es afectado al mismo tiempo por derrumbes al pie del talud (figura 8B), reactivados casi al mismo tiempo que la escarpa del deslizamiento.

El deslizamiento cartografiado tiene una pendiente de fuerte inclinación (28°). Y litológicamente esta compuesto por depósitos no consolidados coluvio-deluviales, debido a la ocurrencia de movimientos en masa antiguos, estas características del

terreno asociadas a aspectos hídricos como aguas subterráneas (surgencia de ojos de agua en la parte media y cabecera de los derrumbes) y aguas pluviales generan saturación de los depósitos inconsolidados. Y sobre todo el contacto directo de este material inconsolidado (depósitos limo-arenosos con bloques arcillosos en la zona de derrumbes) con el río Araycalla (figura 8B), ha generado socavamiento que desencadenó estos derrumbes.

Durante toda la época de lluvia estos derrumbes ha ido ampliando sus dimensiones a través de una escarpa con dinámica retrogresiva, es así que a lo largo de la trocha vecinal ubicada en la cabecera de esos derrumbes, se observa agrietamientos que se extienden desde 1 m a 10 m, con saltos de 20 cm y aperturas entre 10 a 20 cm (3 a 4 m detrás de la escarpa del derrumbe ya reactivado) (fotografía 10).

Los daños causados con la reactivación de la escarpa fueron la destrucción de un tramo de 25 m (entre 1.5 a 2 m de los 3 m de ancho) de la trocha vecinal (figura 8B y 8C), exposición de tubos de desagüe (figura 8D) y agua potable que abastece a 50 familias de la comunidad de Pomate. Sin embargo, estos derrumbes amenazan con ampliar sus dimensiones y destruir 65 m de la trocha vecinal (único acceso de los pobladores que viven en la parte baja de la comunidad de Pomate), los tubos de desagüe, agua potable y pozo de desagüe expuestos.

Los primeros días de abril, los pobladores de Pomate colocaron material de relleno terroso para recuperar en ancho de los 25 m de la trocha vecinal destruida (desde el flanco izquierdo hasta el buzón de desagüe) (figura 8E), sin embargo los agrietamientos de la cabecera de derrumbes siguen apareciendo en el material de relleno y en otro tramo de la trocha que aún no fue afectada.



Fotografía 10. Agrietamientos con saltos de 20 cm y >10 cm de apertura, en el flanco izquierdo del derrumbe reactivado (lado derecho del deslizamiento reactivado).

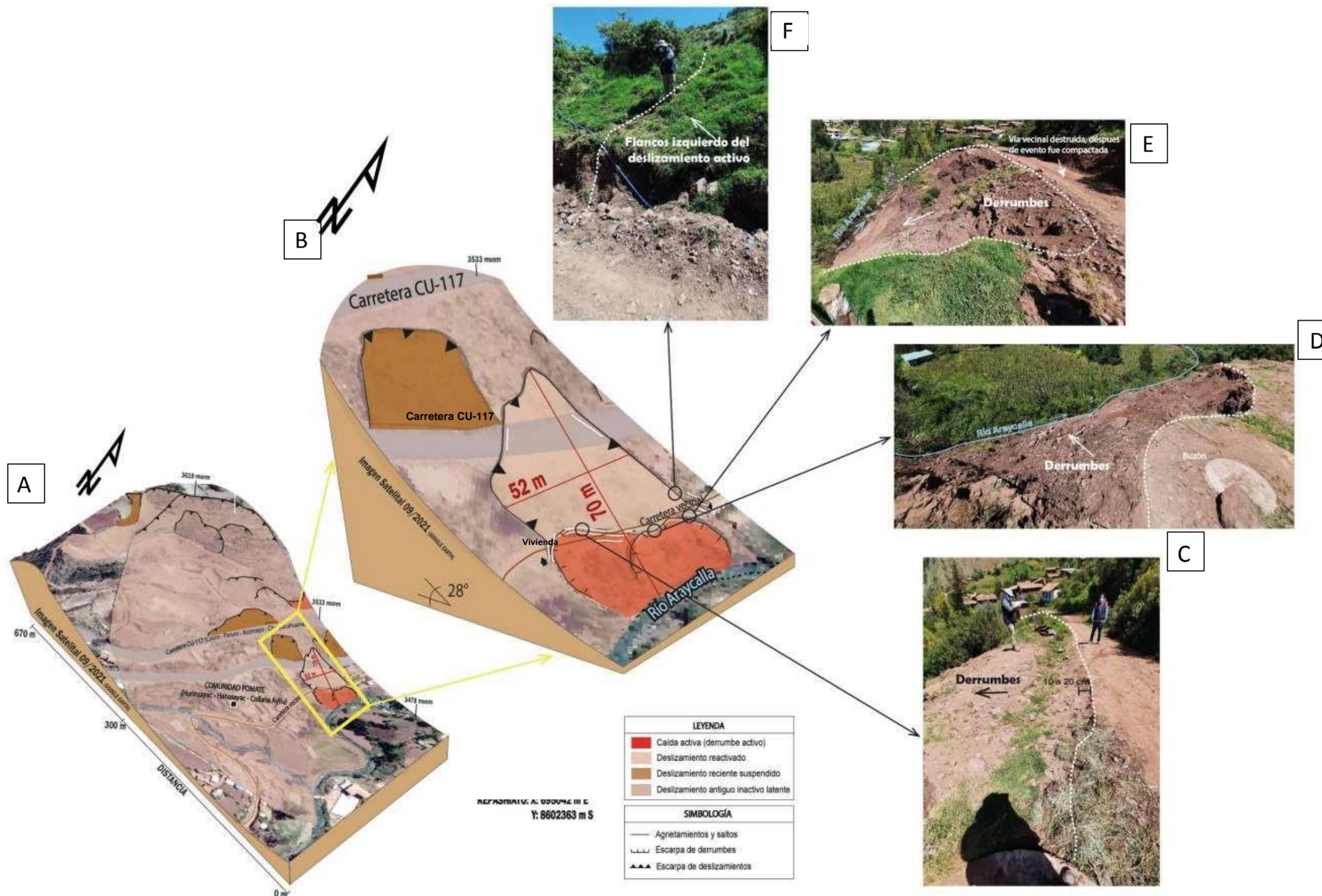


Figura 8. A. Bloc diagrama de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector de Pomate. B: Zoom del área de interés. C. Vista de agrietamientos coronarios en la zona de derrumbes. D. Exposición de pozos de desagüe en la cabecera del derrumbe. E. Tramo vecinal rellenado después de su afectación. F. prolongación del flanco izquierdo del deslizamiento en proceso de activación.

El flanco izquierdo del deslizamiento en proceso de reactivación se extiende intermitentemente desde la carretera CU117 (parte alta) hasta la prolongación del flanco izquierdo del derrumbe al pie del talud (figura 8B y 8F).

Los agrietamientos coronarios paralelos a la escarpa principal de los derrumbe al pie del talud continúan hasta la prolongación del flanco derecho del deslizamiento en proceso de reactivación. Y esta representado por un agrietamiento de 6.5 m de longitud en dirección NW-SE, con saltos de 30 cm y apertura de 8 cm (fotografía 11).

2 m del agrietamiento en el flanco derecho del derrumbe (fotografía 11), se ubica una vivienda de adobe, que no presenta fracturas en su estructura.



Fotografía 11. Saltos de 20 cm en el flanco derecho del derrumbe reactivado (lado derecho del deslizamiento reactivado).

4.2. Factores condicionantes y desencadenantes

4.2.1. Factores condicionantes

- **LITOLÓGICO:** Las unidades geológicas que conforman el área de estudio son rocas sedimentarias de la Formación Puquin, Quilque, Chilca, Kayra ligeramente meteorizadas y altamente fracturadas, cubierto por depósitos coluvio – deluviales y aluviales, acumulados en quebradas, laderas empinadas y lechos de río, generados por intemperismo, gravedad, movimientos sísmicos, precipitaciones excepcionales y activación de movimientos en masa (deslizamiento y caída de rocas (derrumbes)).
- **GEOMORFOLOGÍA:** Las unidades geomorfológicas que conforman el área de estudio son montañas estructurales en rocas sedimentarias y vertientes aluvial, con depósito de deslizamiento y aluvio-torrencial con depositos de movimientos en masa recientes / antiguos, y a ambos flancos del lecho de ríos.
- **PENDIENTE:** En el área de interes, se tiene pendientes de fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°) inclinación.

4.2.2. Factores desencadenantes

- **VIBRACIÓN DE TERRENO:** Desde que el proceso de reactivación del deslizamiento inició, los vehículos de carga pesada siguen transitando por los 40 m de la carretera afectada, en el sector de Pomate. Esta carga provoca vibración del terreno y perturbación de sus propiedades mecánicas contribuyendo al asentamiento y fallo del terreno.
- **LLUVIAS INTENSAS:** En el área de estudio, se registran precipitaciones anuales entre 300 mm y 1200 mm, por lo que se considera un clima lluvioso con otoño e invierno secos y clima semiseco y semiseco con invierno seco

5. CONCLUSIONES

- a) Geológicamente, en el área de estudio afloran arcillas, areniscas y conglomerados de la Formación Puquin, Quilque, Chilca y Kayra, unidades litológicas ligeramente meteorizadas y altamente fracturadas. Además, la presencia de unidades no consolidadas como: depósitos coluvio – deluviales y aluviales, acumulados en quebradas, laderas empinadas y lechos de río.
- b) Las unidades geomorfológicas que representan las áreas de estudio montañas estructurales en roca sedimentaria y vertientes de deslizamiento dispuestas sobre pendientes que varían de fuerte ($15^\circ - 25^\circ$) a muy fuerte (25° a 45°) inclinación y vertientes aluviales y aluvio-torrencial sobre una pendiente baja ($0^\circ - 5^\circ$) a media ($5^\circ - 15^\circ$). Estas características asociadas a la geología clasifican el área con un **grado de susceptibilidad alta**, a la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) En el sector de Pomate se cartografió un deslizamiento antiguo con largo de 410 m y ancho de 250 m, el cual presenta reactivaciones en forma de derrumbes / deslizamientos. Sin embargo, desde enero de 2022, del Km 29 de la carretera CU-117 hasta el río Araycalla, se identificó un deslizamiento en proceso de reactivación con largo de 70 m y ancho de 50 m; y derrumbes al pie del mismo, sobre un terreno de pendiente de fuerte inclinación (28°). El área de estudio se considera en **peligro muy alto** a movimientos en masa en temporada de lluvia intensa y prolongada.
- d) El deslizamiento en proceso de reactivación dañó la carretera CU-117 en 40 m y destruyó la cuneta de aguas pluviales en 28 m de. Mientras que los derrumbes al pie del deslizamiento destruyeron un tramo de la trocha vecinal en 25 m, dejando expuesto un pozo de desagüe, tubos de agua y tubos de desagüe. Por lo tanto, de no realizar medidas de mitigación a corto plazo, el deslizamiento sería detonado nuevamente en temporada de lluvia y destruiría por completo la infraestructura antes mencionada, siendo considerado un **peligro muy alto**.
- e) Los factores desencadenantes del deslizamiento en proceso de reactivación son las lluvias intensas y la vibración del terreno por paso de vehículos de carga pesada.

6. RECOMENDACIONES

El orden de obras ingenieriles para reducir el riesgo de desastre en el sector de Pomate deben realizarse de abajo hacia arriba, es decir desde el río Araycalla hasta el tramo afectado de la carretera CU-117 (escarpa de deslizamiento).

A corto plazo:

- A) Colocar un muro de gaviones al pie del talud, para evitar que el río continúe socavando los depósitos areno-limosos y arcillosos del flanco derecho.
- B) Obtener por la construcción de andenería, encima del muro de gaviones, para iniciar el proceso de estabilización de los derrumbes. La andenería debe ir asociada a forestación.
- C) Captar los ojos de agua que surgen en la parte alta de derrumbes (trocha vecinal de Pomate)
- D) Evitar el paso de vehículos de carga pesada.
- E) Monitorear el proceso de estabilización y desnivel del tramo de la carretera afectada, después de los trabajos ingenieriles en el pie del talud.
- F) De aparecer grietas en la vivienda de adobe ubicada a 2 metros del flanco derecho del cuerpo de deslizamiento y derrumbes (parte baja), esta debe ser rehubicada.
- G) Evitar la infiltración de aguas pluviales en los agrietamientos y saltos ya existentes.

A mediano plazo:

- H) Forestar la cabera del deslizamiento en proceso de reactivación con sauces u otras especies locales que tengan raíces profundas.
- I) Construir un muro de contención para protección de la carretera CU-117, en el tramo afectado.
- J) De no observarse más hundimientos en el tramo de la carretera CU117, realizar la nivelación de la misma.



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., Cárdenas J., Carlie, G. (2011). *Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000. Boletín A 138. Serie A. INGEMMET*

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. (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., Geologie Alpine, Mémoire H.S., 39*

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.; 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*

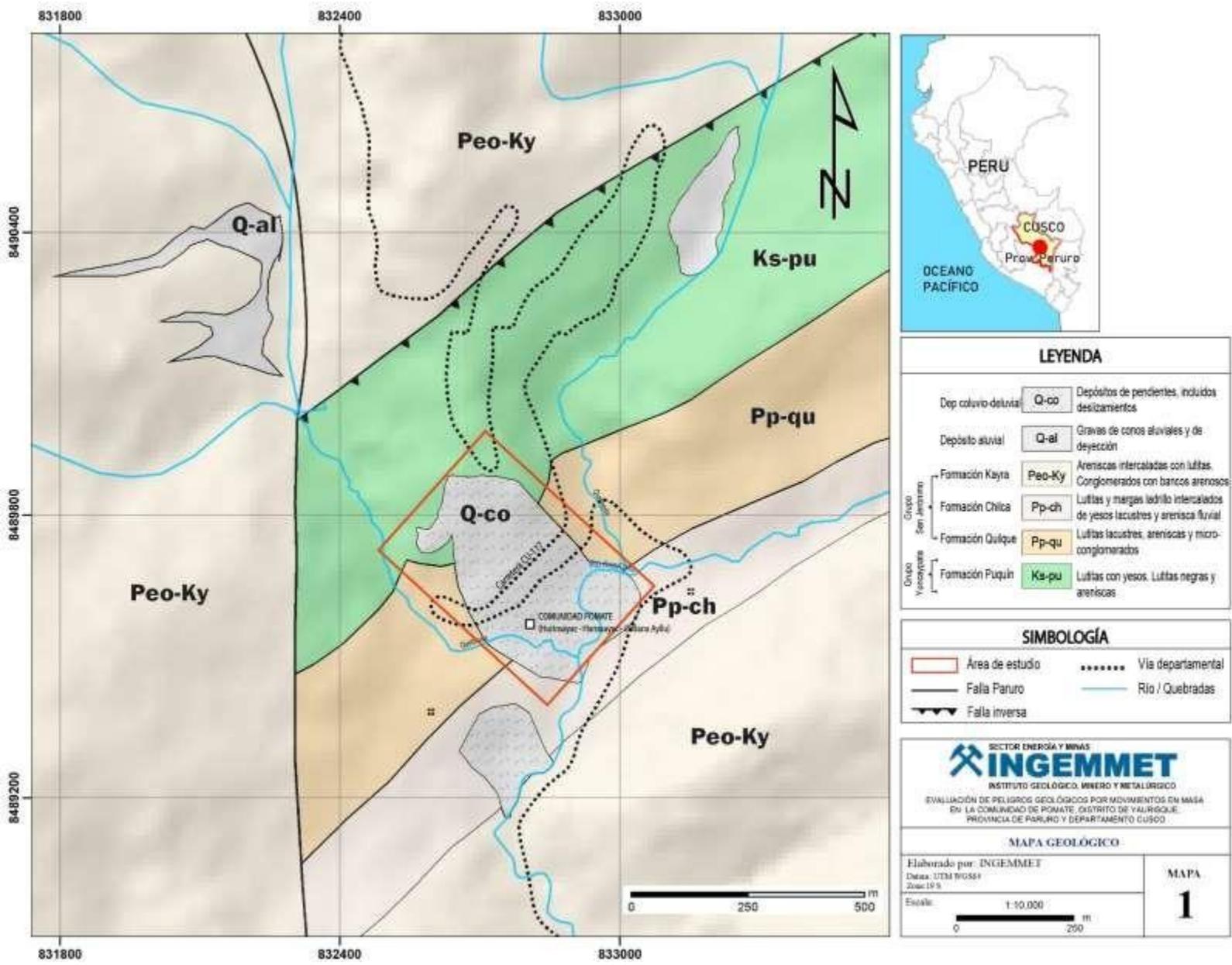
Córdova, E. (1986) *Un bassin intramontagneux andin péruvien. Les couches rouges du bassin de Cuzco (Maestrichtien-Paléocène). Docteur du 3ème cycle, Université de Pau et des Pays de L'Adour, Laboratoire de Géodynamique des Bassins Sédimentaires, Pau, 272 p*

Gregory, H.E. (1916) *A geological reconnaissance of the Cuzco valley, Peru. American Journal of Sciences, 41(241): 1-100.*

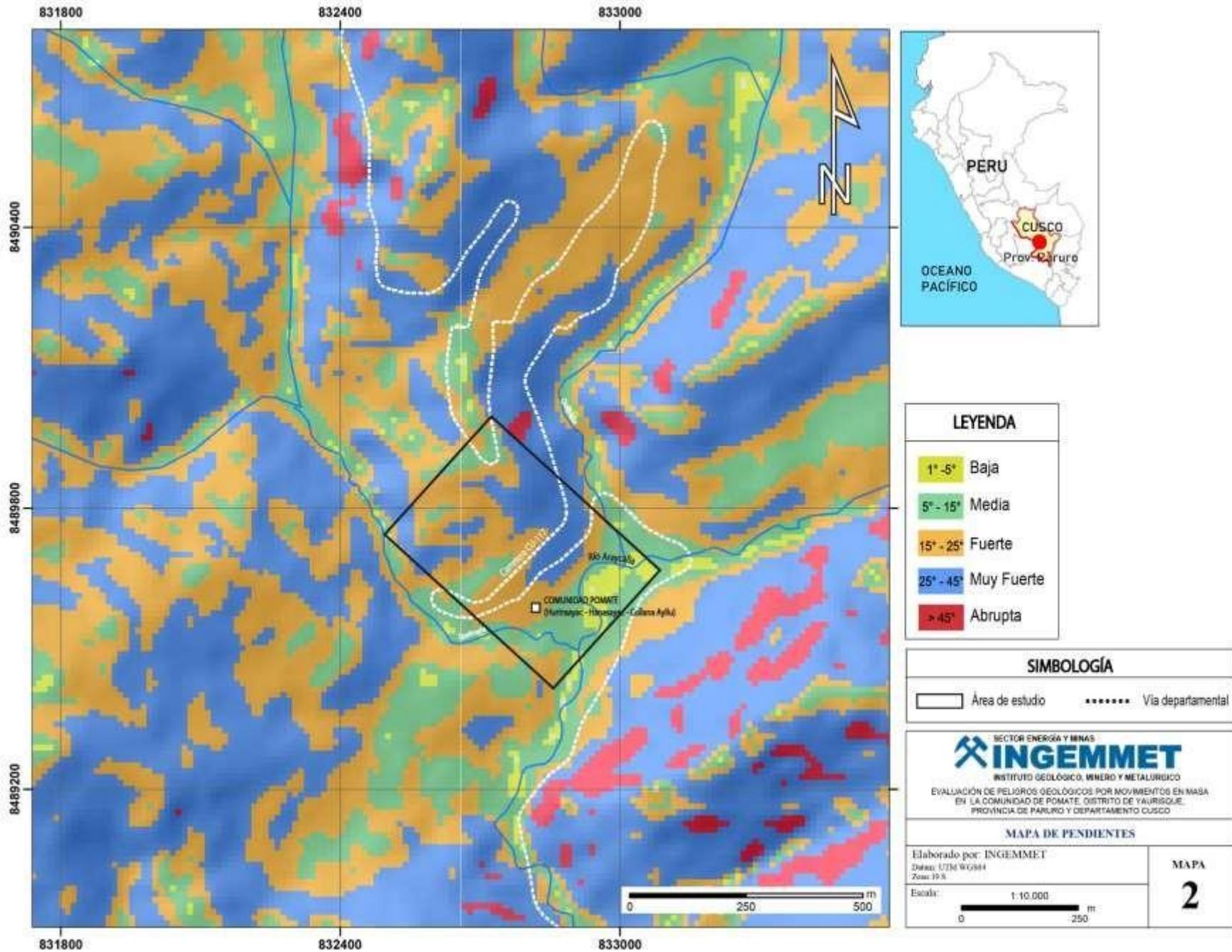
Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Servicio Nacional De Geología Y Minería. Publicación Geológica Multinacional No. 4.

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

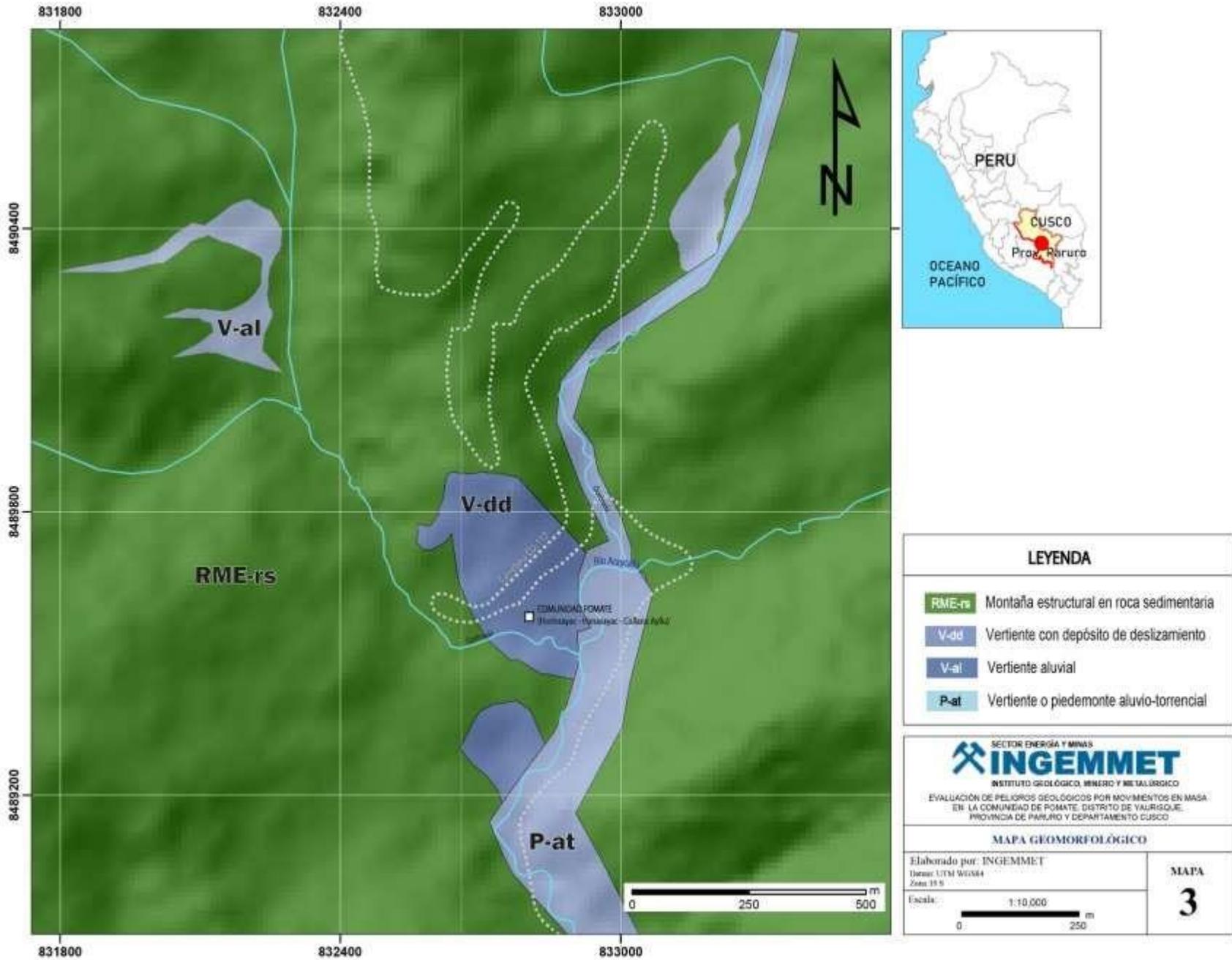
Vilchez M., Sosa N., Pari W., Peña F. (2020). *Peligro Geológico en la región de Cusco. Boletín N° 74. Serie C. INGEMMET.*



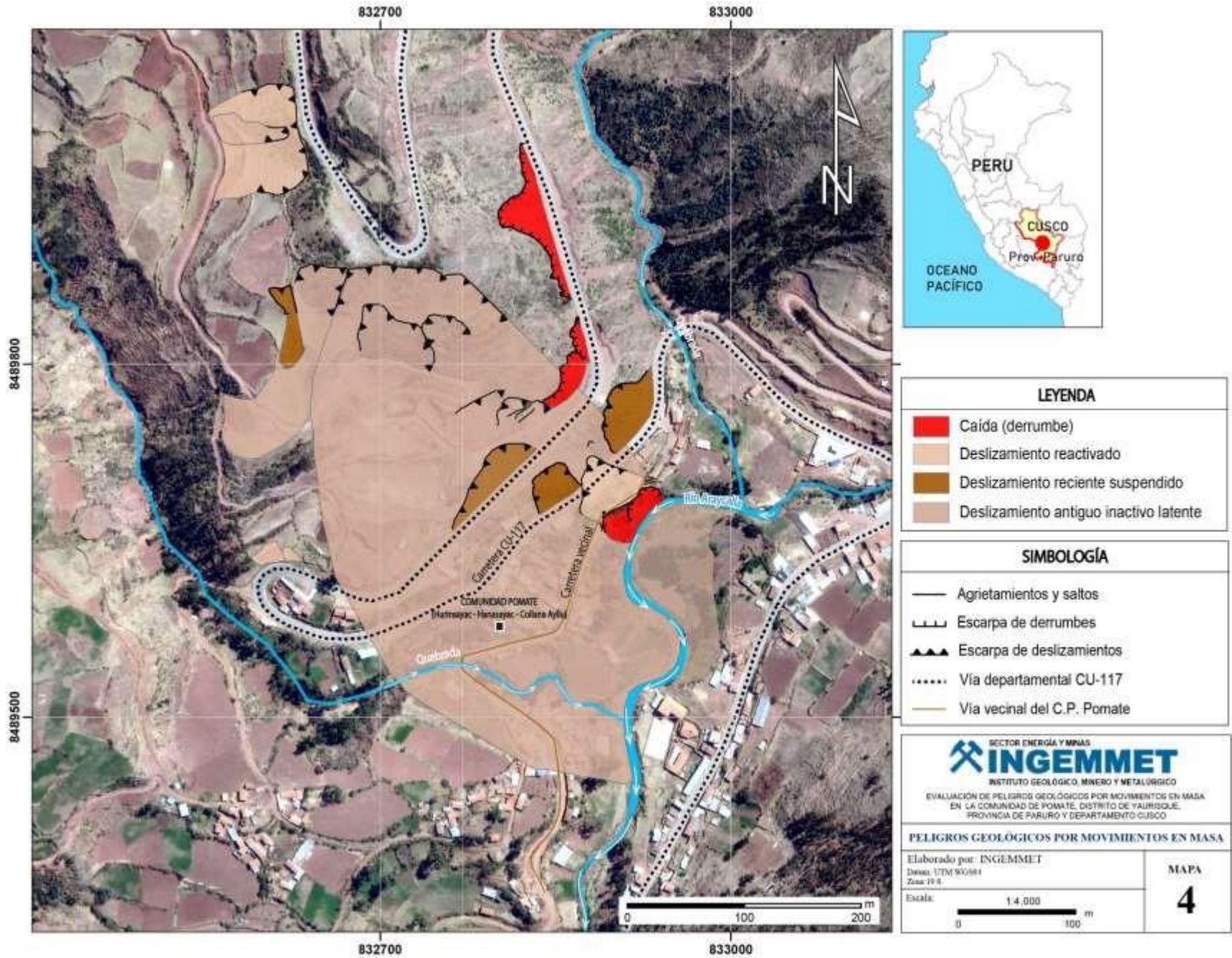
Mapa 1. Mapa Geológico del área de estudio. Fuente: Carlotto et al., 2011



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



Mapa 3. Mapa geomorfológico en el área de estudio. Fuente: Vílchez et al., 2020



Mapa 4. Cartografiado de peligros geológicos en el sector de Pomate