



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

EVALUACIÓN GEODINÁMICA DE LOS SECTORES KUMURRUMUY, TAPARCALLA, CCANTUSCALLA, UPINA, LIMACPATA Y RETAMACHAYOC, VÍA CU-117 PARURO (Distrito de Paruro, Provincia de Paruro, Región Cusco)

Informe Técnico n.º 022-2025/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima-Perú
Julio, 2025

CRÉDITOS

Juan Carlos Castro Vargas
Ministro del Ambiente

Hernando Tavera
Jefe institucional del IGP

Juan Carlos Gómez
Director de la Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida del IGP

Evaluación geodinámica de los sectores Kumurumuy, Taparcalla, Ccantuscalla, Upina, Limacpata y Retamachayoc, vía CU-117 Paruro (Distrito de Paruro, Provincia de Paruro, Región Cusco)
Informe técnico

Mariana Vivanco
José Arela
Gustavo Namay
Wendy Quiroz
Juan Carlos Gómez
Autores

Hernando Tavera
Jorge Concha
Edición de contenido

Jorge Concha
Diseño y diagramación

Este informe ha sido elaborado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP)
Calle Badajoz 169, Mayorazgo, Ate, Lima
Teléfono: +5113172300

Accede libremente al Repositorio Geofísico Nacional (REGEN) para descargar este informe:
<https://repositorio.igp.gob.pe/>



REGEN

Lima, julio de 2025

Programa Presupuestal 068
REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
POR DESASTRES

ESTUDIOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

Actividad
Desarrollo de estudios para establecer el riesgo a nivel territorial



EVALUACIÓN GEODINÁMICA DE LOS SECTORES
KUMURRUMUY, TAPARCALLA, CCANTUSCALLA, UPINA,
LIMACPATA Y RETAMACHAYOC, VÍA CU-117 PARURO
(Distrito de Paruro, Provincia de Paruro, Región Cusco)



Lima, Perú
Julio de 2025

RESUMEN

La vía CU-117, comprendida entre los sectores de Kumurrumuy, Taparcalla, Ccantuscalla, Upina, Retamachayoc y Limacpata, en el distrito de Paruro, es afectada por la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos ocurridos durante los periodos de lluvia (diciembre-abril), situación que afecta la seguridad física de dicha vía e interrumpe el paso vehicular al distrito de Paruro.

En el sector Limacpata, se identificó la generación de nuevos agrietamientos (15 m longitud, 1.10 m de profundidad y 0.60 m de apertura) en la parte superior de la escarpa principal, denominados como deslizamiento retrogresivo (estado activo), ubicados a una distancia aproximada de 6 a 7 m de la carretera. Asimismo, se evidenció la formación de un nuevo deslizamiento de tipo traslacional en la zona de Ollachayoc.

En el sector Puente Upina se presenta un escarpe semicircular de 48 m, 10 m de salto vertical y 75 m de desnivel, que afecta un área estimada de 1790 m². Asimismo, en el sector Cucuchiray se observa la evolución crítica en la parte superior del talud, donde se han identificado grietas tensionales activas de hasta 3 m de longitud, 0.05 m de apertura y 0.40 m de profundidad. Estas grietas nos indican una progresiva pérdida de estabilidad en la zona alta del deslizamiento. La presencia de limos y arcillas saturadas, junto con la apertura de nuevas grietas, sugiere condiciones favorables para una reactivación del deslizamiento, con riesgo potencial de afectar áreas productivas y la carretera situada a 13 m de la escarpa principal.

CONTENIDO

5	Resumen
8	Introducción
8	Ubicación
8	Clima
10	Base topográfica
10	Antecedentes
12	Metodología
13	Geomorfología
14	Unidades geomorfológicas
16	Análisis de susceptibilidad en función al relieve
18	Geología
18	Geología local
22	Geodinámica
22	Movimientos en masa
28	Conclusiones
29	Recomendaciones
30	Referencias

Foto IGP



Especialistas del IGP en tareas de campo en la vía CU-117.

1. Introducción

La Municipalidad Provincial de Paruro (MPP) solicitó apoyo técnico al Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través de la carta n.º 013-2025-MPP/A, para realizar la evaluación geodinámica de los sectores de Kumurrumuy, Upina y Limacpata, ubicados en la vía CU-117, distrito de Paruro, región Cusco, debido a que, desde el año 2017 hasta la actualidad, la vía mencionada se ve afectada frecuentemente por la ocurrencia de movimientos en masa (derrumbes y deslizamientos), ocasionados principalmente durante la temporada de lluvias. De acuerdo con las coordinaciones realizadas, se procedió con la visita técnica de campo con la participación del jefe de la oficina de Gestión del Riesgo de Desastres de la MPP, en la cual se identificaron y delimitaron las zonas afectadas por derrumbes y deslizamientos recientes, así como los factores condicionantes y desencadenantes que favorecen la ocurrencia de estos eventos.

1.1 Ubicación

El área de estudio comprende los sectores de Kumurrumuy, Taparcalla, Ccantuscalla, Upina, Retamachayoc y Limacpata, ubicados en la vía CU-117, distrito de Paruro, provincia de Paruro, región Cusco (Figura 1). El acceso al área de estudio, desde la ciudad de Cusco, se realiza por la vía CU-117, asfaltada en buen estado de conservación durante un tiempo aproximado de 1 hora.

1.2 Clima

Los derrumbes y deslizamientos tienen en las precipitaciones uno de sus principales agentes desencadenantes. Por ello, resulta fundamental conocer el patrón de lluvias, identificar los eventos de precipitación extraordinaria y analizar cómo estos se relacionan directamente con la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes.

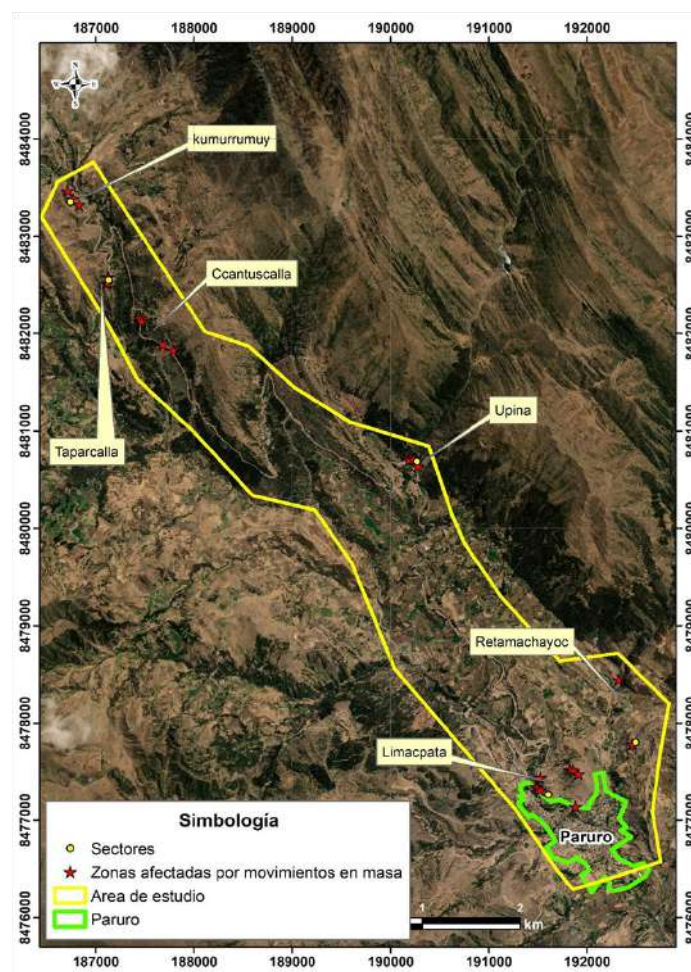


Figura 1. Ubicación de los sectores afectados por movimientos en masa en el distrito de Paruro.

En este contexto, se utilizó información proveniente de la estación meteorológica de Paruro, ubicada en las coordenadas geográficas: latitud -13.7675 y longitud -71.8447 (Figura 2). Se analizaron datos de precipitación diaria registrados entre los años 1965 y 2025, lo que representa un total de 61 años de información climática.

Del análisis del registro histórico de precipitaciones, se identifica que los mayores acumulados de lluvia se concentran en los meses de diciembre a abril. En este periodo, las precipitaciones

diarias excedieron los 30.1 mm, umbral definido por el SENAMHI como “extremadamente lluvioso”. Asimismo, se han alcanzado valores extraordinarios, como los 58.4 mm registrados en marzo de 2022. Sin embargo, no se cuenta con información de que en esa fecha se hayan producido deslizamientos o derrumbes.

Por otro lado, el 29 de marzo de 2025 se registraron deslizamientos en el sector de Limacpata, debido a una precipitación de 21.4 mm, tal como se muestra en la Figura 3.

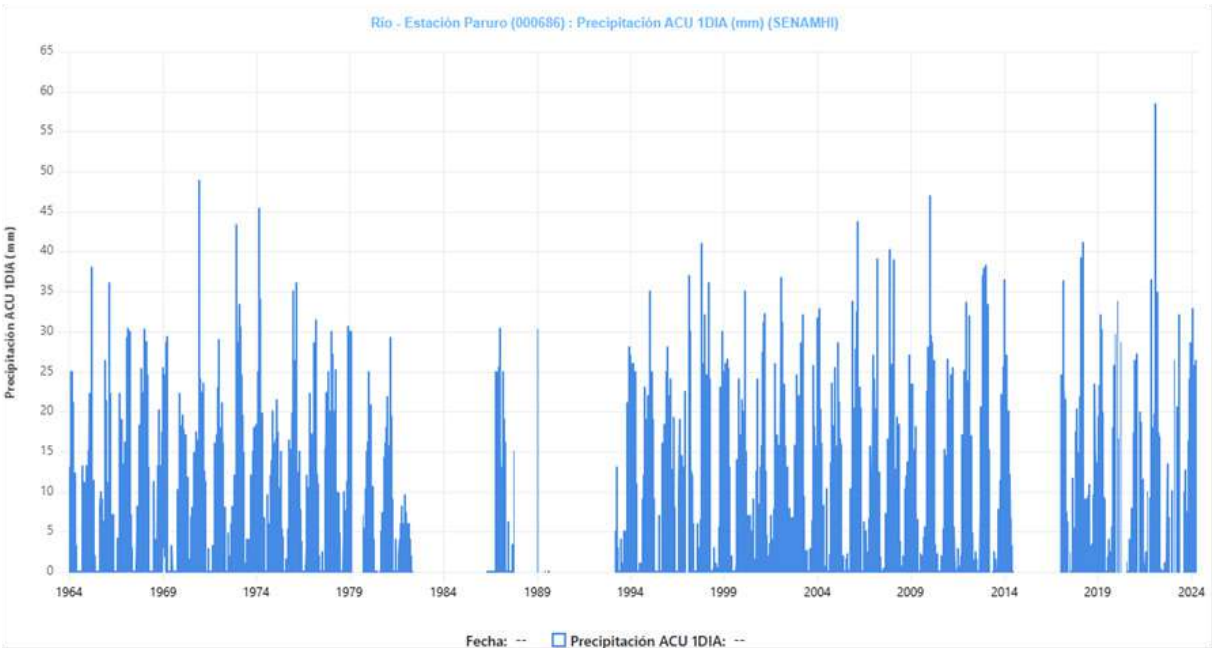


Figura 2. Registro de precipitaciones de la estación meteorológica Paruro (SENAMHI, 2025).

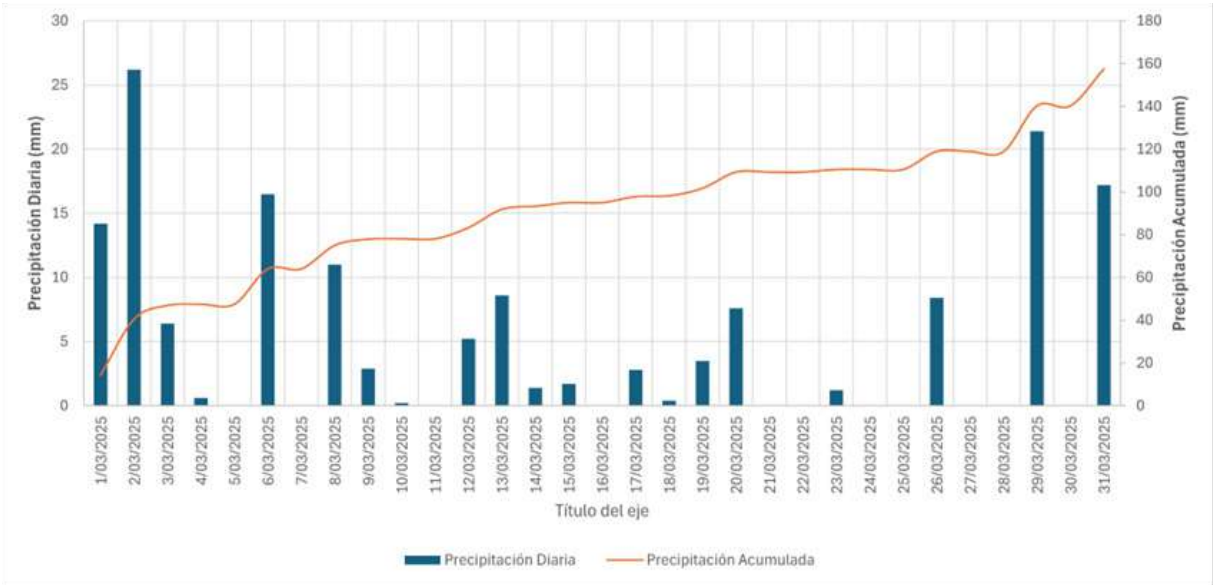


Figura 3. Precipitaciones diarias y acumuladas en el mes de marzo de 2025 (estación Paruro).

1.3 Base topográfica

Para el presente estudio se utilizaron dos bases topográficas a distinta resolución. La primera base topográfica fue generada a partir de una imagen satelital de tipo radar, correspondiente al sensor PALSAR del satélite ALOS, desarrollado por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), con una resolución de 12.5 metros. Esta base fue utilizada como insumo de referencia para la delimitación general de geoformas y el cálculo preliminar de pendientes.

La segunda base topográfica se obtuvo mediante levantamientos fotogramétricos con dron en cinco sectores específicos del área de estudio, para lo que se emplearon receptores GPS de alta precisión para asegurar la calidad (10 cm de resolución) y exactitud del producto cartográfico (abril de 2025). Esta información fue utilizada para la clasificación detallada de pendientes, la identificación de infraestructura, así como para la cartografía de escarpes y la delimitación precisa de deslizamientos y derrumbes observados en campo (Figura 4).

1.4 Antecedentes

INGEMMET (2023), informe técnico n.º A7391 "Evaluación de peligros geológicos por deslizamientos y derrumbes en el sector Retamachayoc de la comunidad de Cucuchiray": Se identificaron deslizamientos de tipo rotacional

reactivados (2023) y derrumbes en el sector Retamachayoc, que cubre un área de 9.77 hectáreas. Asimismo, se reconoció la probable ocurrencia de flujos de detritos en la quebrada Perahuayco que podrían afectar viviendas ubicadas en zonas aledañas a esta y aguas abajo (Figura 5), teniendo como factor condicionante la composición litológica (bloques de rocas y gravas en matriz areno limosa) y, como factor detonante, las precipitaciones (58 mm/día). La longitud de la escarpa es de 51 m y el área de deslizamiento de 5400 m².

INGEMMET (2019), informe técnico n.º A6967 "Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores puente Upina y 40 curvas": El informe menciona que la causa principal de la ocurrencia del deslizamiento se debe a los cortes de talud para la vía interprovincial Cusco-Paruro, sumado a las precipitaciones pluviales intensas (diciembre-marzo). Se reactivaron los movimientos en masa tipo deslizamiento en un tramo de 300 m de la carretera principal (Figura 6).

INGEMMET (2018), informe técnico n.º A6801 "Deslizamiento en el sector Sillacpata": Describe la existencia de un deslizamiento antiguo, cuyo substrato rocoso lo conforman rocas del tipo lutitas, limolitas y areniscas poco consolidadas y resistentes. Se identifican además pendientes altas en las laderas y, como detonantes, la ocurrencia de precipitaciones intensas y prolongadas, causas antrópicas (malas prácticas de riego, cortes de taludes inadecuados, deforestación) y la reactivación de movimientos en masa (Figura 7).

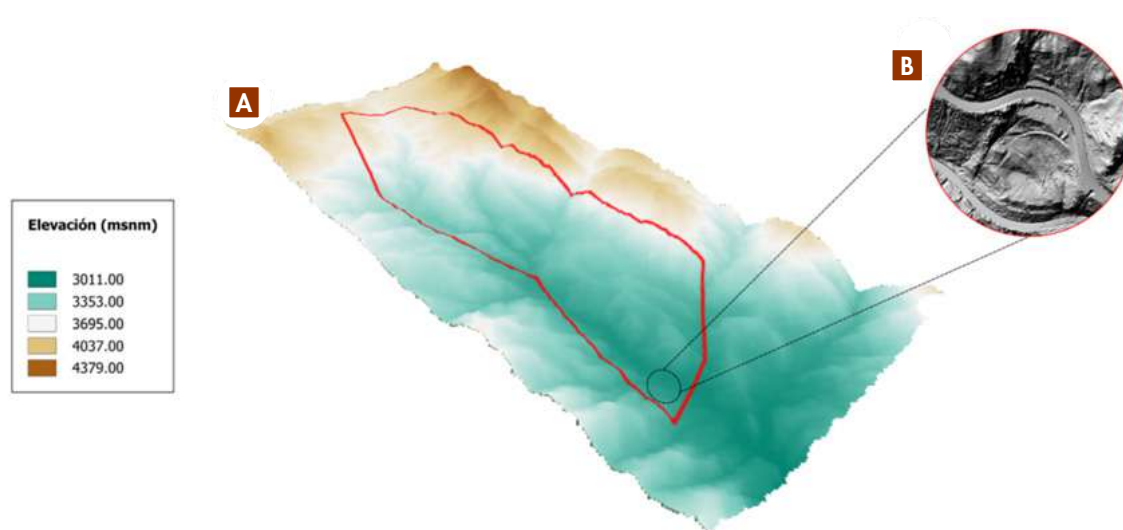


Figura 4. a) Topografía digital del terreno a escala regional, utilizada para la delimitación de geoformas. b) Topografía digital de alta resolución, obtenida mediante un vuelo fotogramétrico con dron, utilizada para delimitar con mayor detalle los deslizamientos y derrumbes.

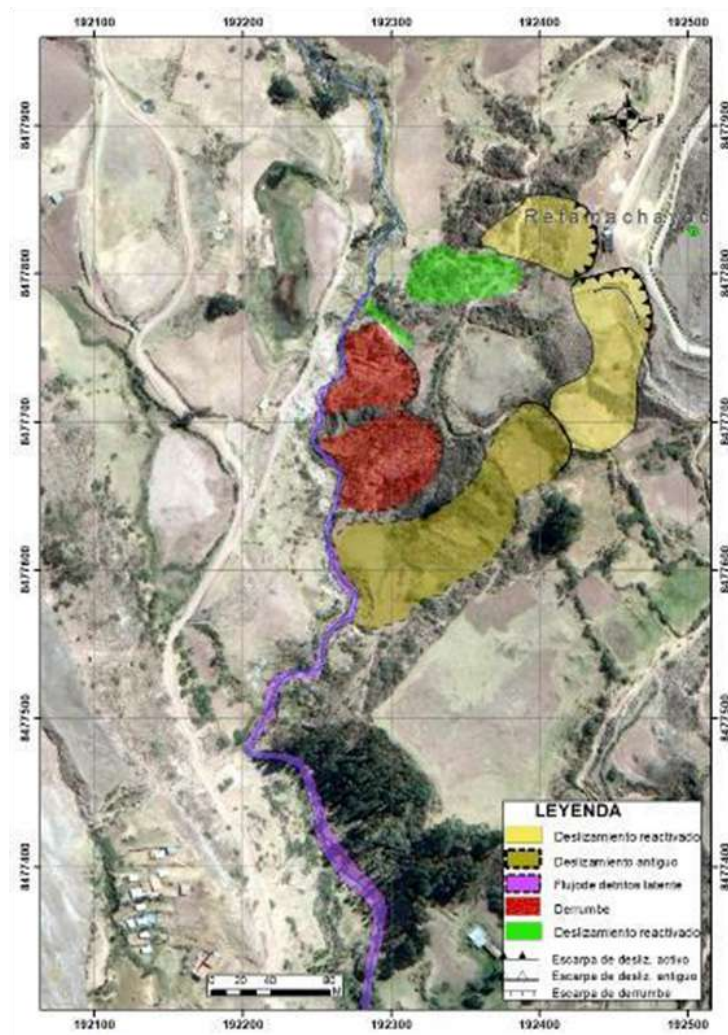


Figura 5. Derrumbes y deslizamientos en el sector Cucuchiray en 2023 (INGEMMET, 2023).



Figura 6. Movimientos en masa en el sector Upina en 2019 (INGEMMET, 2019).

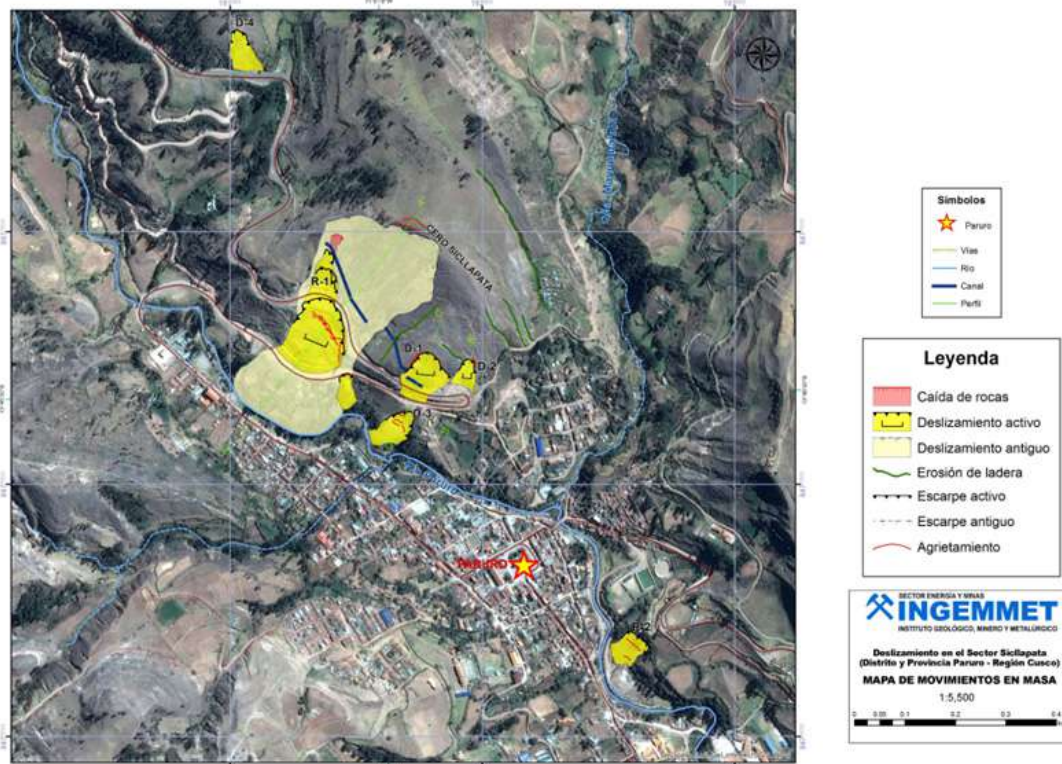


Figura 7. Movimientos en masa antiguos en Limacpata en 2018 (INGEMMET, 2018).

1.5 Metodología

La realización del presente estudio consistió en la evaluación precampo, donde se aborda la

problemática del área a intervenir y se generan planos base. Luego de ello, se hace la visita a campo para recopilar toda la información *in situ*. Posteriormente, se procesan y analizan los datos para emitir y elaborar el informe final (Figura 8).

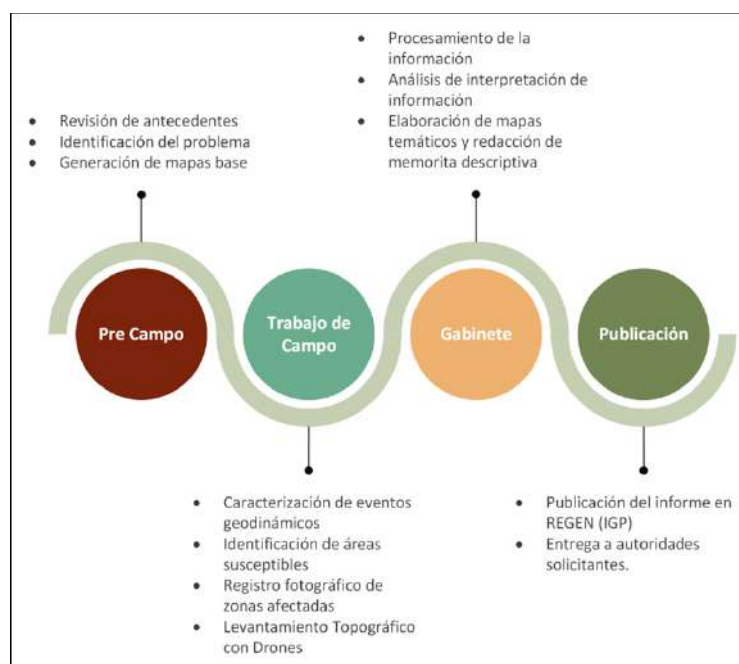


Figura 8. Esquema gráfico del proceso de información para elaboración de informes.

2. Geomorfología

La geomorfología estudia las diferentes formas del relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan. La geomorfología

regional del área de estudio (Figura 9) presenta un relieve montañoso de topografía irregular, con laderas inclinadas y de pendientes fuertes (Tabla 1). Las zonas bajas están representadas por valles estrechos, resultantes de la interacción de los esfuerzos y compresión de la dinámica interna de la Tierra.

Tabla 1. Rango de pendientes del terreno (INGEMMET, 2020).

CATEGORÍA	RANGO DE PENDIENTE	DESCRIPCIÓN
Muy Baja	(0-1°)	Terreno plano localizado en el fondo del valle
Baja	(1-5°)	Áreas suavemente inclinadas, en la zona de estudio se representa mediante las terrazas fluviales
Media	(5-15°)	Relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a los movimientos en masa
Fuerte	(15-25°)	Relieves inclinados, presentes en laderas de colinas y flancos inferiores de las montañas, altamente susceptible a los movimientos en masa
Muy Fuerte	(25-45°)	Relieves de muy fuerte pendiente presenta alta susceptibilidad a movimientos en masa
Abrupto/Muy escarpado	(> 45°)	Zonas con escarpes rocosos y cortes abruptos

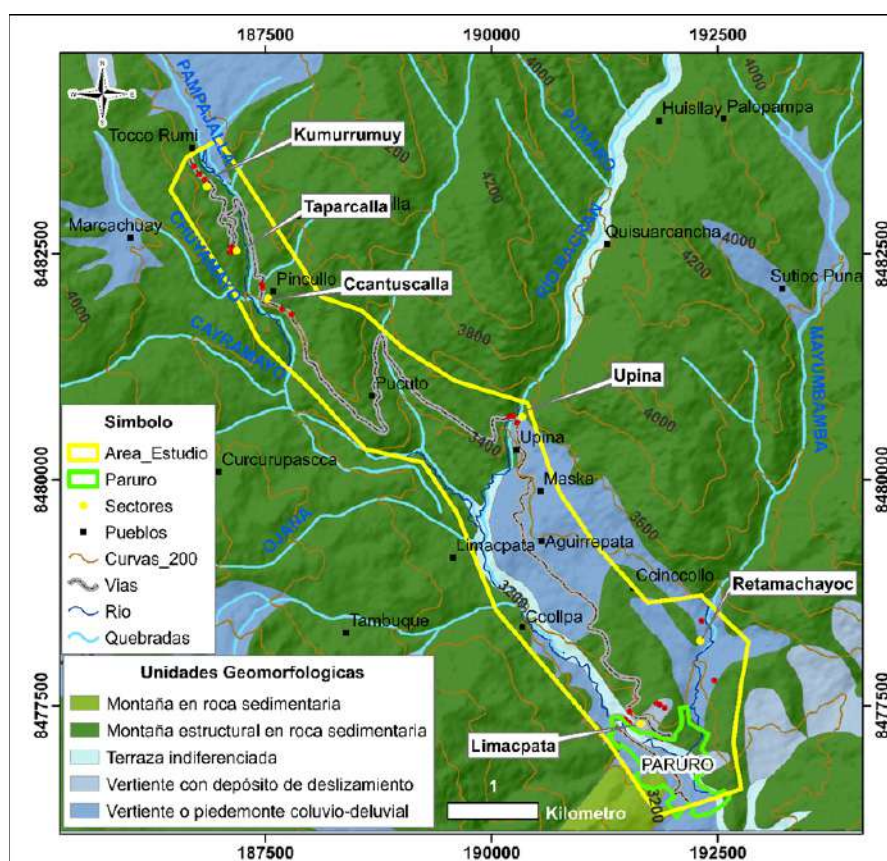


Figura 9. Geomorfología regional en el distrito de Paruro (INGEMMET, 2020).

2.1 Unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas cartografiadas en el área de estudio están conformadas por lechos fluviales, cauces de quebrada, terrazas, lomas, colinas y montañas (Figura 10). En estas dos últimas se generan deslizamientos y derrumbes, lo que evidencia su susceptibilidad a movimientos en masa. Las unidades geomorfológicas indicadas fueron analizadas a escala 1:33 000.

- **Lecho fluvial**

Es el canal excavado por el flujo de un río y los

sedimentos que este transporta durante todo su desarrollo y evolución. La morfología depende del caudal, pendiente, tamaño de sedimento y de lo erosionable del sustrato rocoso, de tal forma que exista un equilibrio entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte. El río Paruro tiene sus nacientes en los cerros Patacocha y bofedales (distrito de Yaurisque) a 4153 m s. n. m. A su paso por el distrito de Paruro se ubica a 3129 m s. n. m., tiene un ancho promedio de 5 m y un caudal de 0.279 m³/s (octubre de 2010), con velocidad media de 0.395 m/s. El río en mención desemboca en el río Apurímac (Proyecto Fortalecimiento del Desarrollo de Capacidades de Ordenamiento Territorial en la Región Cusco, 2012). La geoforma lecho fluvial ocupa el 3 % del área total de estudio.

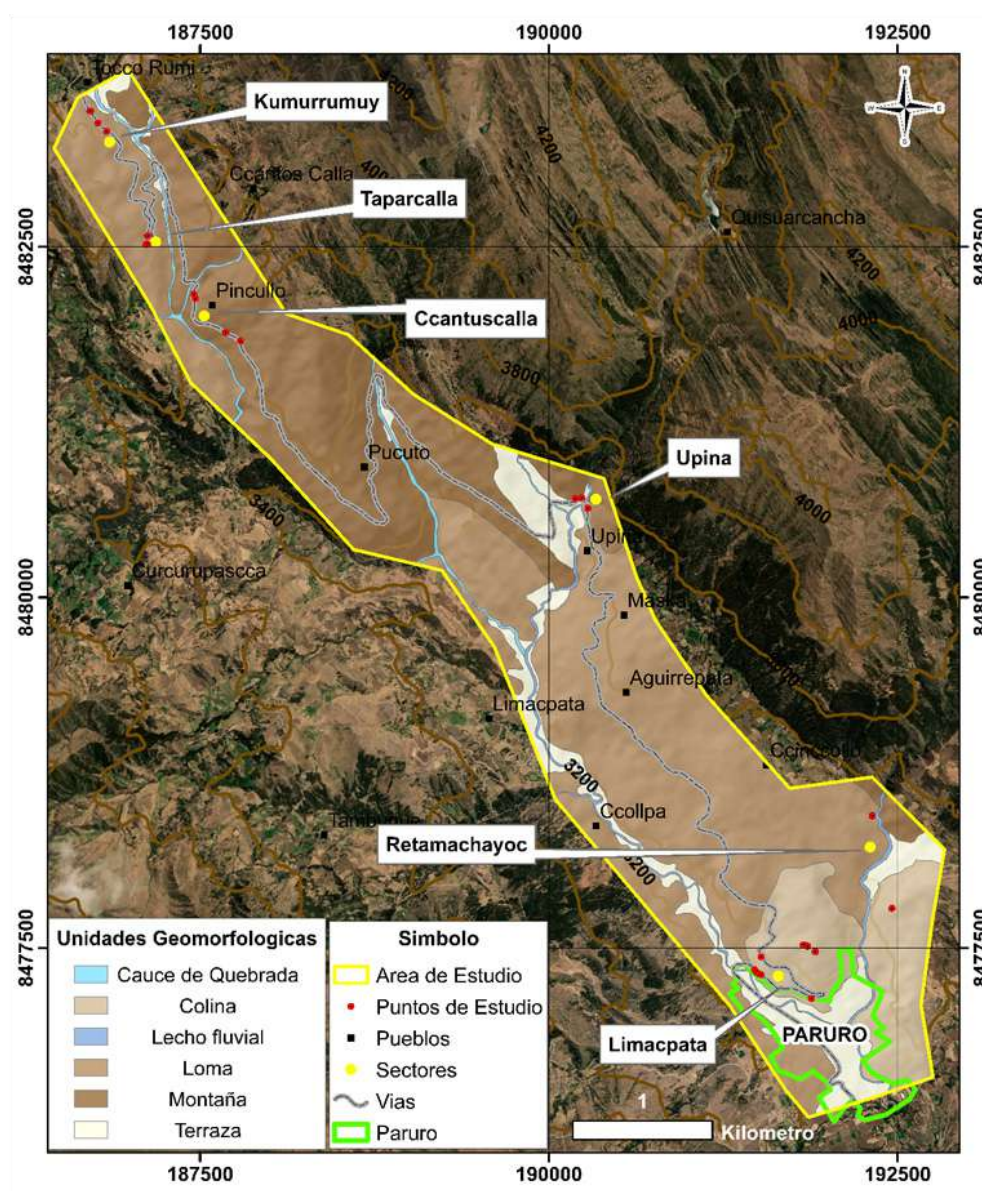


Figura 10. Mapa geomorfológico del área de estudio en el distrito de Paruro.

- **Cauce de quebrada**

Sistema de drenaje que forma parte de una cuenca hidrológica. Se desarrollan en zonas de lomas o montañas, por pasos estrechos/encajonados y de escorrentía intermitente. En el distrito de Paruro, las quebradas disectan las lomas, colinas y montañas, para luego desembocar sobre el flujo principal representado por el río Paruro que incrementa su caudal en periodo de precipitaciones (Figura 11). La geoforma cauce de quebrada ocupa el 1 % del área total del área de estudio.

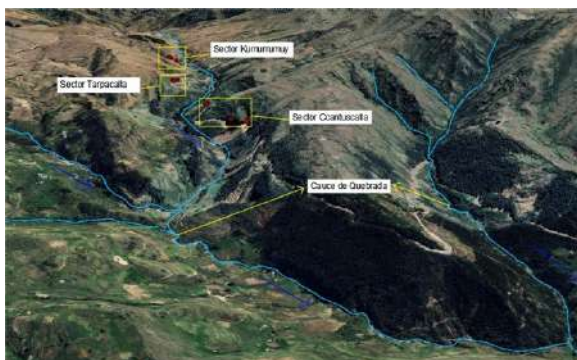


Figura 11. Cauces de quebradas en los sectores de Kumurumuy.

- **Terrazas**

Superficie horizontal o ligeramente inclinada, cuyo relieve presenta pendientes menores a 7°. Generalmente se encuentra conformada por materiales heterogéneos (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) y capas delgadas de limos. En el distrito de Paruro las terrazas se ubican a ambos márgenes del río Paruro sobre las cuales se asienta el área urbana de Paruro (Figura 12). La geoforma terrazas ocupa el 14% del área total del área de estudio.



Figura 12. Terrazas y lecho fluvial en el distrito de Paruro.

- **Loma**

Se disponen en formas irregulares o alargadas, con grandes extensiones y alturas superiores a los 300 m. En el área de estudio, estas geoformas representan el 43 % del área total y presentan pendientes medias a altas, lo que condiciona la ocurrencia de derrumbes en los sectores de Kumurumuy, Ccantuscalla y deslizamiento en Taparcalla, Upina (Figura 13).



Figura 13. Geoforma loma en el distrito de Paruro, delimitada por el interlineado de coloración blanca.

- **Colina**

Se refiere a superficies elevadas, cuya base presenta forma redondeada, con alto grado de pendientes (20° a 35°) y alta susceptibilidad a generar movimientos en masa. En el área de estudio se identificó este tipo de geoforma en el sector de Limacpata, donde se evidenció la ocurrencia de deslizamientos antiguos y recientes-activos en el distrito de Paruro. Estas geoformas representan el 13 % del área total (Figura 14).



Figura 14. Unidad geomorfológica colina en el sector Limacpata.

- **Montaña**

Esta unidad geomorfológica conforma las superficies elevadas ubicadas en el extremo

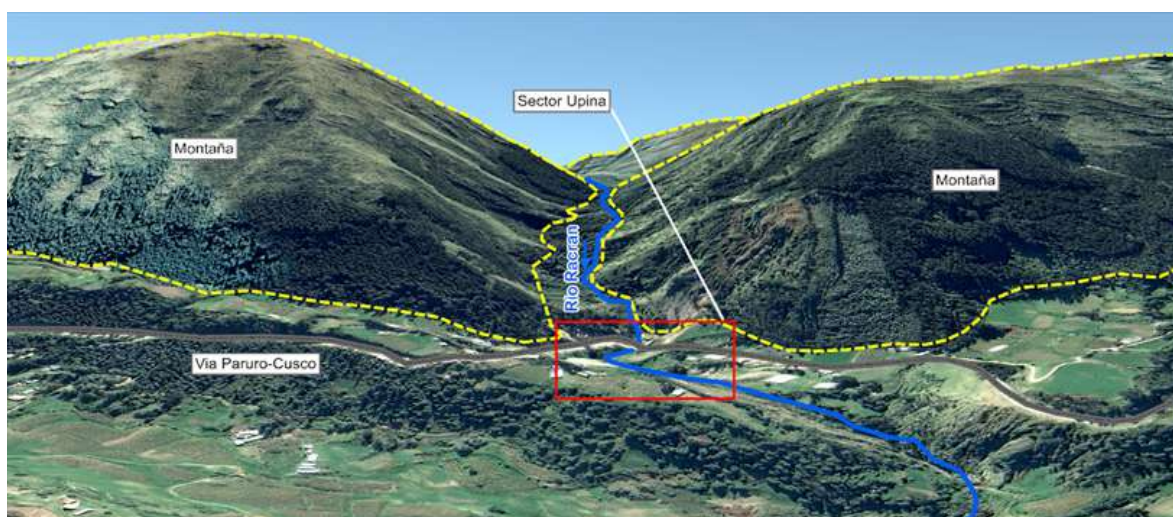


Figura 15. Montañas ubicadas al noreste y sureste del sector Upina (rectángulo rojo).

este del distrito de Paruro. Presenta laderas con pendientes altas ($>45^\circ$) y susceptibles a generar movimientos en masa. Esta unidad ocupa el 25 % del área total en estudio (Figura 15). Sobre este tipo de geoforma presente en Upina, se ha identificado zonas de derrumbes y deslizamientos.

2.2 Análisis de susceptibilidad en función al relieve

Se elaboró un mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa mediante la aplicación de técnicas de aprendizaje automático, a fin de identificar las zonas del terreno con mayor propensión a deslizamientos. Para este fin se utilizó el algoritmo Random Forest, aplicado en estudios de susceptibilidad por su robustez ante datos ruidosos, su capacidad de manejar variables correlacionadas y su rendimiento confiable sin necesidad de supuestos estadísticos estrictos (Breiman, 2001; Goetz et al., 2015). Este modelo se basa en la creación de múltiples árboles de decisión independientes, cuya votación conjunta permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento para cada píxel del terreno, en función de variables como la pendiente, orientación de la pendiente, elevación, rugosidad topográfica y litología.

El modelo entrenado mostró un buen desempeño, alcanzando una exactitud del 93.4 % y un área bajo la curva ROC (AUC) de 0.985, lo cual refleja una excelente capacidad para discriminar entre zonas susceptibles y no susceptibles a movimientos en masa (Pham et al., 2016). Asimismo, la alta sensibilidad del modelo permitió identificar

adecuadamente la mayoría de las zonas previamente afectadas por deslizamientos. Una ventaja adicional del algoritmo Random Forest es que permite analizar la importancia relativa de las variables predictoras, lo cual brinda una comprensión más profunda de los factores que influyen en la inestabilidad del terreno. En este estudio, se determinó que las variables más influyentes fueron la elevación (39 %), la dirección de pendiente (22 %), la pendiente (17 %), las unidades litológicas (14 %) y la rugosidad (8 %).

El mapa resultante muestra que las zonas más susceptibles a movimientos en masa, representadas en tonalidades rojas y correspondientes a la clase de muy alta susceptibilidad, se encuentran principalmente hacia los sectores noroeste y sureste del área evaluada. Estas áreas se distribuyen a lo largo de la franja de análisis, en correspondencia con zonas de pendiente pronunciada y condiciones geológicas favorables para la inestabilidad. Las tonalidades anaranjadas indican alta susceptibilidad y se encuentran dispersas en los sectores noroeste y en el extremo sureste del área de estudio. La coincidencia entre estas zonas y los eventos de deslizamiento inventariados valida empíricamente la precisión del modelo predictivo aplicado (Guzzetti et al., 2006; Reichenbach et al., 2018) (Figura 16).

Adicionalmente, se realizó la intersección espacial entre las áreas clasificadas como de alta y muy alta susceptibilidad, y el trazado vial, con el objetivo de identificar los tramos de carretera potencialmente expuestos a ser afectados. Este análisis permitió cuantificar la longitud de vía que, debido a su ubicación dentro de zonas propensas a deslizamientos, presenta un nivel elevado de

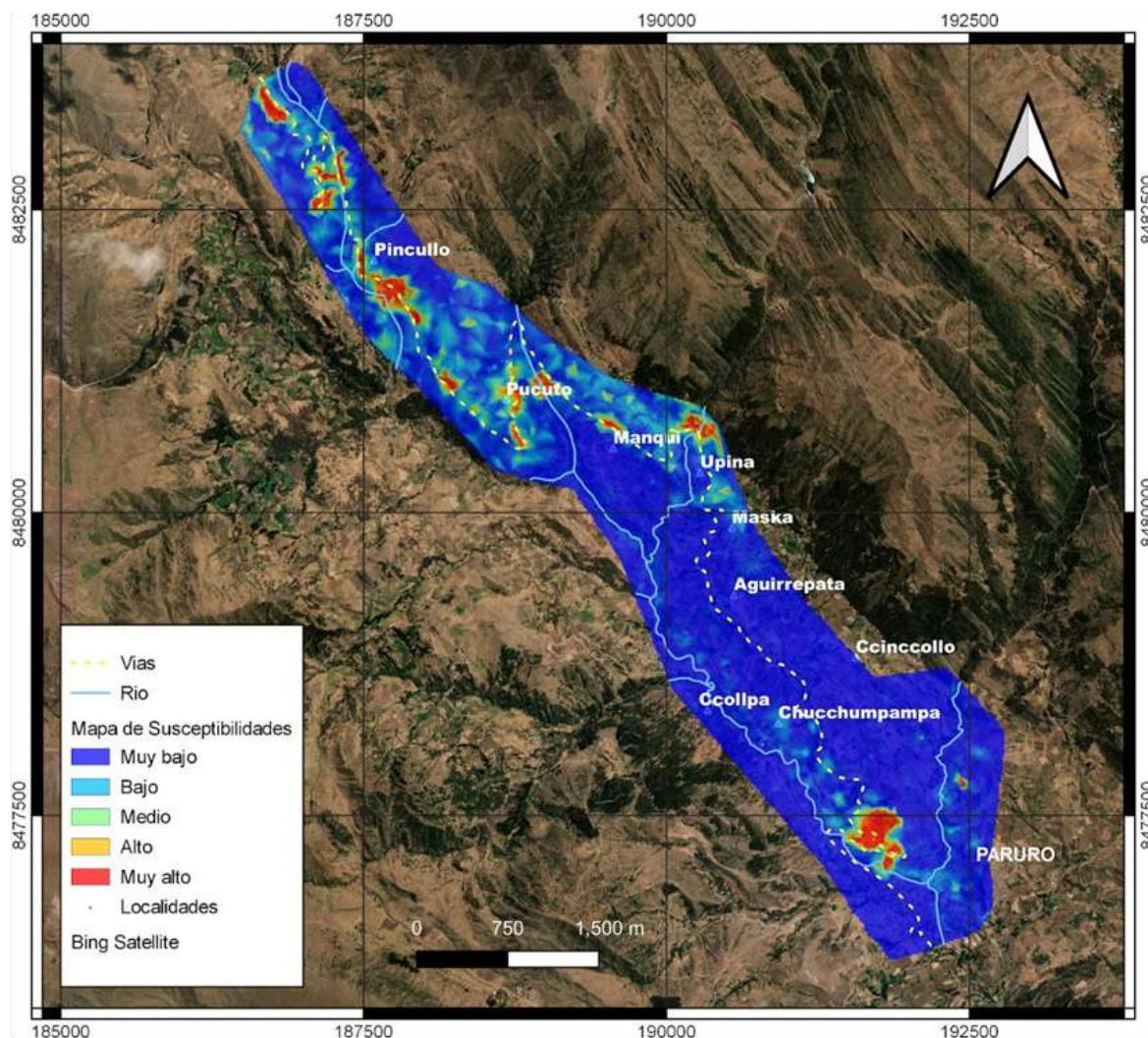


Figura 16. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa (algoritmo Random Forest) de la zona de estudio. Se aprecian las vías principales (líneas punteadas amarillas), ríos (línea celeste) y localidades.

exposición a procesos de inestabilidad. Como resultado, se estimó que aproximadamente el 64 % del total de la carretera comprendida en el área de estudio se encuentra en condición de potencial afectación, es decir, no necesariamente dañada, pero sí ubicada en sectores que presentan condiciones geológicas y geomorfológicas favorables para la ocurrencia de deslizamientos. La aplicación del modelo Random Forest permitió delimitar estas zonas con alta resolución espacial, generando así un producto importante para la priorización de zonas críticas y el desarrollo de estrategias de mitigación de riesgos.

Del mapa de susceptibilidad y el análisis geomorfológico del área de estudio se determina que las unidades geomorfológicas, como las laderas de las lomas, colinas y montañas, son potencialmente susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes en la carretera CU-117.

3. Geología

El análisis de la geología regional ha sido desarrollado con base en información geológica del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2011), a escala 1: 50 000 (Cuadrángulo Geológico de Cusco-hoja 28-s, secciones III y IV) Figura 17. La geología local se ha desarrollado mediante el reconocimiento *in situ*.

La geología del área de estudio está representada por la Formación Soncco (Peo-so I y II), conformada por areniscas y conglomerados (cantos rodados soportados en matriz arenosa), además de lutitas con intercalación de areniscas altamente meteorizadas/erosionadas (fracturadas/diacleasadas). La Formación Paruro (Nm-pa I y II) está conformada por conglomerados fluviales (cantos rodados soportados en matriz arenosa) y lutitas intercaladas con limolitas lacustres, areniscas y depósitos coluviales, conformados por clastos angulosos con arenas, limos y arcillas, todos como productos de deslizamientos, caída de rocas, entre otros.

3.1 Geología local

A continuación, se detallan las principales

unidades geológicas identificadas en los sectores de Kumurumuy, Taparcalla, Ccantuscalla, Upina, Limacpata y Retamachayoc, a escala 1:33 000 (Figuras 18 y 19).

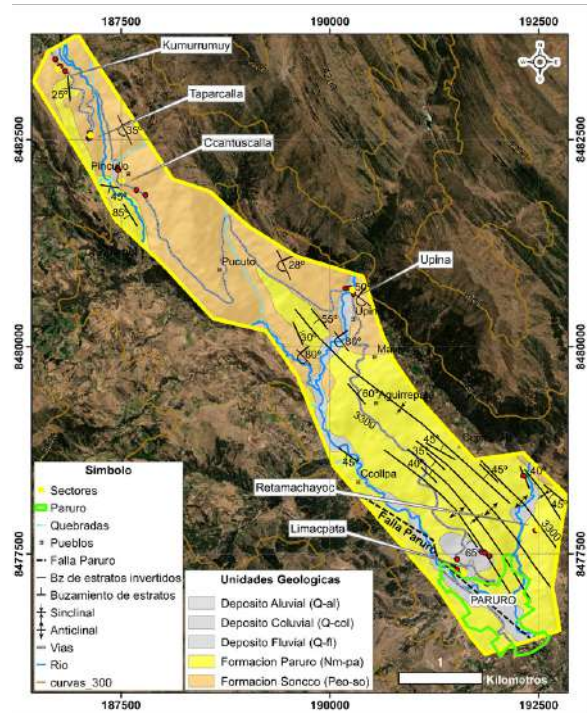


Figura 18. Unidades geológicas del área de estudio.

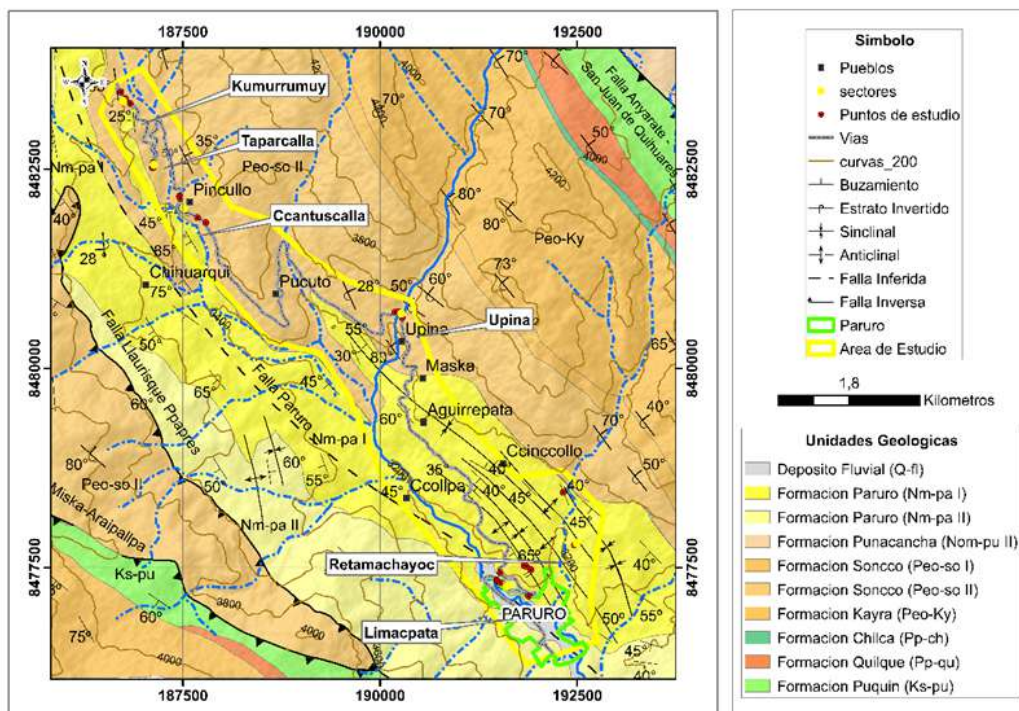


Figura 17. Geología regional en el área de estudio en Paruro.

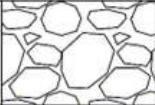


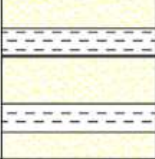

ERA	SISTEMA	ESPESOR	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		
CENOZOICO	CUATERNARIO	1-5 m	Deposito Coluvial (Q-co)		Compuesto por bloques y gravas angulosas a sub angulosas con matriz areno-limsa, no consolidados.
		1-3 m	Deposito Aluvial (Q-al)		Conformados por gravas con clastos redondeados a subredondeados soportados en arenas limo arcillosas.
		1-6 m	Deposito Fluvial (Q-fl)		Constituidas por bloques y gravas redondeadas a sub redondeadas en matriz limo arenosa.
	NEOGENO	365-700m	Fm. Paruro (Nm-pa)		Contituida por Areniscas poco consolidadas con intercalaciones de Lutitas y limolitas, en algunos sectores se presentan conglomerados aluviales.
	PALEOGENO	1000-2000 m	Fm. Soncco (Peo-so)		Constituidas por areniscas compactas intercaladas con lutitas y arcillitas, presentan alto fracturamiento.

Figura 19. Unidades estratigráficas del área de estudio.

• Formación Soncco (Peo-so)

Conformada por rocas de tipo arenisca, intercaladas con lutitas de coloración roja y cubiertas por conglomerados fluviales y arenas. Este tipo de materiales se ha identificado en la unidad geomorfológica montaña.

• Formación Paruro (Nm-pa)

La conforman rocas tipo lutita y limolitas de origen lacustrino, intercalados con areniscas y conglomerados fluviales. Las rocas lutitas y areniscas presentan plegamientos (sinclinales y anticlinales), los cuales constituyen deformaciones tectónicas producto de la deformación andina regional, así como de la influencia de la falla geológica "Paruro". Esta formación se identificó en las unidades geomorfológicas lomas y colinas.

• Depósito fluvial (Q-fl)

Conformado por arenas y gravas estratificadas, producto de la alteración, denudación y erosión

de rocas preexistentes. Estos materiales son transportados por la dinámica fluvial (corrientes de río) y se depositan en el cauce de los ríos y terrazas. En el área de estudio, estos depósitos se reconocen en las terrazas adyacentes al lecho fluvial del río Paruro.

• Depósito aluvial (Q-al)

Son materiales producto de la alteración, denudación y erosión que se trasladaron por las corrientes de río o flujos antiguos y se depositaron conformando terrazas altas. Están conformados por gravas soportadas en arenas limo-arcillosas.

• Depósito coluvial (Q-co)

Materiales producto de la alteración (física), desplazados pendiente abajo y acumulados principalmente en la base de zonas de pendientes, como resultado de derrumbes y deslizamientos. Se presentan con formas subangulares a angulares y con tamaño heterogéneo. En el área de estudio, estos depósitos se ubican en las partes bajas de las lomas, montañas y colinas.

• Sector Kumurrumuy

Ubicado al norte de Paruro, aproximadamente a 7.5 km. Los afloramientos rocosos en este sector están conformados por rocas de la Formación Soncco (Pe-so) y Formación Paruro (Nm-pa), y se encuentran altamente fracturados y diaclasados. En este sector se identificaron derrumbes en la carretera Vía VU-117 Paruro (Figura 20).



Figura 20. Areniscas altamente fracturadas que condicionan la caída de materiales a favor de la pendiente.

• Sector Ccantuscalla

Se identificaron rocas de tipo arenisca intercaladas con lutitas de la formación Soncco y depósitos de cobertura. Estas rocas se presentan fracturadas y diaclasadas producto de la deformación andina regional. En este sector se evidenció la ocurrencia de deslizamientos y, posteriormente, la generación de flujos de detritos (Figura 22).



Figura 22. Areniscas altamente fracturadas que condicionan la generación de deslizamientos y flujos.

• Sector Taparcalla

Se identificaron afloramientos de materiales de la Formación Soncco altamente meteorizados, que forman arcillas que condicionan a la ocurrencia de deslizamientos (Figura 21).



Figura 21. Depósito de arcilla-arenosa de grano fino a medio, con matriz plástica, color rojizo en el sector de Taparcalla.

• Sector Upina

Se evidenció la presencia de rocas de la Formación Soncco, altamente fracturadas y diaclasadas, cubiertas por clastos angulosos a subangulosos soportados en arcillas arenosas y limos. Asimismo, se identificaron depósitos fluviales (cantos rodados con arenas) en la parte baja, producto de la actividad de la quebrada Racran. En este sector se registró la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes (Figura 23).



Figura 23. Depósitos coluviales y rocas de tipo arenisca en el sector Upina.

- Sector Limacpata

Se identificaron arenas, limo-arcillosas y conglomerados que forman parte de los depósitos aluviales y coluviales, los cuales sobreyacen a las areniscas y lutitas (Figura 24). En la parte baja del sector Limacpata se identificaron gravas y arenas, depositadas a ambos márgenes del río Paruro y sobre el cauce, que conforman los depósitos fluviales en el área de estudio (Figura 25). En este sector se identificaron deslizamientos de tipo rotacional y traslacional.



Figura 24. Depósitos aluviales que afloran en el sector Limacpata.



Figura 25. Depósitos fluviales en el sector Limacpata que forman terrazas en el área de estudio.

- Sector Retamachayoc

Conformado por lutitas, limolitas y depósitos fluviales conformados por arenas limosa-arcillosas y gravas en la zona de Cucuchiray. En la zona de Cara Cara se evidenció el afloramiento de areniscas altamente fracturadas y diaclasadas, las cuales han generado derrumbes (Figura 26).



Figura 26. Formación Paruro (lutitas y areniscas) que aflora en el área de estudio en el distrito de Paruro.

4. Geodinámica

La geodinámica estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre producto de la interacción de procesos geodinámicos (internos y externos) que originan cambios físicos, químicos o morfológicos que alteran y modifican el relieve actual.

4.1 Movimientos en masa

En el área de estudio que comprende la carretera vía CU-117, se identificó la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos rotacionales y traslacionales. A continuación, se describen los principales eventos geodinámicos identificados:

- Sector Kumurumuy

- » **Derrumbes:** Este tipo de movimientos en masas se ubica a mano derecha de la quebrada Pampajalla, al sureste del centro poblado Ttoccorumi, y están asociados principalmente a zonas de mucho fracturamiento de roca y pendientes altas ($>45^\circ$). Se ha evidenciado la presencia de bloques angulosos medianos a grandes, con diámetros de 2.5 a 3 m, acumulados al pie del talud y compuestos por areniscas de grano medio y lutitas. La caída de estos materiales afecta la seguridad física de la carretera vía CU-117 y obstaculiza el tránsito vehicular al poblado de Paruro (Figuras 27 y 28).

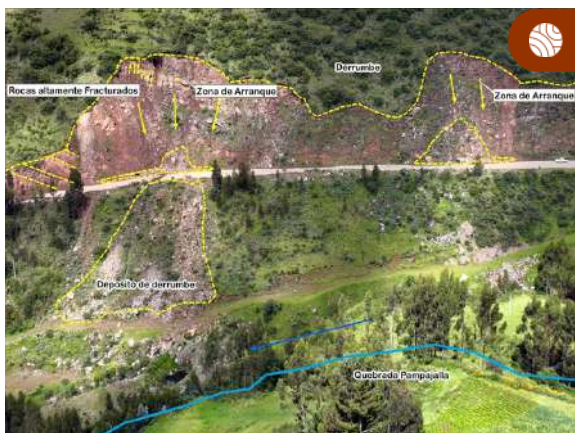


Figura 27. Derrumbes identificados en el sector Kumurumuy.



Figura 28. Derrumbes identificados en el sector Kumurumuy. La caída de materiales afecta la seguridad física de la carretera de la vía CU-117 en Paruro.

- Sector Taparcalla

El movimiento en masa corresponde a un deslizamiento del tipo rotacional, compuesto por arenas de grano medio y arcillas que conforman un suelo saturado. La escarpa principal presenta una forma irregular y alcanza una longitud de 97 m; el salto es de 7 m en la parte media y de 2 m en los flancos derecho e izquierdo. El desnivel desde el escarpe principal hacia el pie del deslizamiento es de 30 m, y el área afectada abarca cerca de 1566 m². En la base del talud, el material desprendido se ha acumulado en forma de un cono de deyección de 12 m de ancho, con fragmentos de roca que alcanzan diámetros de hasta 0.80 m. Asimismo, es importante mencionar que, a aproximadamente a 2 m de la escarpa, se encuentra un canal de drenaje en mal estado que genera infiltración en el suelo. Se determinó que, a causa de la estructura en mención, se generó el movimiento en masa de tipo deslizamiento rotacional. Asimismo, se han observado filtraciones de agua en el cuerpo del deslizamiento, lo que indicaría la saturación de los materiales (Figura 29).



Figura 29. Deslizamiento en el sector Taparcalla.

• Sector Ccantuscalla

Al sureste del centro poblado Tarpacalla, aproximadamente a unos 550 m, se ha identificado un movimiento complejo que combina mecanismos de deslizamiento rotacional y flujo de detritos, desarrollado en una ladera de muy fuerte pendiente, aproximadamente entre 25° a 45° . El depósito está compuesto por rocas sedimentarias, como areniscas, lutitas y arcillitas, altamente fracturadas y que están cubiertas por depósitos recientes de origen coluvial.

La zona alta del movimiento presenta una escarpa de arranque claramente definida con un avance retrogresivo de materiales poco consolidados. La zona intermedia está limitada en ambos flancos por capas de estratos consolidados que presentan un fracturamiento alto. En la zona baja, el material acumulado está compuesto por pequeños bloques angulosos y material fino con una matriz heterogénea, lo que sería un indicativo de un flujo de detritos posterior al deslizamiento.

Este depósito ha sobrepasado la carretera principal Cusco-Paruro y ha ocupado parte del fondo de la quebrada Pampajalla. La ocurrencia de este movimiento complejo está relacionada principalmente al escurrimiento superficial y subterráneo del agua identificado en el flanco derecho del deslizamiento; además, influyen los estratos inclinados y altamente fracturados, así como la pendiente abrupta, de aproximadamente 60° . Adicionalmente, factores antrópicos, como la actividad agrícola en las zonas altas y el deficiente manejo del drenaje superficial, han contribuido a acelerar los procesos de reactivación de estos movimientos en masa (Figura 30).



Figura 30. Se delimitó la escarpa del deslizamiento (línea amarilla) en el sector Ccantuscalla, la ocurrencia de flujo de detritos en la parte media de la ladera (línea negra) y derrumbe (línea interlineada amarilla).

• Sector Upina

Este sector se ubica a 3.8 km de distancia hacia el noroeste del distrito de Paruro, muy cerca al puente Upina, en el cual se identificó la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes.

- » **Deslizamiento Puente Upina:** El deslizamiento identificado en el sector del Puente Upina es de tipo rotacional y está compuesto principalmente por rocas sedimentarias altamente fracturadas y meteorizadas. La escarpa principal cuenta con una longitud de 48 m, un salto vertical de 10 m y un desnivel del escarpe principal al pie del deslizamiento de 75 m. La superficie afectada alcanza un área estimada de 1790 m^2 . El material suelto se ha deslizado sobre el afloramiento de roca debido a una pendiente abrupta de aproximadamente 50° , y suelomuy saturado.

Cerca al pie del deslizamiento se ha podido observar filtraciones de agua. Hacia el lado este del deslizamiento, a 75 m, se encuentra el río Racran; en tanto, a 27 m, se encuentra un canal que actúa como drenaje (Figura 31).



Figura 31. Deslizamiento en el sector Upina.

• Sector Limacpata

Este sector se encuentra en el distrito de Paruro y está afectado por diferentes deslizamientos (Figura 32).

- » **Deslizamiento (traslacional) puente Ollachayoc:** Se encuentra ubicado al ingreso del distrito de Paruro, muy cerca al puente Ollachayoc. Este tipo de movimiento en masa corresponde a un deslizamiento del tipo

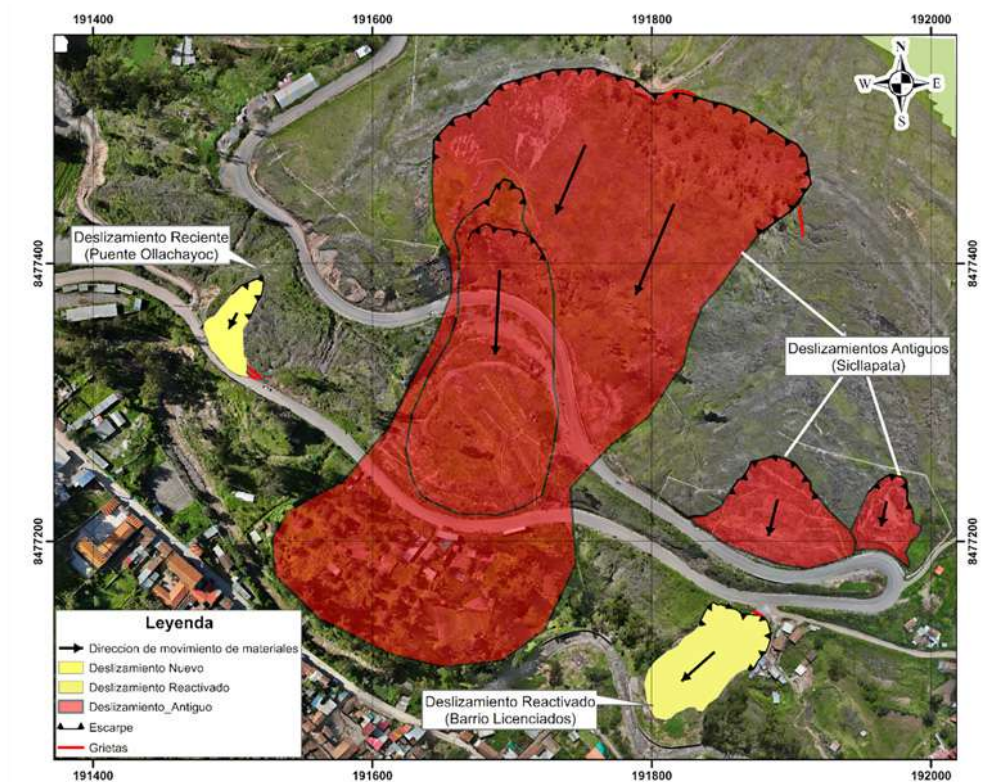


Figura 32. Deslizamientos en el sector Limacpata.

traslacional. Se ha originado en una ladera de pendiente abrupta $>45^\circ$. El material desplazado corresponde principalmente a depósitos aluviales compuestos por gravas, arenas y limos poco consolidados. Estos depósitos descansan sobre una base de arenisca más consolidada, de color

rojizo, que constituye el sustrato resistente. En la Figura 33 se muestra claramente el contacto entre ambos materiales, donde se identifica una superficie de falla inclinada hacia la carretera, caracterizada por la presencia de un estrato arcilloso que actúa como plano de debilidad.



Figura 33. Deslizamiento (29 de marzo de 2025) en el sector Limacpata, puente Ollayachoc.

La capa de arcilla, al saturarse con aguas provenientes de la escorrentía superficial y lluvias, ha reducido significativamente su resistencia al corte, facilitando el movimiento de los depósitos ubicados en la parte superior. El movimiento de masa se ha producido principalmente a lo largo del contacto entre el depósito aluvial y los estratos de arenisca, donde el estrato arcilloso ha permitido el desplazamiento.

Finalmente, el escarpe principal presenta una forma irregular, con una longitud de 60 m y un salto vertical de aproximadamente 10 m a 12 m, y un desnivel desde la escarpa principal hasta el pie del deslizamiento de 40 m. La superficie afectada tiene un área de 1364 m².

- » **Deslizamiento (rotacional) Licenciados 2:** Se encuentra ubicado en el barrio Licenciados, al Ingreso del distrito de Paruro. Este deslizamiento ocurrió en marzo de 2025 y corresponde a un deslizamiento de

tipo rotacional retrogresivo. Presenta una escarpa principal de aproximadamente 55 metros, con un salto vertical de 4 m. Sobre la corona del deslizamiento se observan grietas tensionales, con una longitud de 15 m, profundidad de 1.10 m y apertura de 0.60 m.

El área total afectada por el deslizamiento es de aproximadamente 5013 m² y compromete la vía principal de acceso hacia el distrito de Paruro, ubicada a tan solo 5 m de distancia de la escarpa principal. Asimismo, existen viviendas que se encuentran muy cerca al borde de la escarpa. La masa deslizada corresponde a un depósito de material excedente (DME), producto del corte de la carretera. Este material es de baja cohesión y una compactación deficiente, características que lo hacen altamente susceptible a la inestabilidad. Sobre el talud se observan restos de malla de geotextil, colocadas probablemente como medida de protección superficial (Figura 34). El factor desencadenante se atribuye a factores antrópicos.

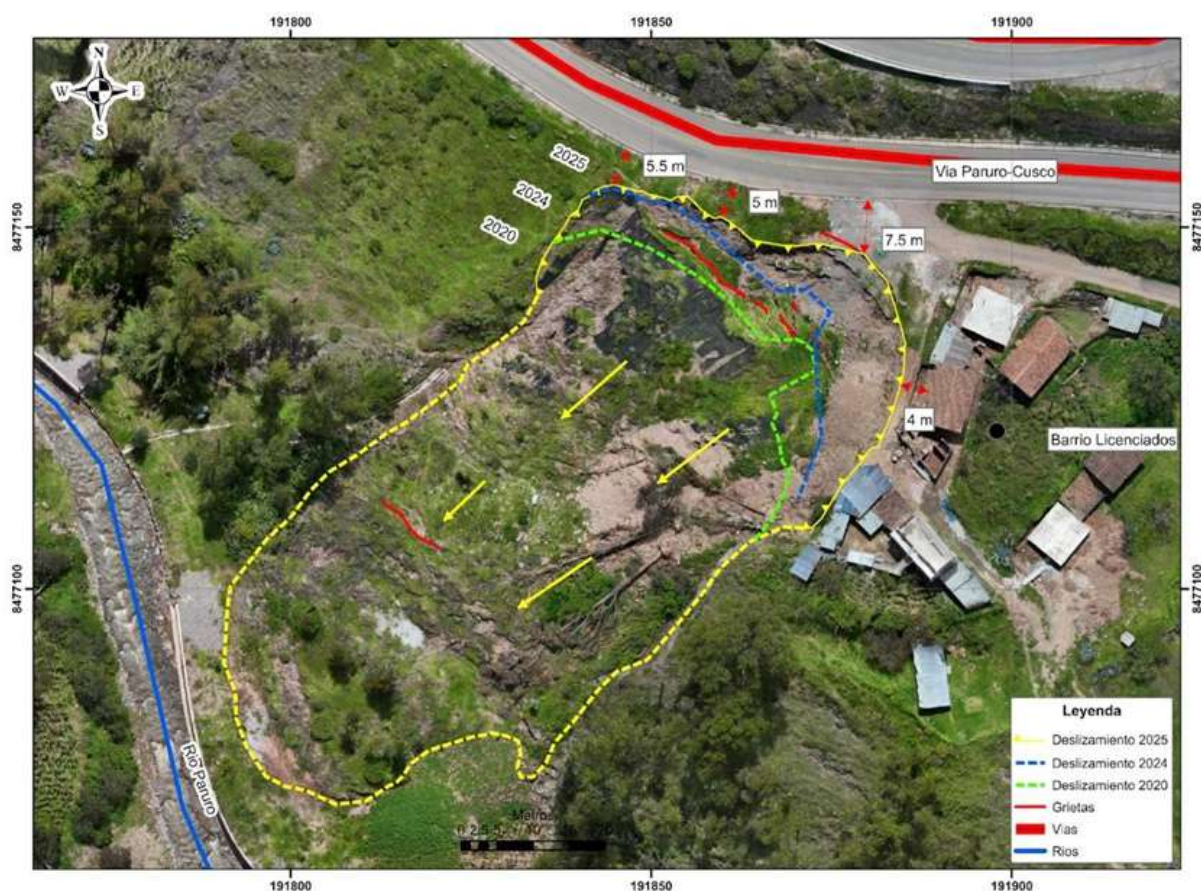


Figura 34. Deslizamiento producido sobre materiales del DME en Licenciados 2, Lima pata.

- **Sector Retamachayoc**

Se ubica a 1 km al este del poblado de Paruro. Presenta la ocurrencia de movimientos en masa de tipo deslizamientos y derrumbes en Cucuchiray y Cara Cara (Figura 35).

- » **Deslizamiento Cucuchiray:** Este evento se encuentra ubicado en la comunidad de Cucuchiray y es de tipo rotacional. Presenta

una escarpa de forma semicircular y la pendiente del terreno es fuerte, entre 15 a 25 grados. El área de acumulación presenta poca movilización. Sobre la corona de la escarpa principal se han identificado grietas de 3 metros de longitud, 0.05 m de apertura y 0.40 m de profundidad.

El material está compuesto principalmente por limos y arcillas. Asimismo, se ha podido identificar la presencia de agua sobre el cuerpo del deslizamiento (Figura 36).

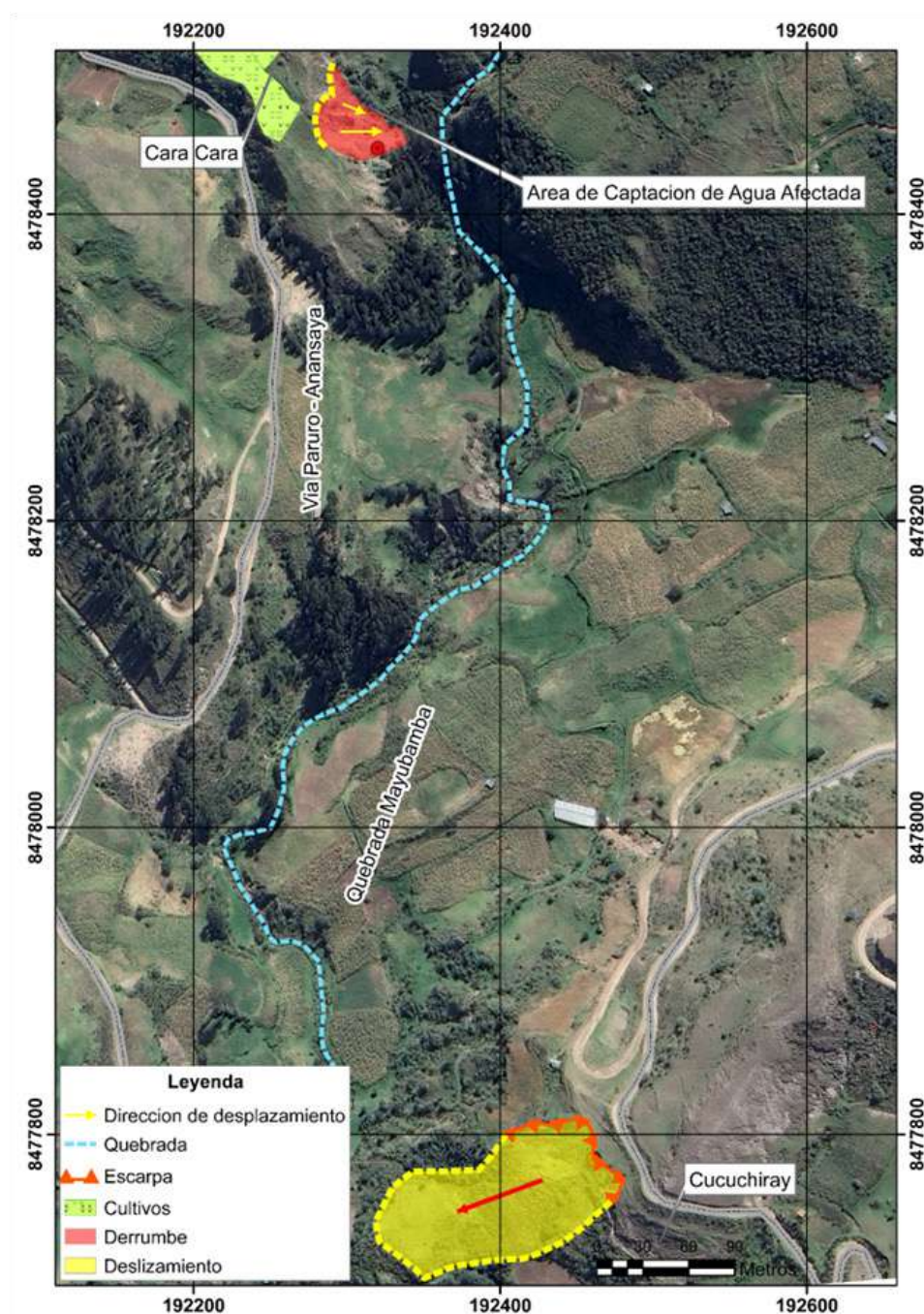


Figura 35. Movimientos en masa en el sector de Retamachayoc-Paruro.



Figura 36. Deslizamiento tipo rotacional en el sector de Cucuchiray.

- » **Derrumbe Cara Cara:** Se encuentra ubicado en el sector de Cara Cara. El material está compuesto por un depósito coluvial formado por fragmentos de roca subangular, bloques de diferente tamaño y una matriz de suelo arenoso.

El material desplazado se ha acumulado en la base del talud sepultando la infraestructura de captación de agua existente en la zona, lo que agravaría la situación en el caso de una reactivación del derrumbe (Figura 37).



Figura 37. Derrumbe en el sector Cara Cara. Su reactivación puede afectar la infraestructura física de las captaciones de agua para el distrito de Paruro.

Conclusiones

- El área de estudio comprende los sectores de Kumurumuy, Taparcalla, Ccantuscal, Upina, Limacpata y Retamachayoc, cuyas laderas presentan inestabilidad en las que se generan movimientos en masa de tipo deslizamientos y derrumbes. Los materiales provenientes de los eventos antes descritos se depositan en la carretera asfaltada CU-117, por lo que afectan la seguridad física de la misma al interrumpir el paso al poblado de Paruro y distritos aledaños.
- El relieve del área de estudio está representado por colinas y montañas de pendientes medias a altas (25° y $>45^\circ$ de inclinación), lo que condiciona la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos. Asimismo, el análisis de susceptibilidad da como resultado susceptibilidad alta ante movimientos en masa en las geoformas antes descritas.
- El área de estudio está conformada por rocas de tipo arenisca, evidentes en las laderas de lomas, montañas y colinas, que se encuentran altamente meteorizadas (fracturadas y diaclasadas) como resultado de la tectónica andina regional (esfuerzos de la dinámica interna de la tierra). Asimismo, se identificaron depósitos cuaternarios de origen coluvial y aluvial que, aunados a la ocurrencia de precipitaciones estacionales, condicionan la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos.
- El sector Limacpata presenta laderas inestables, evidencia de ello son los movimientos en masa identificados en años anteriores (2018) por INGEMMET. A la fecha (2025), el IGP identificó en el barrio Licenciados la generación de nuevos agrietamientos (15 m longitud, 1.10 m de profundidad y 0.60 m de apertura) ubicados en la parte superior en la escarpa principal, denominados como deslizamiento retrogresivo en estado activo, con cercanía a la carretera (6 m a 7 m). Asimismo, se evidenció la generación de un nuevo deslizamiento de tipo traslacional en la zona de Ollachayoc.
- El sector Puente Upina, ubicado al noroeste del distrito de Paruro, presenta laderas activamente inestables, evidencia de ello son los deslizamientos de tipo rotacional identificados por INGEMMET en 2019 (D1)

y el nuevo evento identificado en 2025 por el IGP, ambos desarrollados sobre rocas sedimentarias fracturadas (areniscas) en pendientes abruptas ($>45\%$). Desde lo ocurrido en 2019 y ahora en 2025, se ha observado un cambio en la morfología y dimensiones del movimiento, de un escarpe semicircular de 40 m de longitud y 60 m de desnivel (D1-INGEMMET) a uno de 48 m, 10 m de salto vertical y 75 m de desnivel, que afecta un área estimada de 1790 m² en 2025. Ambos eventos comparten condiciones críticas de saturación, causadas por filtraciones e infiltración de agua superficial provenientes de canales en malas condiciones (a 27 m del escarpe) y drenajes deficientes, lo que ha favorecido la progresión retrogresiva del movimiento.

- En el sector Cucuchiray, se ha identificado la ocurrencia de deslizamientos reportados por INGEMMET en 2018 y, más recientemente, en 2025 por el IGP, institución que ha evidenciado la presencia de actividad inestable del deslizamiento. Ambos eventos, aunque registrados en diferentes tiempos, comparten características similares en cuanto al tipo de movimiento y las condiciones saturadas del terreno. El evento más reciente muestra una evolución crítica en la parte superior del talud, donde se han identificado grietas tensionales activas de hasta 3 m de longitud, 0.05 m de apertura y 0.40 m de profundidad, ubicadas sobre la corona de la escarpa. Estas grietas nos indican una progresiva pérdida de estabilidad en la zona alta del deslizamiento. La presencia de limos y arcillas saturadas, junto con la apertura de nuevas grietas, sugiere condiciones favorables para una reactivación del deslizamiento, con riesgo potencial de afectar áreas productivas y la carretera situada a 13 m de la escarpa principal.

Recomendaciones●

- Realizar el mantenimiento y mejora de drenajes pluviales (revestimiento con material impermeable que evite la infiltración de agua en zonas inestables) en los sectores de Upina y Taparcalla.
- Desarrollar estudios de ingeniería de detalle con el fin de definir los cortes de taludes (determinación de ángulos de taludes estables) en los sectores de Ccantuscalla y Kumurumuy (zona de derrumbes), considerando además la implementación de estructuras de contención o de coberturas vegetales estabilizadoras.
- Implementar un sistema de monitoreo (sistema global de navegación por satélite, GNSS) en el sector Limacpata (Barrio Licenciados), debido a que una eventual activación del deslizamiento podría afectar a las viviendas aledañas a esta zona o producir la obstrucción del río Paruro.
- Realizar un análisis de estabilidad de los taludes en las inmediaciones del sector Limacpata, mediante estudios de suelos, topografía y geofísica que permitan definir zonas con potencial de deslizamiento.
- Realizar la Evaluación de Gestión del Riesgo de Desastres (EGAR) por ocurrencia de deslizamientos en Paruro, a fin de identificar las zonas susceptibles de ser afectadas, determinar el nivel de riesgo al que está expuesta la población y, en función de ello, ejecutar las medidas de mitigación respectivas.

Referencias

- Breiman, L. (2001). Random forests. *Statistical Science*, 16(3), 199–231. <https://doi.org/10.1214/ss/1009213726>
- Dávila, J. (2011). *Diccionario geológico*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Gómez, D. (2018). *Informe técnico N.º A6801: Deslizamiento en el sector Sillacpata, región Cusco, provincia Paruro, distrito Paruro, paraje Albazo Toccana*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Goetz, J. N., Brenning, A., Petschko, H., & Leopold, P. (2015). Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling. *Computers & Geosciences*, 81, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.04.007>
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., & Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81(1–2), 166–184. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.04.007>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2019). *Informe técnico N.º A6967: Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores Puente Upina y 40 Curvas*.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2020). *GeoCatmin*. <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/main>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2023). *Informe técnico N.º A7391: Evaluación de peligros geológicos por deslizamientos y derrumbes en el sector Retamachayoc de la comunidad de Cucuchiray*.
- Pham, B. T., Pradhan, B., Bui, D. T., Prakash, I., & Das, S. (2016). A comparative study of different machine learning methods for landslide susceptibility assessment: A case study of Uttarakhand area (India). *Environmental Modelling & Software*, 84, 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.06.012>
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180, 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2025). *Datos de precipitación diaria – Estación Paruro*. Recuperado a través del portal ANDREA de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). <https://snirh.ana.gob.pe/ANDREA/>

Información clave para ti

Puedes consultar, descargar y compartir desde el Repositorio Geofísico Nacional (REGEN) los diferentes **reportes**, **boletines** e **informes** que genera el IGP.

RECUERDA: La Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) se fundamenta en la investigación científica. El IGP es una entidad líder en la generación de conocimiento científico en el país.



REGEN



Sede central del Instituto Geofísico del Perú (IGP)

