

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7445

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE PACAYBAMBA

Departamento Cusco
Provincia La Convención
Distrito Inkawasi



NOVIEMBRE
2023

***Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector de
Pacaybamba***

Distrito Inkawasi, provincia La Convención, departamento Cusco

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

Responsable de la investigación:

*Gael Araujo
David Prudencio*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector de Pacaybamba*, Distrito Inkawasi, provincia La Convención, departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7445. 31 p.

ÍNDICE

RESUMEN

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.....	7
1.2.3. ACCESIBILIDAD	7
1.2.4. CLIMA.....	8
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	12
2.1. Estratigrafía.....	12
2.1.1. Grupo San José (Oim-sj)	12
2.1.2. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)	15
2.1.3. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd).....	16
3. .ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	16
3.1. Pendientes del terreno	16
3.2. Perfiles en área de estudio.....	18
3.3. Unidades geomorfológicas.....	20
3.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	20
3.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	20
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	21
4.1. Factores condicionantes y desencadenantes	24
4.5.1. FACTORES CONDICIONANTES.....	24
4.5.2. FACTORES DESENCADENANTES.....	24
5. CONCLUSIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXO	

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Pacaybamba, del distrito de Inkawasi, provincia La Convención y departamento Cusco. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

Los afloramientos rocosos predominantes en el área de estudio corresponden a pizarras del Grupo San José, moderadamente meteorizadas y muy fracturado; así mismo sobre el substrato rocoso se observan depósitos inconsolidados de origen coluvio deluvial y glacial. Dichos depósitos están distribuidos a lo largo de una ladera con pendientes muy fuertes (25° a 45°) a abruptas (>45°).

En junio del 2022 se activaron dos deslizamientos, denominados deslizamiento 1, de 198 m de largo (distancia de la escarpa principal hasta el pie), ancho 125 m (distancia promedio entre ambos flancos), y escarpa semicircular de longitud 250 m y salto 30 m; este a, su vez activó otro, denominado deslizamiento 2, al lado derecho, de largo 160 m (distancia de la escarpa principal hasta el pie), ancho 82 m (distancia promedio entre ambos flancos), y escarpa semicircular de longitud 145 m y salto 15 m. En abril de 2023, fecha de la evaluación, continua el proceso retrogresivo de la escarpa.

Los deslizamientos antes mencionados, según los daños presentados, causaron pérdidas en aproximadamente 500 m² de plantaciones de café y un tramo de 50 m del trazo de la carretera CU-100 (Km 11+660). Sin embargo, el potencial del movimiento en masa puede llegar a destruir completamente el nuevo tramo de carretera Amaybamba a Pacaybamba, así como viviendas de más de 5 familias.

A 150 m del lado izquierdo del deslizamiento 2 se muestran indicios del proceso de activación de otro deslizamiento, de no realizar medidas de mitigación a corto plazo, este destruiría viviendas más de 7 familias ubicadas a menos de 15 m del corte de ladera.

Según las características litológicas, geomorfológicas y dinámicas, el sector de Pacaybamba, presenta una susceptibilidad alta y es de peligro **Alto** a la ocurrencia de movimientos en masa, sobre todo en temporada de lluvia intensa y prolongada

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

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Inkawasi, según Oficio N°147-2023-A-MDI-LC-C, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Pacaybamba.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a la magister Gael Araujo Huamán y a los Ings. David Prudencio Mendoza y Gonzalo Luna Guillén, para que realicen una evaluación técnica de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Pacaybamba, la cual se llevó a cabo el 13 de abril de 2023.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de precampo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Inkawasi e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - 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 en el centro poblado de sector de Pacaybamba.

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

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- A) El boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la Región Cusco (Vílchez et al., 2020), con el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:500 000; es información de referencia que el sector de Pacaybamba con un nivel de susceptibilidad Alta (Figura 1), Sin embargo, la evaluación técnica de campo y fotointerpretación en gabinete clasifica al sector Pacaybamba con un nivel de susceptibilidad Muy Alta.

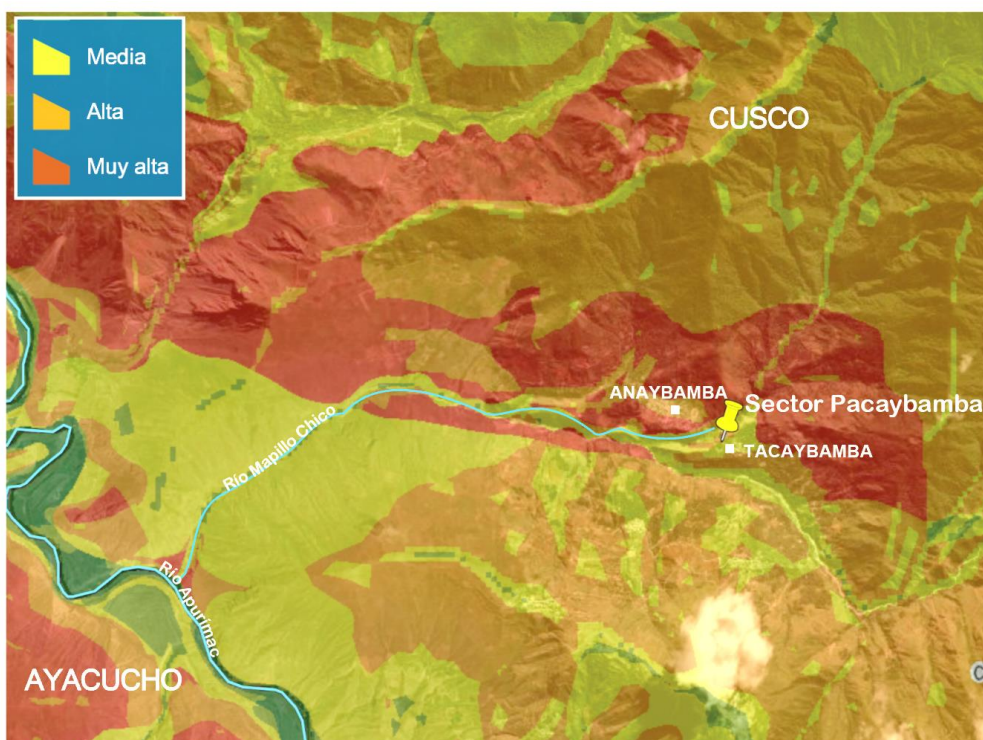


Figura 1: Susceptibilidad a movimientos en masa (Vílchez, M. et al. 2020)

- B) El boletín N° 89, serie A. Geología de los cuadrángulos de Chuanquiri y Pacaybamba (hojas 26-p, 27-p) (Cardenas J. et al. 1997), boletín N° 30, serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000). Geología de los cuadrángulos de Machupicchu (hojas 27q2, 27q3), Pacaybamba (27p2, 27p3, 27p4) y San Miguel (hoja 27o1) (Arcos F. et al. 2021), y la actualización del mapa geológico 1: 50,000 publicado en el portal de Geocatmin, además del boletín N°74, serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica Peligros Geológicos en la región Cusco (Vílchez et al., 2020), describen las unidades geológicas y

depósito superficiales no consolidados que conforman el área de estudio.

1.2. Aspectos generales

1.2.1. UBICACIÓN

El Sector Pacaybamba está ubicado en el tramo de la carretera Amaybamba-Pacaybamba, Km 11+660, margen izquierda del río Mapillo Chico, quien a su vez desemboca en el río Apurímac. Políticamente, pertenece a la jurisdicción distrital de Inkawasi, provincia de La Convención y departamento de Cusco (Tabla 1, figura 2).

Tabla 1. Coordenadas UTM y geográficas del área de estudio

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	688398	8530089	-13.290°	-73.261°
2	688760	8530140	-13.289°	-73.257°
3	688776	8529727	-13.294°	-73.257°
4	688400	8529708	-13.294°	-73.261°
CC	688740	8529921	-13.292°	-73.258°

1.2.2. POBLACIÓN

El distrito de Inkawasi cuenta con 58 centros poblados y más de 5054 habitantes proyectados al 2015 según el sistema de información estadístico del INEI del 2012 a 2013.

El sector de Pacaybamba se sitúa entre los poblados de Amaybamba y Pacaybamba, conectados por la carretera vecinal del mismo nombre (CU-100), única vía que conecta entre si a más de 30 centros poblados de distrito de Inkawasi. Los centros poblados de Amaybamba y Pacaybamba contaban con 850 y 204 habitantes, según las cifras oficiales del XII Censo Nacional de Población y Vivienda (INEI 2017).

1.2.3. ACCESIBILIDAD

Partiendo de la ciudad del Cusco, en dirección noreste se toma la vía CU-110 en dirección a Pacchar, se continua por la carretera 28B hasta llegar a Santa María. Se gira a la izquierda en dirección a CU-100 y se continua por la misma hasta llegar al C.P. Amaybamba. El sector de Pacaybamba se

encuentra a 5 min del C.P. Amaybamba, continuando por la vía CU-100 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ruta de acceso

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco – Pacchar	Carretera CU-110	55.1	1 h 22 min
Pacchar – Ollantaytambo – Santa María	Carretera CU-28B	126	2 h 44 min
Santa María – Amaybamba	Vía CU-100	156	3h 50min
Amaybamba – Sector Pacaybamba (Área de estudio)	Vía CU-100	2.5	5 min

1.2.4. CLIMA

- Temperaturas y precipitaciones

Según el Mapa climático Nacional del SENAMHI (2020), el sector Pacaybamba tienen un clima semiseco, templado y con invierno seco.

Esta región presenta durante el año, en promedio temperaturas máximas de 15°C a 21°C y temperaturas mínimas oscilan entre 7°C y 11°C. Asimismo, los acumulados anuales de lluvias alcanzan valores entre los 300 mm hasta los 700 mm aproximadamente.

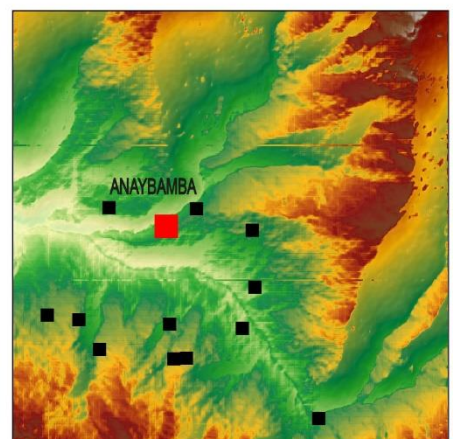
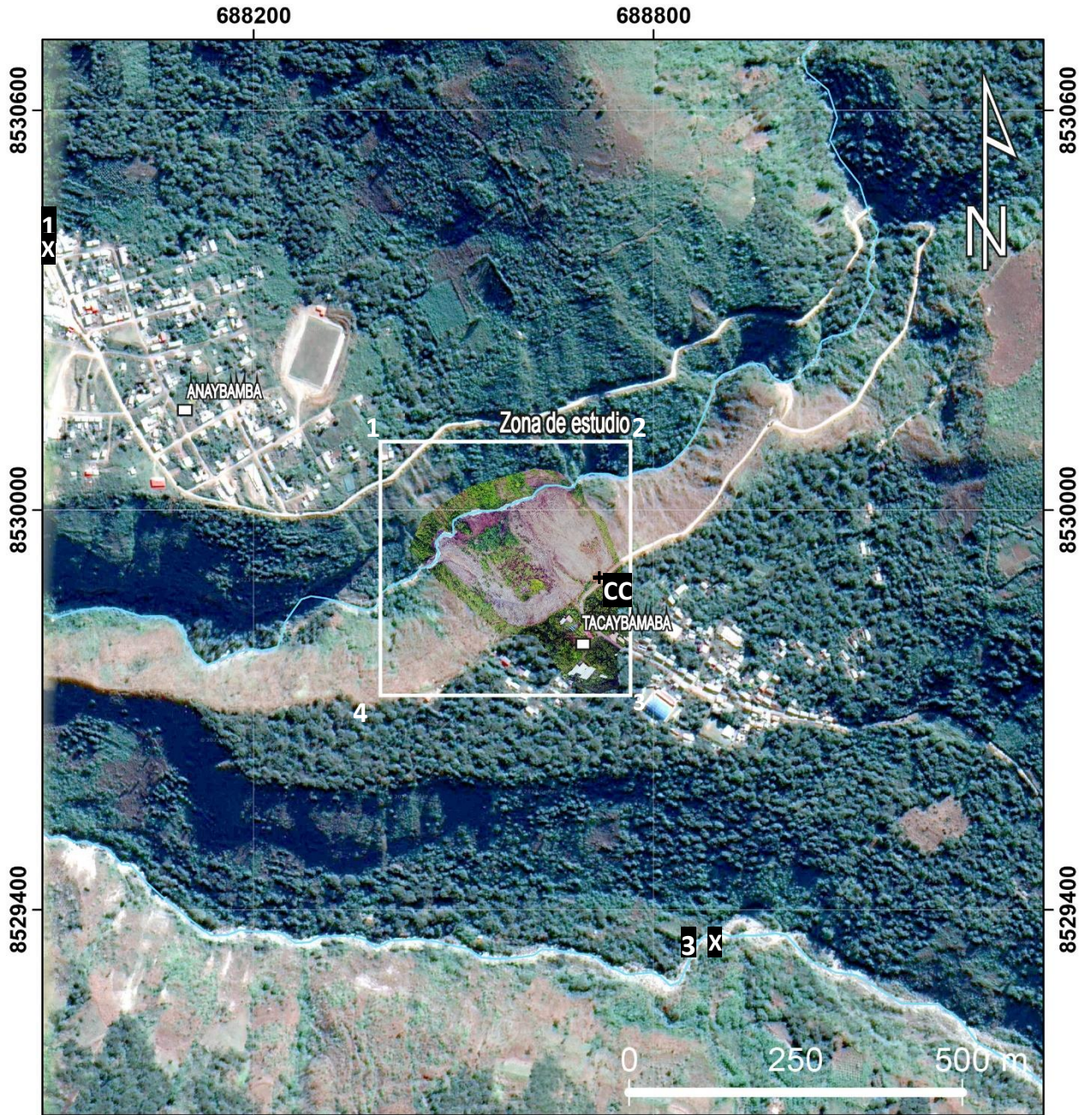


Figura 2. Ubicación del área de estudio

DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos. En el informe se desarrollan terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. La terminología técnica utilizada, tiene como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

FORMACIÓN GEOLÓGICA	Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.
FRACTURA	Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. Los rangos de fracturamiento rocoso, dependiendo del espaciamiento entre las fracturas, pueden ser: maciza, poco fracturada, medianamente fracturada, muy fracturada y fragmentada.
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. Los rangos de meteorización se clasifican en: roca fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual.
PELIGROS GEOLÓGICOS	Los peligros geológicos son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al

interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.

DESLIZAMIENTO

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) (Cruden y Varnes, 1996).

CAÍDA

Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes.

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.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis y descripción geológica se desarrolló en base al boletín N° 89, serie A. Geología de los cuadrángulos de Chuanquiri y Pacaybamba (hojas 26-p, 27-p) (Cárdenas J. et al. 1997), boletín N° 30, serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000). Geología de los cuadrángulos de Machupicchu (hojas 27q2, 27q3), Pacaybamba (27p2, 27p3, 27p4) y San Miguel (hoja 27o1) (Arcos F. et al. 2021), y la actualización del mapa geológico 1: 50,000 publicado en el portal de Geocatmin, además del boletín N°74, serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica Peligros Geológicos en la región Cusco (Vílchez et al., 2020), complementándose con trabajos de fotointerpretación de imágenes satelitales, y observaciones en campo. Información resumida en el mapa geológico del anexo 1-mapa 1.

2.1. Estratigrafía

El sector Pacaybamba está representado por afloramientos del Grupo José, cuya edad Ordovícico inferior y medio fue designado por Romero et al. (1995). Estos afloramientos están ubicados dentro del cuadrante 3 del cuadrángulo de Pacaybamba. Superponiendo este afloramiento, se tiene depósitos cuaternarios inconsolidados de edad Holocena. Los depósitos son de origen coluvio-deluvial y glacial producto de la ocurrencia de movimientos en masa antiguos y recientes (Anexo 1_mapa 1).

2.1.1. Grupo San José (Oim-sj)

El Grupo San José aflora al norte en el cuadrángulo de Pacaybamba hoja 27p3 y al extremo noroeste de la localidad de Lejiana, Uchupucro, con una litología compuesta por pizarras carbonosas débilmente silicificadas; y entre las localidades de Hatumpampa, Corralpata, la litología está compuesta por pizarras carbonosas, color gris oscuras a negras, presentan moderada alteración silíceo y venas de cuarzo con goetita y limonita, afloran en dirección este a oeste y en contacto de falla inversa con el Complejo Metamórfico Iscaybamba. (Arcos F. et al. 2021): Las pizarras en el flanco derecho del río Mapillo Grande se encuentran moderadamente meteorizadas (Cuadro 2) y muy fracturadas (Cuadro 4) (Foto 1).



Foto 1. Vista de pizarras carbonosas en el flanco derecho del río Mapillo Grande.

Cuadro 2. Clasificación de la meteorización del complejo Iscaybamba en el área de estudio (Grado de meteorización de rocas ISRM,1981)

GRADO DE METEORIZACIÓN				
SÍMBOLO	CALIFICATIVO	IDENTIFICACIÓN	CALIDAD GEOTÉCNICA	
A1	Roca fresca	No hay signos visibles de meteorización, ligera decoración	Muy buena para cimientos	
A2	Ligeramente meteorizada	Decoloración en la roca y en superficie de discontinuidades (fracturas).	Buena para cimientos	
A3	Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material rocoso esta descompuesto o desintegrado a suelo.	Buena para cimientos	
A4	Altamente meteorizada	Más del 50% esta descompuesto y/o desintegrado a suelo, roca fresca o descolorida esta	Requiere de limpieza del terreno suelto	Pizarras de la Formación Málaga

		presente como testigos discontinuos.		
A5	Completamente meteorizada	Todo el material rocoso esta descompuesto y/o meteorizado. La estructura original del macizo rocoso esta aun en parte intacta.	Malos para cimientos , se requiere tomar ciertas medidas correctivas	
A6	Suelo residual	Todo el material rocoso esta convertido en suelo. La estructura y textura estan destruidos	Muy malos para cimientos	

Cuadro 3. Clasificación del fracturamiento del complejo Iscaybamba en el área de estudio (Grado de fracturamiento de rocas ISRM,1981).

INTENSIDAD DE FRACTURAMIENTO					
NOMBRE	SEPARACIÓN	CALIFICATIVO	IDENTIFICACIÓN	CAIDAD GEOTÉCNICA	CLASIFICACION
F1	>3 m	Maciza	Fracturas espaciadas entre si	Excelente para fundación de obras	
F2	3-1 m	Poco fracturada	Fracturadas espaciadas a veces no distinguibles	Buena	
F3	1-0.3 m	Medianamente fracturado	Espaciamiento regular entre fracturas	Buena	Formación Sandia
F4	0.3-0.05 m	Muy fracturado	Fracturas muy proximas entre si, se separan en bloques tabulares	Regular a mala, requiere limpiar el material fragmentado	Pizarras de la Formación Málaga
F5	< 0.05 m	fragmentado	La roca se muestra astillosa y se se sepran en lajas con facilidad	Mala a pésima descartar uso o limpiar y estabilizar	

2.1.2. Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)

Depósito conformado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvio-deluvial, interestratificados, imposibles de separarlos como unidades individuales (Vílchez et al., 2019), por su relación directa con corrientes de agua. Se encuentran acumulados a lo largo de laderas de muy fuerte a abruptas pendientes (Figura 3).

Estos depósitos están constituidos por materiales de secuencias de gravas, limos y arcillas dentro del material también se observan cantos y bloques metamórficos subangulosos.

Desde el Km 11+660 de la carretera Amaybamba- Pacaybamba (CU-100), se observa depósitos coluvio deluviales en la margen izquierda del río Mapillo Grande (Foto 2).



Foto 2. Vista frontal de depósitos coluvio deluviales, expuestos por la activación de deslizamientos en el sector Pacaybamba, Km 11+660 de la vía CU-100. En las coordenadas UTM 18 L E: 688436, S: 8530077

2.1.3. Depósito coluvial (Q-cd)

Corresponden a las acumulaciones heterométricas de gravas angulosas, bloques, guijarros y arena, dispuestas sin estratificación en una abundante matriz de limo y arcilla. Las masas de acumulación dejadas por estos retrocesos son gruesos volúmenes de sedimentos acumulados en forma de morrenas (que pueden denominarse según su ubicación en el valle glaciar en morrenas laterales, frontales y de fondo), así como acumulaciones de detritos de gelifracción más recientes (Vílchez et al., 2020),

En el Km 11+660 de la carretera Amaybamba- Pacaybamba (CU-100), se observa depósitos glaciares, con bloques que varían desde pocos centímetros a más de 1.5 m (Foto 3).



Foto 3. Depósitos glaciares en el Km 11+660 de la vía CU-100. En las coordenadas UTM 18 L E: 688729, S: 8529904

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos, que contribuyen particularmente a los movimientos en masa (formadores de las geoformas de carácter depositacional o agradacional), ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002); por lo cual es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en

masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

Dentro del área de inspección se han hallado pendientes muy fuertes y abruptas. descritos en el cuadro 4 y figura 3.

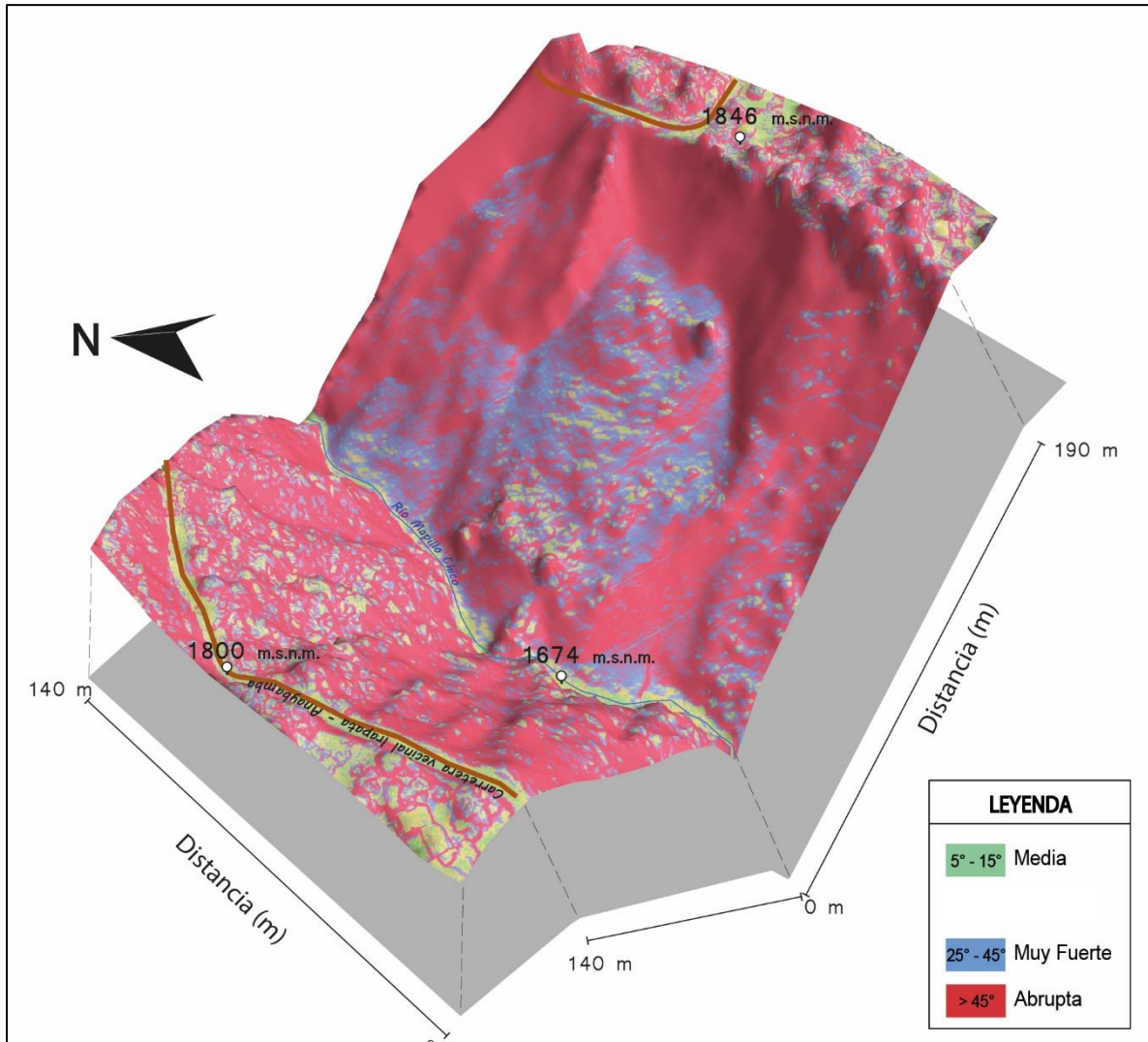


Figura 3. Block diagrama de la distribución de pendientes en el área de inspección.

Cuadro 4. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
5° a 15°	Media	En este rango de pendientes se representa el corte de la carretera CU-100 y áreas donde se asientan viviendas de los centros poblados de Amaybamba y Pacaybamba.

25° a 45°	Muy fuerte	Estas pendientes se observan en un 48 % en el área de estudio, principalmente en el derecho del río Mapillo Grande, en la ladera de donde se activó deslizamientos el 2023.
>45°	Abrupta	Estas pendientes se observan en un 51%. corresponde a montañas metamórficas del Grupo San José y depósitos coluvio deluviales originado por el deslizamiento en el sector Pacaybamba.

3.2. Perfiles en área de estudio

Se realizaron 2 perfiles, transversales al río Mapillo Grande. Ambos perfiles cortan paralelamente dos deslizamientos activados en el 2022, en la margen izquierda del río Mapillo Grande.

El perfil A – A’.

El punto A empieza en la carretera vecinal Pacaybamba – Amaybamba en la margen derecha del río Mapillo Grande, mientras que el punto A’ termina en el sector Pacaybamaba en la margen izquierda del río Mapillo Grande.

La ladera en la margen derecha del río Mapillo Grande tiene una pendiente abrupta de 51°, mientras que la ladera de la margen izquierda del río Mapillo Grande, antes de la activación del deslizamiento 2, en el 2022, tenía pendientes que varían de muy fuerte (30°) a abruptas (51°), según el Modelo de elevación digital a 30 m (Alaska Satellite Facility). Sin embargo la pendiente fue modificada ligeramente de muy fuerte (35°) a abrupta (47°) ,después de la activación del deslizamiento 2 (Figura 4).

EL Perfil B - B’. Es paralelo al perfil A – A’.

La ladera en la margen derecha del río Mapillo Grande tiene una forma concava, con pendientes abrupta de 57°, mientras que la ladera de la margen izquierda del río Mapillo Grande, antes de la activación del deslizamiento 1, en el 2022, tenía pendientes que varían de muy fuerte (30°) a abruptas (51°), según el Modelo de elevación digital a 30 m (Alaska Satellite Facility). Sin embargo la pendiente fue modificada ligeramente de muy fuerte (38° a 45°), en la parte media y baja, a abrupta (54°) en la parte alta o escarpa expuesta, después de la activación del deslizamiento 2 (Figura 4).

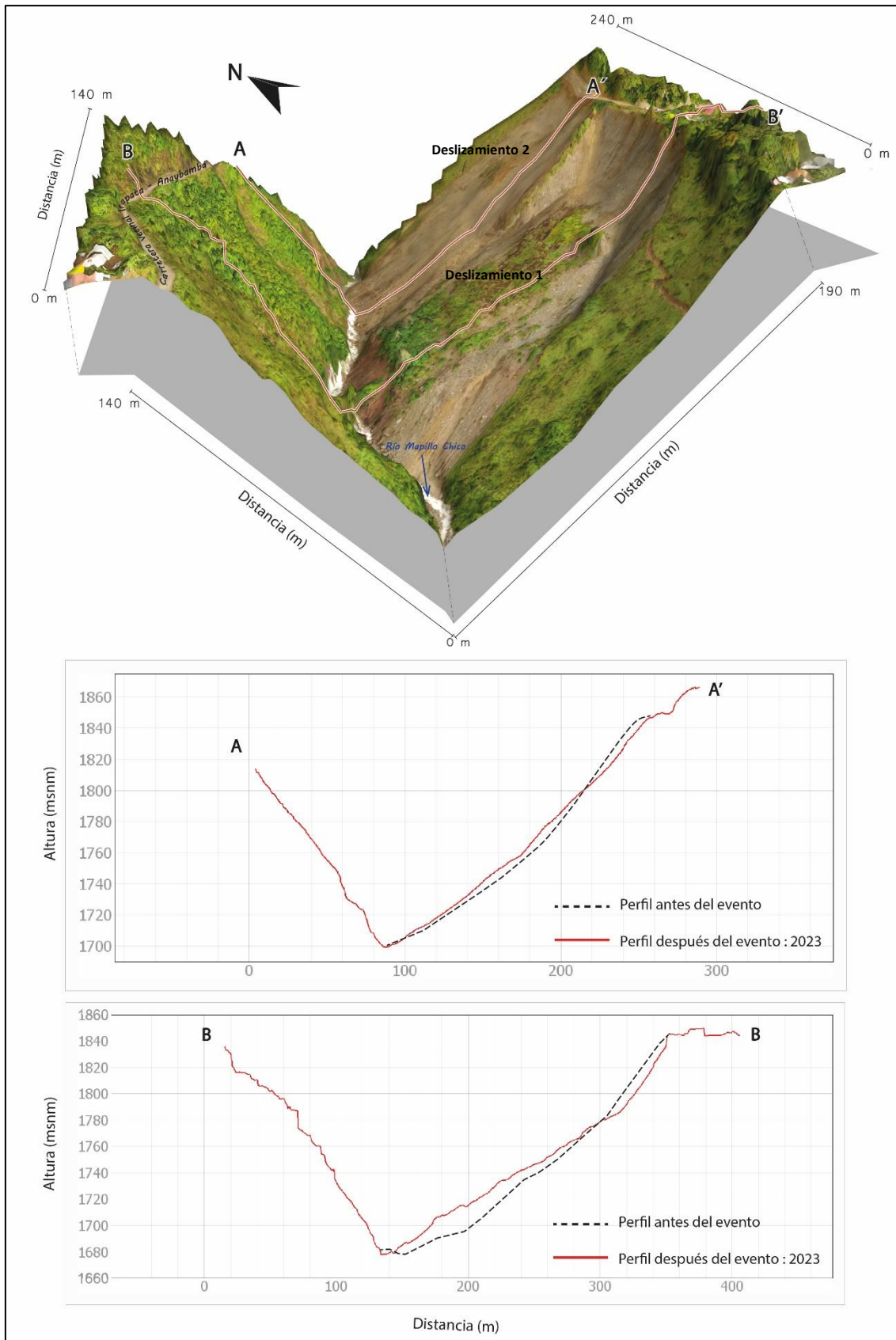


Figura 4. Perfiles que muestra la variación de pendientes antes y después de la activación de deslizamientos en el sector de Pacaybamba

3.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas (Anexo1-mapa 3), se consideró el mapa geomorfológico regional a escala 1:500 000 del boletín C74 elaborado por Vilchez et al. 2020, en el cual se considera criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual; en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación. Información complementada con cartografiado insitu y fotointerpretación a detalle.

Dentro de las unidades geomorfológicas regionales descritas de manera indirecta y de orden secundario al área de inspección se tienen subunidades de montañas en rocas metamórficas, vertientes coluvio deluviales y glaciares. A continuación, se realiza una descripción de subunidades representativas del área de estudio, divididos en geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional: y geoformas de carácter deposicional y agradacional.

3.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales (Villota, 2005).

Subunidad de montañas en roca metamórfica (RM-rm):

Esta subunidad está conformada por secuencias litológicas pizarrosas, sus laderas son escarpadas predominando pendientes muy fuertes (25° a 45°) y abruptas (>45°). La parte baja de la margen izquierda y la ladera de la margen derecha del río Mapillo Grande representa las montañas metamórficas. Además, los procesos de meteorización y gravedad en las laderas originan deslizamientos y derrumbes que da lugar a depósitos coluvio - deluviales.

3.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores, aquí se tienen:

Vertiente o piedemonte coluvial (V-cd):

Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial, se presentan en las laderas de las montañas metamórficas con pendientes muy fuertes (25° a 45°) a abruptas (>45°) (Anexo1-mapa2). La principal representación de estos depósitos son deslizamientos en la margen izquierda del río Mapillo Grande.

Vertiente glaciar (V-dd):

Esta subunidad geomorfológica está formada por la acumulación gravitacional de detritos al pie de las paredes de un valle glaciar o en laderas montañosas afectadas por el retroceso glacial. Aquellos son producidos por la meteorización mecánica (gelifracción) del substrato rocoso que conforman las paredes del valle. Estos materiales pueden encontrarse formando un solo cono o talud de detritos, de granulometría variada. Su pendiente es muy fuerte y puede sobrepasar los 30° (Vilchez et al. 2019).

En el área de estudio sus superficies varían de pendientes medias (5° a 15°) a abruptas (> 45°) (Anexo1-mapa2),

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el sector Pacaybamba se ha cartografiado peligros geológicos por movimientos en masa, tipo deslizamientos; denominados Deslizamiento 1 y Deslizamiento 2, activados en junio del 2022. Además de derrumbes, cárcavas y agrietamientos.

El deslizamiento 1, presenta las siguientes dimensiones: largo 198 m (distancia de la escarpa principal hasta el pie), ancho 125 m (distancia promedio entre ambos flancos), y escarpa semicircular de longitud 250 m y salto 30 m (Figura 5A), quien a su vez activo otro deslizamiento 2, al lado derecho, de largo 160 m (distancia de la escarpa principal hasta el pie), ancho 82 m (distancia promedio entre ambos flancos), y escarpa semicircular de longitud 145 m y salto 15 m (Figura 5A). Ambos movimientos tienen una escarpa rotacional retrogresiva y se encuentran sobre una ladera de pendiente muy fuerte (25° a 45°) a abrupta (>45°).

La masa de los deslizamientos bloqueó el río Mapillo Chico y activó derrumbes en su margen derecha (Figura 5B). Los efectos de la masa deslizada destruyó de 500 m² de plantaciones de café y otros productos. Actualmente la escarpa principal del deslizamiento 1 está ubicada a solo 12 m de viviendas del sector Pacaybamba, rodeadas terrenos de cultivos (Figura 5A y 5D). De continuar el riego de plantaciones, el proceso retrogresivo de la escarpa amenaza con destruir viviendas ubicadas a pocos metros.

El deslizamiento 2 destruyó un tramo de 50 m del trazo de la carretera CU-100 (Km 11+660) antes del 2022, el mismo que fue modificado a menos de 10 m de la escarpa del deslizamiento en el 2022. con la finalidad de restablecer el tránsito. Recientemente, el 11 de abril del 2023, la escarpa del deslizamiento 2 ha alcanzado el nuevo corte de carretera, se presenta agrietamientos de 2 m con aperturas de 10 cm y saltos de 5 a 10 cm en la única vía de conexión de más de 30 poblados (Figura 5C y 5D).

A 150 m del lado izquierdo del deslizamiento 1 se observa la presencia de cárcavas paralelas a la ladera (Figura 5E). Como indicios de la posible activación de otro deslizamiento en el flanco izquierdo del río Mapillo Grande. De activarse otro deslizamiento, destruiría viviendas de más de 7 familias ubicadas a menos de 15 m del corte de ladera.

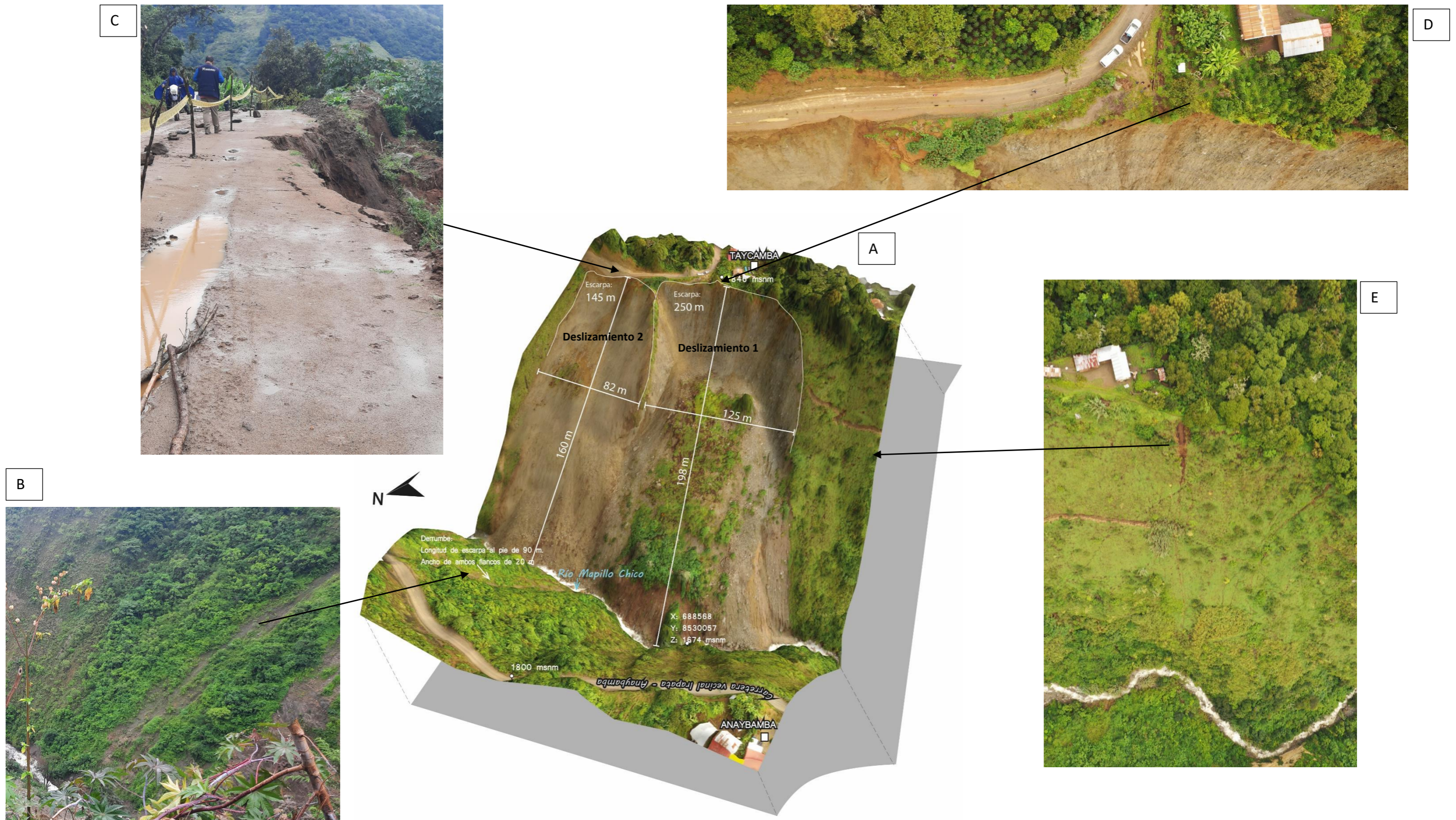


Figura 5. A. Deslizamientos activos en el sector Pacaybamba, en la margen izquierda del río Mapillo Grande. B. Derrumbes, en la margen derecha del río Mapillo Grande. C. Agrietamientos en la cabecera del deslizamiento 2. D. Infraestructuras afectada por los deslizamientos. E. Presencia de cárcavas en el lado izquierdo del deslizamiento 1.

4.1. Factores condicionantes y desencadenantes

4.5.1. FACTORES CONDICIONANTES

LITOLÓGICO: El Grupo San José conformado por pizarras moderadamente meteorizadas y muy fracturadas se ubican principalmente en la parte media a baja de las laderas a ambos márgenes del río Mapillo Grande. Además, se presentan depósitos inconsolidados de origen coluvio deluviales y glaciario cubren los afloramientos del Grupo San José.

- **GEOMORFOLOGÍA Y PENDIENTES:** El sector Pacaybamba y alrededores están conformado por montañas en roca metamórfica y vertientes coluvio-deluviales y glaciares dispuestas sobre pendientes muy fuertes (25° a 45°) a abrupta ($>45^\circ$).

4.5.2. FACTORES DESENCADENANTES

- **PRECIPITACIONES:** El área de estudio registra precipitaciones anuales acumuladas entre 300 mm a 700 mm, siendo considerado un clima semiseco, lluvioso con invierno seco.

Según el testimonio de los pobladores se las lluvias intensas de abril de 2023, dieron lugar al comportamiento retrogresivo de la escarpa principal del deslizamiento 2 que destruye constantemente un tramo de 50 m de la carretera CU-100

- **SISMOS:** Entre marzo y abril del 2022 ocurrieron sismos de magnitud 3.7 a 4.5 en Abancay.


5. CONCLUSIONES

1. El sector de Pacaybamba está constituido principalmente por depósitos coluvio-deluviales potentes con influencia de depósitos glaciares, quienes cubren afloramientos de pizarras moderadamente meteorizadas y muy fracturados del Grupo San José, modeladas con montañas en roca metamórfica y vertientes coluvio-deluviales y glacial o con pendientes muy fuertes (25° a 45°) a abruptas ($>45^\circ$) que condicionan por su incompetencia y grado de alteración una susceptibilidad alta a ser removidos a manera de deslizamientos, y derrumbes como los identificados en el sector evaluado.
2. En junio del 2022 se activaron deslizamientos denominados Deslizamiento 1 y Deslizamiento 2. El deslizamiento 1 tiene de largo 198 m (distancia de la escarpa principal hasta el pie), ancho 125 m (distancia promedio entre ambos flancos), y escarpa semicircular de longitud 250 m y salto 30 m, y el deslizamiento 2, de largo 160 m (distancia de la escarpa principal hasta el pie), ancho 82 m (distancia promedio entre ambos flancos), y escarpa semicircular de longitud 145 m y salto 15 m. Ambos movimientos tienen una escarpa rotacional retrogresiva y se encuentran sobre una ladera de pendiente muy fuerte (25° a 45°) a abrupta ($>45^\circ$).
3. En el 2022, el deslizamiento 1 destruyó 500 m² de plantaciones de café y el deslizamiento 2 destruyó un tramo de 50 m del trazo de la carretera CU-100 (Km 11+660).
4. La escarpa de los deslizamientos tiene un comportamiento retrogresivo, desde las intensas lluvias de abril de 2023, lo que destruye constantemente un tramo de 50 m de la vía vecinal CU-100, única vía de conexión de las de 30 poblados del distrito de Inkawasi.
5. De continuar el proceso retrogresivo de las escarpas principales: El deslizamiento 1 amenaza con destruir viviendas de más de 5 familias de sector Pacaybamba. Mientras que el deslizamiento 2 destruirá la vía vecinal CU-100 completamente
6. Además 150 m del lado izquierdo del deslizamiento 1 se observa cárcavas paralelas a la ladera, que pueden representar indicios de la activación de otro deslizamiento en el flanco izquierdo del río Mapillo Grande. De activarse este deslizamiento, destruiría viviendas de más de 7 familias ubicadas a menos de 15 m del corte de ladera.

7. Según las características litológicas, geomorfológicas y dinámicas, el sector de Pacaybamba, presenta una susceptibilidad alta y es de peligro **Alto** a la ocurrencia de movimientos en masa principalmente de tipo deslizamiento y derrumbe, sobre todo en temporada de lluvia intensa y prolongada.

8. RECOMENDACIONES

1. Realizar un nuevo trazo de conexión en el sector Amaybamba-Pacaybamba,
2. Prohibir el reúso de la masa desplazada de los deslizamientos para fines cultivables; siendo necesario restringir la instalación de terrenos de cultivos y e infraestructura de riego en la parte alta de estos deslizamientos.
3. Usar un adecuado sistema de riego y de drenaje en sectores donde se observa cárcavas (lado izquierdo del deslizamiento 1) que pueden ser indicios del proceso de activación de un nuevo deslizamiento, según lo el mapa 3 del Anexo.
4. Reubicar las viviendas ubicadas en la cabecera del deslizamiento 2



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto. Actividad 7
DGARG-INGEMMET



.....
ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

Arcos, F. & Soaña, J. (2021) - *Geología de los cuadrángulos de Machupicchu (hojas 27q2, 27q3), Pacaybamba (hojas 27p2, 27p3, 27p4) y San Miguel (hoja 27o1). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000), 30, 54 p.*

Cárdenas, J.; Carlotto, V.; Romero, D.; Jaimes, F. & Valdivia, W. (1997) - *Geología de los cuadrángulos de Chuanquiri y Pacaybamba, hojas: 26-p y 27-p . INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 89, 216 p., 2 mapas*

Dalmayrac, B.; Laubacher, G. & Marocco, R. (1980) – *Géologie des Andes péruviennes : caractères généraux de l'évolution géologique des Andes péruviennes. Paris: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, 501 p. Travaux et Documents de l'ORSTOM, 122.*

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2007. Plataforma Sistema de Información Geográfica para emprendedores (SIGE).

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.

Sánchez, A. & Zapata, A. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Río Picha (25-p), Timpia (25-q), Chuanquiri (26- p), Quillabamba (26-q), Quebrada Honda (26-r), Parobamba (26-s), Pacaybamba (27-p), Machupicchu (27-q), Urubamba (27-r), Calca (27-s), Chontachaca (27-t), Quincemil (27-u), Ocongate (28-t), Corani (28- u) y Ayapata (28-v), escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 51 p.*

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

Vílchez M., Sosa N., Pari W., Peña F. 2020. Peligro Geológico en la región de Cusco. INGEMMET. Boletín N° 74. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. 342p.

ANEXO

688500

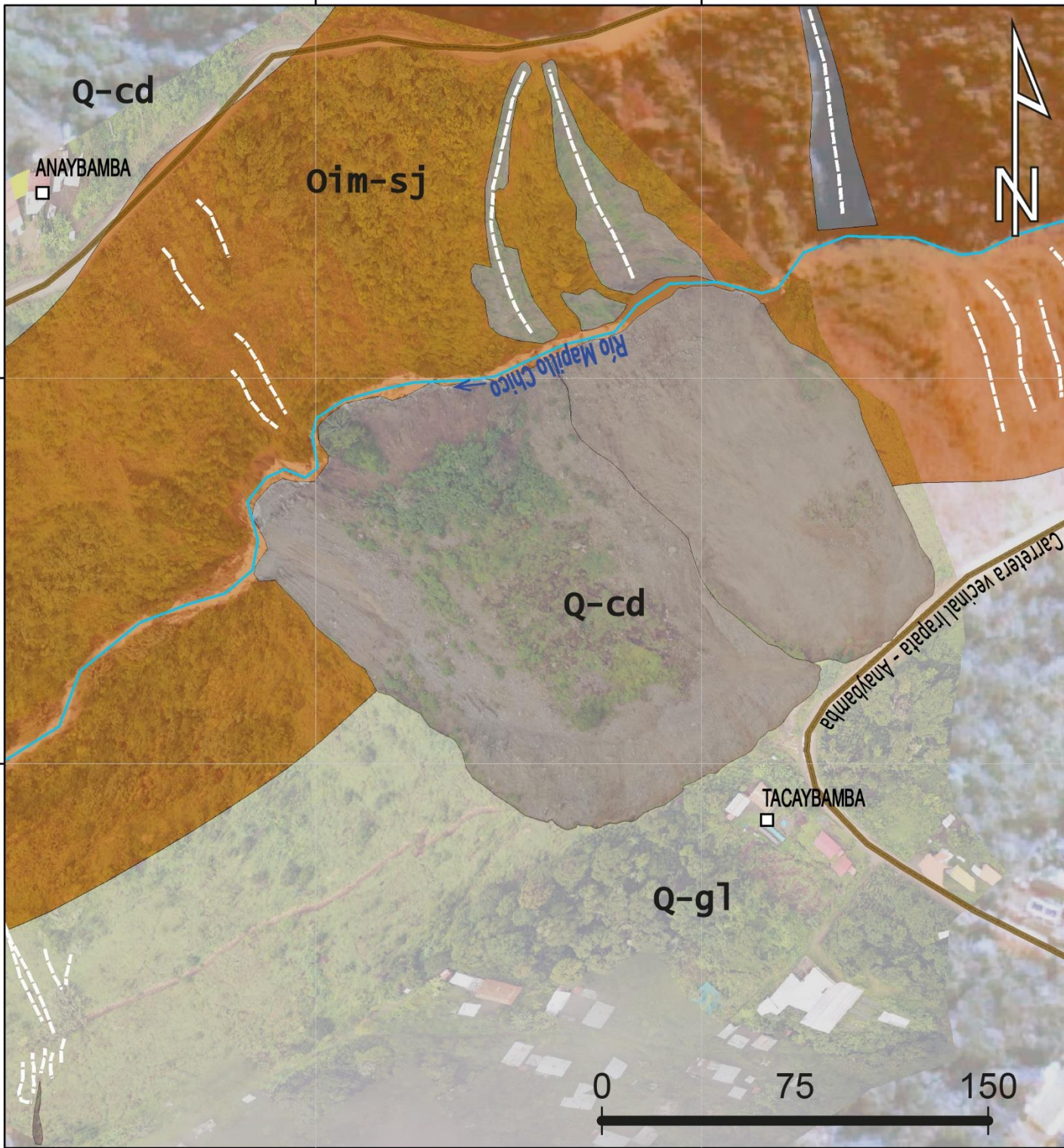
688650

8530000

8529850

8530000

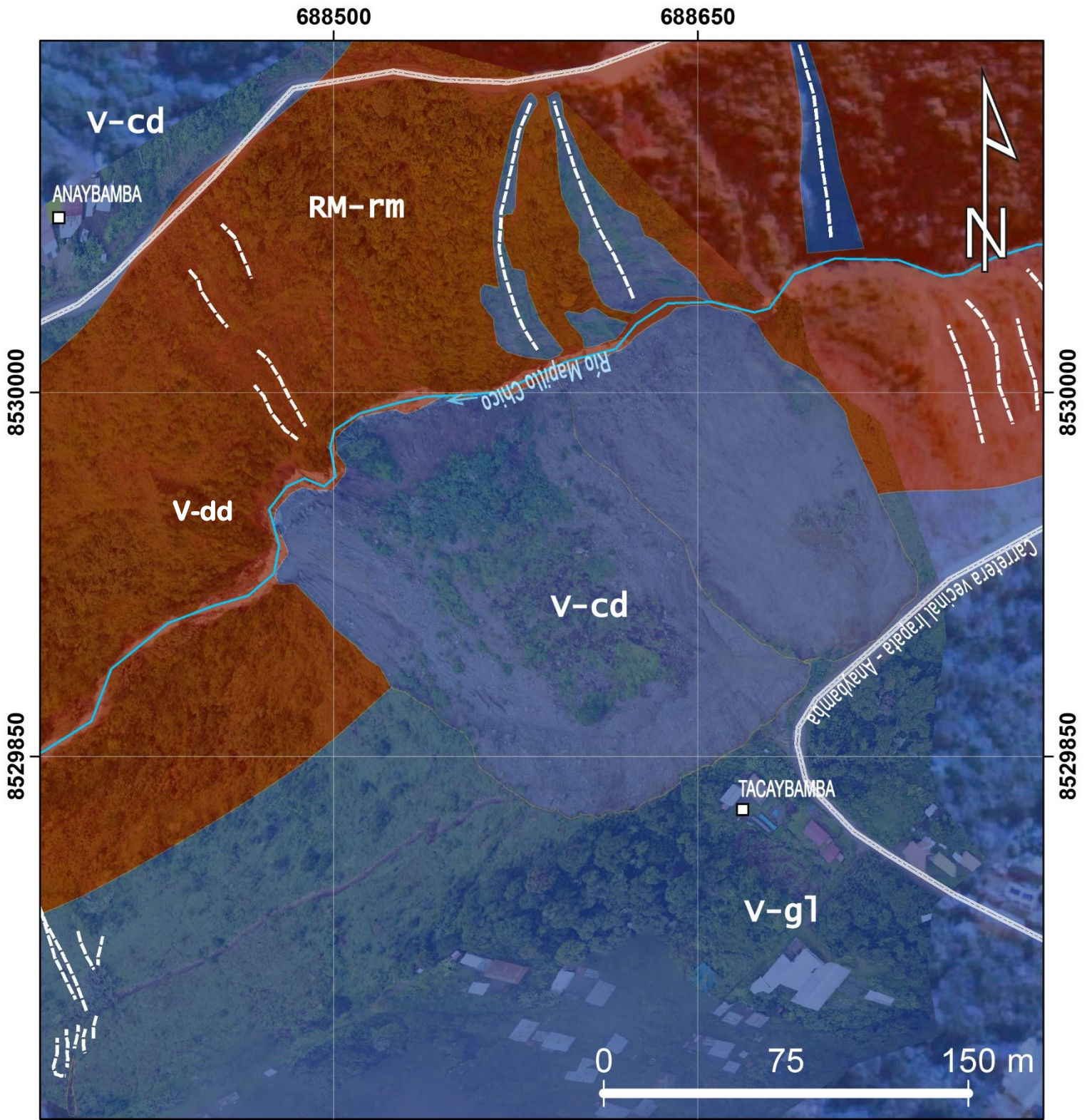
8529850








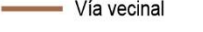

LEYENDA	
Q - cd	Depósito coluvio deluvial Material fragmentado en taludes, representado
Q - gl	Depósito glaciar Depósitos morrénicos de clastos de diametro variable.
Oim-sj	Grupo San José Pizarras carbonosas y fosilíferas, negro a gris oscuras.


SIMBOLOGÍA	
Centro Poblado	Cárcavas
Vía vecinal	Dirección de flujo

<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>	
<p>EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE PACAYBAMBA DISTRITO INKAWASI, PROVINCIA LA CONVENCIÓN Y DEPARTAMENTO DE CUSCO</p>	
<p>GEOLÓGIA DEL SECTOR PACAYBAMBA</p>	
<p>Elaborado por: INGEMMET Datum: UTM WGS84 Zona: 18 S</p>	<p>MAPA 1</p>
<p>Escala:</p>	




LEYENDA	
	RM-rm Montaña en roca metamórfica
	V-cd Vertiente coluvio deluvial
	V-gl Vertiente glacial

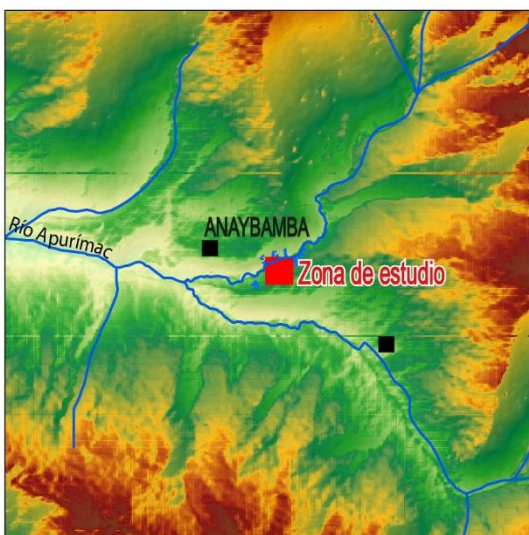
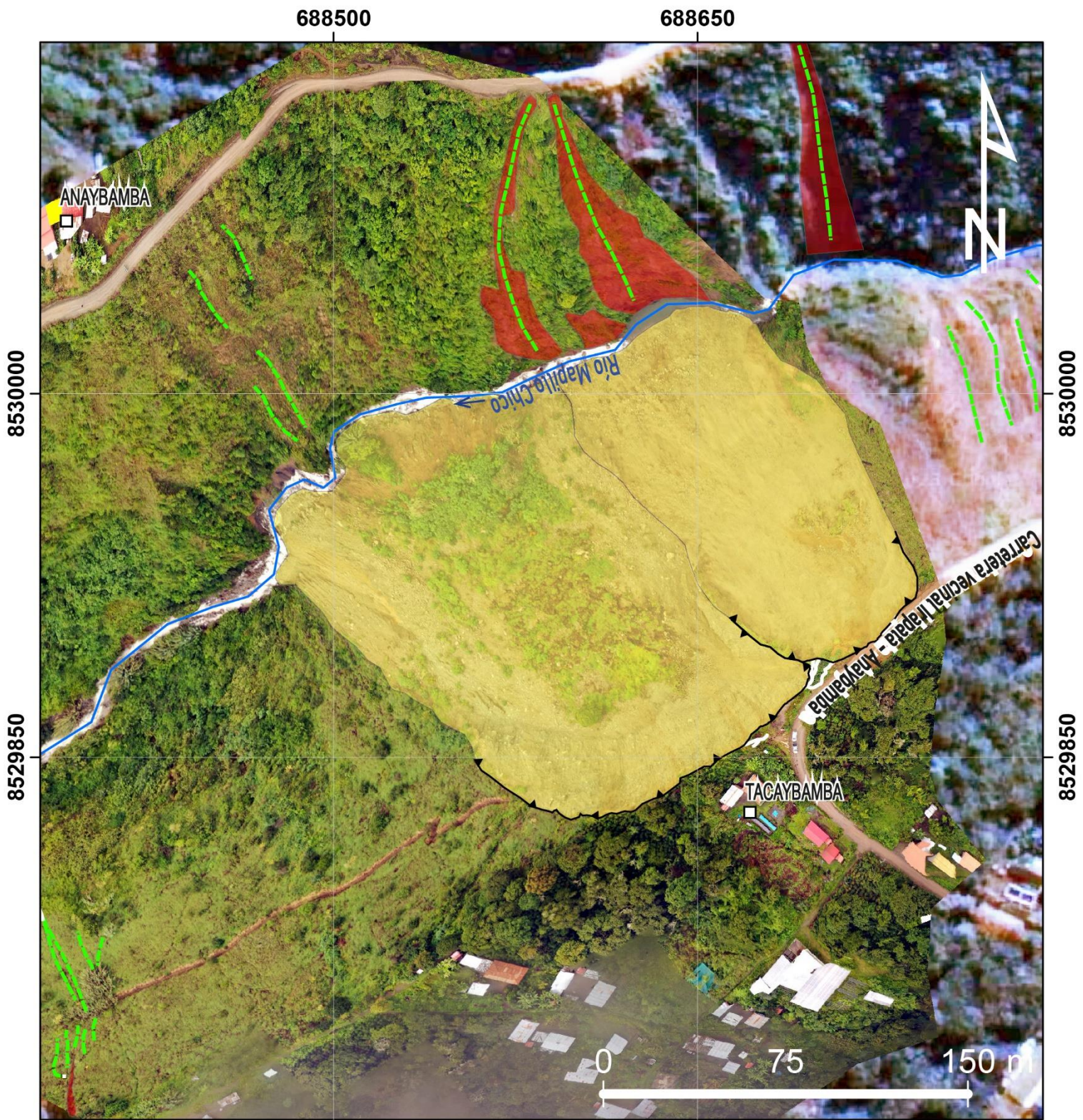
SIMBOLOGÍA			
	Centro Poblado		Cárcavas
	Vía vecinal		Dirección de flujo

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO


EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA
 EN EL SECTOR DE PACAYBAMBA
 DISTRITO INKAWASI, PROVINCIA LA CONVENCIÓN Y DEPARTAMENTO DE CUSCO

GEOMORFOLOGÍA DEL SECTOR PACAYBAMBA

Elaborado por: INGEMMET Datum: UTM WGS84 Zona: 18 S Escala:  m	MAPA 2
--	-------------------------



LEYENDA	
	Deslizamiento
	Derrumbe
SIMBOLOGÍA	
	Centro Poblado
	Cárcavas
	Escarpa

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE PACAYBAMBA DISTRITO INKAWASI, PROVINCIA LA CONVENCIÓN Y DEPARTAMENTO DE CUSCO	
CARTOGRAFIADO DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL SECTOR PACAYBAMBA	
Elaborado por: INGEMMET Datum: UTM WGS84 Zona: 18 S	MAPA 3
Escala: 