

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7323**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE TROJAHUASI

Departamento Apurímac  
Provincia Andahuaylas  
Distrito Kaquiabamba



NOVIEMBRE  
2022

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL  
SECTOR DE TROJAHUASI**

(Distrito Kaquiabamba, provincia Andahuaylas, departamento Apurímac)

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

Equipo de investigación:

Ángel Gonzalo Luna Guillén  
Guisela Choquenaira Garate

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 Trojahuasi Distrito Kaquiabamba, provincia Andahuaylas, departamento Apurímac. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7323, 54 p.

## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
2.1. Objetivos del estudio .....	6
2.2. Antecedentes y trabajos anteriores .....	6
2.3. Aspectos generales.....	10
2.3.1. Ubicación .....	10
2.3.2. Población .....	10
2.3.1. Accesibilidad .....	11
2.3.1. Clima .....	14
<b>3. DEFINICIONES.....</b>	<b>15</b>
<b>4. ASPECTOS GEOLÓGICOS .....</b>	<b>19</b>
4.1. Unidades litoestratigráficas .....	19
4.1.1. Grupo Copacabana .....	19
4.1.2. Formación Vilquechico .....	19
4.1.3. Formación Auzangate .....	21
4.1.4. Formación Muñani.....	22
4.1.5. Depósito proluvial (Qh-pl).....	24
4.1.6. Depósito coluvial (Qh-co) .....	24
4.2. Análisis litológico en el sector de acogida propuesto por la Municipalidad distrital de Kaquiabamba.....	26
<b>5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....</b>	<b>30</b>
5.1. Pendientes del terreno .....	30
5.2. Pendientes del terreno de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba 31	
5.3. Unidades geomorfológicas .....	32
5.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional .....	32
5.3.1. Geoformas de carácter depositacional y agradacional .....	32
<b>6. PELIGROS GEOLÓGICOS .....</b>	<b>36</b>
6.1. Peligros por movimientos en masa.....	36
6.1.1. Deslizamientos.....	36
6.1.1. Derrumbes .....	42
6.1.2. Flujos .....	43
6.1.3. Otros peligros geológicos.....	43
6.1.4. Daños y afectaciones .....	43
6.1. Factores condicionantes.....	44
6.2. Factores desencadenantes .....	45
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>48</b>

## 1. RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en el sector de Trojahuasi, ubicado en la ladera este del cerro Rurupaya, margen derecha quebrada Puyuri, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Kaquiabamba, provincia de Andahuaylas, departamento Apurímac. 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.

Las principales unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada, corresponde a la intercalación de areniscas y limolitas de color amarillo y pardo (Formación Vilquechico) además, de calizas (Grupo Copacabana), ambas muy fracturadas y altamente meteorizadas, El substrato rocoso está cubierto por depósitos coluviales de matriz areno-limosa medianamente consolidado conformado por bolos (10%), gravas (40%), gránulos (5%), arenas (20%), limos (20%) y arcillas (5%) de fácil erosión.

El terreno de acogida se ubica sobre afloramientos de areniscas cuarzosas intercalados con lutitas y limolitas, que se encuentran muy fracturados y altamente meteorizados (Formación Vilquechico). Se encuentra limitada hacia el SW y NE, por depósitos coluviales de deslizamientos antiguos conformado por gravas y gravillas envueltos en una matriz limo-arcillosa, saturada y plástica susceptible a generar nuevos deslizamientos.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas modeladas en rocas sedimentarias) y geoformas de carácter depositacional y agradacional (originada por la ocurrencia de movimientos antiguos como deslizamiento). El área de acogida está limitada por laderas con pendiente de 18°, 20° y 45° en direcciones sur, este y norte respectivamente, además hacia el oeste se observan terrenos con pendientes de 25° que continúan hasta la cima de la montaña.

La ladera este del cerro Rurupaya (sector Trojahuasi) se considera geodinamicamente activa, identificándose 04 deslizamientos inactivos latentes, 05 deslizamientos reactivados, 03 derrumbes y 04 procesos de erosiones en cárcavas.

El terreno de acogida propuesta por la municipalidad de Kaquiabamba (~2 ha), está limitado por coronas de antiguos deslizamientos y la reactivación de dos deslizamientos rotacionales que afectan 0.46 ha en los extremos SE y NW, donde el avance retrogresivo de sus escarpas afectarían eventualmente la totalidad del terreno.

Dentro de los factores que condicionaron la ocurrencia de los movimientos en masa, en el sector de Trojahuasi, se pueden considerar: la pendiente de la ladera de fuerte a escarpada (15°-45°), mala calidad del substrato rocoso y depósitos cuaternarios medianamente consolidados, de igual manera los principales factores antrópicos, que condicionan de alguna manera la inestabilidad de las laderas son las malas técnicas de riego, canales no revestidos y la ausencia de sistemas de desagüe.

Por las características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas el sector de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba, se considera **Peligro Alto** a la ocurrencia de movimientos en masa y el sector donde se ubica el anexo Trojahuasi de **Peligro Muy Alto** ratificando su estado de **Zona crítica** según el “Segundo reporte de zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Apurímac” (Villacorta et al., 2013).

Se desestima el terreno de acogida propuesta por la municipalidad de Kaquiabamba para la reubicación permanente de la totalidad del anexo Trojahuasi, por presentar evidencias de geodinámica activa en sus laderas.

## 2. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo el oficio N° 0239-2022-AL-JRPL/MDK-VRAEM de la Municipalidad distrital de Kaquiabamba, donde solicita la inspección de peligros geológicos en el sector denominado Trojahuasi, distrito de Kaquiabamba, provincia de Andahuaylas, departamento Apurímac. La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designa a los Ingenieros Gonzalo Luna Guillén y Guisela Choquenaira Garate, realizar la evaluación de peligros geológicos, los cuales se llevaron a cabo el 13 de septiembre de 2022, en coordinación con la Municipalidad distrital de Kaquiabamba.

La evaluación técnica, se realizó con la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo, puntos de control GPS, fotografías terrestres y aéreas con dron, así como la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe, se pone a consideración de la Municipalidad distrital de Kaquiabamba, y entidades encargadas de la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

### 2.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

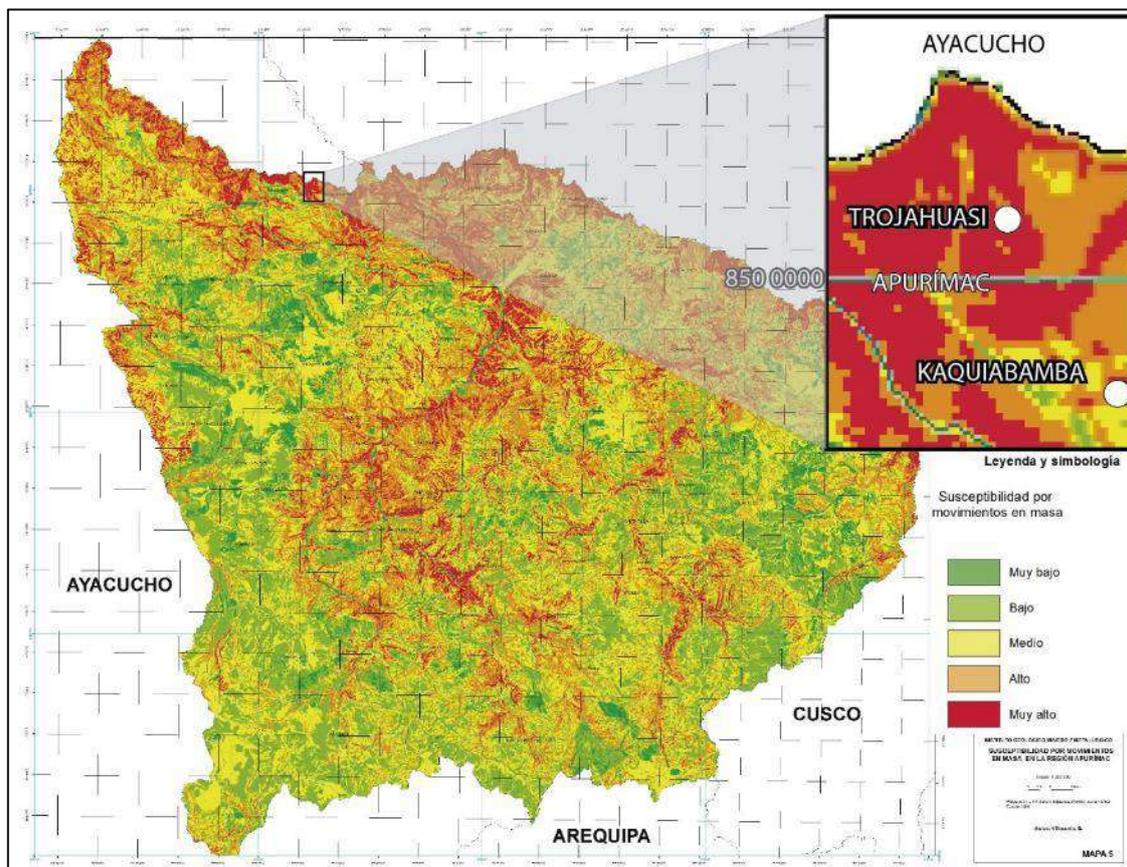
- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que puedan afectar al sector denominado Trojahuasi, así como al área propuesta para su reubicación por la Municipalidad de Kaquiabamba.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos en el sector de inspección.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos por movimientos en masa identificados en la etapa de campo.

### 2.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en los alrededores del sector de evaluación se tienen:

- A) Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Andahuaylas, hoja 28-p (Lipa et al.,2003), menciona que, en la zona se encuentran afloramientos de edad Pérmico del Grupo Copacabana conformada por calizas macizas gruesas de color gris pardusco; así como formaciones de edad Cretácico como: Vilquechico, Auzangate y Muñani, conformados por la intercalación de areniscas, lutitas y limolitas.
- B) En el Informe técnico “Estimación de riesgo Trojahuasi” (Miranda 2012) solicitado de manera independiente por la Municipalidad distrital de Kaquiabamba, determinó que la comunidad de Trojahuasi se encuentra en **RIESGO MUY ALTO** ante peligro por deslizamiento y subsecuente **huaico** con una probabilidad de ocurrencia de 77.1 %, recomendando la reubicación del 100% de la población.

- C) En la Validación técnica de evaluación de riesgo geológico efectuado por Ingemmet, referente a la estimación de riesgo en la jurisdicción comunal de Trojahuasi (Villacorta et al., 2012) concluye que existe peligro **MUY ALTO** por deslizamiento en un **sector de Anexo Trojahuasi**, que afecta directamente a 14 de las 47 viviendas del anexo y a su institución educativa.
- D) En el Informe Técnico N° A6624: “Segundo reporte de zonas críticas por peligros geológicos y geo-hidrologicos en la región Apurímac” (Villacorta et al., 2013). Describe que en el sector de Trojahuasi, distrito de Kaquiabamba y provincia de Andahuaylas, se han identificado movimientos en masa antiguos, uno de los cuales ha mostrado una reactivación en marzo del 2012 por las fuertes precipitaciones pluviales, modificación de la humedad y saturación del material que conforma la ladera. La zona reactivada del 2012 afectó al colegio del poblado que se encuentra en la parte inferior de la ladera y podría afectar a 14 viviendas ubicadas en la zona de influencia (figura 2 y 3 – y fotografía 1). De igual manera se le considera como una **zona crítica** (zona crítica N°20 del reporte), recomendado la construcción de redes de drenaje.
- A) En la Memoria del Segundo Encuentro de Investigadores Ambientales, el trabajo titulado “Análisis de peligros geológicos en la región Apurímac: origen, características y tratamiento ” (Villacorta et al., 2013), muestra el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en la región Apurímac también publicado por el Ingemmet en su plataforma digital GEOCATMIN <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>, aquí se observa que el sector de Trojahuasi y área propuesta para su reubicación se encuentran en un área de **susceptibilidad alta a muy alta** a movimientos en masa (figura 1).



**Figura 1.** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en la región Apurímac  
**Fuente:** Villacorta et al., 2012. (Escala 1:300 000)



**Figura 2.** Movimientos en masa reconocidos en Trojahuasi (distrito de Kaquiabamba, provincia de Andahuaylas) y alrededores, sobre imagen de Google Earth. (Fuente: Villacorta et al., 2013)



**Figura 3.** Se observan las escarpas recientes situadas en la parte baja del centro poblado de Trojahuasi (Fuente: Villacorta et al., 2013)



Fotografía 1. Viviendas localizadas en el cuerpo del antiguo deslizamiento de Trojahuasi (en el distrito de Kaquiabamba, provincia de Andahuaylas). La reactivación afectaría 14 viviendas (Fuente: Villacorta et al., 2013)

## 2.3. Aspectos generales

### 2.3.1. Ubicación

El sector de Trojahuasi, se ubica al noroeste del poblado de Kaquiabamba, ladera este del cerro Rurupaya en la margen derecha de la quebrada Rurupaya y Puyuri (figura 5), el área de inspección abarca el Anexo de Trojahuasi y el área de reubicación propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.

Políticamente, se encuentra en el distrito de Kaquiabamba, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

Las coordenadas del área de estudio se detallan en el cuadro siguiente y se muestran en la figura 5:

**Cuadro 1.** Coordenadas del área de inspección en el Anexo Trojahuasi.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	682409.12 m E	8505370.95 m S	-13.514215°	-73.314581°
2	684424.97 m E	8505374.39 m S	-13.514058°	-73.295961°
3	684409.13 m E	8506756.39 m S	-13.501568°	-73.296196°
4	682402.75 m E	8506774.89 m S	-13.501526°	-73.314729°
<b>COORDENADA CENTRAL ÁREA PROPUESTA PARA LA REUBICACIÓN DEL SECTOR DE TROJAHUASI</b>				
cc	682897.74 m E	8505863.69 m S	-13.509731°	-73.310099°

### 2.3.2. Población

En cuanto a la población en el área de inspección, según el sistema de Información geográfica del Instituto Nacional de estadística e Informática (INEI, 2017\*), el anexo de Trojahuasi con código de ubigeo 0302190003 posee 47 viviendas con 190 habitantes <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>



**Figura 4.** Vista de la consulta de centro poblados del Sistema de Información Geográfica <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

**Cuadro 2.** Características del anexo de Trojahuasi publicadas por el INEI  
<http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>.

Descripción	Total	Descripción	Total
DEPARTAMENTO	APURIMAC	TRANSPORTE DE MAYOR USO	CAMINANDO
PROVINCIA	ANDAHUAYLAS	ALUMBRADO PUBLICO	NO
DISTRITO	KAQUIABAMBA	TRANSPORTE DE MAYOR USO	a pie
SECTOR	TROJAHUASI	HELADAS /NEVADAS	si
CATEGORIA	ANEXO	GRANIZADAS	si
VIVIENDAS	47	LLUVIAS	si
POBLACIÓN	190	SEQUIAS	si
AGUA POR RED PUBLICA	SI	VENDAVALS (VIENTOS FUERTES)	si
ENERGIA ELECTRICA EN LA VIVIENDA	SI	INUNDACIONES	si
DESAGUE POR RED PUBLICA	NO	DERRUMBES/DESLIZAMIENTOS	si
VIA DE MAYOR USO	camino de herradura / trocha	HUAICOS / ALUDES/ALUVIONES	si

### 2.3.1. Accesibilidad

El acceso se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Cusco, a través de vías asfaltadas, trochas carrozables y caminos vecinales, siguiendo la ruta y accesos del cuadro 3 (figura 6).

**Cuadro 3.** Rutas y accesos a la zona de evaluación

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Cusco - Abancay	Vía asfaltada	194 km	4 h 50 min
Abancay - Andahuaylas	Vía asfaltada	149 km	3 h 6 min
Andahuaylas – Kaquiabamba	Vía asfaltada/Trocha carrozable	42 km	1 h 30 min
Kaquiabamba	Trocha carrozable	10 km	30 min

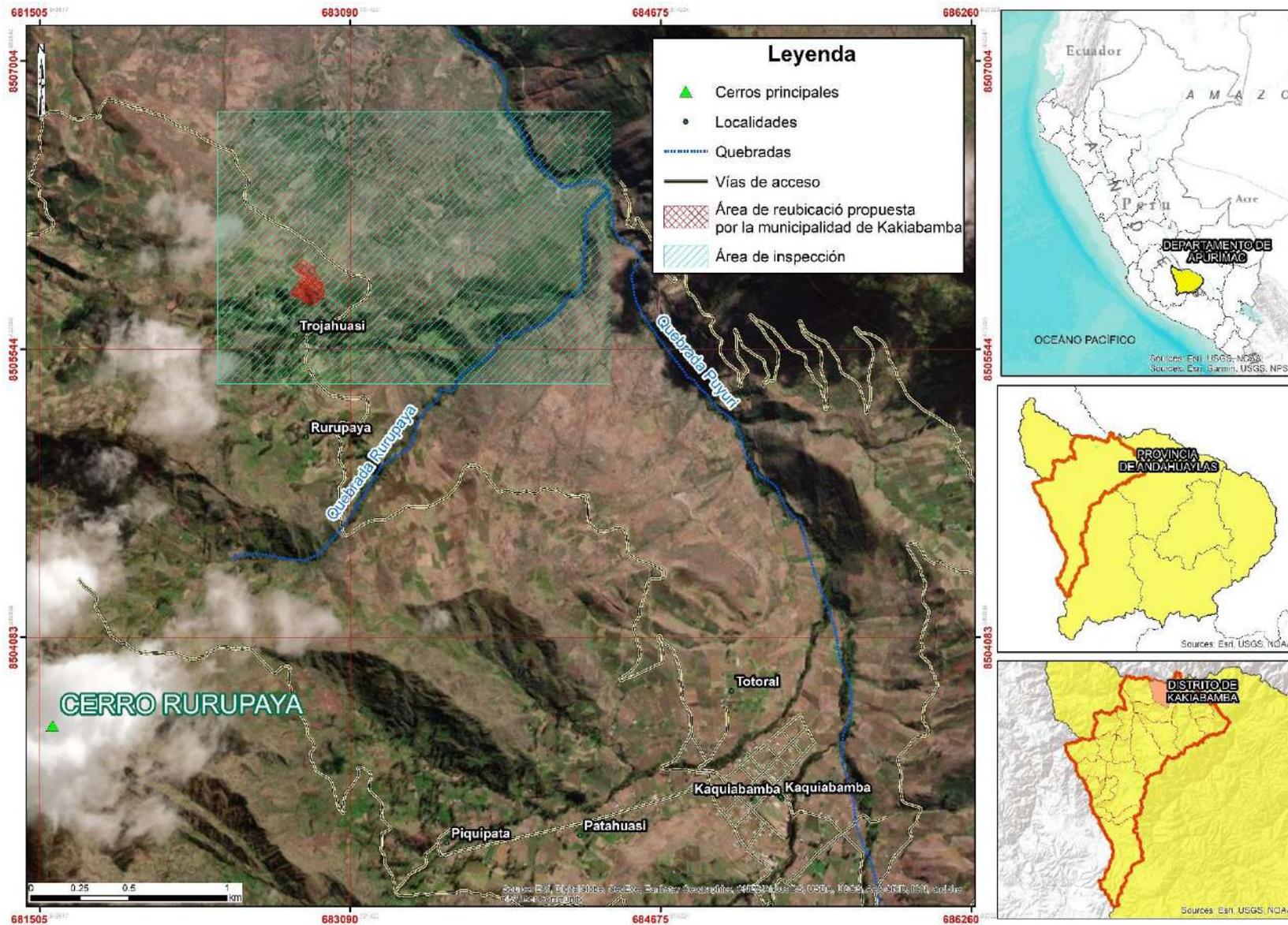
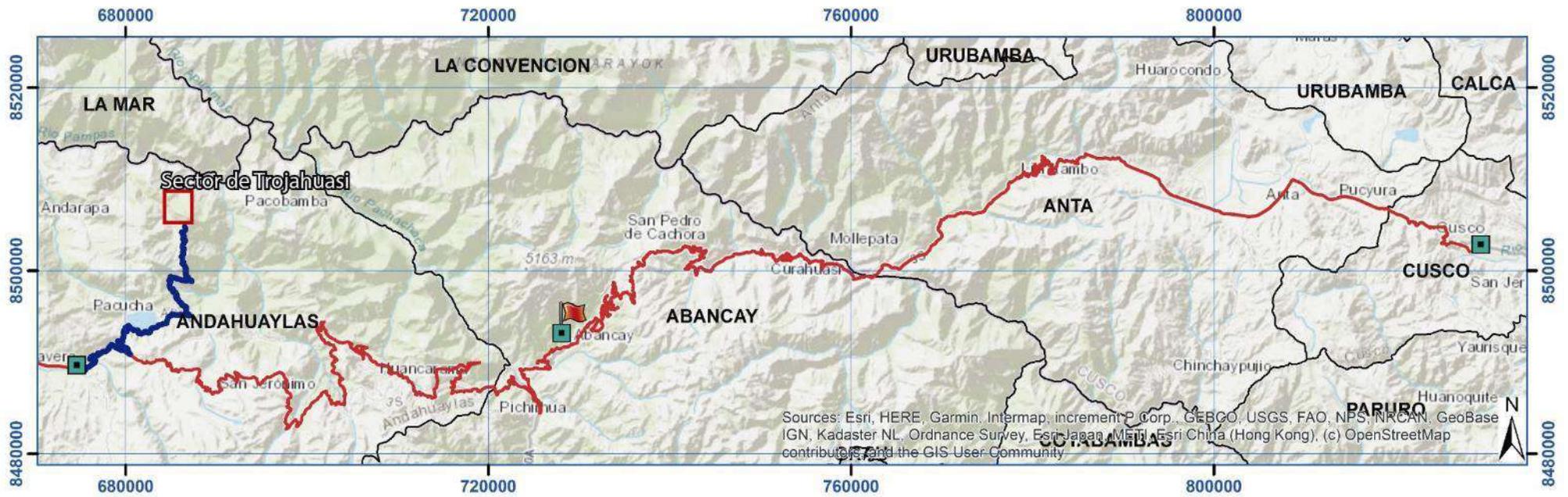


Figura 5. Mapa de ubicación política del área de inspección, referente al sector denominado Trojahuasi.



**Figura 6** Mapa de accesibilidad desde la ciudad de Cusco al anexo de Trojahuasi, distrito de Kaquiabamba, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac

### 2.3.1. Clima

El clima se caracteriza por presentar una temporada lluviosa muy marcada entre los meses de diciembre a marzo, con temperaturas promedio de 16 °C, así como una temporada de estiaje el resto del año, con temperaturas máximas de 25 °C y mínimas de 8 °C. Cabe resaltar que en los últimos años se registra un incremento inusual de las precipitaciones pluviales en esta región (Madueño, 2011).

En cuanto a la cantidad de lluvia y temperatura local, según fuente de datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos rasters y de satélite), la precipitación diaria máxima registrada en el último periodo 2020-2022, fue de 45.9 mm en el mes de septiembre del 2021. Mientras que las temperaturas oscilaron en rangos de 1° y 19°C (figuras 8 y 9).

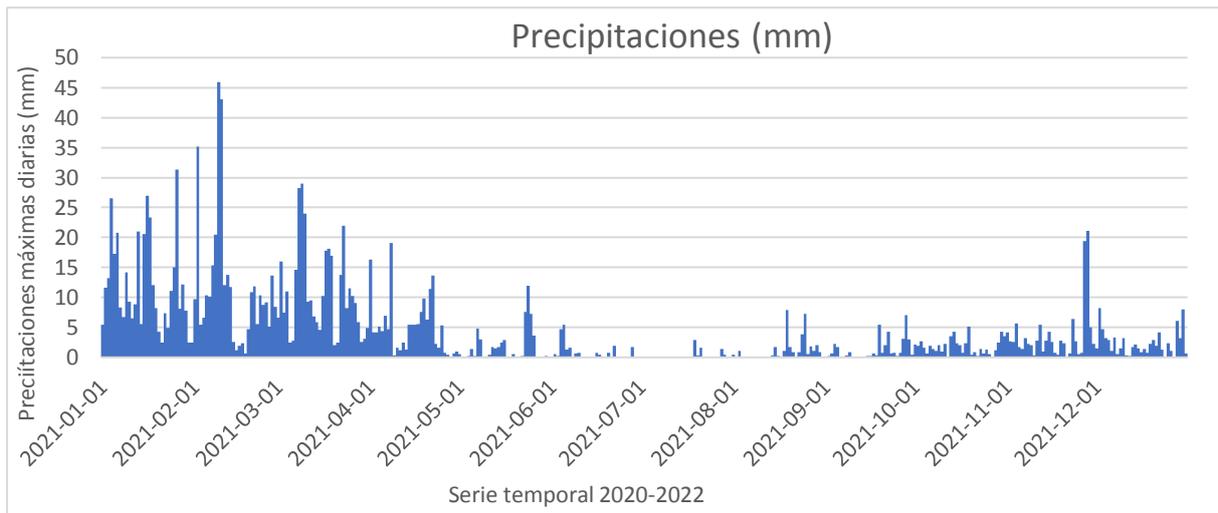
Los datos meteorológicos del 2022 muestran que las precipitaciones llegaron a picos máximos de 21.1 mm el mes de noviembre. De igual manera los valores de NDVI (índices de vegetación), señalan que estas precipitaciones proporcionan al terreno valores promedio de 0.68 (vegetación densa), sin embargo, en épocas de estiaje se ven valores de 0.40 (vegetación escasa). Ver figura 7

Este tipo de precipitaciones y valores de NDVI puede conllevar a la saturación de suelos, y posteriores movimientos en masa.



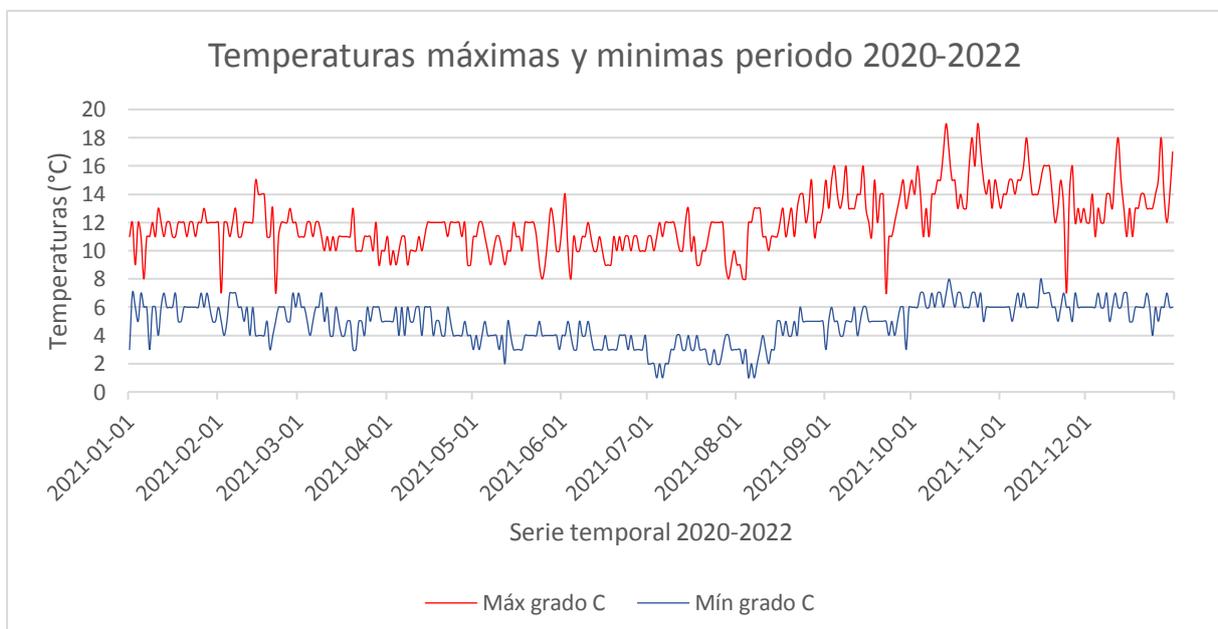
**Figura 7.** Visualización de los datos meteorológicos del sistema Crop Monitoring, muestra que el 2022, la mayor precipitación en el sector de Trojahuasi fue de 21.1 mm, el 28 de noviembre del 2022.

**Fuente:** <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7407143>



**Figura 8.** Precipitaciones máximas diarias según registros satelitales awhere, en el sector de Trojahuasi.

**Fuente:** <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7407143>



**Figura 9.** Temperaturas máximas y mínimas diarias según registros satelitales awhere, en el sector de Trojahuasi.

**Fuente:** <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7407143>

### 3. 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 cual se desarrollan diversas 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. Todas estas denominaciones tienen 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:

- Activo:** Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.
- Aluvial:** Génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.
- Arcilla:** Suelo para ingeniería con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad. En este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento.
- Buzamiento:** Ángulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90°.
- 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.
- Caída de rocas:** Tipo de caída producido cuando se separa una masa o fragmento de roca y el desplazamiento es a través del aire o caída libre, a saltos o rodando.
- Caliza:** La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio, en general calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita y otros carbonatos <https://stonecenter.cl/que-es-una-caliza/>.
- Cárcava:** Tipo de erosión concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas.
- Coluvio-deluvial:** Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interestratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.
- Derrumbe:** son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros. se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.
- Deslizamiento:** Movimiento ladera debajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). 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).
- Deluvial:** Terreno constituido por enormes depósitos de materiales que fueron transportados por grandes corrientes de agua.

- Factor condicionante:** Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.
- Factor detonante:** Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.
- 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.
- Inactivo latente:** Movimiento en masa actualmente inactivo, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen
- 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.
- Peligro o amenaza geológica:** Proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.
- Reactivado:** Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo.
- Suspendido:** Movimiento en masa que se desplazó durante el último ciclo anual de las estaciones climáticas, pero que en el momento no presenta movimiento
- Susceptibilidad:** La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo,

el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

**Talud:**

Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

**Zona crítica:**

Zona o área con peligros potenciales de acuerdo con la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

## 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló en base a la memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Andahuaylas hoja 28-p (Lipa et al.,2003).

### 4.1. Unidades litoestratigráficas

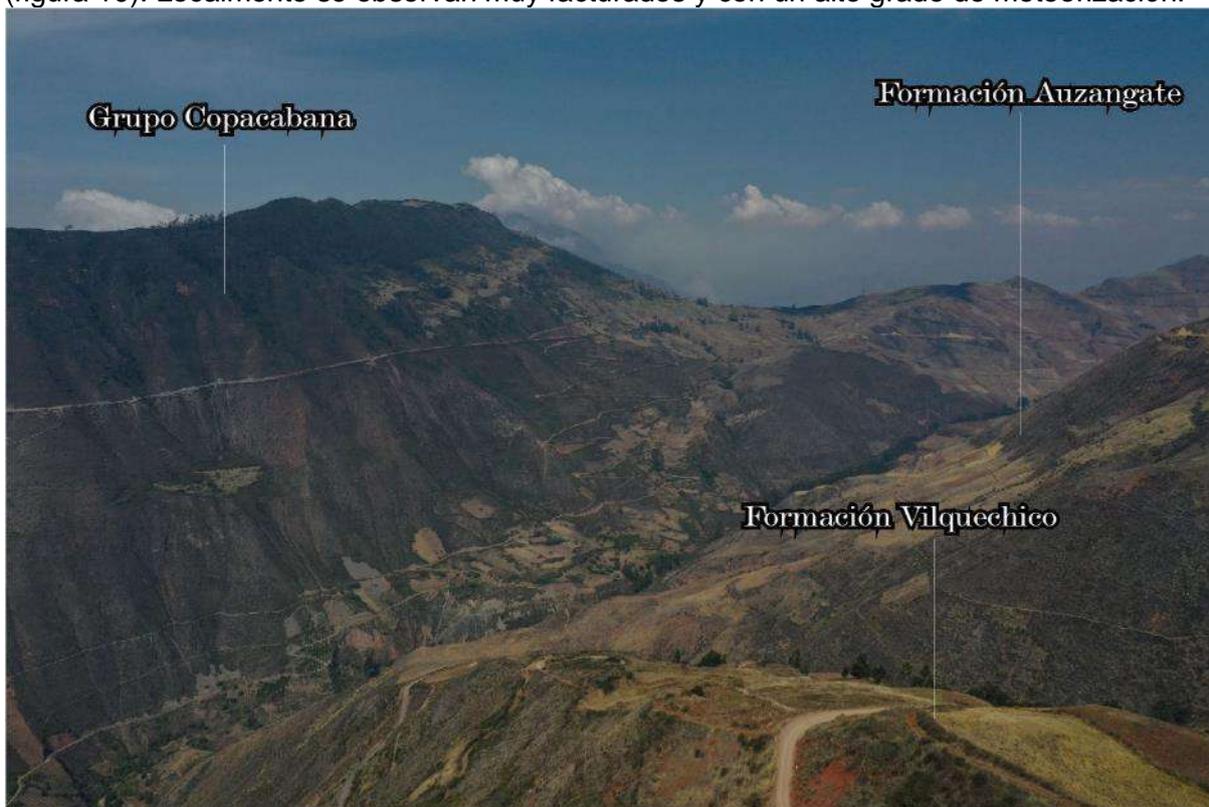
De manera general el área de estudio se encuentra sobre rocas de origen sedimentario de edades Pérmico (Grupo Copacabana) y Cretácico (formaciones Muñani, Auzangate y Vilquechico).

A continuación, se describe brevemente la composición y características litológicas de los depósitos y formaciones identificadas en los trabajos de campo (Anexo 1-mapa 1).

#### 4.1.1. Grupo Copacabana

Este Grupo esta dividido en dos miembros. En las rocas atribuidas a la unidad inferior se observa una potente secuencia calcáreas que forma parte de una estructura anticlinal. Los afloramientos de la unidad superior están conformados por una secuencia de lutitas y calizas,. (Lipa et al.,2003).

Estos afloramientos se observan en la parte media de la ladera este del cerro Rurupaya (margen derecha de la quebrada Rurupaya) y conforma montañas en la margen izquierda (figura 10). Localmente se observan muy facturados y con un alto grado de meteorización.



**Figura 10.** Afloramientos del Grupo Copacabana en la margen izquierda de la quebrada Rurupaya.

#### 4.1.2. Formación Vilquechico

Esta formación consiste aproximadamente 80 m de limolitas calcáreas de color amarillo, areniscas cuarzosas y arcosas gris blanquecinas de grano medio, intercaladas con limoarcillitas laminadas, calizas laminadas de color gris verdoso a violáceo y lutitas grises (Lipa et al.,2003).

Localmente se observan areniscas cuarzosas cubiertas por depósitos coluviales de antiguos movimientos en masa, estos afloramientos se observan muy fracturados con separaciones entre fracturas de 0.3 y 0.05 m, además de tener un grado de meteorización alto (cuadros 4 y 5 y fotografías 2 y 3).



**Fotografía 2.** Afloramientos de la Formación Vilquechico, en las coordenadas UTM, WGS 84, X:682728; Y:8505818.



**Fotografía 3.** Afloramientos de la Formación Vilquechico, en las coordenadas UTM, WGS 84, X:682931; Y:8506020.

**Cuadro 4.** Clasificación del fracturamiento de los afloramientos de la Fm. Vilquechico (Grado de fracturamiento de rocas ISRM, 1981)

INTENSIDAD DE FRACTURAMIENTO				
NOMBRE	SEPARACIÓN	DESCRIPCIÓN		Clasificación
F1	> 3 m.	Maciza	Fracturas espaciadas entre si (mas de 3)	
F2	3 - 1 m.	Poco Fracturada	Fracturadas espaciadas a veces no distinguibles	
F3	1.0 - 0.3 m.	Medianamente Fracturada	Espaciamiento regular entre fracturas	
F4	0.30 - 0.05 m.	Muy Fracturada	Fracturas muy proximas entre si. Se separan en bloques tabulares	x
F5	< 0.05 m.	Fragmentada	La roca se muestra astillosa y se separan lajas con facilidad	

**Cuadro 5.** Clasificación de la meteorización de los afloramientos de la Fm. Vilquechico (Grado de meteorización de rocas ISRM, 1981)

GRADO DE METEORIZACIÓN				
NOMBRE	DESCRIPCIÓN			Clasificación
A1	Roca fresca	No hay signos visibles de meteorización , ligera decoración		-
A2	Ligeramente meteorizada	Decoloración en la roca y en superficie de discontinuidades (fracturas)		< 10%
A3	Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material rocoso esta descompuesto o desintegrado a suelo		10-50 %
A4	Altamente meteorizada	Mas del 50% esta descompuesta y/o desintegrada a suelo, roca fresca o descolorida esta presente como testigos discontinuos.		50-90 %
A5	Completamente meteorizada	Todo el material rocoso esta descompuesto y/o meteorizado. La estructura original del macizo rocoso esta aun en parte intacta.		> 90 %
A6	Suelo residual	Todo el material rocoso esta convertido en suelo. La estructura y textura están destruidos.		100 %

#### 4.1.3. Formación Auzangate

Comprende aproximadamente más de 1000 m de grosor de lutitas, limoarcillitas, limolitas pardo-rojizas laminadas, alternadas eventualmente con gruesos estratos de areniscas marrón pardas (Lipa et al., 2003).

Localmente se observan limoarcillitas y limolitas pardas y rojizas (fotografía 4). Estas se observan fragmentadas y altamente a completamente meteorizadas (cuadros 6 y 7).

**Cuadro 6.** Clasificación de la meteorización de los afloramientos de la Fm. Auzangate (Grado de fracturamiento de rocas ISRM, 1981)

INTENSIDAD DE FRACTURAMIENTO				
NOMBRE	SEPARACIÓN	DESCRIPCIÓN		Clasificación
F1	> 3 m.	Maciza	Fracturas espaciadas entre si (mas de 3)	
F2	3 - 1 m.	Poco Fracturada	Fracturadas espaciadas a veces no distinguibles	
F3	1.0 - 0.3 m.	Medianamente Fracturada	Espaciamiento regular entre fracturas	
F4	0.30 - 0.05 m.	Muy Fracturada	Fracturas muy proximas entre si. Se separan en bloques tabulares	
F5	< 0.05 m.	Fragmentada	La roca se muestra astillosa y se separan lajas con facilidad	x

**Cuadro 7.** Clasificación de la meteorización de los afloramientos de la Fm. Auzangate (Grado de meteorización de rocas ISRM, 1981)

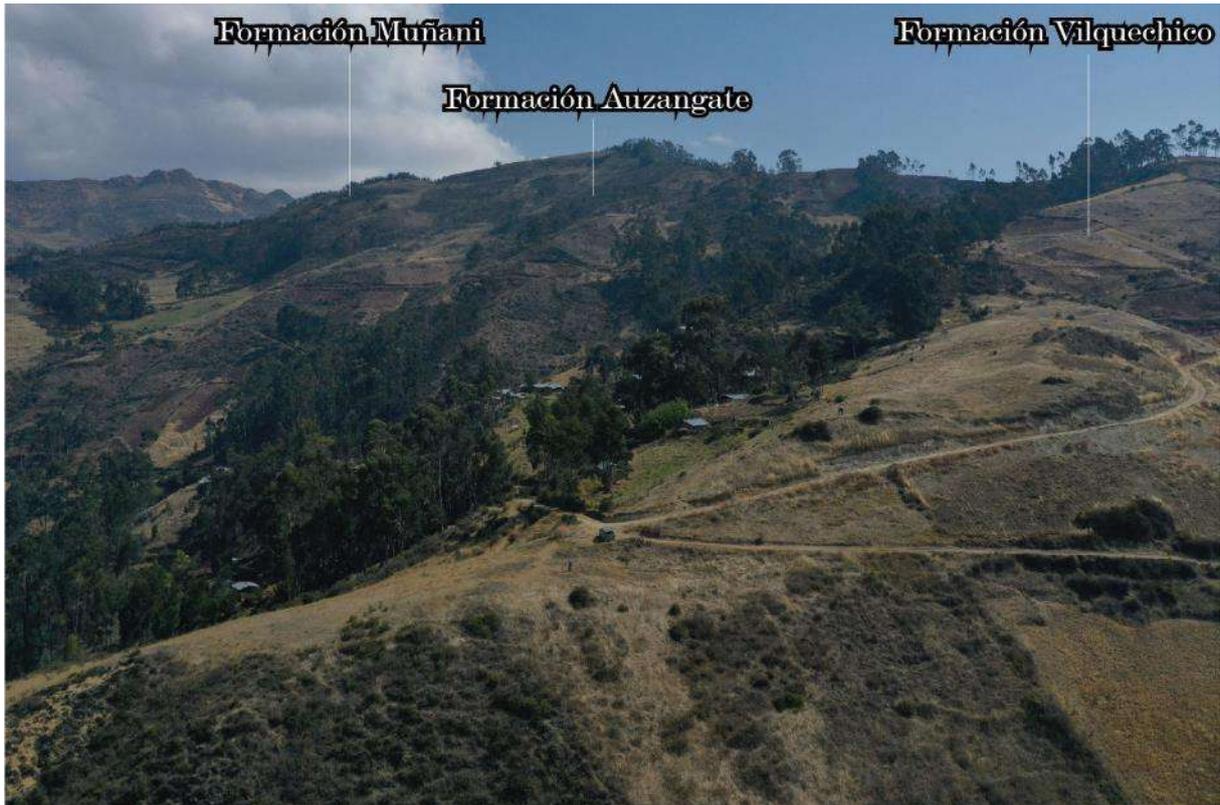
GRADO DE METEORIZACIÓN				
NOMBRE	DESCRIPCIÓN			Clasificación
A1	Roca fresca	No hay signos visibles de meteorización , ligera decoración		-
A2	Ligeramente meteorizada	Decoloración en la roca y en superficie de discontinuidades (fracturas)		< 10%
A3	Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material rocoso esta descompuesto o desintegrado a suelo		10-50 %
A4	Altamente meteorizada	Mas del 50% esta descompuesta y/o desintegrada a suelo, roca fresca o decolorida esta presente como testigos discontinuos.		50-90 %
A5	Completamente meteorizada	Todo el material rocoso esta descompuesto y/o meteorizado. La estructura original del macizo rocoso esta aun en parte intacta.		> 90 %
A6	Suelo residual	Todo el material rocoso esta convertido en suelo. La estructura y textura están destruidos.		100 %



**Fotografía 4.** Afloramientos de la Formación Auzangate, en las coordenadas UTM, WGS 84, 682455; Y:8505236.

#### 4.1.4. Formación Muñani

Compuesto predominantemente de areniscas pardo-rojizas, que se alternan con lutitas y limoarcillitas rojas. Se observan indirectamente al suroeste del sector de Trojahuasi (figuras 11 y 12).



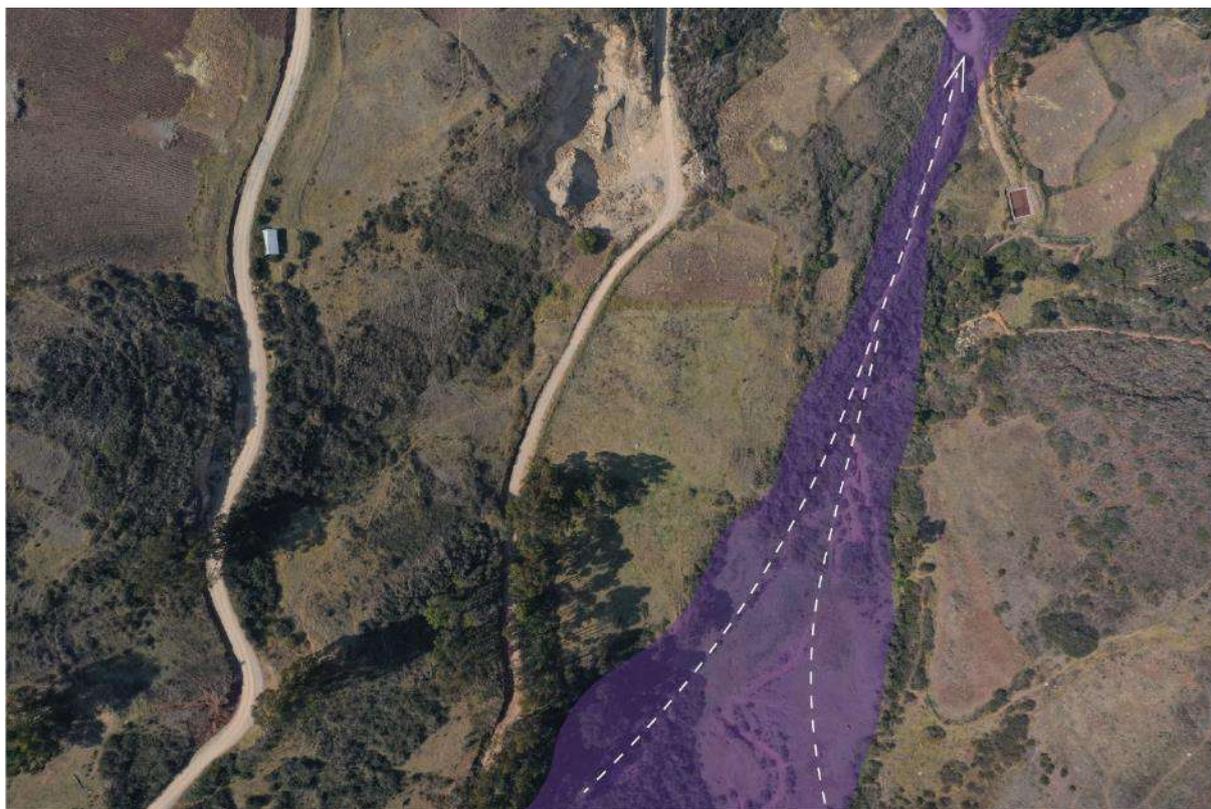
**Figura 11.** Afloramientos de la Formación Muñani al sur oeste de la localidad de Trojahuasi.



**Figura 12.** Afloramientos de la Formación Muñani al sur oeste de la localidad de Trojahuasi.

#### 4.1.5. Depósito proluvial (Qh-pl)

Estos depósitos se ubican en los cauces de quebradas, por ejemplo, en la quebrada Rurupaya y Puyuri. Corresponde al material asociado a los flujos de detritos (huaicos) conformados por fragmentos rocosos heterométricos de diferente composición y formas angulosas a subangulosas con matriz areno-limosa, poco a medianamente densos (Figura 13). Este tipo de depósitos es susceptible a reactivarse en el futuro. Según la versión de los pobladores el último evento (flujo de lodos) se suscitó en el 2012, dejando material fino (arcillas y limos) en la ladera este del cerro Rurupaya.



**Figura 13.** Depósitos proluviales (flujos de lodo) en el sector de Trojahuasi.

#### 4.1.6. Depósito coluvial (Qh-co)

Los depósitos coluviales, sobreyacen a las formaciones Vilquechico y Auzangate fueron conformadas por movimientos en masa, deslizamientos antiguos y reactivados. Estos depósitos se observan con una textura harinosa, conformada por bolos (10%), gravas (40%) gránulos (5%), arenas (20%), limos (20%) y arcillas (5%) envueltos en una matriz areno-limosa (25%) (suma de limos y arcillas) medianamente consolidado, el porcentaje referencial del material detrítico se describen en el cuadro 8, la forma promedio de los fragmentos rocosos es discoidal, subangulosa, con matriz medianamente plástica.

Cuando los depósitos coluviales se mezclan con depósitos deluviales de bajo transporte conforman depósitos coluvio-deluviales (fotografías 5 y 6).

**Cuadro 8.** Descripción preliminar de las características del depósito coluvial en el sector de Trojahuasi.

GRANULOMETRÍA		FORMA		REDONDES		PLASTICIDAD	
10	Bolos	<input type="checkbox"/>	Esférica	<input type="checkbox"/>	Redondeado	<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad
-	Cantos	<input checked="" type="checkbox"/>	Discoidal	<input type="checkbox"/>	Subredondeado	<input checked="" type="checkbox"/>	Med. Plástico
40	Gravas	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input type="checkbox"/>	Anguloso	<input type="checkbox"/>	Baja Plasticidad
5	Gránulos	<input type="checkbox"/>	Cilíndrica	<input checked="" type="checkbox"/>	Subanguloso	<input type="checkbox"/>	No plástico
20	Arenas						
20	Limos						
5	Arcillas						

Además, mucho de estos depósitos se observan saturados por fuentes naturales (manantes de agua) y por las actividades antrópicas como el riego para agricultura (fotografías 5 y 6)



**Fotografía 5.** Depósitos coluvio-deluviales saturados en las coordenadas UTM, WGS 84, X:682397.45; Y:8505365.73



**Fotografía 6.** Depósitos coluvio-deluviales saturados en las coordenadas UTM, WGS 84, X:682455.66; Y:8505414.68.

#### **4.2. Análisis litológico en el sector de acogida propuesto por la Municipalidad distrital de Kaquiabamba**

Para analizar la litología en el área de inspección (incluido el sector de acogida propuesta por la Municipalidad distrital de Kaquiabamba) se realizaron dos perfiles que cortan la zona de interés (figura 14), con la finalidad de realizar una interpretación en base al mapa geológico del anexo 1 – mapa 1 y las unidades litoestratigráficas descritas anteriormente.

##### **Perfil A-A´ (figura 15)**

El perfil A-A´ (figura 15) tiene una dirección SW-NE y una longitud de 2500 m, en esta se puede observar que el área de acogida ocupa una longitud de 155 m y se ubica sobre afloramientos (muy fracturados y altamente meteorizados) de la Formación Vilquechico conformado por areniscas cuarzosas intercalados con lutitas y limolitas.

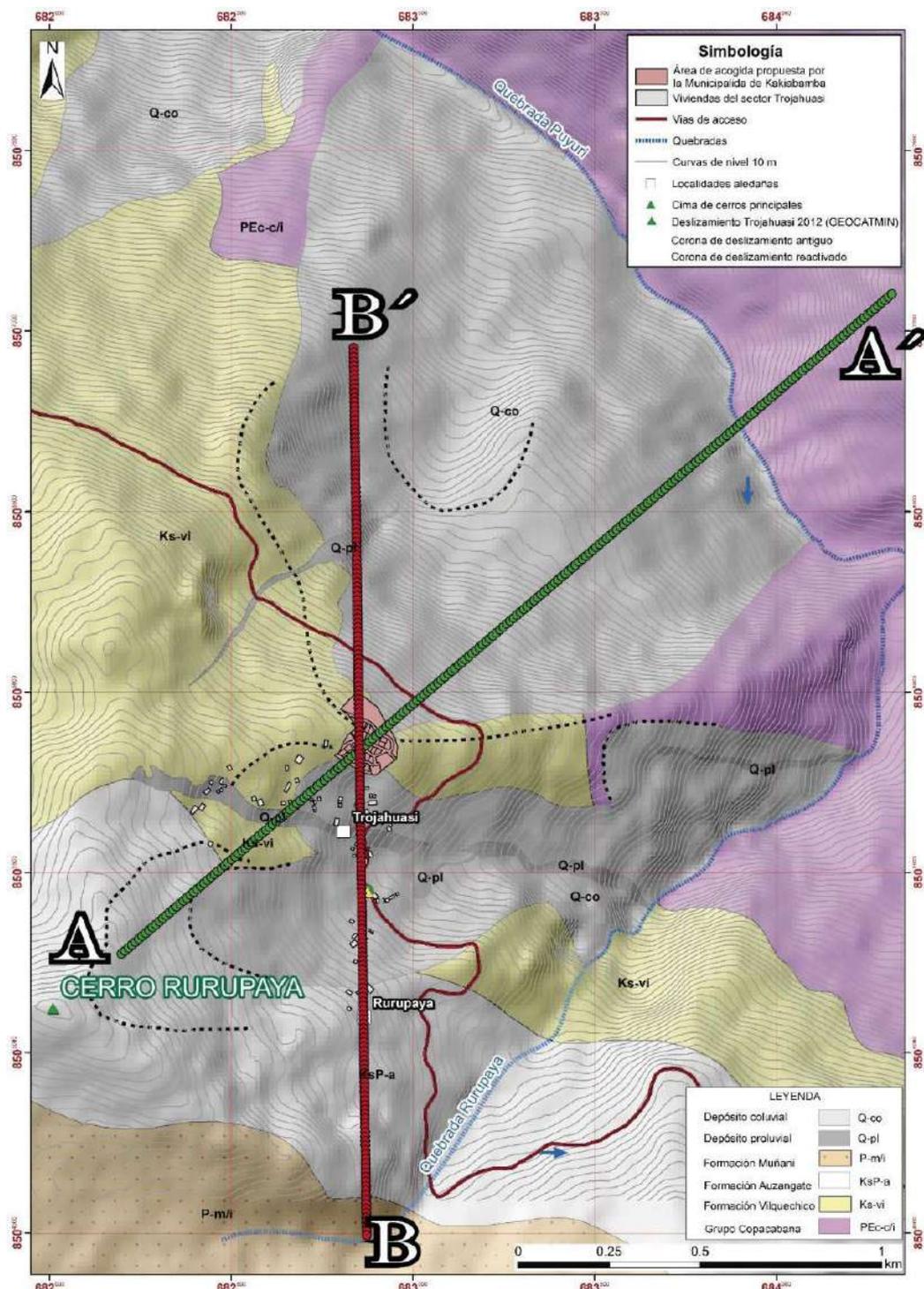
Esta área se encuentra limitada y afectada hacia el SW, por depósitos coluviales de deslizamientos antiguos que afectaron el anexo de Trojahuasi, terreno conformado por gravas y gravillas envueltos en una matriz limo-arcillosa, saturada y plástica susceptible a generar nuevos deslizamientos que podrían afectar viviendas allí asentadas.

Por el noreste también se encuentra afectada por un deslizamiento antiguo de mayor magnitud, con evidencias de reactivamientos en el cuerpo y escarpa de deslizamiento retrogresiva que podría afectar viviendas que allí asentadas.

**Perfil B-B' (figura 16)**

El perfil B-B' (figura 16) tiene una dirección N-S y una longitud de 2400 m, en esta se puede observar que el área de acogida ocupa una longitud de 215 m y se ubica sobre afloramientos muy fracturados y altamente meteorizados de la Formación Vilquechico conformado por areniscas cuarzosas intercalados con lutitas y limolitas.

De igual manera este corte muestra que los limites N y S del área de acogida se encuentran limitados y afectados por depósitos coluviales conformado por deslizamientos antiguos.



**Figura 14.** Mapa geológico en los alrededores del sector de Trojahuasi, muestra los cortes de perfil A-A' y B-B'.

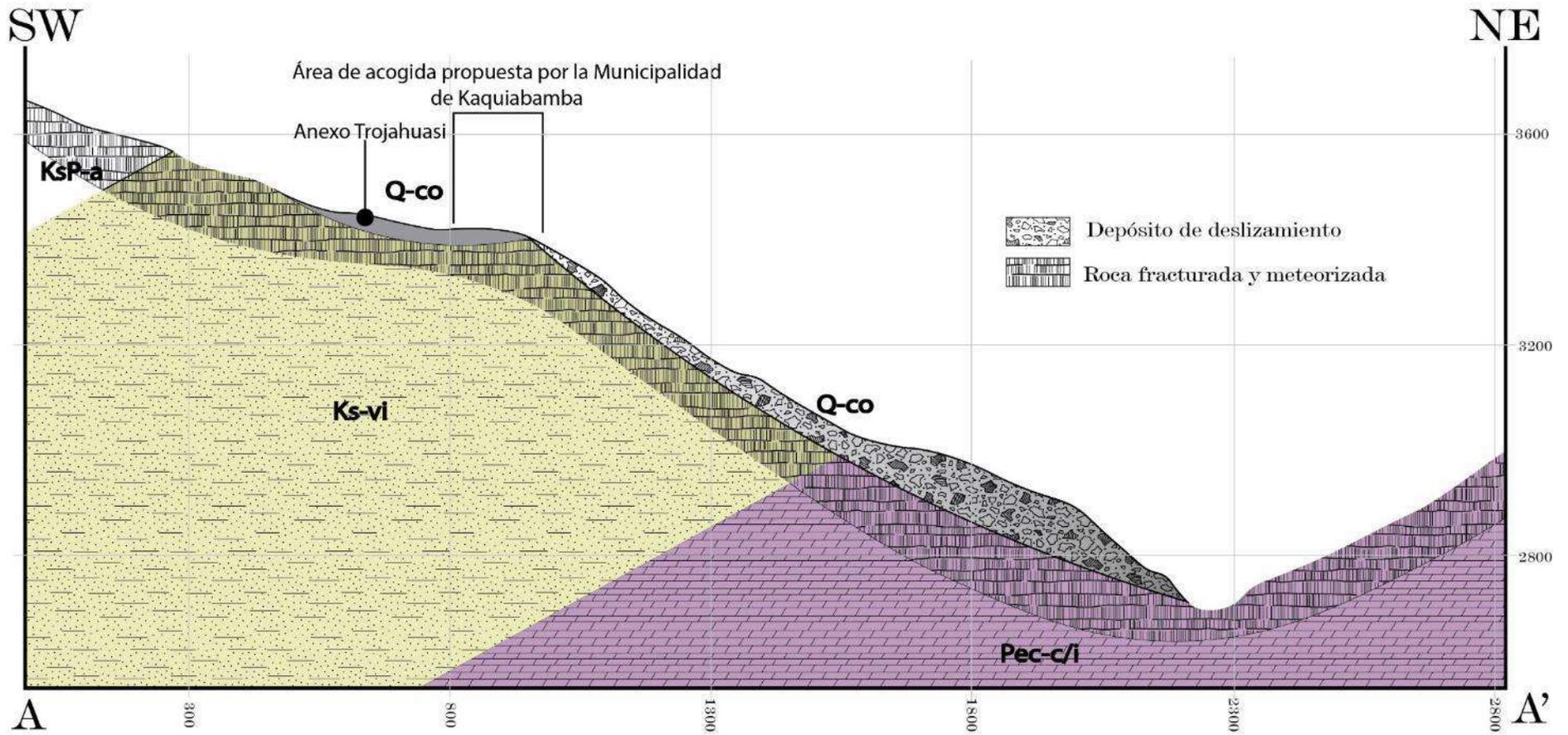


Figura 15. Perfil A-A' litoestratigráfico del mapa 1 – anexo 1.

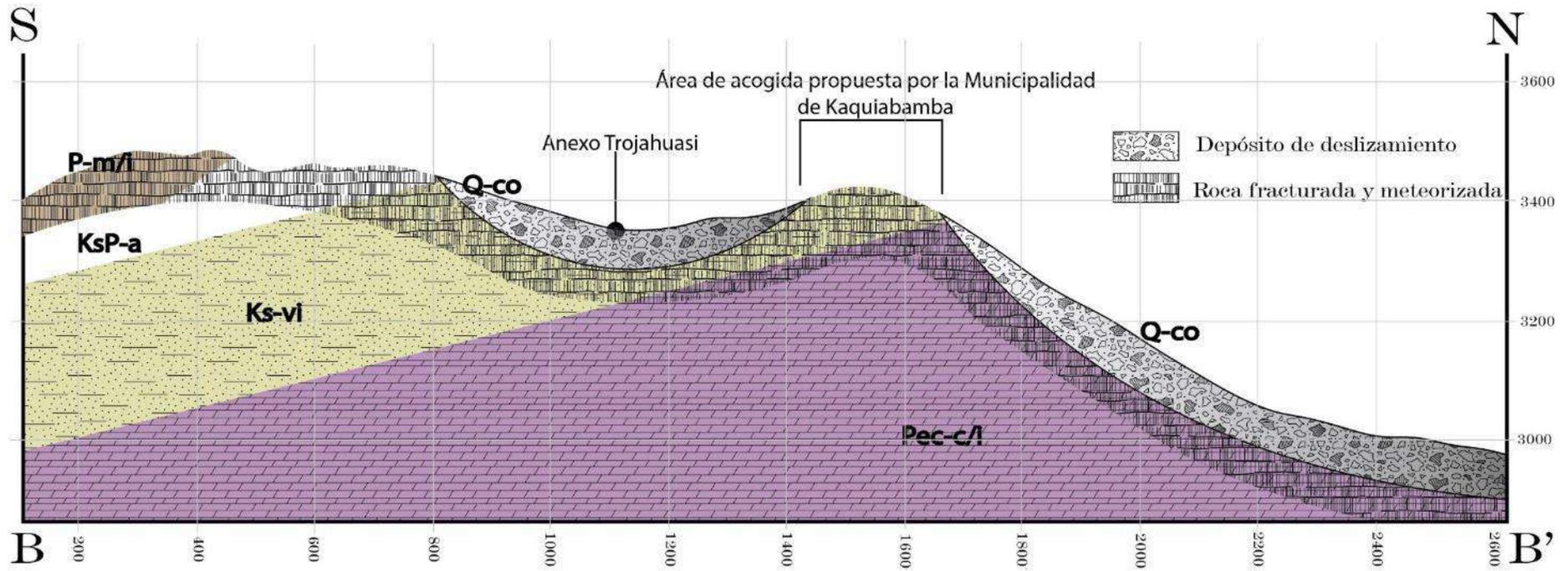


Figura 16. Perfil B-B' litoestratigráfico del mapa 1 – anexo 1.

## 5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

### 5.1. Pendientes del terreno

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de 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 que actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el área de inspección se han identificado 6 rangos de pendientes descritos en el cuadro 9, así como en el mapa 2 del anexo 1.

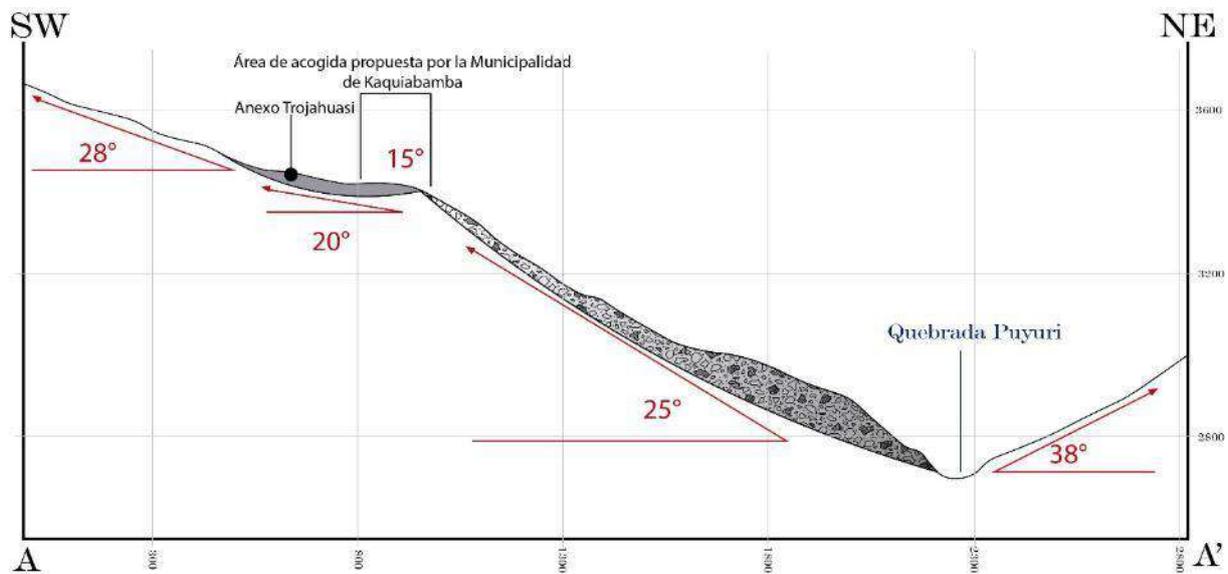
**Cuadro 9.** Rangos de pendiente identificados en el área de inspección. presentes en la leyenda del mapa 2, del anexo 1.

RANGO	DESCRIPCIÓN	SECTOR	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
0°-1°	Terreno Llano	Se diferencian pequeños sectores con esta pendiente (< 0.1 km <sup>2</sup> ), en algunas partes del cuerpo de deslizamiento antiguo y zona urbana de Trojahuasi.	Terrenos antrópicos donde existen construcciones urbanas en Trojahuasi.
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave	Se diferencian pequeños sectores con esta pendiente (< 0.5 km <sup>2</sup> ), en algunas partes del cuerpo de deslizamiento antiguo y zona urbana de Trojahuasi.	Terrenos antrópicos donde existen construcciones urbanas en Trojahuasi.
5°-15°	Pendiente moderada	Se presenta en el cuerpo de deslizamientos antiguos y en parte del área de acogida propuesta por la municipalidad de Kaquiabamba	vertiente de deslizamiento y parte del área de acogida propuesta por la municipalidad de Kaquiabamba.
15°-25°	Pendiente fuerte	Se presenta en la mayor parte de la ladera este del cerro Rurupaya, y en ambas laderas S y N del área de acogida propuesta por la municipalidad de Kaquiabamba.	Extremos S y N del área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpada	Se presenta en los extremos SW y NE del área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.	Extremos SW y NE del área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.
>45°	Terreno muy escarpado	Se presenta en algunos sectores correspondientes a escarpas de deslizamientos antiguos y derrumbes en la ladera este del cerro Rurupaya.	Escarpes de deslizamientos antiguos en la ladera este del cerro Rurupaya.

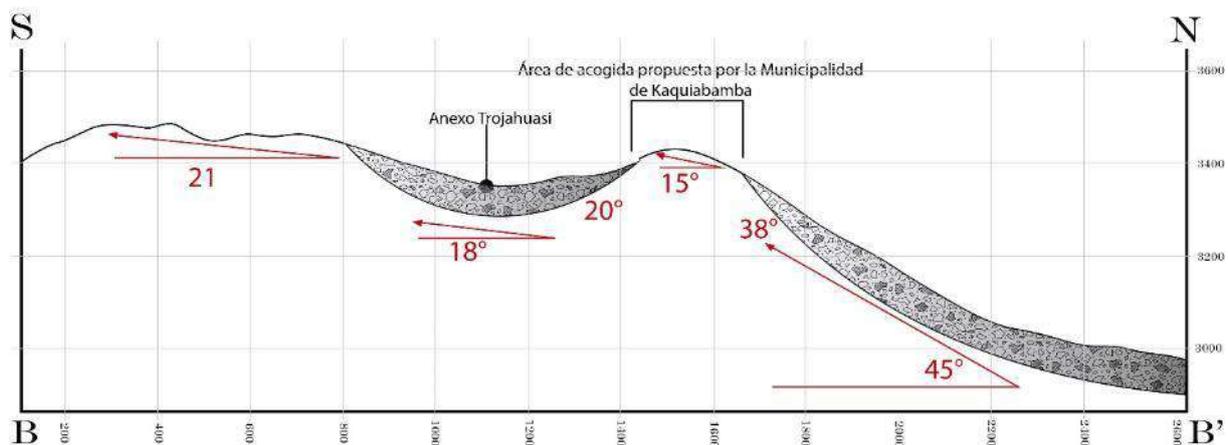
## 5.2. Pendientes del terreno de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba

El análisis de las pendientes en el perfil A-A', muestra que el área de inspección está limitada hacia el NE por la quebrada Puyuri, donde el pie del deslizamiento antiguo en la margen izquierda de la quebrada tiene una pendiente promedio de 25°, posteriormente se observa el terreno de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba con una pendiente promedio de 15°, encima de esta área las pendientes superan los 28° (figura 17).

El análisis de las pendientes en el perfil B-B', muestra que el área de inspección está limitada hacia el Norte por el cuerpo de un deslizamiento antiguo con pendientes promedio de 45° y por el Sur por otro cuerpo de deslizamiento antiguo con pendientes de 18°, este sector también corresponde al área donde se asientan las viviendas del anexo Trojahuasi (figura 18).

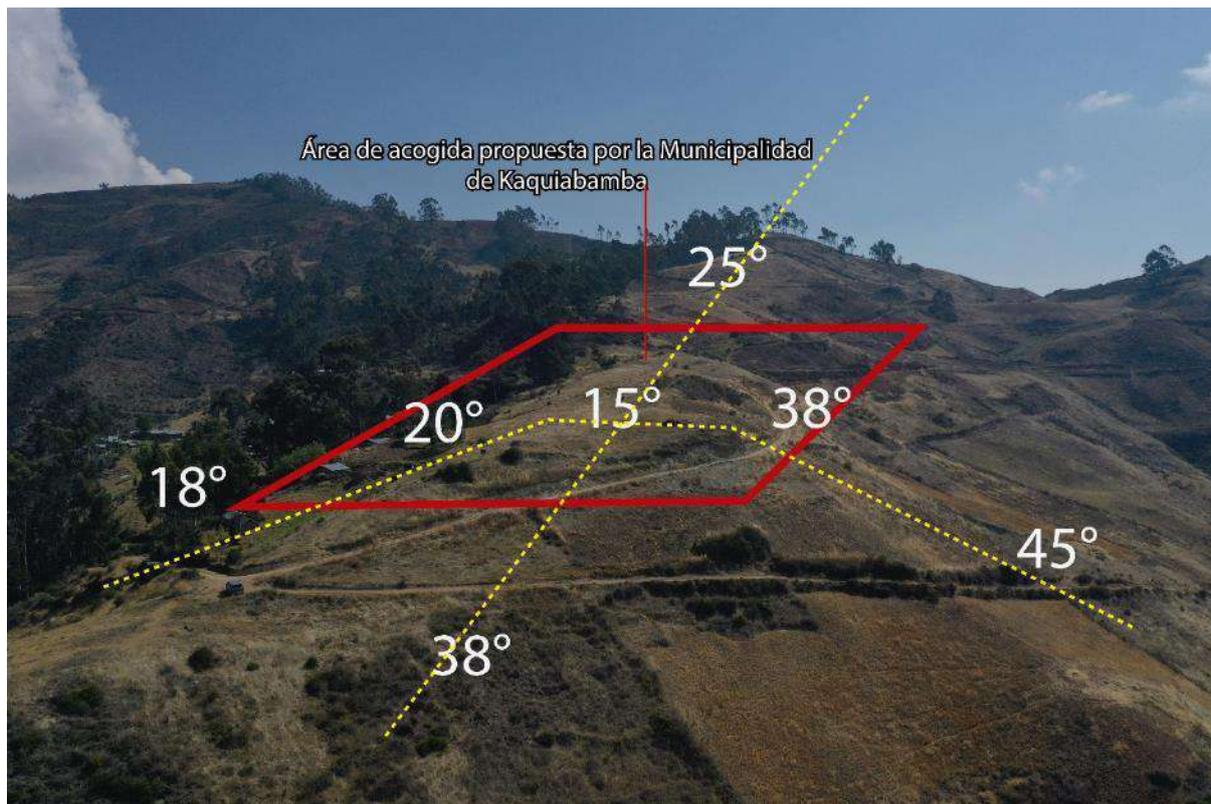


**Figura 17.** Pendientes en los extremos del área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba (perfil A-A' de la figura 14).



**Figura 18.** Pendientes en los extremos del área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba (perfil B-B' de la figura 14).

Si analizamos de manera más local el área de acogida, veremos que está limitado por caída (laderas) de 18°. 20° y 45° en direcciones sur, este y norte respectivamente, además hacia el oeste se observan pendientes de 25° que continúan hasta la cima de la montaña (figura 19).



**Figura 19.** Pendientes en los extremos del área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.

### 5.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual; en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez et al., 2019).

Dentro de las unidades geomorfológicas aquí se tiene:

#### 5.3.1. 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 originados por la tectónica, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

**Subunidad de montaña en roca sedimentaria (RME-rs):** Esta subunidad está conformada por secuencias sedimentarias representadas por areniscas, calizas y limolitas de las formaciones Vilquechico, Auzangate y Muñani, así como del Grupo Copacabana.

Desde a quebrada Puyuri estas montañas alcanzan alturas de 800 m, con laderas de pendientes fuerte, muy fuertes y escarpadas, que han sufrido procesos de movimientos en masa como deslizamientos y derrumbes.

#### 5.3.1. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento y por agentes móviles como el agua de escorrentía, los glaciares, etc., los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la

tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados (Luque et al.,2020).

**Vertiente de deslizamiento (V-dd):** Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa prehistóricos, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, derrumbes, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea, con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles. Su morfología es usualmente convexa y con disposición semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

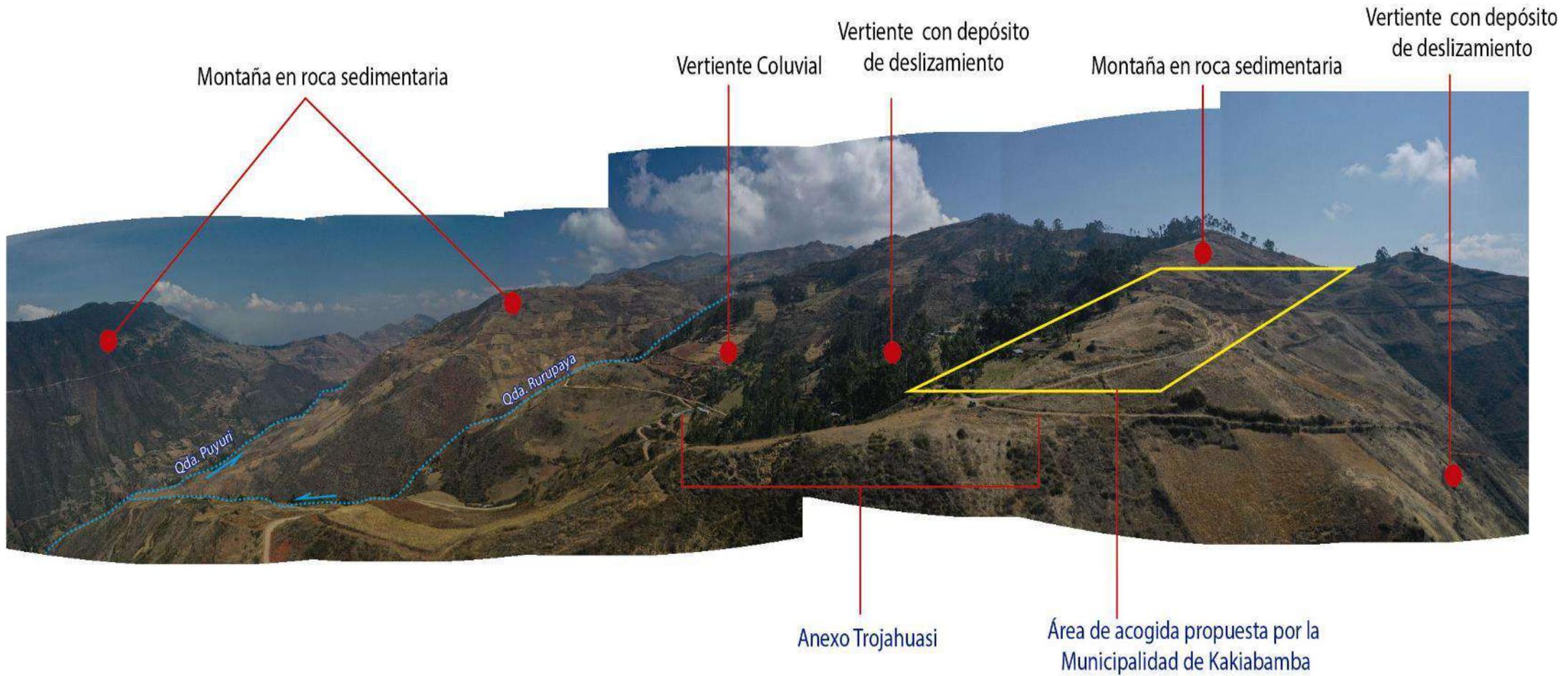
Esta es la principal unidad geomorfológica identificada en el área de inspección, corresponde al depósito detrítico de deslizamientos antiguos ubicados al NE y SE del anexo de Trojahuasi y el área de acogida.

**Vertiente o piedemonte coluvial (V-co):** Es la unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial se encuentran acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles.

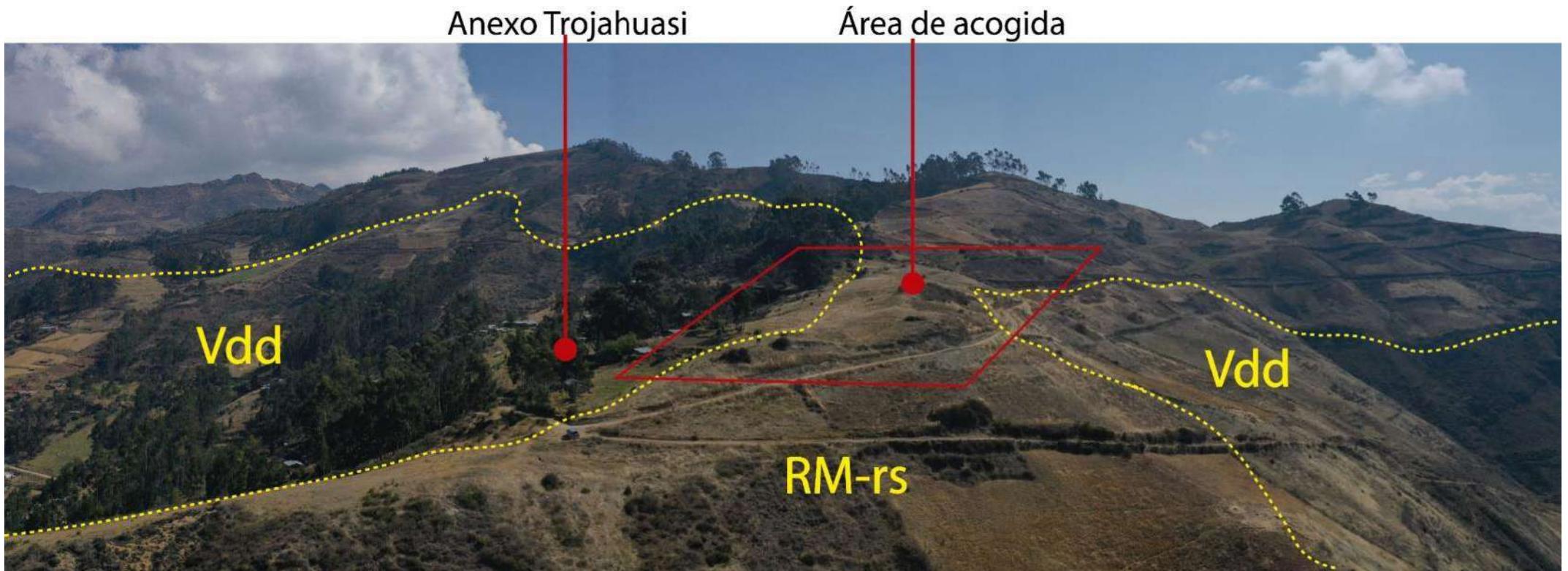
En el área de inspección estos depósitos cubren las laderas de las montañas con pendientes fuertes de hasta 25°, están conformados por bloques de areniscas englobadas en una matriz limo arcillosa, que presenta evidencias de movimiento e inestabilidad.



**Figura 20.** Unidades geomorfológicas al NE del área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.



**Figura 21.** Unidades geomorfológicas alrededor del parrea de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.



**Figura 22.** Unidades geomorfológicas en los extremos de área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS

### 6.1. Peligros por movimientos en masa

#### 6.1.1. Deslizamientos

En el sector de Trojahuasi se han identificado 04 deslizamientos rotacionales inactivo latente y 05 deslizamientos rotacionales reactivados (cuadros 10 y 11, figura 29 y mapa 4 del anexo 1)

**Cuadro 10.** Deslizamientos de carácter inactivo latente identificados en el sector de Trojahuasi.

TIPO DE PELIGRO	ACTIVIDAD	ID	X (metros)	Y (metros)	Área (km <sup>2</sup> )
Deslizamiento rotacional	Inactivo Latente	8	683221.2	8507050.8	0.42
Deslizamiento rotacional	Inactivo Latente	9	683152.9	8506691.4	1.08
Deslizamiento rotacional	Inactivo Latente	10	682807.5	8505369.3	0.21
Deslizamiento rotacional	Inactivo Latente	11	683811.6	8505786.4	0.13

**Cuadro 11.** Deslizamientos de carácter reactivado identificados en el sector de Trojahuasi.

TIPO DE PELIGRO	ACTIVIDAD	ID	X (metros)	Y (metros)	Área (km <sup>2</sup> )
Deslizamiento rotacional	Reactivado	12	683735.2	8506924.8	0.05
Deslizamiento rotacional	Reactivado	13	683799.4	8506530.7	0.20
Deslizamiento rotacional	Reactivado	14	683242.3	8505586.5	0.21
Deslizamiento rotacional	Reactivado	15	682944.3	8505442.4	0.06
Deslizamiento rotacional	Reactivado	16	683024.8	8506017.8	0.04

**Deslizamiento 10:** Este deslizamiento antiguo corresponde al material detrítico sobre el cual se ubica el anexo de Trojahuasi (figura 23) y presenta las siguientes características:

- Forma de la escarpa: Circular.
- Estado de la escarpa: Erosionado.
- Longitud de la escarpa: 520 m.
- Desnivel entre la escarpa y pie: 357 m.
- Ubicación de la escarpa: Cabecera de la ladera.
- Salto principal: aproximadamente 25 m (visibles).
- Salto secundario: diversos escarpamientos entre 1 y 5 m.
- Superficie de deslizamiento: rotacional (inferido en base a la geomorfología).
- Distribución o actividad: retrogresivo.
- Agrietamientos:  
 Longitud: 10 cm  
 Profundidad: 5 cm (visible)  
 Separación: 2.5 cm.

Cabe resaltar que en el cuerpo de este deslizamiento se presenta alta saturación del terreno lo que favorece la inestabilidad y reactivación del cuerpo deslizado.

**Deslizamiento 09:** Este deslizamiento antiguo corresponde al material detrítico ubicado al sureste del área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba, tiene las siguientes características:

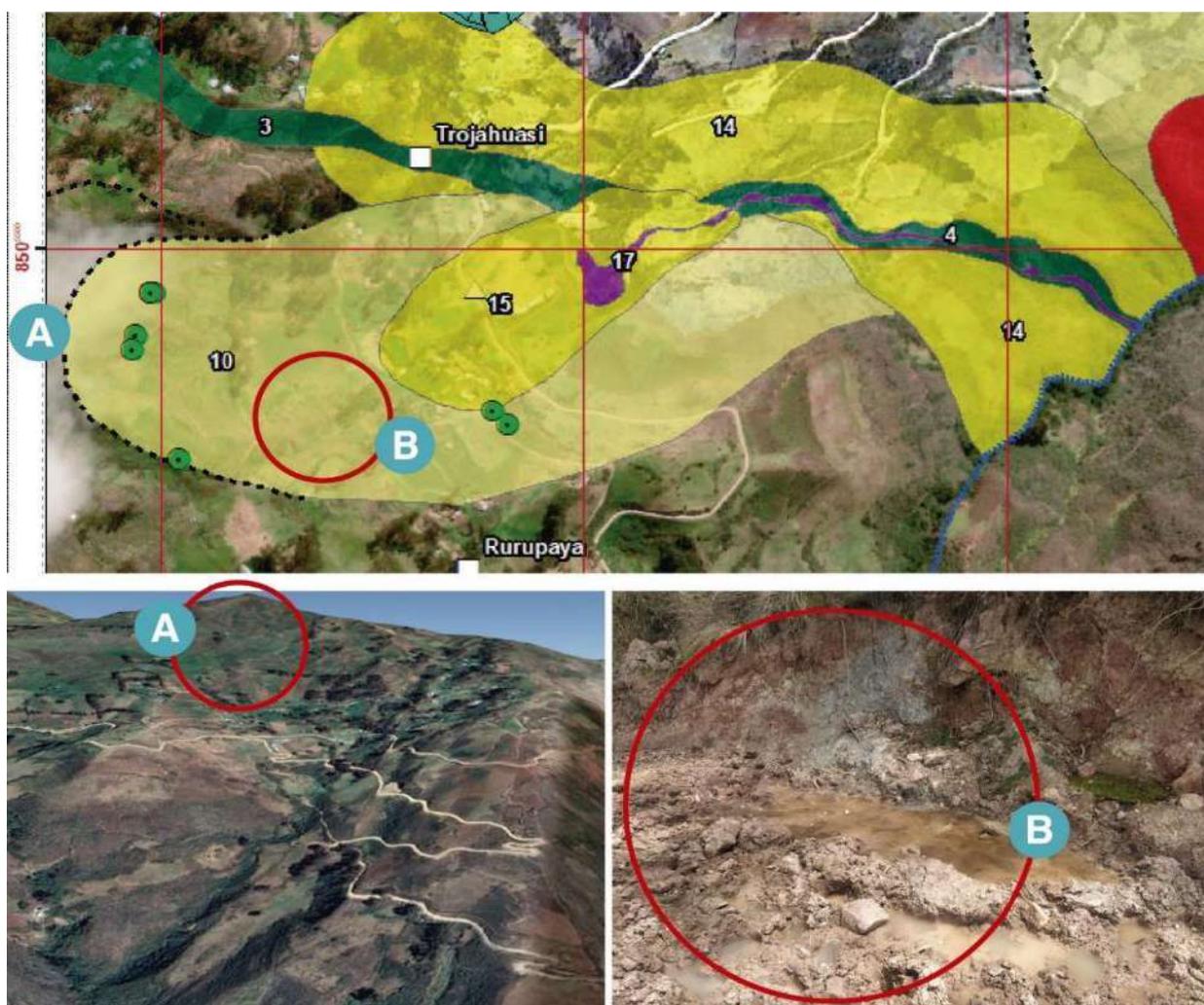
- Forma de la escarpa: Irregular/Semicircular.
- Estado de la escarpa: Erosionado.
- Longitud de la escarpa: 2 km.
- Desnivel entre la escarpa y pie: 700 m.

- Ubicación de la escarpa: Media.
- Salto principal: aproximadamente 100 m.
- Salto secundario: diversos escarpamientos entre 10 y 25 m.
- Superficie de deslizamiento: rotacional (inferido en base a la geomorfología).
- Distribución o actividad: retrogresivo.

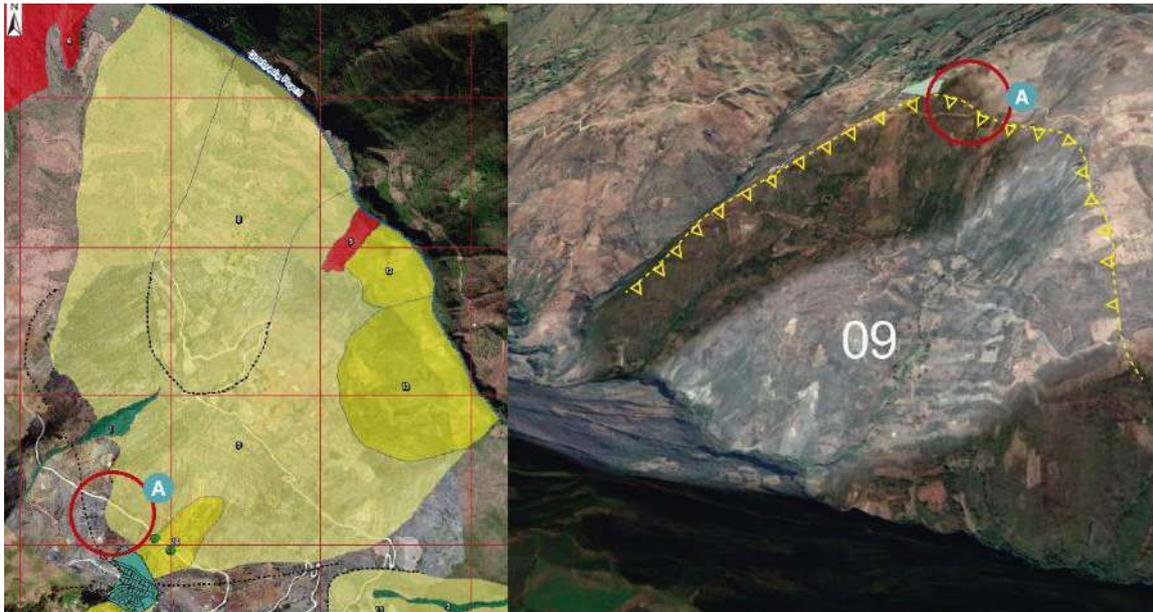
La escarpa principal de este deslizamiento se ubica a 85 m del área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba, por ello la característica retrogresiva de esta escarpa podría afectar eventualmente al terreno de acogida, si no se toman medidas preventivas inmediatas.

Satelitalmente también se observan reactivaciones en esta masa antigua, que evidencian la inestabilidad de esta (figura 25).

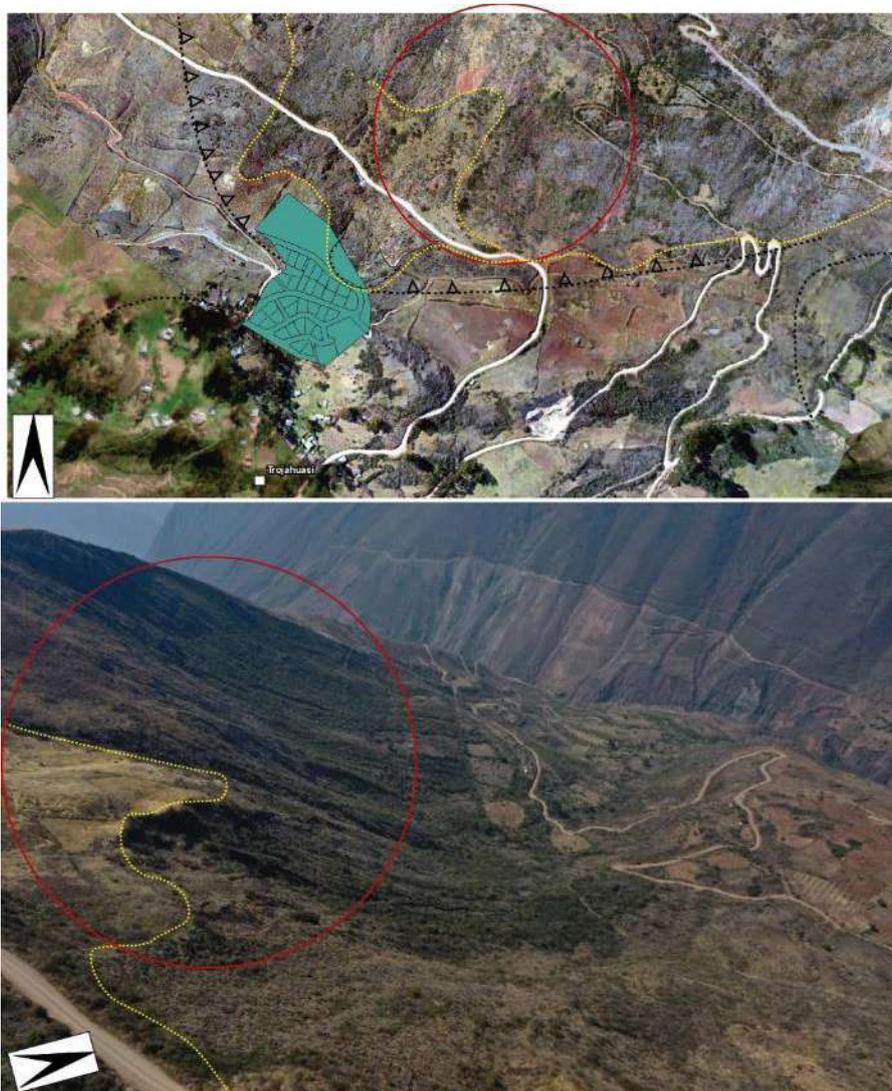
Los deslizamientos antiguos 11 y 8 se ubican en el pie de la ladera corresponde a la reactivación de los movimientos en masa 09 y 10, presenta longitudes de escarpa de 500 m, estos movimientos favorecen la inestabilidad del deslizamiento 09.



**Figura 23.** Cartografiado del deslizamiento antiguo inactivo latente numero 10. A) escarpa del deslizamiento; B) saturación del terreno en el cuerpo del deslizamiento.



**Figura 24.** Cartografiado del deslizamiento antiguo inactivo latente número 09. A) escarpa del deslizamiento.



**Figura 25.** Cartografiado del deslizamiento antiguo inactivo latente número 09. Muestra un a escarpa retrogresiva que eventualmente alcanzaría el sector de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.

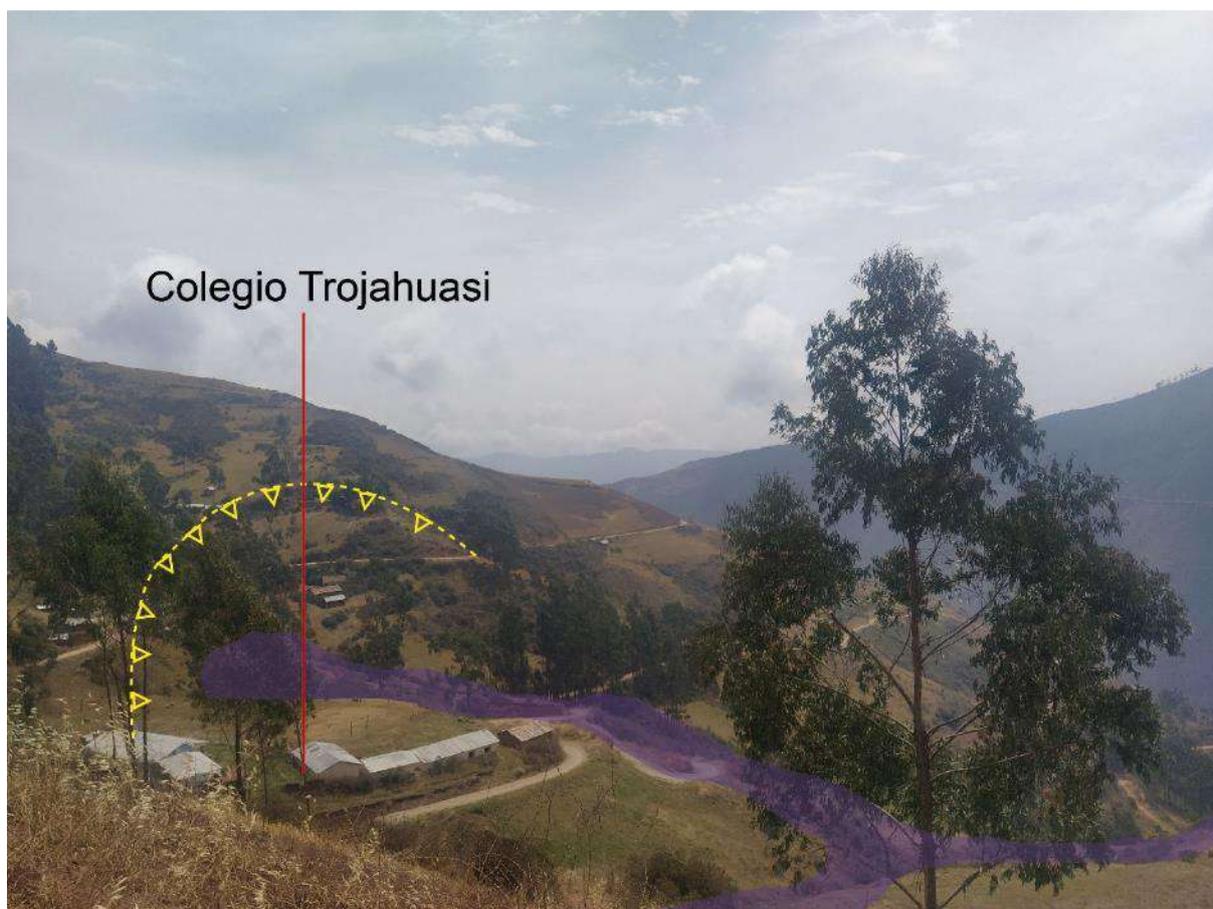
## Deslizamiento 15

Este deslizamiento se reactivó por ultima vez en marzo del 2012, se encuentra registrado en la base de datos de peligros geológicos del Geocatmin y en el segundo reporte de zona críticas de la región Apurímac (Villacorta et al., 2013) según el reporte de ese año este deslizamiento afectó 14 viviendas y un colegio del anexo Trojahuasi.

En septiembre del 2022, los trabajos de campo permitieron identificar en este cuerpo, escarpas de alturas entre 1 y 2 m, así como agrietamientos de hasta 1 m con aperturas de 10 cm, relacionados a la saturación del terreno por lo cual se le considera aun activo con un movimiento lento (figura 26).

Las características actuales de este deslizamiento son:

- Forma de la escarpa: Circular.
- Estado de la escarpa: Erosionado.
- Longitud de la escarpa: 150 m.
- Desnivel entre la escarpa y pie: 50 m.
- Ubicación de la escarpa: pie de la ladera.
- Salto principal: aproximadamente 10 m visibles.
- Salto secundario: diversos escarpamientos de máximo 1 m.
- Superficie de deslizamiento: rotacional (inferido en base a la geomorfología).
- Distribución o actividad: retrogresivo.



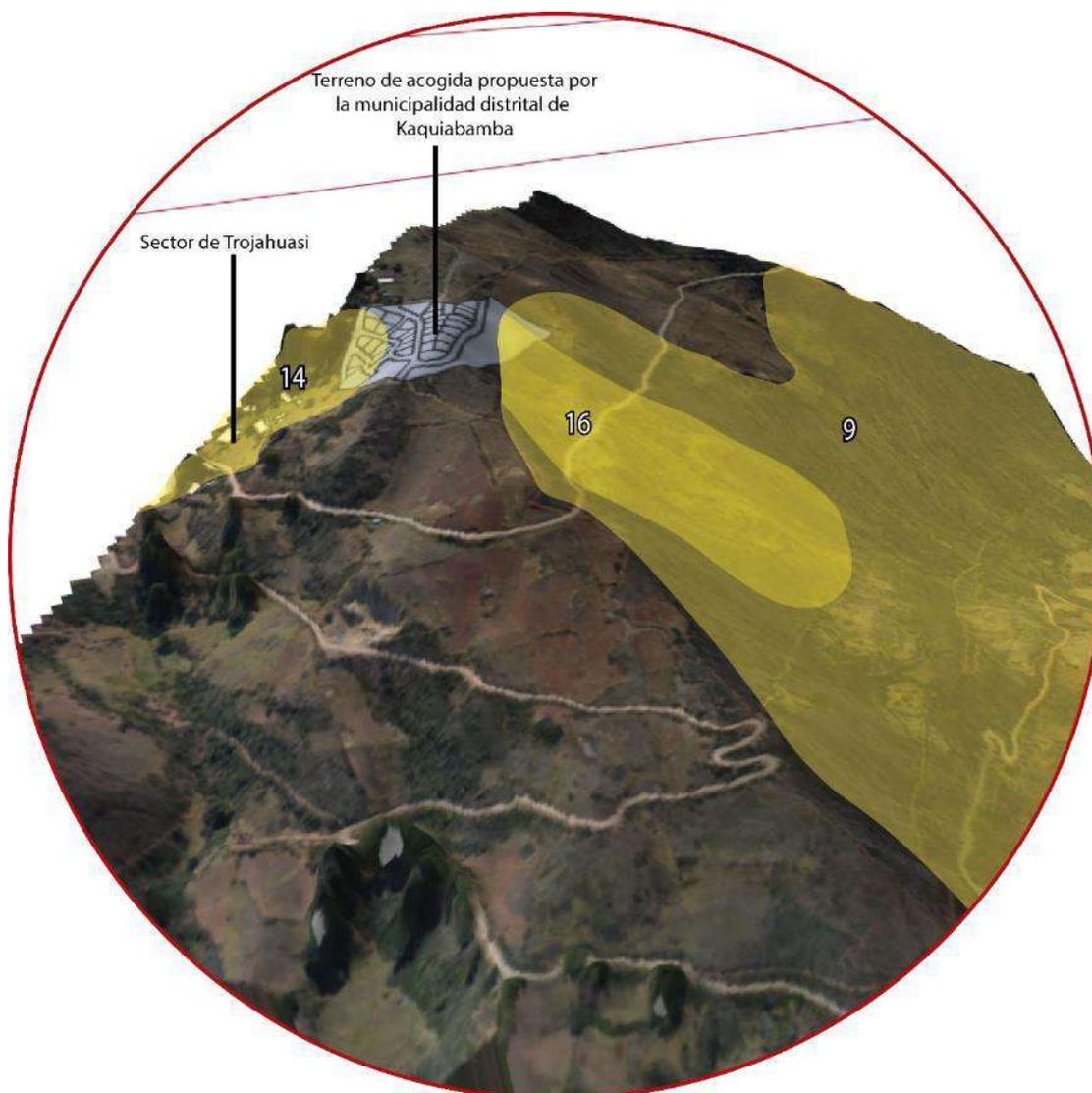
**Figura 26.** Escarpa del deslizamiento reactivado del 2012, muestra las evidencias de flujo de lodo subsecuentes al movimiento en masa.

## Deslizamiento 14 y 16

El deslizamiento 14 corresponde a reactivaciones al sur del terreno de acogida propuesta por la Municipalidad mientras que el deslizamiento 16 corresponde a reactivaciones del deslizamiento 09 descrito anteriormente, ubicado al norte del terreno de acogida y siendo este último el más relevante por presentar una escarpa marcada (figuras 27 y 29).

Las características del deslizamiento 16 son:

- Forma de la escarpa: Circular.
- Estado de la escarpa: Fresco
- Longitud de la escarpa: 93 m.
- Desnivel entre la escarpa y pie: 50 m.
- Ubicación de la escarpa: pie de la ladera.
- Salto principal: aproximadamente 9 m.
- Salto secundario: no se evidencian.
- Superficie de deslizamiento: rotacional (inferido en base a la geomorfología).
- Distribución o actividad: retrogresivo.



**Figura 27.** Deslizamientos que afectan el terreno del sector de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.

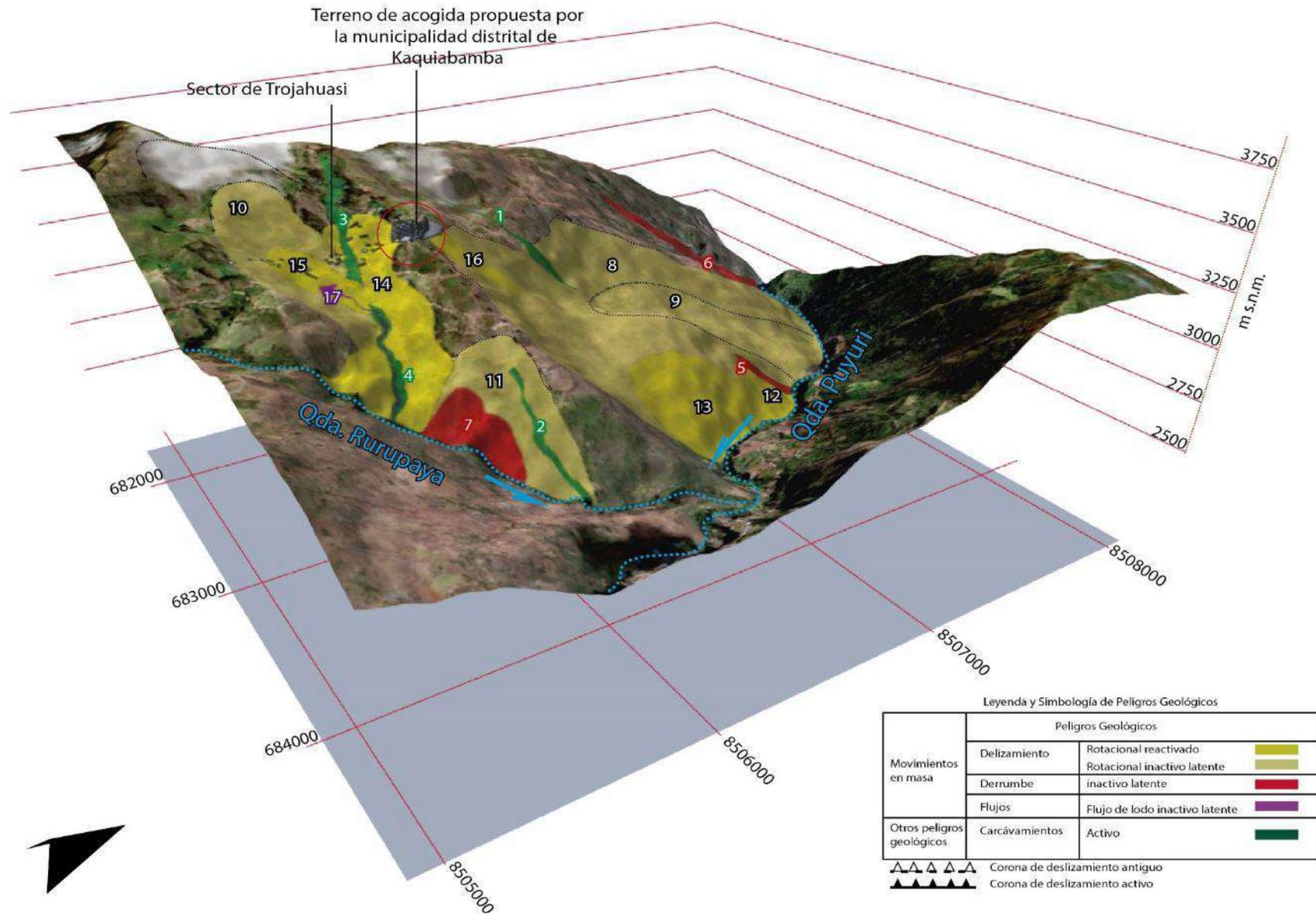
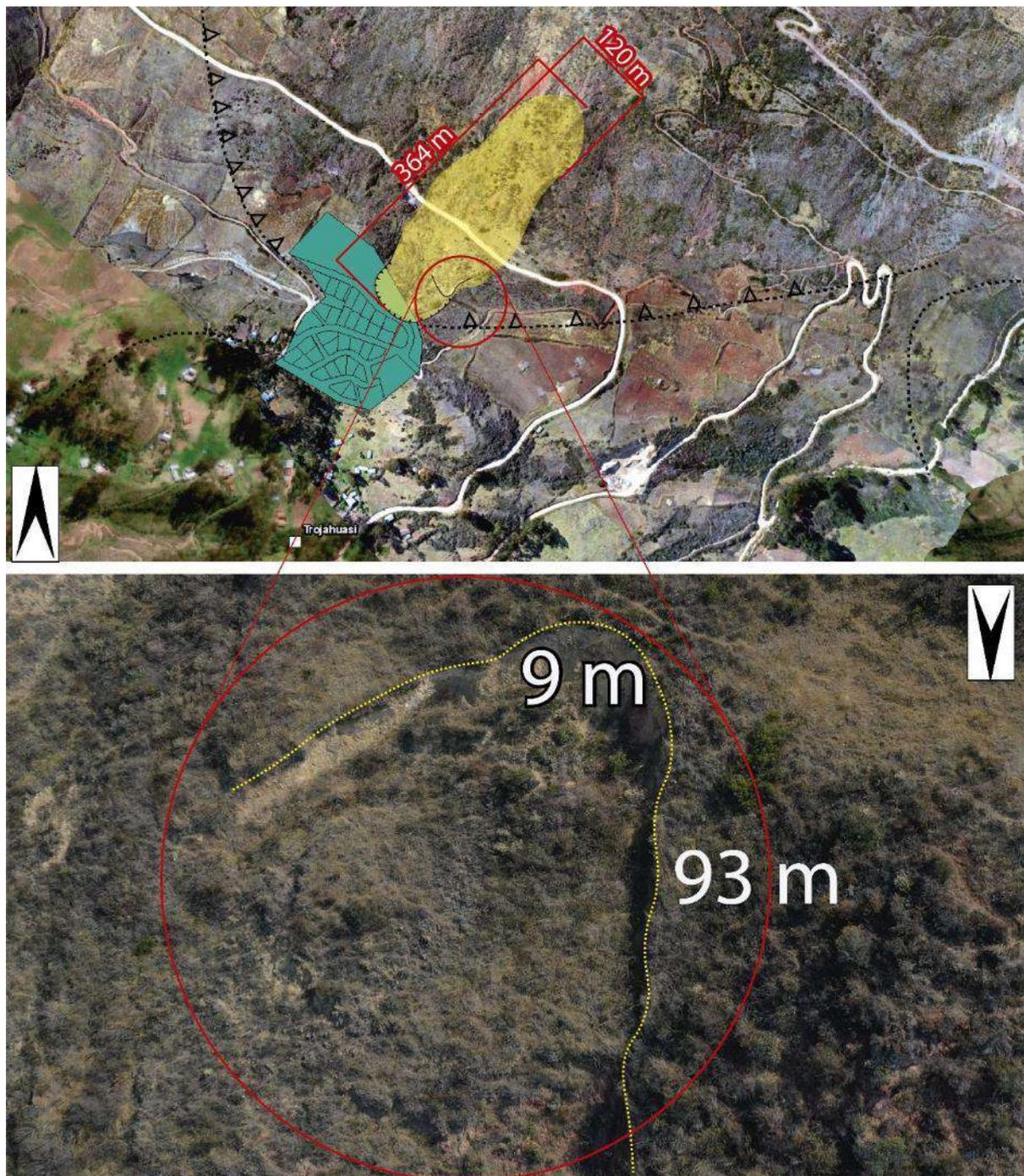


Figura 28. Peligros geológicos identificados en el sector de Trojahuasi.



**Figura 29.** Reactivación de deslizamiento identificado como el número 16.

#### 6.1.1. Derrumbes

En el sector de Trojahuasi se identificaron un total de 03 derrumbes el principal de ellos ubicado a 1.4 km al suroeste presenta un área de 0.33 km<sup>2</sup>, por la distancia al anexo de Trojahuasi y área de terreno de acogida se desestima la afectación a estos sectores.

Los derrumbes con código 5 y 7 se presentan en el pie de avance de los deslizamientos 09 y 11 respectivamente, depositando material detrítico en el cauce de la quebrada Puyuri, la actividad de estos favorece la desestabilización de los deslizamientos antiguos, que aunados a las precipitaciones y pendientes podrían generar la reactivación de deslizamientos en la parte superior de la ladera cercanos a los sectores de anexo Trojahuasi y el terreno de acogida.

**Cuadro 11.** Derrumbes identificados en el sector de Trojahuasi.

TIPO DE PELIGRO	ACTIVIDAD	ID	X (metros)	Y (metros)	Área (km2)
Derrumbes	Inactivo Latente	5	683600.6	8507020.0	0.02
Derrumbes	Inactivo Latente	6	682311.7	8507650.4	0.33
Derrumbes	Inactivo Latente	7	683821.0	8505622.7	0.05

#### 6.1.2. Flujos

Según la versión de los pobladores el último flujo se registro en marzo del 2012, a consecuencia de las precipitaciones que removieron el material detrítico del deslizamiento suscitado en la misma fecha, las evidencias en campo no revelan la presencia de material detrítico gravoso, por lo que se descarta la ocurrencia de flujo de detritos, clasificando el movimiento como un flujo de lodos, es decir con una mayor concentración de solidos de carácter fino (limos y arcillas).

#### 6.1.3. Otros peligros geológicos

Dentro de otros peligros geológicos reconocidos en el sector de Trojahuasi se tienen procesos de cárcavamientos, estos presentan una dirección promedio E-W, erosionando material detrítico de deslizamientos antiguos y areniscas y limos de la Formación Auzangate y Vilquechico.

TIPO DE PELIGRO	ACTIVIDAD	ID	X (metros)	Y (metros)	Área (km2)
Cárcavas	Activo	1	682758.5	8506368.5	0.02
Cárcavas	Activo	2	683955.3	8505808.4	0.01
Cárcavas	Activo	3	682614.0	8505670.4	0.03
Cárcavas	Activo	4	683410.9	8505511.7	0.01

#### 6.1.4. Daños y afectaciones

En base a las imágenes satelitales del año 2022, se ha inidentificado 67 construcciones (entre viviendas habitadas y no habitadas, corrales, reservorios, etc.), identificando las siguientes posibles afectaciones:

Daños por deslizamientos:

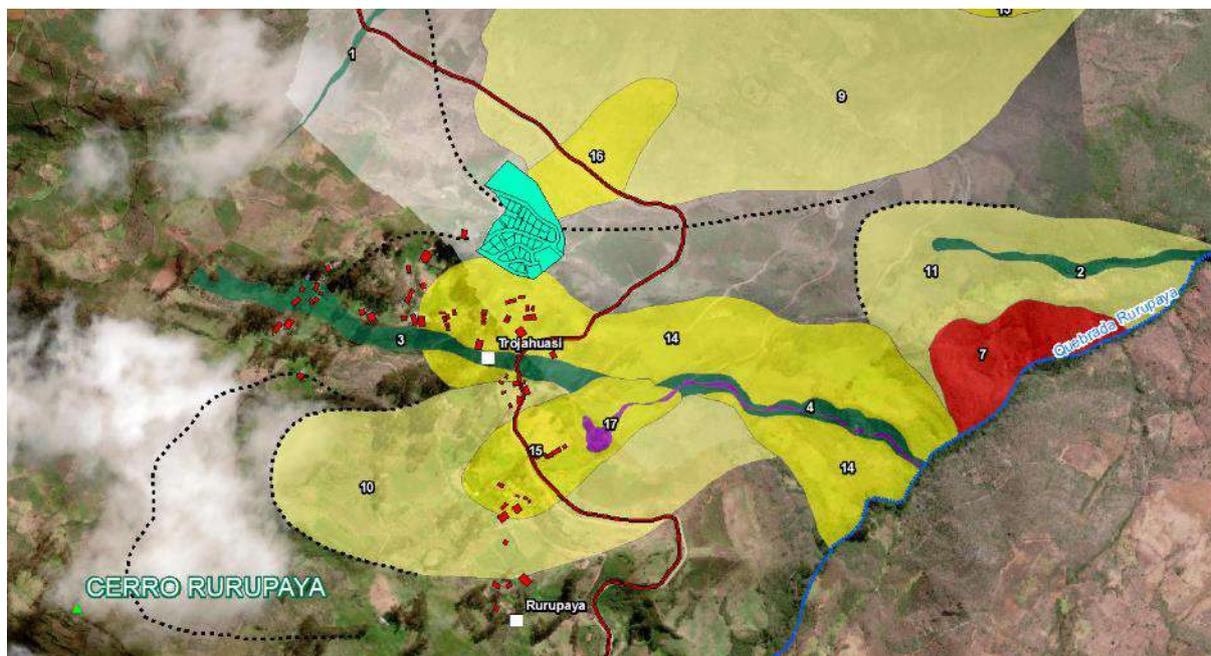
- El deslizamiento N°15, reactivado por última vez, 2012, puede afectar un total de 14 viviendas.
- El deslizamiento inactivo latente (en caso de reactivación) podría afectar un total de 12 viviendas.
- El deslizamiento reactivado N°14 afectaría un total de 23 viviendas. Además del extremo sur del terreno de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.
- Los deslizamientos N° 16 y 9 afectaría el extremo Norte del terreno de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba.
- En general la reactivación de los deslizamientos también expone 1.4 km de la trocha carrozable de Kaquiabamba desde las coordenadas UTM, WGS 84 18 s, X: 682786 y Y: 8506152 - X: 683160 y Y: 8505306.

### Daños por carcavamientos

- El carcavamiento N° 4 a pesar de presentar vegetación y actividad mínima podría poner en peligro 07 viviendas.

### Daños por flujo de lodo.

- Las evidencias de flujo de lodo podrían afectar al colegio del Trojahuasi.



**Figura 30.** Construcciones (polígonos rectangulares rojos) y trochas carrozables (líneas rojas) que pueden ser afectados por los movimientos en masa identificados en el sector de Trojahuasi.

### 6.1. Factores condicionantes

Los factores que parecen condicionar los procesos de movimientos en masa en el sector Trojahuasi.

#### Factor Litológico

- Las rocas que conforman el basamento rocoso de la ladera este del cerro Rurupaya (sector Trojahuasi) se encuentran muy fracturados y altamente meteorizados conformados por areniscas intercaladas con lutitas y limolitas de las Formaciones Auzangate y Vilquechico, esto favorece los procesos de erosión e infiltración de aguas de escorrentía, aguas pluviales y de uso doméstico favoreciendo la inestabilidad de la ladera.
- Movimientos en masa antiguos han depositado en la ladera este del cerro Rurupaya material detrítico medianamente consolidado, medianamente plástico y saturado conformado por bolos, cantos, gravas y gránulos envueltos en una matriz areno-limosa de fácil erosión.

#### Factor Geomorfológico

- La ladera este del cerro Rurupaya está conformado por vertiente coluvial y vertiente de deslizamiento, adosado a una montaña en rocas sedimentaria de pendientes muy fuertes y escarpadas, lo que favorece su desprendimiento de material detrítico.

#### Factor Antrópico

- Se evidencio el uso de riego por goteo, aspersión e inundación no controlada para cultivos locales de tubérculos, lo que favorece la saturación del terreno.
  - Existencia de canales no impermeabilizados para el transporte de agua y su uso para riego.
  - La ausencia de sistemas de desagüe.

## **6.2. Factores desencadenantes**

Las precipitaciones pluviales ordinarias y/o extraordinarias pueden desencadenar la ocurrencia de movimientos en masa en el sector de Trojahuasi, según el registro de precipitaciones satelitales Awere estas pueden alcanzar máximos diarios de 45.9 mm en épocas de lluvias, siendo el registro más alto en el 2022 fue de 21.1 mm.

## 7. CONCLUSIONES

1. Las rocas que conforman el basamento rocoso de la ladera este del cerro Rurupaya (sector Trojahuasi) se encuentran muy fracturados y altamente meteorizados conformados por areniscas intercaladas con lutitas y limolitas de las Formaciones Auzangate y Vilquechico, esto favorece los procesos de erosión e infiltración de aguas de escorrentía, aguas pluviales y de uso doméstico favoreciendo la inestabilidad de la ladera.
2. Movimientos en masa antiguos han depositado en la ladera este del cerro Rurupaya material detrítico medianamente consolidado y saturado conformado por bolos (10%), gravas (40%) gránulos (5%), arenas (20%), limos (20%) y arcillas (5%) envueltos en una matriz areno-limosa de fácil erosión conformando a su vez una vertiente coluvial y vertiente de deslizamiento, adosado a la montaña de pendientes muy fuertes y escarpadas, lo que favorece el desprendimiento de material detrítico.
3. En el área de inspección se han identificado 04 deslizamientos inactivos latentes, 05 deslizamientos reactivados, 03 derrumbes y 04 cárcavas.
4. En el anexo de Trojahuasi se identificaron satelitalmente 67 construcciones, de las cuales 14 serían afectados por un deslizamiento (reactivado por última vez el 2012), 12 viviendas podrían ser afectadas por un deslizamiento inactivo latente, 04 viviendas por carcavamientos y el colegio de Trojahuasi por la reactivación de un flujo de lodo.
5. El área propuesta por la municipalidad de Kaquiabamba, para la reubicación de Trojahuasi se encuentra situada sobre afloramientos de areniscas y lutitas (muy fracturados y altamente meteorizados) de la Formación Vilquechico, además se encuentra afectado por en el norte y sur por deslizamientos reactivados, que tienen avance retrogresivo.
6. El informe técnico N°A6624: “Segundo reporte de zonas críticas por peligros geológicos y geo-hidrológicos en la región Apurímac” (Villacorta et al., 2013) designa al sector de Trojahuasi como una **Zona Crítica**.
7. Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas el sector de Trojahuasi, se considera al anexo de Trojahuasi de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de movimientos en masa y al terreno de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba de **Peligro Alto**.
8. Se desestima el área de acogida propuesta por la municipalidad de Kaquiabamba para la reubicación permanente del anexo Trojahuasi por presentar evidencias de geodinámica activa en sus laderas.

## 8. RECOMENDACIONES

1. Se ratifica las recomendaciones de la “Validación técnica de evaluación de riesgo geológico efectuada Ingemmet” (Villacorta et al., 2012) donde se sugiere reubicar las 14 viviendas y el centro educativo ubicados en el cuerpo del deslizamiento reactivado en 2012, incrementando también las 16 viviendas afectados por deslizamientos inactivos latentes y carcavamientos.
2. Se debe implementar medidas de estabilización de laderas en el sector de Trojahuasi, como pueden ser la reforestación usando plantas nativas con la finalidad de proteger la ladera y caminos de acceso a áreas de cultivo.
3. Implementar sistemas de drenajes (espina de pez) para recolectar las aguas de la ladera y desviarlas directamente a la quebrada Puyuri, de esta manera evitar la sobresaturación del terreno.
4. Los canales de riego deben ser impermeabilizados e implementar sistemas de riego tecnificado como por ejemplo goteo.
5. Realizar un tratamiento inmediato para el control de erosión de laderas – cárcavas, evitando el incremento de tamaño de estas y la sedimentación en la parte baja, el tratamiento debe estar bajo monitoreo constante, prolongando la vida útil de las obras implementadas.
6. Prohibir y controlar la expansión urbana en la ladera este del cerro Rurupaya.
7. En cuanto al terreno de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba puede ser usado temporalmente para salvaguardar las viviendas expuestas a peligros geológicos, pero no como área definitiva de reubicación.
8. Con la información brindada elaborar un estudio de riesgos para el área de acogida propuesta por la Municipalidad distrital de Kaquiabamba, así determinar el nivel de riesgo al que se encuentra expuesto.

Nota: Todas las medidas estructurales deben ser diseñadas y supervisadas por especialistas teniendo en cuenta estudios geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos y de factibilidad que determinen las medidas exactas y ubicación final de los mismos.

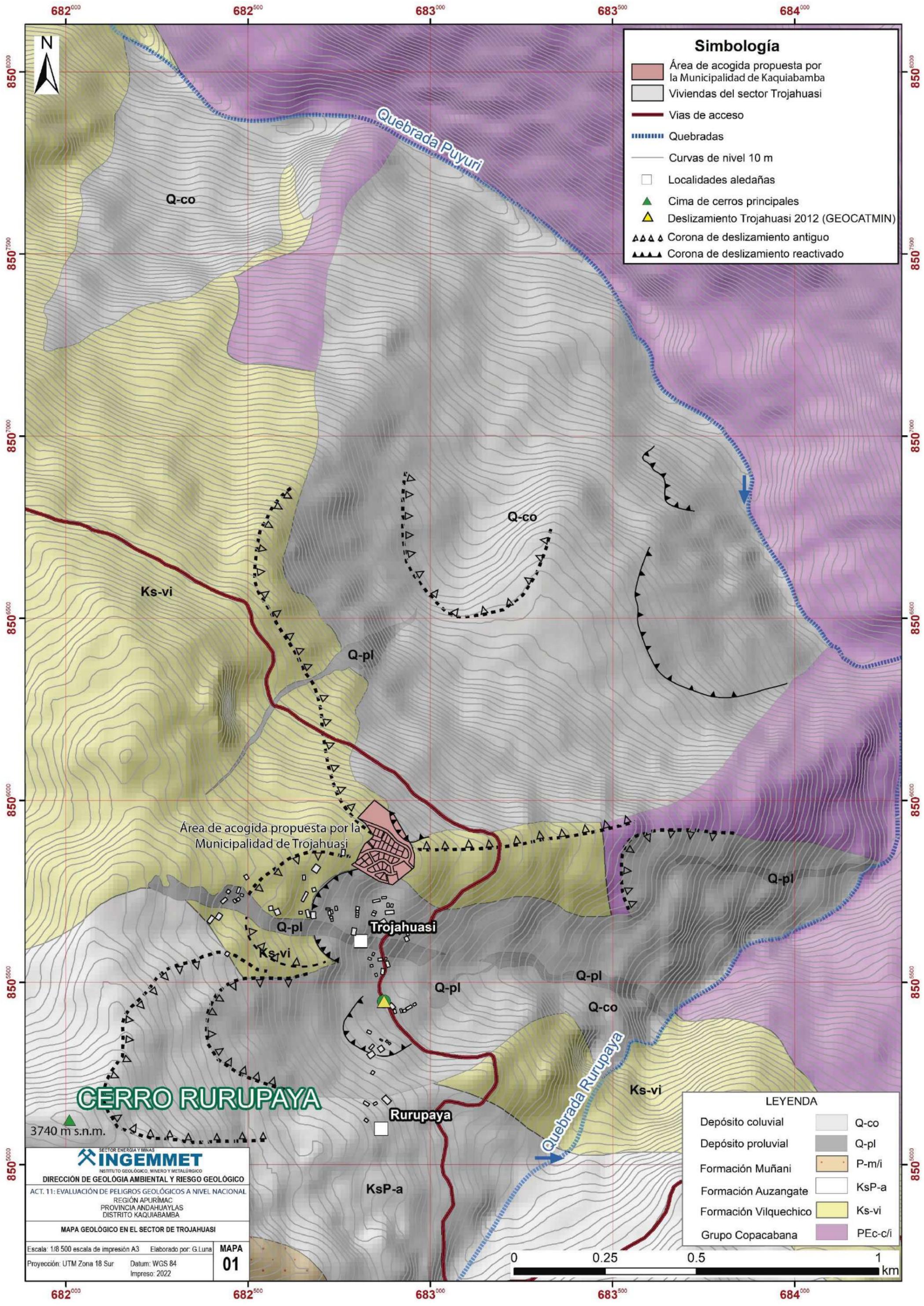
  
-----  
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL  
Director  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológica  
INGEMMET

  
Ing. Guisela  
Choquenaira Garate

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Fuente de Datos Meteorol3gicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. (2021). Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7508240>.
- Luque y Rosado (2014). Zonas cr3ticas por peligros geol3gicos en la regi3n Lima. Primer reporte, Instituto Geol3gico, Minero y Metal3rgico – INGEMMET, 75 p3ginas, 1 mapa. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2018>
- Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020) - Peligro geol3gico en la regi3n Lima. INGEMMET, Bolet3n, Serie C: Geodin3mica, 76, 298 p., 9 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2571>
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la regi3n andina: una gui3 para la evaluaci3n de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geolog3a y Miner3a, 432 p., Publicaci3n Geol3gica Multinacional, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Romero y Latorre (2003) Memoria descriptiva de la revisi3n y actualizaci3n del cuadr3ngulo de Oy3n (22-j)- Cuadrante II. Escala 1:50 000 <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2166>
- Servicio Nacional de Meteorolog3a e Hidrolog3a (2010a) – Gui3 clim3tica tur3stica (en l3nea). Lima: SENAMHI, 216 p. (consulta: 03 junio 2015). Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.
- Su3rez, J. (1996) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaci3n sobre Erosi3n y Deslizamientos, 282 p
- Varnes, J. (1978) - Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, L. & KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.

## ANEXO 1: MAPA



### Simbología

- Área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba
- Viviendas del sector Trojahuasi
- Vías de acceso
- Quebradas
- Curvas de nivel 10 m
- Localidades aledañas
- Cima de cerros principales
- Deslizamiento Trojahuasi 2012 (GEOCATMIN)
- Corona de deslizamiento antiguo
- Corona de deslizamiento reactivado

### LEYENDA

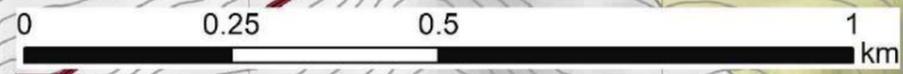
- Depósito coluvial  Q-co
- Depósito proluvial  Q-pl
- Formación Muñani  P-m/i
- Formación Auzangate  KsP-a
- Formación Vilquechico  Ks-vi
- Grupo Copacabana  PEc-c/i

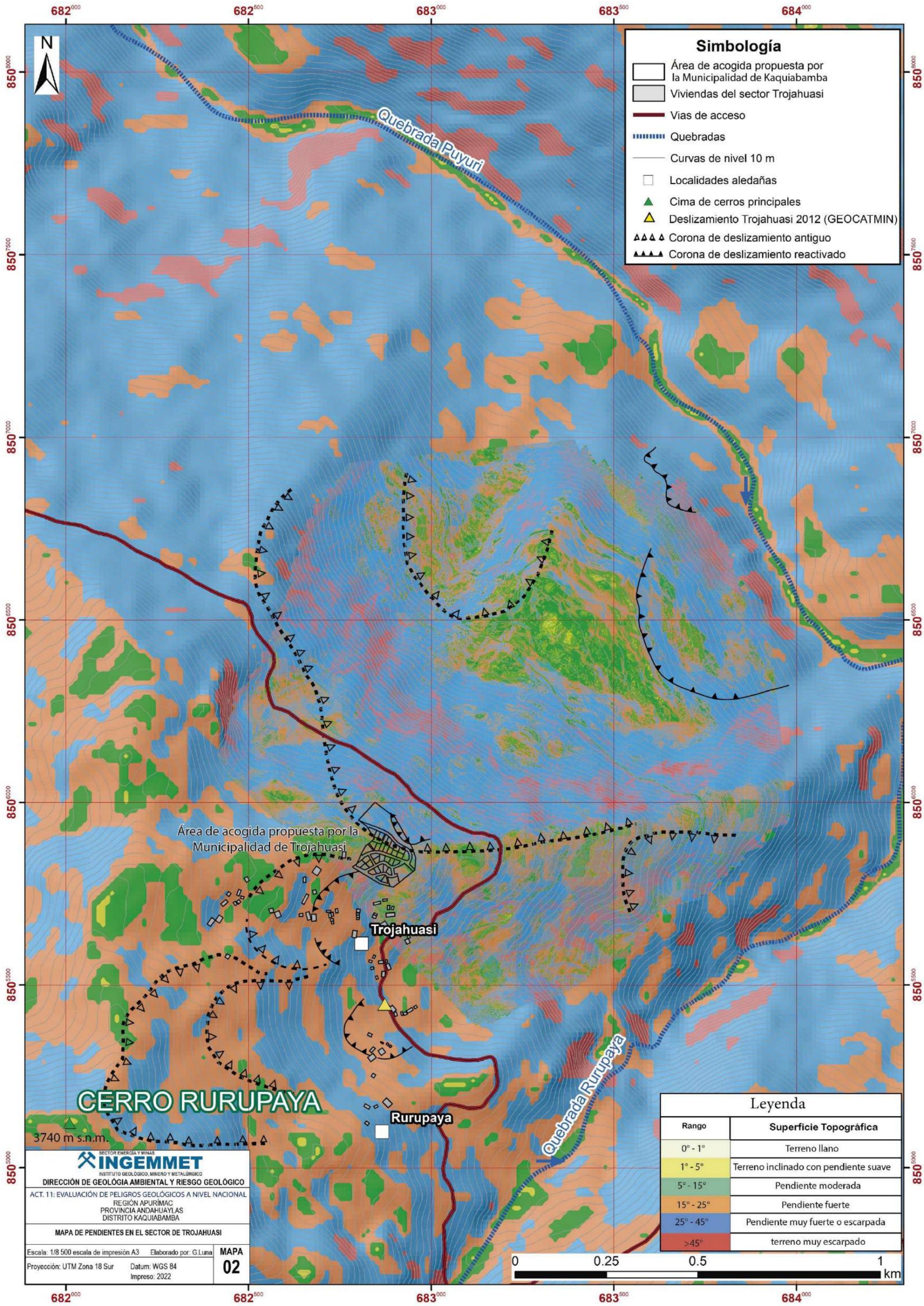
## CERRO RURUPAYA

SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO  
 DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO  
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL  
 REGIÓN APURÍMAC  
 PROVINCIA ANDAHUAYLAS  
 DISTRITO KAQUIABAMBA

**MAPA GEOLÓGICO EN EL SECTOR DE TROJAHUASI**

Escala: 1/8 500 escala de impresión A3    Elaborado por: G.Luna    **MAPA 01**  
 Proyección: UTM Zona 18 Sur    Datum: WGS 84    Impreso: 2022





### Simbología

- Área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba
- Viviendas del sector Trojahuasi
- Vias de acceso
- Quebradas
- Curvas de nivel 10 m
- Localidades aledañas
- Cima de cerros principales
- Deslizamiento Trojahuasi 2012 (GEOCATMIN)
- Corona de deslizamiento antiguo
- Corona de deslizamiento reactivado

Área de acogida propuesta por la Municipalidad de Trojahuasi

## CERRO RURUPAYA

3740 m s.n.m.



DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO  
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL  
 REGIÓN APURÍMAC  
 PROVINCIA ANDAHUAYLAS  
 DISTRITO KAQUIABAMBA

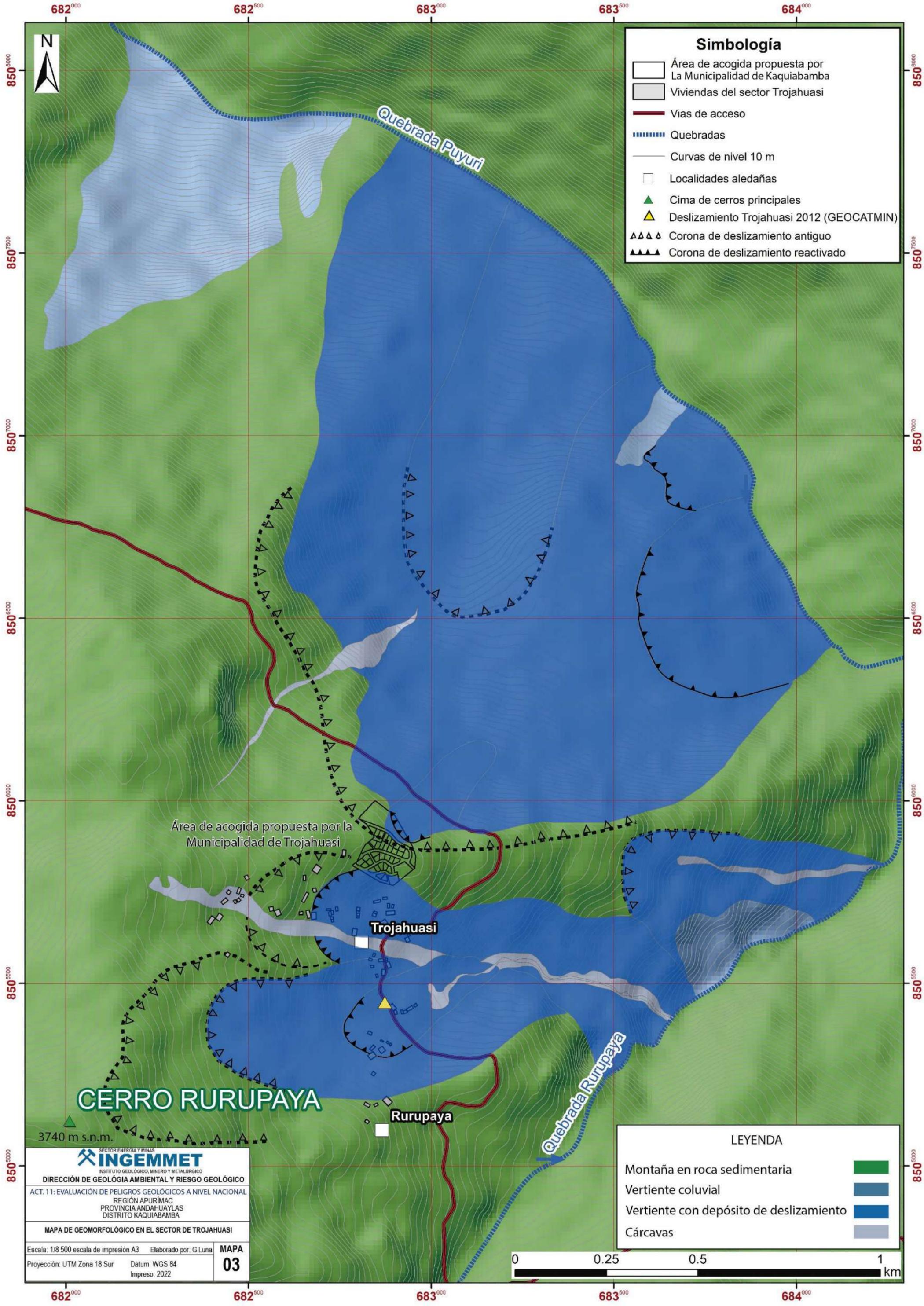
### MAPA DE PENDIENTES EN EL SECTOR DE TROJAHUASI

Escala: 1/8 500 escala de impresión A3    Elaborado por: G.Luna    MAPA 02  
 Proyección: UTM Zona 18 Sur    Datum: WGS 84    Impreso: 2022

### Leyenda

Rango	Superficie Topográfica
0° - 1°	Terreno llano
1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5° - 15°	Pendiente moderada
15° - 25°	Pendiente fuerte
25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
>45°	terreno muy escarpado





**Simbología**

- Área de acogida propuesta por La Municipalidad de Kaquiabamba
- Viviendas del sector Trojahuasi
- Vías de acceso
- Quebradas
- Curvas de nivel 10 m
- Localidades aledañas
- Cima de cerros principales
- Deslizamiento Trojahuasi 2012 (GEOCATMIN)
- Corona de deslizamiento antiguo
- Corona de deslizamiento reactivado

Área de acogida propuesta por la Municipalidad de Trojahuasi

**Trojahuasi**

**Rurupaya**

**CERRO RURUPAYA**

3740 m s.n.m.

**LEYENDA**

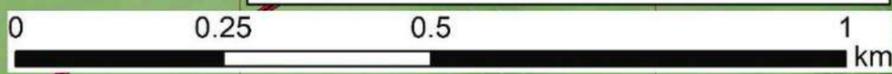
- Montaña en roca sedimentaria
- Vertiente coluvial
- Vertiente con depósito de deslizamiento
- Cárcavas

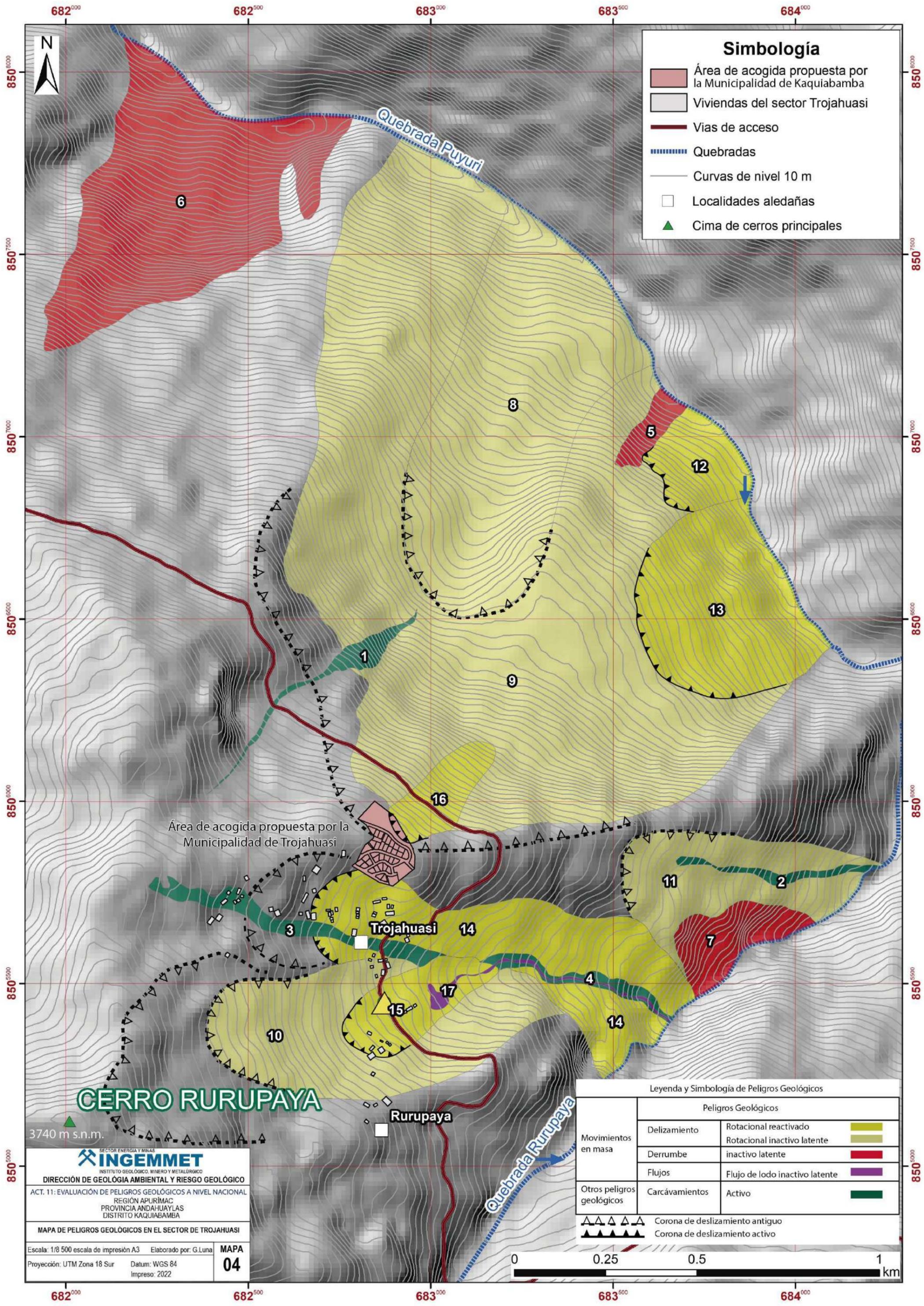
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO  
 DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL  
 REGIÓN APURÍMAC  
 PROVINCIA ANDAHUAYLAS  
 DISTRITO KAQUIABAMBA

MAPA DE GEOMORFOLÓGICO EN EL SECTOR DE TROJAHUASI

Escala: 1/8 500 escala de impresión A3 Elaborado por: G.Luna **MAPA 03**  
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84 Impreso: 2022





### Simbología

- Área de acogida propuesta por la Municipalidad de Kaquiabamba
- Viviendas del sector Trojahuasi
- Vías de acceso
- Quebradas
- Curvas de nivel 10 m
- Localidades aledañas
- Cima de cerros principales

Área de acogida propuesta por la Municipalidad de Trojahuasi

## CERRO RURUPAYA

3740 m s.n.m.



DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO  
 ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL  
 REGIÓN APURÍMAC  
 PROVINCIA ANDAHUAYLAS  
 DISTRITO KAQUIABAMBA

MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE TROJAHUASI

Escala: 1/8 500 escala de impresión A3 Elaborado por: G.Luna  
 Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84 Impreso: 2022

MAPA  
**04**

### Leyenda y Simbología de Peligros Geológicos

Peligros Geológicos			
Movimientos en masa	Delizamiento	Rotacional reactivado	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black;"></span>
		Rotacional inactivo latente	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #c8e6c9; border: 1px solid black;"></span>
	Derrumbe	inactivo latente	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #f44336; border: 1px solid black;"></span>
Otros peligros geológicos	Flujos	Flujo de lodo inactivo latente	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #9c27b0; border: 1px solid black;"></span>
	Carcávamientos	Activo	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></span>

- Corona de deslizamiento antiguo
- Corona de deslizamiento activo

