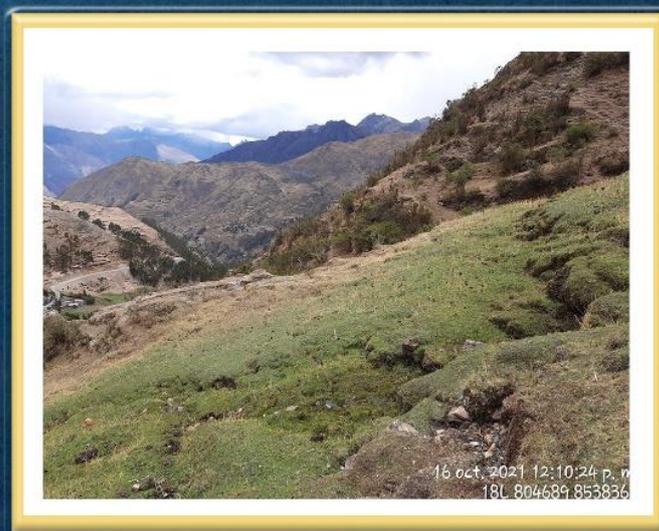
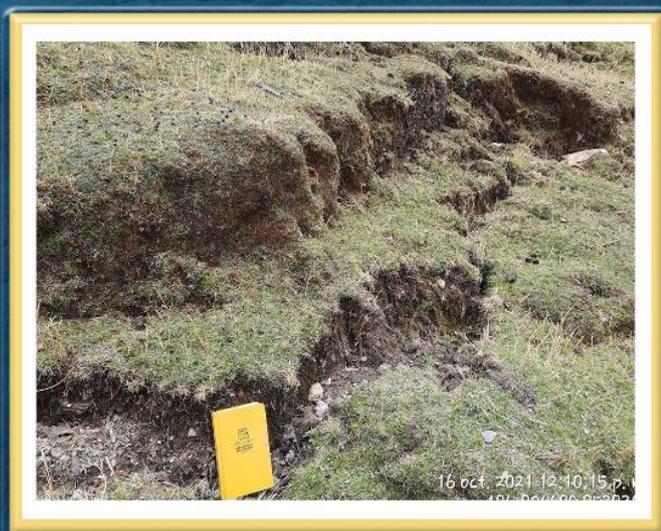


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7252

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE FACCHAC ALTA, COMUNIDAD DE HUILLOC

Departamento Cusco
Provincia Urubamba
Distrito Ollantaytambo



ABRIL
2022

16 oct

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR DE FACCHAC ALTA, COMUNIDAD DE HUILLOC

(Distrito Ollantaytambo, provincia Urubamba, departamento Cusco)

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

Equipo de investigación:

*Gael Araujo
Norma Sosa
David Prudencio*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). *Evaluación de Peligros Geológicos en el sector Facchac Alta, comunidad de Huilloc*. Distrito Ollantaytambo, provincia Urubamba, departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7252, 33 p.

ÍNDICE

| | | |
|--------|--|--------------------------------------|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 5 |
| 1.1. | Objetivos del estudio | 6 |
| 1.2. | Antecedentes y trabajos anteriores | 6 |
| 1.3. | Aspectos generales..... | 7 |
| 1.3.1. | UBICACIÓN | 7 |
| 1.3.2. | ACCESIBILIDAD..... | 8 |
| 1.3.3. | CLIMA | 8 |
| 1.3.4. | USOS DE SUELO | 9 |
| 2. | DEFINICIONES..... | 9 |
| 3. | ASPECTOS GEOLÓGICOS..... | 10 |
| 3.1. | Unidades litoestratigráficas | 10 |
| 3.1.1. | FORMACIÓN MÁLAGA (Oi-m-pz,esq)..... | 11 |
| 3.1.2. | DEPÓSITOS COLUVIALES (Qh-co) | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.1.3. | DEPÓSITOS ALUVIALES (Q-al) | 14 |
| 3.2. | ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS..... | 15 |
| | FORMACIÓN MÁLAGA (Oi-m-pz,esq) - ACUITARDO METAMÓRFICO | 15 |
| 4. | ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS..... | 15 |
| 4.1. | Pendientes del terreno | 15 |
| 4.2. | Unidades geomorfológicas..... | 16 |
| 4.2.1. | GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL..... | 17 |
| 4.2.2. | GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL..... | 18 |
| 5. | PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA | 21 |
| 5.1. | Caracterización del Peligros por Movimientos en Masa..... | 21 |
| 5.2. | Área de influencia del derrumbe y deslizamientos identificados en el sector Facchac Alta | 28 |
| 5.3. | Factores condicionantes y desencadenantes..... | 30 |
| 5.3.1. | FACTORES CONDICIONANTES..... | 30 |
| 5.3.2. | FACTORES DESENCADENANTES..... | 30 |
| 6. | CONCLUSIONES..... | 31 |
| 7. | RECOMENDACIONES | 32 |
| 8. | BIBLIOGRAFÍA | 33 |

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos en el sector de Facchac Alta, comunidad de Huilloc, distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco, situados geográficamente al margen derecho del río Queuñaicocha.

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

En el área de estudio afloran rocas metamórficas de la formación Málaga (pizarras), ligeramente meteorizados a muy fracturados. La unidad no consolidada está conformada por depósitos aluviales (fragmentos heterométricos y heterogéneos envueltos en una matriz areno-arcillosa/limosa), depósitos coluvio-deluviales (fragmentos heterogéneos con material fino de arena y limo) dispuestos sobre el fondo de valle y quebradas principales.

Las unidades geomorfológicas según su origen tectónico degradacional, se conforman de montañas en roca metamórfica con pendientes que varían de muy fuerte ($25^\circ - 45^\circ$) a abrupta ($>45^\circ$); y de carácter depositacional, vertientes con depósito de deslizamiento y vertientes coluvio-deluviales (fotografía 7), modeladas en pendientes media (5° a 15°) a muy fuerte (25° a 45°) inclinación. Estas características asociadas a la litología clasifican el área con un grado de susceptibilidad alta a muy alta, a la ocurrencia de movimientos en masa.

Los peligros geológicos reconocidos, en el sector Facchac Alta, comprenden movimientos en masa, tipo derrumbes, reptación, deslizamientos y caída de rocas. Las lluvias intensas de enero y febrero del 2021 y la presencia de alta humedad en los materiales, generaron agrietamientos longitudinales y transversales, como indicios de la activación de un derrumbe, de 32 m de ancho y 40 m de alto, además de reptación de suelos, que podrían convertirse en deslizamientos. Estas manifestaciones sucedieron sobre una pendiente de muy fuerte inclinación (25° a 45°); en cuyas faldas se asientan 11 viviendas, de las 30 familias que componen el sector Facchac Alta. Por lo tanto, el área de estudio se considera de peligro muy alto a movimientos en masa, y que pueden desencadenarse en temporada de lluvia intensa y/o prolongada.

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

1. INTRODUCCIÓN

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

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Ollantaytambo, según oficio N° 416-2021-A-MDO, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos, tipo derrumbes, reptación, deslizamientos y caída de rocas”, suscitados entre enero y febrero de 2021 (temporada lluviosa), según versión de los pobladores en el sector Facchac Alta (flanco derecho del río Queuñaococha). Actualmente, al momento de la evaluación de campo, se observan agrietamientos horizontales y transversales, que pueden desencadenar en un deslizamiento, con dimensiones aproximadas de 32 m de ancho y 40 m de largo, y deslizamientos en el sector Facchac Alto, que conforma un evento de movimiento en masa antiguo.

Además a lo largo de la zona de estudio, se observan reptaciones de suelos, localizados en zonas de humedad intensa, producto de los riachuelos que cortan perpendicularmente una pendiente de muy fuerte (25° a 45°) a fuerte inclinación (>45°), que sumados a los agrietamientos y aperturas del pasado enero-febrero de 2021, pueden generar movimientos en masa que afecten población encontrada en las faldas del cerro de Facchac Alto y destruir terrenos usados para el pastoreo por la comunidad de Facchac Alta y Bajo.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Gael Araujo, Norma Sosa y David Prudencio, realizar una evaluación técnica de peligros geológicos en el sector de Facchac Alto, comunidad de Huilloc, llevándose a cabo una inspección técnica el 16 de Octubre de 2021.

La evaluación técnica se basó en etapas de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET, etapas de campo a través de la observación, toma de datos de campo (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada, y la etapa final de gabinete a través del procesamiento de información terrestre y aérea, fotointerpretación de imágenes satelitales, elaboración de mapas/figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Ollantaytambo e instituciones técnico normativas del SINAGERD (INDECI y CENEPRED), a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar, cartografiar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el sector de Facchac Alto, comunidad de Huilloc.
- b) Emitir conclusiones y recomendaciones que contribuyan en los planes de prevención y/o mitigación del riesgo de desastre por movimientos en masa.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- A) En el boletín N°74, serie C: Peligros Geológicos en la región Cusco (Vílchez et al., 2020) se ha elaborado un mapa de susceptibilidad regional a escala 1:250 000, en la cual se muestra la descripción de los niveles de susceptibilidad y pendientes de los peligros geológicos frente a movimientos en masa en el Cusco. Teniendo en el distrito de Ollantaytambo, región Cusco, niveles de susceptibilidad alta a muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa (figura 1 y cuadro 1).

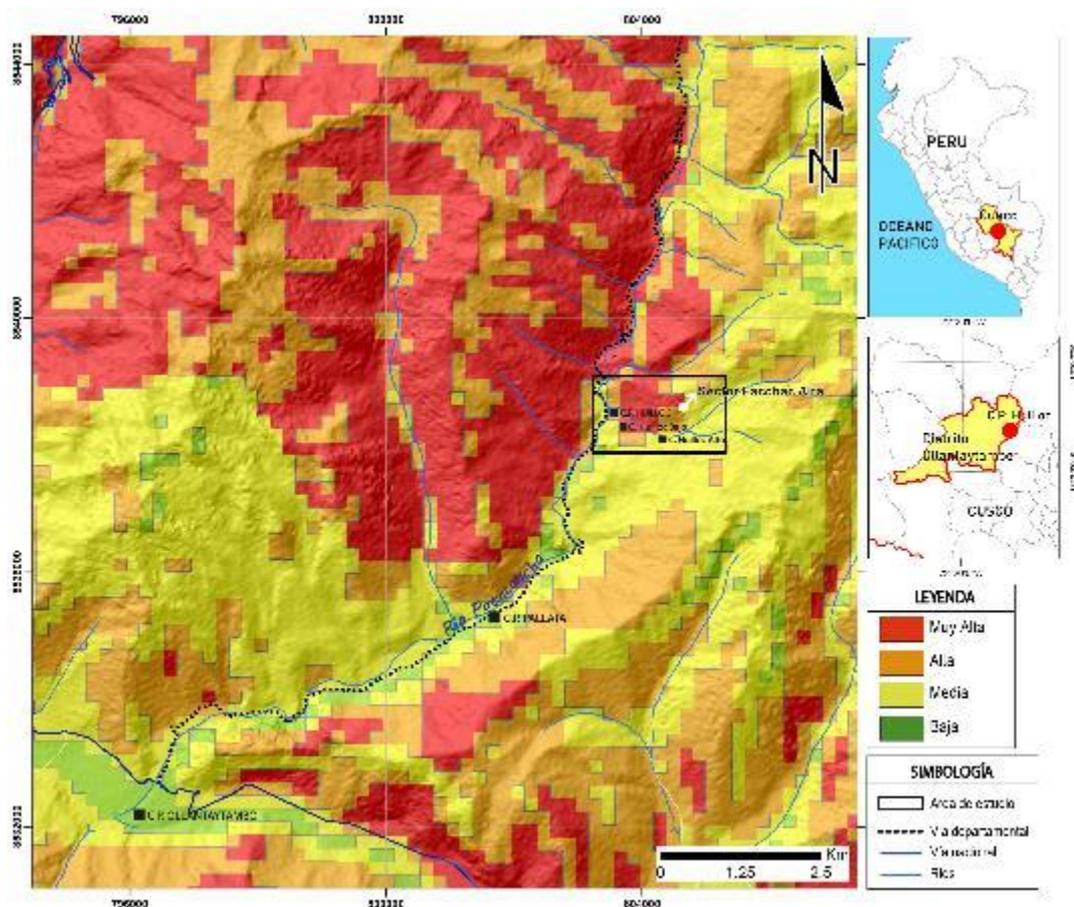


Figura 1. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa del área de estudio. Fuente: Vílchez et al., 2020

| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|

| GRADO | CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS | RECOMENDACIONES |
|-----------------|--|--|
| BAJA | Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa. Estas áreas presentan una topografía plano-ondulada con pendientes muy bajas a medias (0°- 15°) en algunos sectores. Se tienen depósitos de materiales superficiales aluviales y fluviales. El substrato está constituido por rocas metamórficas. | En esta zona se puede permitir el desarrollo de infraestructura siempre y cuando se incorporen las recomendaciones del estudio de diseño para hacer viable cualquier proyecto o adaptarse a las condiciones del terreno. |
| MEDIA | Aquí algunas condiciones pueden favorecer la ocurrencia de movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes bajas a medias (5°-15°). Así se tienen depósitos aluviales. Con substrato es de rocas metamórficas altamente fracturadas. También se hallan alteradas (meteorizadas) por efectos del clima. Las unidades hidrogeológicas que favorecen esta susceptibilidad son los acuitar dos (fisurados metamórficos). | Es probable que cuando se construyan obras de Infraestructura en estas áreas se generen movimientos en masa, por lo que se recomienda conocer en detalle las propiedades de los terrenos y también conocer las condiciones geodinámicas de las áreas Circundantes. |
| ALTA | En esta zona confluyen la mayoría de condiciones favorables del terreno a generar movimientos en masa, cuando se desestabilizan las laderas por causas naturales (por levantamiento o abatimiento de nivel freático, erosión en el pie de laderas, etc.) o por modificación de taludes por acción del hombre. En la zona de estudio se observan depósitos coluviales en una pendiente muy fuerte (25° a 45°), sobre el sustrato de rocas metamórficas. | Se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana y de instalaciones o esta debe de ser muy bien planificada y contar con sus respectivos estudios de zonificación por peligros, |
| MUY ALTA | Presentan condiciones del terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes de muy fuertes (25° a 45°) a abrupta (> 45°), compromete suelos coluviales derivados de antiguos movimientos en masa; el sustrato está conformado por rocas metamórficas, Aquí se produce la mayor cantidad de movimientos en masa (mega eventos de tipo deslizamientos, caídas, flujos y movimientos complejos), además de procesos de erosión de laderas y reptación. | Se recomienda prohibir el desarrollo de toda infraestructura de cualquier tipo (carreteras, puente, presas, hidroeléctricas) o habilitación urbana. |

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

- A) El boletín N° 65, de la carta geológica nacional. Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas 27-r y 27-s (Carlotto et al., 1996) y el boletín N°74, serie C: de peligros geológicos en la región Cusco describen las unidades geológicas presentes en la zona evaluada.

1.2.Aspectos generales

1.2.1. UBICACIÓN

El área de estudio se ubica a 0.5 km al NE del centro poblado de Facchac Alta y ~3 km al este de la comunidad de Huilloc, flanco derecho del río Queuña-cocha, distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba y región del Cusco (figura 2), en las coordenadas UTM WGS84 y geográficas mostradas en el cuadro 2.

| N° | UTM - WGS84 - Zona 18L | | Geográficas | |
|----------------------------------|------------------------|---------|-------------|----------|
| | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | 803344 | 8539151 | -13.199° | -72.201° |
| 2 | 805103 | 8539130 | -13.199° | -72.185° |
| 3 | 805221 | 8537709 | -13.211° | -72.183° |
| 4 | 803134 | 8537859 | -13.210° | -72.203° |
| COORDENADA REPRESENTATIVA | | | | |
| C | 804728 | 8538532 | -13.204° | -72.188° |

Cuadro 2. Coordenadas del área de estudio

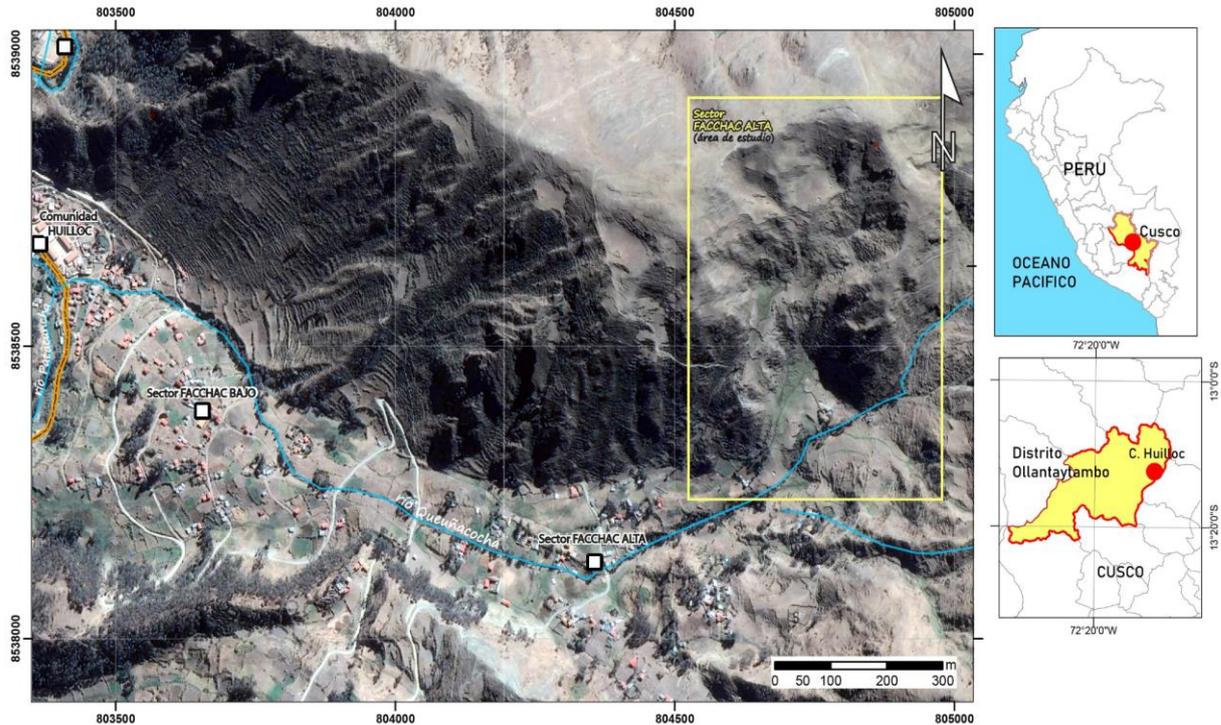


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

1.2.2. ACCESIBILIDAD

Teniendo como base la provincia del Cusco, el área de estudio es accesible por la ruta Cusco – Ollantaytambo – Huilloc, a través de carretera ‘3S _ CU-110’ (ruta Huarcocondo - Pachar) y carretera 28B hasta llegar al C.P. Ollantaytambo, luego dirigirse al norte por ~24km hasta llegar a la comunidad de Huilloc, subir a lo largo del río Queuña-cocha hasta la altura der Facchac Alta. El recorrido vehicular hasta el sector de Facchac Alta es de 1 hora con 55 minutos y una caminata de 15 minutos al NE del sector hasta el área de estudio, siendo un total de 2 horas con 15 minutos (cuadro 3).

| <i>Ruta</i> | <i>Tipo de vía</i> | <i>Distancia (km)</i> | <i>Tiempo estimado</i> |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| Cusco – Ollantaytambo | 1) Carretera nacional 3S y CU-110 Carretera nacional 28B | 47.6 | 24 min 36 min |
| Ollantaytambo - Huilloc | Carretera nacional 28B | 30.4 | 50 min |
| Comunidad Huilloc – Comunidad. Facchac Alta | Trocha | 1.2 | 5 min |
| Comunidad Facchac Alta – Sector Facchac Alta (área de estudio) | caminata | 0.85 | 15 min |

Cuadro 3. Rutas y accesos a las zonas evaluadas

1.2.3. CLIMA

- Temperaturas y precipitaciones

Según el Mapa climático Nacional del SENAMHI (2020), el sector de Facchac Alta perteneciente a la comunidad de Huilloc, se enmarca dentro de una zona de clima lluvioso, con otoño e invierno seco. Alcanza temperaturas máximas promedio históricas de 1981 al 2010, entre 9°C a 19 °C, y temperaturas mínimas promedio entre -3°C a 3°C. Precipitaciones anuales de 500 mm, eficiencia térmica fría. las heladas en invierno son frecuentes, debido al ingreso de vientos secos del oeste en altura.

1.2.4. USOS DE SUELO

Los pobladores del sector de Facchac Alta, hace uso de suelos para el pastoreo de animales y cultivo de papas y habas con una frecuencia de 2 a 3 años. Los cultivos son regados por lluvias y riachuelos provenientes de lagunas cercanas.

DEFINICIONES

El Perú es un país que por su variedad de climas, complejidad geológica y ubicación en el denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico”, está expuesto a diversos peligros geológicos que pueden convertirse en desastres. El lugar donde vives puede estar expuesto a estos procesos geológicos; si no conocemos los peligros, no estaremos preparados para afrontarlos. Para que los peligros no causen daños y muertes debemos conocerlos, estar alertas y preparados. En este sentido el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, INGEMMET, cuenta con equipos de trabajos multidisciplinarios, compuestos por geólogos, geodestas, geofísicos y geoquímicos, especializados en la identificación, evaluación y análisis de los peligros geológicos del territorio nacional. Con el fin de dar a conocer el resultado de los estudios a las autoridades y puestos a disposición del público en general, se brinda una definición de los términos más importantes del presente informe (cuadro 4).

| | |
|-----------------------------------|--|
| <p>PELIGROS GEOLÓGICOS</p> | <p>Los peligros geológicos son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.</p> |
| <p>MOVIMIENTOS EN MASA</p> | <p>Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por</p> |

| | |
|----------------------------------|---|
| | segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos. |
| DESLIZAMIENTOS | Movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla. Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava). |
| ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO EN MASA | REACTIVADO: Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo ACTIVO: Movimiento en Masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente. |
| 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. Se le conoce también como desprendimiento de rocas, suelos y/o derrumbes (caída de detritos). |
| REPTACIÓN | La reptación de suelos es un proceso muy lento que ocurre en pendientes muy suaves a muy inclinadas. El movimiento es lento. La reptación se produce como resultado de la expansión y contracción del material. Po ejemplo, la arcilla cuando está húmeda. |
| MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD | Este mapa muestra las áreas propensas a movimientos en masa (deslizamientos, huacos, caída de rocas, etc.) en el territorio nacional. A menor escala junto con el mapa de peligros determinan las zonas críticas ante peligros geológicos. Se cuenta también con mapas regionales y por cuencas. |
| SISMOS | Los sismos son movimientos que se producen al interior de la tierra y liberan energía de manera violenta, se originan por: i) el contacto de placas tectónicas, por ejemplo de las Placas de Nazca y Sudamericana; y ii) la deformación de la corteza en el interior del continente que da origen a las fallas activas. |

Cuadro 4. Rutas y accesos a las zonas evaluadas

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El mapa y la descripción geológica regional a escala 1: 1000, se adaptó y complementó a lo desarrollado en el cuadrángulo de Urubamba (hoja 27r) (actualizado de Carlotto, 1996) y boletín de peligros geológicos en la región Cusco, elaborado por Vilchez et al. 2018.

2.1. Unidades litoestratigráficas

En el diagrama (figura 3) el área de estudio está conformado por unidades litoestratigráficas metamórficas de la formación Málaga (Oi-m-pz,esq), además de depósitos cuaternarios aluviales (Q-al) y coluviales (Q-co) .

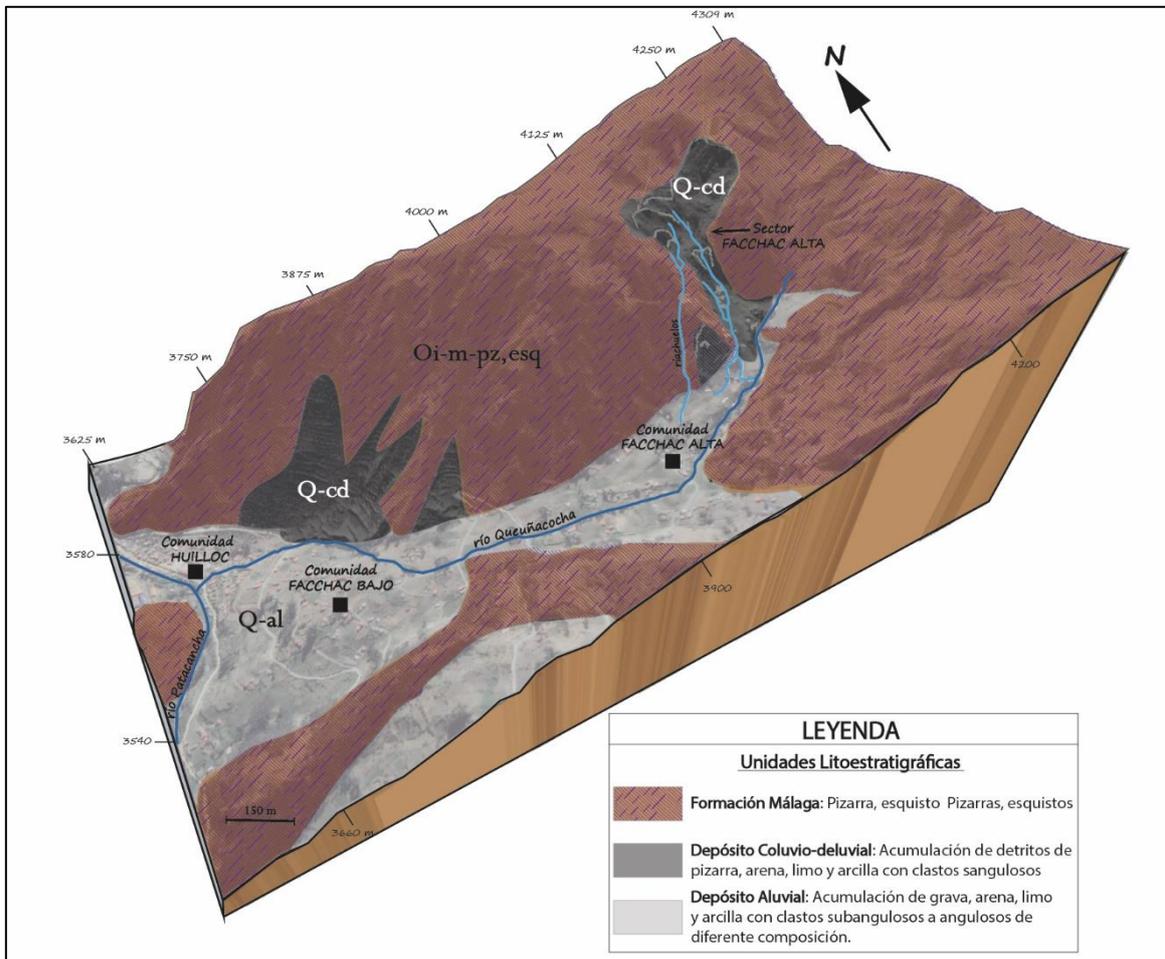


Figura 3. Unidades litoestratigráficas del área de estudio

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

2.1.1. FORMACIÓN MÁLAGA (Oi-m-pz,esq)

La formación Málaga, del Ordovícico inferior, está compuesto principalmente por rocas metamórficas de pizarras y esquistos (Carlotto et al 1999), ligeramente meteorizadas y muy fracturadas (fotografía 1 y 2), de calidad geotécnica mala, en donde el material fragmentado suelto genera permanentemente caídas a lo largo de pendientes de muy fuerte inclinación (25° a 45°). La susceptibilidad a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa es de alta a muy alta.



Fotografía 1 y 2. Pizarras ligeramente meteorizadas y con alto fracturamiento en el área de estudio, en las coordenadas UTM X: 804742 Y: 8538552.

2.1.2. DEPÓSITOS COLUVIO-DELUVIALES (Q-cd)

Se encuentran conformados por bloques rocosos metamórficos, de 5 cm a 20 cm de diámetro, envueltos en una matriz limosa (fotografía 3), a lo largo de pendientes empinadas o al pie de taludes empinados (fotografía 4). Son bloques angulosos. Algunos de los cuales se encuentran sueltos, sin cohesión, rellenando saltos y aperturas del terreno (fotografía 5).

Los depósitos coluviales se conforman por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, son acumulados al pie de taludes escarpados, Los depósitos deluviales se caracterizan por estar conformados por capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos.

Los depósitos coluvio-deluviales son materiales que también fueron movilizados por algunos tipos de movimientos en masa antiguos y que presentan reactivaciones, como en el sector de Facchac Alta (área de estudio).

Los principales agentes formadores de estos depósitos, son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, y de movimientos en masa (deslizamientos, caída de rocas o suelo (derrumbes), movimientos complejos, etc.).



Fotografía 3: Vista de depósitos coluviales en zonas de remoción de masa, en el sector de Facchac Alta (área de estudio).



Fotografía 4: Vista de depósitos coluviales distribuidos en una pendiente de muy fuerte inclinación (25° a 45°), producto de movimientos en masa antiguos sobre el sector de Facchac Alta (área de estudio).



Fotografía 5: Bloques angulares de pizarras sueltos en las aperturas del terreno, sobre el sector de Facchac Alta (área de estudio).

2.1.3. DEPÓSITOS ALUVIALES (Q-al)

Estos depósitos, se encuentran distribuidos en la parte baja del área de estudio, rellenando el fondo de los valles, quebradas principales, llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes al valle principal de los ríos Queñacocha y Patacancha (figura 3).

Está compuesto por una mezcla de fragmentos metamórficos de 50 cm a 15 cm, los cantos tienen una redondez de sub-angulosa a sub-redondeada, envueltas en una matriz areno-limosa de coloración grisácea (fotografía 3), transportados por antiguos movimientos en masa. Sobre estos depósitos se asientan la comunidad de Huilloc y los sectores de Facchac Alta y Bajo (figura 6).



Fotografía 6. Depósitos aluviales sobre el corte de carretera en la comunidad de Huilloc Bajo.

2.2. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

El sector de Facchac Alta es disectado longitudinalmente por varios riachuelos, que a su vez generan zonas de humedad y saturación del suelo a lo largo de una pendiente de fuerte a abrupta inclinación.

La unidad litológica del sector de Facchac Alta es la Formación Málaga (Oi-m-pz,esq), hidrogeológicamente clasificado como un Acuitardo metamórfico, compuesta por pizarras, que son materiales de muy baja porosidad y escasa permeabilidad. Por lo tanto, de escaso interés hidrogeológico. Sin embargo, las rocas se encuentran muy fracturadas, es decir con porosidad secundaria importante, lo que les permite almacenar y transmitir aguas subterráneas.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

Las pendientes, son generadas a través del modelo de elevación digital de 'Alaska Satellite Facility' con una resolución de 12.5 m. Se muestra que el área de estudio (sector Facchac Alta) presenta pendientes que varían entre fuerte (15° a 25°) a abrupta (>45°) inclinación (cuadro 5 y figura 4). Mientras que los depósitos aluviales sobre los que se asientan los sectores de Facchac Alta y Bajo presentan pendientes de media (5° a 15°) a muy fuerte (25° - 45°) (figura 4).

| Sectores | Pendientes |
|---|---|
| Sector de Facchac Alta (área de estudio) | Fuerte (15° a 25°) a abrupta (>45°) |
| Sector de Facchac Alta y bajo (comunidades) | Media (5° - 15°) a muy fuerte (25° - 45°) |

Cuadro 5. Pendientes del área de estudio

La descripción de la clasificación de pendientes de la figura 4, se da en el cuadro 6:

| PENDIENTES | DESCRIPCIÓN |
|-----------------------------------|---|
| Media | Conforman relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a los movimientos en masa |
| Fuerte | Conforman relieves inclinados, se les considera altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa |
| Muy fuerte | Caracterizado por presentar muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. |
| Abrupto/ Muy Escarpado | Son zonas abruptas. La ocurrencia de peligros dependerá de las condiciones intrínsecas de la roca (grado de fracturamiento y orientación, estratificación, etc.), la presencia de suelo y de los detonantes (lluvia, sismos). Se les ha considerado con alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa |

Cuadro 6. Descripción de pendientes mostradas en la figura 4. Fuente: Vílchez et al., 2020

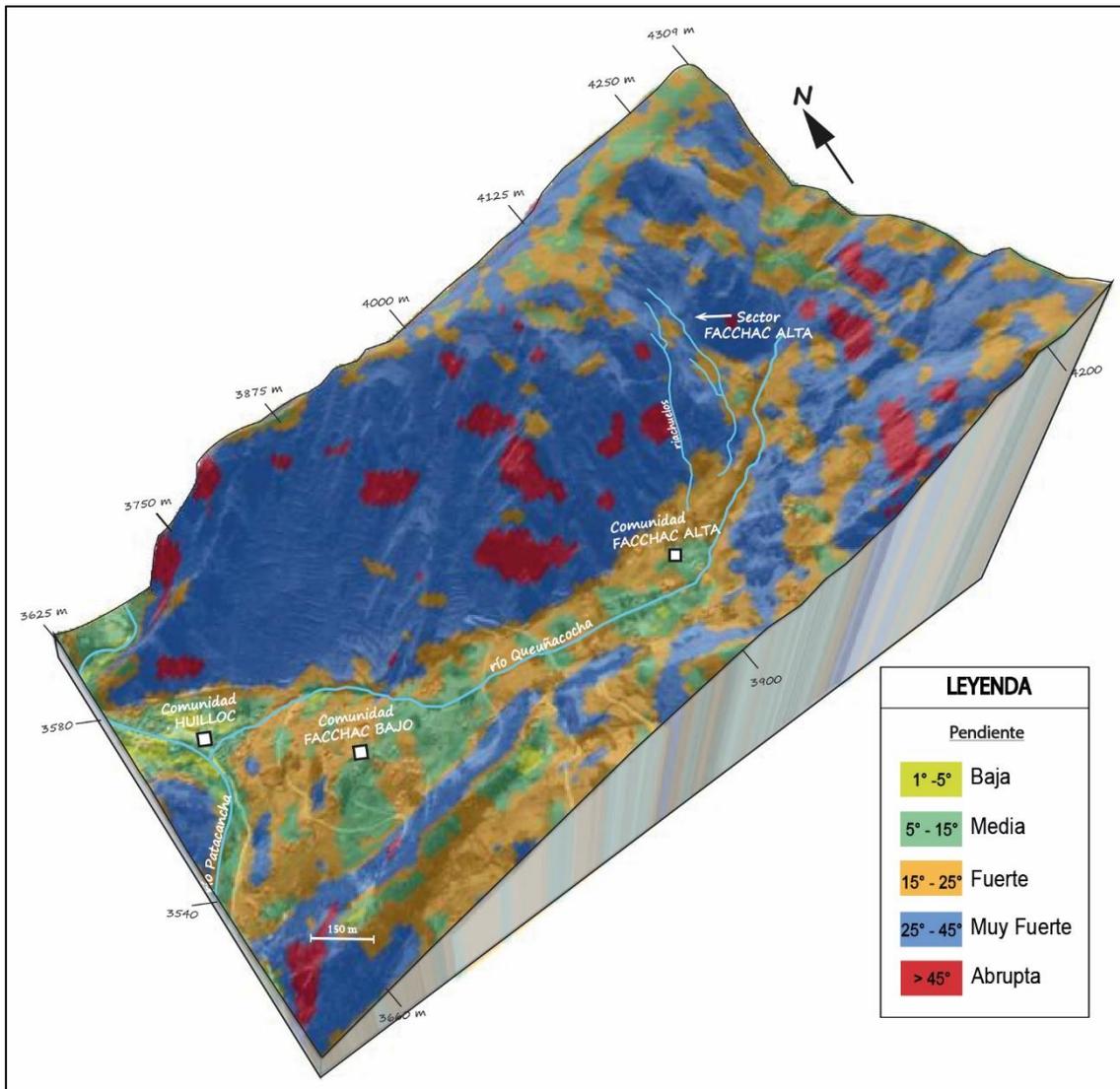


Figura 4. Vista 3D de la distribución de pendientes en el área de estudio

3.2. Unidades geomorfológicas

El mapa geomorfológico a escala 1:500 000 del boletín N° 74: Peligros Geológicos en la región Cusco y la fotointerpretación de imágenes satelitales, determinan regionalmente en el área de estudio, geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional (montañas en roca metamórfica) y geoformas de carácter deposicional (vertiente con depósito de deslizamiento, vertiente coluvial de detritos y vertiente aluvio torrencial) (figura 5).

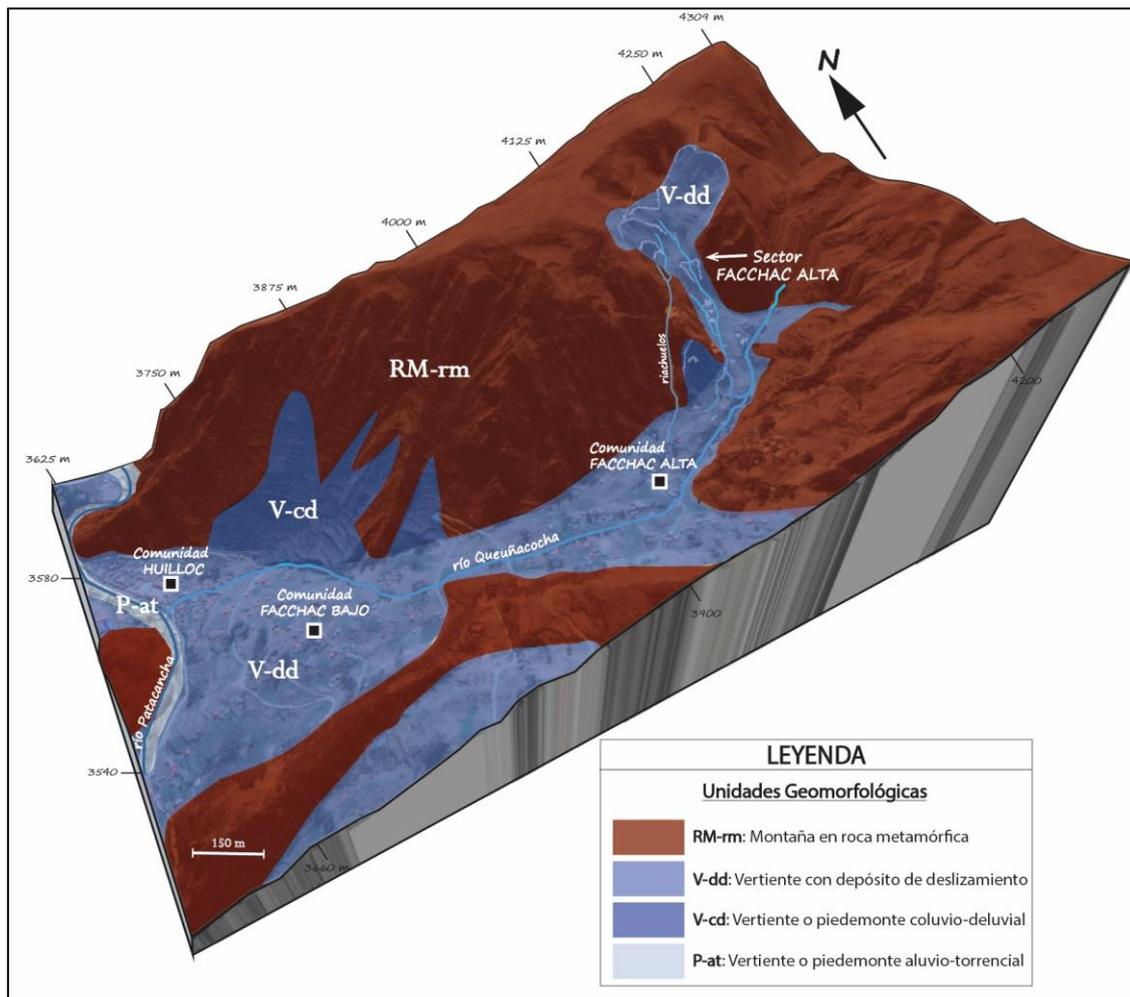


Figura 5. Vista 3D de la distribución de unidades geomorfológicas en el área de estudio

3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Están representadas por geofomas montañosas con pendientes pronunciadas. La erosión y degradación de su afloramiento en la parte alta originan geofomas de carácter depositacional, por transporte arrastre y acumulación de sedimentos.

3.2.1.1. Montañas en roca Metamórfica (RM-rm)

Esta subunidad geomorfológica corresponde a cadenas montañosas afectadas procesos denudativos (fluvio-erosionales) dieron origen a geofomas de carácter depositacional como vertientes con depósito de deslizamiento y vertientes coluviales de detritos (fotografía 7). Litológicamente corresponden a rocas metamórficas de la formación Málagá (figura 3).

Las montañas en roca metamórfica tienen pendientes de muy fuerte (25° a 45°) a abrupta (>45°) inclinación (figura 4). Las rocas metamórficas de la zona de estudio presentan un alto grado de fracturamiento, por lo que permite la salida de ojos de agua y riachuelos, de lagunas existentes en la parte alta, sobre pendientes

empinadas (fotografía 8). Los procesos erosivos de estas geoformas han generado deslizamientos y/o movimientos en masa complejos antiguos en el área de estudio, representados litológicamente como depósitos coluviales (figura 3).

3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

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

3.2.2.1. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

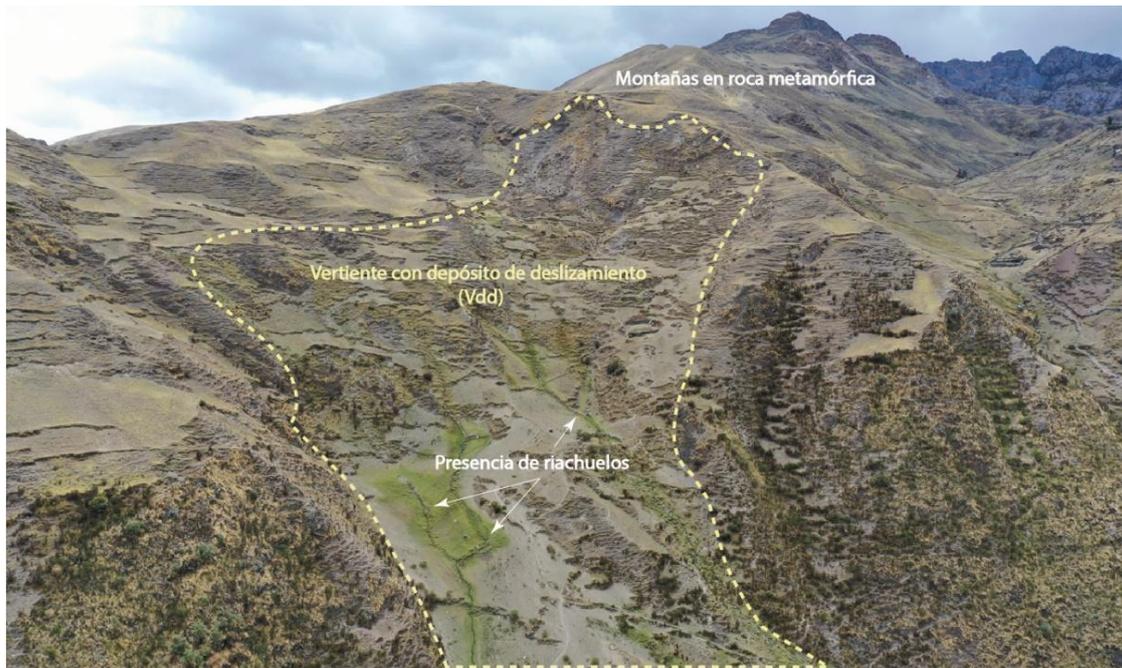
Esta unidad corresponde a acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, prehistóricos, antiguos y recientes, en el área de estudio son de tipo deslizamientos (fotografía 7). Están dispuestas sobre una pendiente de inclinación media (5° a 15°) a muy fuerte (25° a 45°) (figura 4).

Generalmente su composición litológica es homogénea, con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, son depósitos de corto recorrido relacionados a la montaña en roca metamórfica.

A lo largo de esta subunidad geomorfológicas, se extienden riachuelos, producto de la recarga de lagunas en la unidad de montaña en roca metamórfica (fotografía 8).



Fotografía 7: Vista lateral de las montañas metamórficas y la geoforma deposicional de vertientes de depósito de deslizamiento generado producto de procesos denudativos antiguos, en el sector de Facchac Alto.



Fotografía 8: Presencia de riachuelos sobre la vertiente con depósito de deslizamiento.

3.2.2.2. Vertiente coluvial -deluvial (V-cd)

Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. Están acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles (Vilchez et al., 2020).

En las zonas de estudio se observa depósitos coluviales al pie de laderas de fuerte a muy fuerte inclinación (fotografía 9). Estos depósitos se consideran inestables, ya que no existe cohesión entre sus fragmentos. Por esta razón, es fácil que un sobrepeso (caída de nuevos bloques) produzca deslizamiento de parte de los materiales.



Fotografía 9: Vista de geformas de vertiente coluvial de detritos en el flanco derecho del río Patacancha y vertiente con depósito de deslizamiento sobre el cual se asientan población en los sectores de Facchac Alta y bajo.

3.2.2.3. Vertiente aluvio-torrencial (P-at)

Esta unidad corresponde a planicies ligeramente inclinadas y extendidas, ubicadas al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Están formadas por la acumulación de sedimentos que son acarreados por corrientes de agua de carácter excepcional relacionadas a lluvias ocasionales, extraordinarias y muy excepcionales.

La pendiente de estos depósitos es baja (1° - 5°). Y está representada por el cauce del río Pachacancha y Queñacocha. Esta geofoma está formado por materiales acumulados de flujo de detritos constituidos en quebradas tributarias, que alcanzan los cauces principales del río Patacancha y Queñacocha (figura 4 y fotografía 10).

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



Fotografía 10.: Vista del río Queñacocho

4. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

4.1. Caracterización del Peligros por Movimientos en Masa

Las lluvias intensas de enero y febrero de 2021, generaron agrietamientos longitudinales y transversales en el área de estudio (figura 7), como indicios de la activación de un derrumbe de 32 m de ancho y 40 m de alto (figura 6), sobre una pendiente de muy fuerte inclinación (25° a 45°) (ver figura 4), en cuyas faldas se asientan 11 de 30 viviendas de la comunidad de Facchac Alta.

El flanco izquierdo del derrumbe activado se encuentra en contacto con rocas metamórficas de la Formación Málaga, en donde se presentan constantes caídas de rocas, debido al fracturamiento intenso de sus pizarras.

El derrumbe a ser activado es disectado por un riachuelo de 530 m de longitud, quien desemboca en el río Queñacocho, después de generar reptación de suelos, visibles en saltos en el terreno por la presencia de humedad excesiva, los mismo que pueden terminar desencadenando deslizamientos superficiales en el sector Facchac Alta (figura 8).

El testimonio de los pobladores indica que este sector es usado como terrenos de cultivo de papa y lisas, con una frecuencia de 2 a 3 años, a través del uso exclusivo del agua de lluvia como riego. En enero y febrero de 2021, cuando los pobladores sembraron estas hortalizas, se identificó las aperturas anómalas en el terreno.

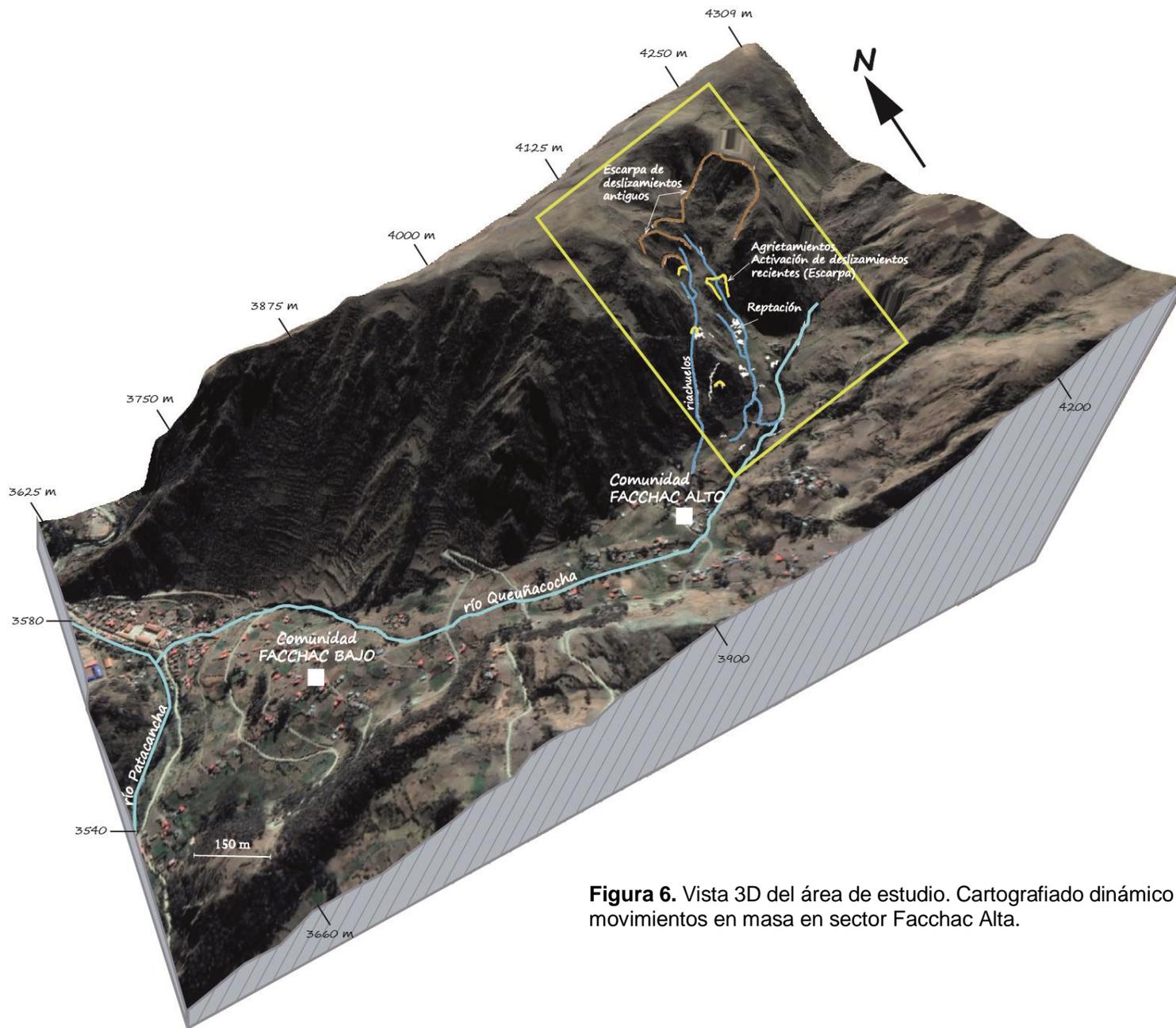
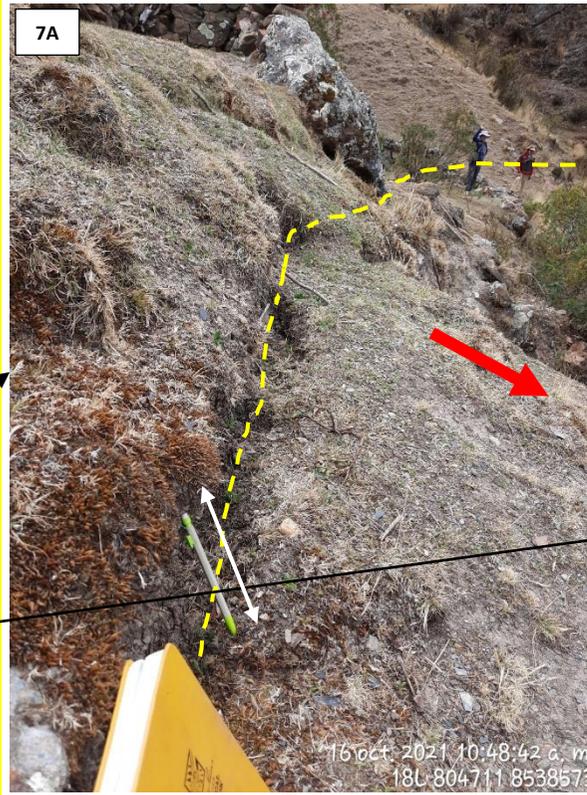
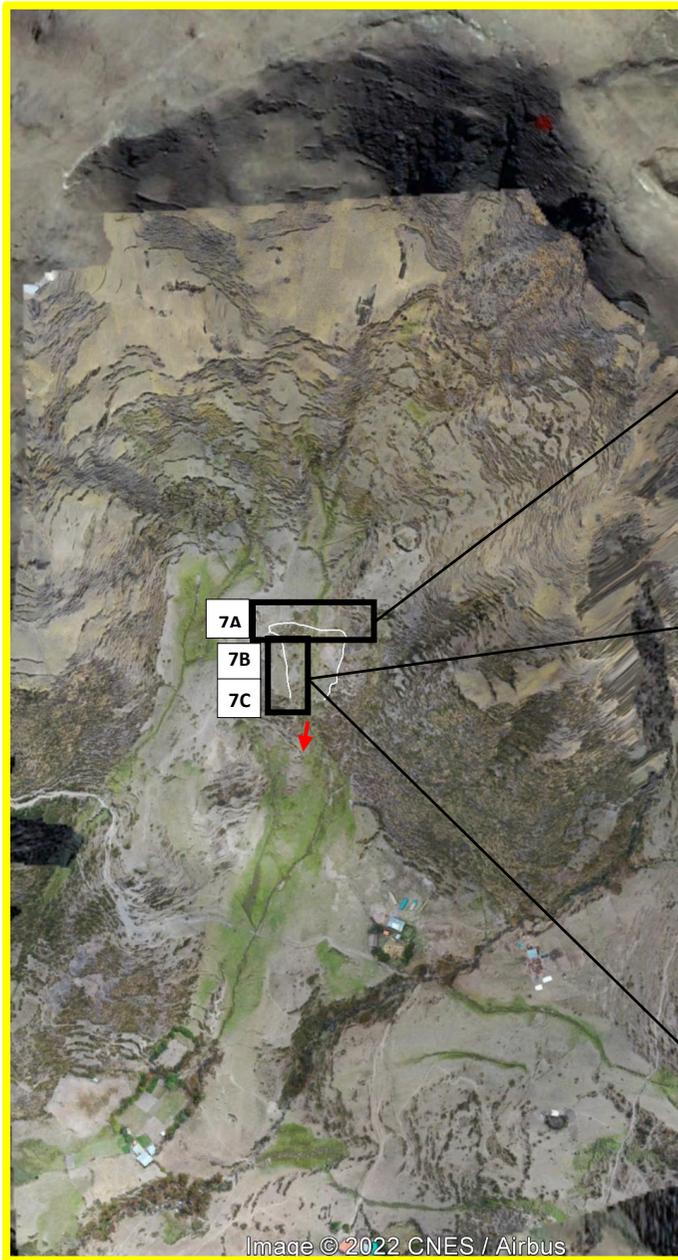


Figura 6. Vista 3D del área de estudio. Cartografiado dinámico de movimientos en masa en sector Facchac Alta.



022

Figura 7. Agrietamientos longitudinales y transversales en el sector Facchac Alto, como indicios de un deslizamiento. Figura 7A: Agrietamiento transversal, escarpa del deslizamiento. Figura 7B y 7C: Agrietamiento longitudinal, flanco derecho del deslizamiento. Las fechas rojas muestran la dirección de pendiente de la vertiente con depósito de deslizamiento.

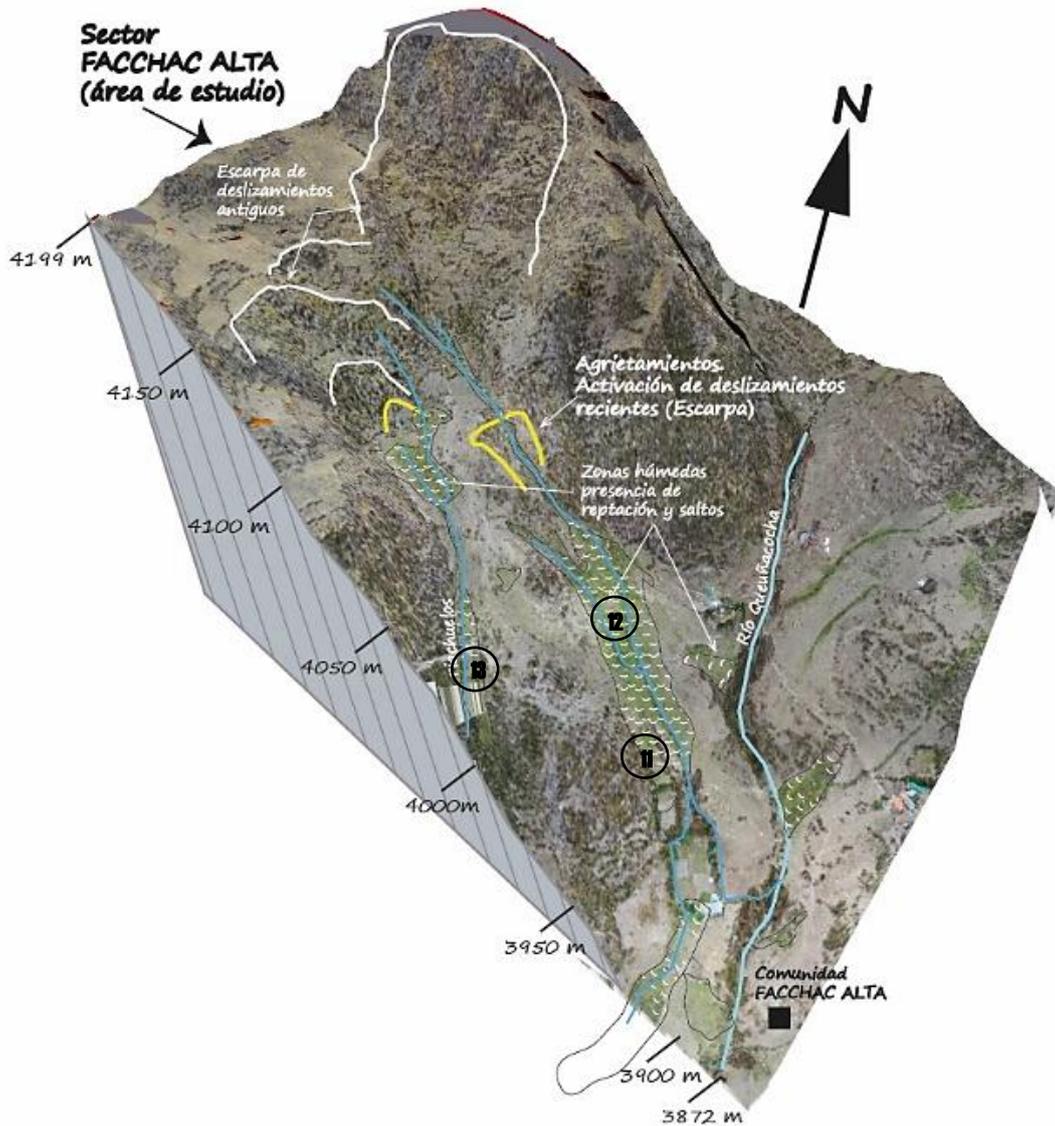


Figura 8. Block diagrama del cartografiado geodinámico del sector Facchac Alta. Los círculos negros muestran el número de fotografías descritas posteriormente.

Los peligros geológicos reconocidos en el área de estudio, corresponde a movimientos en masa de tipo derrumbe, reptación de suelos, deslizamiento y caída de rocas.

Los deslizamientos a ser reactivados presentan indicios de reptación de suelos, con saltos de 20 cm a 30 cm (fotografía 11, 12 y 13) por el alto grado de humedad (fotografía 14), además estos se desarrollan sobre vertientes con depósito de deslizamiento, asociados a la ocurrencia de movimientos en masa antiguos, de pendiente muy fuerte, cuyos depósitos son cuaternarios no consolidados (ver figura 5).



Fotografía 11. Reptación de suelos, saltos de 20 cm a 30 cm, por presencia de humedad en una pendiente de muy fuerte inclinación



Fotografía 12. Vista de saltos en todas las zonas húmedas, por presencia de raichuelos



Fotografía 13. Presencia de saltos en zonas húmedas del sector Facchac Alta, muestra indicios para la ocurrencia de un deslizamiento.



Fotografía 14. Vista del riachuelo que corta longitudinalmente el área de estudio y genera saltos y reptación de suelo en la parte baja del área de estudio.

La caída de rocas identificada en el flanco izquierdo del derrumbe activado, se ubica en una pendiente de muy fuerte inclinación, por lo que su desprendimiento puede causar daños a pobladores o ganados que se encuentren en la parte baja del lugar.



Fotografía 15. A: Vista de caída de rocas metamórficas en el flanco izquierdo del derrumbe activado, la caída de pizarras altamente fracturadas en la parte alta del Sector Facchac Alta, genera revote y rodamientos de largas distancias. B: acumulación de detritos por caída de rocas.

Las lluvias intensas asociada a sus condiciones geológicas y geomorfológicas antes descritas, describe al sector con una susceptibilidad de alta a muy alta, a la ocurrencia de movimientos en masa (ver figura 1).

De ocurrir un futuro derrumbe en el área de estudio, esta amenaza con destruir terrenos usados para cultivo de hortalizas y pastoreo de ganado, además el volumen de detritos a deslizarse comprometería viviendas ubicadas en las faldas del área de estudio (viviendas del sector Facchac Alto), Además del represamiento del cauce del río Queñacocha (figura 9) y riesgo de que su desembalse genere un flujo de detritos en la parte baja (Sector de Facchac Baja) (ver figura 6 y 9D)

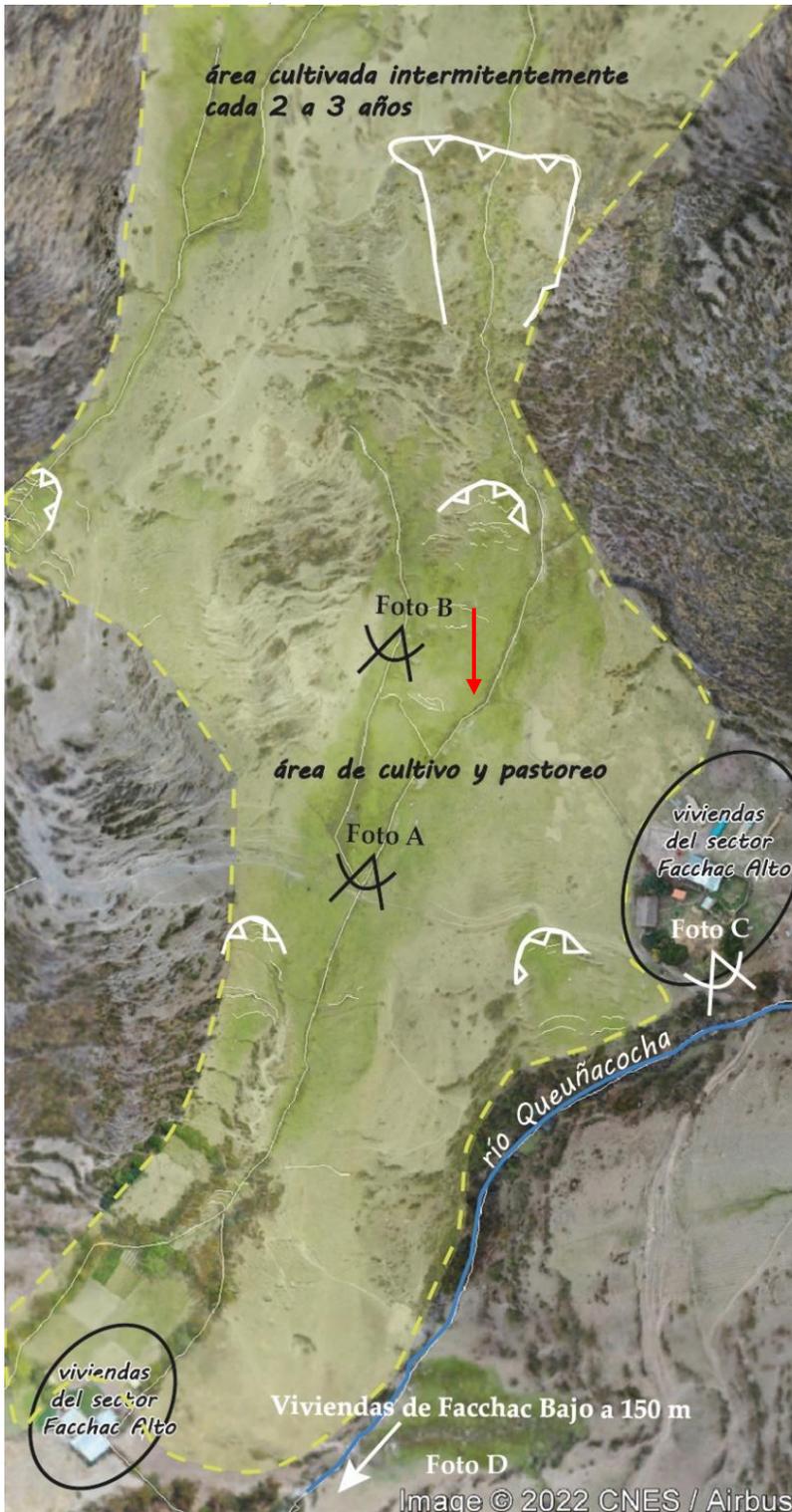


Figura 9. Afectación que generaría el desprendimiento del derrumbe activado en el área de estudio. Vista de fotografías de viviendas, cauce de río y terrenos de cultivo a ser afectados (foto A,B,C, y D). Las flechas rojas muestran la dirección de pendiente de la vertiente con depósito de deslizamiento.

4.2. Área de influencia del derrumbe y deslizamientos identificados en el sector Facchac Alta

El derrumbe activado en la parte media del cerro del sector Facchac Alta, puede llegar a desprenderse un volumen de 7280 m², considerando que tiene un área de 1456 m² y puede alcanzar un plano de falla de 5 m de profundidad (figura 10).

Además, se observa la presencia de reptaciones que generan saltos y agrietamientos que pueden desencadenar en deslizamientos rotacionales superficiales (~1 m de profundidad), de 1195 m³, 815 m³ y 511 m³ (figura 10).

El área que puede llegar a afectar los peligros geológicos descritos con anterioridad es de <1800 m², e involucra viviendas del sector Facchac Alta (en faldas del cerro Facchac Alta), terrenos de cultivos y el cauce del río Queuñacocha

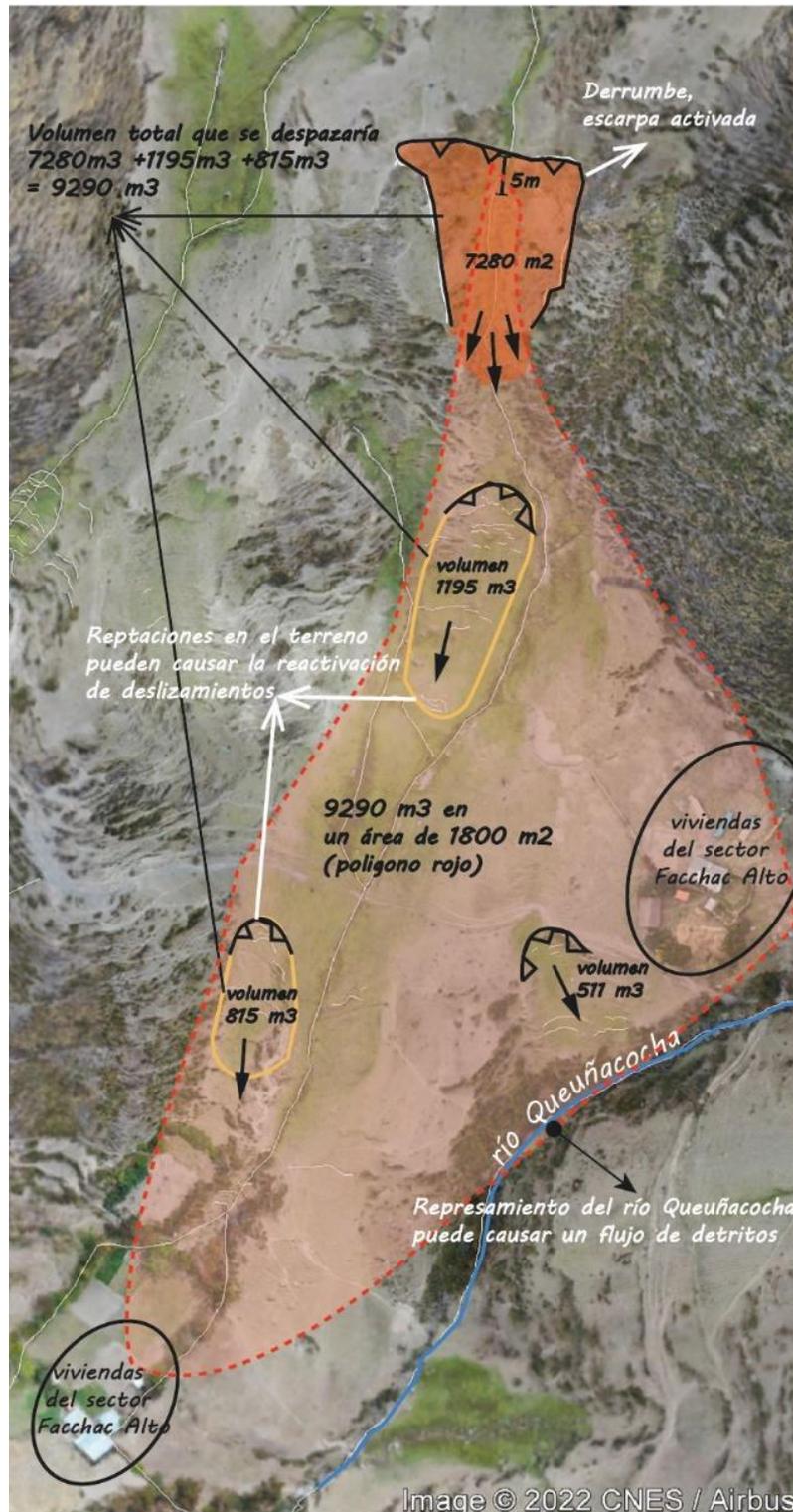


Figura 10. Área de estudio frente a peligros geológicos del sector Facchac Alta

4.3. Factores condicionantes y desencadenantes

4.3.1. FACTORES CONDICIONANTES

- **GEOLOGÍA:** Las unidades geológicas que conforman el área de estudio son rocas metamórficas de la Formación Málaga (pizarras), ligeramente meteorizadas a muy fracturadas, cubierto por depósitos aluviales, coluvio - deluviales, acumulados en quebradas, laderas empinadas y lechos de río, generados por intemperismo, gravedad, movimientos sísmicos y movimientos en masa (deslizamiento, caída de rocas, derrumbes y flujos de detrito).
- **TECTÓNICA:** Regionalmente se observa la presencia de fallas activas cuaternarias del sistema de fallas Ollantaytambo-Vilcabamba-Kimbiri, quien se extiende a lo largo de 110 kilómetros en dirección E-O, su existencia condiciona la presencia de sismos en la zona de estudio.
- **GEOMORFOLOGÍA:** Las unidades geomorfológicas que conforman el área de estudio son montañas en rocas metamórficas en la parte alta y vertientes con depósito de deslizamiento, coluvial de detritos y aluvio-torrencial, estas vertientes son disectadas por quebradas y ríos, y al mismo tiempo se observa la presencia de movimientos en masa recientes y antiguos.
- **PENDIENTE:** A lo largo del sector de Facchac Alta, se observa pendientes que varían de fuerte (15° a 25°) a abrupta (>45°) inclinación.

4.3.2. FACTORES DESENCADENANTES

- **LLUVIAS INTENSAS:** El área de estudio (sector de Facchac Alta), registra precipitaciones anuales entre 500 mm, siendo considerando un clima lluvioso, con otoño e invierno seco.
- **SISMOS:** A pesar de que el testimonio de pobladores indica que no sintieron ningún movimiento telúrico cuando desencadenó el evento, los sismos son uno de los factores que condicionan la ocurrencia de grandes movimientos en masa.

5. CONCLUSIONES

- a) Geológicamente, en el área de estudio afloran rocas metamórficas de la formación Málaga (pizarras), cuyos afloramientos son ligeramente meteorizados a muy fracturados. Además, la presencia de unidades no consolidadas como: depósitos aluviales (fragmentos heterométricos y heterogéneos envueltos en una matriz areno-arcillosa/limosa), depósitos coluvio-deluviales (fragmentos pizarrosos con material fino de areno-limosa y/o limo-arcillosa) sobre el fondo de valle y quebradas principales; son muy susceptibles a la generación de movimientos en masa.
- b) Las unidades geomorfológicas que representan las áreas de estudio son geoformas de carácter tectónico degradacional como montañas en roca metamórfica con pendientes que varían de muy fuerte (25° - 45°) a abrupta ($>45^\circ$), y geoformas de carácter depositacional como vertientes con depósito de deslizamiento y vertientes coluvio-deluvial (fotografía 7), dispuestas sobre una pendiente media (5° a 15°) a muy fuerte (25° a 45°) inclinación. Estas características asociadas a la geología clasifican el área con un grado de susceptibilidad **alta a muy alta**, a la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Los sectores evaluados, por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que evidencian, se consideran como dinámicamente **muy activos**, por lo tanto, las áreas de estudio tienen un nivel de **peligro muy alto** en temporada de lluvias intensas y prolongadas.
- d) Los peligros geológicos reconocidos, corresponden a movimientos en masa de tipo 'derrumbes, reptación, deslizamientos y caída de rocas', en el sector Facchac Alta.
- e) Las lluvias intensas de enero y febrero de 2021, generaron agrietamientos longitudinales y transversales, como indicios de la activación de un derrumbe de 32 m de ancho y 40 m de alto, además de reptación de suelos como indicios de la activación de deslizamientos, sobre una pendiente de muy fuerte inclinación (25° a 45°). En cuyas faldas se asientan viviendas pertenecientes a 11 de las 30 familias del sector Facchac Alta. La zona de estudio tiene una humedad alta por la presencia de riachuelos. Por lo tanto, el área de estudio es de peligro **muy alto**.

6. RECOMENDACIONES

- A) Restringir el uso de suelos como terrenos de cultivo, en el sector Facchac Alta.
- B) Monitorear permanentemente las aperturas y grietas generadas como indicios del derrumbe en el sector Facchac Alta.
- C) Realizar la captación de ojos de agua/manantes que hacen posible la presencia de riachuelos o construir una red de drenaje para evitar la saturación hídrica del suelo en el sector Facchac Alta.
- D) Prohibir el asentamiento poblacional o la construcción de nuevas viviendas en las faldas del cerro Facchac Alta.
- E) Reubicar la vivienda ubicada en las faldas del cerro Faccha Alta (figura 10).



Norma Luz Sosa Senticala
Especialista en peligros geológicos
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico



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

7. BIBLIOGRAFÍA

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, 2007.

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

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

Carlotto V., Cárdenas J. & Chávez R. (1998). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca, hojas 27-r y 27-s. Boletín N° 65. Serie A: Carta Geológica Nacional. INGEMMET. 255p

Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras. 2. Ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.