

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7609

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA LAGUNA PHAKU CUCHO

Departamento: Puno
Provincia: Carabaya
Distrito: Corani



**MARZO
2025**

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS EN LA LAGUNA PHAKU CUCHO

(Distrito de Corani, provincia Carabaya, departamento Puno)

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

Equipo técnico:

David Prudencio Mendoza

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en la laguna Phaku Cucho. Distrito de Corani, provincia Carabaya, departamento Puno. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7609, 35 p.

ÍNDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.3. Aspectos generales	6
1.3.1. Ubicación	6
1.3.2. Accesibilidad	7
1.3.3. Clima	7
2. DEFINICIONES.....	8
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	9
3.1. Unidades litoestratigráficas	9
3.1.1. Formación Quenamari	9
3.1.2. Depósito glaciar	11
3.1.3. Depósito lacustrino	12
3.1.4. Depósito de deslizamiento	13
3.1.5. Depósito coluvial.....	13
3.1.6. Depósito glaciar fluvial.....	13
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	14
4.1. Pendientes del terreno	14
4.2. Unidades geomorfológicas	15
4.2.1. Unidad de montañas	15
4.2.2. Unidad de Piedemonte	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS	16
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa en la laguna Phaku Cucho...	16
5.2. Factores Condicionantes	23
5.3. Factores Desencadenantes.....	24
6. CONCLUSIONES.....	26
7. RECOMENDACIONES	27
8. BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXO 1: MAPAS	29
ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES.....	34

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos en la quebrada Phaku Cucho, perteneciente al distrito Corani, provincia Carabaya, departamento Puno. 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 unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada, corresponden a tobas de la Formación Quenamari con sus miembros Yapamayo, Sapanuta y Chacacuniza, conformado por estratos de tobas vítreas, cristalolíticas y líticas de lapilli, las cuales se encuentra muy fracturadas y moderadamente meteorizadas, sobre estos se aprecian los depósitos glaciares inconsolidados y mal clasificados, conformados por bloques (20%) y gravas (40%) en matriz limoarcillosa (40%), son de fácil remoción.

Las geoformas identificadas son, sub unidad de montaña en roca volcánica y morrena, estas presentan laderas con pendientes fuertes (15° - 25°) a muy fuertes (25° – 45°) y la subunidad fluvio-glaciario que presenta pendientes del terreno de moderada (5° – 15°) a suave (1° - 5°), en estas últimas pendientes normalmente se generan los flujos de detritos.

Según pobladores de la comunidad de Quelcaya el 14 de noviembre 2022, la ladera oeste colindante a la laguna Phaku Cucho presentó derrumbes que provocaron un desembalse parcial de la laguna, el agua se canalizó por la quebrada del mismo nombre, que conllevó a generar un flujo de detritos (huaico); este recorrió una distancia de 7 km aproximado, en su trayectoria el evento dejó material como bloques de hasta 1.2 m, gravas y material fino. El evento destruyó 1 cabaña y 10 ha de pastizales correspondiente a 11 familias.

Los principales factores condicionantes del flujo de detritos son materiales inconsolidados provenientes de los depósitos de morrenas que presentan laderas de pendientes muy fuertes. Sobre el cauce de la quebrada se tienen depósitos fluvio-glaciares con pendientes moderadas, que son de fácil remoción.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la laguna y la quebrada Phaku Cucho son considerados como de **Peligro Alto** a la ocurrencia de nuevos flujos de detritos (huaicos) que pueden ser reactivados en temporada de lluvias intensas y/o excepcionales o por la exposición prolongada a temperaturas mayores a 7°C .

Finalmente, se recomienda a la población de la comunidad de Quelcaya, realizar encausamiento y limpieza continua del canal de la quebrada, forestar las laderas de los cerros y las márgenes del canal de la quebrada, instalar reductores de velocidad dentro del cauce de la quebrada, realizar trabajos de estabilidad de talud en las morrenas y realizar un SAT, entre otros.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, 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 la solicitud del Gobierno Regional de Puno, según Oficio N° 53-2023-GR-PUNO/ORGRDyS, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos de tipo flujo de detritos, ocurridos el día 14 de noviembre del 2022, que afectó una cabaña y 10 ha de pastizales perteneciente a 11 familias.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a al Ingeniero David Prudencio, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el trabajo de campo se realizó el 29 de abril del 2024 y se contó con la colaboración del presidente de la comunidad de Quelcaya y pobladores conocedores del sector.

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

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Corani, al Gobierno Regional de Puno e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa ocurrido el 14 de noviembre del 2022 en la quebrada Phaku Cucho.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios y publicaciones del Ingemmet realizados a nivel local y regional en la laguna y quebrada Phaku Cucho se tienen:

- A) Boletín N°77, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligros Geológicos en la Región Puno” (Gomez *et al.*, 2020); el estudio realizó un análisis de susceptibilidad a

movimientos en masa como flujos de detritos, deslizamientos y caídas, donde los alrededores de la laguna Phaku Cucho y la quebrada del mismo nombre presenta susceptibilidad muy alta y alta. Entendiéndose, la susceptibilidad como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico y geohidrológicos, expresado en grados cualitativos y relativos.

- B) En el Boletín N° 90, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata” hojas: 28-u, 28-v, a escala 1:100,000 (Chávez et al., 1997); y la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Río Picha (25-p), Timpia (25-q), Chuanquiri (26-p), Quillabamba (26-q), Quebrada Honda (26-r), Parobamba (26-s), Pacaypata (27-p), Machupicchu (27-q), Urubamba (27-r), Calca (27-s), Chontachaca (27-t), Quincemil (27-u), Ocongate (28-t), Corani (28-u) y Ayapata (28-v)”, a escala 1:100 000 (Sánchez et al., 2003); describen la geología e información relacionada a la estratigrafía. Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas (montañas modeladas en rocas volcánica y vertientes glaciares) donde se ubica la laguna y quebrada Phaku Cucho.
- C) En el Boletín N° 47, serie L, Actualización Carta Geológica Nacional “Geología del cuadrángulo de Corani” hojas: 28u1, 28u2, 28u3 y 28u4, a escala 1:50 000 (Soberon et al., 2022); describe los aportes y cambios en la actualización de información relacionada a la estratigrafía y geología estructural de la laguna y quebrada Phaku Cucho.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

La quebrada Phaku Cucho se ubica a 18 km al noroeste del centro poblado de Quelcaya.

Políticamente se encuentra en el distrito de Corani, provincia Carabaya, departamento Puno (figura 1), en coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19 s) siguientes (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas de la zona evaluada

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	304845	8459586	-13.927185°	-70.806311°
2	309947	8459586	-13.927531°	-70.759104°
3	309947	8454933	-13.969584°	-70.759423°
4	304845	8454863	-13.969870°	-70.806644°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	307331	8457618	-13.945141°	-70.783446°

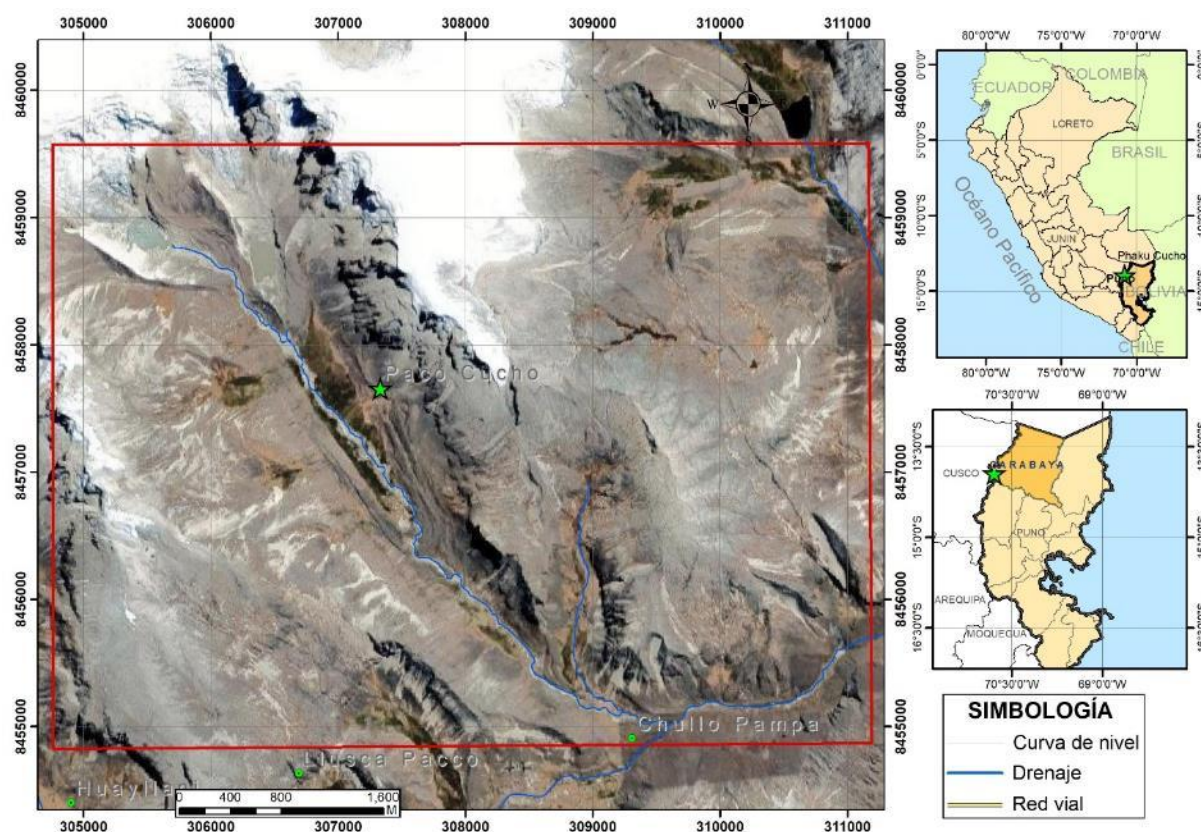


Figura 1. Ubicación del centro poblado de Ananea y la laguna Sillacunca.

Hidrográficamente las aguas de la laguna Phaku Cucho se vierten río Quelcaya, luego al río Inambari.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso al centro poblado de Quelcaya y luego por la laguna Phaku Cucho, vía terrestre desde la ciudad del Cusco (Ingemmet-OD Cusco), se realizó mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos hasta la Laguna Sillacunca

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cusco – Ayaviri	Carretera asfaltada	248	4 h 32 minutos
Ayaviri – Macusani	Carretera asfaltada	146	2 h 15 minutos
Macusani - Quelcaya	Carretera afirmada	80	2 h 30 minutos
Quelcaya – Quebrada Phaku Cucho	Carretera	18	1 h
Quebrada Phaku Cucho – Laguna Phaku Cucho	Camino de herradura	3	2 h

1.3.3. Clima

De acuerdo al mapa climático del SENAMHI (2020), y detallando la información local, se puede observar la quebrada de Phaku Cucho presenta un clima de tipo lluvioso, frío y con humedad abundante en todas las estaciones de año.

Presenta una frecuencia de precipitación durante todo el año, cuyas lluvias acumuladas anuales son de 1200 mm a 1800 mm, además, en presenta temperaturas máximas que oscilan entre 3°C a 7°C y mínimas entre -3°C y -1°C, con humedad atmosférica abundante todos los meses del año.

Esta clasificación climática es sustentada con información meteorológica recolectada de aproximadamente 20 años a partir de la cual se formulan “Índices Climáticos” de acuerdo a la clasificación climática por el método de Thornthwaite.

2. 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-Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

Agrietamiento: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

Corona: Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento visible ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

Derrumbe 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.

Deslizamientos: Movimiento ladera debajo 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).

Escarpa: Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

Flujos: Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea deslizamiento o una caída. Los flujos pueden ser canalizados (huaicos) y no canalizados (avalanchas).

Formación geológica: Es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Fractura: Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

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.

Movimientos en masa: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. En el territorio peruano, los tipos

más frecuentes corresponden a caídas, deslizamientos, flujos, reptación de suelos, entre otros.

Peligro o amenaza geológica: Es un 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.

Reptación de suelos: Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

Saturación: El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

Susceptibilidad: Está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló en base al boletín Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata” hojas: 28-u, 28-v (Chavez et al., 1996); la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Río Picha (25-p), Timpia (25-q), Chuanquiri (26-p), Quillabamba (26-q), Quebrada Honda (26-r), Parobamba (26-s), Pacaypata (27-p), Machupicchu (27-q), Urubamba (27-r), Calca (27-s), Chontachaca (27-t), Quincemil (27-u), Ocongate (28-t), Corani (28-u) y Ayapata (28-v)”, a escala 1:100 000 (Sánchez et al., 2003) y el Boletín N° 47, serie L, Actualización Carta Geológica Nacional “Geología del cuadrángulo de Corani” hojas: 28u1, 28u2, 28u3 y 28u4, a escala 1:50 000 (Soberon et al., 2022); encontrando el entorno geológico compuesto por afloramientos de rocas volcánicas del Neógeno sobre los que se apreciaron depósitos Cuaternarios. La cartografía geológica, se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona de estudio, son de origen volcánico correspondientes a la Formación Quenamari, y sus miembros Yapamayo, Sapanuta y Chacacuniza, ubicados en las cumbres de la quebrada, conformado por estratos de tobas vítreas, cristalolíticas y líticas de lapilli. Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos recientes como glaciar, glacio-fluvial, coluvial y lacustrino, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad (Anexo1: Mapa1).

3.1.1. Formación Quenamari

Esta formación está compuesta por depósitos de un evento volcánico de carácter ignimbrítico, en la zona de estudio fue cubierto por el glaciar Quelcaya, luego su retroceso dejó expuesta los depósitos mencionados, dejando las rocas muy fracturadas y moderadamente meteorizadas, en base a sus características litológicas y discontinuidades se ha dividido en 3 miembros:

Miembro Chacacuniza: se aprecia en la cima del cerro Ticapallana, en la parte baja de la quebrada Phaku Cucho, está compuesta por tobas líticas de lapilli de composición riolítica y dacítica con cristales de cuarzo, plagioclasa y biotita con trazas de vidrio en matriz criptocristalina (fotografía 1).



Fotografía 1: Tobas líticas de lapilli de composición riolítica y dacítica.

Miembro Sapanuta: se aprecia en los cerros de la parte media de la quebrada Phaku Cucho sus depósitos circundan la quebrada y se encuentran compuestos de tobas cristalolíticas de composición riolítica con abundante pómez y matriz (fotografía 2).



Fotografía 2: Tobas cristalolíticas de composición riolítica con abundante pómez y matriz.

Miembro Yapamayo: se ubica en la cabecera de la quebrada, en esta zona los depósitos son cubiertos por el glaciar Quelcaya, está compuesto por tobas vítreas y líticas de composición riolítica, cohesionadas por recristalización (fotografía 3).



Fotografía 3: Tobas vítreas y líticas de composición riolítica, cohesionadas por recristalización.

3.1.2. Depósito glaciar

Formado por el avance y el retroceso glaciar, se pueden apreciar en la cabecera y en las laderas de la quebrada Phaku Cucho, además, de los flancos de las quebradas tributarias, son depósitos no consolidados que no presentan orden alguno y forman arcos morrénicos, compuesto por bloques (20%) de hasta 5 m de diámetro, gravas (40%) heterométricas de formas sub redondeas, en matriz limoarcillosa (40%) (fotografía 4 y figura 2)



Fotografía 4. Depósitos de morrenas generado por el avance y retroceso glaciar.



Figura 2. Depósitos de morrenas con bloques de hasta 5 m de diámetro.

3.1.3. Depósito lacustrino

Se encuentra en la parte media de la quebrada junto a los depósitos glacial - fluvial, son llanuras que fueron rellenadas por la colmatación de sedimentos en el proceso de descongelación de permafrost en el retroceso del glaciar.

Se aprecian materiales orgánicos y sedimentos no consolidados, de este último su protolito pertenece a la Formación Quenamari, además, se encuentra compuesto por gravas (30%) heterométricas de hasta 5 cm en matriz arenolimoso (70%). (fotografía 5 y figura 3)



Fotografía 5. Depósitos lacustrinos, formado por colmatación de sedimentos.



Figura 3. Depósitos lacustrinos, conformado por gravas en matriz arenolimosas.

3.1.4. Depósito de deslizamiento

Se encuentra en las partes altas de las laderas en toda la quebrada, son depósitos no consolidados que fueron acumulados por acción de los eventos de movimiento en masa, se encuentran compuestos por bloques y gravas heterométricas en matriz de arenas y limos, presentan formas sub angulosas a angulosas (fotografía 2).

3.1.5. Depósito coluvial

Se encuentran en las laderas de los cerros que circundan la quebrada, algunos llegan a la base de la quebrada, son depósitos no consolidados que tuvieron transporte desde partes altas a causa de las aguas de escorrentía y la gravedad, se encuentran compuesto por bloques y gravas heterométricas con formas sub angulosas a sub redondeadas en matriz de arenas y limos.

3.1.6. Depósito glaciar fluvial

Son depósitos compuestos por materiales de la quebrada, con procesos de remoción y dispuestos en zonas más bajas de forma estrepitosa en épocas de lluvias intensas o eventos de desembalse de la laguna, constituidos por bloques y gravas heterométricas con hasta 5 m de diámetro en matriz arenolimosas (fotografía 6 y figura 4)



Fotografía 6. Depósito glaciar fluvial, formado por desembalse y traslado de materiales en forma de flujos hacia zonas bajas.



Figura 4. Depósito glaciar fluvial, conformado por bloques y gravas en matriz arenolimososa.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de peligros por movimientos en masa, ya que actúa como un factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

Se presenta el mapa de pendientes (Anexo 1 - Mapa 2) y un mapa de elevaciones (Anexo 1 - Mapa 3), los cuales fueron realizados con ayuda de un modelo de elevación digital del terreno de 12.5 m de resolución; tomada del satélite Alos Palsar (USGS), información que fue corroborada con un análisis de imágenes satelitales y cartografía in situ.

Donde podemos ver que la laguna Phaku Cucho se encuentra a una elevación de 5000 m s.n.m. y es donde comenzó el flujo de detritos, trasladando sus materiales por más de 7 km donde finalmente depositó sus materiales a una elevación de 4600 m s.n.m.

En la zona evaluada, la subunidad de montañas y morrenas presenta terrenos con pendientes fuertes (15° - 25°) a muy fuertes (25° - 45°), estas dotaron material para la generación del flujo de detritos. Mientras que el fondo del valle se aprecian pendientes del terreno de moderadas (5° - 15°) a suaves (1° - 5°), por donde se desplazó el flujo generando erosión y socavamiento del terreno.

4.2. Unidades geomorfológicas

La determinación y caracterización de las unidades geomorfológicas, se complementaron y actualizaron en base al mapa geomorfológico regional a escala 1:100 000 elaborado por Gómez (2020).

Además, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez *et al*, 2020).

4.2.1. Unidad de montañas

Son geoformas de carácter degradacional y erosional. Se consideran dentro de esta unidad a elevaciones del terreno con alturas mayores a 300 m con respecto al nivel de base local, diferenciándose la siguiente subunidad según el tipo de roca que la conforma y los procesos que han originado su forma actual.

Subunidad de montañas en roca volcánica (RM-rv): representado por un relieve modelado en afloramientos rocosos del Formación Quenamari, conformada por tobas de composición riolíticas.

En la quebrada Phaku Cucho se aprecia circundando en las cumbres de los cerros de la quebrada, presentando pendientes escarpadas (Fotografía 7).



Fotografía 7: montaña en roca volcánica compuestas por tobas riolíticas.

4.2.2. Unidad de Piedemonte

Son geoformas de carácter depositacional y agradacional. Se consideran como formas de terrenos que constituyen la transición entre los relieves montañosos accidentados y las zonas planas, predominan los terrenos generados por fuerzas de desplazamiento como depósitos coluviales antiguos y recientes y depósitos de tipo glaciar – fluvial.

Subunidad de Morrenas (Mo): Comprende geoformas convexas suaves y alargadas, producidas por la acumulación de materiales heterométricos depositados por acción glaciar, durante el Pleistoceno Holoceno; conformados por bloques y gravas con formas angulosas, dispuestas sin estratificación u orden alguno con matriz de limo y arcilla, Gómez & Pari (2020). Se aprecian mayormente en los flancos y el fondo del valle (figura 5).

Subunidad de vertiente glacio-fluvial (V-gfl): Son profundizaciones en el terreno que deja el avance de flujos y los depósitos en zonas de explayada, presenta pendientes moderadas que rodean el canal y planicies inclinada, formadas por la acumulación de sedimentos transportados por corrientes de agua (figura 5).



Figura 5. Subunidad de Morrenas y de vertiente glacio-fluvial en la quebrada Phaku Cucho.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo flujo de detritos, deslizamientos y erosión de laderas (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Los movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son geometría y pendiente del terreno, tipo de roca, tipo de suelos, drenaje superficial–subterráneo y cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad que desestabilizan los taludes.

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa en la laguna Phaku Cucho

Para los trabajos campo se contó con el acompañamiento del presidente de la comunidad de Quelcaya y pobladores conocedores del sector, quienes comentaron los hechos ocurridos en la zona de estudio.

La laguna **Phaku Cucho**, esta circuncidada con el glaciar, el deshielo presenta un constante crecimiento y aumento de volumen.

El día 14 de noviembre del 2022, de la ladera oeste se presentó un derrumbe de una morrena, en la margen derecha de la laguna, los materiales de este evento cayeron sobre la laguna y fue a causa de la sobresaturación por el deshielo del permafrost en la morrena, que hasta el día de la inspección se observó surgencias de agua en la ladera (figura 6).



Figura 6. Se aprecian surgencias de aguas en la ladera sur oeste de la morrena.

El derrumbe tiene un avance retrogresivo con forma de la zona de arranque de tipo alargado irregular, presenta una longitud de arranque de 600 m, con distancia entre la escarpa principal y pie del derrumbe que va desde 185 m hasta 400 m y un área del material derrumbado de 14.27 ha (figura 7).



Figura 7. Características visuales del derrumbe.

En imágenes históricas se puede reconocer que la altura del material derrumbado es aproximadamente 15 m, además, este material alcanzó la laguna y desplazó el agua de la cubeta ladera abajo, se aprecia que el área del espejo de agua de la laguna antes del evento es de 5.68 ha y el área después del evento es de 4.67 ha, por lo que el área de la laguna cubierta por el material multiplicado por la altura fue el volumen que generó el flujo de detritos aguas abajo (figura 8).



Figura 8. Imágenes históricas de la laguna de Phaku Cucho donde se aprecia el sector antes del evento analizado, imagen tomada de Google Earth.

A consecuencia del desembalse se produjo un flujo de detritos que recorrió una distancia de al menos 7 km, estuvo constituido por material morrenico, además, el flujo de agua y el material arrastrado, socavó y amplió el canal de la quebrada dejando ancho de hasta 50 m y con profundidad de hasta 30 m, en un tramo de 390 m (Fotografía 8 y figura 9).



Fotografía 8: Se aprecia el material fluvio glaciar que se explaya en varias zonas de la quebrada.



Figura 9: Derrumbe de la margen derecha de la morrena el cual embolsó la laguna Phaku Cucho, se observa los materiales dejados por este evento.

El flujo tiene como punto de partida la laguna Phaku Cucho, en su recorrido arrastró bloques con diámetro de hasta 3 m, gravas y lodo, en su trayectoria se aprecia en varios sectores donde el material se explaya sobre los depósitos lacustrinos disminuyendo su fuerza, llegando a recorrer aproximadamente 7 km, donde se encuentra un dique natural (30 m de altura) con drenaje en la base (Fotografía 9, figura 10).



Fotografía 9: bloques depositados en los depósitos lacustrinos.



Figura 10: se aprecia dos zonas donde parte del material transportados se explayó y perdió materiales.

Además, el dique que contuvo el material del flujo en la parte baja de la quebrada puede ser un peligro, ya que cabe la posibilidad de que se rompa con flujos futuros, por lo cual se debe contemplar retirar el dique y dejar que las aguas discurran libremente siguiendo el cauce antiguo del río, ya que, si un flujo lograra romper el dique, los materiales se incluirían a la masa arrastrada y alcanzaría mayores distancias afectando a viviendas ubicadas aguas abajo (figura 11).



Figura 11. Imágenes del dique natural de más de 30 m que podría romperse con eventos futuros sumado a la escorrentía superficial que presenta, imagen tomada de Google Earth.

Por otro lado, se puede apreciar a la laguna Phaku Cucho Bajo, ubicada hacia el sureste de la laguna evaluada. Esta laguna presenta un peligro constante al encontrarse en contacto con el glaciar, presentando un constante crecimiento por el deshielo, por lo que las laderas que la colindan son susceptibles a derrumbes, por consiguiente, a generar desembalse.

De romperse la cara frontal del dique que soporta la laguna, generaría flujos de detritos, por lo que se debe tener en cuenta este peligro latente (figura 12, 13 y 14).



Figura 12. Se aprecia la laguna Phaku Cucho Bajo, generada por el deshielo del glaciar. Además de, la quebrada principal por donde paso el flujo de detritos.



Figura 13. En la margen izquierda de la laguna Phaku Cucho Bajo se aprecia la zona de arranque de un derrumbe inactivo latente el cual podría llegar a la laguna.

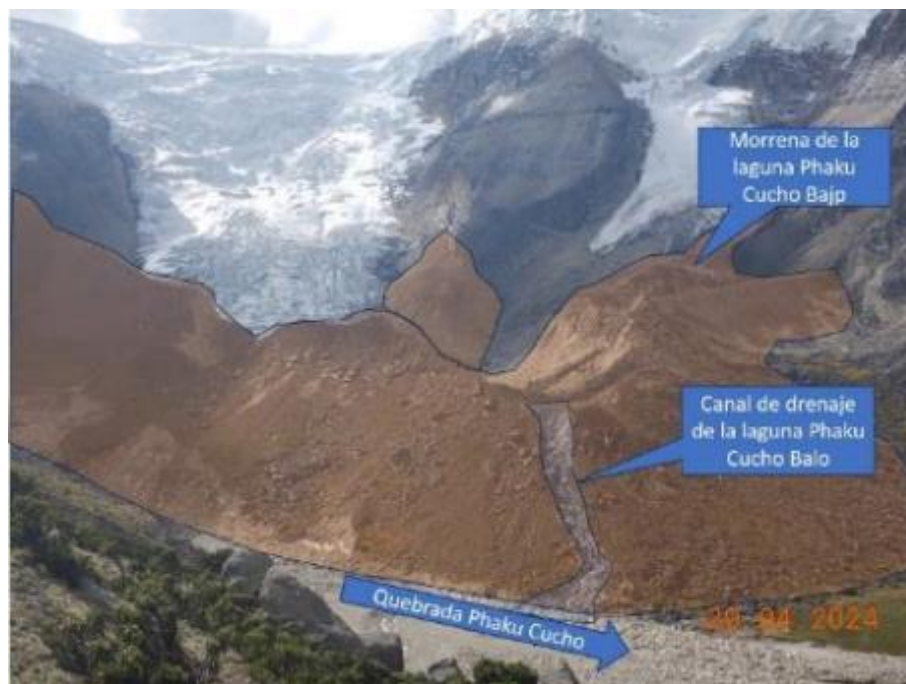


Figura 14. Se muestra la morrena que contiene a la laguna Phaku Cucho Bajo con su drenaje y hacia la derecha la quebrada Phaku Cucho.

5.2. Factores Condicionantes

Factor litológico

- Los depósitos glaciares no consolidados, compuesto por bloques de hasta 5 m de diámetro y gravas de formas sub redondeas, en matriz limoarcillosa, también los depósitos lagunares no consolidados, compuesto por gravas heterométricas de hasta

5 cm en matriz arenolimoso con materiales orgánicos, son de fácil erosión y remoción, por lo que son susceptibles a eventos de movimientos en masa.

Factor geomorfológico

- La quebrada Phaku Cucho se encuentra circundada principalmente por depósitos de morrenas, estos presentan mayormente terrenos con pendientes fuertes (15° - 25°) a muy fuerte (25° - 45°), además, dentro de estos depósitos se generaron lagunas y/o humedales que pertenecen al fondo del valle presentando pendientes suaves (1° - 5°) a moderadas (5° - 15°) y fue por donde pasaron los flujos de detritos, los que son susceptibles a que generen estos eventos.

Factor hidrológico - hidrogeológico

- La sobresaturación de las morrenas por las aguas de escorrentía y el descongelamiento del permafrost en la superficie de estas, genera derrumbes por la sobrecarga del terreno, sumado a la pendiente que presenta.

5.3. Factores Desencadenantes

- Según Senamhi (2020), en la estación Aymaña ubicado a 15 km al noreste de la zona evaluada, registro los días previo al flujo de detritos del 14 de noviembre, precipitaciones pluviales que alcanzaron un acumulado hasta el día del evento de 6 mm (figura 15); además, las temperaturas diarias, en donde el mes de noviembre registro un promedio de 7.05°C , la mayor de todo el año (Figura 16); por lo cual uno de los factores desencadenante pudo ser la exposición prolongada a altas temperaturas, la que ayudo a descongelar el permafrost generando saturación de la morrena.



Figura 15. Precipitaciones diarias del mes de noviembre, se parecía que los días antes del evento se acumuló 6 mm de precipitaciones.

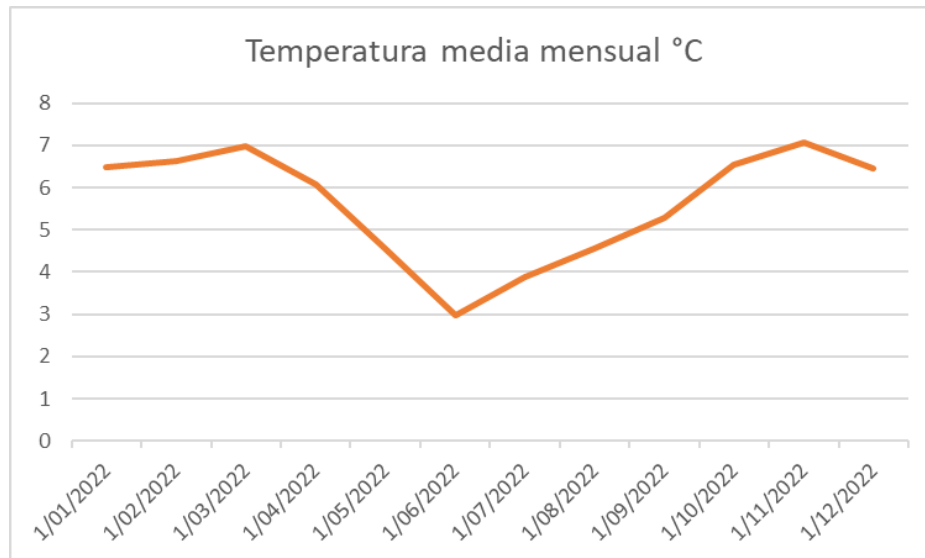


Figura 16. Temperatura mensual promedio, se aprecia que la temperatura en el mes de noviembre fue la más alta de todo el año 7.05 °C.

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

1. El 14 de noviembre del 2022, se presentó un derrumbe en la ladera interior de la morrena ubicada en la margen derecha de la laguna Phaku Cucho este evento trasladó materiales hasta la laguna la cual generó un desborde de sus aguas con consiguiente un flujo de detritos, el cual afectó a una cabaña y 10 ha de pastizales.
2. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la laguna y la quebrada Phaku Cucho son consideradas como de **Peligro Alto** a la ocurrencia de nuevos flujos de detritos (huaicos) que pueden ser desencadenados por el desembalse de grandes cantidades de agua de sus lagunas.
3. El flujo de detritos del 14 noviembre 2022, recorrió 7 km desde la laguna Phaku Cucho hasta el dique, arrastrando bloques con diámetro de hasta 5 m, depositando parte de sus materiales en su camino, el canal de la quebrada en las zonas con mayor erosión alcanzó un ancho de 50 m y una profundidad de 30 m.
4. Los factores condicionantes de los movimientos en masa son:
 - Los depósitos glaciares y lagunares no consolidados, de fácil erosión y remoción, por lo que son susceptibles a eventos de movimientos en masa.
 - La quebrada Phaku Cucho se encuentra circundada principalmente por depósitos de morrenas que presentan terrenos con pendientes fuertes (15°-25°) a escarpadas (25° – 45°), donde se generan derrumbes que llegaron hasta la laguna generando desembalses con consiguiente flujo de detritos.
 - La sobresaturación de las morrenas por las aguas de escorrentía y el descongelamiento del permafrost en la superficie de estas, genera derrumbes por la sobrecarga del terreno.
5. El factor desencadenante para la ocurrencia de derrumbes que generan desembalses con consiguiente flujo de detritos de la laguna Phaku Cucho, fue la sobresaturación de las laderas posiblemente a causa de la exposición prolongada a altas temperaturas.
6. La laguna Phaku Cucho Bajo también presenta las mismas condiciones que la laguna evaluada por lo que esta se considera como de peligro muy alto a la ocurrencia de flujos de detritos.
7. En la zona baja de la quebrada, donde se dispuso el deslizamiento existe un dique con drenaje en la parte base, este dique presenta peligro alto a romperse en eventos futuros de flujos de detritos.

7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de los peligros geológicos. Así mismo, la implementación de dichas medidas para reducir y/o mitigar los peligros antes mencionados, permitirá darle mayor seguridad a la población expuesta.

1. Realizar cálculos de volumen en las dos lagunas y con sus caudales realizar modelos de flujos que podrían generarse en futuros eventos.
2. Realizar descolmatación continua y encausamiento de la quebrada Phaku Cucho, respetando el cauce natural.
3. Implementar reductores de velocidad espigones o diques transversales para evitar la erosión del canal de la quebrada.
4. Realizar diques de contención y regulación en las morrenas frontales que represan la laguna
5. Por la erosión lateral del flujo, se generó inestabilidad en laderas, por lo cual se tienen que realizar estudios técnicos, para tratar la ladera.
6. Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para monitorear los huaicos que se generan en la quebrada Phaku Cucho. En la implementación se debe tener en cuenta la instalación de sensores, sistemas de comunicación, alarmas, entre otros, con el objetivo de tener avisos oportunos ante la ocurrencia de huaicos, para que la población que se encuentre en el sector pueda tomar las precauciones y salvaguardar sus vidas.
7. Mientras se consiga implementar el SAT, realizar monitoreo visual y constante en la quebrada Phaku Cucho ante la posible reactivación de derrumbes y desembalses con consiguiente flujo de detritos, que pueden ser originados por precipitaciones pluviales intensas, excepcionales o temperaturas altas prolongadas.
8. Realizar charlas de sensibilización y concientización sobre peligro y riesgo a las que se encuentran expuestos los pobladores de Quelcaya.
9. Realizar una Evaluación de Riesgos por Movimientos en Masa (EVAR) para poder cuantificar los costos de reducción del peligro y las pérdidas en el sector.
10. Realizar un estudio técnico especializado, para la construcción de un canal que conecte la laguna con la parte baja y drenar las aguas.

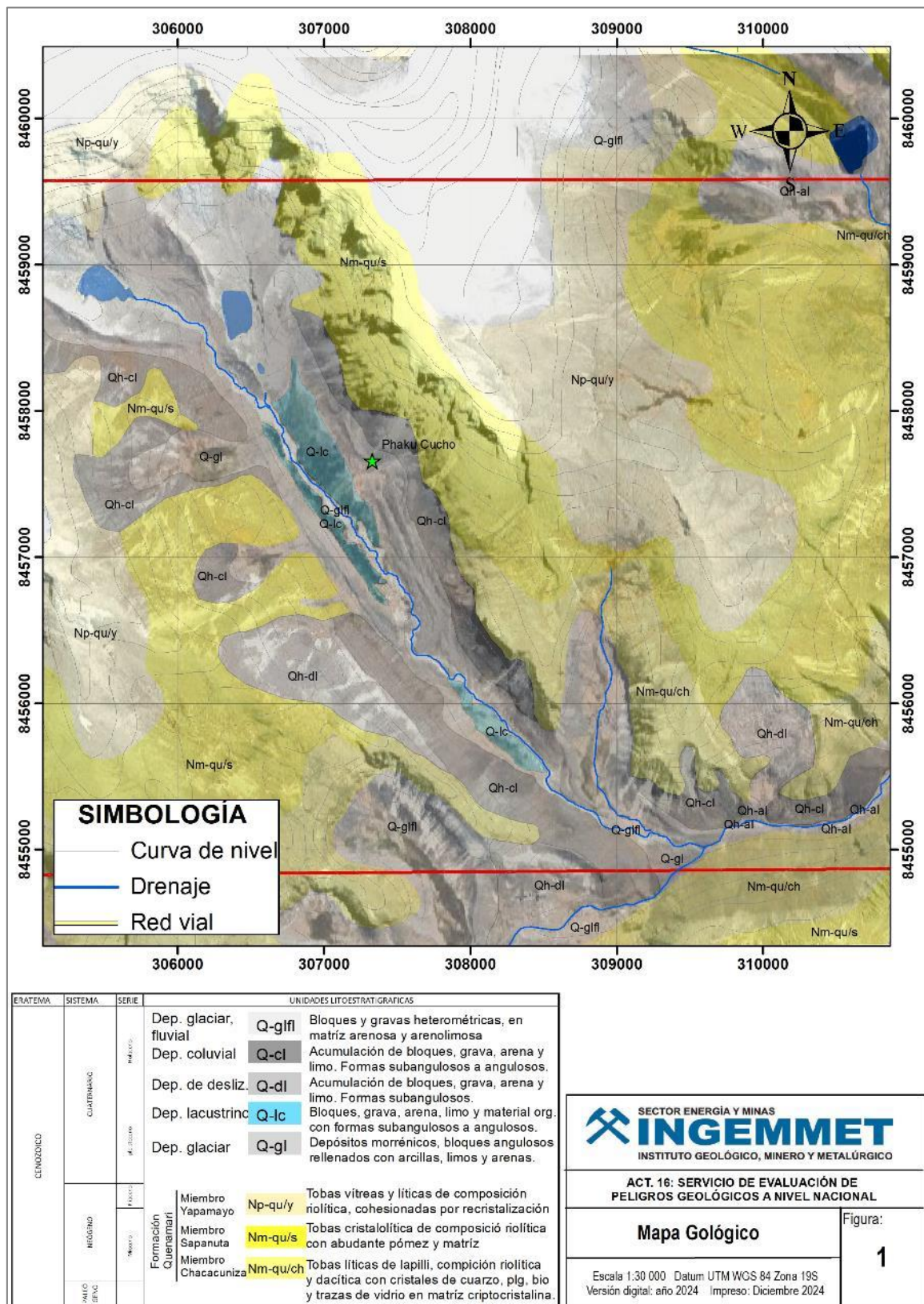

Segundo A. Núñez Juárez
ESPECIALISTA EN PELIGROS GEOLÓGICOS

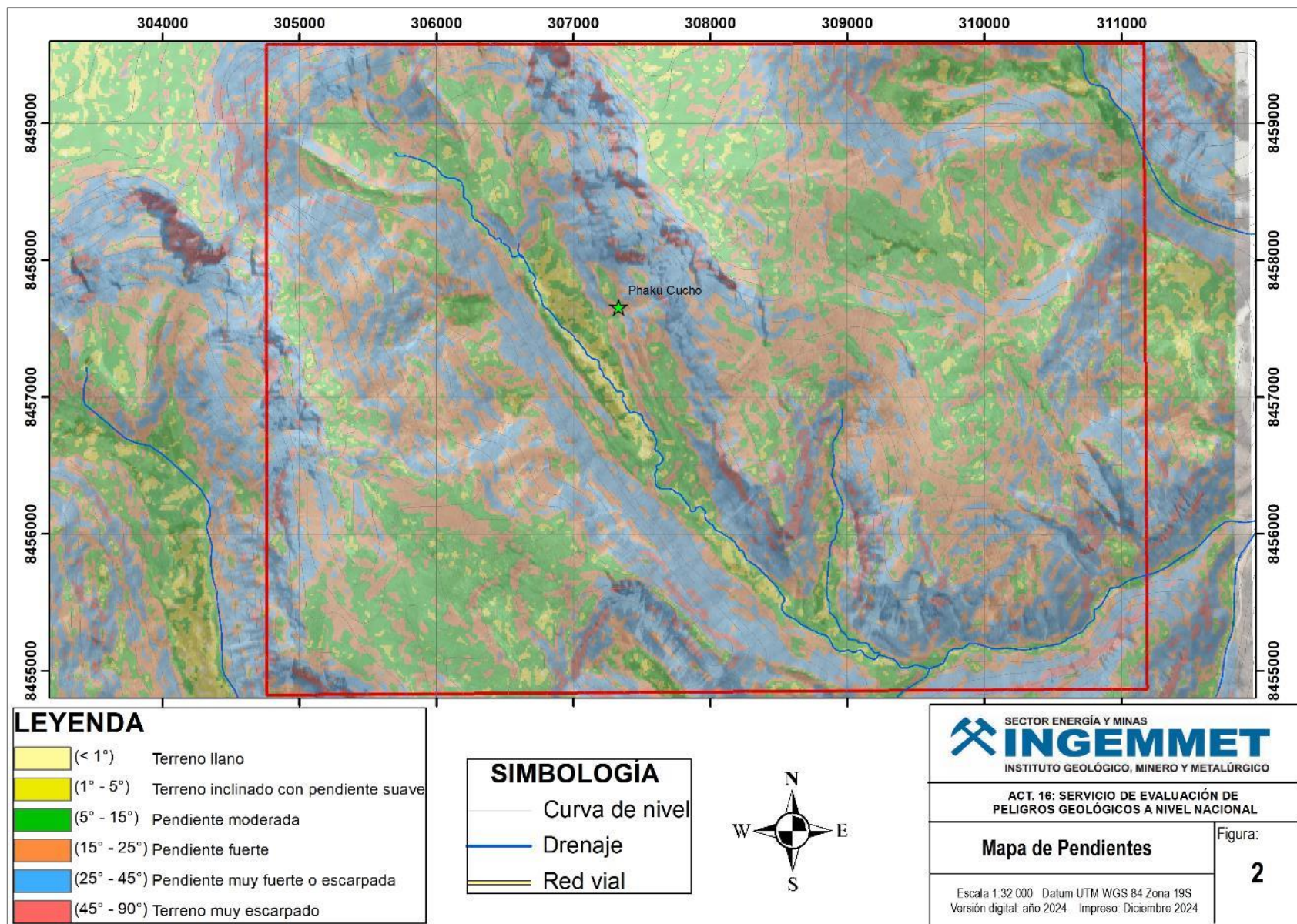

Ing. BILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

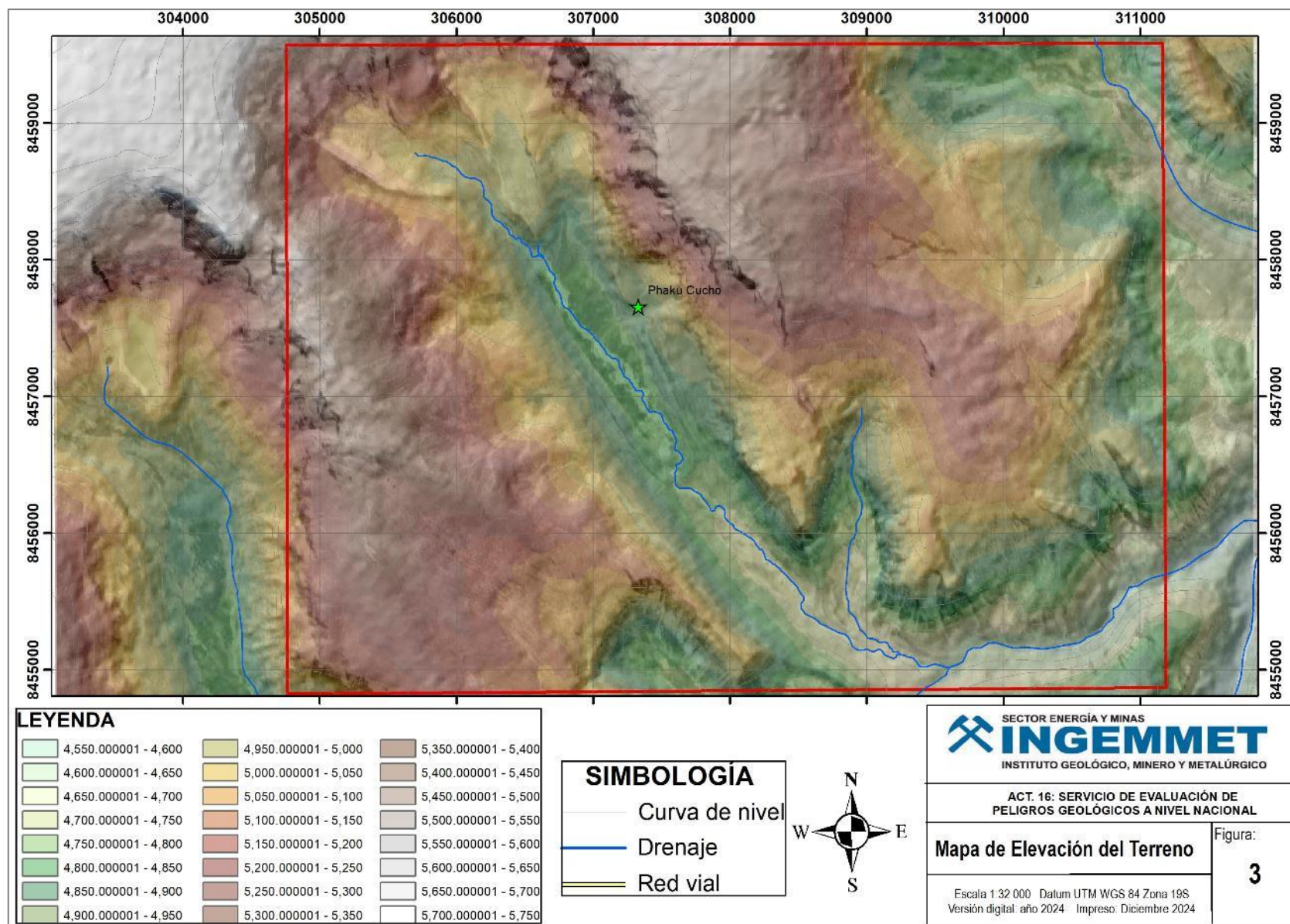
8. BIBLIOGRAFÍA

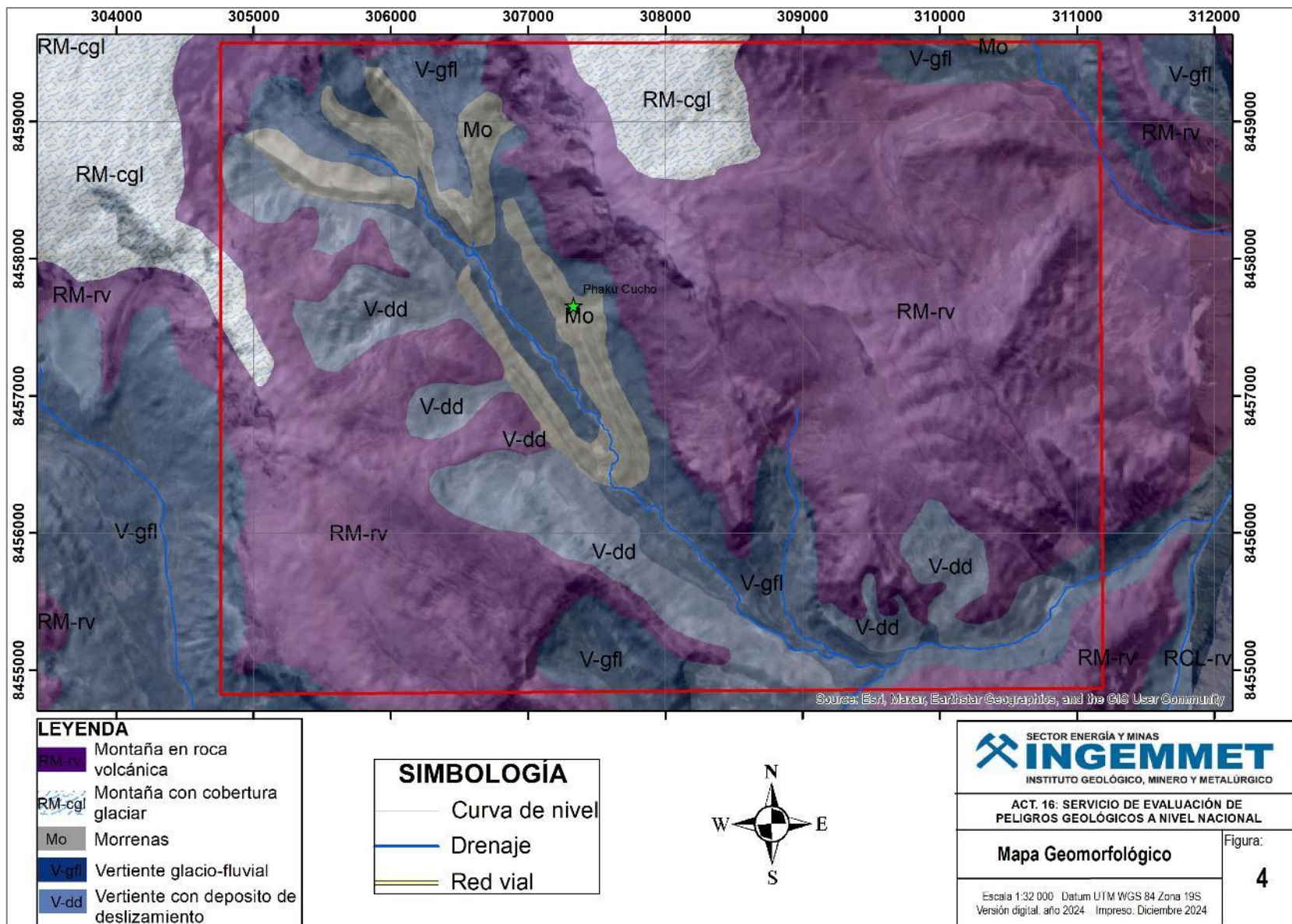
- Chávez, A.; Salas, G.; Gutiérrez, E.; Cuadros, J. (1997). Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata, hojas: 28-u y 28-v. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 90, 140 p.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo. (2002) INGENIERÍA GEOLOGICA. PEARSON EDUCACIÓN, Madrid, 738 páginas.
- Gomez, H. & Pari, W. (2020) - Peligro geológico en la región Puno. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 77, 236 p., 9 mapas.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 3. Ingemmet, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 28, 373 p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007)
 - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.
- Sánchez, A. Zapata, A., (2003), Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Río Picha (25-p), Timpia (25-q), Chuanquiri (26-p), Quillabamba (26-q), Quebrada Honda (26-r), Parobamba (26-s), Pacaypata (27-p), Machupicchu (27-q), Urubamba (27-r), Calca (27-s), Chontachaca (27-t), Quincemil (27-u), Ocongate (28-t), Corani (28-u) y Ayapata (28-v)” Escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 51 p.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2021) – SENAMHI..
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Soberon, D.; Rodríguez, R.; Choquehuanca, S. & Gómez, W. (2022) - Geología del cuadrángulo de Corani (hojas 28u1, 28u2, 28u3, 28u4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000), 47, 111 p, 4 mapas
- Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

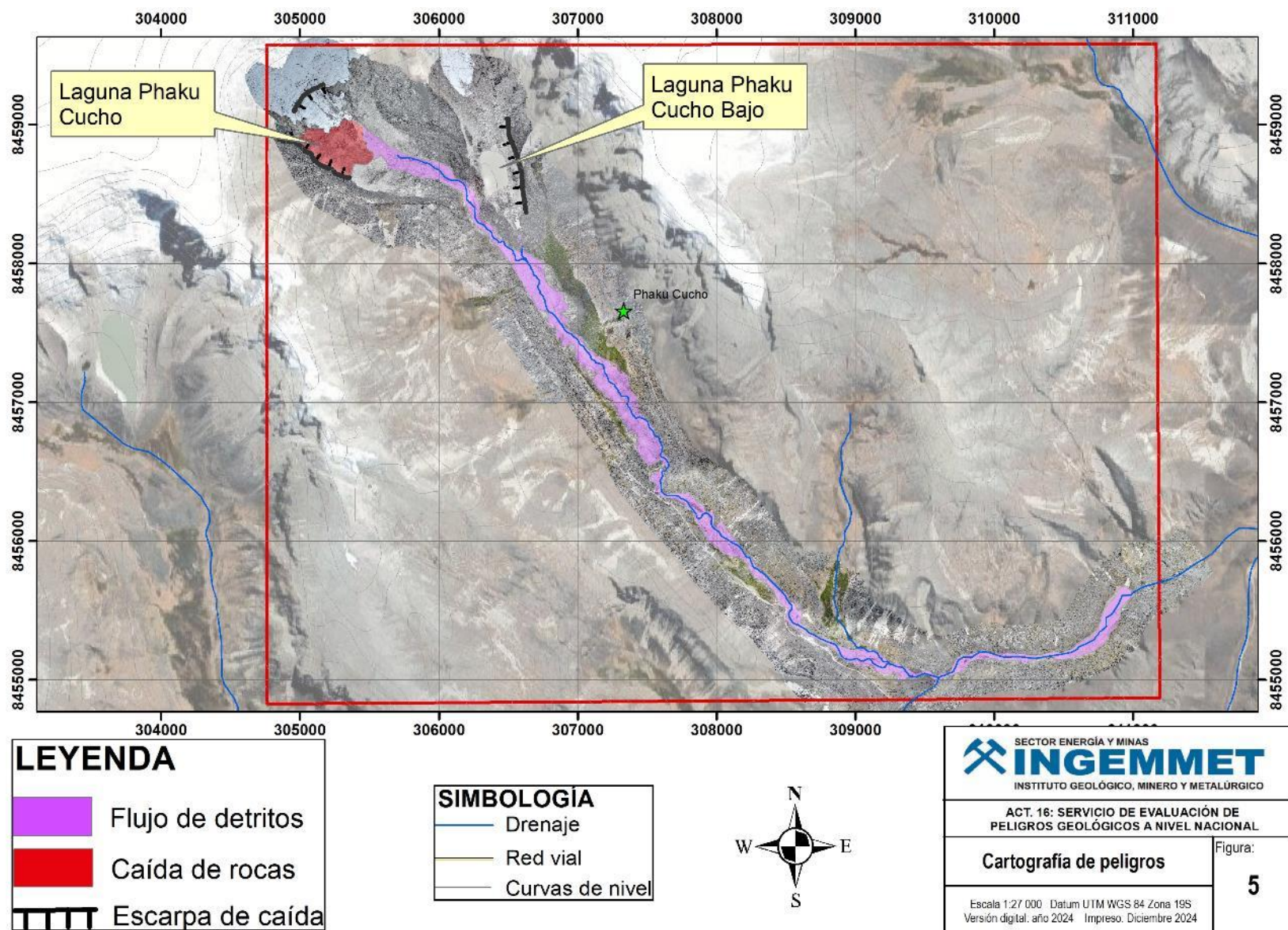
ANEXO 1: MAPAS











ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES 1

[illegible]

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES 2

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES							
		TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL	☐	Eluvial	☒	Lacustre	
			☐	Deluvial	☐	Marino	
			☐	Coluvial	☐	Eólico	
			☐	Aluvial	☐	Orgánico	
			☐	Fluvial	☐	Artificial	
			☐	Proluvial	☐	Litoral	
			☐	Glaciar	☐	Fluvio glaciar	
GRANULOMETRÍA		FORMA		REDONDES		PLASTICIDAD	
	%						
☐	Bolos	☐	Esférica	☐	Redondeado	☒	Alta plasticidad
☐	Cantos	☐	Discoidal	☒	Subredondeado	☐	Med. Plástico
☐	30 Gravas	☒	Laminar	☐	Anguloso	☐	Baja Plasticidad
☐	Gránulos	☐	Cilíndrica	☐	Subanguloso	☐	No plástico
☐	35 Arenas						
☐	35 Limos						
☐	Arcillas						
		ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE	%	LITOLOGÍA	
☐	Masiva	☐	Harinoso	☒	Materia Orgánica	☐	Intrusivos
☒	Estratificada	☒	Arenoso	☐	Carbonatos	☐	Volcánicos
☐	Lenticular	☐	Aspero	☐	Sulfatos	☐	Matamórficos
☐						☐	Sedimentarios
COMPACIDAD							
SUELOS FINOS		SUELOS GRUESOS					
Limos y Arcillas		Arenas		Gravas			
☒	Blanda	☒	Suelta	☒	Suelta		
☐	Compacta	☐	Densa	☐	Med. Consolidada		
☐	Dura	☐	Muy Densa	☐	Consolidada		
☐		☐		☐	Muy Consolidada		
CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.							
SUELOS GRUESOS		SUELOS FINOS					
☐	GW	☐	GC	☐	ML	☐	CH
☐	GP	☐	SW	☐	CL	☐	OH
☐	GM	☐	SP	☐	OL	☐	PT
☐	SM	☐	SC	☒	MH		