

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7380

PELIGROS GEOLÓGICOS Y EVOLUCIÓN DEL RELIEVE ASOCIADO A LA DINÁMICA GLACIAR EN EL VALLE UPISMAYO

Departamento Cusco
Provincia Quispicanchis
Distrito Ocongate



MAYO
2023

PELIGROS GEOLÓGICOS Y EVOLUCIÓN DEL RELIEVE ASOCIADOS A LA DINÁMICA GLACIAR EN EL VALLE UPISMAYO

Distrito Ocongate, provincia Quispicanchis, departamento Cusco

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

Equipo de trabajo:

Ing. Ronald Fernando Concha Niño de Guzmán

Ing. David Prudencio Mendoza

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Peligros geológicos y evolución del relieve asociado a la dinámica glaciaria en el valle Upismayo . Distrito Ocongate, provincia Quispicanchis, departamento Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7380, 41 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	2
1.1. Objetivos del estudio.....	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales.....	3
1.3.1. Ubicación.....	3
1.3.2. Accesibilidad.....	3
1.3.3. Clima	4
2. DEFINICIONES	5
3. ASPECTOS LITO-ESTRATIGRÁFICOS	7
4. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS: PROCESOS DE FORMACIÓN Y SUS PELIGROS GEOLÓGICOS.....	11
4.1. Los glaciares.....	12
4.2. Los glaciares degradados	14
4.3. Superficies de abrasión glaciár	15
4.4. Superficies de sobre-excavación glaciár	16
4.5. Morrenas y llanuras intramorrénicas	18
5. CONCLUSIONES	31
6. RECOMENDACIONES Y MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS	33
6.1. TRATAMIENTO DE PELIGROS POR CAÍDAS DE ROCA, DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS	33
6.2. TRATAMIENTO DE PELIGROS FLUJOS DE DETRITOS, INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL	35
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

RESUMEN

Este informe técnico, es el resultado del análisis geomorfológico y de los peligros geológicos asociados a la dinámica por procesos glaciares, realizado en el valle Upismayo y más específicamente en los alrededores de la laguna Upiscocha. La zona de estudio está ubicada en la vertiente norte del nevado Ausangate (cordillera Vilcanota), pertenece a la jurisdicción distrital de Ocongate, en la provincia de Quispicanchis, en el departamento de Cusco. Con este documento, el INGEMMET cumple con brindar asistencia técnica en peligros geológicos a gobiernos locales, provinciales y regionales.

El 14 de mayo y el 09 de agosto del 2022, se produjeron desembalses de la laguna Upiscocha. Estos eventos fueron originados por desprendimientos de un macizo rocoso alterado y fracturado de una de las paredes laterales del valle, que cayeron sobre la laguna. Los aluviones afectaron al campamento Upis e incluso llegaron a la ciudad de Ocongate, ubicada a ~20 km al noroeste de la laguna Upiscocha.

Las evidencias geomorfológicas de la presencia de aluviones (flujos recientes y antiguos) y otros movimientos en masa asociados, se observan claramente en la cabecera del valle, donde la topografía es muy escarpada y las morrenas más recientes se encuentran afectadas por derrumbes, deslizamientos y flujos de detritos que caen sobre la laguna. Además, son constantes los desprendimientos rocosos y caídas de bloques de hielo.

Aguas abajo, predominan extensas llanuras de origen glaciar y fluvioglaciar. Sobre ellas discurre el río Upis proveniente del deshielo y en sus márgenes se observan huellas de inundaciones e intensa erosión fluvioglaciar, que socavan y profundizan su lecho, arrancando y transportando sedimentos valle abajo.

De manera general, el área de estudio tiene un **peligro muy alto** a la ocurrencia de aluviones provenientes de la laguna Upis y el desencadenamiento de otros fenómenos de movimientos en masa asociados, que pueden ser detonados por precipitaciones excepcionales o sismos, y que además están condicionados por las fuertes pendientes, por los tipos de roca/sedimentos y por los procesos glaciares activos.

Cabe indicar, que ya existen algunos estudios de peligros geológicos en la zona, destacan los realizados por el INAIEM y el Gobierno Regional Cusco. Este documento, consolida la información preexistente y genera nuevos datos y perspectivas con las cuales brindamos algunas recomendaciones y propuestas de prevención ante eventuales fenómenos de movimientos en masa en la cabecera y parte media de la quebrada Upismayo.

Este informe tiene como finalidad ser un instrumento de gestión para las autoridades, que puedan articularse con estudios de otras especialidades y en conjunto puedan incorporarse a los planes de ordenamiento territorial del distrito de Ocongate.

1. INTRODUCCION

El INGEMMET ente técnico-científico del Ministerio de Energía y Minas, 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)”, el cual contribuye con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico de peligros geológicos a zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la municipalidad distrital de Ocongate, según oficio N°0445-2022-A-MDO-Q-C (VV72528), se realiza la evaluación de peligros geológicos en el sector Laguna Upiscocha y alrededores, por encontrarse en peligro ante posibles desembalses, considerando que el 14 de mayo y el 09 de agosto de 2022, se produjeron desprendimientos rocosos que cayeron sobre la laguna y originaron flujos de detritos (huaycos) que afectaron al campamento Upis y la ciudad de Ocongate, ubicada a ~20 km al noroeste de la laguna.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Ronald Concha y David Prudencio, a realizar la evaluación de campo y las coordinaciones con las autoridades locales, durante los días 14, 15 y 16 de noviembre de 2022. La evaluación técnica consistió en la recopilación y análisis de información preexistente, la obtención de datos durante el trabajo de campo y el análisis integral de gabinete, que permitió la redacción de este informe técnico que también contó con la colaboración de los especialistas Wilson Gómez y Harol Granados del INGEMMET y Osca Vilca del INAI GEM.

Este documento se pone a consideración de la Municipalidad distrital de Ocongate, el gobierno regional del Cusco y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la reducción y prevención del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

- a) Realizar un análisis geomorfológico detallado que incluya un mapa elaborado a escala ~1:2500.
- b) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa asociados a la dinámica glaciar en los alrededores de la laguna Upiscocha y la parte media del valle Upismayo.
- c) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa. Proponer medidas de prevención, reducción y correctivas necesarias a fin de prevenir o reducir los riesgos presentes o la generación de nuevos.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios de peligros geológicos realizados a nivel local y regional en el distrito de Ocongate, resaltan:

- a) El boletín N° 74, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro geológico en la región Cusco” (Vílchez et al., 2020); identifica una zona crítica en la carretera interoceánica tramo Yanacancha – Ocongate. Un tramo de ~20 km con presencia de derrumbes, erosión fluvial y flujo de detritos relacionados a las zonas más altas, como la quebrada Upis. Además, el estudio muestra un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa en las laderas circundantes a la laguna Upiscocha y la quebrada Upismayo, las cuales presentan una susceptibilidad media y alta a la ocurrencia de flujos de detritos, deslizamientos, caídas de roca y erosión fluvial.

- b) Los reportes técnicos y observaciones realizadas por el INAIGEM, con fechas 10/11/2020, 27/01/2021, 18/10/2021, 31/03/2022, 15/05/2022 y 10/08/2022, en las que mencionan permanentemente la situación desfavorable de la laguna Upiscocha respecto a los glaciares, hacen referencia también al derretimiento los glaciares cubiertos de su entorno, lo cuales se encuentran en contacto directo con la laguna. Se mencionan amenazas potenciales en los taludes que rodean la laguna, que en términos generales representan un peligro alto.
- c) El boletín “Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco” Benavente (2013) describe al sistema de fallas de Ocongate, como fallas normales activas con direcciones E – O, de edad Holocena, está ubicado en la cuenca Ocongate y se emplaza sobre rocas paleozoicas y mesozoicas de la cordillera. Estas fallas se aprecian muy próximos a la laguna Upiscocha y la quebrada Upismayo.
- d) Las inspecciones técnicas sobre el desborde de la laguna Upiscocha, realizadas por el Gobierno Regional Cusco en 2020 y 2022, donde también determinan un peligro muy alto a la ocurrencia de un desembalse violento que afectaría a las poblaciones asentadas en las márgenes del río Upismayo.
- e) En el boletín N°46, serie L, actualización carta geológica Nacional “Geología del cuadrángulo de Ocongate (hojas 28t1, 28t2, 28t3, 28t4)”, escala 1: 50 000 (Soaña et al., 2022); describe la información relacionada a los cambios más resaltantes sobre las unidades litológicas y la geología estructural que incide en los movimientos en masa.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

La laguna Upiscocha (cuadro 1) se ubica en la cabecera del río Upismayo (microcuenca Lauramarca), en la vertiente norte del nevado Ausangate (**Figura 1**). Políticamente se encuentra en el distrito de Ocongate, provincia Quispicanchis y departamento Cusco.

N°	UTM – WGS84 – Zona18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	255000	8478000	13°45'40.98"S	71°16'19.04"O
2	258000	8478000	13°45'42.56"S	71°15'2.27"O
3	255000	8474000	13°47'5.21"S	71°16'1.85"O
4	258000	8474000	13°46'54.62"S	71°14'27.28"O
Coordenada central de la zona evaluada				
C	257000	8476000	13°46'36.92"S	71°15'4.50"O

1.3.2. Accesibilidad

Se accede a la zona de estudio por vía terrestre, desplazándose desde la ciudad de Cusco, mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cusco – Ocongate	Asfaltada	106	2 h 30 min
Ocongate – Tinki	Asfaltada	9.1	10 min
Tinki – Campamento Upis	Carretera afirmada	16.4	40 min

1.3.3. Clima

De acuerdo al mapa climático del SENAMHI (2020), y detallando la información local, se puede observar que el sector campamento Upis presenta un clima frío y lluvioso con otoño e invierno seco.

Presenta precipitación todo el año, cuyas lluvias acumuladas anuales son de 500 mm hasta los 1200 mm, además presenta temperaturas máximas que oscilan entre 9°C a 19°C y mínimas entre -3°C y 3°C, con humedad atmosférica relativa de inviernos secos.

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.

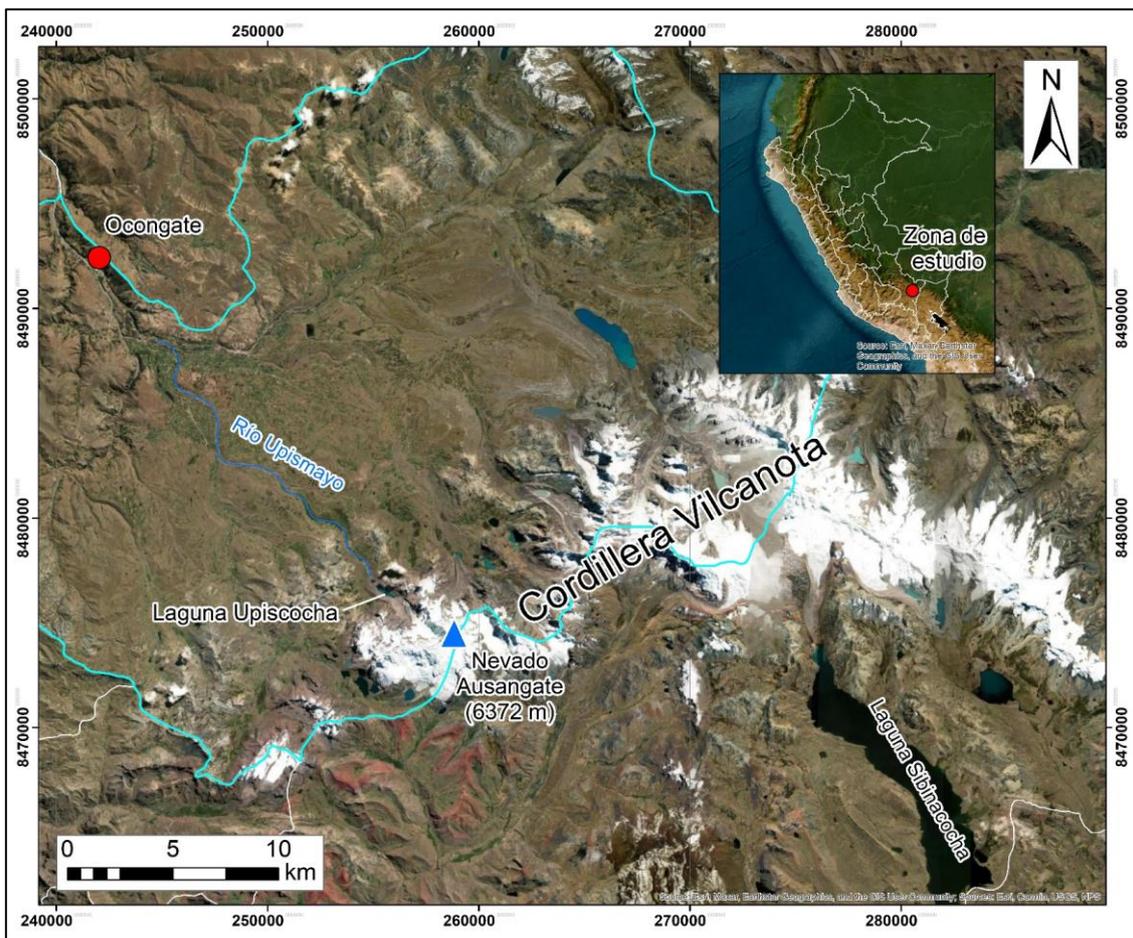


Figura 1. Mapa de ubicación del Valle Upismayo. En una línea celeste se señala la delimitación del distrito de Ocongate.

2. DEFINICIONES

Se describen algunas definiciones usadas en el informe:

Agrietamiento: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo, sedimento, roca o hielo.

Corona: Zona superior al escarpe principal de un deslizamiento que no ha sufrido desplazamiento y sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas tensionales.

Colapso o caída de rocas: Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera (**Figura 2**). Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978).

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 y suelos.

Deslizamientos: Movimiento ladera debajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (**Figura 2**). 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 en depósitos no consolidados. Se forman por procesos de erosión, o activación de deslizamientos, derrumbes, caídas de roca, socavación o activación de fallas.

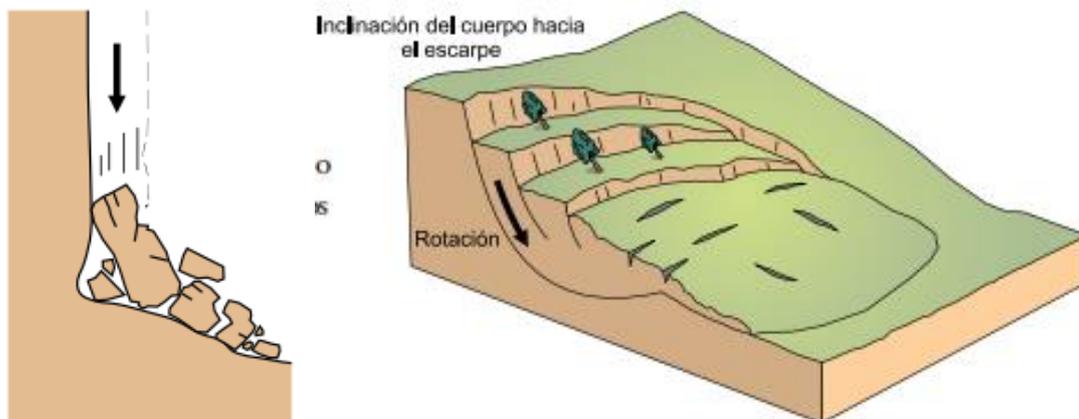


Figura 2. Esquemas de un colapso o caída de rocas a la izquierda y un deslizamiento de tipo rotacional a la derecha mostrando sus rasgos morfológicos (PMA, 2007).

Flujo de detritos: 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 deslizamientos o derrumbes. Los flujos de detritos pueden ser canalizados (huaicos) y no canalizados (avalanchas) (**Figura 3**).

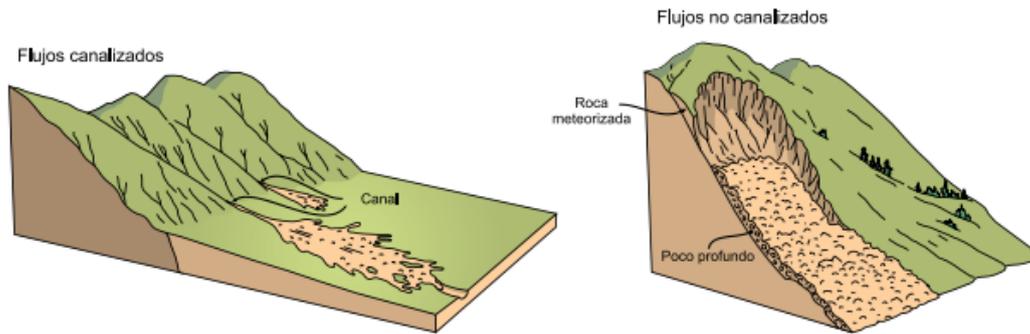


Figura 3. Esquemas de un flujo de detritos canalizado o huaico a la izquierda y un flujo no canalizado o avalancha a la derecha (PMA, 2007).

Glaciar: Es una masa de hielo que se forma por la acumulación de la nieve en regiones de altas latitudes y altitudes. Se desplazan vertiente abajo, impulsadas por su propio peso. Su movimiento origina distintas estructuras internas y externas de deformación, que generan desprendimientos, caídas y avalanchas de hielo y nieve (**Figura 4**).

Glaciar degradado: Resultan del derretimiento del hielo glaciar y su interacción con sedimentos de su entorno (basales, internos y externos), estos glaciares se desarrollan en la parte más distal de las lenguas glaciares (zona de ablación) o en lenguas desconectadas de su circo glaciar. Dan origen a relieves sumamente caóticos, constituidos por fragmentos de hielo y escombros.

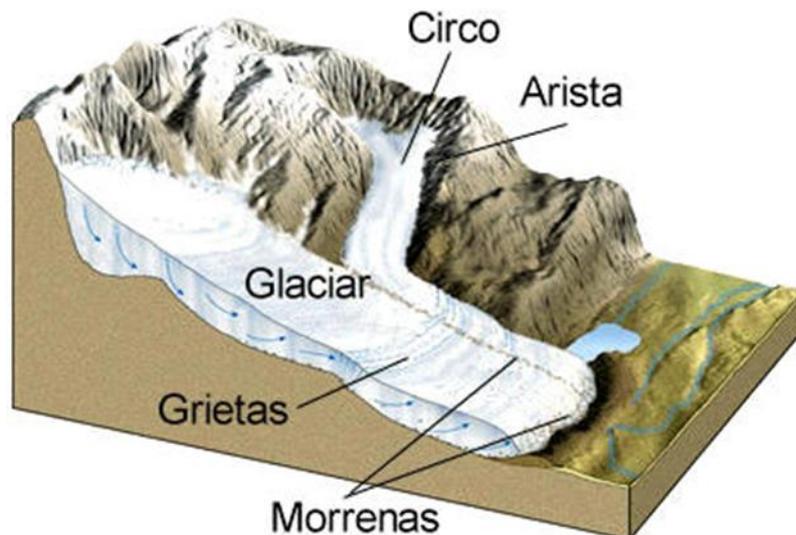


Figura 4. Block-diagrama de un paisaje moldeado por la acción glaciar (Fuente: <https://natureduca.com/index.php>).

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.

Morrena: Son bloques de roca, detritos y sedimentos (till) que son empujados por los glaciares, durante el avance (**Figura 4**). Estas geofomas quedan expuestas después de que un glaciar se ha retirado y dan evidencia de su antigua expansión.

Movimientos en masa: Son procesos geológicos que incluyen el transporte de rocas, suelos o sedimentos, vertiente abajo por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son las caídas de roca, deslizamientos, flujos de detritos, entre muchos otros.

Peligro geológico: Es un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar daños ambientales, a la propiedad, la salud, puede ocasionar la muerte, la pérdida de medios de sustento y de servicios y otros trastornos sociales y económicos.

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 LITO-ESTRATIGRÁFICOS

En los alrededores de la laguna Upiscocha, afloran secuencia de pizarras negras esquistas y limoarcillitas grises de la Formación Ananea del Silúrico-Devónico. Esta unidad, se observa en la margen izquierda de la quebrada Upismayo en el cerro Queullacocha, donde se encuentra afectada por fuertes pliegues.

Sobre esta unidad, afloran en discordancia lutitas grises intercaladas con delgadas capas de arenisca cuarzosa y niveles de cuarcita del Grupo Cabanillas del Devónico, afloran también en la margen izquierda del valle Upismayo en la base del cerro Queullacocha (**Figura 5**).



Figura 5. Pizarras negras de la Formación Ananea en la cima del cerro Queullacocha y areniscas cuarzosas del grupo Cabanillas a la base de la montaña (al oeste del campamento Upis).

El Grupo Cabanillas, infrayace a una secuencia de cuarcitas blancas y pizarras de la **Formación Ccatca del Devónico superior**. Aflora en ambas márgenes de la quebrada Upismayo, a manera de cuerpos aislados y discontinuos.

Sobre la Formación Ccatca, aflora una secuencia volcánica pardo-rojiza del **Grupo Mitu del Pérmico-Triásico**. Esta unidad aflora en toda la cara norte del nevado de Ausangate y en las vertientes del nevado Jatunuma que afectan directamente a la laguna Upiscocha.

En este sector el Grupo Mitu se ha dividido en dos secuencias, la parte basal conformada por areniscas feldespáticas en estratos mediados y conglomerados con matriz soportada de color violáceo y la parte superior, está conformada por secuencias volcánicas de composición andesita porfirítica con fenocristales de plagioclasa dispuestos en una matriz masiva de color gris rojizo (**Fotografía 1**). También presenta, rocas volcanoclásticas de tobas de cristales y líticos registrados en los alrededores del nevado Jatunuma.

De acuerdo a las observaciones de campo en la cara norte del nevado Ausangate, no se distingue cambios litológicos, debido a la cubierta de nieve y hielo. Sin embargo, el análisis de imágenes y fotografías, sugiere que la zona donde se produjeron los desprendimientos rocosos que originaron los aluviones de mayo y agosto de 2022, podría corresponder a base del Grupo Mitu (areniscas, conglomerados y niveles volcánicos (**Figura 6**).



Fotografía 1. Bloque transportado a las orillas de la laguna Upiscocha, de una roca volcánica del grupo Mitu.



Figura 6. Afloramientos rocosos del grupo Mitu en la vertiente norte del nevado Ausangate. La zona de desprendimiento rocoso señalada, parece corresponder al miembro inferior del grupo Mitu, compuesto por areniscas feldespáticas.

Estas descripciones litológicas, fueron tomadas de Audebaud & Vargas (1998) en una cartografía 1:100,000 y su actualización a escala 1:50,000 de Soaña et al., (2022).

Los **depósitos cuaternarios** son diversos, destacan los **depósitos glaciares** ubicados en las paredes y sobre todo en el fondo del valle glaciar Upismayo. Estos depósitos son materiales inconsolidados e incompetentes, presentan fragmentos angulosos y subangulosos de cuarcitas y rocas volcánicas en una matriz areno-limosa. Se encuentran dispuestos de manera sucesiva y escalonada formando arcos morrénicos de distintas generaciones. Se han identificado al menos 4 eventos glaciares que serán descritos en el siguiente apartado (**Unidades Geomorfológicas**).

Los depósitos de caída o **depósitos coluviales** son muy comunes, sobre todo se observan en las paredes laterales del valle y están relacionadas a derrumbes, deslizamientos y caída de rocas. Se componen principalmente de gravas y bloques heterométricos envueltos en una matriz areno-limosa. Existen otros depósitos de caída poco frecuentes, se trata de depósitos periglaciares que se originan por la criofragmentación de los macizos rocosos.

Los **depósitos fluvioglaciares** son fragmentos rocosos y sedimentos transportados por la dinámica posterior al derretimiento de los glaciares. Se emplazan en el fondo del valle Upimayo formando pequeñas terrazas cerca del cauce principal. Se observan también depósitos de flujos de detritos que forman abanicos **aluviales** a la salida de la laguna Upiscocha y en sus márgenes.

Existen grandes llanuras, compuestas de sedimentos inconsolidados intercalados con material orgánico, formado por la colmatación de sedimentos en antiguas lagunas, esto son llamados **depósitos lacustrinos** y existen varias generaciones a lo largo del valle Upismayo.

Todas las unidades litoestratigráficas descritas en este apartado, se muestran en las (Figura 7 y Figura 8).

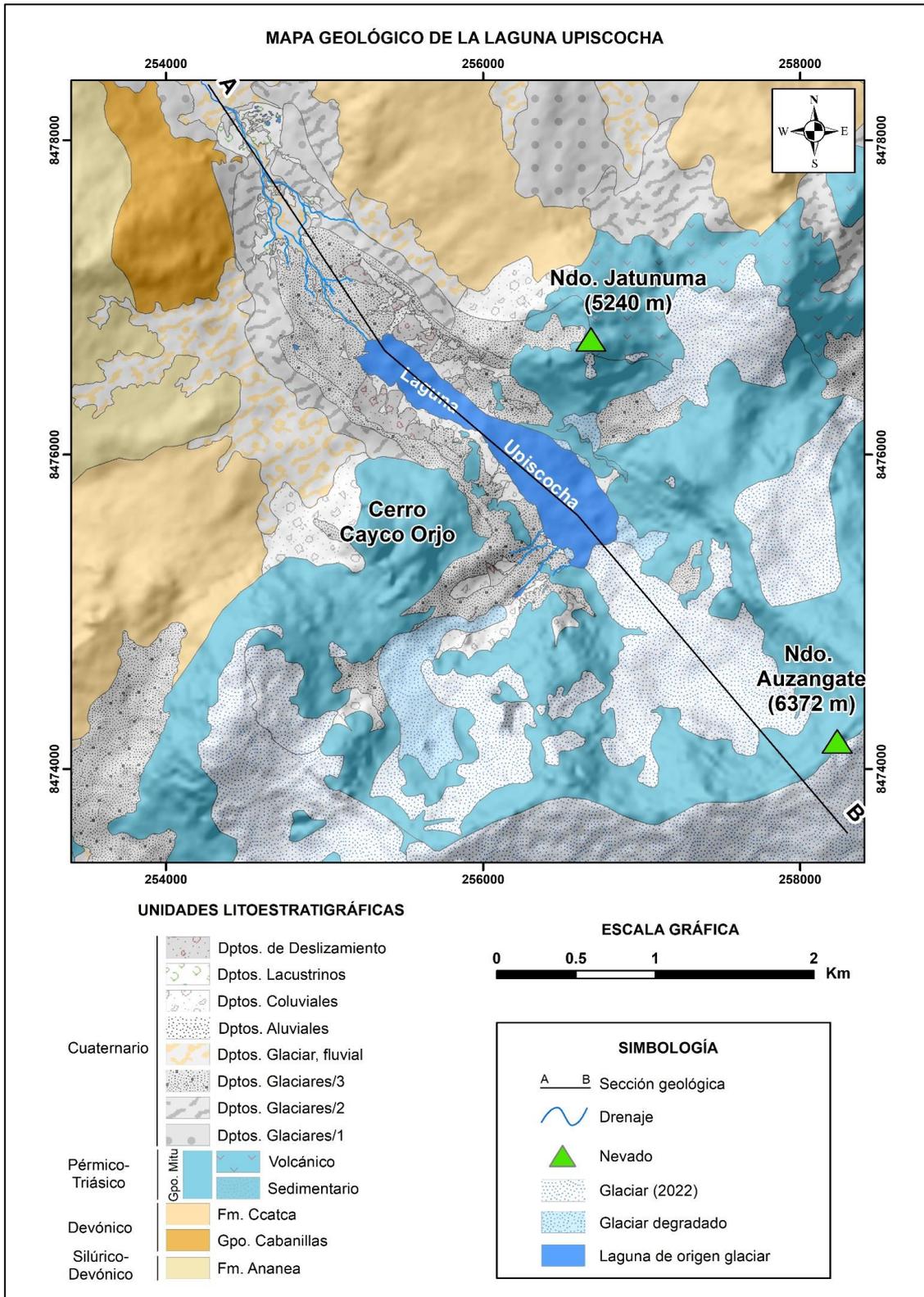


Figura 7. Mapa geológico de la laguna Upisocha y alrededores.

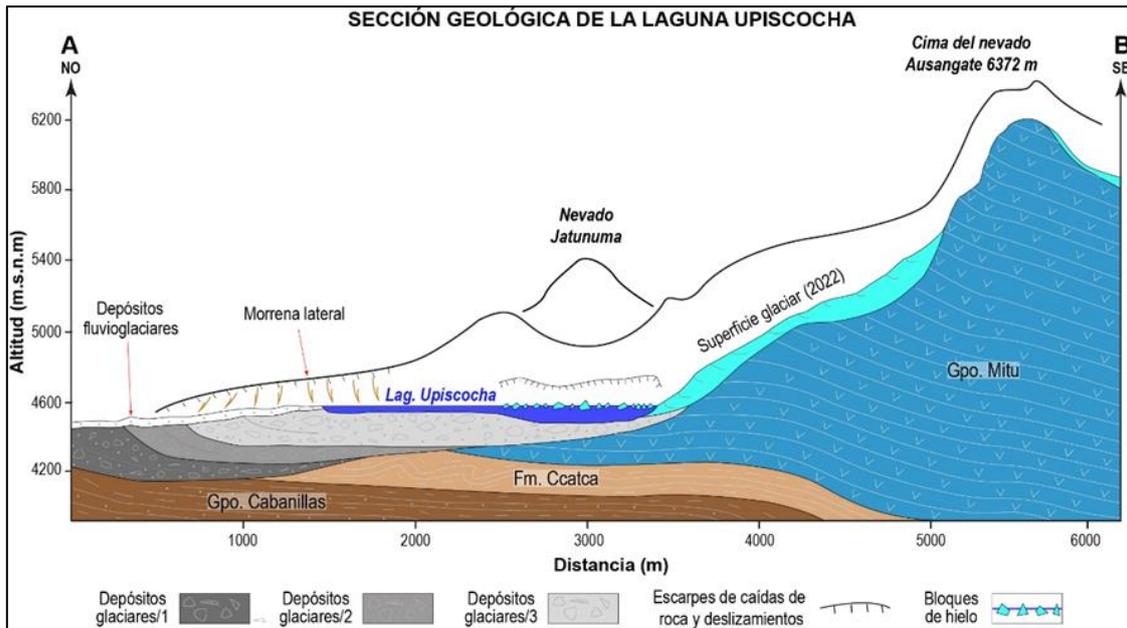


Figura 8. Perfil geológico de la laguna Upiscocha y alrededores.

4. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS: PROCESOS DE FORMACIÓN Y SUS PELIGROS GEOLÓGICOS

Los cambios climáticos experimentados durante el Cuaternario, conllevaron a una intensa dinámica de los procesos glaciares en los Andes. En la vertiente norte del nevado Ausangate, numerosos avances, retrocesos y reavances glaciares, realizaron una fuerte labor erosiva, un intenso transporte sedimentario, la activación de la dinámica de laderas y otros procesos gravitacionales como aluviones que moldearon y aún moldean el relieve.

La laguna Upiscocha, se ha formado por el derretimiento de los glaciares, que rellenaron una depresión previamente excavada por las masas de hielo en el pasado. Esta laguna es muy susceptible a desbordarse y generar desembalses violentos, el colapso de bloques de hielo es un peligro latente, los desprendimientos rocosos son muy comunes y la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos desarrollados en las morrenas laterales es permanente.

En esta sección, se muestra la descripción y caracterización detallada de las formas del relieve en los alrededores de la laguna Upiscocha y su relación con los desembalses y aluviones del 14 de mayo y el 09 de agosto de 2022.

Para realizar el análisis, se elaboró un mapa geomorfológico a una escala aproximada de 1:2500, utilizando una imagen Phantom del 2022 proporcionada por la oficina Macro Regional Cusco del INAIGEM. El mapa geomorfológico se muestra al final de este apartado. También se realizó un análisis multitemporal, para comprender la evolución del relieve, usando varias imágenes satelitales (Sentinel2, 2022; Google Earth, 2021; SAS Planet, 2017, LandSAT, 2010; entre otras). A continuación, describiremos las unidades geomorfológicas reconocidas y su relación con los peligros geológicos.

4.1. Los glaciares

Los glaciares de montaña, son masas de hielo formadas por la acumulación y compactación de la nieve acogida en concavidades montañosas denominadas circos glaciares, desde donde fluyen vertiente abajo impulsadas por su propio peso.

La vertiente norte de los nevados Ausangate y Jatunuma, alberga una gran cantidad de masas de hielo de distintas características. La principal es una extensa lengua de hielo que nace aproximadamente a 5600 m en la cara norte del nevado Ausangate y que actualmente se extiende unos ~1.8 km hasta llegar a la laguna Upiscocha (4686 m), esta masa de hielo es alimentada por otros circos glaciares menores ubicados en sus flancos. Otro glaciar importante se desarrolla en el brazo occidental del nevado Ausangate, que actualmente se prolonga por ~1.1 km. En el pasado confluía con la otra lengua glaciar sobre la laguna Upiscocha.

Otros cuerpos de hielo más pequeños y de menor recorrido asociados a circos menores y aislados, se emplazan sobre las paredes y en pequeñas concavidades de las montañas Ausangate y Jatunuma (**Figura 8**). En sus cimas aparecen también algunos pequeños casquetes de hielo.

El movimiento de los glaciares y la topografía abrupta sobre la que se emplazan, origina estructuras internas y externas de deformación, que incide directamente en la ocurrencia de desprendimientos, caídas y avalanchas de hielo y nieve (**Fotografía 2**).

Las grietas glaciares son las estructuras más abundantes y se originan por la deformación de las masas de hielo a causa su movimiento y de las irregularidades de la topografía subglaciar. En la parte más distal de los glaciares, pueden aparecer fallas de gravedad y deslizamiento que hace colapsar bloques de hielo sobre la laguna Upiscocha. Este proceso resulta muy peligroso, porque origina oleajes que pueden desbordar la laguna. Además, el derretimiento de bloques de hielo que flotan sobre ella, incrementa su nivel y la colmata



Fotografía 2. Frente glaciar en la vertiente norte del nevado Ausangate, con abundantes bloques de hielo flotando sobre la laguna Upiscocha, a causa de los desprendimientos rocosos producidos en mayo y agosto del 2022.

Mediante la metodología GlaBTop (Glacier bed topography), que utiliza modelos numéricos de ecuaciones glaciológicas, se obtuvieron espesores de hielo en una serie de puntos que definen líneas de flujo glaciar (**Figura 9**). Esos puntos se interpolan para obtener un ráster de espesores que se sustrae del modelo de elevación digital de la montaña (DEM montaña- DEM espesores) para obtener la topografía basal del glaciar (Linsbauer et al., 2009, 2012; Paul & Linsbauer, 2012).

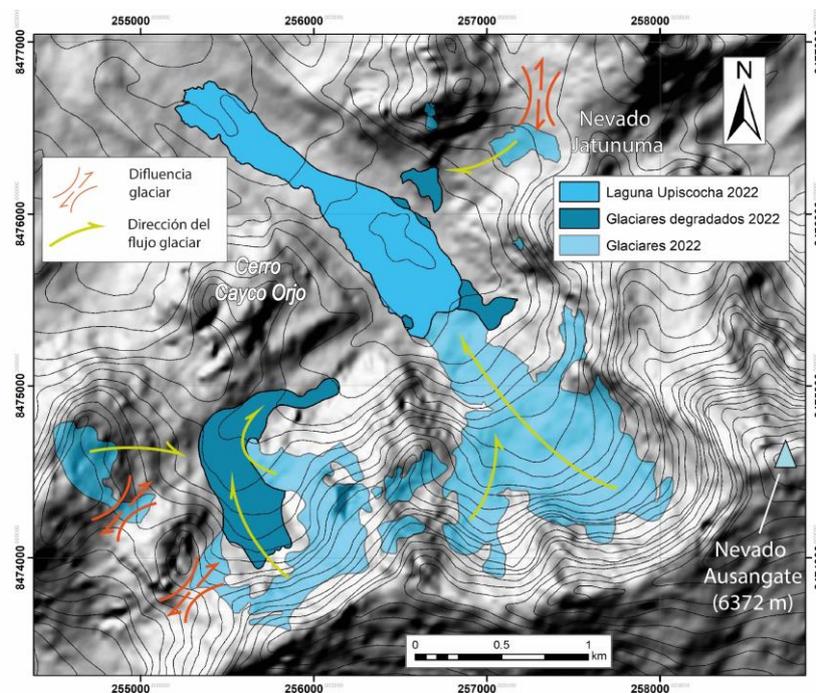


Figura 9. Emplazamiento de glaciares y glaciares degradados en los alrededores de la laguna Upiscocha.

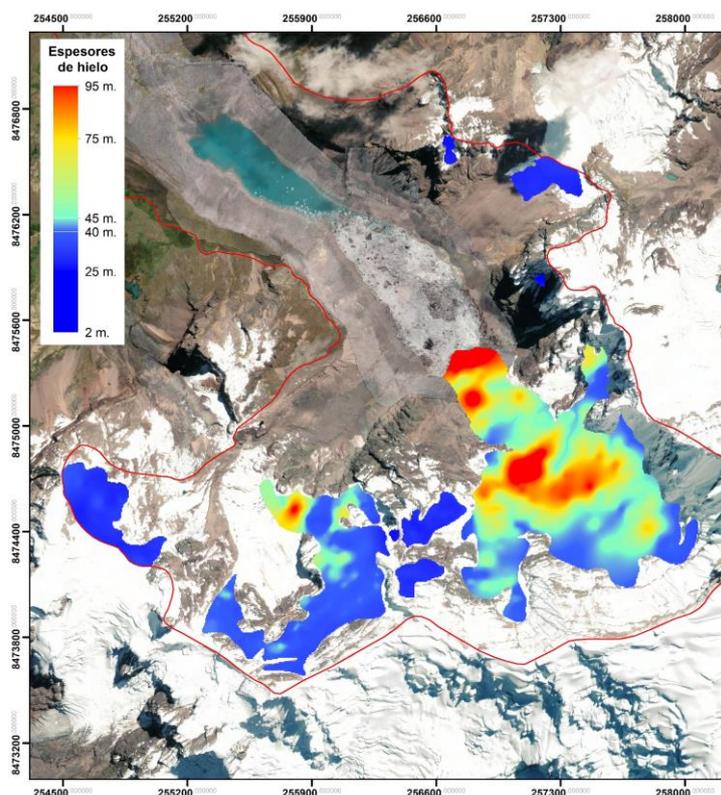


Figura 10. Mapa de espesores glaciares en la vertiente norte del nevado Ausangate.

4.2. Los glaciares degradados

Son geoformas que resultan del proceso de derretimiento de los glaciares y su interacción con sedimentos de su entorno (basales, internos y externos), estos cuerpos se desarrollan en la parte más externa de las lenguas glaciares o en lenguas desconectadas de su circo glaciar. Están constituidos por fragmentos de hielo macizo y escombros, por lo que son muy susceptibles al derretimiento, por ello, originan relieves sumamente caóticos y muy cambiantes topográficamente año tras año.

Un análisis multitemporal de los glaciares degradados y su relación con los glaciares y el desarrollo de la laguna Upiscocha, revela una evolución bastante significativa (**Figura 9** y **Figura 10**). Hacia el año 1969, no existía la laguna Upiscocha y toda la depresión flanqueada por morrenas, estaba colmatada de glaciares degradados, en 1985 ya se observa un pequeño espejo lacustre, que hacia el año 2016 tenía un área de casi la mitad de su actual extensión (**Figura 11**).

Durante los años 2019 y 2021, se observa un crecimiento acelerado de la laguna Upiscocha, con sucesivas fragmentaciones del cuerpo principal del glaciar degradado, influenciado por la activación de derrumbes y caídas de roca. Para el año 2022, se observan pequeñas masas en los contornos distales de la lengua glaciar principal. Sin embargo, en las laderas del brazo occidental del nevado Ausangate, se emplaza un importante glaciar degradado de forma elongada, cuyo derretimiento en futuro podría dar origen a una laguna de casi 1 km de longitud.

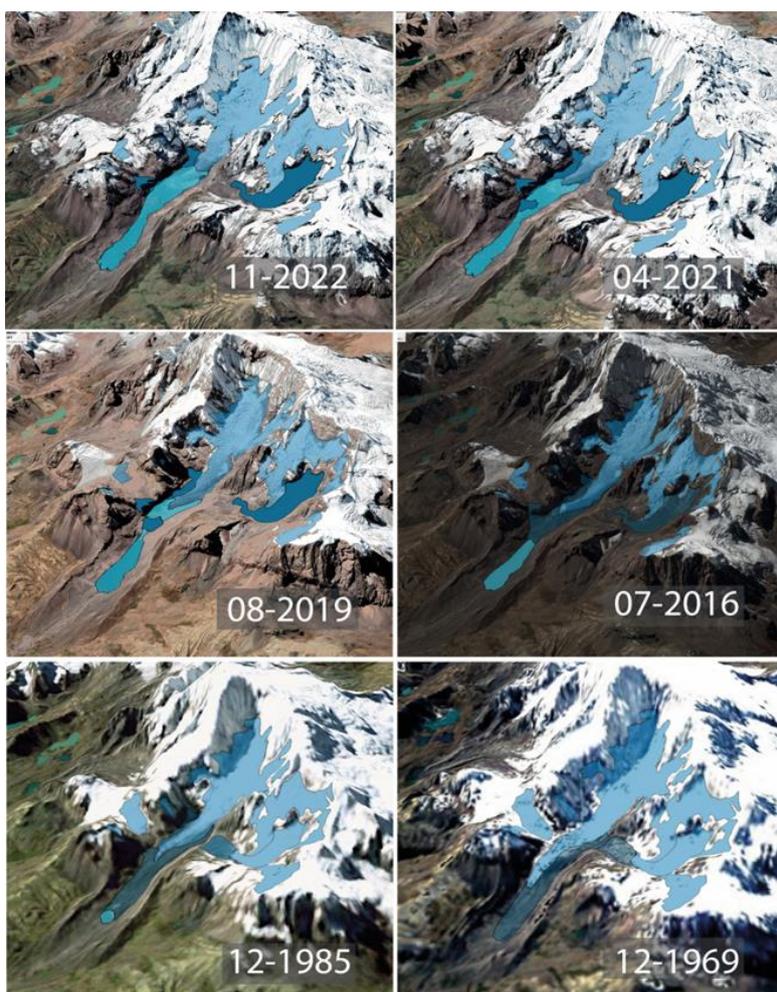
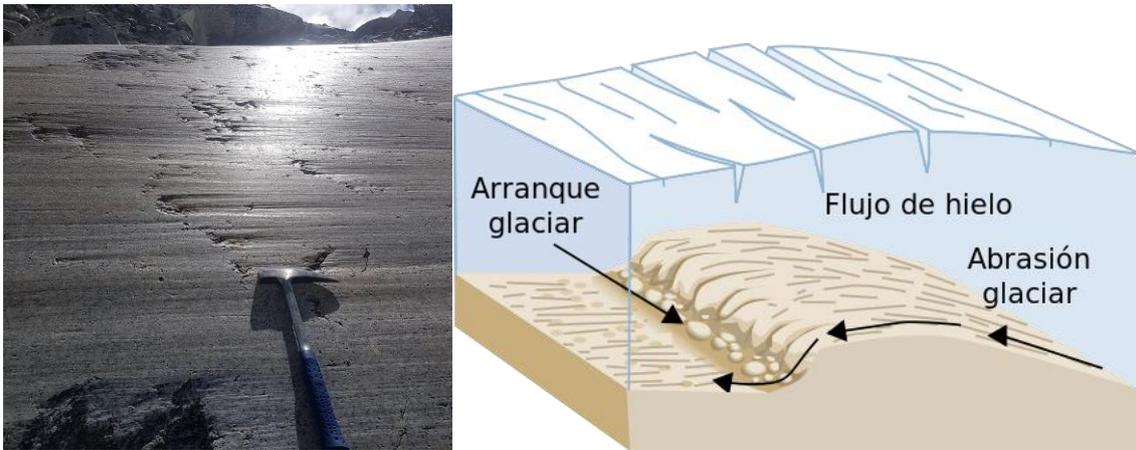


Figura 11. Evolución en el tiempo de los glaciares degradados y la laguna Upiscocha

4.3. Superficies de abrasión glaciár

La abrasión glaciár es la acción de desgaste o pulido realizada por el paso del hielo sobre su base rocosa, alcanza verdadera trascendencia cuando ésta va cargada en su fondo de partículas sólidas como detritos y bloques que generan “estrías” o acanaladuras de anchura variable y dependiente del tamaño de los fragmentos.

Como consecuencia de ella, tanto el fondo como los márgenes del lecho de los glaciares resultan significativamente pulidos, adquiriendo una superficie externa limpia y lisa con perfiles suavemente convexos, que en su conjunto se denominan, rocas con textura aborregada. Estas superficies permiten apreciar el sentido del flujo, según la disposición de sus estrías y acanaladuras (**Fotografía 3**). Su acción se limita a una erosión superficial de las rocas, mediante el arranque glaciár (. **Figura 12**) y su capacidad para la excavación e incisión es prácticamente nula.



Fotografía 3. Evidencias de pulimento glaciár (Cordillera Blanca). **Figura 12.** Esquema del proceso de Abrasión glaciár (Fuente: http://enciclopedia.us.es/index.php/Relieve_glaciár)

En la zona de estudio, existen amplias superficies con abrasión glaciár en las vertientes de las montañas Ausangate, Jatunuma y Cayco Orjo (**Figura 13**). Esta unidad geomorfológica, no representa un peligro para la ocurrencia y/o desarrollo de movimientos en masa.



Figura 13. Rocas con pulimento glaciár en la margen izquierda del valle Upismayo.

4.4. Superficies de sobre-excavación glaciar

La sobre-excavación, es la acción de movilización y desalojo de fragmentos de medio o gran calibre que las corrientes glaciares realizan sobre su lecho, tendiendo a profundizarlo en la medida que la naturaleza y el estado del afloramiento rocoso lo permita. Este proceso, tiende a incrementar los accidentes en el relieve y a formar en muchos valles andinos paredes rocosas verticales susceptibles a desarrollar caídas de roca.

En los alrededores de la laguna Upiscocha se observa una pequeña pero importante franja con sobre-excavación glaciar en su margen derecha. Se trata de una pared vertical que deja expuesta al parecer, areniscas blanquecinas del miembro inferior del grupo Mitu (**Figura 14, 15 y Fotografía 4**).

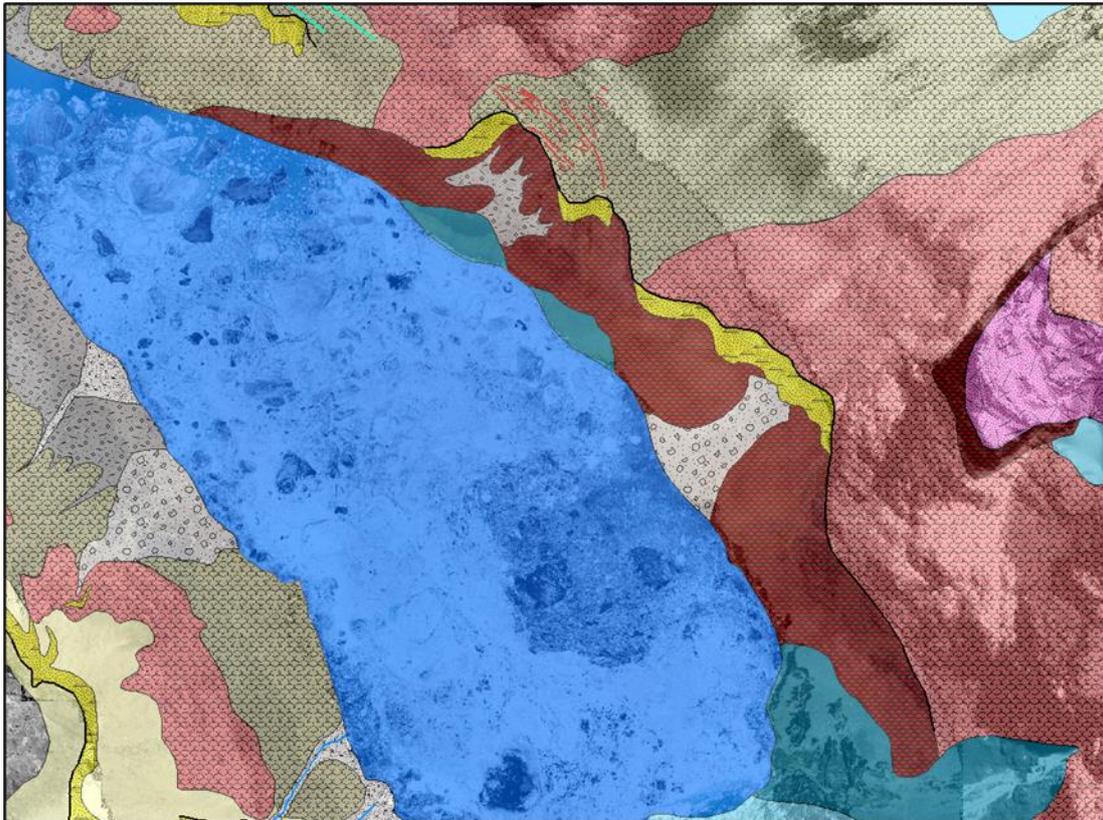


Figura 14. Extracto del mapa geomorfológico de los alrededores de la laguna Upiscocha. En color rojo, se ha cartografiado una superficie de sobre-excavación glaciar, afectada en su parte superior, por escarpes de caídas de roca (en color amarillo) y en líneas rojas un sistema de grietas tensionales desarrolladas sobre un manto morrénico y que se extiende por debajo hasta alcanzar el afloramiento rocoso.



Figura 15. Huellas de desprendimientos rocosos en la margen derecha de la laguna Upiscocha.

En esta unidad geomorfológica se produjeron los desprendimientos rocosos que conllevaron a la ocurrencia de aluviones en los meses de mayo y agosto del 2022 y que descendieron por el río Upismayo. Actualmente se observan cicatrices de desprendimientos rocosos en la parte superior, depósitos de caída en su base y grietas tensionales por detrás de los escarpes principales (a unos 120 m. por encima de la laguna).

Estos rasgos geomorfológicos (**Figura 16 y 17**), son una clara evidencia de la reactivación de desprendimientos rocosos que pueden precipitarse sobre la laguna Upiscocha y generar nuevos aluviones. Esto convierte al sector como una zona crítica.

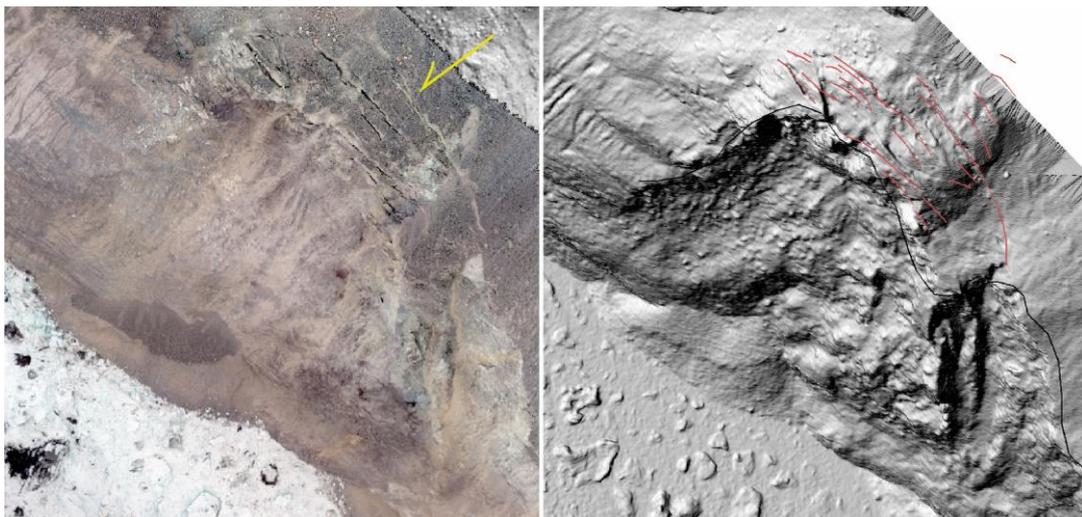


Figura 16. Grietas tensionales, ubicadas por encima del escarpe principal desarrollado en una superficie de sobre-excavación glaciar en la margen derecha de la laguna Upisc

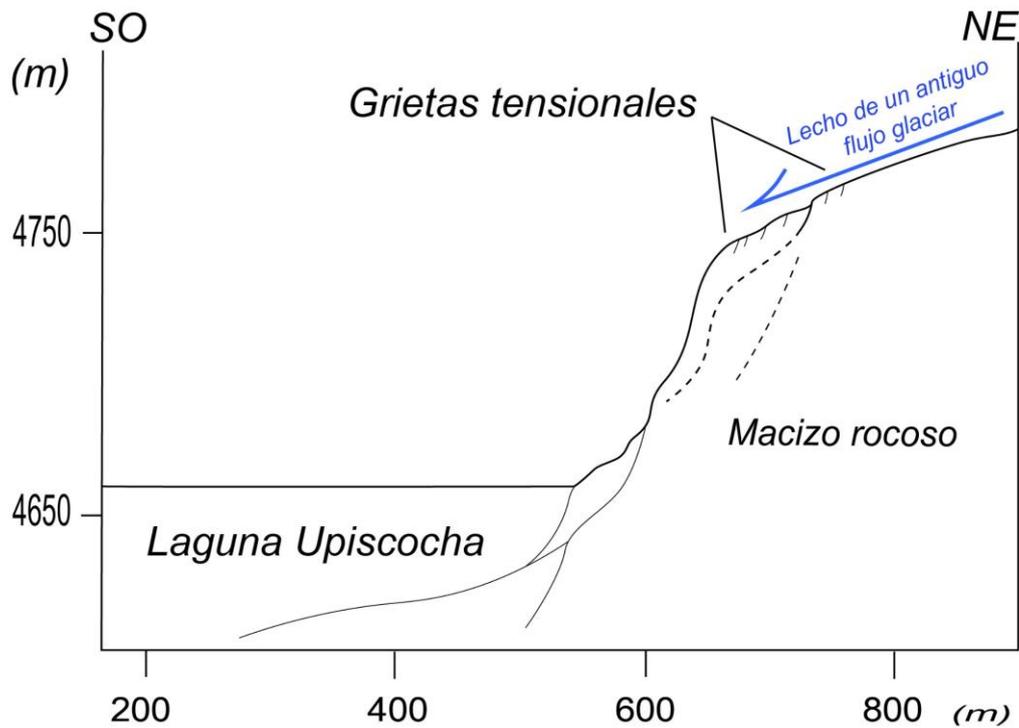


Figura 17. Perfil topográfico de la laguna Upiscocha y su ladera norte

4.5. Morrenas y llanuras intramorrénicas

Pese a la trascendencia morfológica que puede alcanzar la actividad erosiva de los glaciares, la función básica de las masas de hielo, es el transporte y la evacuación de sedimentos, detritos y bloque rocosos. Este transporte es complejo y muy diverso, porque los materiales pueden ser trasladados por los flujos de hielo, desde sus márgenes, por debajo de ellos, en suspensión o asimilados dentro del cuerpo congelado (**Figura 18** y **Fotografía 4**).

A todo este conjunto sedimentario (bloques de roca, detritos y sedimentos acarreados por los glaciares), en geomorfología se denomina Morrenas. Estas geoformas quedan después de que un glaciar se ha retirado y dan evidencia e información paleo-climática de su pasado.



Fotografía 4. Estructura interna de una morrena (Cordillera Blanca). Se observa que el Till, no tiene una clasificación definida y los bloques rocosos y detritos son heterogéneos.

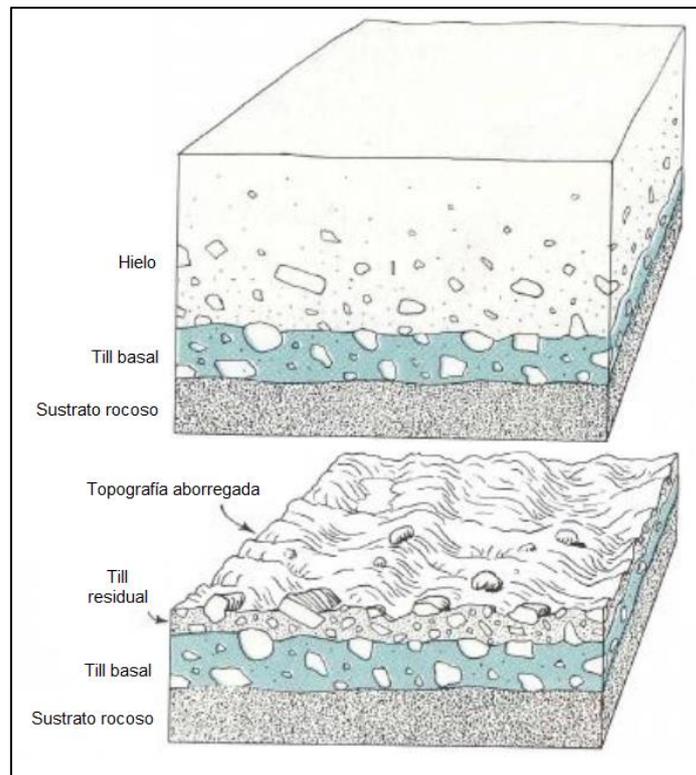


Figura 18. Composición física interna de un glaciar, que engloba till dentro de su masa, que queda expuesto luego del derretimiento glaciar (Tomado de: Strahler & Strahler, 1989).

En el valle Upismayo, se identificaron 4 generaciones de morrenas (M1, M2, M3 y M4) dispuestas de manera semi escalonada, siendo el grupo de morrenas más antiguas (M4), las que están más alejadas del área fuente (**Figura 19**).

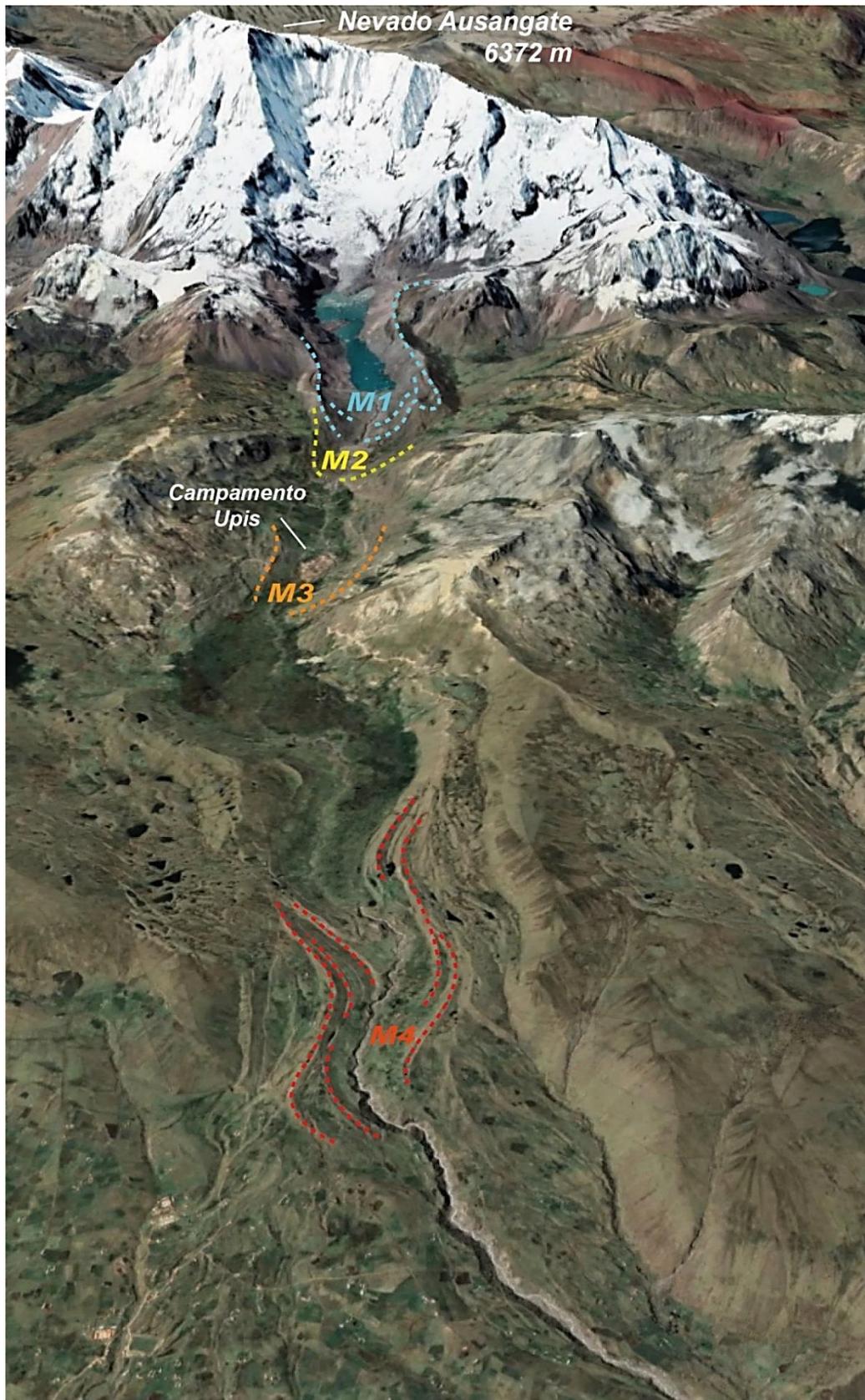


Figura 19. Vista panorámica del valle Upis con la disposición de los 4 grupos de morrenas.

Las morrenas más recientes (M1), configuran es una estructura sedimentaria elongada y semicircular en su parte frontal, que represan la laguna Upisocha. Su alcance máximo va hasta los ~4.8 km desde la cima del nevado Ausangate. Sus laderas externas se

encuentran relativamente intactas, sin embargo, las paredes internas se encuentran fuertemente erosionadas, deformadas y afectadas por una intensa dinámica de laderas. En este contexto, todo el material removido cae sobre la laguna a manera de derrumbes, deslizamientos y flujos de detritos (**Figura 20** y **Figura 21**).

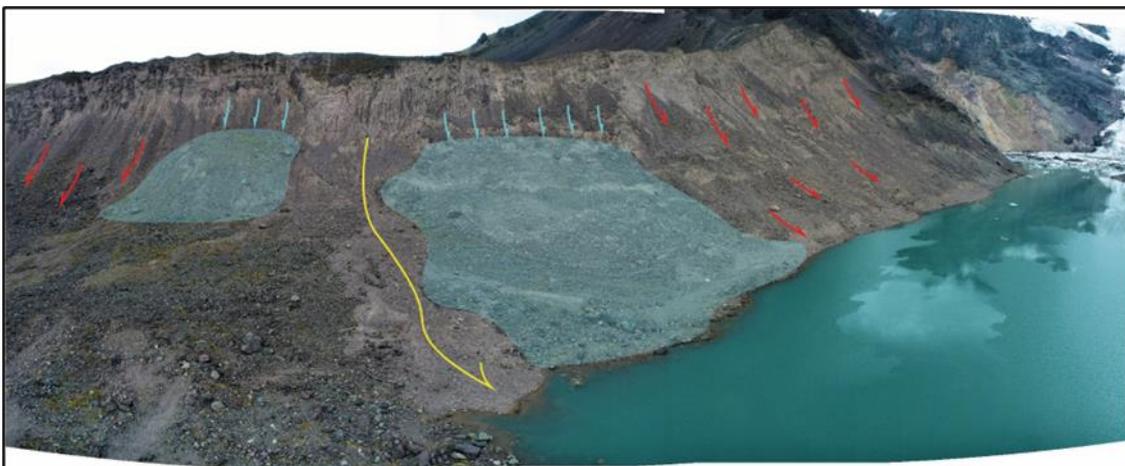


Figura 20. Paredes de la margen derecha de la laguna Upiscocha. Las flechas rojas indican los derrumbes o caída de detritos, las flechas celestes los escarpes de deslizamientos y la flecha amarilla un flujo de detritos.



Figura 21. Paredes de la margen izquierda de la laguna Upiscocha. Las flechas rojas indican los derrumbes o caída de detritos y las flechas celestes los escarpes de deslizamientos.

Hacia la salida de la laguna Upiscocha, se extiende un vasto campo de material morrénico (M1) irregular que es cortado de forma permanente por la incisión fluvio-glaciar (**Fotografía 5**), posee una serie de arcos morrénicos deformados, amplias huellas recientes de inundaciones y surcos y crestas paralelas, que evidencian antiguos desembalses más violentos.

Esta área se extiende por casi 0.8 km de distancia, desde el borde de la laguna Upiscocha hasta una explanada a 65 m de desnivel, donde los depósitos aluviónicos recientes y antiguos se expanden a manera de abanico. Ese desnivel topográfico favorece el vigor erosivo de los flujos fluvio-glaciares y aluviónicos.

Los desembalses ocurridos en año 2022, pusieron al descubierto intensas huellas de socavación y profundización del lecho, que dejó bastantes materiales sedimentarios sueltos, muy susceptible a ser removido en futuras crecidas fluviales (**Fotografía 6**). Por este motivo se instalaron muros enrocados de protección (**Fotografía 7**).



Fotografía 5. Dique frontal de la laguna Upiscocha.



Fotografía 6. Incisión fluvio-glacial sobre morrenas a la salida de la laguna Upiscocha.



Fotografía 7. Enrocado de protección en el dique morrénico frontal de la laguna Upiscocha.

Luego de la rampa morrénica M1, se observa una extensa planicie (Llanura 1) ubicada entre los conjuntos de morrenas M1 y M2 (ver **Figura 23**). En esta llanura se depositó gran cantidad de material proveniente de los desembalses de la laguna Upiscocha, configurando de esta manera un primer disipador de energía natural frente a futuros

posibles aluviones (**Figura 24** y **Fotografía 88**). Al finalizar esta explanada, en el dique morrénico frontal M2 a ~5.2 km de la cima del nevado Ausangate, se construyó una bocatoma que durante los eventos ocurridos el año 2022 fue destruida.



Figura 22. Vista de sur a norte de la primera llanura o disipador natural de energía, ubicada entre las morrenas M1 y M2.



Figura 23. Vista de norte a sur del emplazamiento de las morrenas M1 y M2 y las planicies entre ellas, donde se acumula el material proveniente de los desembalses de la laguna Upiscocha.

Río abajo hacia el campamento Upis, se extiende otra planicie (Llanura 2) ubicada entre las morrenas M2 y M3 (**Figura 24**). Esta llanura amortiguó el material dejado por los aluviones en 2022, los cuales se canalizaron casi en su totalidad por dentro del cauce, ensanchándolo, profundizándolo y originando un intenso socavamiento y erosión en sus

márgenes, lo cual afectó al campamento Upis. Otro efecto claro de amenaza a este sector, son las inundaciones y también el alto nivel freático visto en las planicies.

El grupo de morrenas M3, cierra cerca del campamento Upis a unos 7 km de distancia desde la cima del nevado Ausangate. Son morrenas de entre 20 y 50 m de altura emplazadas en ambas márgenes del valle Upismayo (**Figura 25**).



Figura 24. Campamento Upis ubicado en la Llanura 2, entre las morrenas M2 y M3. Fotografía editada de INAIGEM, 2022.



Fotografía 8. Erosión fluvioglacial en el cauce del río Upis (Llanura 2)



Figura 25. Emplazamiento de las morenas M3 cerca del campamento Upis.

Luego del cierre de las morenas M3, se extiende una extensa llanura de ~3 km de largo y en algunos sectores de 1 km de ancho. Se trata de la Llanura 3, conocida localmente como Upispampa, que es la evidencia geomorfológica de una antigua laguna de origen glaciar (**Fotografía 9**). Sobre ella discurre el río Upis y por su cauce erosionado se ha emplazado el material aluviónico. En la explanada no se observa huellas de aluviones, pero sí de inundaciones.



Fotografía 9. Llanura de Upispampa

Al finalizar la Llanura 3, el valle se estrangula por las morrenas M4 (las más antiguas, emparentadas con los ciclos de avances glaciares desarrollados durante el Último Máximo Glacial, en los Andes ocurridos hace ~35ka.). Sus frentes morrénicos se emplazan a casi 11 km de distancia de la cima del nevado Ausangate, se trata de un conjunto de varios arcos morrénicos que dan evidencia de distintos ciclos de fluctuaciones glaciares. Debido a la configuración topográfica de la zona (llanuras altiplánicas), los paleoglaciares que depositaron las morrenas M4, fluyeron a manera de “meandros”. Entre sus crestas se han desarrollado surcos o depresiones intramorrénicas que acogen pequeñas lagunas y turberas.

El trayecto en el que el río Upis atraviesa las morrenas frontales, la pendiente del terreno se hace más pronunciada y los materiales del cauce fluvial más susceptibles a la erosión (**ver la figura 19**). Por tanto, se desarrolla un área de intensa incisión y socavamiento fluvial, que en algunos sectores es mayor a 50 m. Durante una crecida extraordinaria del río Upis o un desembale de la laguna Upiscocha, este proceso erosivo arrancaría material sedimentario de esta zona, formando y reactivando deslizamientos y derrumbes (**Figura 26**), los cuales serían transportados río abajo y afectarían la ciudad de Ocongate y otros poblados más bajos (**Fotografía 10**).



Figura 26. Intenso socavamiento basal y lateral en la parte media del valle Upis, que activa deslizamientos y derrumbes.



Fotografía 10. Ciudad de Ocongate, con evidencias de aluviones procedentes de la laguna Upiscocha.

El valle Upismayo tiene diferentes características topográficas y litológicas a lo largo de su recorrido. Estas variaciones topográficas están definidas por el origen de las formas del relieve, es decir, los procesos glaciares del pasado que durante su avance depositaron grandes morrenas y en su retroceso o derretimiento formaron grandes lagunas que tras su desecación formaron extensas planicies. Estas características se muestran en las **Figura 27, 28** y el **Cuadro 3**.

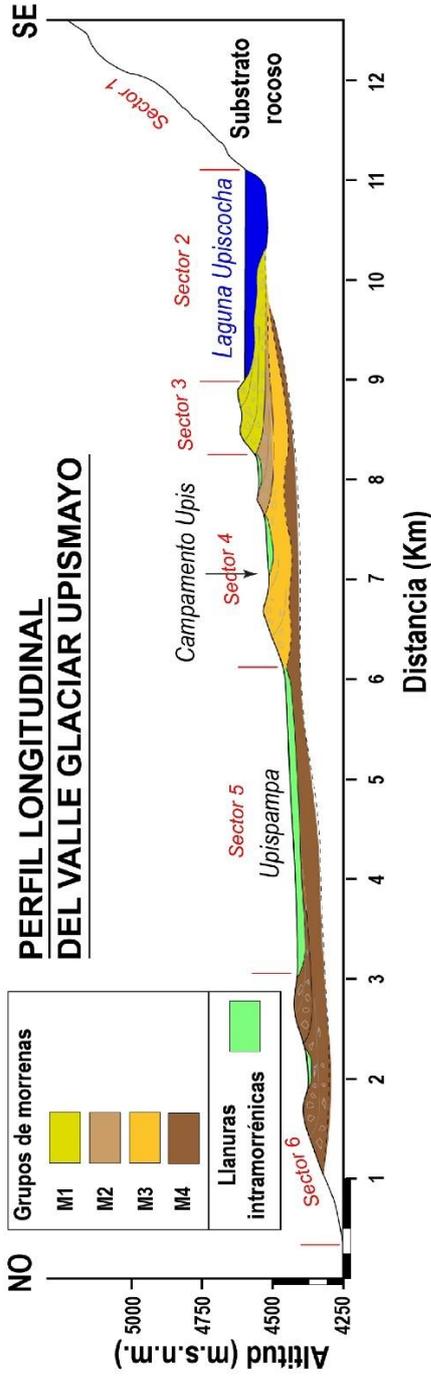


Figura 27. Sección topográfica sectorizada del valle Upismayo.

Cuadro 3. Características geológicas de los sectores analizados en el valle Upismayo

SECTOR	TIPO DE PELIGRO	ENTORNO GEOMORFOLÓGICO	LITOLOGÍA
1. Vertiente norte del nevado Ausangate	Avalanchas y caídas de bloques de hielo, Caída de roca y detritos	Glaciares, superficies de abrasión y sobreexcavación glaciár, crestas supraglaciares	Lavas andesíticas y areniscas - limolitas del Grupo Mitu.
2. Laguna Upiscocha	Avalanchas y caídas de bloques de hielo, Caída de roca y detritos, deslizamientos, flujos de detritos	Glaciares degradados, superficies de sobreexcavación glaciár, Morrenas M1	Areniscas -limolitas del Grupo Mitu, Till, depósitos coluviales y aluviales
3. Morrenas frontales M1	Flujos de detritos, inundaciones, erosión fluvio-glaciár, derrumbes	Morrenas M1, morrenas de ablación.	Till, depósitos fluvio-glaciares y aluviales
4. Llanura 1 y Llanura 2 (Campamento Upis)	Flujo de detritos y erosión fluvio-glaciár, inundaciones	Llanura de obturación, Morrenas M2 y M3	Till, depósitos lacustrinos, fluvio-glaciares y aluviales
5. Llanura 3 – Upispampa.	Flujo de detritos y erosión fluvio-glaciár, inundaciones	Llanura de obturación	Till, depósitos lacustrinos, fluvio-glaciares y aluviales
6. Morrenas frontales M4	Flujo de detritos y erosión fluvio-glaciár, inundaciones, derrumbes y deslizamientos	Morrenas M4	Till, depósitos coluviales, fluvio-glaciares y aluviales

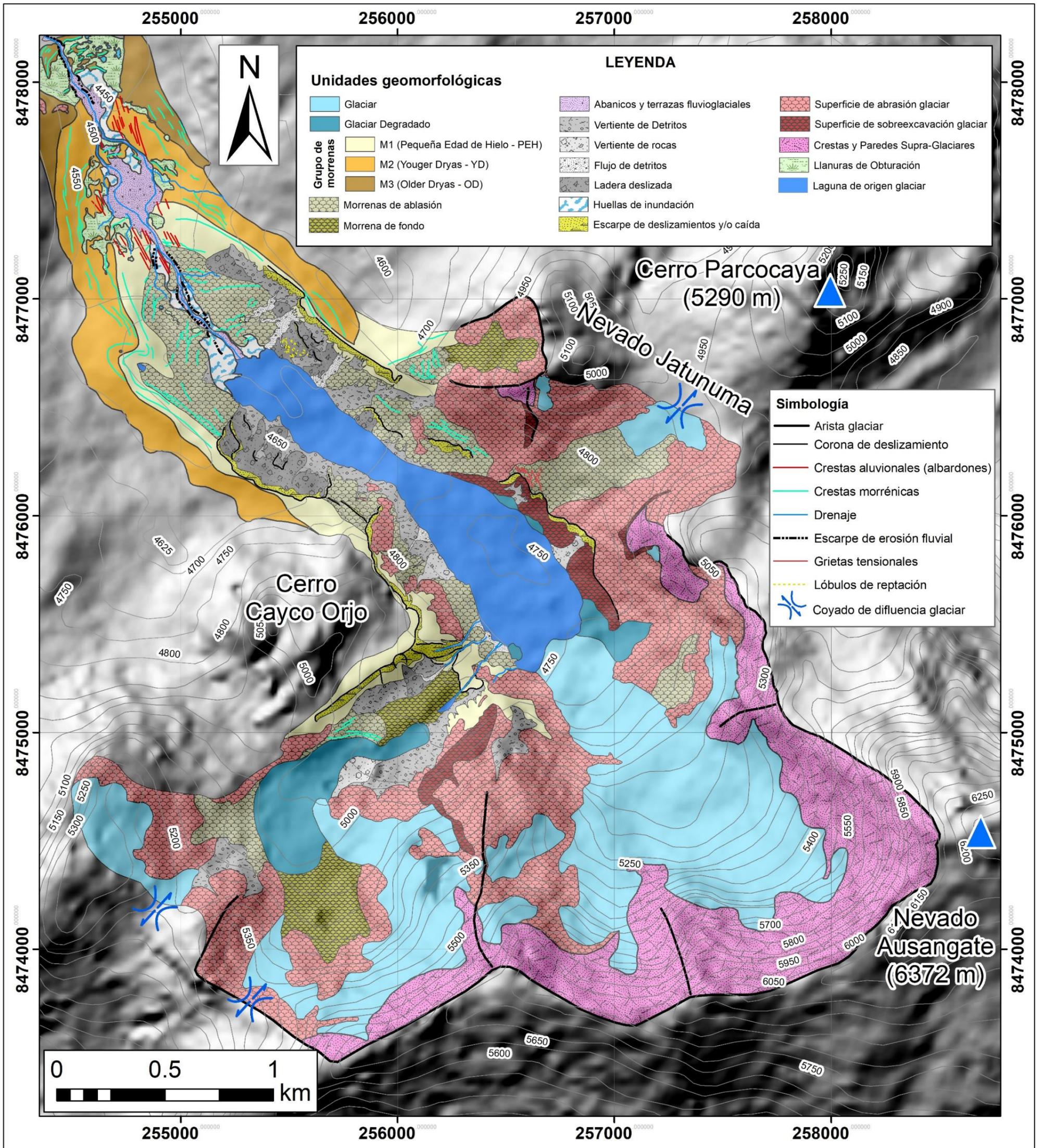


Figura 28. Mapa geomorfológico del Valle Upismayo

5. CONCLUSIONES

A. DE LAS CAÍDAS DE ROCA QUE PRODUJERON LOS ALUVIONES DE 2022

1. La zona de los desprendimientos rocosos corresponde a una superficie de sobreexcavación glaciar (**Figura 14**), es decir una zona en donde los glaciares en el pasado arrancaron y desalojaron rocas y moldearon una superficie casi vertical que actualmente presenta cicatrices de desprendimientos rocosos.
2. Por encima de esta superficie de sobreexcavación, se encuentra un valle glaciar “colgado”, cuyos avances pasados fragmentaron el macizo rocoso basal ubicado en la “cornisa” o el borde del barranco, originando que actualmente se observe un sistema de grietas propensas a desprenderse (**Figura 16**).
3. Esta superficie rocosa, consiste en areniscas feldespáticas intercaladas con rocas volcánicas del Grupo Mitu, que por su coloración expuesta (amarillenta, rojiza y verdosa) y además por su textura, indican la existencia de oxidación, alteraciones por meteorización y criogenización que condiciona la estabilidad del macizo rocoso (**Figura 6**).
4. Las condiciones inestables del macizo rocoso en esa zona, también podría estar relacionado a una zona de cizalla, por ello las coloraciones blanquecinas y la formación de panizo, que en su conjunto, configuran una zona susceptible desde un punto de vista estructural.
5. Toda el área de sobreexcavación glaciar y su parte superior, es una **Zona Crítica** debido a las condiciones litológicas, estructurales, topográficas, glaciares y climáticas. **Por lo que un futuro desprendimiento rocoso es altamente probable.**

B. DE LOS OTROS MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS ALREDEDORES DE LA LAGUNA UPISCOCHA

1. El análisis geomorfológico detallado, reveló una gran cantidad de movimientos en masa activos y latentes en las paredes que rodean la laguna Upiscocha (morrenas, afloramientos rocosos y glaciares).
2. Existen al menos una veintena de fenómenos gravitacionales individuales que pueden colapsar sobre la laguna Upiscocha, impactándola con mayor o menor intensidad. Se trata de caída de rocas, caída de detritos o derrumbes, flujos de detritos, deslizamientos, caída de bloques de hielo y avalanchas de hielo.
3. Predominan 2 grandes deslizamientos en cada margen de la laguna (**Figuras 20 y 21**), tienen entre 500 y 700 m de ancho y 80-90 m de altura. Ambos han desarrollado escarpes principales en la cresta de la morrena y escarpes secundarios con reactivaciones menores en el cuerpo del deslizamiento.

C. DE LOS GLACIARES Y GLACIARES DEGRADADOS

1. La **Figura 11** muestra la evolución de los glaciares, glaciares degradados y la laguna Upiscocha en 6 escenarios desde 1969 (año donde no existía

todavía la laguna). El rasgo más llamativo es el crecimiento acelerado de la laguna desde 1985, donde tenía $\sim 0.03 \text{ km}^2$ y en la actualidad tiene $\sim 0.59 \text{ km}^2$, es decir, en aproximadamente 37 años el área de la laguna Upiscocha multiplicó entre 19 y 20 veces su tamaño.

2. Al sur de la laguna Upiscocha, $\sim 100 \text{ m}$ por encima de esta se desarrolla un valle glaciar secundario que confluye al valle principal y alberga una pequeña laguna en formación y por detrás una enorme masa de un glaciar degradado de $\sim 0.25 \text{ km}^2$ de extensión. Se estima que su derretimiento vaya a formar en un lapso aproximado de entre 40 - 50 años (si el proceso de formación es similar al de la laguna Upiscocha) una laguna de 0.9 km de longitud, cuya dinámica afectará a la laguna Upiscocha.

D. DE LA MORFOLOGÍA DEL VALLE UPISMAYO

1. Las 4 generaciones de morrenas (M1, M2, M3 y M4) y las Llanuras desarrolladas entre ellas (Llanura 1, 2 y 3), han configurado un relieve escalonado que condiciona el comportamiento y naturaleza de los aluviones que puedan producirse.
2. Bajo este contexto geomorfológico, se ha propuesto 6 sectores prioritarios para la evaluación e intervención preventiva ante peligros geológicos (**Figura 27**).
3. Por su cercanía a los glaciares, su inaccesibilidad y sus pendientes escarpadas e inestables con gran ocurrencia de movimientos en masa, los sectores 1 y 2 resultan ser muy difíciles de ser intervenidos por alguna obra de ingeniería.
4. El sector 3 tiene una pendiente de $\sim 8\%$ o $\sim 5^\circ$ y está constituido por till inconsolidado susceptible a la erosión fluvio-glaciar y superficial. Es una **Zona Crítica**, debido al socavamiento y el vigor erosivo del cauce fluvial (**Fotografías 5 y 6**).
5. En los sectores 4 y 5 se han desarrollado las Llanuras 1, 2 y 3. Estas planicies son la evidencia geomorfológica de antiguas lagunas de origen glaciar, por lo tanto, son disipadores de energía naturales ante posibles aluviones (**Figura 23**).
6. Sobre la Llanura 2, se emplaza el Campamento Upis (**Figura 24**), una **Zona Crítica** ante inundaciones y aluviones. Por lo que se debe considerar la posibilidad de reubicación a una zona fuera del piso de valle, ya que es un área inundable.
7. En los frentes morrénicos M1 y M4, el cauce del río Upis muestra un intenso socavamiento e incisión fluvio-glaciar. Un posible aluvión es capaz de arrancar gran cantidad de material de estas zonas y englobarlas a su masa, generando una mayor carga erosiva.
8. El sector 6, es la zona de mayor erosión y socavamiento fluvio-glaciar del área de estudio.
9. Es posible que, ante futuros aluviones el material arrastrado por ellos quede depositado sobre las Llanuras 1, 2 y 3 (como se observó en 2022). Sin

embargo, los flujos cargados con relativamente poco sedimento y bloques, discurrirían ininterrumpidamente a lo largo del cauce, llegando a adquirir nuevamente más material en el sector 6 y transportarlo río abajo afectando la ciudad de Ocongate y otras (erosionando más laderas a su paso).

10. Estos estudios deben ser incorporados a los planes de Ordenamiento Territorial de la Municipalidad Distrital de Ocongate.

6. RECOMENDACIONES Y MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS

Finalmente daremos de forma general algunas propuestas de solución para los problemas geodinámicos en el valle Upismayo, esto con el objetivo de minimizar el impacto de las ocurrencias de movimientos en masa.

Para estabilizar una pendiente, primero hay que identificar el proceso de control más importante que está afectando la estabilidad del talud; en segundo lugar, hay que determinar la técnica adecuada que debe aplicarse para reducir la influencia del proceso.

La mayoría de las técnicas de ingeniería de pendientes requieren un análisis detallado de las propiedades y la mecánica del suelo y las rocas subyacentes. En toda situación de alto riesgo, donde un movimiento en masa puede poner en peligro vidas o afectar negativamente la propiedad, siempre es necesario consultar a profesionales expertos.

A continuación, se señalan una serie de recomendaciones que pueden servir como base para prevenir los peligros geológicos en la zona de estudio. Se recomienda evaluar al detalle, estos sectores para el correcto diseño de las obras de mitigación sugeridas, con especialistas.

6.1. TRATAMIENTO DE PELIGROS POR CAÍDAS DE ROCA, DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS

Estos fenómenos son comunes en los sectores 1 y 2, sobre todo en las paredes que flanquean la laguna Upiscocha. Sin embargo, una intervención ingenieril en zonas muy cercanas a la influencia glaciaria actual y próxima a la laguna de difícil acceso resulta ser muy complicada de darse. Por lo que los tratamientos de prevención frente a estos fenómenos desarrollados en estas zonas deben ser intervenidos aguas abajo.

El socavamiento fluvial en las paredes del cauce del río Upis en el sector 6, ha originado la formación de taludes que tienen pendientes fuertes, donde se han desarrollado derrumbes y deslizamientos y es necesaria su estabilización en los sectores más críticos. La zona es accesible y óptima para realizar obras de estabilización. Los métodos más frecuentes se muestran en las **Figuras 29, 30, 31 y 32**.

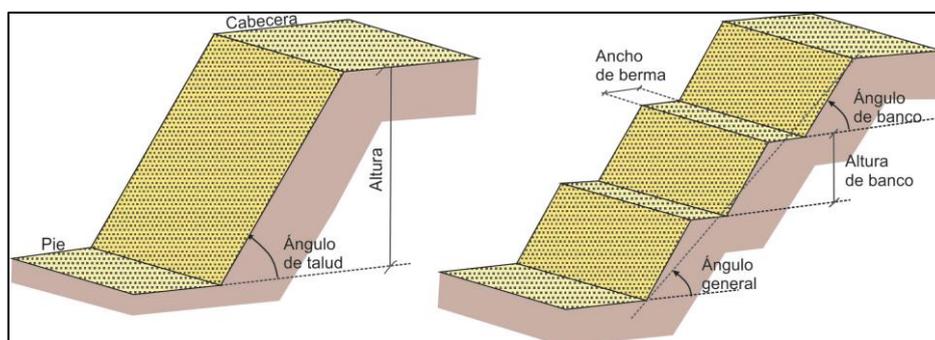


Figura 29. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (Gonzales & et al, 2002). Mediante este tipo de corrección se distribuyen las fuerzas debidas al peso de materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable.

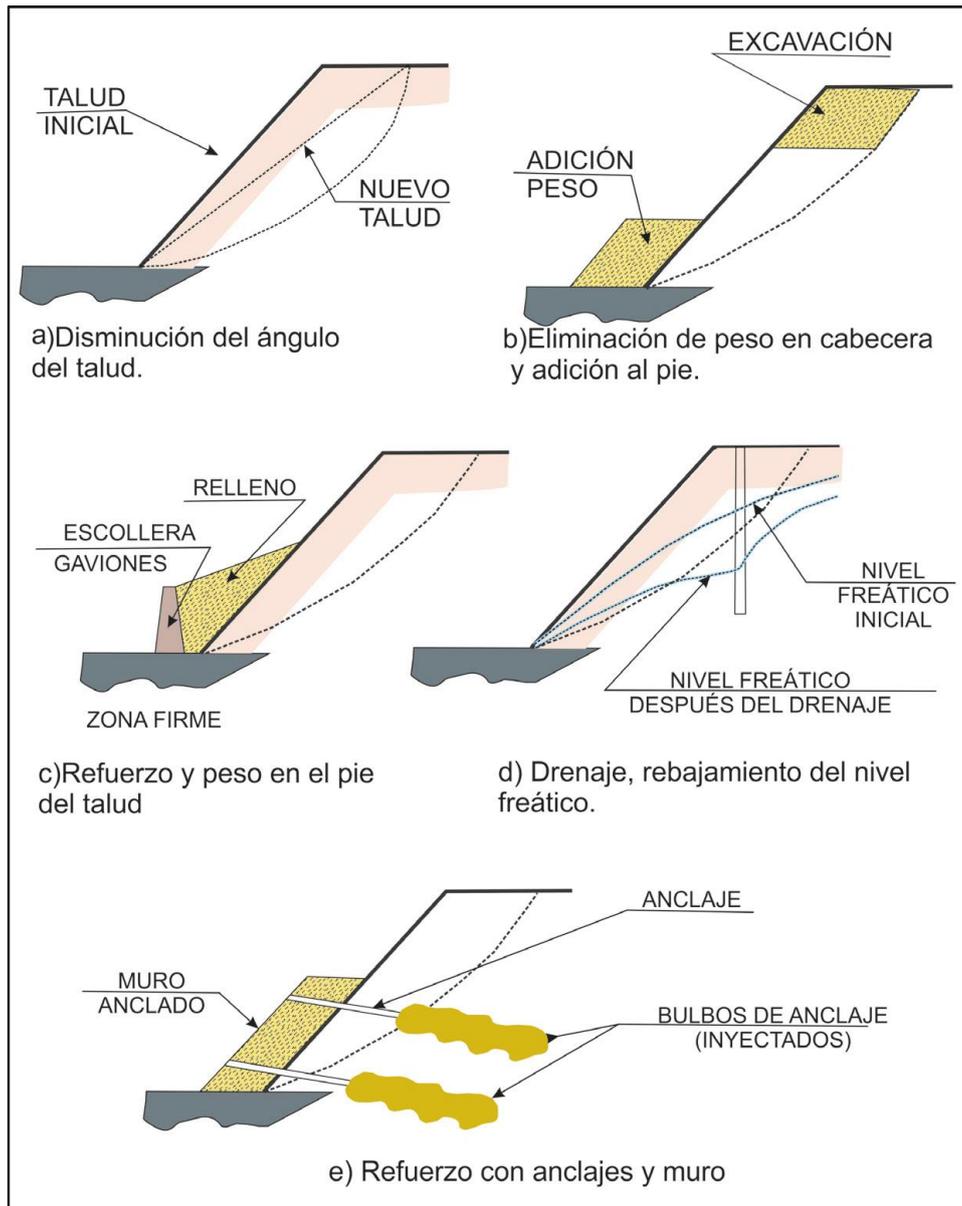


Figura 30. Métodos más frecuentes para aumentar el coeficiente de seguridad en taludes de suelos (Gonzales, 2002).

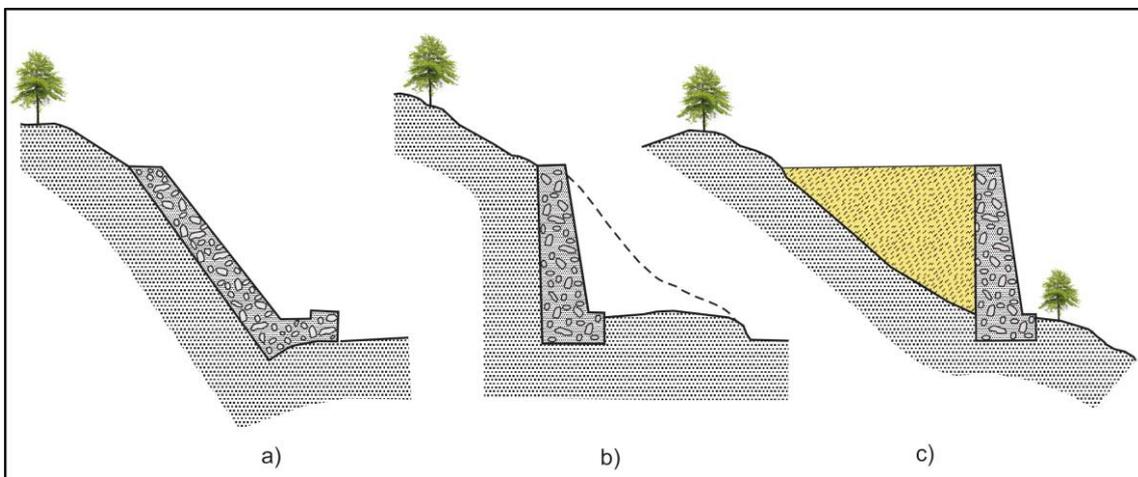


Figura 31. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976).

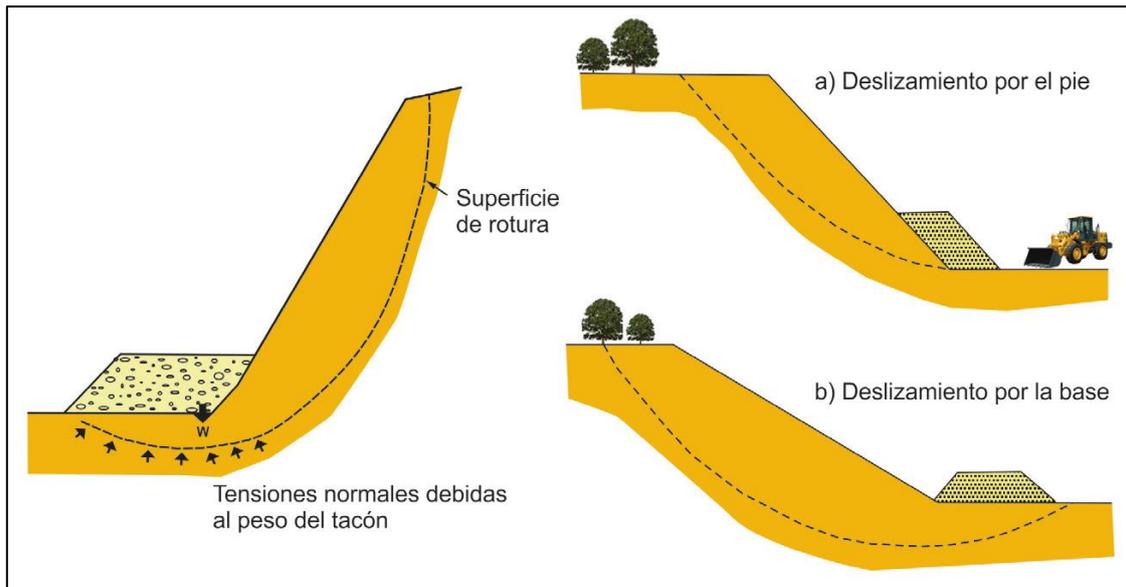


Figura 32. Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno, en el pie de un talud (izquierda), colocación de escollera según el ángulo de rozamiento interno del terreno (derecha).

6.2. TRATAMIENTO DE PELIGROS FLUJOS DE DETRITOS, INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL

En el valle Upis se producen huaycos periódicos, así lo demuestran los registros históricos y las evidencias geomorfológicas. Estos huaycos o aluviones, alcanzan grandes distancias y transportan grandes volúmenes de material, por este motivo es preciso aplicar medidas de prevención con el propósito de fijar los sedimentos en tránsito y minimizar los posibles daños, para ello se proponen algunas medidas.

- Encauzamiento del río Upismayo, retirando los bloques rocosos del lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales siempre y cuando estos materiales sean de buenas características geotécnicas. Considerando siempre avenidas máximas producidas durante periodos de lluvia excepcional.
- Realizar modelos numéricos detallados para representar distintos escenarios de aluviones, considerando variables, topográficas, geológicas, geomorfológicas, glaciares y climáticas.
- Propiciar la formación y desarrollo de arbustos ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos sobre todo en el sector 6.
- Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos, tales como presas SABO; tipo rejilla; barras flexibles que debido a la permeabilidad de la red, los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido; fosas de decantación; entre otros (**Figura 33**).
- Protección de las terrazas fluviales de los procesos de erosión fluvial por medio diques de defensa o espigones (**Figura 34**), que ayudan a disminuir el proceso de arranque y desestabilización.

- Contemplar la realización de diques de contención y regulación en las morrenas frontales que represan la laguna Upischocha (**Fotografías 11 y 12**).
- Instalación de sistemas de alerta temprana (para deslizamientos y aluviones).

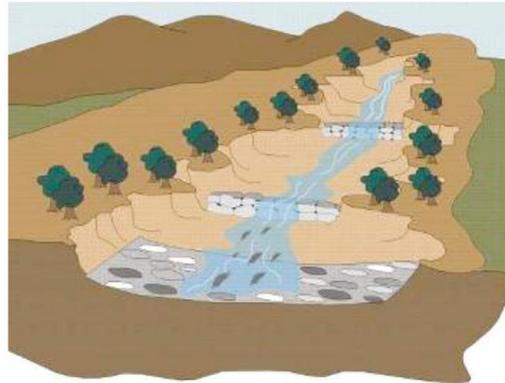


Figura 33. Presas de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huaicos, tipo SABO (a); tipo rejilla (b); barras flexibles (c).

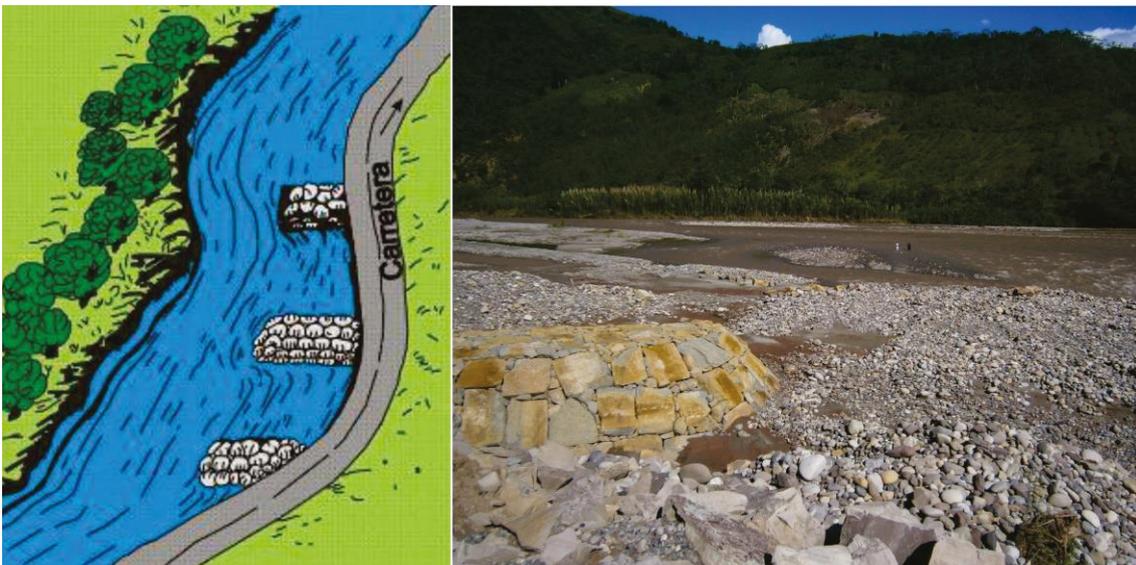


Figura 34. Espigones para proteger las terrazas fluviales.



Fotografía 11. Dique en la morrena frontal del valle Quillcayhuanca en la Cordillera Blanca – Ancash.



Fotografía 12. Dique de contención en la laguna Lazo Huntay (Cordillera Huaytapallana - Junín).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benavente, C.; Delgado, F.; Taibe, E.; Audin, L. & Pari, W. (2013). Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245 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.
- Proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas. 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, 432 p.,1 CD-ROM.
- SENAMHI, 2020. Climas del Perú Mapa de Clasificación Climática Nacional. Resumen Ejecutivo. 7 p.
- Soaña, J.; Atencio, E. & Martínez, J. (2022). Geología del cuadrángulo de Ocongate (hojas 28t1, 28t2, 28t3, 28t4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000), 46, 138p., 4 mapas
- Varnes, D.J. (1978). Slope movement types and processes. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J., (eds) Landslides, analysis and control, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., pp. 11–33
- Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 155 p. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2564#files>
- Paul, F. and Linsbauer, A. (2012): Modeling of glacier bed topography from glacier outlines, central branch lines, and a DEM. International Journal of Geographic Information Science 26, 1173–1190. doi:10.1080/13658816.2011.627859.
- Linsbauer, A., Paul, F., Hoelzle, M., Frey, H., and Haerberli, W. (2009). The Swiss Alps without glaciers - A GIS-based modelling approach for reconstruction of glacier beds. In Proceedings of Geomorphometry 2009, pages 243–247, Zurich. Available from www.geomorphometry.org/Linsbauer2009.
- Strahler, Arthur Newell (1989) Geografía Física, 3a Edición Omega, Barcelona, España.
- Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo. (2002) INGENIERÍA GEOLÓGICA. PEARSON EDUCACIÓN, Madrid, 738 páginas
- J. A. Jiménez Salas, J. L. de Justo Alpañés y A. A. Serrano. (1976), Geotecnia y Cimientos II. Mecánica del suelo y de las rocas". Editorial Rueda,1186 p.



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