

Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña

2022



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña en el Perú 2022

Abg. Guillermo Rojas Gutiérrez
Presidente Ejecutivo (e)*

Directores y jefes:

Ing. Jesús Gómez López
Director de Investigación en Glaciares (DIG)

Dra. Beatriz Fuentealba Durand
Directora de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM)

Dr. Daniel Martínez Castro
Director (e) de Información y Gestión del Conocimiento (DIGC)

Ing. Víctor Bustinza Urviola
Jefe de la Oficina Desconcentrada Macrorregión Sur - Cusco

Dr. Christian Yarlequé Galvez
Jefe de la Oficina Desconcentrada Macrorregión Centro - Lima

Editado por:

© Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
Dirección de Información y Gestión del Conocimiento

Sede central:

Av. Centenario 2656, Independencia, Huaraz, Ancash, Perú
Teléfono: (043) 22-1766 / (043) 45-6234

Oficina Desconcentrada Macrorregión Centro - Lima:

Av. Comandante Espinar 860 - Oficina 301, Miraflores, Lima, Perú
Teléfono: (01) 301-7443

Oficina Desconcentrada Macrorregión Sur - Cusco:

Av. Industrial Nro 1, Mz. N Lt.1 Urb. Residencial Huancaro Cusco, Santiago, Cusco, Perú

www.inaigem.gob.pe

Diciembre 2022

Fotografía de portada e interiores: Dickens Rondán - INAIGEM

Diseño y diagramación: Leslie Arestegui Saldaña | Joan Ramirez Romero

Depósito legal N° 2026-00554

Primera edición digital Enero 2026

** La edición y publicación de este informe se desarrolló durante la gestión de la Dra. Beatriz Fuentealba Durand, presidenta ejecutiva del INAIGEM (marzo 2025).*

PRESENTACIÓN

Los glaciares y los ecosistemas de montaña representan pilares fundamentales para la biodiversidad, los recursos hídricos y el clima. Estos ecosistemas no solo proporcionan agua dulce a millones de personas, sino que también actúan como reguladores del clima y refugios para especies únicas. Sin embargo, los glaciares y ecosistemas de montaña enfrentan amenazas crecientes derivadas del cambio climático, como el retroceso de los glaciares, la formación de lagunas peligrosas y el aumento de eventos extremos. Comprender y gestionar estos riesgos es esencial para conservar los servicios ecosistémicos que ofrecen y garantizar la seguridad de las poblaciones humanas que dependen de ellos.

El *Informe situacional de glaciares y ecosistemas de montaña - 2022*, elaborado por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), presenta las investigaciones desarrolladas por la entidad, así como los avances y desafíos relacionados con estos entornos críticos en el Perú, con estudios localizados en las regiones Áncash, Huánuco, Junín, Apurímac, Cusco, Arequipa y Puno, y a nivel nacional. Este documento incluye estudios detallados sobre el retroceso glaciar, el impacto del carbono negro en los glaciares y la evaluación de riesgos asociados a lagunas glaciares. Además, aborda la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de montaña frente al cambio climático, los cuales destacan su vulnerabilidad y su importancia ecológica y cultural.

A lo largo de este informe, se puede corroborar el cumplimiento de los objetivos y acciones estratégicas institucionales. Desde el año 2022 entró en vigencia el Plan Estratégico Institucional del INAIGEM, del 2022 al 2026, que consta de cuatro objetivos estratégicos institucionales:

- 1. Fortalecer las capacidades de los actores identificados en conservación, recuperación y uso sostenible de los ecosistemas de montaña y sus servicios ecosistémicos.**
- 2. Fortalecer las capacidades en gestión preventiva y adaptativa sobre peligros de origen glaciar y asociados al cambio climático de las entidades focalizadas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).**
- 3. Fortalecer la gestión institucional.**
- 4. Reducir la vulnerabilidad del riesgo de desastres.**

La información y actividades desarrolladas por el INAIGEM durante el año 2022 que se presentan en este informe rinden el cumplimiento de las dieciséis acciones estratégicas que componen estos objetivos.

El informe refleja el compromiso del INAIGEM con la generación de conocimiento científico y la recomendación de medidas estructurales y no estructurales sostenibles para proteger estos ecosistemas y a las sociedades que dependen de ellos. Sus hallazgos contribuyen a fortalecer la gestión ambiental y climática en el país, al mismo tiempo que resaltan la necesidad de acciones concertadas para enfrentar los retos que plantea el cambio climático.

Dra. Beatriz Fuentealba Durand
PRESIDENTA EJECUTIVA

CONTENIDO

INVESTIGACIONES EN GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR EN EL PERÚ

| | |
|---|-----------|
| Balance de masa del glaciar Huillca | 8 |
| Avances de investigaciones en glaciares y lagunas de glaciares del Perú | 9 |
| ESTUDIOS DE RIESGOS DE ORIGEN GLACIAR | 11 |
| EVALUACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR | 12 |
| Evaluación del peligro por aluvión en los centros poblados de Sina, Potoni y Koriwara, distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno | 12 |
| Evaluación del peligro por aluvión en la ciudad de Huancayo, distritos de Huancayo y el Tambo, provincia de Huancayo, departamento de Junín | 14 |
| Evaluación del peligro por aluvión en los distritos de Abancay y Tamburco, provincia de Abancay, departamento de Apurímac | 16 |
| Evaluación del riesgo por aluvión en la UH Yavero, distrito de Ocongate, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco | 18 |
| REPORTES SOBRE GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR POTENCIALMENTE PELIGROSAS | 22 |
| Zonas críticas del glaciar Peck II y Vallunaraju, departamento de Áncash | 22 |
| Zonas críticas en las lagunas potencialmente peligrosas Arhuaycocha, Artizon Bajo, Artizon Alto y Palcacocha, departamento de Áncash | 23 |
| Estado de las lagunas Quesillococha, Siula, Gangrajanca y Carhuacocha frente a peligros, departamento de Huánuco | 24 |
| Información geológico-geotécnica en la UH Shullcas, departamento de Junín | 28 |
| Situación actual del glaciar Chicón y su ámbito de influencia, departamento de Cusco | 29 |
| Situación actual de la laguna en formación Ausangate Chaqui, departamento de Cusco | 30 |
| Situación actual de la laguna Ampaycocha, departamento de Apurímac | 30 |
| Situación actual de la laguna Ananta Cucho, departamento de Puno | 32 |
| REPORTES DE INSPECCIÓN ANTE EMERGENCIAS | 35 |
| Inspecciones de laguna Upiscocha, departamento de Cusco | 35 |
| Inspección de laguna Phacu Cucho Alto, departamento de Puno | 38 |

INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN EL PERÚ

| | |
|--|-----------|
| ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO | 42 |
| Folleto sobre los pastizales altoandinos | 42 |
| Folleto sobre la puya de Raimondi (<i>Puya raimondii</i>) | 43 |
| Estructura poblacional de los rodales de <i>Puya raimondii</i> Harms en Carpa y Cajamarquilla, departamento de Áncash | 43 |
| Variación estacional del contenido de agua en suelo con zanjas de infiltración y pajonales en la parcela de investigación en La Raya, departamento de Cusco | 44 |
| Mapa de ecosistemas de la UH Jungro Grande, departamento de Arequipa | 45 |
| ESTUDIOS PARA ABORDAR LOS RIESGOS QUE AFECTAN A LOS ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO | 47 |
| Caracterización climática y del comportamiento de las heladas en ecosistemas de montaña | 48 |
| Folleto sobre el drenaje ácido de roca y sus potenciales impactos ambientales | 50 |
| Diagnóstico sobre el drenaje ácido de roca en la UH del río Negro (quebrada Uquián), Cordillera Blanca, departamento de Áncash | 51 |
| Evaluación de calidad y cantidad de agua en sitios con problemas de drenaje ácido de roca en la Cordillera Blanca, departamento de Áncash | 52 |
| Percepciones locales de la calidad del agua en la cabecera del río Santa, departamento de Áncash | 52 |
| Integración de información para la gestión del riesgo de desastres en las subcuencas río Blanco-Santa Cruz y Pariac-Rajucolta, Cordillera Blanca, departamento de Áncash | 54 |
| <i>Subcuenca río Blanco-Santa Cruz</i> | 54 |
| <i>Subcuenca Pariac-Rajucolta</i> | 55 |
| PROMOCIÓN DEL TURISMO A PARTIR DE LA INFORMACIÓN GENERADA | |
| Guía ecoturística "Rutas ecosistémicas asociadas al agua: Cusco, Valle Sagrado de los Incas" | 57 |
| Guía "Rutas del cambio climático geoparque del glaciar Quelccaya" | 58 |
| PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN | |
| Proyecto Perú GROWS | 60 |
| Proyecto PantBioGlaciar | 60 |
| Proyecto Permafrost | 60 |
| Proyecto GLOP | 61 |
| Proyecto Tamya | 61 |
| Proyecto de Cooperación Sur-Sur entre Perú y Ecuador | 61 |
| Proyecto IMELS | 61 |

GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

| | |
|---|-----------|
| INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL ESTUDIO DE GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA | 64 |
| DETECCIÓN DE PELIGROS DE ORIGEN GLACIAR | 64 |
| LABORATORIO VIRTUAL DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA | 64 |
| TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA LAGUNA PALCACOCHA | 64 |
| BOLETÍN HIDROMETEOROLÓGICO 2020 - 2021 | 65 |
| PRONÓSTICOS DEL TIEMPO EN ZONAS DE MONTAÑA | 68 |
| PLATAFORMAS DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PRODUCIDA POR EL INAIGEM | 68 |
| REPOSITORIO | 68 |
| GEOPORTAL | 68 |
| DIFUSIÓN Y DIÁLOGO DE CONOCIMIENTOS A ESCALA LOCAL | 69 |
| FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES A ESCALA COMUNAL | 69 |
| ARTICULACIÓN INSTITUCIONAL | 69 |
| Participación en eventos de difusión | 69 |
| <i>Participación en las caravanas multisectoriales del programa PAIS</i> | 69 |
| <i>Actividades descentralizadas en el marco de la Semana Nacional de la Ciencia</i> | 69 |
| Presentación de trabajos institucionales | 69 |
| <i>Guía ecoturística "Rutas ecosistémicas asociadas al agua"</i> | 69 |
| <i>Guía "Rutas del cambio climático y geoparque del glaciar Quelccaya"</i> | 69 |
| <i>Proyecto Nuestro Río</i> | |
| EMISIÓN DE OPINIONES TÉCNICAS EN MATERIA DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA | 71 |
| PRESENCIA EN PLATAFORMAS Y GRUPOS ESPECIALIZADOS A NIVEL INTERNACIONAL | 72 |
| SIMPOSIO INTERNACIONAL "LAS MONTAÑAS, NUESTRO FUTURO" (MONFU 2022) | 73 |

OFICINA DE COOPERACIÓN TÉCNICA

| | |
|-------------------------|----|
| Acuerdos de cooperación | 73 |
|-------------------------|----|

I. INVESTIGACIONES EN GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR EN EL PERÚ



Balance de masa del glaciar Huillca

Desde el 2016, el INAI GEM desarrolla un monitoreo continuo del glaciar Huillca, con un área glaci ar de aproximadamente 1,25 km², ubicado en la unidad hidrográ fca (UH) del río Quitaracsa, en la cuenca del río Santa, en el á mbito del distrito de Yuracmarca, provincia de Huaylas, departamento de Áncash. En la quebrada Huillca, se encuentran los nevados Alpamayo, Pucarashta, Quitaraju, Pilanco, entre otros, que son parte del circuito de expediciones al nevado Alpamayo, por lo que, ademá s de ser una importante reserva y fuente de agua, tiene relevancia para el desarrollo de actividades turísticas.

Este monitoreo se realiza de manera anual y considera un a ño hidroló gico o una temporada estacional, que implica la é poca de precipitaciones y estiaje, o estaci3n húmeda y estaci3n seca. Para la elaboraci3n del reporte de balance de masa del glaciar Huillca (Dávila Roller & Torres Amado, 2022), los datos corresponden a la temporada estacional octubre de 2021 a setiembre

de 2022. Como parte de este estudio, se realiz3 un balance de masa con m3todo directo glaciol3gico con empleo de balizas, ubicadas en el rango altitudinal de 4690 y 5820 m s. n. m., y datos de ablaci3n; ademá s, se estim3 la l3nea de equilibrio glaci ar. En esta campaa, se desarroll3 tambi3n el trabajo fotogram3trico de la superficie glaci ar con Drone Rpas Phantom 4 RTK, con lo cual se obtuvieron doce imá genes.

El retroceso de la lengua glaci ar Huillca tiene un promedio de -18,41 metros para este periodo (Figuras 1 y 2). La zona de acumulaci3n cuenta con un á rea de 945 622,9 m² (75,51 % de la superficie total del glaciar) a setiembre de 2022, la cual es superior al á rea de la zona de ablaci3n, que mide 285 903,28 m² (22,83 % de la superficie total del glaciar), por lo que el balance neto del glaciar Huillca, para el periodo octubre de 2021 a setiembre de 2022, es de -182,02 mm, un aporte de fusi3n que se dirige a la vertiente del Pacífico.

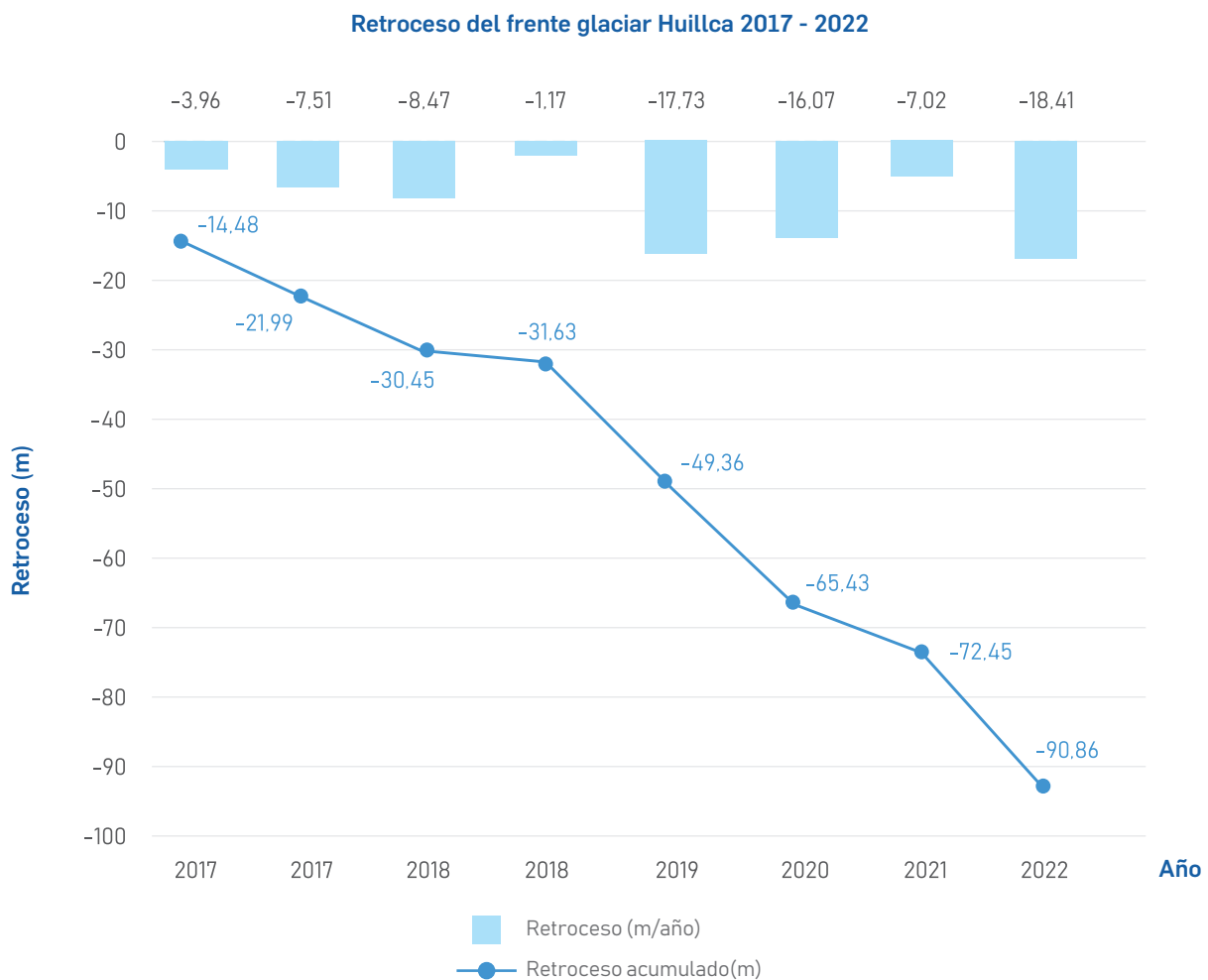


Figura 1. Retroceso del frente glaciar Huillca periodo 2016-2022.

La altura de la línea de equilibrio (ELA, por sus iniciales en inglés) es de 5290,1 m s. n. m. (Figura 3) Esta información indica que la temporada de precipitación fue mayor, lo que significó mayor acumulación de nieve que pérdida por fusión.

Una observación de los especialistas a cargo de elaborar el reporte es que la dinámica glaciar está generando cambios muy rápidos en el glaciar, entre ellos los desplomes de bloques grandes de hielo en el frente del glaciar.

Como parte de este estudio también se obtuvo un mapa topográfico de planta, perfil longitudinal y superficie de la lengua glaciar Huillca, a escala 1:2000 y sobre una superficie de 1 252 282,591 m².

Desde 2022, el INAIGEM colecta data fotogramétrica por drones para generar modelos de elevación digital y así desarrollar balances geodésicos de los glaciares en los próximos años. En el periodo que comprende este informe, el INAIGEM ha generado tres modelos digitales de elevación (DEM) de alta resolución para los glaciares Huillca, Gueshgue y Raimondi.

Avances de investigaciones en glaciares y lagunas de glaciares del Perú

En el INAIGEM, se está investigando la contribución del carbono negro en la fusión de los glaciares, específicamente en los casos de los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca. Los resultados de las mediciones de concentración de carbono negro total desde 2016 a 2019 en estos glaciares indican que los glaciares cercanos a las ciudades presentan mayor concentración de carbono negro, el cual a su vez contribuye a su derretimiento con mayor intensidad. Como parte de esta investigación, el INAIGEM ha desarrollado una metodología para el muestreo de carbono negro, en la que establece criterios fundamentales con pautas para identificar los parámetros; las estaciones de muestreo; el procedimiento de toma de muestras; la preservación, conservación y traslado de muestras; y la documentación necesaria para asegurar y controlar la calidad del monitoreo.

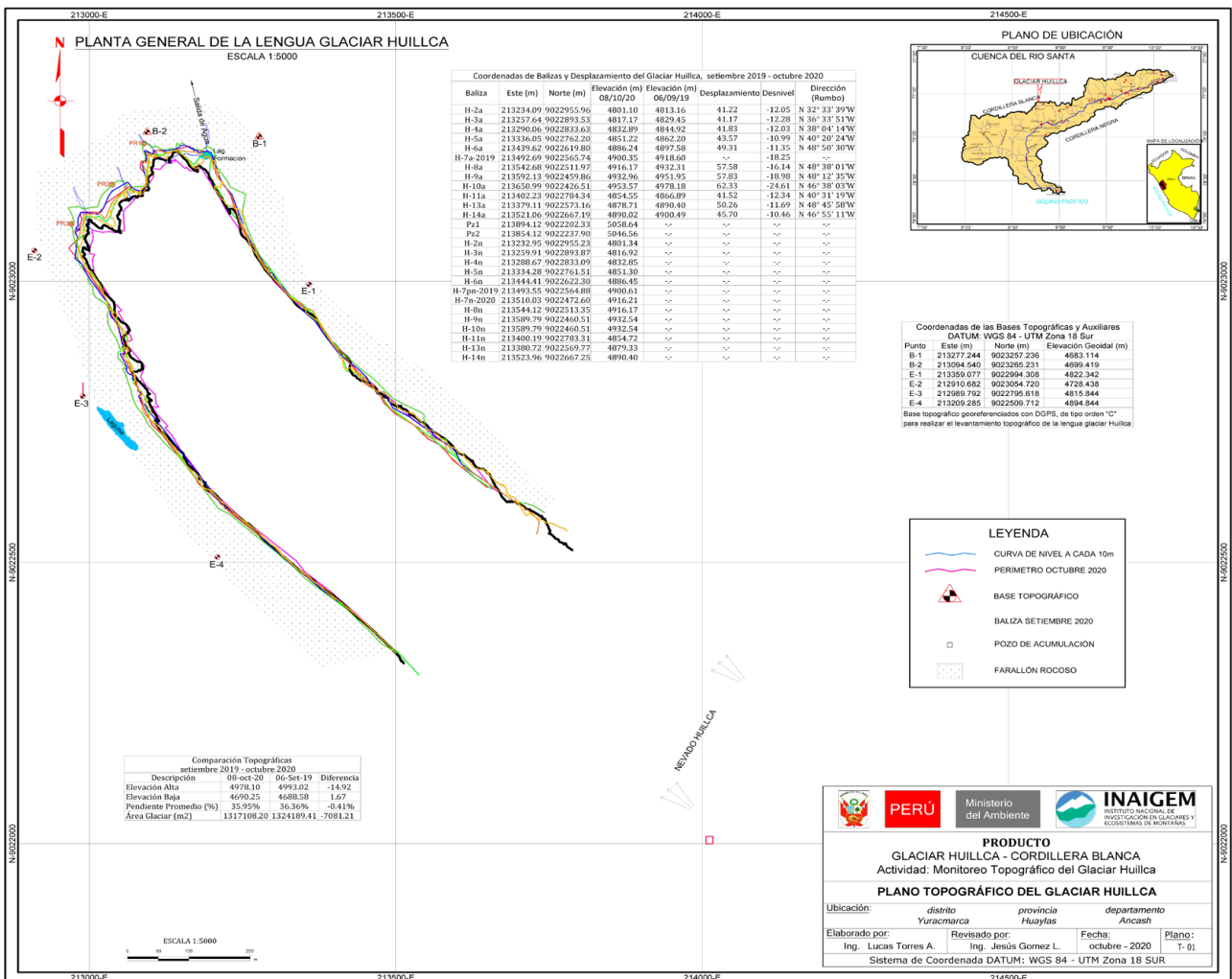


Figura 2. Hitos de control del retroceso del frente glaciar.

También, en el marco de una colaboración con la Universidad McMaster (Canadá), está en desarrollo un estudio sobre el drenaje ácido de roca y su evolución en la Cordillera Blanca, específicamente en la laguna Shallap, donde se emplean testigos de sedimentos del lecho y el análisis de imágenes de satélite. Los testigos de sedimento demuestran un incremento constante en el flujo de sedimentos terrígenos entre la década de 1920 y la presente, con una marcada disminución en el tamaño del grano a principios de este siglo y una excursión significativa de hierro y azufre de fuentes terrígenas originadas por la exposición de roca reactiva por acción de la pérdida glacial. Estos resultados indican que los sedimentos de la formación Chicama pirítica son transportados por el agua de deshielo glacial. El análisis de las imágenes de satélite del glaciar Shallap

señalan que el enriquecimiento de hierro se produce sobre una base estacional y anual en el terminal glacial y en afloramientos expuestos por el deshielo; este enriquecimiento de hierro probablemente también esté asociado con la periodicidad del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Estas evidencias implican una relación entre la ablación glacial en cabeceras, los contaminantes de la cuenca del río Santa y la disminución de la calidad del agua.

En línea con los estudios sobre la calidad del agua con otras metodologías, como las imágenes de satélite, también está en desarrollo una ficha técnica para la estimación de concentración de sólidos suspendidos totales (SST) y clorofila, así como un *script* o guion para automatizar tareas repetitivas.

Balance en función de la altitud del glaciar Huillca 2021 - 2022

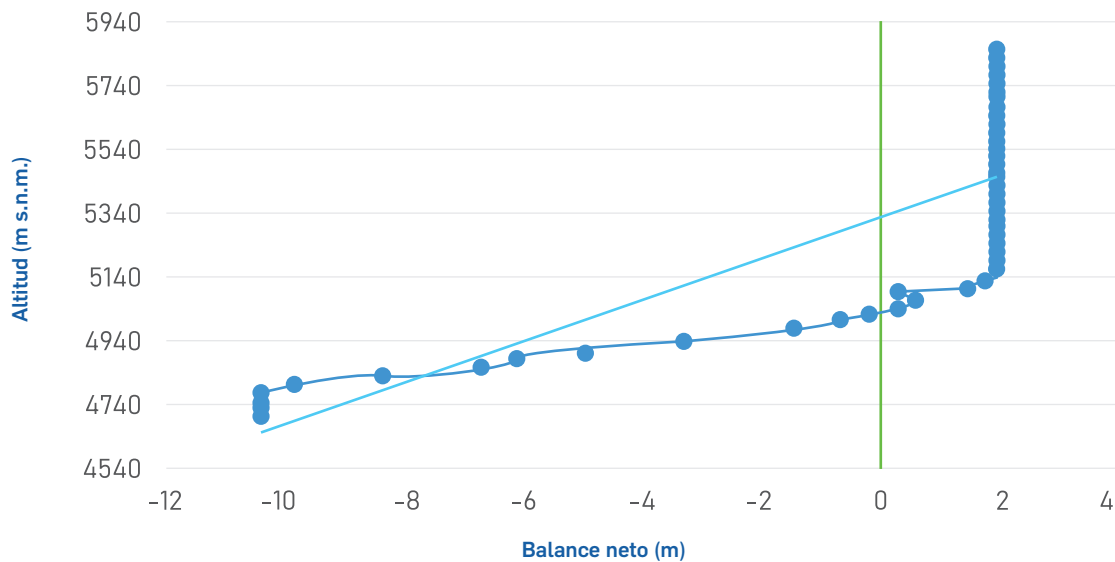


Figura 3. Altura de la línea de equilibrio del glaciar Huillca.



II. ESTUDIOS DE RIESGOS DE ORIGEN GLACIAR



Evaluación de peligros y riesgos asociados a glaciares y lagunas de origen glaciar

Para desarrollar evaluaciones de peligros y riesgos asociados a glaciares, el INAI GEM emplea el *Manual para la evaluación del riesgo originado por fenómenos naturales*, del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (en adelante CENEPRED). Este manual es un instrumento técnico orientador en la aplicación de procedimientos metodológicos de evaluación de riesgos originados por fenómenos de origen natural en un ámbito geográfico determinado. Al abordar peligros de origen glaciar, el manual es adaptado a condiciones específicas propias de amenazas o peligros de origen glaciar y enmarcado dentro de la gestión prospectiva y correctiva.

Evaluación del peligro por aluvión en los centros poblados de Sina, Potoni y Koriwara, distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno

En la parte alta de la UH Huari Huari, se ubican las lagunas Sorapata, Vizcachani y Japuccocha, formadas por el deshielo de masas glaciares. Esta zona está ubicada en la cordillera Apolobamba y se caracteriza por la presencia de nevados como Vizcachani (6074 m s. n. m.) y Sorapata (6015 m s. n. m.), que alimentan lagunas de origen glaciar.

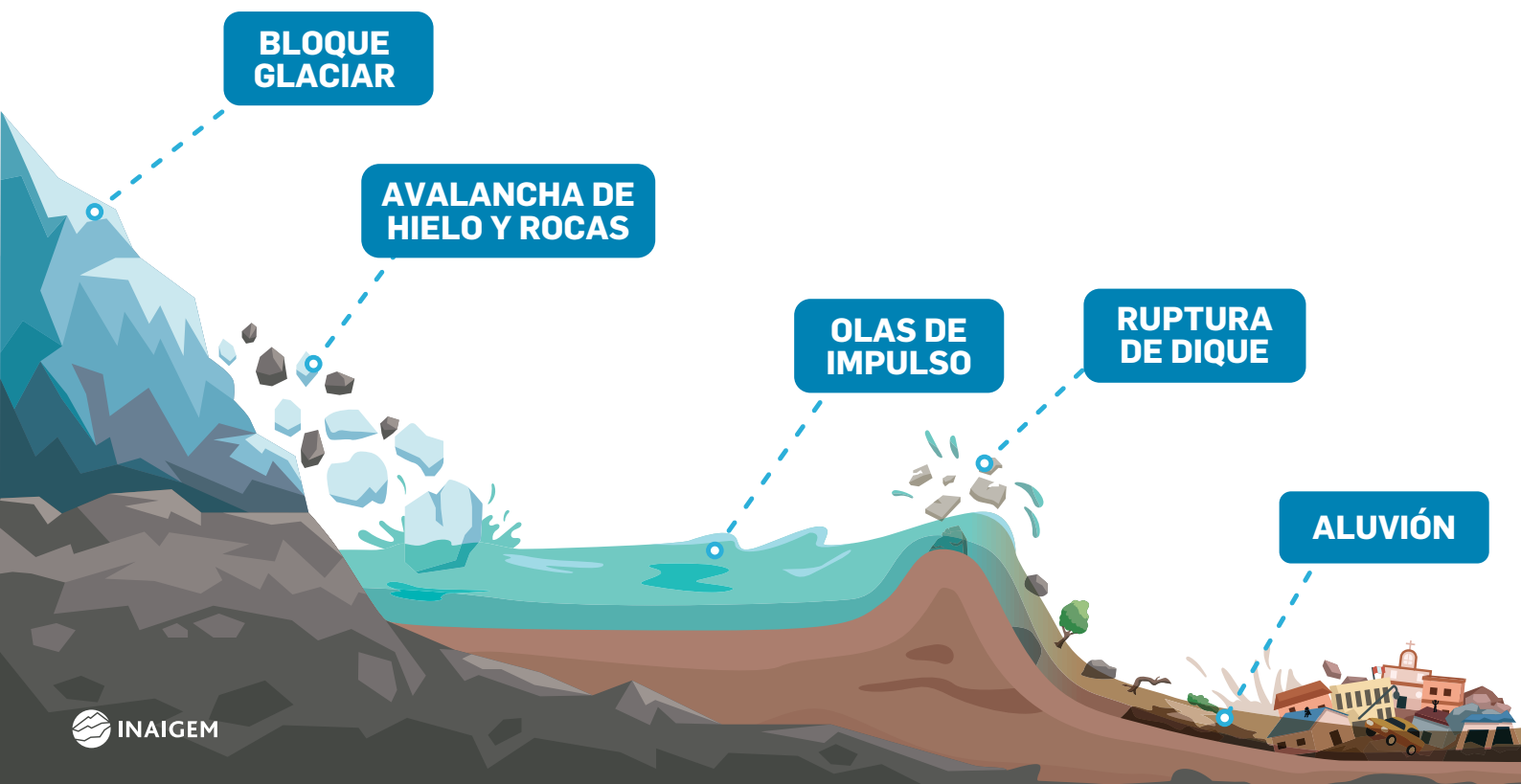
La laguna Sorapata se ubica a 4919 m s. n. m. con un volumen de 1 217 580,68 m³ y profundidad máxima de 25,07 metros; y la laguna Vizcachani presenta una altitud de 4950 m s. n. m., con un volumen de 1 149 165,51 m³ y una profundidad máxima de 27,18 metros.

De estas tres lagunas, Sorapata y Vizcachani son las principales fuentes de peligro debido a su ubicación cercana a depósitos glaciares inestables, lo que aumenta el riesgo de un desembalse violento que podría generar un aluvión o flujo de detritos que se desplazan a gran velocidad, y que afectarían a centros poblados ubicados aguas abajo.

Este informe técnico de evaluación de peligro por aluvión (Torres Lázaro, Caballero Brediñana, Jara Infantes, Melgarejo Romero et al., 2022) comprende tres centros poblados: Sina, Potoni y Koriwara, ubicados en el distrito de Sina. Estas comunidades rurales viven expuestas a los peligros geológicos y climáticos de la región; la mayoría de las viviendas en el área de estudio son construcciones rurales que presentan una alta vulnerabilidad a los eventos de desastres naturales.

Los factores desencadenantes del peligro son el volumen de agua almacenada en la laguna Vizcachani y la posibilidad de un desembalse violento debido al colapso del dique natural de la laguna. Además, se consideraron factores condicionantes la geología, la geomorfología, la geotecnia, la pendiente del terreno y la cobertura vegetal, que influyen en la magnitud y extensión de los efectos del aluvión.

El estudio empleó el modelo bidimensional FLO-2D para simular el flujo de detritos resultante del colapso del dique de la laguna Vizcachani. En el escenario crítico para el modelo del aluvión por desembalse violento, la laguna Vizcachani liberaría un volumen estimado en $1,0 \times 10^6$ m³. La simulación mostró que el flujo de detritos podría alcanzar una altura de hasta 25 metros y una velocidad de hasta 28 metros por segundo, que



afectaría principalmente las áreas bajas donde se ubican los centros poblados de Sina, Potoni y Koriwara. La modelización se basó en datos topográficos y batimétricos, donde se utilizó un modelo digital de elevación (DEM) con una resolución de 12,5 metros. El área que abarca el modelo de aluvión es de valle glaciar constituido por depósitos cuaternarios inconsolidados y afloramientos rocosos en los márgenes del valle glaciar; además, presenta depósitos de materiales sueltos poco a medianamente consolidados que serían arrastrados como parte del flujo de detritos del aluvión.

Los elementos expuestos en el área de estudio incluyen tanto población como infraestructuras críticas. Se identificaron 434 personas (de 1649 personas en total) y 146 viviendas situadas en zonas de alto riesgo (de 1072 viviendas en el distrito). También se registraron nueve infraestructuras esenciales, incluidas escuelas, puentes y centros comunitarios. El estudio clasifica el peligro en diferentes niveles, por lo que se concluyó que el 64,62 % del área de estudio está en un nivel de peligro muy alto; 12,61 %, en un peligro alto; 10,93 %, en un peligro medio; y 11,84 %, en un nivel de peligro bajo (Figura 4). Con estos resultados, se recomienda realizar la evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, la evaluación del riesgo por aluvión, que considere el desborde violento de las lagunas Sorapata y Vizcachani

(como escenario más crítico), la actualización de las batimetrías de las lagunas y la actualización de la información cartográfica con un modelo de elevación digital de mayor resolución.

Evaluación del peligro por aluvión en la ciudad de Huancayo, distritos de Huancayo y el Tambo, provincia de Huancayo, departamento de Junín

Este informe técnico (Torres Lázaro, Vargas Huamán, et al., 2022) tiene el objetivo de determinar los niveles de peligro en la ciudad de Huancayo, en los distritos de Huancayo y El Tambo, Junín, Perú. El área de estudio presenta exposición a peligros como los aluviones producto de avalanchas, lo que motiva la necesidad de un análisis riguroso de los riesgos potenciales para proponer medidas de mitigación.

Los glaciares evaluados incluyen el glaciar Jallacata (Figura 5), con un área de 1,66 km², y el glaciar Talvez (Figura 6), con un área de 1,92 km², ambos con una altitud máxima de 5555 m s. n. m. Debido a la morfología del terreno y las condiciones climáticas, estos glaciares presentan riesgo de desprendimiento. La población de ambos distritos suma 286 352 habitantes, con una importante fracción de personas en situación de vulnerabilidad. La infraestructura básica, como



Figura 5. El frente glaciar evidencia desprendimiento de bloques de hielo como avalanchas.



Figura 6. Bloque Potencialmente Inestable (BPI) en el ámbito de la laguna Chuspicocha; el frente glaciar presenta pendientes pronunciadas a consecuencia de desprendimientos constantes por acción del desplazamiento a la zona de cambio de pendiente.

viviendas, instituciones educativas y centros de salud, se encuentra expuesta a estos peligros, por lo que será necesario realizar evaluaciones exhaustivas.

La susceptibilidad de la región es elevada, especialmente en áreas con suelos de baja resistencia y pendientes pronunciadas. Los factores desencadenantes incluyen avalanchas glaciales y desbordes violentos de las lagunas, mientras que los factores condicionantes están relacionados con la geotecnia, geología y geomorfología del área.

Para el diseño de los escenarios de avalanchas de hielo hacia las lagunas Chauspicocha y Lazohuntay, se consideró la información de campo que implicó el análisis de susceptibilidad del glaciar, el nivel de agrietamiento, la frecuencia de desprendimientos de las zonas críticas y la dirección de impacto más desfavorable para generar el desembalse de agua. En este caso, el factor desencadenante es considerado como la avalancha de hielo. El volumen de las avalanchas en distintos escenarios varía, con valores máximos estimados entre 1 620 472,45 m³ (grande) y 199 134,49 m³ (pequeño) para

el caso de Lazohuntay. El peligro ha sido estratificado en cuatro niveles: muy alto, alto, medio y bajo, según el rango de valores del flujo aluvional y la susceptibilidad del terreno (Figura 7). Las áreas cercanas a los márgenes del río Shullcas presentan niveles de peligro muy alto, lo que representaría un riesgo significativo para la población y su infraestructura. El resultado del análisis de peligrosidad indica que 1778 viviendas y 43 estructuras están expuestas a posibles aluviones en la ciudad de Huancayo y sus alrededores (Figura 8).

En conclusión, el área de estudio presenta condiciones geológicas y geomorfológicas que favorecen la ocurrencia de aluviones con niveles de peligro altos en zonas adyacentes al río Shullcas y con la posibilidad significativa de la pérdida de vidas humanas y materiales. Un aluvión en esta zona podría afectar directamente a 7000 personas. Para tomar medidas más precisas, es necesario realizar la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas e infraestructuras, así como la evaluación de riesgo para cuantificar las pérdidas potenciales en caso ocurra un aluvión en la UH Shullcas.

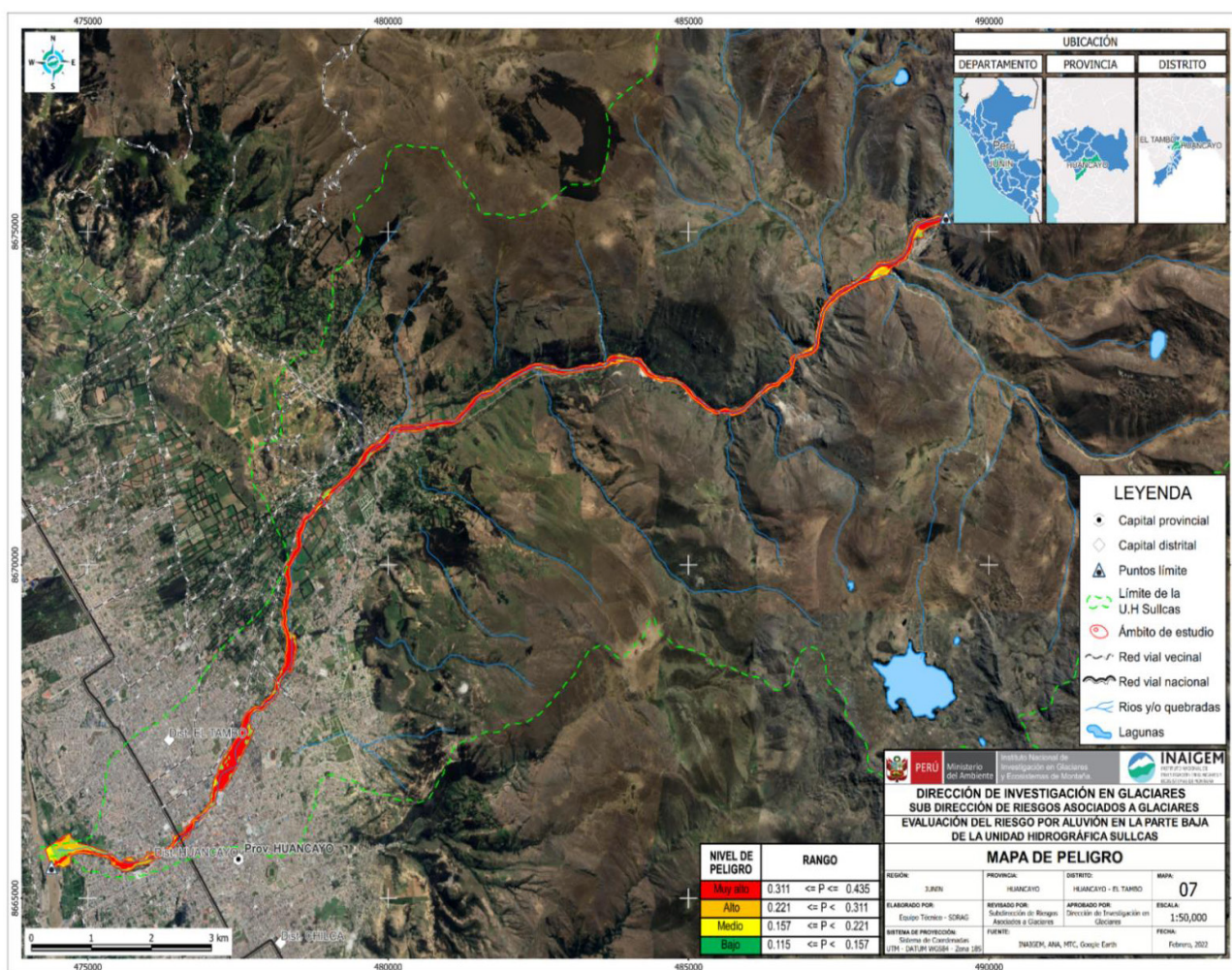


Figura 7. Mapa de niveles de peligros por aluvión en la Unidad Hidrográfica Shullcas.

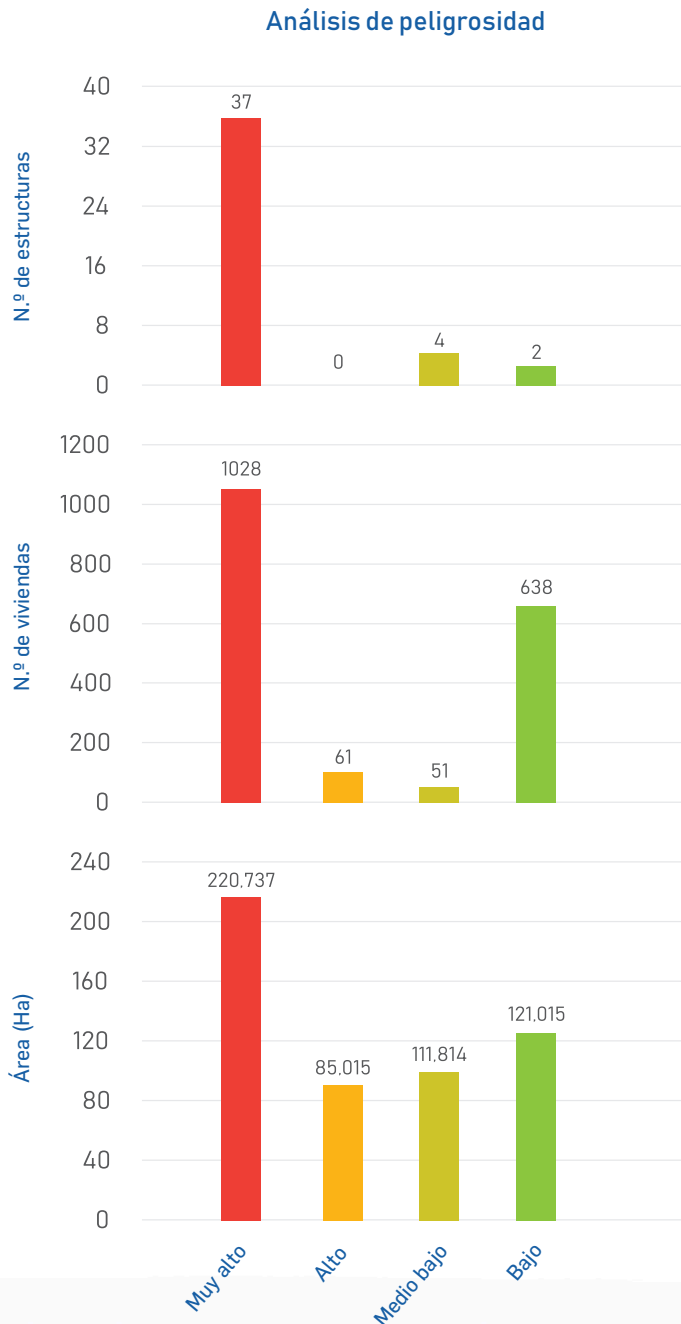


Figura 8. Nivel de peligro, extensión y elementos expuestos.

Evaluación del peligro por aluvión en los distritos de Abancay y Tamburco, provincia de Abancay, departamento de Apurímac

Esta evaluación (Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares, 2022b) tiene por objetivo identificar y determinar los niveles de peligro originados por un aluvión de origen glaciar, que considera el área identificada por la modelización del fenómeno natural que se genera desde la laguna Ampaycocha. Esta laguna está ubicada en la parte alta de la UH Pachachaca, al pie del nevado Ampay en la cordillera Vilcabamba y que involucra a las lagunas Uspacocha y Angascocha; las tres lagunas son formadas mediante un proceso de represamiento natural por el avance del glaciar y por el deshielo de masas glaciares circundantes. Políticamente abarca los distritos de Abancay y Tamburco, en la provincia de Abancay, Apurímac.

La laguna Ampaycocha se encuentra a una altitud de 4735,37 m s. n. m., con un volumen estimado de 47 263,41 m³ (por cálculo indirecto). La laguna Uspacocha presenta una altitud de 3855,43 m s. n. m., con un volumen de 358 276,60 m³ y profundidad máxima de 9,48 m (según los estudios de batimetría del 2022). La laguna Angascocha se halla a una altitud de 3320 m s. n. m., con un volumen estimado de 30 000,00 m³ para un área de espejo de agua máximo (calculada también con método indirecto).

La población de los distritos de Abancay y Tamburco es de 69 028 y 10 864 habitantes, respectivamente, y cuentan con 19 446 y 3080 viviendas, en el mismo orden. En la estimación de las evaluaciones para este estudio, se identificaron 8309 personas en la zona de estudio, con 2386 viviendas urbanas y rurales, y 106 infraestructuras expuestas al potencial aluvión.

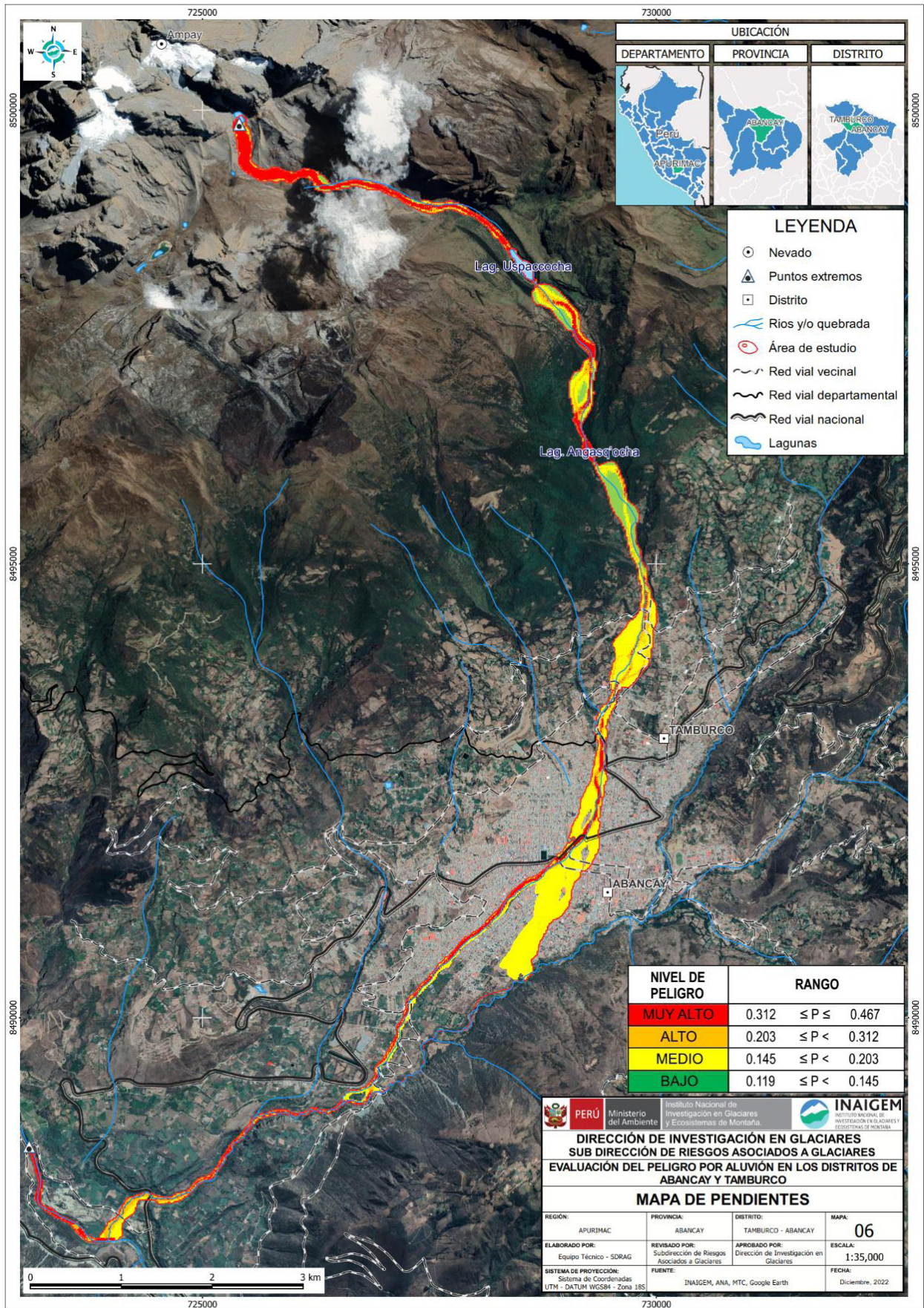


Figura 9. Mapa de niveles de peligros por aluvión en los distritos de Abancay y Tamburco.

Este estudio en la UH Pachachaca identifica al aluvión como un peligro originado por fenómenos de geodinámica externa y que afecta directamente a los elementos expuestos en el área de estudio. Una avalancha originaría un efecto en cadena hasta ocasionar el desembalse de la laguna Ampaycocha, y posteriormente de las lagunas Uspacocha y Angascocha. El modelamiento de la cadena de procesos considera un escenario crítico de las condiciones físicas, como el volumen máximo en las lagunas y ruptura del dique natural de la laguna Uspacocha.

Para la evaluación de susceptibilidad del territorio se considera que el factor desencadenante sería el volumen de desembalse desde la laguna Ampaycocha, que afectaría posteriormente a las lagunas Uspacocha y Angascocha; y los factores condicionantes serían la geotécnica, la geología, la geomorfología y las pendientes. En un escenario crítico, el desprendimiento de masa (de roca, detritos y glaciar) del entorno de la laguna Ampaycocha tendría un volumen de impacto de $5 \times 10^5 \text{ m}^3$, lo cual generaría oleajes que rebasarían el dique y liberarían un volumen de desembalse mayor, ya que impactaría posteriormente en las lagunas Uspacocha y Angascocha. El valle glaciar que corresponde al área del modelo del aluvión presenta materiales sueltos poco a medianamente consolidados, los que serían arrastrados en el flujo de detritos y que incrementarían progresivamente el volumen de desembalse.

En el área de estudio, el nivel de peligro muy alto abarca el 24,49 %; el nivel de peligro alto, el 16,06 %; el nivel medio, el 47,61 %; y el nivel bajo, el 11,84 % (Figura 9). Entre las recomendaciones, este estudio sugiere hacer análisis de estabilidad de taludes del entorno de las lagunas Ampaycocha, Uspacocha y Angascocha, y estudios de batimetría.

Evaluación del riesgo por aluvión en la U. H. Yavero, distrito de Ocongate, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco

Al igual que la evaluación de riesgo en Huari Huari, este informe técnico (Torres Lázaro, Caballero Brediñana, Jara Infantes, Villafane Gómez, Melgarejo Romero et al., 2022) fue realizado en el marco del proyecto Lagunas de Origen Glaciar en el Perú: Evolución, Peligros e Impactos del Cambio Climático (GLOP) (contrato n.º 007-2019-FONDECYT). El área de estudio involucra los centros poblados de Yanama, Ocongate y Ccarhuayo, en el distrito de Ocongate, provincia de Quispicanchi, Cusco. Hidrográficamente, se localiza en la subcuenca Yavero.

El ámbito glaciar de esta área, en la cordillera Vilcanota, está comprendido por los nevados Ausangate (a 6359 m s. n. m.) y Alcatarhue (también a 6359 m s. n. m.) (Figura 10). Este ámbito está asociado a avalanchas, derrumbes, caída de rocas y detritos, entre otros procesos que afectan a la población de Ocongate.



Figura 10. Nevado Ausangate sobre la parte posterior de la laguna Upiscocha.

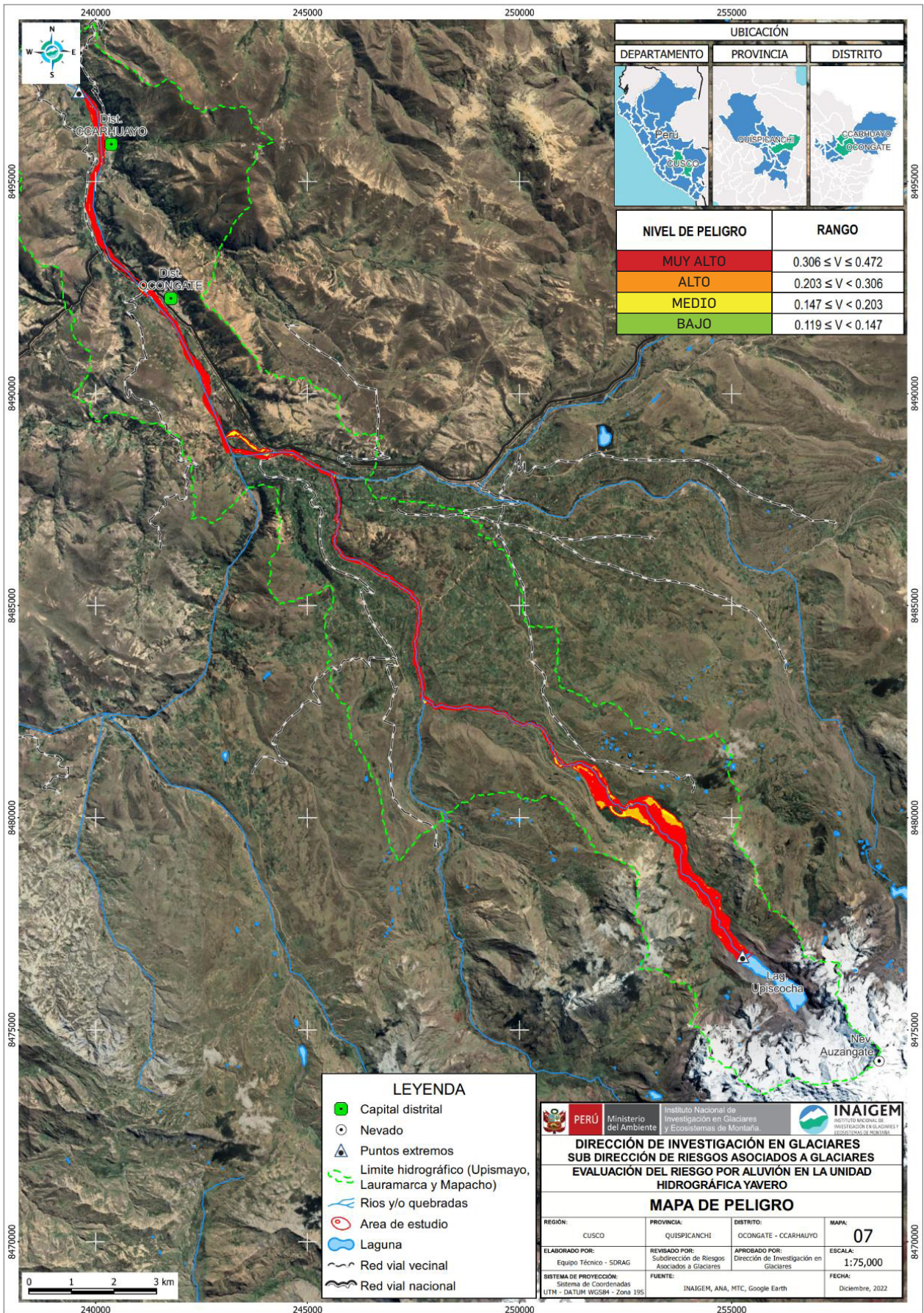


Figura 11. Mapa de niveles de peligros por aluvión en la ciudad de Ocongate.

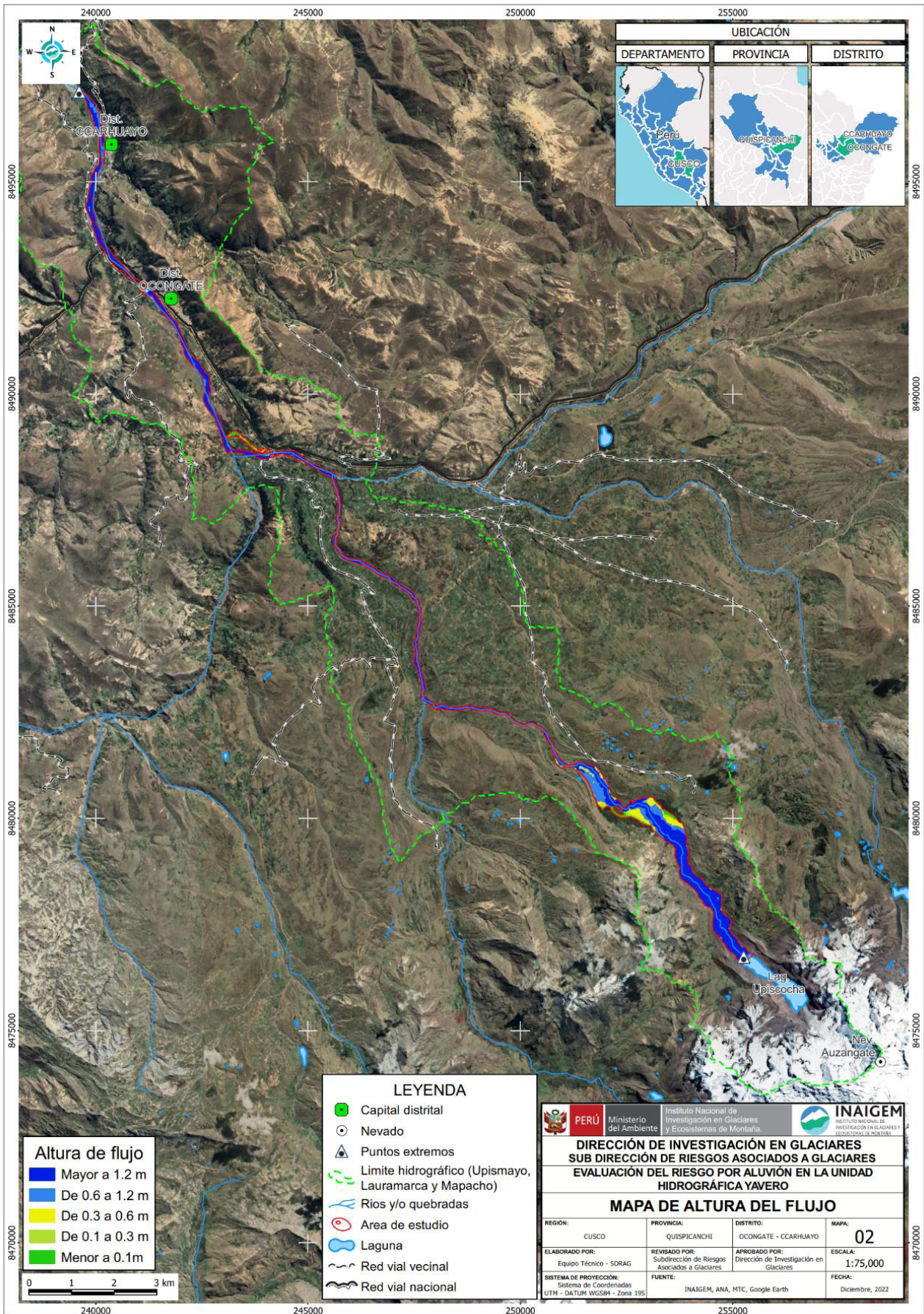


Figura 12. Mapa de altura de flujo en el área de estudio.

La laguna Upiscocha se encuentra a 4609 m s. n. m.; la desembocadura de la laguna ingresa a la quebrada Upismayo y luego a la quebrada Lauramarca, y esta al río Mapocho. Upiscocha, laguna represada de forma natural, tiene un volumen de 10 147 320,94 m³ y 507 183,00 m² de área, con una profundidad máxima de veinte metros.

La población del distrito de Ocongate es de aproximadamente 15 223 personas (4159 en el área urbana y 11 064 en el área rural) y cuenta con 5478 viviendas. En la zona de estudio de esta evaluación, se identificaron 362 personas, 211 viviendas y 21 infraestructuras expuestas al potencial aluvión (Figura 11).

Mediante modelamiento numérico bidimensional FLO-2D, se determinó la altura del aluvión, que llegaría a los 14,73 metros dentro de la llanura de inundación y que originaría un GLOF (inundación por desborde violento de lago glaciar) desde la laguna Upiscocha, y que llegaría hasta la parte baja de la UH Yavero. En un escenario extremo, el volumen total de masa de roca y agua sería de 2,6 × 10⁶ m³ y generaría un oleaje que liberaría un volumen de desembalse de 10 millones de m³ de la laguna (Figura 12).

Para el análisis de vulnerabilidad se diferencian las viviendas de las estructuras. En el caso de las viviendas, se utilizan dimensiones de tipo social, física, económica y ambiental, mientras que en las estructuras solo se considera la dimensión física. De acuerdo con la categorización de niveles de vulnerabilidad, el estudio encuentra que el 0,47 % de las viviendas posee vulnerabilidad muy alta; 37,44 %, vulnerabilidad alta; 58,77 %, vulnerabilidad media; y 3,32 %, vulnerabilidad baja. Por otro lado, el 33,33 % de las estructuras posee vulnerabilidad muy alta; 29,63 %, vulnerabilidad alta; 25,93 %, vulnerabilidad media; y 11,11 % vulnerabilidad baja.

El cálculo del riesgo, como resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, indica que el 7,11 % de viviendas presenta nivel de riesgo muy alto; el 56,40 %, riesgo alto; 34,12 %, riesgo medio; y 2,37 %, riesgo bajo; en estructuras, el 71,43 % muestra un nivel de riesgo muy alto; 9,52 %, riesgo alto; y 19,05 %, riesgo medio (Figura 13).

La estimación de daños probables, que tiene como referencia los valores unitarios oficiales de edificaciones (R. M. n.º 350-2021-VIVIENDA), permite indicar que los daños probables en viviendas ascienden a S/ 8 141 956,85 y en las estructuras es de S/ 8 992 672,60 soles, lo que hace un total de S/ 17 134 629,45. Siguiendo la metodología del CENEPRED, la valoración de consecuencias es de valor 3 nivel alto, lo que significa que las consecuencias del impacto pueden ser gestionadas con apoyo externo. La valoración de frecuencia es también valor 3 nivel alto, pues puede ocurrir en periodos de tiempo medianamente largos según las circunstancias. Por ende, el nivel de consecuencia y daños sería alto. El análisis de las condiciones en la parte baja de la UH Yavero indica que el nivel de aceptabilidad o

tolerancia es inaceptable, por lo que se deben desarrollar actividades inmediatas y prioritarias para el manejo de riesgos, con un nivel de priorización II y la toma de medidas estructurales y no estructurales.

Las medidas estructurales sugeridas son la implementación de un sistema de alerta temprana (SAT), sistema de estructuras de encauzamiento y protección en ambos márgenes del río Upismayo; además, se debe considerar la limpieza periódica de dicho río, elaborar y ejecutar proyectos de inversión de infraestructura natural para controlar los movimientos de masa en esta UH y reubicar viviendas en zonas de muy alto riesgo. Entre las medidas no estructurales, se sugiere gestionar la emisión de una ordenanza que prohíba la construcción de viviendas en la franja marginal del río Upismayo, elaborar un plan de prevención y reducción de riesgos para esta UH, fortalecer las capacidades en gestión de riesgos a las autoridades municipales y comunales, mejorar la articulación para la gestión del riesgo (en especial de los Centro de Operaciones de Emergencia o COE involucrados) e implementar programas de asistencia técnica para el mejoramiento de las viviendas, así como medidas de control en la emisión de licencias de construcción.

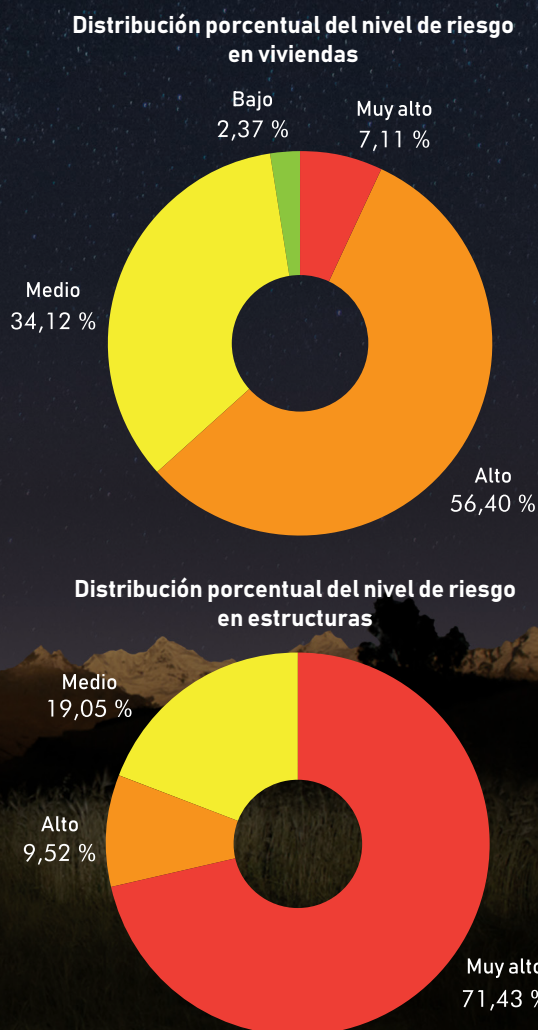


Figura 13. Niveles de riesgo por aluvión en la UH Yavero.

Reportes sobre glaciares y lagunas de origen glaciar potencialmente peligrosas

Zonas críticas del glaciar Peck II y Vallunaraju, departamento de Áncash

Este informe (Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares, 2022e) identifica los posibles riesgos relacionados con la dinámica glaciar y los eventos de flujo de detritos en los glaciares Peck II y Vallunaraju. Para ello, se identifican desplazamientos anómalos en los glaciares y se realizan estudios fotogramétricos para evaluar la evolución de las lagunas glaciales.

El glaciar Peck II está ubicado en la provincia de Yungay y el glaciar Vallunaraju se encuentra en la provincia de Huaraz (Figura 14). El acceso a estas áreas es complicado, lo que dificulta las actividades de monitoreo, pues requiere largos trayectos por carreteras afirmadas y caminos de herradura.

Los resultados del monitoreo en el glaciar Peck II indican un desplazamiento promedio de 0,83 metros entre diciembre de 2021 y julio de 2022, y un desnivel de 0,036 metros en la masa glaciar. Los depósitos glaciares están compuestos por suelos granulares de baja consistencia y alta porosidad, lo que aumenta el riesgo de flujos de detritos.

En el glaciar Vallunaraju, se observó un aumento en el espejo de agua de las lagunas formadas, lo que representa un riesgo de desbordamiento en caso de desprendimientos glaciales. En la quebrada Llanganuco, se identificó una zona crítica con alta susceptibilidad a eventos de flujo de detritos, exacerbados por el deshielo acelerado del glaciar Huandoy Sur (Figura 15).

El retroceso glaciar y la formación de lagunas aumentan los riesgos de desbordamientos y

aluviones, lo que requiere un monitoreo continuo y detallado. En el glaciar Peck II, el desplazamiento observado y las características del suelo glaciar refuerzan la necesidad de vigilancia constante. Por otro lado, el glaciar Vallunaraju presenta condiciones peligrosas debido a la rápida formación de lagunas que podrían causar eventos catastróficos.

Con base en esta información, se recomienda continuar con el monitoreo periódico de los glaciares y los hitos instalados, realizar análisis estructurales en las rocas cercanas al glaciar Peck II para detectar posibles caídas de rocas y realizar un modelo conceptual de flujo de detritos para evaluar los riesgos asociados a la quebrada Llanganuco y el glaciar Huandoy Sur.

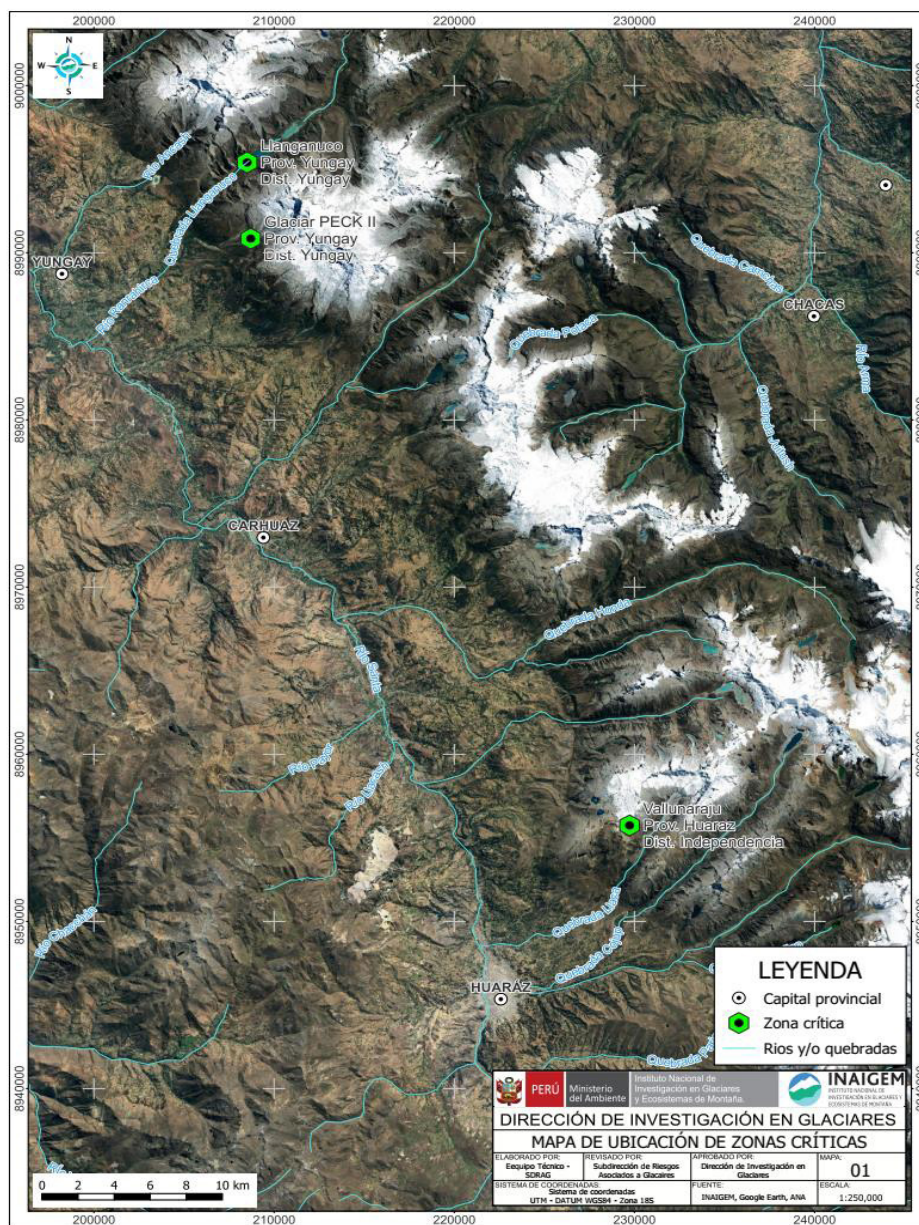


Figura 14. Mapa de ubicación del glaciar Peck II y Vallunaraju.

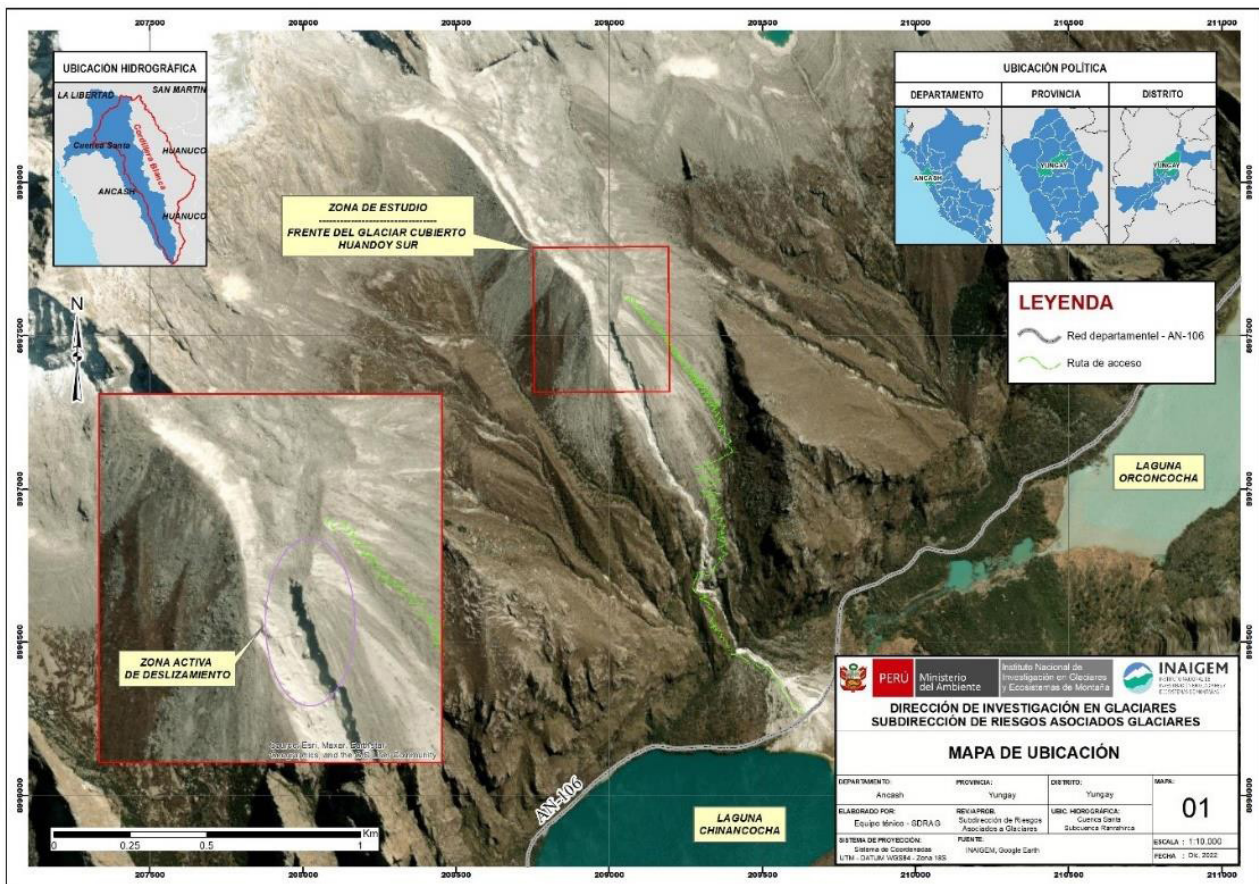


Figura 15. Ubicación de la zona frontal del glaciar cubierto Huandoy Sur, Cordillera Blanca.

Zonas críticas en las lagunas potencialmente peligrosas Arhuaycocha, Artizon Bajo, Artizon Alto y Palcacocha, departamento de Áncash

Con el propósito de identificar zonas críticas en el entorno de lagunas potencialmente peligrosas en la UH río Blanco-Santa Cruz y UH Quilcay, ubicadas en los distritos de Santa Cruz e Independencia, provincias de Huaylas y Huaraz, respectivamente, el INAIGEM (Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares, 2022c) desarrolló caracterizaciones de los depósitos glaciares en el entorno de las lagunas Arhuaycocha, Artizon Bajo, Artizon Alto y Palcacocha, donde empleó el método de inspección directa *in situ* para la identificación de zonas críticas y evaluación de obras de seguridad.

Como antecedentes de eventos peligrosos en la UH río Blanco-Santa Cruz se tienen dos aluviones: uno en 1997 y otro en 2012; mientras que en la UH Quilcay también se registran dos aluviones: el primero en 1941 y el segundo en 2003.

El informe indica que en Arhuaycocha, Artizon Bajo y Artizon Alto hay desprendimientos en la morrena a causa de caídas de detritos, los cuales se acumulan a pie de las morrenas y están en contacto directo con las

lagunas. En Arhuaycocha, el margen izquierdo presenta inestabilidad y desprendimiento, así como pequeños fracturamientos en las obras de seguridad (canal de salida), deterioros progresivos fuertes en la zona de aletas de ingreso y material caído a lo largo del canal que contribuye al deterioro de las obras. Asimismo, la laguna Artizon Alto tiene bloques aislados en la parte media de la ladera. El dique natural de la laguna Artizon Bajo se encuentra inestable por su fuerte pendiente y procesos geodinámicos, y presenta erosión de las zonas laterales de su cauce.

Como parte de este estudio se cuenta con un modelo de elevación digital de terreno con resolución espacial de 21,5 cm/píxel y con variaciones de altura desde 4294 metros hasta 4814 metros, un ortomosaico preliminar de 5,4 cm/píxel del borde del espejo de la laguna, y entorno y curvas de nivel de uno a dos metros para la laguna Arhuaycocha. Para las lagunas Artizon Alto y Artizon Bajo, se tiene un modelo de elevación generado con fotogrametría y un ortomosaico. También se posee un modelo de elevación digital fotogramétrico de la laguna Palcacocha y un ortomosaico del frente glaciar Palcaraju.

Estado de las lagunas Quesillococha, Siula, Gangrajanca y Carhuacocha frente a peligros, departamento de Huánuco

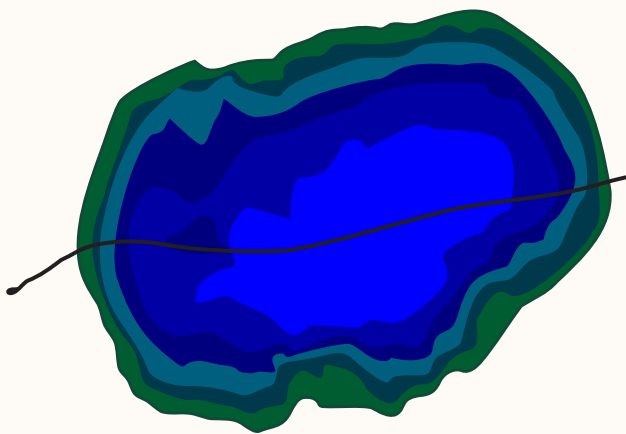
Este informe (Torres Lázaro, Caballero Brediñana, Jara Infantes, Villafane Gómez, Torres Amado, et al., 2022) aborda la situación actual de las lagunas de origen glaciar como Quesillococha, Siula, Gangrajanca y Carhuacocha, rodeadas por picos nevados como Yerupajá, Siula y Sarapo. Estas lagunas se ubican en la UH Nupe, ubicada en la cordillera Huayhuash, entre los distritos de Queropalca y Jesús, en la provincia de Lauricocha, departamento de Huánuco.

La investigación se llevó a cabo del 16 al 20 de agosto de 2021 e incluyó una inspección *in situ* para evaluar la estabilidad de las morrenas, medir parámetros

fisicoquímicos del agua y realizar levantamientos fotogramétricos con drones para crear modelos digitales de elevación (DEM). También se realizaron estudios batimétricos en las lagunas Gangrajanca y Carhuacocha para determinar su profundidad y volumen.

La UH Nupe presenta una geología compuesta por roca sedimentaria y, en zonas puntuales, metasedimentarias, depósitos cuaternarios de origen glaciar, aluvial y fluvial. Geomorfológicamente, esta UH se ubica en un relieve montañoso, con zonas de colinas y ambientes glaciares, periglaciares y gravitacionales. Geodinámicamente, Nupe es una zona muy activa por la presencia de avalanchas frecuentes de hielo y roca, provenientes del deshielo del nevado Yerupajá que, ante un factor detonante, podrían desencadenar un desborde violento de laguna (GLOF) en cadena y de magnitud considerable.

Batimetría de la laguna Gangrajanca

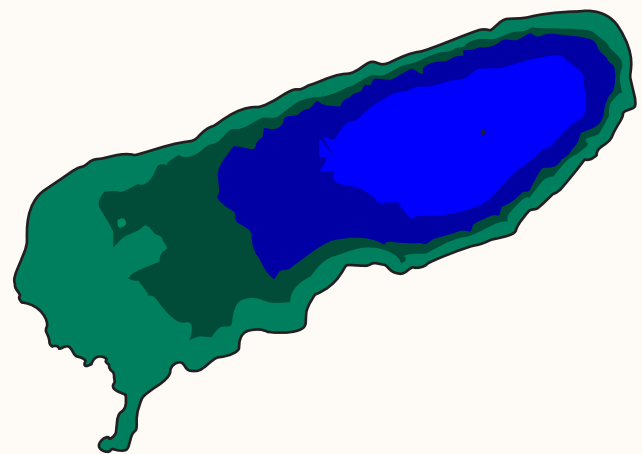


Elevations table

| Number | Minimum Elevation | Maximum Elevation | Area | Color |
|--------|-------------------|-------------------|-----------|-------|
| 1 | 3785.36 | 3803.40 | 90137.04 | |
| 2 | 3803.40 | 3819.90 | 75044.26 | |
| 3 | 3819.90 | 3843.40 | 99957.63 | |
| 4 | 3843.40 | 3858.00 | 86109.20 | |
| 5 | 3858.00 | 3878.40 | 112337.61 | |
| 6 | 3878.40 | 3895.40 | 82310.30 | |
| 7 | 3895.40 | 3909.50 | 86069.15 | |
| 8 | 3909.50 | 3912.18 | 26103.22 | |
| 9 | 3912.18 | 3914.00 | 26857.14 | |

Figura 16. Batimetría zonal de la laguna Gangrajanca donde se muestra la profundidad según el rango de colores.

Batimetría de la laguna Carhuacocha



Elevations table

| Number | Minimum Elevation | Maximum Elevation | Area | Color |
|--------|-------------------|-------------------|-----------|-------|
| 1 | 3850.30 | 3852.76 | 138582.66 | |
| 2 | 3852.76 | 3857.38 | 147459.46 | |
| 3 | 3857.38 | 3861.66 | 137158.29 | |
| 4 | 3861.66 | 3868.00 | 194756.85 | |

Figura 17. Batimetría zonal de la laguna Carhuacocha donde se muestra la profundidad según el rango de colores.

De los aforos por vadeo con uso de correntómetro, se obtuvieron los valores de los caudales (m^3/s) para las salidas y entradas de las lagunas. El caudal de las salidas son las siguientes: de la laguna Quesillococha es de $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ (350 L/s); de la laguna Siula, de $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$ (620 L/s); de la laguna Gangrajanca, de $1,26 \text{ m}^3/\text{s}$ (1260 L/s); y de la laguna Carhuacocha, de $8,55 \text{ m}^3/\text{s}$ (8550 L/s).

El análisis de los parámetros fisicoquímicos indica que las aguas de esta UH son ligera y moderadamente alcalinas, con puntos de muestreo que presentan una calidad óptima para el consumo humano. Los valores de conductividad eléctrica revelan que estas aguas tienen un nivel bajo de salinidad ($<750 \mu\text{S}/\text{cm}$) y baja capacidad de transmitir corriente eléctrica. Así también, los valores de oxígeno disuelto cumplen con el estándar de calidad ambiental de agua.

La laguna Gangrajanca fue identificada como potencialmente peligrosa, con una profundidad máxima de 128,64 metros y un volumen de $39\,640\,315,06 \text{ m}^3$, y un largo y ancho máximo de 1399,23 y 624,43 metros, respectivamente (Figura 16). Se observan frecuentes avalanchas en su entorno, lo que aumenta el riesgo de desbordes violentos (GLOF). Además, se detectó un

movimiento de masas en las morrenas de esta laguna ocurrido en 2009, lo que podría generar futuros desbordes.

La batimetría de la laguna Carhuacocha reveló que tiene una profundidad máxima de 17,7 metros y un volumen de $5\,876\,877,05 \text{ m}^3$, y un largo y ancho máximo de 1595,23 metros y 490,59 metros, respectivamente (Figura 17). En las mediciones hidrológicas, se identificaron caudales significativos, donde se destacó la salida de la laguna Carhuacocha, con un valor de $8,55 \text{ m}^3/\text{s}$, el mayor registrado en el estudio.

En cuanto al levantamiento fotogramétrico, como parte del estudio se obtuvieron imágenes por vuelo con las huellas del evento aluviónico de 1999 (Figura 18) y de 2009 (Figura 19).

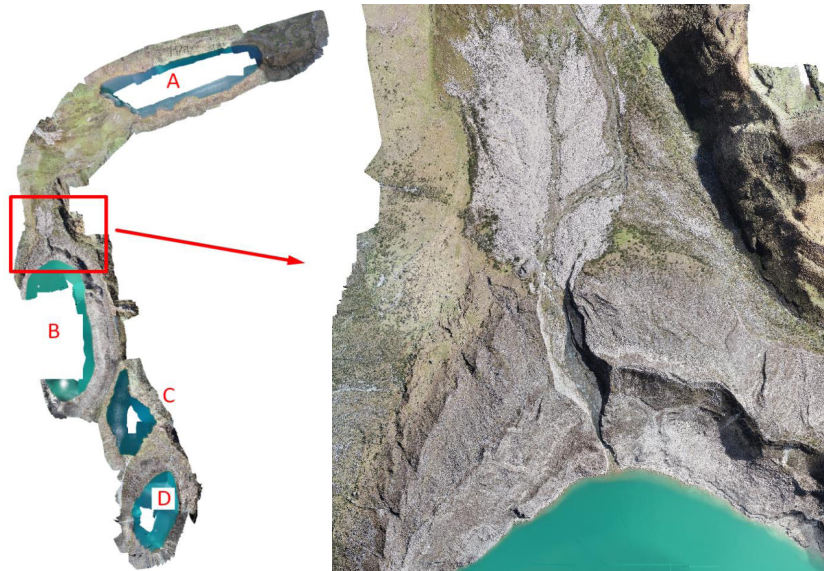


Figura 18. Producto de la imagen del vuelo fotogramétrico con las huellas del evento de 1999.

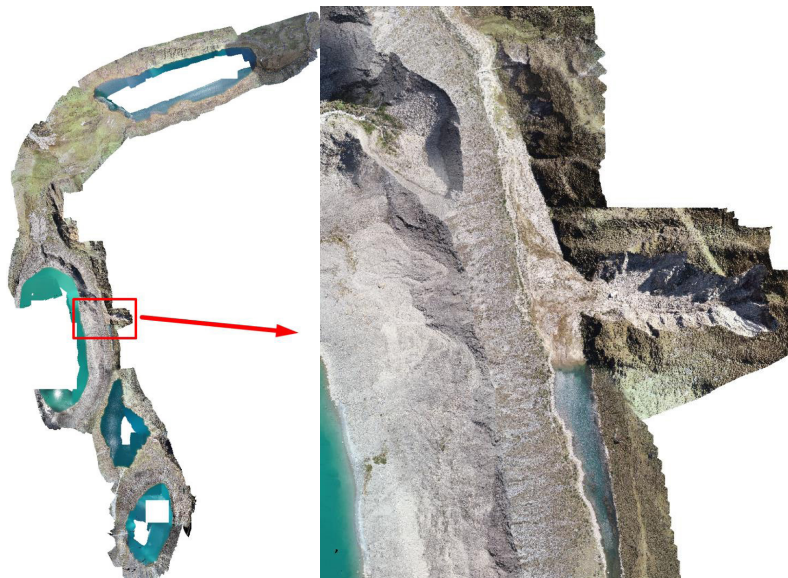


Figura 19. Vuelo fotogramétrico hacia la huella del evento del año 2009.

La situación actual de la laguna Quesillococha indica que, si bien está embalsada por una morrena de 70 metros constituida por material gravoso con matriz fina que contribuye a su compactación, los procesos de erosión han contribuido a la caída de detritos y material suelto en sus márgenes laterales. En la parte posterior de esta laguna también se observan caídas de rocas por fracturamiento, aunque estas no llegan a hacer contacto directo con la laguna. Como parte de este estudio, también se observó que en la cobertura glaciar del nevado Sarapo hay varios glaciares colgados en la parte alta (Figura 20), lo cual es considerado por los especialistas como de alta peligrosidad. Los flujos de hielo, roca y detritos, en parte influenciados por el deshielo y movimiento de masa del nevado Sarapo, contribuyen a la inestabilidad del margen izquierdo de la laguna Quesillococha.

En el entorno de la laguna Siula (Figura 21) se identificaron dos zonas que aumentan el nivel de peligrosidad de la laguna. La primera es el caudal saliente de la laguna Quesillococha y el segundo es un cono aluvial reciente en la parte posterior de la laguna, generado por los flujos que provienen del nevado Sarapo Este.

La morrena de la laguna Gangrajanca es de gran altura (con una lateral izquierda y derecha de 64,00 y 110,00 metros) (Figura 22). Las zonas de deslizamiento, el material rocoso de sus márgenes y la presencia de glaciares colgados incrementan el nivel de peligrosidad de esta laguna, cuyo entorno es inestable además por la exposición a frecuentes flujos de hielo y roca provenientes del nevado Siula.

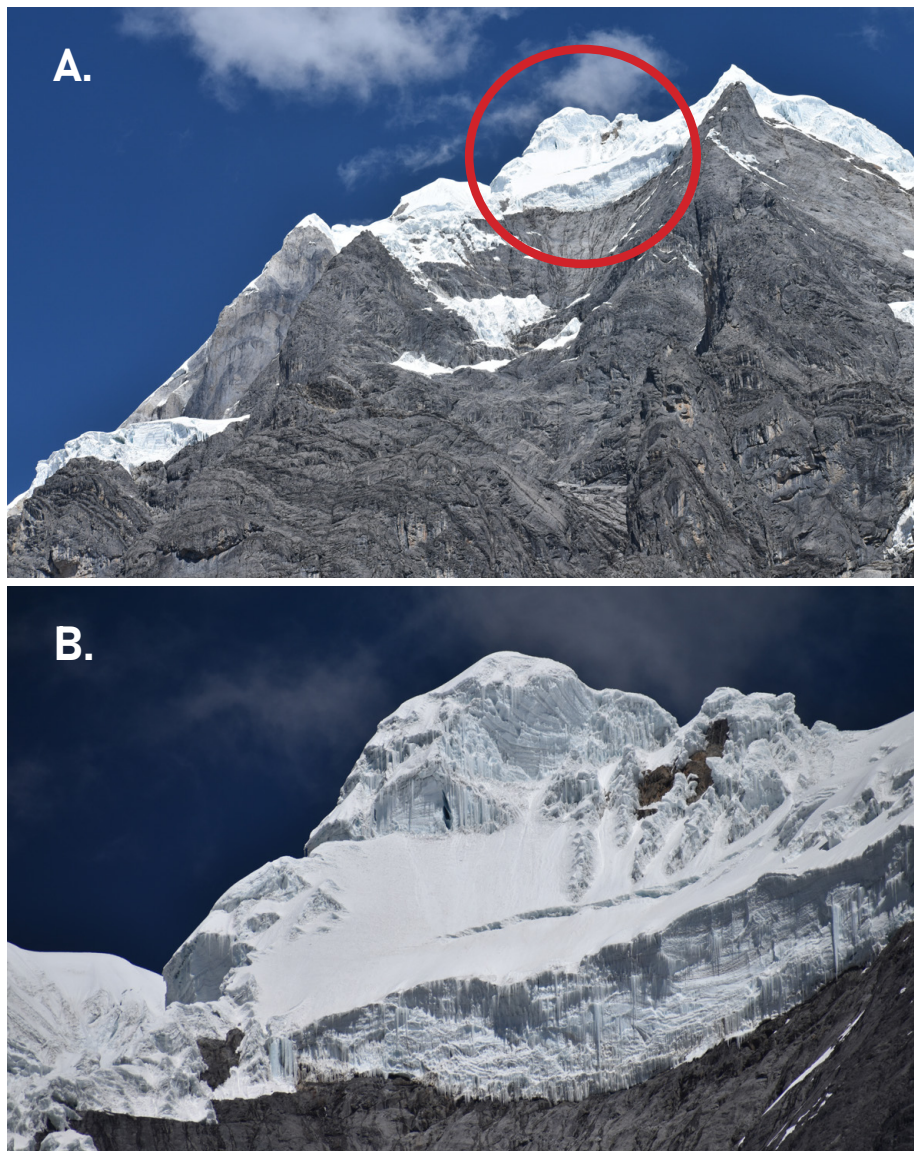


Figura 20. A. Glaciares colgados ubicados en la margen izquierda de la laguna Quesillococha, formando parte del nevado Sarapo, Cordillera Huayhuash. B. Vista ampliada de uno de los glaciares colgados.

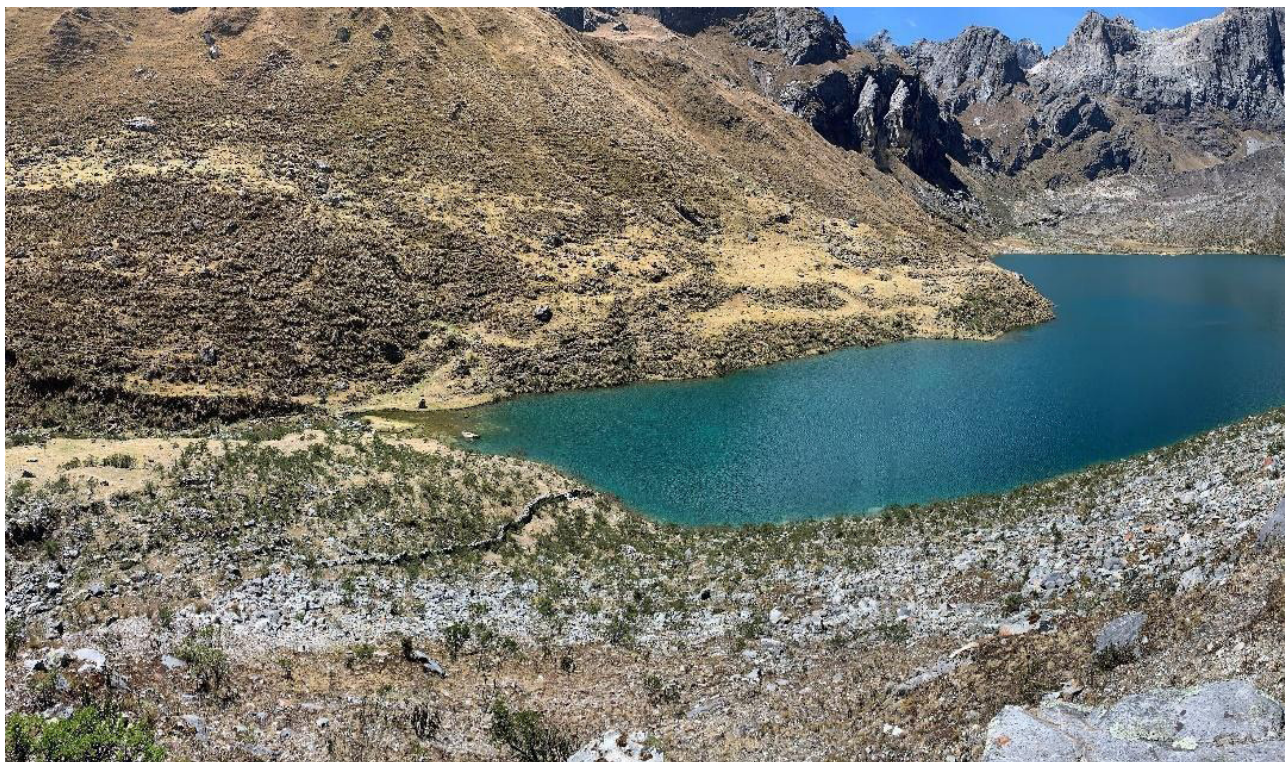


Figura 21. Vista de la laguna Siula, con presencia de materiales de caída en sus márgenes derecho e izquierdo.

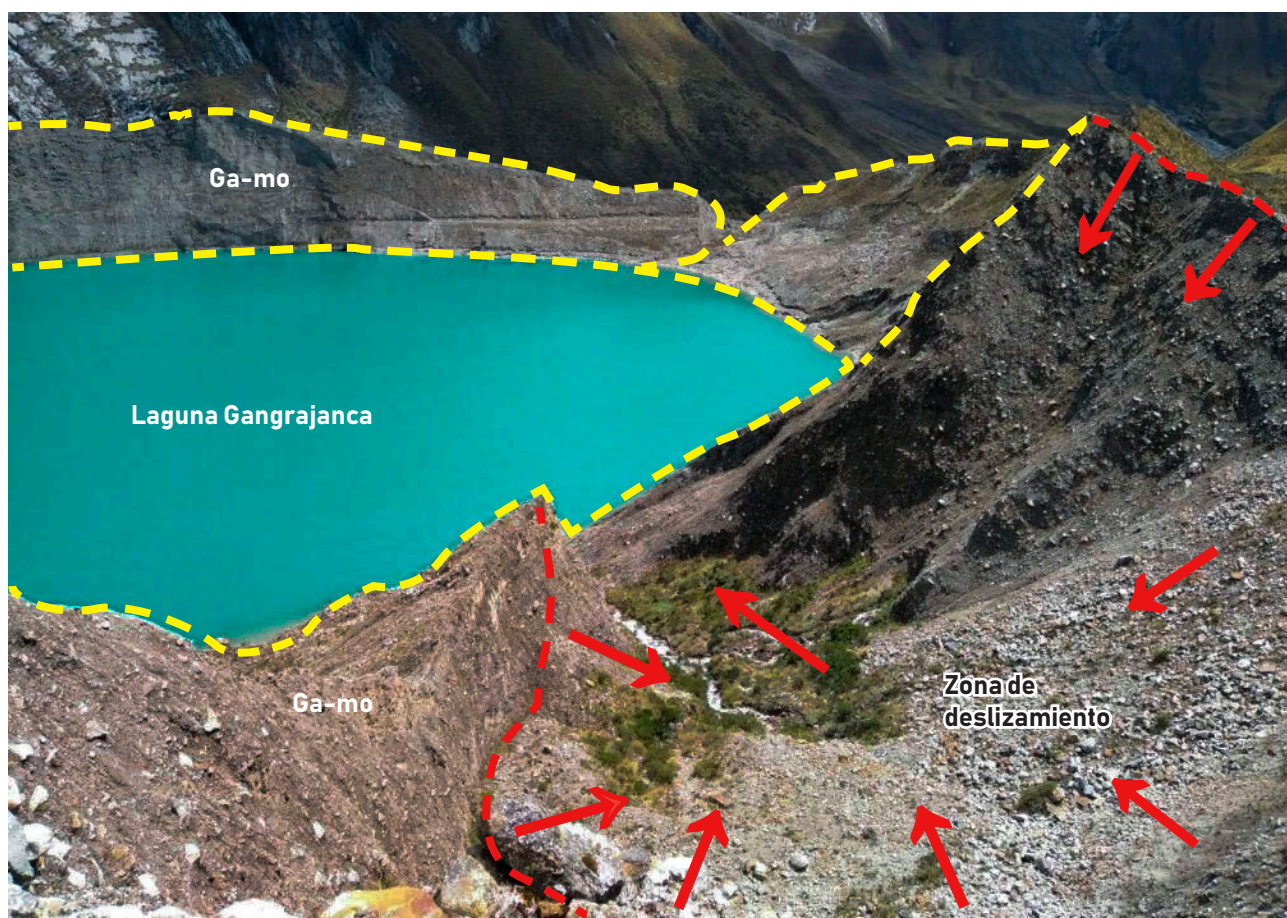


Figura 22. Zona de deslizamiento en la morrena lateral derecha (Ga-mo) de la laguna Gangrajanca, donde se observa material de caída.



Figura 23. Vista de la laguna Carhuacocha, distinguiéndose la morrena lateral derecha y morrena lateral izquierda y parte frontal de los depósitos glaciáricos en forma de morrenas (Ga-mo).

Finalmente, la morrena que embalsa la laguna Carhuacocha, de una altura promedio de 90 metros, presenta condiciones de estabilidad; sin embargo, producto de la erosión se observa la caída de detritos y material suelto en sus márgenes laterales interiores, los cuales forman surcos y cárcavas (Figura 23). Por la presencia de afloramientos rocosos posteriores a las morrenas, la lejanía de la cobertura glaciar y la profundidad de la laguna (17,7 metros), la laguna Carhuacocha presenta una estabilidad media.

Los escenarios de peligros potenciales indican que el impacto de bloques inestables hacia las lagunas Quesillococha y Gangrajanca tendría una velocidad de 86,89 m/s hasta 91,47 m/s, lo cual puede originar el desembalse violento de las lagunas en cadena. La laguna Gangrajanca, en particular, es considerada potencialmente peligrosa por desborde violento.

Información geológico-geotécnica en la UH Shullcas, departamento de Junín

Este informe (Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares, 2022d) consiste en la validación del cartografiado geológico preliminar en la UH Shullcas, el análisis geotécnico y estructural con base en información primaria (20 muestras en total) y los ensayos de laboratorio en las muestras extraídas. De

las cuatro lagunas que conforman esta UH, el informe aborda el estado situacional de las lagunas Lazo Huntay y Chuspicocha, que presentan antecedentes de aluvión en 1969 y 1990, respectivamente, para identificar zonas críticas en su entorno.

Geológicamente, la UH Shullcas presenta series metamórficas de origen precámbrico y paleozoico, sobre las cuales se disponen depósitos marinos y continentales correspondientes al paleozoico y mesozoico. Las discontinuidades e inclinación del talud de la UH Shullcas constituyen una condición de inestabilidad que influye en la caída de fragmentos de rocas y que impacta en la condición de peligrosidad de las lagunas.

Los depósitos glaciarios o morrenas están constituidos por material gravoso subanguloso de naturaleza metamórfica y subredondeado de origen sedimentario, con presencia de arenas en una matriz fina limosa y arcillosa. Sus pendientes son moderadas a abruptas entre los 45 y 80 metros, lo que le da cierta estabilidad, con presencia de material suelto en sus laderas y surcos por erosión hídrica.

Suelos inconsolidados, recientes y removibles en el cauce del río Shullcas son susceptibles de ser arrastrados e incrementar el volumen de un aluvión en caso de desborde de las lagunas de origen glaciar (GLOF).

Situación actual del glaciar Chicón y su ámbito de influencia, departamento de Cusco

El desarrollo de este reporte de inspección al glaciar Chicón (Vila Garrafa et al., 2022), ubicado en el distrito y provincia homónimos de Urubamba en la subcuenca Vilcanota, tuvo como base el trabajo de campo realizado de manera conjunta entre el INAIGEM y la Oficina de Gestión del Riesgo de la Municipalidad Provincial de Urubamba, el 11 de abril de 2022. Como antecedentes, en 2010 ocurrió un aluvión en la quebrada Chicón que afectó Urubamba (Cusco) por el rebalse de la laguna Pucacocha, y en el 2016 Huggel y Frey advirtieron que la morrena estaba expuesta a la erosión.

Como parte de la caracterización del ámbito glaciar, el reporte presenta información sobre la topografía, geología y geomorfología (glaciar, morrenas, cono de detritos, planicie, vertientes de ladera y fondo de valle) del área de estudio. Respecto al glaciar, la masa de hielo que cubre un área de 1,2 km² en promedio presenta una superficie uniforme sin agrietamientos importantes, con espesor promedio menor a cinco metros.

El glaciar Chicón presenta una reducción de 2,38 km² según el inventario de glaciares del INAIGEM (2018). Alrededor del glaciar se han identificado 22 cuerpos de agua, cinco de ellos en el mencionado inventario; estas lagunas están desconectadas de la masa glaciar. La laguna Riticocha, desembalsada en el evento de 2010, se encuentra a

unos 118 metros distante de la masa glaciar, con un área de 8463,50 m² y con un dique de gran altura que podría soportar olas grandes. La laguna Pucacocha presenta huellas del aluvión de 2010. La laguna Juchuycocha representa un peligro latente por su borde libre y por el peligro de caída de rocas (Figura 24). La estabilidad del talud de la morrena Allpamocco, al sureste del glaciar

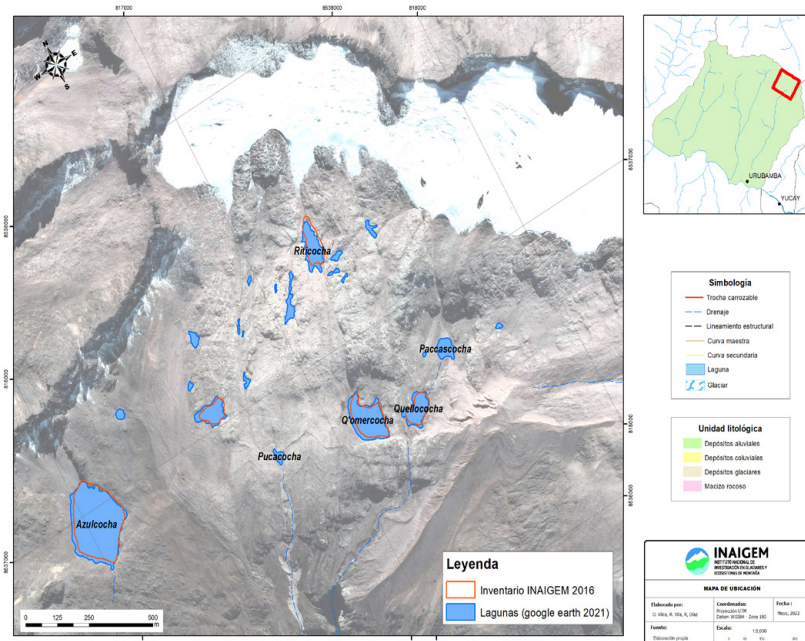


Figura 24. Ubicación de lagunas periglaciares al glaciar Chicón.

Chicón, ubicada entre los 4500 y 5000 m s. n. m., está comprometida por problemas de erosión. Ante ello, es necesario realizar estudios de topografía y batimetría de la laguna Juchuycocha, análisis de estabilidad de taludes, mecánica de suelos y otros estudios hidrogeológicos.



Laguna Riticocha, totalmente desprendida del glaciar y alrededor otros pequeños cuerpos de agua.

Situación actual de la laguna en formación Ausangate Chaqui, departamento de Cusco

Este reporte de inspección de la laguna en formación Ausangate Chaqui (Vila Garrafa & Vilca Gómez, 2022), ubicada en el distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchi (Cusco) en la cordillera del Vilcanota, se realizó con base en un trabajo de campo en marzo de 2022 y trabajo de gabinete. Esta laguna, que forma parte de la cuenca Inambari, fue ingresada al inventario nacional de lagunas de la Autoridad Nacional del Agua en 2009, con un área de 45 683,49 m², y fue registrada también en el Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar del INAIGEM en el 2018, con un área de 127 063,58 m².

Esta laguna en formación está en contacto con el glaciar Ausangate (Figura 25), con un área de espejo de agua de 128 894,4 m², cuya morrena —que actúa como dique natural— está formada por material no consolidado (Figura 26) y presenta filtraciones.

El crecimiento de la laguna Ausangate Chaqui es paulatino en los últimos tres años, pero se espera que siga creciendo hasta que haya una desconexión entre la laguna y el glaciar a causa de su retroceso. Los factores que influyen en el crecimiento de esta laguna son el incremento de la temperatura media superficial, que conlleva al derretimiento de los glaciares, y la capacidad impermeabilizante del vaso receptor.

Un aluvión por desborde violento de la laguna glaciar (GLOF) es el principal peligro. A tres kilómetros de esta laguna, se encuentra el centro poblado de Sayapata, que forma parte de la comunidad indígena (Figura 27). Ante ello, las recomendaciones son realizar batimetrías, monitorear el crecimiento de la laguna de manera anual, realizar estudios geotécnicos del dique frontal y difundir estos resultados a la población y gobierno local y regional para la ejecución de medidas preventivas.

Situación actual de la laguna Ampaycocha, departamento de Apurímac

Las condiciones identificadas en el reporte de inspección de la laguna en crecimiento Ampaycocha (Vilca Gómez & Bustinza, 2022), originada por el retroceso glaciar del sector sureste del nevado Ampay, representan un peligro latente por desborde. Para la inspección de esta laguna, se realizó un trabajo de campo en abril de 2022, en coordinación con representantes del Santuario Nacional del Ampay del SERNANP y la Municipalidad Provincial de Abancay, así como trabajo de gabinete.

La laguna Ampaycocha, ubicada sobre los 4680 m s. n. m., se encuentra en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, y pertenece a la intercuenca Alto Apurímac. El área del espejo se ha duplicado entre 2015 y 2020 (de 4599 a 10 873 m²) y, según el cálculo durante el trabajo de campo, su profundidad promedio no es mayor a cinco metros, con un área de 13 000 m². El glaciar cubierto presenta



Figura 25. Espejo de agua de la laguna Ausangate Chaqui. Se observa la dirección del flujo glaciar que ingresa hacia la laguna.

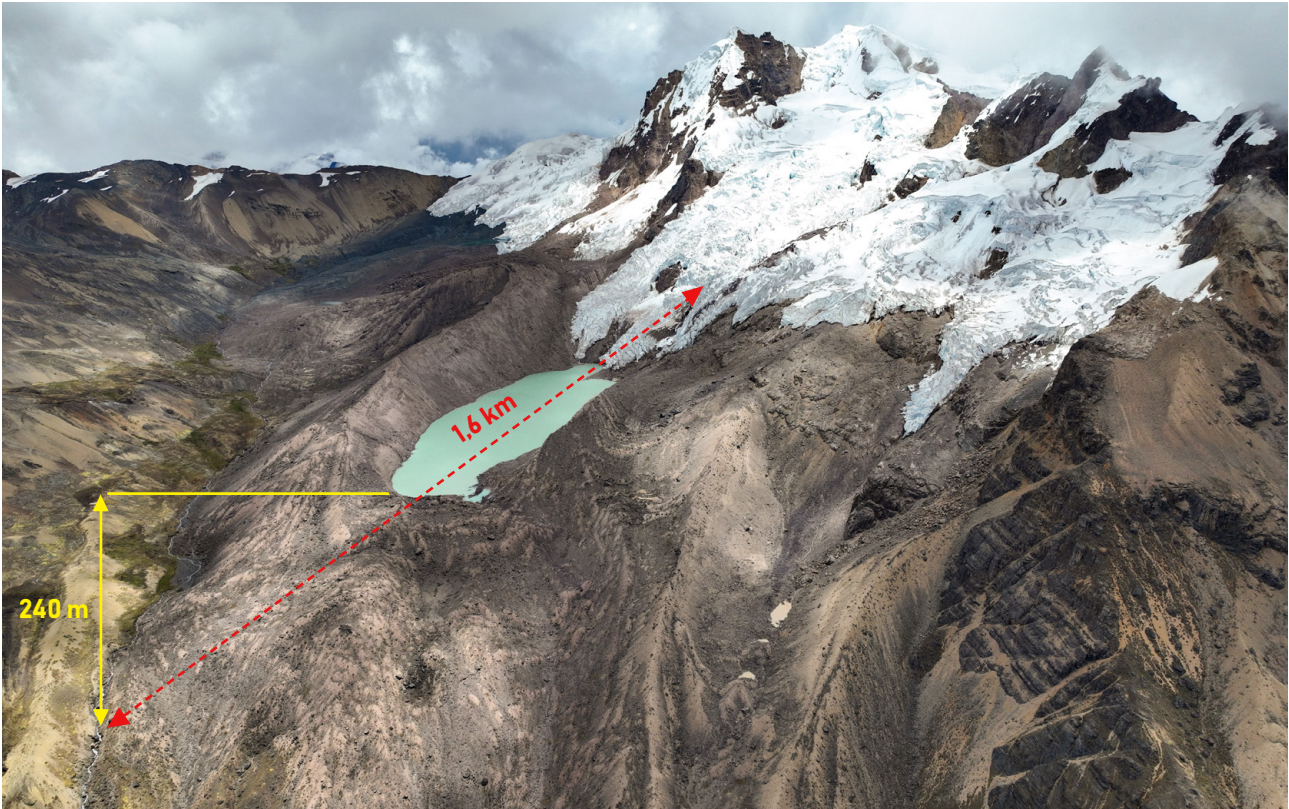


Figura 26. Depósito cuaternario con una altura aproximada de 240 m desde la parte frontal de la laguna a la base de la morrena, y con una longitud de 1,6 km desde la base rocosa.



Figura 27. Se muestra la ubicación del centro poblado Sayapata completamente expuesto ante un evento de desborde de la laguna Ausangate Chaqui.

una acumulación importante de escombros por la constante caída de bloques de rocas, y sobre la laguna se observaron glaciares flotantes (Figura 28). Esta laguna está en contacto directo con el glaciar cubierto, el cual presenta agrietamientos transversales.

Los resultados del reporte indican una alta probabilidad del colapso de hielo del frente glaciar sobre la laguna y por la caída de rocas depositadas sobre el glaciar (especialmente en el flanco izquierdo). Un remanente de morrena colgante en la pared de roca indica que el personal debería evitar desplazarse por el flanco izquierdo, mientras que en el flanco derecho se identificaron fisuras verticales.

Con el empleo de la metodología del Centro Internacional para el Aprovechamiento Integrado de las Montañas (ICIMOD, por sus siglas en inglés), se identificó que las amenazas potenciales son las paredes de roca con desprendimientos constantes, los deslizamientos en los taludes internos y la caída de roca en ambos flancos. A medida que la laguna incrementa su área de espejo, profundidad y volumen, su condición crítica aumentará.

Además de restringir el tránsito en sus alrededores, el reporte recomienda realizar un análisis de estabilidad en el entorno de los flancos, un seguimiento de la evolución del frente glaciar y espejo de agua, una batimetría de la laguna, un modelamiento de flujos por desborde de laguna, una implementación de estación meteorológica y, como parte del desarrollo de trabajos de campo en esta zona de difícil acceso, un plan de contingencia y seguridad.



Figura 28. Ampaycocha ocupa una cubeta natural labrada por la acción glaciar en su proceso de avance.

Situación actual de la laguna Ananta Cucho, departamento de Puno

El informe técnico de la laguna Ananta Cucho (INAIGEM, 2022b) examina las condiciones actuales de la laguna en el contexto de la retracción glaciar en la cordillera Vilcanota, ubicada en la cuenca del río Inambari. La laguna se encuentra en el distrito de Corani, en la provincia de Carabaya, a una altitud de 4991 m s. n. m. (Figura 29). La información sobre su entorno y la evolución de los glaciares se recolectó con el propósito de generar una línea base para futuros estudios en la región, dada la falta de antecedentes de investigaciones previas.

Ananta Cucho es una laguna de formación reciente, producto del retroceso glaciar en la última década (2010-2020). Se encuentra en una cuenca con depósitos glaciares, y se identifican tres arcos de morrena que marcan las fluctuaciones del glaciar en distintas épocas. Su entorno está dominado por lenguas glaciares que descienden del glaciar Quelccaya, que generan un paisaje típico de procesos glaciares con quebradas en forma de U y humedales (Figura 30 y 31). El glaciar Quelccaya, que ha experimentado una significativa pérdida de hielo, presenta áreas con grietas transversales (*crevasses*), lo que indica un alto riesgo de desprendimiento de hielo que podría generar avalanchas mixtas (hielo y roca) y afectar la estabilidad de la laguna.

Sus principales características incluyen un volumen de agua de 2 285 177 m³ y una profundidad máxima de 41 metros. La morrena frontal, que actúa como dique natural, presenta una pendiente baja, lo que favorece la estabilidad frente a eventos de oleaje. Sin embargo, no existe un borde libre, por lo que el desagüe se realiza principalmente por rebose.

Los peligros potenciales identificados en la laguna Ananta Cucho son los deslizamientos en los taludes, avalanchas de hielo y caídas de rocas desde los glaciares colgantes. La sedimentación también es un factor que reducirá el volumen de agua de la laguna en los próximos años. Estos peligros podrían desencadenar un desborde de la laguna, lo que supone un peligro alto para las poblaciones ubicadas aguas abajo.

La laguna Ananta Cucho ha alcanzado su máximo grado de evolución y presenta riesgos significativos debido a su proximidad con el glaciar Quelccaya. El volumen de agua es considerable; la posición de la laguna en la línea de flujo glaciar, junto con los frentes glaciares potencialmente inestables, requiere un monitoreo constante para mitigar riesgos.

Con base en este reporte se recomienda realizar monitoreos periódicos del glaciar y sus grietas, estudiar posibles escenarios de desborde mediante modelado, identificar y proteger las viviendas situadas en las inmediaciones del río localizadas aguas abajo, y evaluar alternativas para reducir el riesgo, como la disminución del volumen de agua en la laguna.

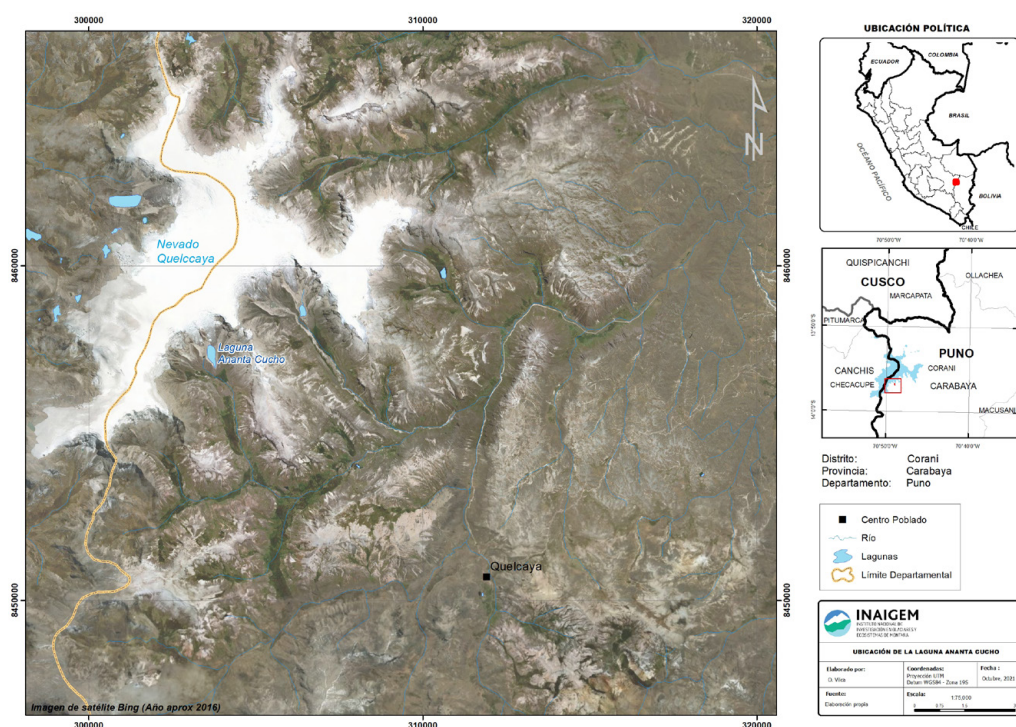


Figura 29. Ubicación política e hidrográfica de la laguna Ananta Cucho.



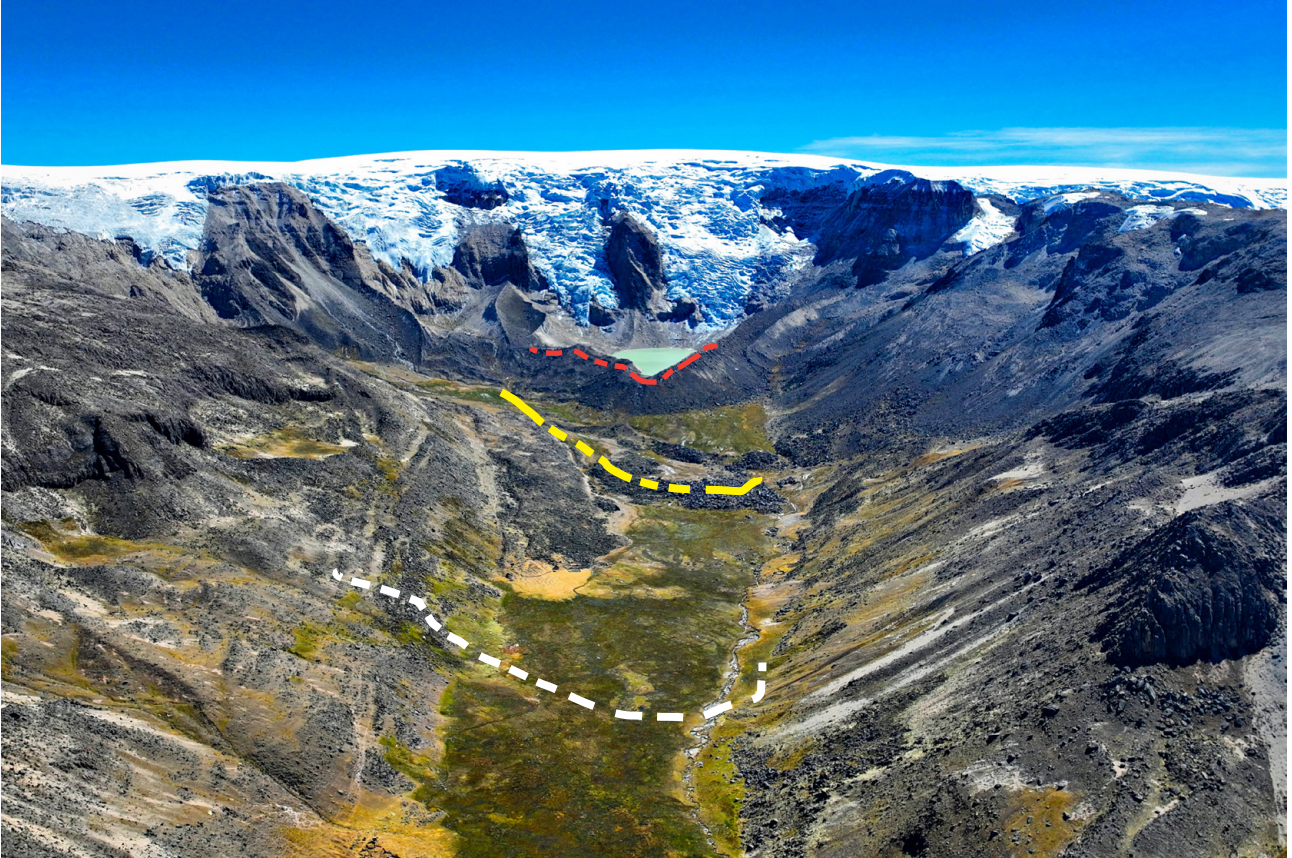


Figura 30. Cabecera de cuenca donde se sitúa la laguna Ananta Cucho. Se observa la secuencia de los arcos de morrena.

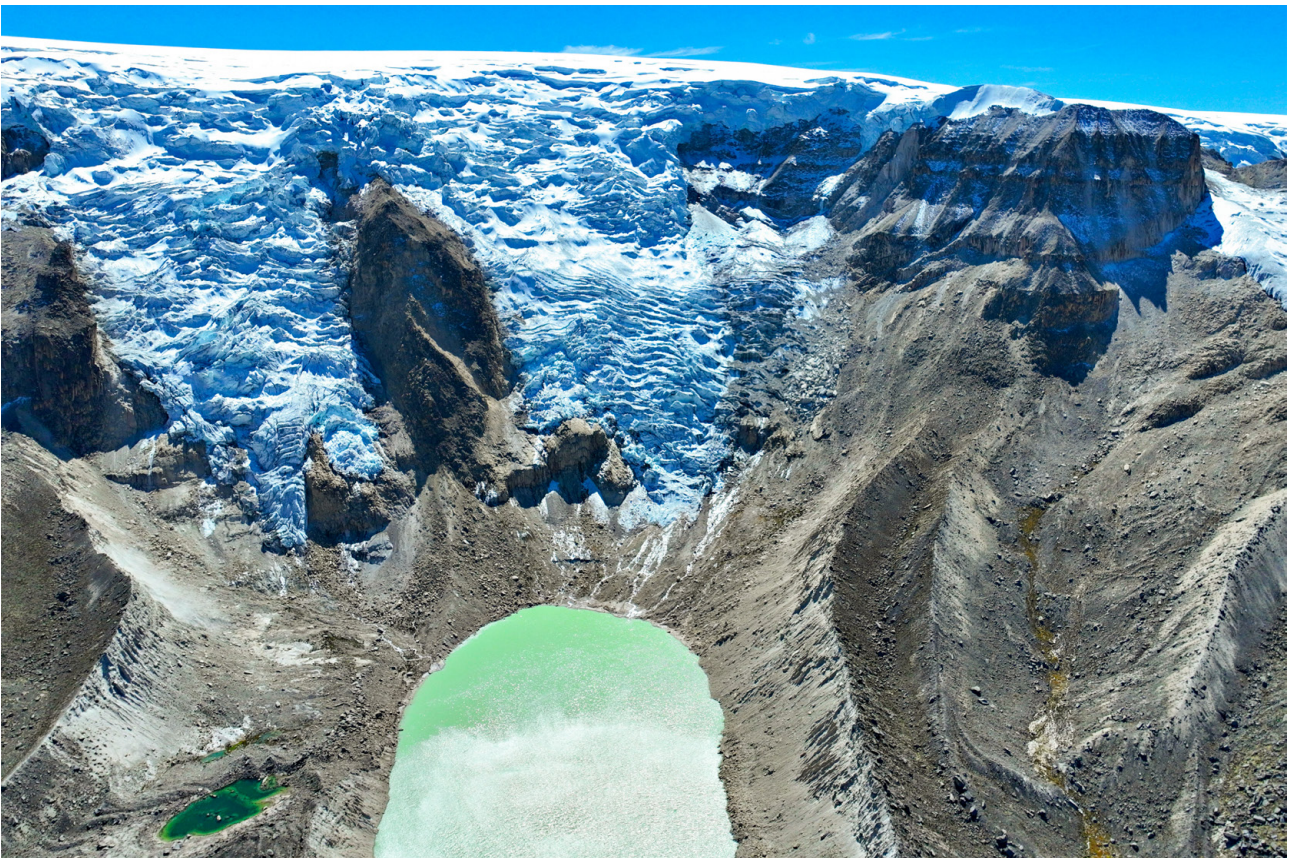


Figura 31. Vista de la zona posterior de la laguna Ananta Cucho.

Reportes de inspección ante emergencias

Inspecciones de la laguna Upiscocha, departamento de Cusco

Durante el 2022, el INAIGEM realizó dos reportes de inspección de la laguna Upiscocha, ubicada en el distrito de Ocongate, provincia de Quispicanchi, Cusco, en la cuenca Urubamba. En octubre de 2020, el INAIGEM reportó el crecimiento acelerado de lagunas en el ámbito de la cordillera Vilcanota; particularmente, advirtió que el crecimiento de la laguna A-10 y su unión a las otras lagunas representarían un peligro alto. Desde noviembre de ese año, el INAIGEM realiza inspecciones periódicas a esta laguna para monitorear la evolución de la superficie y espejo de agua.

El primer reporte se realizó en mayo de 2022 (INAIGEM, 2022d), un día después del evento del 14 de mayo (Figura 32 y 33), en el que las autoridades locales reportaron un incremento súbito del caudal del río Upis. El análisis del evento indica que el impacto del deslizamiento de roca en la zona posterior del flanco derecho, a causa de meteorización, provocó el oleaje que rebasó la cota de coronación (de dos metros de altura); se estima que el volumen del deslizamiento fue de 2 000 000 de m³, el caudal pico llegó hasta los 40 m³/s, con un caudal promedio de 10 m³/s (Figura 34). Esta laguna no tiene borde libre, por lo que los caudales de salida son sensibles a eventos que incrementen el nivel del espejo de agua. Los remanentes de bloques de roca en

tres zonas altas representan peligros potenciales a la estabilidad de la laguna Upiscocha, que luego de este evento tiene una superficie de 539 370 m².

El segundo reporte se realizó en agosto de 2022 (INAIGEM, 2022c), al día siguiente del desborde ocurrido el 9 de agosto. El 10 de agosto, producto de este evento, se firmó un acta en el que los pobladores solicitaron la declaratoria del estado de emergencia por peligro inminente de la laguna Upiscocha y así iniciar acciones inmediatas para reducir y controlar el riesgo. El análisis del evento indica que el desborde ocurrió por el desprendimiento de rocas en la zona posterior del flanco derecho (como también ocurrió en agosto) asociado a factores estructurales del basamento rocoso y meteorización. Los bloques de roca en las zonas altas son un peligro potencial y recurrente (Figura 35 y 36). Este reporte también indica que el 65 % de la superficie de la laguna está cubierta por hielo flotante, lo que significa el incremento en el nivel de espejo de agua y caudal de salida (Figura 37). Con esta información, se recomendó estar alerta ante eventuales incrementos del caudal del río Upis, advertir a la población sobre este peligro y que la Municipalidad Distrital de Ocongate gestione la declaración de emergencia de la laguna Upiscocha por peligro inminente para que se desarrollen acciones inmediatas de control y reducción del riesgo existente. En cuanto a estudios, se sugirió realizar estudios definitivos de reducción del peligro en la laguna, que consideren el escenario más crítico de expansión del espejo de agua.



Figura 32. Fotografía del 2 de noviembre de 2020.



Figura 33. Fotografía del 15 de mayo de 2022.

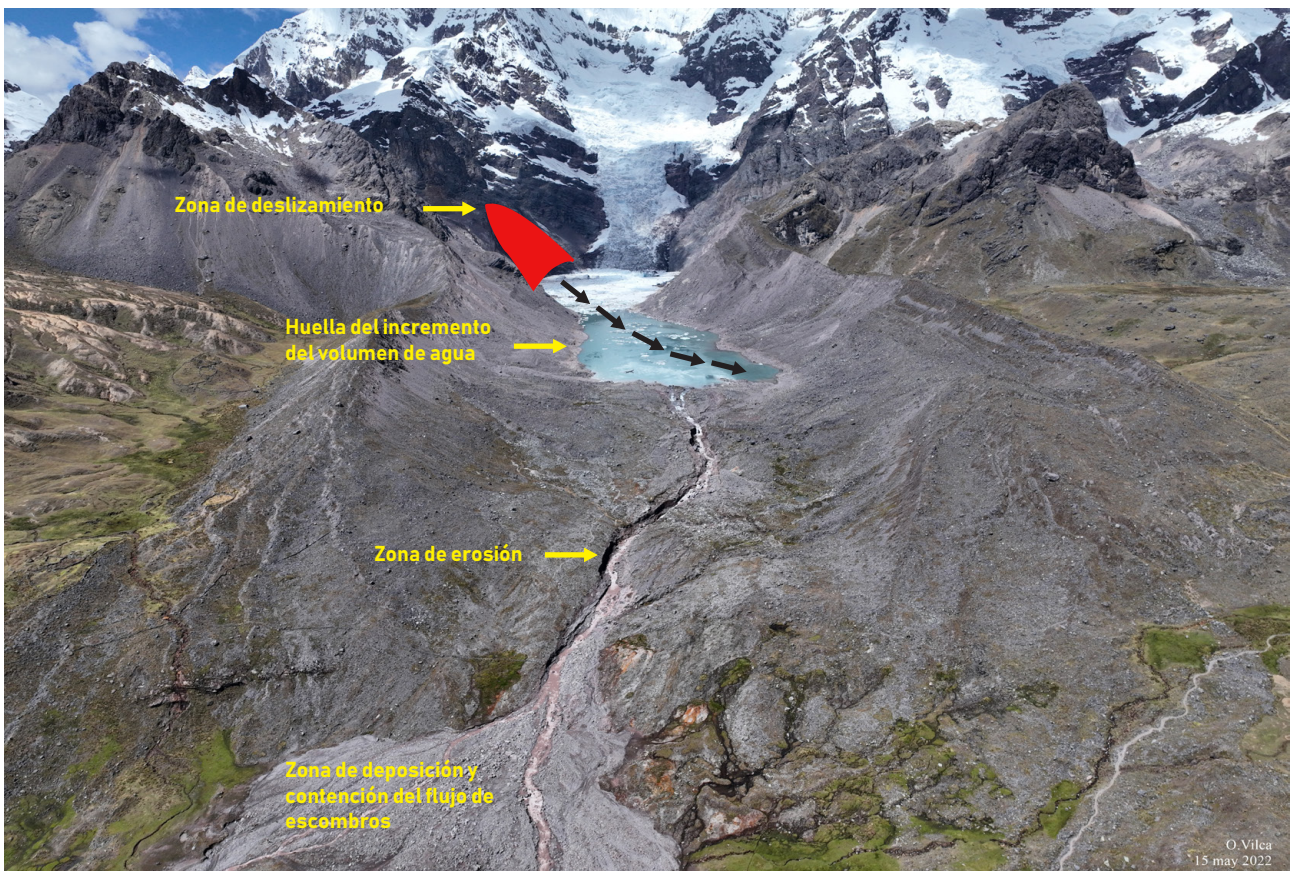


Figura 34. En la zona de deslizamiento se produce la caída de un importante volumen de roca fragmentada que impacta en la laguna y ocasiona el rompimiento de hielo en el frente glaciar. La ola generada por el impacto viaja en dirección a la zona frontal sector izquierdo, una parte del oleaje sale por rebose llegando a erosionar el cauce principal del río en el talud exterior del dique natural, posteriormente el vaso de la laguna contiene el volumen adicional de agua y el proceso de desagüe genera caudales torrentosos, mientras que en la zona baja un gran porcentaje de material sólido como rocas, grava, arena y limo es depositado.

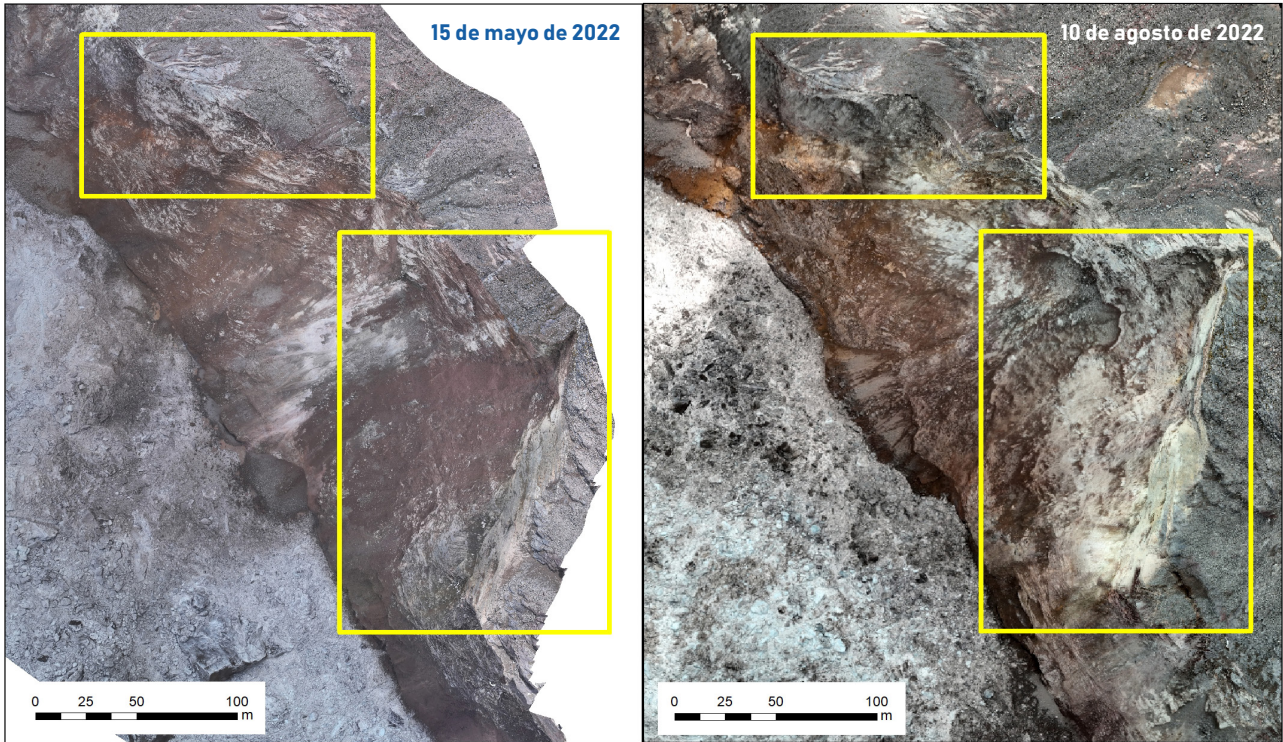


Figura 35. Comparativa de fotografías donde se resalta las zonas con mayor inestabilidad y donde se originan los deslizamientos y/o desprendimientos de rocas que ocasionaron los últimos desbordes de la laguna Upiscocha.



Figura 36. Vista fotográfica después del evento de mayo (15/05/2022).



Figura 37. Vista panorámica de la situación de la laguna Upisocha al 10 de agosto de 2022.

Inspección de la laguna Phacu Cucho Alto, departamento de Puno

Este reporte de inspección caracteriza, diagnóstica y deja evidencia del desborde de la laguna Phacu Cucho Alto (Vilca Gómez & Vila Garrafa, 2022), ubicada en el distrito de Corani, provincia de Carabaya, Puno, en la subcuenca San Gabán (Figura 38), evento que ocurrió el 14 de diciembre de 2022. Como antecedentes, por información brindada por los comuneros, a fines del 2012 se produjo un desborde de la laguna, como también sucedió el 14 de noviembre de 2022, que generó daños en los pastizales cercanos. Este reporte se realizó a solicitud de la comunidad campesina de Quelcaya, quienes emitieron una carta el 2 de diciembre de 2022 al INAIGEM, donde solicitaban la inspección técnica de la laguna, que, junto a Phacu Cucho Bajo, forma parte de la cabecera de la quebrada Phacu Cucho (Figura 39).

La inspección indica que el desborde se originó con el deslizamiento del talud interior en la zona posterior del flanco derecho y en diferentes momentos. Se estima que el evento del 14 de noviembre de 2022 presentó dos deslizamientos con mayor volumen (de aproximadamente 500 000 m³ en total). Se presume que el factor desencadenante fue el incremento de la

temperatura media durante los días prolongados, lo cual ocurrió en los meses de octubre y noviembre, que debilitó la estructura de los glaciares cubiertos que son parte del entorno de la laguna. Como factores condicionantes, se identificaron el tipo de material (arena y gravas), la pendiente de terreno y las filtraciones.

La primera zona afectada fue una vivienda ubicada cerca del cauce del río que, según los pobladores, fue evacuada por iniciativa propia de sus ocupantes ante el cambio en el caudal y la coloración del agua en el río, lo cual refuerza la hipótesis de que el evento ocurrió en varios momentos. La segunda zona afectada fue el bofedal Phacu Cucho, fuente de alimento y soporte para la ganadería alpaquera, cubierto por material detrítico y escombros (Figura 40). Después del evento, la superficie de agua de la laguna se redujo en 50 %.

Los peligros potenciales están directamente vinculados con el crecimiento de las lagunas Phacu Cucho que, por estar en contacto con el glaciar, se encuentran en expansión. Los deslizamientos seguirán ocurriendo mientras exista hielo cubierto en la base de los taludes y podrían ocurrir desbordes (avalanchas) ante la caída de glaciares colgantes que se ubican en la línea de flujo y directamente hacia las lagunas.

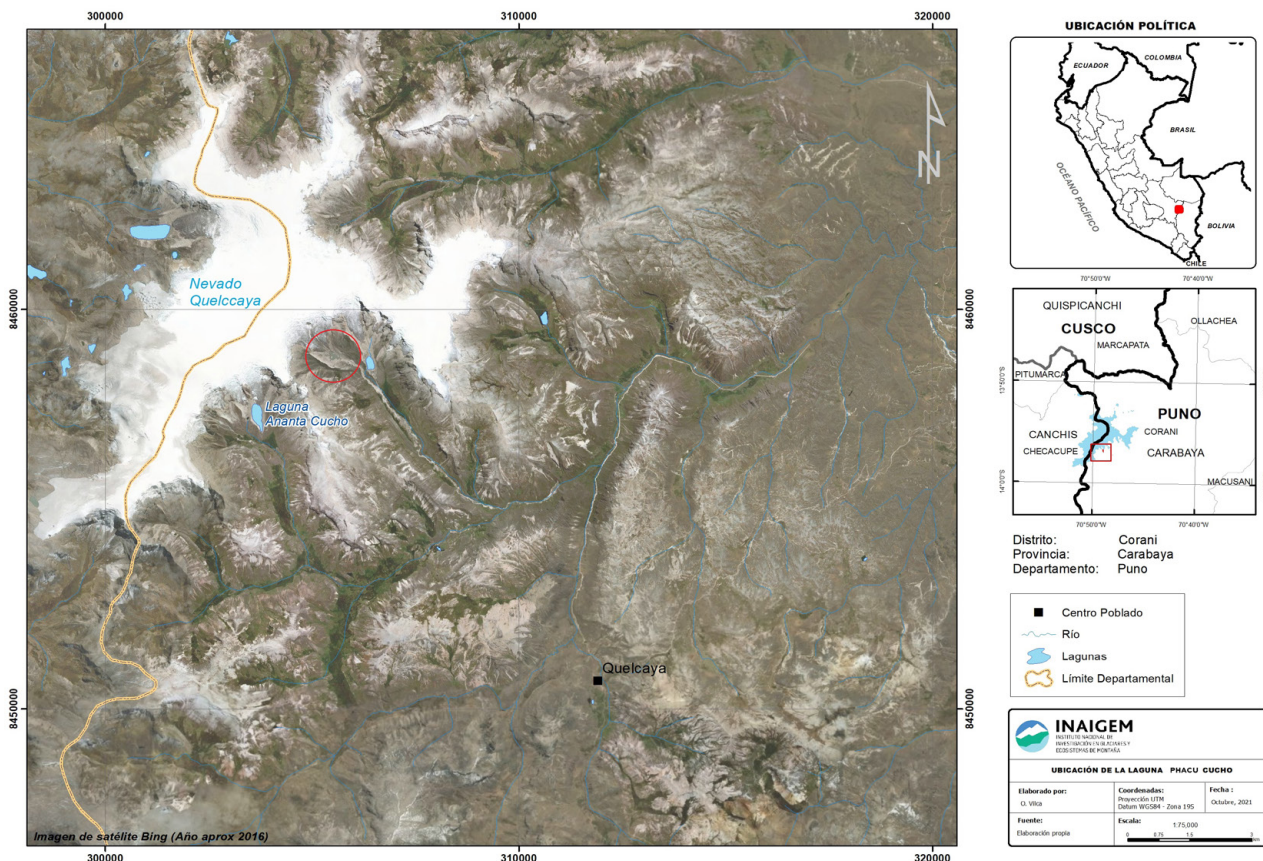


Figura 38. Ubicación de las lagunas Phacu Cucho.

El reporte indica que, si bien el bofedal Phacu Cucho permitió disipar la energía del flujo de escombros, la zona que atenuó y embalsó el flujo se ubica a 7300 metros aguas debajo de la zona de desagüe. Se trata de una cubeta natural con desagüe por filtración y que no almacena agua, por lo que siempre está en condición óptima para retener el flujo proveniente de la laguna.

Finalmente, el reporte recomienda calcular el volumen de ambas lagunas, estar alerta a los desbordes, realizar monitoreo periódico para evaluar la evolución de los glaciares colgantes y la zona de erosión en el dique natural de la laguna Phacu Cucho Bajo, advertir a los habitantes y visitantes sobre los peligros en las inmediaciones del río y realizar estudios de peligros en la quebrada Phacu Cucho.





Figura 39. Lagunas Phacu Cucho Alto y Bajo.



Figura 40. Humedal Phacu Cucho cubierto por detritos a consecuencia del desborde del 14 de noviembre de 2022.

III. INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA DEL PERÚ



ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Folleto sobre los pastizales andinos

Este folleto (Valverde et al., 2022) es resultado de la recopilación de información con el fin de orientar sobre la importancia de los pastizales altoandinos. Los pastizales de Puna o pajonales son ecosistemas dominados por plantas herbáceas, que incluyen gramíneas y graminoides, desarrollados sobre los 3800 a 4000 m s. n. m. y distribuidos en la jalca, la puna húmeda y la puna seca. Además de su importancia ecológica, constituyen la principal fuente de alimento para la ganadería extensiva andina. No obstante, el 60 % de los pastizales altoandinos se encuentra en proceso de degradación, lo que impactaría en la productividad de los pastizales, la pérdida de biodiversidad y la desertificación. Los tipos de vegetación, que resultan de la interacción entre la altitud, topografía, tipo de suelo y clima, son los pajonales y el césped de puna.

La importancia ecológica de los pastizales se refleja en los servicios ecosistémicos que proveen. Son una fuente forrajera de bajo costo para el desarrollo de la ganadería altoandina; asimismo, cumplen un rol de regulación hídrica, pues facilitan la infiltración de agua en el suelo, protegen al suelo de la erosión y mantienen la humedad, y regulación climática, por su potencial de captura de carbono. Además, estas áreas actúan como refugio para diversas especies de la fauna andina, proporcionan energía (principalmente combustible) a las familias altoandinas y son una fuente de plantas aromáticas y medicinales.

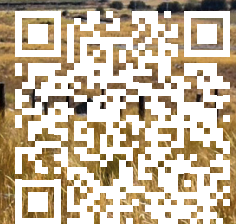
Los pastizales cubren el 14,2 % del territorio nacional y soportan el 84 % de la población ganadera del país según el IV Censo Nacional Agropecuario (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2013). En

las comunidades altoandinas, donde predomina la ganadería extensiva, los pastizales son de crucial importancia no solo para el desarrollo de las actividades económicas, sino también para su vida social y cultural. Aunque cubren menos del 50 % de la demanda de alimento del ganado, tienen el potencial de duplicar dicha cobertura con mejoras en la capacidad de carga y productividad de los sistemas ganaderos.

De no implementarse estrategias para mejorar el manejo, el área de pastizales en condición pobre se incrementa en un 20 %, lo que acelera su degradación. Además del sobrepastoreo, las causas más comunes de degradación de pastizales son las quemadas y el cambio climático. Para obtener la máxima producción ganadera y conservar el ecosistema, este documento sugiere implementar las estrategias de clausura de pastizales, pastoreo rotativo, pastoreo diferido, abonamiento y siembra de pastos naturales (Núñez et al., 2018, como se cita en Valverde et al., 2022).

En el marco de un convenio con la comunidad campesina de Cátac, el INAIEM cuenta con 60 hectáreas de pastizal natural en el Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Ecosistemas de Montaña (CICTEM), un terreno ubicado a poco más de 3800 m s. n. m. En ese espacio, se desarrollan investigaciones para recuperar la salud de los pastizales y conocimientos locales que permitan identificar especies de importancia para el ganado y resistentes a peligros climáticos.

Conoce más



Folleto sobre la puya de Raimondi (*Puya raimondii*)

Este folleto brinda información resumida sobre esta especie, donde incorpora estudios y hallazgos que contribuyen a valorarla.

La *Puya raimondii* se distribuye únicamente entre Perú y Bolivia, recoge su nombre en honor al naturalista Antonio Raimondi. Se encuentra en La Libertad, Áncash, Lima, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Moquegua, Cusco y Puno. En 2016, esta especie fue declarada en situación vulnerable mediante Resolución Ministerial n.º 505-2016-MINAGRI y se encuentra en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). En este folleto, Arroyo-Alfaro et al. (2022) describen el hábitat de las puyas, sus usos y su importancia ecológica y cultural.

El hábitat de las puyas, que viven agrupados en rodales —aunque en ocasiones también de manera aislada—, presenta condiciones de clima frío, seco y suelos pobres en nutrientes, predominantemente en zonas rocosas. Esto último se debe a la protección mecánica contra los fuertes vientos, menor calor específico que facilita el aprovechamiento de las horas de sol para la fotosíntesis. Se trata de una planta perenne de la familia de las bromelias (*Bromeliaceae*) que alcanza una altura promedio de 8,3 metros, aunque puede llegar a los quince metros. Su crecimiento es lento, entre 40 y 100 años; luego de su florecimiento, la planta muere. Estas características hacen de la puya una de las especies más impresionantes de la flora altoandina peruana.

Los usos comunes de la puya, de acuerdo con Salazar et al. (2010, como se cita en Arroyo-Alfaro et al., 2022), tienen fines alimenticios, medicinales, producción de artesanías, construcción, motivos mágicos y religiosos. Su importancia ecológica está estrechamente ligada a los picaflores, ya que les proporciona alimento (néctar) donde la diversidad de plantas es menor. Esta especie es afectada por el cambio climático, plagas (hongo negro) e insectos, y por la tala, quema, contaminación —cuando su área es empleada como vertedero, como sucede en Ayacucho—, infraestructuras (carreteras, caminos de herradura) e incendios.

El valor cultural de la puya se refleja en su contribución a la identidad cultural, beneficios estéticos y formación de leyendas. Desde 2008, en el distrito de la Libertad (Huaraz, Áncash) se celebra un festival en el sector de Llacuashpampa, donde abunda la población de puya, como antesala a la celebración de la Virgen de la Natividad.

Desde 2017, el INAIGEM desarrolla investigaciones sobre la puya, específicamente en los distritos de Cátac y La Libertad (Áncash), que permitan profundizar su caracterización y la valoración cultural de esta fascinante especie en peligro.

Estructura poblacional de los rodales de *Puya raimondii* Harms en Carpa y Cajamarquilla, departamento de Áncash

Como parte de las investigaciones iniciadas en 2021, se muestran los resultados de la evaluación de la estructura poblacional de rodales¹ de *Puya raimondii* Harms (Arroyo-Alfaro & Calderón Quispe, 2022) —llamada también “ccara”, “titanka”, “tika-tika” o “santón”—. Se contemplan las características poblacionales de tamaño por grupo etario, así como se analiza y compara el daño por quema, una de las amenazas a esta especie en peligro.

Para determinar la estructura poblacional de la puya, se establecieron once parcelas en los rodales de Carpa (ubicado en la cuenca alta del río Santa en la Cordillera Blanca, UH Pachacoto, distrito y comunidad campesina de Cátac) y doce parcelas en los rodales de Cajamarquilla (cuenca alta del río Casma, UH Vado/Puru Puru, distrito de La Libertad y comunidad campesina de Cajamarquilla). Cada parcela tuvo una extensión de 25 × 25 metros.

La estructura poblacional en ambos lugares indica que hay mayor número de individuos tiernos (<50 centímetros) y jóvenes (>50 centímetros y <2 metros) en Carpa respecto a Cajamarquilla, pero mayor número de individuos adultos (>2 metros) en Cajamarquilla. En el caso de individuos muertos, no se encontraron diferencias significativas. Estos resultados indican que las puyas en Cajamarquilla son una población envejecida con muy poca regeneración y en decrecimiento, a diferencia de la población de Cátac, donde hay acumulación de población juvenil (Figura 41).

Los análisis de varianza para analizar la quema indican que la mayor cantidad de quemados totales se encuentra en Cajamarquilla respecto a Carpa —que es parte de un área natural protegida—, sin diferencias significativas entre ambos lugares sobre individuos con daños de quema, pero con mayor número de quemados muertos en Carpa. Como parte del estudio, se observaron diferencias en la altura de la quema de las rosetas, esta fue más elevada (entre 50 y 250 centímetros) en las puyas de Carpa, probablemente a causa de un incendio que ocurrió en 2005 en el Parque Nacional Huascarán y que afectó a 9000 individuos; en el caso de Cajamarquilla, es posible que la causa sean quemados incidentales de matorrales o puntuales. El análisis a nivel de parcelas indica que hay signos de quema en todas las parcelas de Cajamarquilla.

Los análisis de suelo indican que no hay una relación entre sus parámetros fisicoquímicos y la altura de los individuos. Tampoco se encontraron diferencias entre los parámetros de suelo de acuerdo con ambas zonas de estudio, excepto por el mayor porcentaje de arcilla en Cajamarquilla.

1. Terrenos o campos pequeños (Arroyo-Alfaro y Calderon Quispe, 2022).

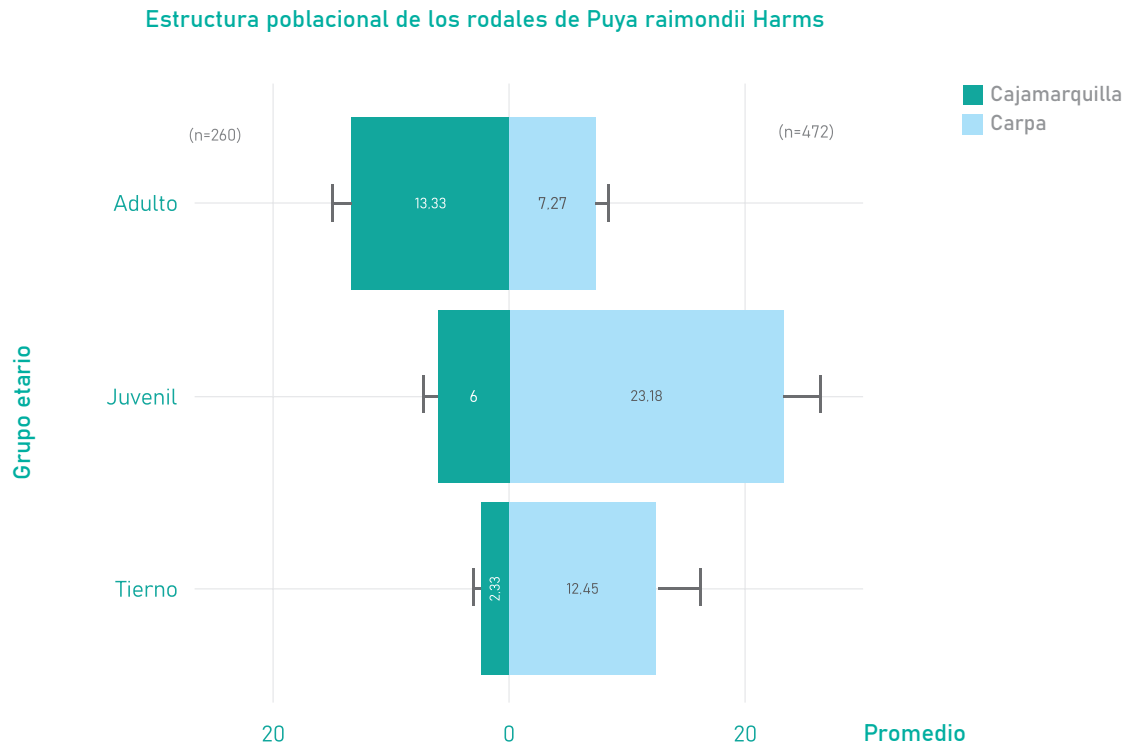


Figura 41. Resultados de la población de puyas de Raimondi en Cajamarquilla y Carpa, en Áncash.

Variación estacional del contenido de agua en suelo con zanjas de infiltración y pajonales en la parcela de investigación en La Raya, departamento de Cusco

Este estudio es recurrente dentro de la línea de investigación de servicios ecosistémicos hídricos, puesto que busca recopilar y analizar información de campo a través del tiempo (series de tiempo) para evaluar efectivamente resultados en el mediano y largo plazo de las medidas de zanjas de infiltración y pajonales. Desde el 2017, el INAIGEM implementó una parcela de investigación con zanjas de infiltración y pajonal natural en la microcuenca Atuncucho, cabecera del río Vilcanota en la cordillera La Raya (Cusco). El objetivo de esta intervención es comparar los resultados de las variaciones estacionales del almacenamiento de agua en el suelo a partir de las zanjas de infiltración y los pajonales. En este informe, Díaz y Mallqui (2022) registran los resultados del análisis de información consistente colectada entre marzo de 2021 y marzo de 2022, para lo cual se emplearon mediciones directas y modelos.

Los componentes del balance hídrico indicaron ausencia de percolación en los puntos asociados a las zanjas de infiltración, que sí se observa en el punto asociado al pajonal durante los meses húmedos. Esta información indica que, de mejorar las condiciones de cobertura

vegetal, se podría lograr un efecto positivo en las tasas de infiltración y percolación. El análisis comparativo del almacenamiento de agua en suelo indica que las reservas de agua en suelo para la zanja de infiltración presentan un promedio de 48,7 milímetros y para el pajonal un promedio de 121,1 milímetros (Figura 42).

En conclusión, existen diferencias significativas en los contenidos de humedad en el suelo entre las zanjas de infiltración y el pajonal, lo cual permite discutir los efectos esperados de las zanjas de infiltración sobre el almacenamiento de agua en el suelo y la percolación. El mayor contenido de humedad en los pajonales, en periodos húmedos y secos, está asociado a las características físicas del estrato inferior del suelo, lo cual puede disminuir la infiltración. Por ello, el informe señala que el volumen del agua de lluvia capturada dependerá del volumen de las obras —por ejemplo, las zanjas de infiltración y los pajonales—, de su distribución espacial y de las características de las áreas, especialmente la capacidad de almacenamiento del suelo y la pluviometría para el caso de La Raya. Aun así, el estudio resalta que la cobertura vegetal natural (pajonal) es más eficiente en los procesos de infiltración y almacenamiento de agua en suelo. Para que estos resultados sean más concluyentes, se recomienda replicar estos estudios en otras áreas.

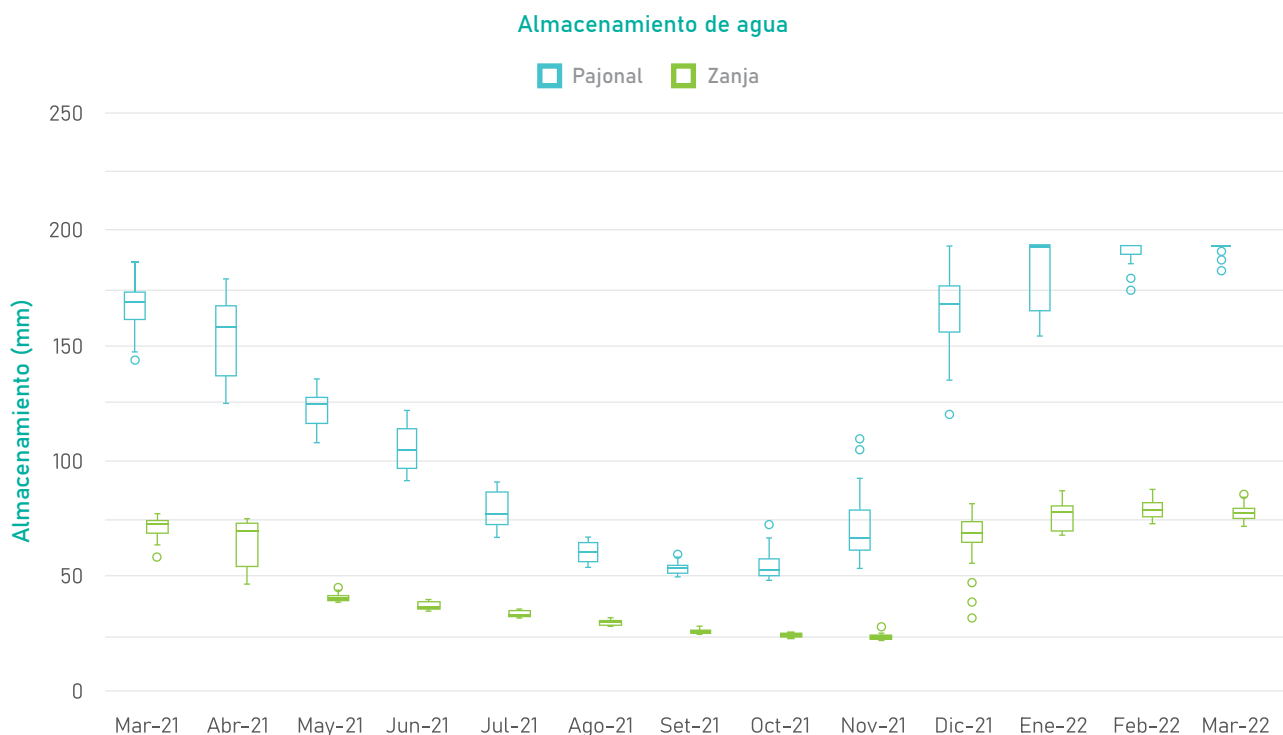


Figura 42. Análisis comparativo de almacenamiento de agua en suelo.

Mapa de ecosistemas de la UH Jungro Grande, departamento de Arequipa

La UH Jungro Grande se ubica en la cordillera Ampato, en la zona noroeste del nevado Coropuna, en el distrito de Arequipa, provincia de Castilla. Para elaborar este mapa de ecosistemas, Castro Camacho (2021) empleó la Guía Metodológica para la delimitación de Ecosistemas de Montaña (Rios, 2020) que se propuso para la ciudad de Huaraz y se aplicó también en la UH Occoruni en la cordillera Apolobamba. En Jungro Grande, el INAIGEM desarrolló otras investigaciones hidrológicas y ecológicas, especialmente en la laguna, quebrada y bofedal Cara Cara.

Con base en una inspección de la zona con información geográfica y una salida de campo y revisión, las categorías de clasificación de ecosistemas de montaña son glaciar, cuerpos de agua, pastizal, bofedal (humedal),

deslizamientos (material volcánico), depósitos (piedras) y rocas. Los procesos para la elaboración del mapa de ecosistemas de montaña de Jungro Grande comprenden la delimitación de la zona, el uso de imágenes satelitales (Sentinel-2) y sus correcciones, y agrupación de máscaras de zonas de ecosistemas de montaña (Figura 43). La validación de los resultados, para la cual se empleó 93 puntos de referencia distribuidos aleatoriamente con información obtenida en campo y de Google Earth Pro, es casi perfecta (con precisión general de 95,69 %).

Los resultados del mapa (Figura 44) indican que los depósitos (piedras) ocupan la mayor extensión de ecosistemas de montaña en la UH Jungro Grande (41,54 %), seguido del glaciar (18,55 %), deslizamientos (17,18 %), pastizal (5,54 %) y rocas (3,62 %). Los cuerpos de agua ocupan la menor extensión (0,11 %) junto a los bofedales (0,43 %).

Flujograma de la elaboración del Mapa de Ecosistemas de la UH Jungro Grande

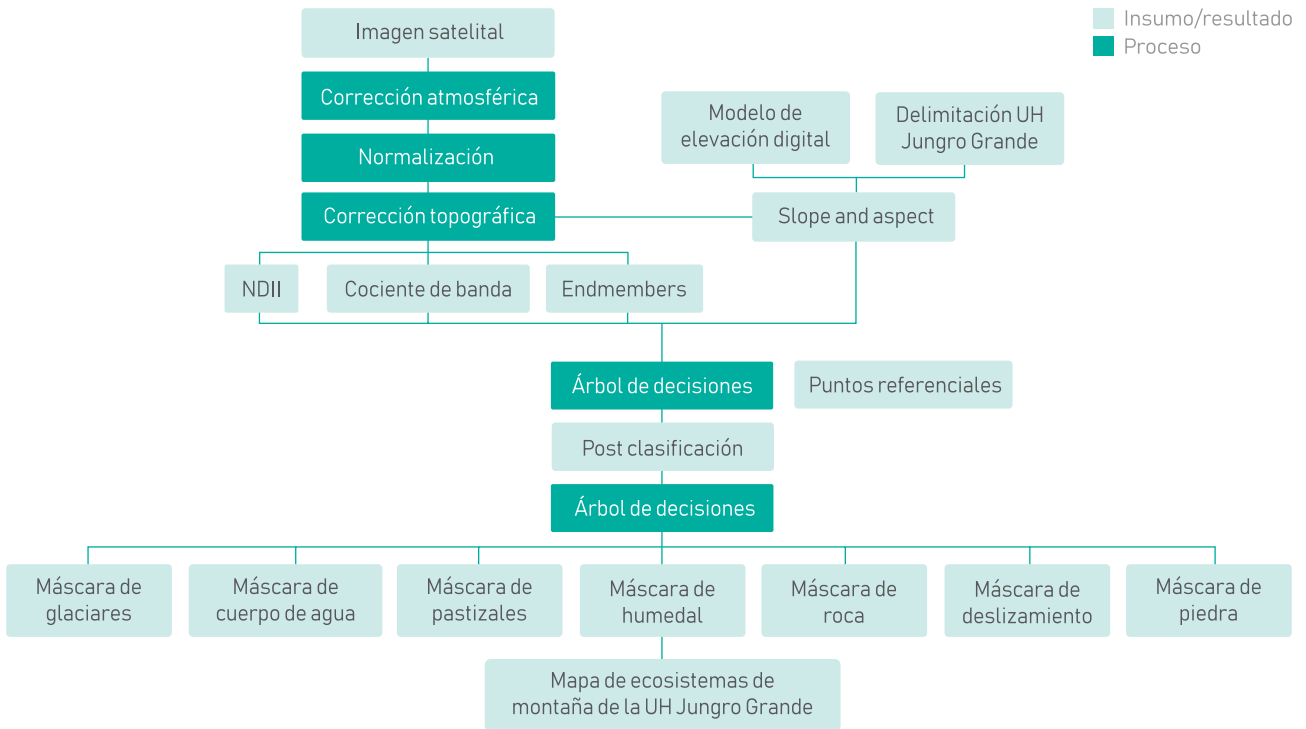


Figura 43. Flujo de procesos determinados para la elaboración del Mapa de Ecosistemas de Montaña de la UH Jungro Grande.

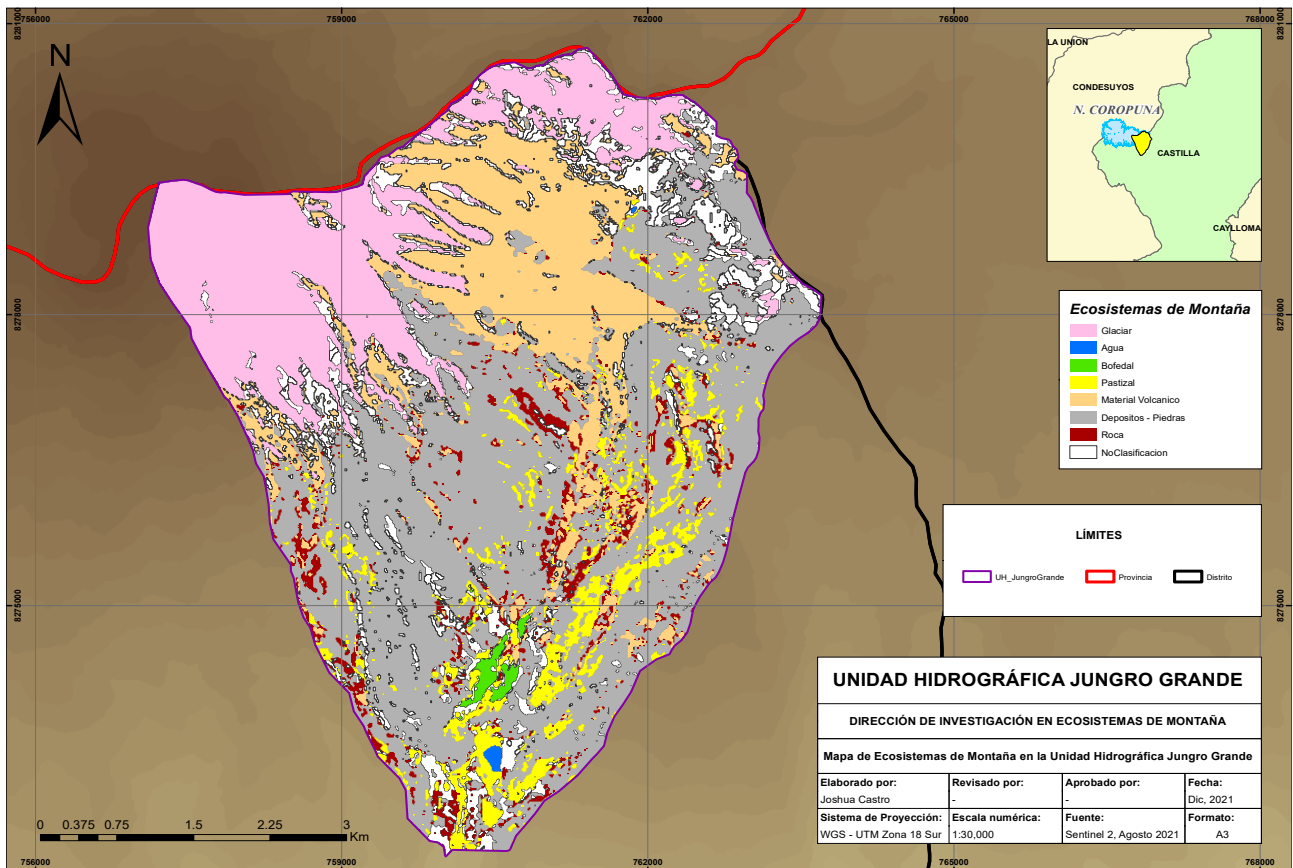


Figura 44. Resultados del Mapa de Ecosistemas de Montaña de la UH Jungro Grande.

IV. ESTUDIOS PARA ABORDAR LOS RIESGOS QUE AFECTAN A LOS ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO



Caracterización climática y del comportamiento de las heladas en ecosistemas de montaña

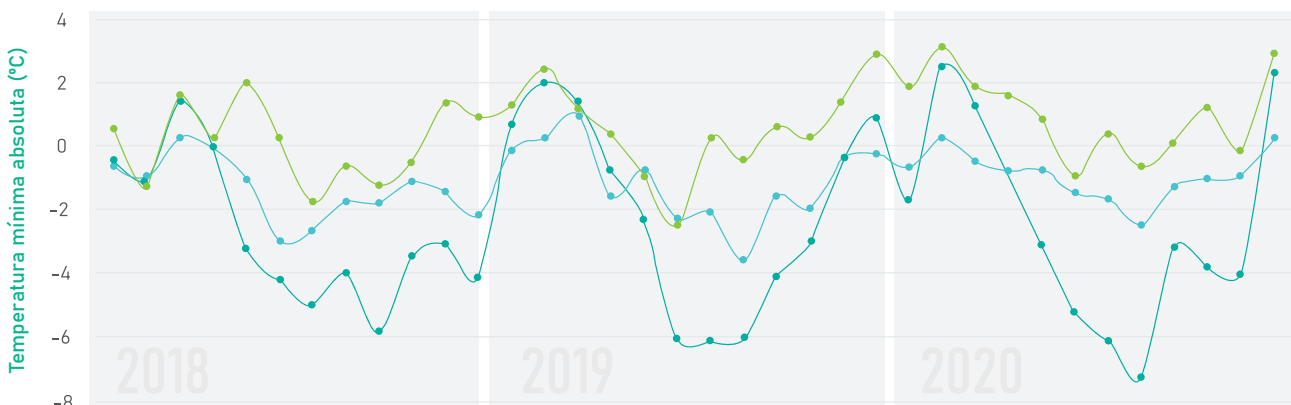
Las heladas meteorológicas afectan a la agricultura al coincidir su ocurrencia con la etapa vegetativa de los cultivos. Como parte de la identificación de accesiones de papa nativa y especies de pastos nativos deseables y resistentes a heladas en condiciones naturales, el INAIGEM realizó esta caracterización de las heladas con análisis de datos de microestaciones meteorológicas (con información continua del periodo 2018-2020) en tres áreas de estudio del Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Ecosistemas de Montaña (CICTEM) de Cátac, quebrada Llaca y sector Tayacoto (Mallqui, 2022).

La serie histórica de datos de temperaturas mínimas diarias de tres microestaciones (WatchDog 1000) en tres parcelas de investigación permite indicar que la temperatura mínima más baja en el periodo de estudio fue de $-7,20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (agosto de 2020), mientras que el periodo

de junio a setiembre presentó temperaturas mínimas absolutas más bajas. Aunque las condiciones térmicas son dependientes de la elevación, en el CICTEM —que se encuentra a menor nivel altitudinal (9852 m s. n. m.) que los otros sitios—, se registraron las temperaturas mínimas absolutas más bajas (Figura 45), lo cual puede deberse a la influencia de la latitud y la geomorfología, que repercute en el establecimiento de microclimas particulares.

La frecuencia mensual de las heladas (Figura 46) indica que su inicio ocurre al final de la temporada de lluvias (abril) y tiene su periodo más frío y frecuente de junio a setiembre, siendo julio el mes en que las heladas ocurren con mayor frecuencia e intensidad. El periodo libre de heladas se duplicó en 2019 respecto de 2018, sin incremento importante para el 2020. La variación de temperatura indica que el descenso es progresivo mientras que el incremento es más rápido; la velocidad en el incremento de la temperatura puede deberse a la mayor exposición a la radiación.

Serie histórica de datos de temperaturas mínimas diarias



| | | TAYACOTO | | | | | | | | | | | |
|------|--|----------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| 2018 | | 0,5 | -1,3 | 1,5 | 0,2 | 1,9 | 0,2 | -1,8 | -0,7 | -1,3 | -0,6 | 1,3 | 0,8 |
| 2019 | | 1,2 | 2,3 | 1,1 | 0,3 | -1,0 | -2,5 | 0,2 | -0,5 | 0,6 | 0,2 | 1,3 | 2,8 |
| 2020 | | 1,8 | 3 | 1,8 | 1,5 | 0,8 | -1 | 0,3 | -0,7 | 0 | 1,1 | -0,2 | 2,8 |

| | | LLACA | | | | | | | | | | | |
|------|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| 2018 | | -0,7 | -1,0 | 0,2 | -0,1 | -1,1 | -3,0 | -2,7 | -1,8 | -1,8 | -1,2 | -1,5 | -2,2 |
| 2019 | | -0,2 | 0,2 | 0,9 | -1,6 | -0,8 | -2,3 | -2,1 | -3,6 | -1,6 | -2,0 | -0,5 | -0,3 |
| 2020 | | -0,7 | 0,2 | -0,5 | -0,8 | -0,8 | -1,5 | -1,7 | -2,5 | -1,3 | -1,1 | -1 | 0,2 |

| | | CICTEM | | | | | | | | | | | |
|------|--|--------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| 2018 | | -0,5 | -1,1 | 1,3 | -0,1 | -3,2 | -4,2 | -5,0 | -4,0 | -5,8 | -3,5 | -3,1 | -4,1 |
| 2019 | | 0,6 | 1,9 | 1,3 | -0,8 | -2,3 | -6,0 | -6,1 | -6,0 | -4,1 | -3,0 | -0,5 | 0,8 |
| 2020 | | -1,7 | 2,4 | 1,2 | -1 | -3,1 | -5,2 | -6,1 | -7,2 | -3,2 | -3,8 | -4 | 2,2 |

Figura 45. Datos de temperaturas mínimas diarias de tres microestaciones meteorológicas.



Figura 46. Caracterización climática y del comportamiento de las heladas en ecosistemas de montaña.

Folleto sobre el drenaje ácido de roca y sus potenciales impactos ambientales

En este folleto, Montano et al. (2022) exponen la problemática del drenaje ácido de roca (DAR), un evento natural complejo vinculado a la presencia de rocas con minerales sulfurados que quedan expuestos ante el retroceso glaciar. Como parte de este proceso, se forman soluciones ácidas con metales pesados que resultan de la meteorización y reacciones bioquímicas ante el agua y oxígeno. Estos procesos impactan en la disminución de la calidad del agua, del suelo y de los ecosistemas.

En la formación del DAR (Figura 47), intervienen minerales sulfurados, donde la pirita tiene mayor relevancia para su generación, y oxidantes (exposición al aire atmosférico), y es acelerado por la presencia de ciertas bacterias acidófilas, en especial aquellas del género *Acidithiobacillus*. Otros factores que influyen de manera indirecta en la formación del DAR son la temperatura, las fuentes de agua y precipitaciones, y el pH.

Las etapas de generación del DAR son tres. La primera implica la oxidación química o bioquímica de la pirita en un proceso relativamente lento; la segunda etapa se relaciona con el incremento de la acidez; y en la tercera etapa, que ocurre de manera más acelerada, se cataliza el proceso de oxidación, aumenta la producción de ácido y se liberan otros metales pesados. La oxidación y lixiviación de rocas mineralizadas, expuestas ante retroceso glaciar, produce el DAR y moviliza metales (como aluminio, hierro, cromo, cadmio, manganeso y arsénico) hacia los cuerpos de agua.

Como potenciales impactos negativos del DAR en seres humanos, el consumo de agua y alimentos expuestos a este puede generar problemas gastrointestinales y, en el sistema nervioso principalmente, afectaciones que variarán de acuerdo con el tipo y contenido de metales presentes. La calidad del agua y suelo también se ven comprometidas ante este proceso.

Para abordar este problema, existen tecnologías de tratamiento pasivo, activo e *in situ* según el nivel de intervención operacional, mantenimiento y vigilancia. Dos tecnologías de tratamiento pasivo son la fitorremediación, que consiste en el uso de plantas para el transporte de metales desde el suelo contaminado hasta sus brotes para luego gestionar la cosecha/residuo, y la barrera reactiva permeable, compuesta de reactivos porosos (que variarán de acuerdo con las características del sitio) que capturan y degradan el contaminante.

En el Perú, las zonas periglaciares registran problemas de DAR y se identifican indicios en Áncash, Lima, Junín, Cusco, Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno. Ante este problema, el INAIGEM se encuentra desarrollando trabajos para precisar la identificación de sitios con DAR y profundizar en los impactos en los ecosistemas aledaños y en los medios de vida de las personas.

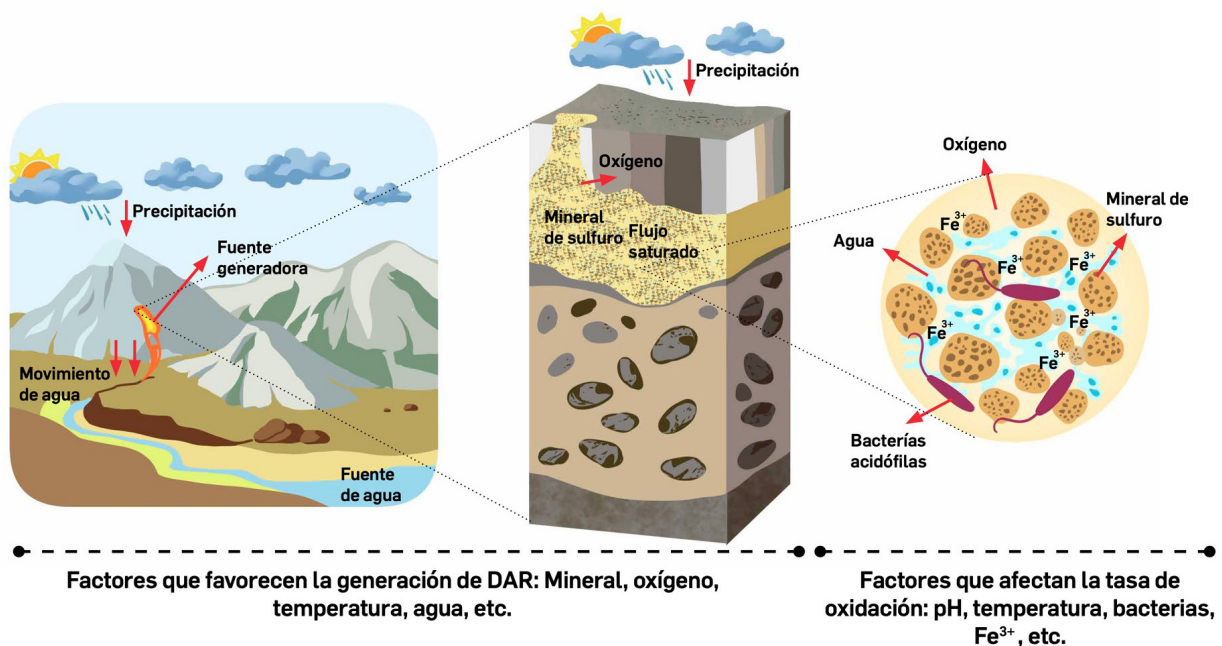


Figura 47. Dinámica de factores en la generación de DAR.

Diagnóstico sobre el drenaje ácido de roca en la UH del río Negro (quebrada Uquián), Cordillera Blanca, departamento de Áncash

Este informe técnico (Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares, 2022a) aborda el drenaje ácido de roca (DAR) en la quebrada Uquián, ubicada en la Cordillera Blanca, distrito de Oljeros, Huaraz, Áncash. La investigación se llevó a cabo del 19 al 25 de agosto de 2022 con el objetivo de diagnosticar las condiciones ambientales causadas por el DAR a través de un estudio geológico, geomorfológico e hidrológico. Como se ha mencionado previamente, este proceso —vinculado al retroceso glaciar y la exposición de minerales sulfurados— genera acidez en los cuerpos de agua, lo que afecta tanto el ecosistema como la calidad del agua para el consumo humano.

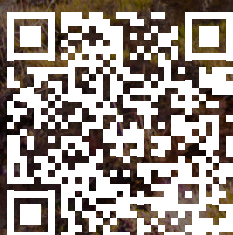
El estudio incluyó la recolección de 28 muestras de roca en puntos de interés geológico para analizar e identificar la litología y composición mineralógica. En la UH río Negro se observa una secuencia estratigráfica de rocas sedimentarias detríticas de la formación Chicama (Js-ch) y depósitos cuaternarios de origen glaciar (Q-gl), fluvio-glaciar (Q-fg) y lacustrino (Q-la). Se identificaron minerales con presencia de hierro (Fe) en rocas

metasedimentarias (lutitas y arsénicas). Estos minerales, al oxidarse debido a la erosión y exposición, generan condiciones ácidas que afectan la calidad del agua.

Se evaluaron 21 puntos de agua superficial en la cabecera de cuenca, afluentes laterales y río principal, antes y después de fuentes contaminantes y difusas, y en la salida de lagunas y embalses. Se encontraron pH ácidos (el pH promedio es 4,07) y altas concentraciones de hierro (promedio de 28,59 mg/L), aluminio (promedio 3,83 mg/L), manganeso (promedio 1,08 mg/L), zinc (promedio 0,233 mg/L) y níquel (promedio 0,085 mg/L). En varios puntos de muestreo, las concentraciones de estos elementos excedieron los límites establecidos por el estándar de calidad ambiental. Estos resultados confirman que la UH río Negro se encuentra contaminada por DAR.

A partir de estos resultados, se ha diseñado un plan de trabajo que incluye estudios geológicos y monitoreo anual de los parámetros fisicoquímicos del agua para evaluar la evolución del DAR, especialmente durante las estaciones húmedas y secas. Asimismo, es crucial desarrollar estrategias de mitigación para reducir los riesgos asociados al DAR, de modo que se proteja la salud pública y los recursos hídricos de las poblaciones afectadas.

Conoce más



Evaluación de calidad y cantidad de agua en sitios con problemas de drenaje ácido de roca en la Cordillera Blanca, departamento de Áncash

En este informe técnico, Montano Chávez (2022) se enfoca en la evaluación de la calidad y cantidad de agua en seis zonas de la Cordillera Blanca, Perú, que presentan posibles problemas de drenaje ácido de roca (DAR). Estas áreas son las unidades hidrográficas (UH) de Pachacoto, Pariac-Rajucolta, las microcuencas de Quillcayhuanca y Shallap, la microcuenca del río Pucavado, y la subcuenca del río Negro. El retroceso glaciar en la Cordillera Blanca ha expuesto rocas mineralizadas que, al estar en contacto con agua y oxígeno, generan DAR, un proceso que libera metales pesados (como aluminio, hierro, manganeso y zinc) en los cuerpos de agua.

Estas zonas están localizadas en áreas con altitudes que oscilan entre los 3700 y 5950 m s. n. m., que forma parte de la cuenca del río Santa. Las UH Pachacoto y Pariac-Rajucolta se encuentran en la vertiente hidrográfica del Pacífico, mientras que la microcuenca Pucavado constituye parte de la cuenca del río Puchka, un tributario del Amazonas.

La investigación se llevó a cabo en dos periodos: la temporada húmeda (mayo de 2021) y la temporada seca (agosto-septiembre de 2021). Se realizaron mediciones de campo de parámetros fisicoquímicos del agua (pH, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura, entre otros), y se recolectaron muestras de agua y sedimentos en cada una de las estaciones de monitoreo. Las muestras fueron analizadas en laboratorio con el uso de espectrometría de masas acoplada por plasma inductivo (ICP-MS) para detectar la presencia de metales pesados, cuyos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos por el Decreto Supremo n.º 004-2017-MINAM. También se midió el caudal de las corrientes con un correntómetro electromagnético, lo que permitió establecer una relación entre la cantidad de agua y las concentraciones de metales en cada zona.

Los resultados revelaron que en varias de las UH estudiadas, como Pachacoto, Pariac-Rajucolta y las microcuencas de Quillcayhuanca y Shallap, se presentaron concentraciones significativas de metales pesados, especialmente aluminio, manganeso, zinc y hierro. En algunos casos, estas concentraciones exceden los límites permitidos por los ECA, lo que indica un deterioro en la calidad del agua, relacionado con el DAR.

Por ejemplo, en la UH Pachacoto, el pH se mantuvo muy bajo (valores menores a 4 en algunas estaciones), acompañado de altas concentraciones de aluminio y manganeso, que superaron los límites normativos hasta 18,4 veces en el caso del manganeso. Situaciones similares se encontraron en la microcuenca de

Quillcayhuanca, donde las concentraciones de zinc y manganeso excedieron los estándares permitidos.

Este estudio evidencia que el DAR está contribuyendo a la acidificación de los cuerpos de agua en las zonas de estudio, lo que afecta tanto la calidad del agua como los ecosistemas acuáticos. Las concentraciones elevadas de metales pesados, especialmente de manganeso y aluminio, son preocupantes debido a su toxicidad y capacidad para bioacumularse en organismos vivos, que perjudican la flora y fauna local.

El análisis de la relación entre el caudal de las corrientes y la concentración de metales mostró que, en muchos casos, los niveles de metales aumentan durante la temporada seca, posiblemente debido a la disminución del volumen de agua disponible para diluir los contaminantes.

Con base en estos resultados, se sugiere implementar medidas de mitigación para controlar la generación de DAR en las zonas de estudio. Esto podría incluir la estabilización de las áreas expuestas al retroceso glaciar para minimizar la oxidación de las rocas mineralizadas. Asimismo, se recomienda un monitoreo continuo de la calidad del agua y la expansión del análisis a otros parámetros ambientales para comprender mejor los efectos a largo plazo de los metales pesados en los ecosistemas de montaña.

Percepciones locales de la calidad del agua en la cabecera del río Santa, departamento de Áncash

Como parte del proyecto Nuestro Río, esta publicación (Rangecroft et al., 2023) recoge y analiza las perspectivas locales sobre la calidad del agua en la cuenca alta del río Santa, ubicada en la Cordillera Blanca, Perú. Esta región, dependiente del deshielo glaciar, es esencial para el suministro de agua de más de 1,6 millones de personas. Las comunidades locales en esta área utilizan el agua para consumo doméstico, agricultura y ganadería. Sin embargo, los efectos del cambio climático y la pérdida de glaciares están afectando tanto la cantidad como la calidad del agua: la cuenca presenta problemas de contaminación por drenaje ácido de roca (DAR) y presencia de metales pesados en los cuerpos de agua.

Con énfasis en las subcuencas de Olleros y Cátac, esta investigación utilizó un enfoque de métodos mixtos para recoger datos cuantitativos y cualitativos. Se implementó la aplicación móvil Nuestro Río, diseñada para recopilar datos geospaciales sobre la calidad del agua a partir de las percepciones locales, junto con entrevistas semiestructuradas basadas en las preguntas de la aplicación. Se recolectaron un total de 149 entradas de datos mediante la aplicación y se llevaron a cabo 84 entrevistas en profundidad en las comunidades de Olleros y Cátac durante los meses

de julio y agosto de 2021. La aplicación permitió a los participantes calificar la calidad del agua en una escala de Likert de 1 (muy mala) a 5 (muy buena), y se exploraron las emociones asociadas a la calidad del agua, que incluyeron la tristeza, el miedo y la felicidad.

Los resultados revelaron una variabilidad significativa en las percepciones locales de la calidad del agua, tanto entre comunidades como dentro de ellas (Figura 48). En general, las percepciones de mala calidad del agua estuvieron relacionadas con la presencia de minerales y otros contaminantes derivados del DAR, lo que afectó el color, olor y sabor del agua. En Cátac, los problemas de calidad del agua se perciben de manera mucho más negativa en las áreas aguas abajo y en las subcuencas afectadas por la actividad minera. En Olleros, las zonas más afectadas por DAR se encuentran en los tributarios del río Negro, como Rurec y Uquián. Las entrevistas también revelaron que la comunidad relaciona la calidad del agua con su uso, donde se destaca que el agua con mala calidad no es adecuada para el consumo humano, la irrigación de cultivos o la ganadería.

La investigación demostró que las percepciones locales de la calidad del agua están fuertemente influenciadas por factores tanto naturales como sociales. La contaminación minera y el DAR fueron identificados como las principales causas de la mala calidad del agua en la región, lo que coincide con estudios previos sobre la cuenca del río Santa. Sin embargo, las percepciones también se vieron afectadas por el manejo del agua y las infraestructuras inadecuadas, particularmente en las zonas rurales. Los hallazgos resaltan la importancia de incorporar el conocimiento ecológico tradicional y las percepciones locales en la gestión de los recursos hídricos, ya que las evaluaciones basadas únicamente en mediciones fisicoquímicas no capturan completamente las preocupaciones de las comunidades locales.

Este estudio sugiere la necesidad de enfoques más inclusivos para la gestión de los recursos hídricos, que integren la ciencia ciudadana y el conocimiento local para mejorar la comunicación científica y la implementación de políticas.

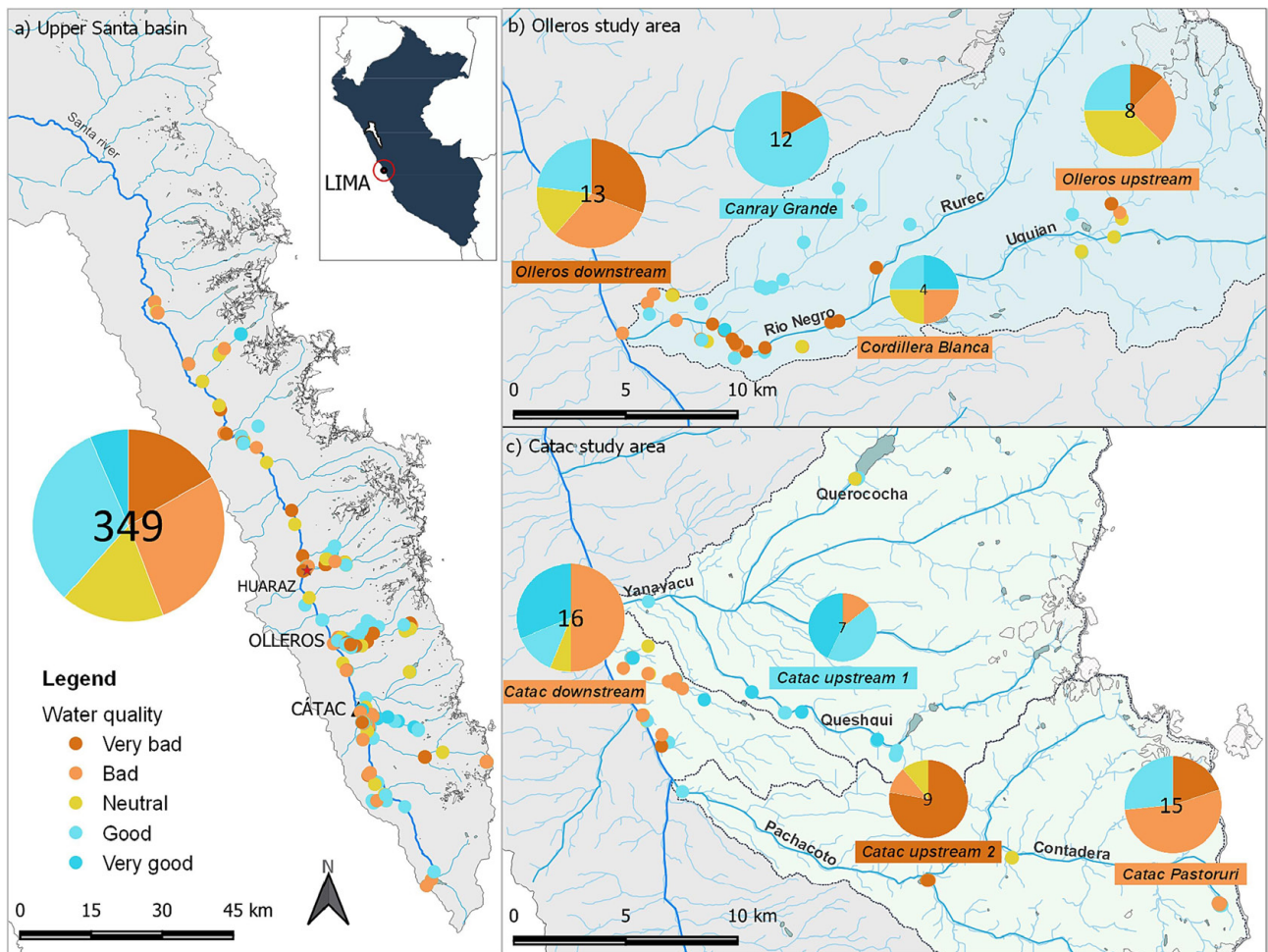


Figura 48. Variabilidad de las percepciones locales sobre la calidad del agua.

Integración de información para la gestión del riesgo de desastres en las subcuencas río Blanco-Santa Cruz y Pariac-Rajucolta, Cordillera Blanca, departamento de Áncash

Este informe técnico, elaborado por Moschella Miloslavich (2022), integra información que describe las subcuencas río Blanco-Santa Cruz y Pariac-Rajucolta. Para ambas unidades hidrográficas, presenta una caracterización física y socioeconómica, los ecosistemas que allí se encuentran, recursos valorados, peligros que pueden afectar sus ecosistemas y medios de vida, recursos aprovechables que se verían afectados por esos peligros y un análisis de capacidad y vulnerabilidad.

Subcuenca río Blanco-Santa Cruz

La subcuenca río Blanco-Santa Cruz se ubica en el distrito de Santa Cruz, provincia de Huaylas, Áncash, y se extiende por 236 km². Aquí predomina el ecosistema de pastizal (1652 hectáreas), donde predomina la especie invasora kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), seguido del matorral (415 hectáreas) y humedales (53 hectáreas) (Figura 49). Los bosques relictos se encuentran dispersos en quebradas donde destaca la presencia de queñual (*Polylepis spp.*). Los principales centros poblados son Huaripampa y Tzactza en el margen izquierdo, y Huancarhuaz y Hualcayan en el margen derecho.

El agua es altamente valorada en esta subcuenca, especialmente para el desarrollo de la agricultura. La disponibilidad de agua cubre la demanda, aunque con limitaciones de junio a septiembre, y su calidad es buena de acuerdo con los monitoreos realizados por el INAIGEM. No obstante, existe la percepción de que el agua ha disminuido en la última década, así como la pérdida de calidad de pastos que ha llevado —según los informantes— a la pérdida de peso en el ganado vacuno y ovino. Después de la agricultura, el turismo es la actividad estacional que genera ingresos a la población de esta subcuenca, ya que su territorio coincide con las rutas hacia el Parque Nacional Huascarán.

Entre los peligros que pueden afectar a los ecosistemas de la subcuenca, el principal es el aluvión. En marzo de 1997 y febrero de 2012 ocurrieron aluviones a causa de desembalses de la laguna Artizon Bajo que llegaron hasta la laguna Jatuncocha. El aluvión de 2012 sepultó 236 hectáreas de ecosistemas en el fondo del valle con una capa de tierra y fragmentos de roca de más de un metro de espesor. De ellas, 106

hectáreas corresponden a humedales, 47 hectáreas a pastizales y matorrales, seis hectáreas a bosque relicto y diez hectáreas a lagunas. La calidad del agua se vio afectada por la cantidad de sedimentos y acidez, la menor disposición de áreas de pastoreo generó que se traslade el ganado a zonas más altas y frágiles, y la calidad del paisaje de interés turístico se vio reducida.

Los recursos aprovechables en los ecosistemas de montaña de la subcuenca río Blanco-Santa Cruz se verían afectados por la pérdida o degradación de pastos naturales para la ganadería a causa de aluvión, deslizamiento, lluvias intensas o sequía; problemas de calidad de agua para la población por aluvión o deslizamiento; problemas de abastecimiento de agua para la población y riego de cultivos por sequía; y degradación de paisajes de atracción turística por aluvión o deslizamiento.

Las capacidades de la población de esta subcuenca se reflejan en la diversificación de actividades y habilidades, la vigencia de labores conjuntas (limpieza de canales, asociaciones, redes familiares, participación en la toma de decisiones) y el vínculo con la localidad (la migración no es la principal estrategia de vida). Sin embargo, la dependencia de una sola subcuenca, el uso poco sostenible de agua y pastos, el bajo nivel de innovación y los ingresos económicos limitados configuran la vulnerabilidad de la población de la subcuenca río Blanco-Santa Cruz.

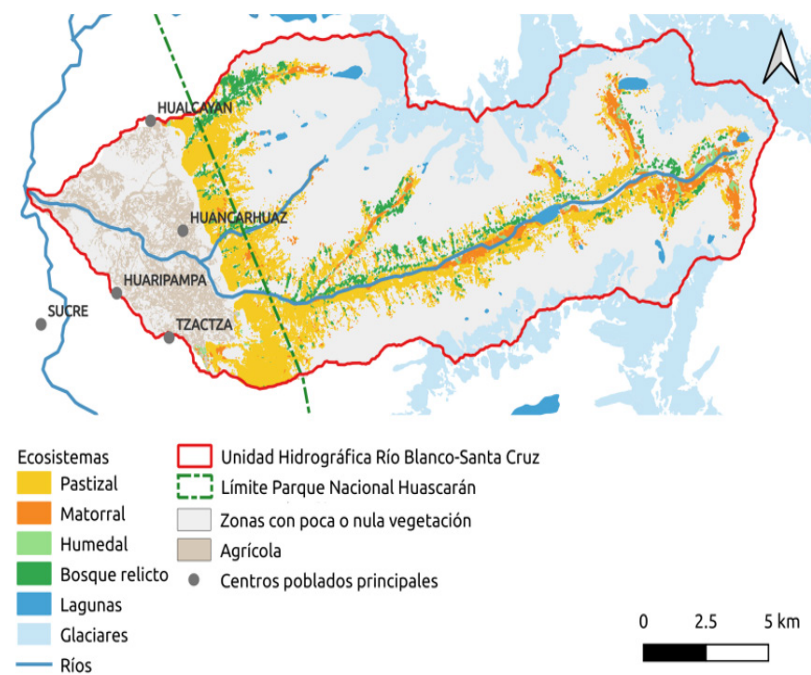


Figura 49. Mapa de ecosistemas y otras coberturas de la tierra en la subcuenca río Blanco-Santa Cruz.

Subcuenca Pariac-Rajucolta

Ubicada en la parte alta de la cuenca del río Santa, distrito de Huaraz y provincia homónima, la subcuenca Pariac-Rajucolta se extiende sobre 107 km². El ecosistema más extenso en esta subcuenca es el de pastizal (3879 hectáreas), donde predominan las especies *Lachemilla pinnata* y *Calamagrostis macrophylla*, seguido de matorrales (969 hectáreas) y bosque relicto (115 hectáreas). Los humedales de Pariac-Rajucolta cubren 114 hectáreas en el fondo del valle, cerca del río principal, donde predomina la especie *Plantago tubulosa* (Figura 50).

Macashca, Nueva Florida y Yanacoshca son los centros poblados más grandes. La organización social principal en la subcuenca es el Comité de usuarios de pastos de la quebrada de Rajucolta, conformada por 75 asociados de los cuales solo cinco viven en la subcuenca. Su importancia corresponde con que el recurso más usado en la cuenca sean los pastos naturales —con especies de plantas forrajeras— para la crianza de ganado vacuno y ovino. Al igual que en río Blanco-Santa Cruz, la mayoría percibe la reducción del peso de su ganado a causa de la condición de los pastos; también, la demanda de agua es ampliamente atendida. Producto de la reducción de los glaciares, se prevé que al 2050 se formará una nueva laguna en la subcuenca. Las plantaciones de eucalipto y pino son otros recursos aprovechables con fines maderables.

El principal peligro en Pariac-Rajucolta es el aluvión. Se tiene registro que en 1883 ocurrió un aluvión en Macashca a causa del desborde de la laguna Tambillo (Rajucolta). Los recursos que la población aprovecha de los ecosistemas en esta subcuenca podrían ser afectados por la pérdida o degradación de pastos debido al aluvión, deslizamiento, lluvias intensas o sequía; problemas de calidad de agua para la población por aluvión o deslizamiento; y problemas de abastecimiento de agua para la población y riego de cultivos por sequía.

Entre las capacidades para afrontar y recuperarse ante peligros en esta subcuenca, existe una baja dependencia de parte de sus habitantes a los ecosistemas de montaña, puesto que los usuarios de pastos no residen en la subcuenca y desarrollan la ganadería extensiva como una actividad complementaria. La diversificación de actividades y habilidades también significaría que un peligro —por ejemplo, un aluvión— no afecte el ingreso principal de la mayoría. Otra capacidad es la aceptable cohesión y participación social (84 % respondió que participa en la toma de decisiones importantes para su localidad). Por otro lado, la falta de conciencia de que se trata de una zona de riesgo, el uso poco sostenible de pastos y los ingresos económicos limitados configuran la vulnerabilidad en Pariac-Rajucolta.

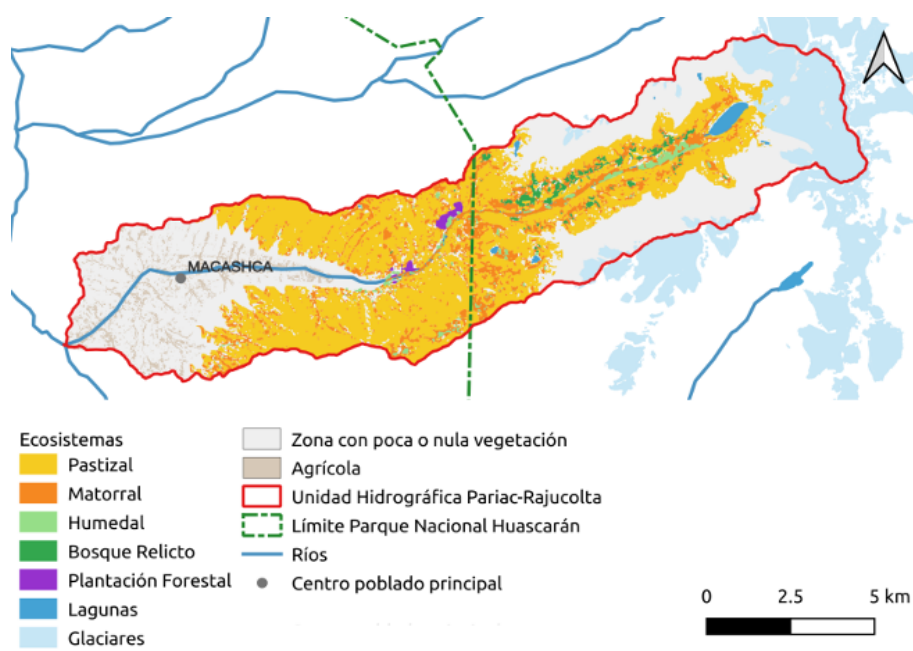


Figura 50. Mapa de ecosistemas y otras coberturas de la tierra en la subcuenca Pariac-Rajucolta.

V. PROMOCIÓN DEL TURISMO SOSTENIBLE A PARTIR DE LA INFORMACIÓN GENERADA



Guía Ecoturística “Rutas ecosistémicas asociadas al agua: Cusco, Valle Sagrado de los Incas”

La microcuenca Piuray ha sido escenario de experiencias pioneras de recuperación de servicios ecosistémicos y de innovaciones institucionales para la gobernanza a escala hidrográfica. La labor del INAIGEM en Piuray es desarrollar estudios para conocer la efectividad de estas prácticas de recuperación de servicios ecosistémicos, en particular de regulación hídrica, para lo cual ha instalado parcelas de investigación en la quebrada Ichucancho, parte de la comunidad indígena de Umasbamba. Con esa información, apunta a contribuir al fortalecimiento de capacidades para la eficiente gobernanza de los recursos hídricos en la microcuenca.

En la microcuenca de Piuray, que forma parte de la cuenca del Vilcanota, se ubica la laguna Piuray, donde se han identificado más de veinte servicios ecosistémicos. Entre estos, destaca el aprovisionamiento de agua para consumo humano de la ciudad de Cusco. Esta microcuenca cuenta con un plan de afianzamiento hídrico con cuatro líneas de acción para la protección y regeneración de los ecosistemas naturales a través de la

infraestructura natural, la implementación de la gestión de la información hidrometeorológica, el fortalecimiento de capacidades y organizaciones de los actores involucrados en la gobernanza del agua y la promoción de investigación vinculada con la recuperación de estos servicios ecosistémicos.

La guía ecoturística “Rutas ecosistémicas asociadas al agua: Cusco, Valle Sagrado de los Incas” tiene el propósito de valorar los servicios ecosistémicos a través de la promoción de estas rutas ecoturísticas en la microcuenca Piuray. En esta guía, además de encontrar información histórica sobre la ciudad del Cusco e información de interés (restaurantes, teléfonos de emergencia y calendario festivo), se puede encontrar información sobre los ecosistemas y propuestas para su recuperación y las diez rutas ecosistémicas asociadas al agua (ver Tabla 1, elaboración propia con base en la información de las páginas 72 y 73 de la guía), cada una con un mapa y perfil longitudinal, trayecto, información sobre ecosistemas predominantes en ella y diversidad biológica. La versión impresa de esta guía, en formato bolsillo, cuenta con un mapa que consolida las diez rutas.

Tabla 1.
Resumen de las rutas ecosistémicas asociadas al agua

| N.º | Nombre de la ruta | Longitud | Descripción |
|-----|--|----------|---|
| 1 | Ruta Qhapaq-Ñan: Chinchero-Urquillos | 9,5 km | Inicia en el complejo arqueológico Chinchero hasta el poblado de Urquillos. En el recorrido se observa la catarata de Poc Poc. |
| 2 | Ruta Chinchero-catarata Poc Poc-Cuper Ccasa | 8,3 km | Inicia en el complejo arqueológico Chinchero y llega a la catarata de Poc Poc para avanzar a la comunidad de Cuper. |
| 3 | Ruta Tambomachay-Huchuy Qosqo | 18,4 km | Inicia en el sitio arqueológico Tambomachay y concluye en el sitio arqueológico Uchuy Qosqo, para descender por una ruta del Qhapaq Ñan. |
| 4 | Ruta Ccorao-Huchuy Qosqo | 16 km | Inicia en la comunidad de Ccorao en ascenso a la laguna Qoricocha hasta Qimsa Cruz, para descender por el sitio arqueológico Uchuy Qosqo. |
| 5 | Ruta Qhapaq Ñan: Tauca-Huchuy Qosqo | 9,2 km | Inicia en la comunidad de Tauca, luego por un Qhapaq Ñan hasta Huchuy Qosqo y la laguna Cusiqocha. |
| 6 | La ruta del agua: Millpu-Ichucancho | 10 km | Inicia en la cabecera de la quebrada Millpu, se sigue por la quebrada Can Can, Kusiqocha, Chinchay Bosinniyoq, por la divisoria de aguas de Tauca y Umasbamba, y se concluye en Ichucancho. |
| 7 | Ruta Chinchero-Sacsayhuamán | 21,4 km | Inicia en la iglesia Nuestra Señora de la Natividad en Chinchero, y finaliza en el parque arqueológico nacional de Sacsayhuamán. |
| 8 | Ruta transversal Can Can-Cuper Alto | 3,9 km | Inicia en la parte alta de la quebrada Can Can, a 4360 m s. n. m., en descenso hasta los 3750 m s. n. m. En el recorrido se puede observar la ejecución de obras de infraestructura natural. |
| 9 | Ruta transversal Umasbamba-Mallkicancho | 3,3 km | Inicia en la plaza de Umasbamba y conecta a la ruta que proviene de Tambomachay, en dirección a Huchuy Qosqo, en Mallkicancho. En esta ruta se puede observar la laguna Piuray desde el extremo oeste. |
| 10 | Ruta transversal Valle Chosica-Hatun Tayta-Huchuy Qosqo o Sacsayhuamán | 5,2 km | Se trata de una nueva ruta que la comunidad Valle de Chosica apertura y que atraviesa una de las cumbres más altas del <i>apu</i> Hatun Tayta desde donde se puede observar las lagunas Piuray y Qoricocha. |

Guía “Rutas del cambio climático y geoparque del glaciar Quelccaya”

El glaciar Quelccaya, ubicado entre los departamentos de Puno y Cusco, es el segundo casquete glaciar tropical más grande del mundo, pues se extiende en 134 kilómetros entre las cordilleras La Raya y Carabaya. Solo entre 1976 y 2020, la superficie de hielo se redujo en 46 %, lo que evidencia su vulnerabilidad al cambio climático. Políticamente, su ámbito coincide con los territorios de los distritos Pitumarca, Checacupe, Corani y Macusani, así como en el de las comunidades campesinas de Phinaya, Chimboya-Aymaña, Quelcaya, Chacaconiza, Corani-Aconsaya, Isivilla y Tantamaco-Ninahuisa, donde el principal medio de vida es la crianza de alpacas.

En su ámbito de influencia alberga ecosistemas de lagos y lagunas, bofedales, pajonales de puna húmeda, zonas periglaciares y glaciares. A una altitud de 4000 a 5700 m s. n. m., su clima se caracteriza por ser frío, semifrío y

húmedo, con variaciones de temperatura entre los -7°C y 15°C . Además de ser un lugar de gran biodiversidad, en el ámbito de influencia del glaciar Quelccaya se encuentra la laguna Sibinacocha, represada para regular el caudal del río Vilcanota para asegurar la generación de energía en la Central Hidroeléctrica Machupicchu, y presenta yacimientos metálicos y no metálicos.

Esta guía tiene el propósito de presentar los paisajes del ámbito de influencia del glaciar Quelccaya con potencial de convertirse en recursos turísticos y contribuir a la creación de un geoparque, así como mostrar los impactos del cambio climático en su ámbito de influencia. En el documento se puede encontrar una revisión de las montañas glaciares y el cambio climático, la labor del INAIGEM en este ámbito, una caracterización de las inmediateces del glaciar, su contexto biofísico y socioeconómico y los 71 lugares de interés con potencial turístico que son parte de las seis rutas del cambio climático y del geoparque (ver Tabla 2).

Tabla 2.
Resumen de las rutas del cambio climático y geoparque glaciar Quelccaya

| N.º | Nombre de la ruta | Longitud | Descripción |
|-----|----------------------------------|----------|--|
| 1 | Tramo CC01 Jahuaycate-Phinaya | 60,6 km | Inicia a 5070 m s. n. m., en el abra Jahuaycate hacia Phinaya. Esta ruta incluye miradores de camélidos, las lagunas de Cocha Uma, Sibinacocha y Ccasccara, y el cañón del Sacca. |
| 2 | Tramo CC02 Phinaya-Quelccaya | 64,9 km | En este tramo se podrá visitar el sector Qori Kalis del glaciar, el bofedal Ccochahuma y la laguna Ritiananta, los miradores Sorayoc y Ajoaysanapampa, desde el que se observa la cumbre del Quelccaya y el cañón de Ritiananta. |
| 3 | Tramo CC03 Laguna Accocancha | 9,9 km | Este trayecto de puna húmeda incluye visitas al valle glaciar Ojejocha, las lagunas Accocancha y Lluchuyoc Cocha. |
| 4 | Tramo CC04 Desvío Phinaya-Aymaña | 16,7 km | En esta ruta se observa el valle glaciar desde el abra Chimboya. También se encuentran los miradores Pucaccacca y Pachachani. |
| 5 | Tramo CC05 Aymaña-Quelcaya | 32,3 km | Los principales atractivos en esta ruta son el mirador Jaylluwa, desde donde se observa un extenso bosque de rocas, y el centro poblado de Quelcaya |
| 6 | Tramo CC06 Quelcaya-Macusani | 80,68 km | Los miradores del glaciar Quelccaya, Yapamayo y Allin Ccapac, el bosque de rocas Payocucho, las lagunas Jatungaga y Ccochapata, y la ciudad de Macusani son los principales atractivos de esta ruta. |
| 7 | Tramo GR01 Macusani-Pacunasa | 37,8 km | El recorrido inicia en la ciudad de Macusani e incluye visitas a las pinturas rupestres de Huararani, el bosque de rocas de Huaracpampa, el centro de esquí Smgall, los baños termales de Ácora, la catarata Ninahuisa y el bosque de rocas Pacunasa. |
| 8 | Tramo GR02 Pacunasa-Quelcaya | 36,3 km | Desde el centro poblado de Quelcaya, este tramo incluye visitas a la laguna Perhuacara, las dunas de montaña, el mirador Muela del Diablo, mirador al nevado Jatuncucho, y el bosque de rocas Sillatira. |
| 9 | Tramo GR03 Quelcaya-Aymaña | 37,3 km | Desde la trocha al caserío Collpapata, este tramo incluye el mirador del centro poblado de Quelcaya, el valle encantado Jaylluwa, la roca fúngica, el bosque de rocas Jaylluwa y su mirador, el cañón de Jaylluwa, el túnel Chinkana y el arte rupestre de Titulmachay, Ccala Campana y el mirador Aymaña. |
| 10 | Tramo GR04 Desvío-Isivilla | 35,3 km | Desde la trocha al caserío Acora, este ruta incluye el mirador Chullimpi, el bosque de rocas Vallesteria, el bosque de rocas Jaylluwa, el mirador Yapamayo, el bosque de rocas Payocucho, el mirador Dinosaurio Rex, la formación rocosa Huiñira Pujo, el bosque de rocas Oqhoruni y la formación rocosa Isivilla. |
| 11 | Tramo GR05 Aymaña-Tantamaco | 34,8 km | Desde el centro poblado de Aymaña, este tramo incluye la visita a los centros poblados de Corani e Isivilla, un mirador del centro poblado de Corani, el centro poblado de Tantamaco y el sitio arqueológico Marca Marca. |
| 12 | Tramo GR06 Tantamaco-Macusani | 36 km | Inicia en el centro poblado de Tantamaco e incluye las pinturas rupestres de Chaqatira, de Qolpapuquio y de Huanca Huanca. |

VI. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN



Proyecto Perú GROWS

El proyecto "Retroceso glaciar y su impacto en la seguridad hídrica en el Perú" (Perú GROWS) fue parte de un grupo de proyectos del Círculo de Investigación en Glaciares, con fondos de Prociencia, la embajada británica y el Fondo Newton-Paulet en el marco de la convocatoria E031-2018-01-NERC (contrato n.º 08-2019-FONDECYT). El objetivo principal del proyecto, que tuvo una duración de tres años desde 2019 a 2021, fue mejorar la resiliencia de las comunidades y los ecosistemas andinos del Perú ante la inseguridad hídrica generada por los cambios en los glaciares y el clima. Para ello, el área de estudio fue la cuenca alta del río Santa, donde se buscó cubrir la brecha de información actual para lograr una eficiente gestión del recurso hídrico que considere los cambios generados por los impactos del retroceso glaciar y el cambio climático. Los trabajos de campo —basados en la recopilación de la información base socioeconómica, cartográfica, hidrológica, meteorológica, glaciológica, geofísica, biológica y fisicoquímica— se realizaron en las unidades hidrográficas de Lullán, Ranrahirca, Áncash, Casca, Quillcay y Yanayacu en la Cordillera Blanca. Para el modelamiento hidrológico se recopiló información de las unidades hidrográficas Urcay, Huata, Santo Toribio y Utcuyacu en la cordillera Negra.

En 2022, se llevó a cabo el cierre operativo del proyecto Perú GROWS. Entre sus logros destacan: un estudio de línea de base socioecológico con indicadores socioeconómicos clave para las unidades hidrográficas Lullán, Quillcay y Yanayacu, así como a nivel del río Santa; modelamientos climáticos e hidrogliaciológicos (simulación de escorrentía y balance de masa glaciar) de alta resolución proyectados para el presente y futuro de la cuenca alta de río Santa; la calibración y validación de un modelo hidrológico WEAP; y la proyección de los impactos en los ecosistemas acuáticos y terrestres bajo distintos escenarios climáticos futuros. Además, se identificaron las condiciones necesarias para garantizar la seguridad hídrica en el presente y el futuro mediante el desarrollo de estrategias, políticas y soluciones de mitigación y adaptación frente a la inseguridad hídrica y los efectos del cambio climático.

Proyecto PantBioGlaciar

El proyecto de aplicación avanzada "Aporte social, económico y ambiental en la conservación y pérdida de la biodiversidad marina-lacustre por el retroceso glaciar" o PantBioGlaciar tuvo una duración de tres años y un cierre operativo en 2022. Su objetivo fue conocer el impacto social, económico y ambiental a consecuencia del retroceso glaciar sobre la biodiversidad marina y lacustre, en los Andes y en la península Antártica.

Como parte del proyecto, se realizó una caracterización de muestras biológicas acuáticas marino-lacustres e identificación de microalgas tóxicas causadas por el

cambio de temperatura en la península Antártica y en la quebrada Parón y Querococha de la Cordillera Blanca; los resultados fueron expuestos en un artículo científico y dos tesis de pregrado. Se caracterizó el sedimento glaciar como medio de concentración de contaminantes y determinar su efecto en la biodiversidad del mar de la bahía del Almirantazgo y en la laguna Shallap; fueron expuestos en tres artículos científicos. Se recolectaron muestras de nieve en el glaciar Artesonraju y muestras de agua de las lagunas Artesoncocha (baja y alta) y Parón, para analizar temperatura y precipitación, y la concentración de metales y carbono negro en el glaciar Artesonraju, resultados mostrados en un artículo científico y dos tesis, una de pregrado y otra de posgrado. Finalmente, se realizó un taller en la UH Quillcay para identificar y priorizar los servicios ecosistémicos, 300 encuestas sobre la disponibilidad a pagar en la población rural en Quillcay y otras en la ciudad de Huaraz — que incluyeron a los representantes de la Empresa Prestadora de Servicios Chavín— para determinar el índice de seguridad hídrica en el distrito; los resultados fueron parte de dos tesis de pregrado y posgrado.

Proyecto Permafrost

El proyecto "Evaluación y estimación de la distribución espacio temporal de permafrost a nivel nacional como potencial de reserva hídrica" (Permafrost) tuvo como objetivo principal identificar la distribución espacial del permafrost en el Perú, definido como suelo que permanece a una temperatura de 0 °C o menos durante al menos dos años consecutivos (International Permafrost Association, s/f). Para ello, se emplearon modelos matemáticos, análisis estadísticos, imágenes satelitales y variables climáticas, que generaron una base geoespacial que muestra la distribución y características del permafrost en el Perú; de esta forma, se constituye en una herramienta clave para la gestión territorial. Este proyecto, financiado por Prociencia y el Banco Mundial (contrato n.º 023-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU), tuvo una duración de tres años y concluyó su fase operativa en 2022.

Los resultados técnicos del proyecto permitieron la identificación de 2272 glaciares rocosos en el país en un área de aproximadamente $109,4 \pm 1,45$ km², y su clasificación por actividad (activo, inactivo y fósil) y por morfología (forma de lengua, lobulado, coalescente, polimórfico). También, como parte de este proyecto se instalaron tres estaciones meteorológicas prototipo en la quebrada Quillcayhuanca (Áncash), en el glaciar Kinzl (Áncash) y en el glaciar rocoso San Félix (Arequipa), además de una estación Campbell en Quillcayhuanca y el ensamblado de un dron meteorológico para zonas de montaña. Como parte de este proyecto, se generó información sobre el comportamiento térmico del suelo del glaciar rocoso San Félix (en la cordillera Chila,

Arequipa), el modelamiento del permafrost en paredes de roca en cinco unidades hidrográficas (Lullán-Parón, Gueshgue, Casca, Shallap y Ranrahirca), un modelo geoestadístico de distribución de permafrost exploratorio (90 metros) y avanzado (30 metros). Con esta información, se logró elaborar tres tesis de maestría, cinco tesis de pregrado, tres artículos presentados a revistas indizadas, una solicitud de patente y de derecho de autor presentada a Indecopi, trece participaciones en eventos académicos nacionales e internacionales, un paquete tecnológico de dos prototipos de código abierto (estación meteorológica y dron meteorológico) y el primer inventario nacional de glaciares rocosos y otras formas de permafrost.

Proyecto GLOP

La finalidad del proyecto “Lagunas de origen glaciar: evolución peligros e impactos del cambio climático” fue evaluar las zonas y lugares que experimentarán los mayores efectos del cambio climático en el Perú y las consecuencias de las inundaciones por desborde violento de lagunas de origen glaciar, que consideraron los probables daños en términos sociales y económicos. Esta información compartida a los tomadores de decisión permitirá la adopción de medidas para minimizar pérdidas de vidas humanas y económicas.

Como parte del proyecto GLOP, ejecutado con fondos de Prociencia, se obtuvo información sobre la evolución de las áreas de las lagunas glaciares por cordillera, el nivel de susceptibilidad al cambio climático y la cantidad y ubicación de nuevas lagunas. Además, se realizaron dos evaluaciones de peligro en las unidades hidrográficas río Blanco-Santa Cruz (Áncash) y la laguna Upischocha (Cusco), y se implementaron modelamientos de la magnitud y extensión de los GLOF en las unidades hidrográficas río Blanco-Santa Cruz (Áncash), Pachachaca-microcuenca Sahuanay (Apurímac) y Yavero (Cusco).

Proyecto Tamyá

El proyecto Tamyá, desarrollado con un fondo semilla de Prociencia y contribuciones del INAIEM y el Instituto Geofísico del Perú (IGP), aborda el impacto de los cambios de fase de precipitación en los cuerpos de los glaciares durante la temporada de lluvias 2021-2022. El proyecto logró el 100% de sus objetivos al presentar dos artículos de investigación para revisión por pares y superó su objetivo de presentaciones nacionales con cuatro conferencias. También se desarrollaron dos tesis de pregrado que fueron sustentadas en 2023. Además, se completaron los informes técnicos de instalación, validación de datos y generación de modelos de precipitaciones. A pesar de los desafíos relacionados con la pandemia COVID-19, los resultados del proyecto incluyen el desarrollo del Centro de Monitoreo de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (CEMGEM) para futuras investigaciones, donde se resalta

la sostenibilidad del proyecto con las investigaciones básicas y aplicadas del estudio de la criósfera en la cordillera de Huaytapallana, de modo que se contribuye a la gestión del agua y las estrategias de mitigación del cambio climático.

Proyecto de Cooperación Sur-Sur entre Perú y Ecuador

Durante el 2022, concluyó el proyecto de Cooperación Sur-Sur “Fortalecimiento de capacidades para la generación de evidencia científica sobre los impactos en la provisión de servicios hídricos de las medidas de recuperación de ecosistemas de montaña”, el cual inició su ejecución en 2021, como parte del programa de cooperación técnica 2020-2022 entre Perú y Ecuador. Esta iniciativa fue liderada por la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña y, entre los principales resultados, se destaca haber logrado el intercambio de experiencias en la generación de evidencia científica sobre los impactos en los servicios ecosistémicos hídricos y medidas de recuperación de ecosistemas, llevado a cabo a través de reuniones técnicas concretadas entre el INAIEM y el Fondo para la Protección del Agua de Ecuador (FONAG).

Proyecto IMELS

Desde el 2019, INAIEM colabora con el Ministerio del Ambiente en la implementación del proyecto IMELS (por sus siglas en inglés), financiado por el Ministerio del Ambiente, Tierra y Mar de Italia. En el marco de dicho proyecto, en 2022 se logró la elaboración de un manual metodológico para el inventario de glaciares y lagunas de origen glaciar, una propuesta de un modelo de recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la microcuenca Piuray Ccorimarca y una propuesta metodológica para el monitoreo y evaluación del carbono negro en áreas glaciares priorizadas.

VII. GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO





INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL ESTUDIO DE GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Detección de peligros de origen glaciar

En 2022, el INAIGEM investigó nuevas formas de detección de peligros de origen glaciar en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Un producto importante alcanzado fue el desarrollo de una metodología de detección de avalanchas con tecnología de bajo costo y técnicas de inteligencia artificial. Dicho método se describe en profundidad en la tesis titulada [Sistema para detección de avalanchas usando un solo sensor infrasónico y algoritmos de Machine Learning](#), desarrollada por Cristian Benites Condori.

Laboratorio Virtual de Innovación Tecnológica

En el contexto de la pandemia y las medidas de confinamiento establecidas por el gobierno a raíz del COVID-19, entre 2021 y 2022 se desarrolló e implementó una plataforma tecnológica virtual denominada Laboratorio Virtual de Innovación Tecnológica. Su objetivo fue crear espacios de trabajo virtuales y compartidos con altas capacidades de cómputo. Estas características fueron aprovechadas por los investigadores y tesisistas en actividades de análisis y procesamiento de datos. Así también, se ayudó a cerrar la brecha de trabajos de investigación colaborativos entre investigadores nacionales e internacionales.

Transferencia tecnológica del sistema de monitoreo de la laguna Palcacocha

Desde fines de 2020, la Estación Meteorológica Automática (EMA) de la marca Davis se instaló en la morrena frontal de la laguna Palcacocha. Además, en marzo de 2022 se instaló el sensor de bajo costo PurpleAir PA-II, el cual se encuentra ubicado en las orillas de la laguna y se ha implementado un sistema de monitoreo de emisión de concentración de gas radón.

En 2022, gracias a un convenio interinstitucional entre el INAIGEM, el Gobierno Regional de Áncash y el Centro de Operaciones de Emergencia Regional de Áncash (COER Áncash), el INAIGEM completó la transferencia tecnológica del sistema de monitoreo de la laguna Palcacocha. Esta acción permitió que los datos climáticos y las imágenes de video recopilados por dicho sistema se reciban en tiempo real en las instalaciones del COER Áncash, lo que agilizó así la vigilancia permanente de la laguna Palcacocha y redujo la vulnerabilidad de la población afectada.



BOLETÍN HIDROMETEOROLÓGICO 2020 - 2021

El *Boletín Hidrometeorológico 2020-2021* (INAIGEM, 2022a) ofrece un análisis detallado de los mecanismos atmosféricos que han afectado el clima durante el periodo hidrológico 2020-2021, centrado en la Cordillera Blanca, particularmente en la laguna Palcacocha. A través de estaciones meteorológicas automáticas y sistemas de sifonamiento, se ha registrado información sobre la precipitación, la temperatura y el nivel de agua de la laguna.

Uno de los resultados más preocupantes de este periodo es la reducción en la precipitación acumulada, lo que ha afectado negativamente la disponibilidad del recurso hídrico. La precipitación del año hidrológico 2020-2021 fue de 670,2 milímetros (20,4 % del periodo 2017 al 2021), un 2 % menor en comparación con el periodo anterior. Además, se observó un retraso en el inicio de las lluvias y una distribución desigual de las mismas a lo largo del año. El análisis climático indica que la Cordillera Blanca experimentó temperaturas máximas (14,8 °C) ligeramente más bajas en comparación con años anteriores, mientras que las temperaturas mínimas oscilaron por debajo de los 0 °C durante la mayor parte del año (Figura 51). Los registros muestran una mayor frecuencia de días fríos con valores mínimos de hasta -2,2 °C durante los meses de invierno austral. Además, el rango diario de temperatura también disminuyó debido a la mayor variabilidad en las temperaturas nocturnas y diurnas.

Uno de los aspectos más destacados es la variabilidad en el nivel y volumen de la laguna Palcacocha, que experimentó fluctuaciones significativas debido tanto a factores naturales como antropogénicos. La implementación del sistema de sifonamiento en 2011, destinado a controlar los niveles de agua, ha jugado un papel crucial en la gestión de esta laguna, especialmente durante las épocas de lluvia. Sin embargo, la reducción de la precipitación ha afectado directamente el volumen de la laguna, pues ha alcanzado los niveles más bajos de abril a julio.

De enero a marzo de 2020 y 2021, se observó la formación de la Alta de Bolivia (AB), un anticiclón que arrastra humedad desde el centro del continente hacia los Andes peruanos. Aunque la intensidad de la AB fue similar en ambos años, las mayores precipitaciones en la Cordillera Blanca ocurrieron entre enero y marzo de 2021, debido a un mayor contenido de humedad en niveles altos de la atmósfera (Figura 52). Este transporte de humedad desde la cuenca amazónica es clave para la formación de nubes convectivas y la ocurrencia de precipitaciones en la sierra peruana, especialmente en Áncash.

En los meses de invierno austral, de julio a septiembre, los vientos fríos y secos del oeste dominaron la región, por ende, se limitó la actividad convectiva y se redujeron las precipitaciones. Este comportamiento estacional se ha venido observando consistentemente en los últimos años, con julio y agosto como los meses más secos (Figura 53).

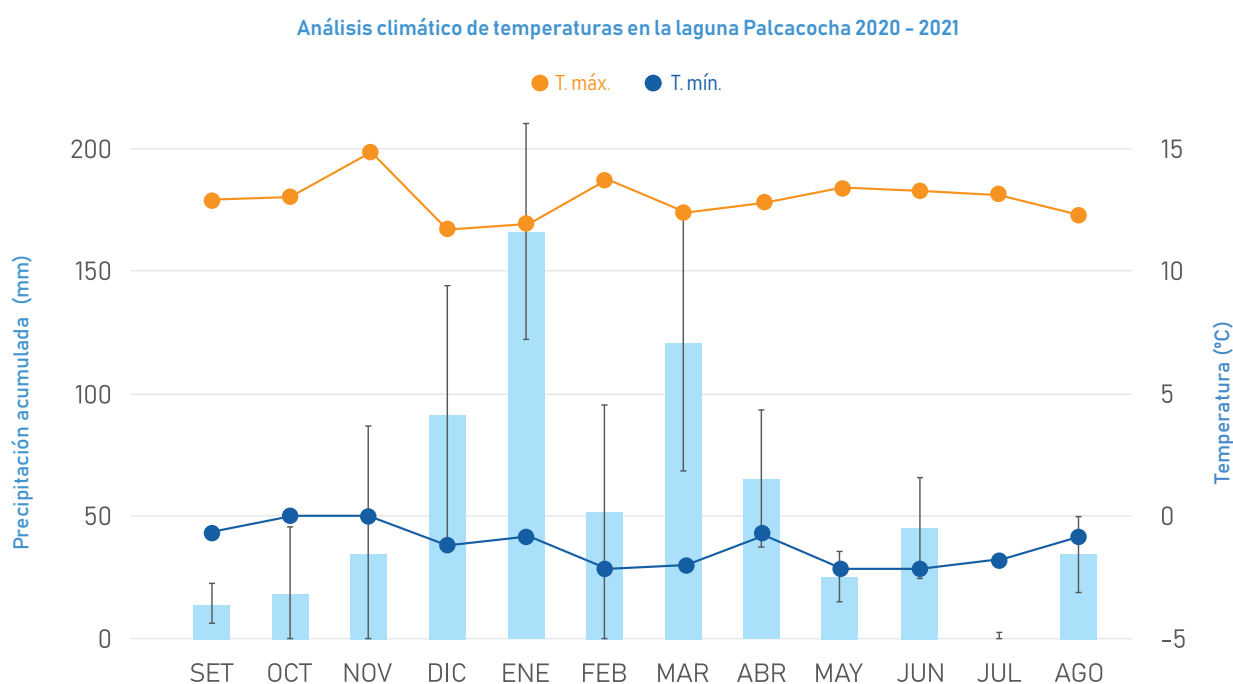


Figura 51. Climograma de la laguna Palcacocha.

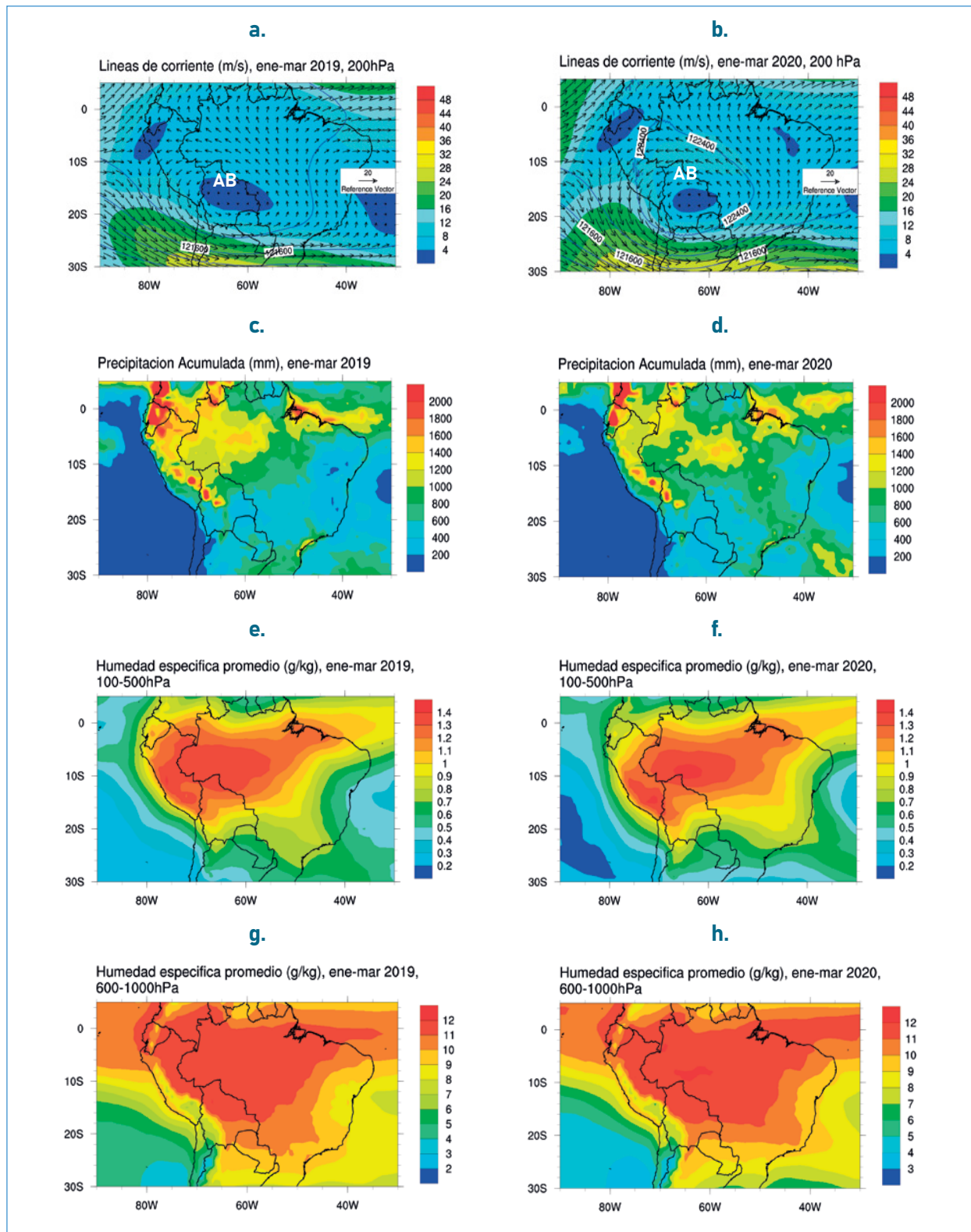


Figura 52. Sinóptica de Sudamérica que influye en el clima de la Cordillera Blanca.

Líneas de corriente (m/s) con líneas de geopotencial (m/s), promedio de ene-mar a 200 hPa para los años (a) 2020 y (b) 2021. Se indica la ubicación central de La Alta de Bolivia (AB). Precipitación total (mm) acumulada de enero a marzo para los años (c) 2020 y (d) 2021. Humedad específica (g/kg) para los meses de enero a marzo promedio de 100 hPa a 500 hPa para los años (e) 2020 y (f) 2021. Humedad específica (g/kg) promedio, para el rango de enero a marzo promedio de 500 hPa a 1000 hPa para los años (g) 2020 y (h) 2021.

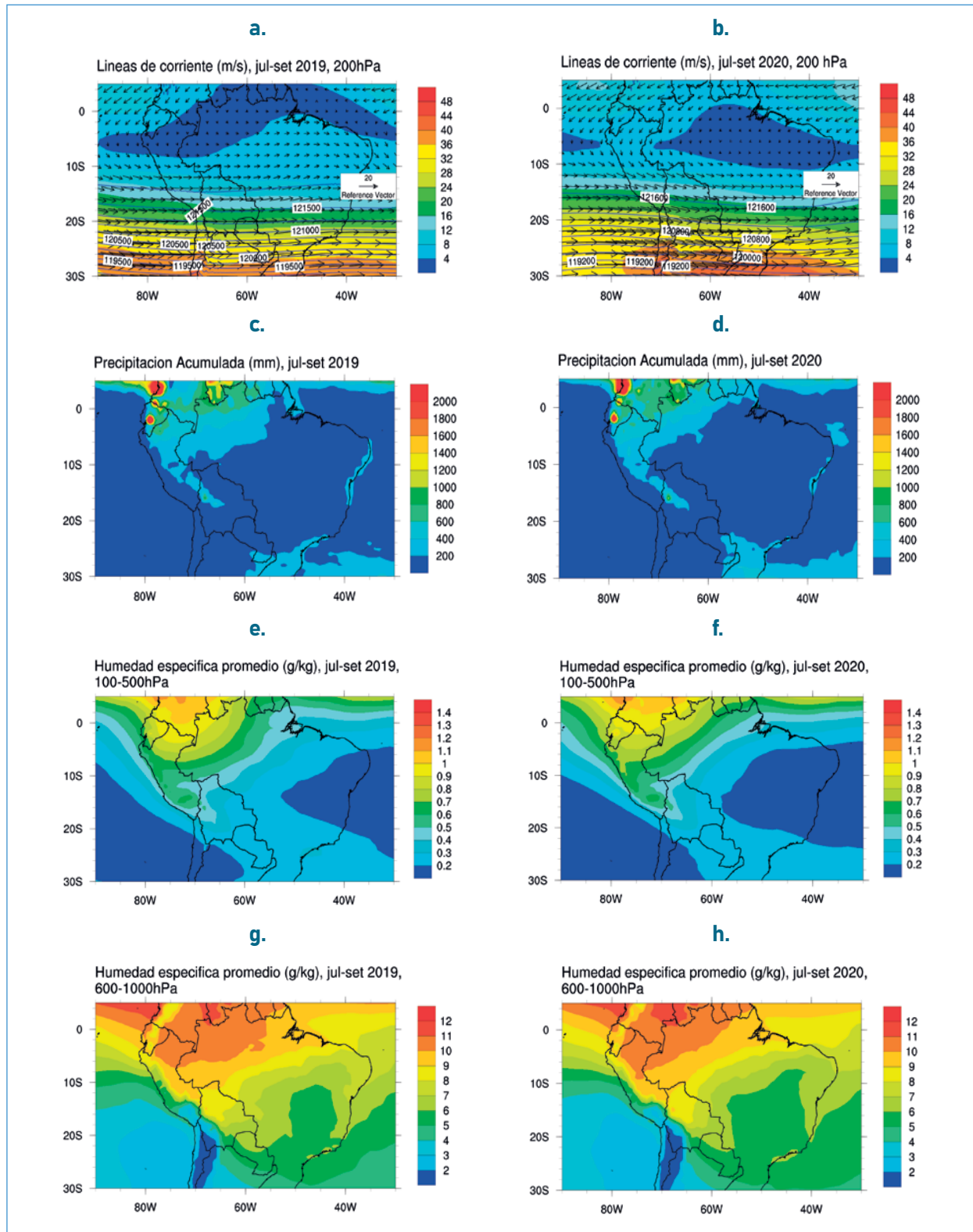


Figura 53. Sinóptica de Sudamérica que influye en el clima de la Cordillera Blanca durante el invierno austral.

Líneas de corriente (m/s) con líneas de geopotencial (m^2/s^2), promedio de julio a setiembre a 200 hPa para los años (a) 2020 y (b) 2021. Precipitación total (mm) acumulada de julio a setiembre para los años (c) 2020 y (d) 2021. Humedad específica (g/kg) para los meses de julio a setiembre promedio de 100 hPa a 500 hPa para los años (e) 2020 y (f) 2021. Humedad específica (g/kg) promedio, para el rango de julio a setiembre promedio de 500 hPa a 1000 hPa para los años (g) 2020 y (h) 2021.

El régimen de lluvias en la Cordillera Blanca está determinado principalmente por tormentas convectivas profundas. Durante el año hidrológico 2020-2021, la mayor precipitación diaria se registró el 25 de diciembre de 2020, debido a la formación de un gran número de tormentas convectivas. A lo largo del año, la actividad convectiva estuvo influenciada por la interacción entre los vientos de niveles altos y la disponibilidad de humedad en la atmósfera.

En conclusión, el año hidrológico 2020-2021 se caracterizó por una marcada variabilidad climática, con una disminución generalizada en la precipitación y fluctuaciones en los niveles de temperatura. La laguna Palcacocha, un sistema vulnerable, sufrió importantes reducciones en su nivel de agua a causa de la combinación de factores climáticos y la intervención humana. Con esta información, se enfatiza la necesidad de continuar con el monitoreo y análisis de estos sistemas montañosos para mitigar los riesgos asociados al cambio climático y la variabilidad climática extrema.

PRONÓSTICOS DE TIEMPO EN ZONAS DE MONTAÑA

Los "Pronósticos de tiempo en zonas de montaña" son videos de corta duración en los que alumnos de los niveles inicial, primaria y secundaria de los colegios, en el ámbito de la región Áncash, envían su reporte de tiempo de sus comunidades con información actualizada del tiempo, recomendaciones, curiosidades sobre los fenómenos atmosféricos y otros temas relacionados al clima.

En 2022 se realizaron 21 segmentos de pronósticos INAIGEM, emitidos entre julio y diciembre de 2022, con un alcance de más de 19 000 usuarios en línea.

PLATAFORMAS DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PRODUCIDA POR EL INAIGEM

Repositorio

El Repositorio INAIGEM es una plataforma que permite la difusión de información científica generada por la entidad. Durante el 2022, se actualizó con 58 publicaciones más. Solo durante el primer trimestre del 2022, las interacciones en el repositorio sumaron más de 85 000.



CONOCE MÁS

Geoportal

En 2022, el Geoportal se actualizó con información espacial sobre la estimación del estrés bioclimático de los ecosistemas de la región Áncash y la evolución de la calidad del agua para la determinación de sitios impactados por DAR en la Cordillera Blanca, específicamente de información espacial de cantidad y calidad de agua de ocho unidades hidrográficas (Quillcay, Casca-Llaca, Pachacoto, río Blanco-Santa Cruz, Santiago, Lullán- Parón, Pariac-Rajucolta, Pucavado y Negro).

Con el propósito de fortalecer la interoperabilidad de la información espacial generada por el INAIGEM, se desarrolló el catálogo de objetos geográficos e información geoespacial, una herramienta diseñada para facilitar el intercambio de datos estandarizados entre el MINAM y el INAIGEM. Desde este instituto nacional, se han identificado tres áreas temáticas clave para estructurar este catálogo: estudios de la criósfera, ecosistemas de montaña y clima.



CONOCE MÁS

DIFUSIÓN Y DIÁLOGO DE CONOCIMIENTOS A ESCALA LOCAL

Fortalecimiento de capacidades a escala comunal

Las comunidades campesinas son organizaciones sociales reconocidas legalmente y que manejan sus territorios como propiedad colectiva. Los ecosistemas de montaña en el Perú albergan al 96,6 % de las comunidades campesinas y al 32,8 % de las comunidades nativas (INAIGEM, 2021). En 2022, el INAIGEM reforzó sus lazos de cooperación con instituciones locales, especialmente a escala comunal en los ámbitos donde desarrolla sus investigaciones.

Con la participación del comité de gestión de la microcuenca Piuray-Ccorimarca, el INAIGEM ejecutó un taller para la elaboración de agendas de investigación e innovación local ambiental. El propósito de esta agenda de investigación, elaborada con representantes de la microcuenca, es identificar las principales problemáticas ambientales, las soluciones que la población viene desarrollando y cuáles son aquellas sobre las que se requieren refuerzos o nuevas intervenciones. También en esta microcuenca, el INAIGEM se encuentra elaborando un plan de fortalecimiento de capacidades orientado a fortalecer la institucionalidad (roles y competencias), a promover la participación activa y articulada de los actores, el desarrollo de capacidades gerenciales y técnicas, y la formación de recursos humanos para la protección de los ecosistemas de montaña y el aseguramiento de los servicios de aprovisionamiento, regulación, soporte y de tipo culturales.

En el marco de las actividades de investigación del proyecto Tamyá, en 2022 se inauguró el Centro de Monitoreo de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (CEMGEM) en el Área de Conservación Regional (ACR) Huaytapallana. Además de la activa coordinación con el Gobierno Regional de Junín y representantes del ACR, la instalación de equipos que conforman el CEMGEM se realizó en acuerdo con la comunidad de Acopalca.

Articulación institucional

Participación en eventos de difusión

Participación en las caravanas multisectoriales del programa PAIS. Como parte de las actividades del Programa Nacional Plataformas de Acción para la Inclusión Social (PAIS) del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social, el INAIGEM participó en la "Primera Caravana multisectorial de protección a las familiares de la zona rural de la provincia de Huaylas 2022", que se implementaron con el propósito de acercar servicios públicos a ciudadanos de zonas rurales dispersas.

Las plataformas fijas en las que se desarrollaron estas caravanas fueron los tambos de Saucepampa (distrito

de Caraz) y Santa Cruz (distrito de Santa Cruz), ambos en la provincia de Huaylas. En la caravana del Tambo Saucepampa, el INAIGEM centró su exposición en los mapas de peligro por aluvión; la importancia de aprovechar este espacio reside en que este tambo se encuentra en el ámbito de la laguna Parón, donde todavía acontece un conflicto por su regulación. Además, el INAIGEM brindó información sobre el impacto del cambio climático en los glaciares y ecosistemas de montaña a niños, jóvenes y adultos mayores. Algunos de ellos tuvieron, por primera vez, la oportunidad de visitar un glaciar de manera virtual gracias a la experiencia de realidad virtual.

Actividades descentralizadas en el marco de la Semana Nacional de la Ciencia. Cada primera semana de noviembre, se celebra la "Semana de la promoción y desarrollo científico y tecnológico del país" (establecida por la Ley 28673). Además de la Feria Perú con Ciencia —donde también participa el INAIGEM— y la Feria Escolar Nacional de Ciencia y Tecnología Eureka, se desarrollan actividades descentralizadas.

En 2022, el INAIGEM realizó tres actividades, que corresponden a la presentación de la guía "Rutas ecosistémicas asociadas al agua: Cusco, Valle Sagrado de los Incas", la presentación de la guía "Ruta del cambio climático y geoparque del glaciar Quelccaya", y el Simposio Internacional 2022 "Las Montañas, Nuestro Futuro" (MONFU 2022).

Presentación de trabajos institucionales






Guía ecoturística "Rutas ecosistémicas asociadas al agua". Elaboración, presentación presencial y difusión de la guía ecoturística "Rutas ecosistémicas asociadas al agua" en el marco de la IX Feria Internacional del Libro 2022 – Cusco, en la Casa de la Cultura y ante 95 personas. La presentación fue comentada por la presidenta del comité de gestión de la microcuenca Piuray-Ccorimarca, y por el representante de la Municipalidad Distrital de Chinchero.

Guía "Rutas del cambio climático y geoparque del glaciar Quelccaya". Elaboración y presentación presencial y difusión de guía "Rutas del cambio climático y geoparque del glaciar Quelccaya" en el marco de la IX Feria Internacional del Libro 2022 – Cusco, en la Casa de la Cultura y ante 109 personas. La presentación fue comentada por el representante comunal de Phinaya y técnicos de la Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA).

Proyecto Nuestro Río. Exhibición con los resultados del proyecto Nuestro Río, en las ciudades de Olleros, Cátac y Huaraz, con una presentación de afiches que muestra la percepción de la población del río Santa.

NUESTRA PROBLEMÁTICA

A lo largo del río Santa y sus afluentes, la población ha identificado diferentes fuentes de contaminación del agua, lo que genera problemas para su consumo y uso. Las causas principales de los problemas en la calidad del agua que se mencionarán a lo largo de esta exhibición son:

-  Las aguas residuales (desagües y drenajes que se descargan al río sin tratar).
-  Basura (residuos sólidos) que se arroja al río.
-  Presencia de excremento y orines del ganado.
-  Los sedimentos (tierra) que se erosionan por la lluvia y ensucian el agua.
-  Descarga de metales, minerales al agua y que a veces dan un sabor a óxido.

También se identifican problemas porque hay menos agua, debido al cambio climático y al deshielo de los nevados.

CORDILLERA NEGRA

CORDILLERA BLANCA

Figura 54. Infografía del proyecto "Nuestro río".

Este proyecto de ciencia ciudadana con el objetivo de recoger la percepción que tienen los pobladores de la cuenca alta del río Santa, sobre la calidad de agua a la que tienen acceso.



EMISIÓN DE OPINIONES TÉCNICAS EN MATERIA DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

En 2022, el equipo técnico del INAIGEM emitió diecinueve opiniones técnicas, de las cuales dieciséis corresponden a estudios de impacto ambiental, solicitadas por el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE)

y el Ministerio de Energía y Minas (MINEM); dos, a proyectos de inversión, solicitadas por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI); y uno, a un proyecto de ley, solicitado por el Congreso de la República.

Tabla 3.
Opiniones técnicas emitidas por el INAIGEM en materia de Ecosistemas de Montaña.

| N.º | Entidad solicitante | Tipo de solicitud | Título de proyecto/ley/estudio |
|-----|---|------------------------------|---|
| 1 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Plan de trabajo para la elaboración de la línea base del estudio de impacto ambiental del proyecto geotérmico Achumani. |
| 2 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Informe de supervisión de la línea base del estudio de impacto ambiental detallado del proyecto Romina, para conocimiento. |
| 3 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Segunda modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Unidad Minera Inmaculada, presentado por Compañía Minera Ares SAC. |
| 4 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Términos de referencia específicos para la elaboración de la modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael (MEIA-d Integradora). |
| 5 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Estudio de impacto ambiental detallado (EIA-d) del proyecto Romina, presentado por la Compañía Minera Chungar SAC. |
| 6 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Plan de trabajo actualizado para la elaboración de la modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Unidad Minera Acumulación Yauricocha, presentado por Sociedad Minera Corona S. A. |
| 7 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Segunda modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Unidad Minera Inmaculada, presentado por la Compañía Minera Ares SAC. |
| 8 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Unidad Minera Acumulación Yauricocha, capítulo descripción del proyecto. |
| 9 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Unidad Minera Acumulación Yauricocha, capítulo línea base. |
| 10 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Segunda modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Unidad Minera Inmaculada, presentado por Compañía Minera Ares SAC. |
| 11 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Términos de referencia específicos para la elaboración de la modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael. |
| 12 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Opinión técnica final sobre la modificación del estudio de impacto ambiental detallado de la Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael. |
| 13 | SENACE | Estudio de impacto ambiental | Opinión técnica final sobre el estudio de impacto ambiental detallado del proyecto Yumpag Carama. |
| 14 | MINEM | Estudio de impacto ambiental | Informe técnico sustentatorio de la quinta modificación del estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd) del proyecto de exploración Hilarión. |
| 15 | MINEM | Estudio de impacto ambiental | Levantamiento de observaciones del informe técnico sustentatorio (ITS) de la quinta modificación del estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd) del proyecto de exploración Hilarión. |
| 16 | MINEM | Estudio de impacto ambiental | Modificación de la declaración de impacto ambiental (MDIA) del proyecto de exploración Azulmina. |
| 17 | Gobierno Regional de Cusco | Proyecto de inversión | Proyecto de inversión "Creación del servicio de alerta temprana frente a huaycos inundaciones en los distritos de Ocongate y Ccarhuayo, provincia de Quispicanchi y departamento de Cusco". |
| 18 | INDECI | Proyecto de inversión | Supervisión del proceso de formulación del estudio de preinversión del proyecto "Creación del servicio de alerta temprana relacionado a peligros de origen glaciar en las provincias de Huaylas y Yungay del departamento de Áncash; la provincia de Huancayo del departamento de Junín y la provincia de San Antonio de Putina del departamento de Puno", con código de idea 181066. |
| 19 | Comisión de Ciencia, Innovación y Tecnología del Congreso de la República | Proyecto de Ley | Proyecto de ley n.º 1202/2021-PE "Ley de creación, organización y funciones del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación". |

PRESENCIA EN PLATAFORMAS Y GRUPOS ESPECIALIZADOS A NIVEL INTERNACIONAL

Especialistas y representantes de la Oficina de Cooperación Técnica representan al INAIGEM en el marco de instancias regionales e internacionales. Entre ellas destacan la Iniciativa Andina de Montañas (IAM), una plataforma integrada por los siete países que atraviesa la cordillera de los Andes (Argentina, Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador, Perú y Venezuela), que busca generar y fortalecer un espacio de diálogo regional orientado a emprender acciones articuladas que permitan mantener la colaboración en la temática del desarrollo sostenible de montañas. En ese sentido, la IAM representa un espacio para promover el diálogo e intercambio entre sus miembros; en consecuencia, potencia la capacidad de concreción de acciones a nivel regional que promuevan la conservación de las montañas y su desarrollo sostenible.

Asimismo, el INAIGEM es el punto nacional alterno en el marco de la Mountain Partnership de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), una alianza de gobiernos y organizaciones de todo el mundo comprometidos con el logro del desarrollo sostenible de las montañas.

Además, el INAIGEM participa en la delegación peruana, liderada por el Ministerio del Ambiente, que realiza el seguimiento de los temas de negociación bajo la Asociación Independiente de América Latina y el Caribe (AILAC), grupo negociador bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, donde el Perú es miembro.

En esta línea, se destaca la participación de la entidad en tres encuentros de carácter internacional con el fin de fortalecer el posicionamiento institucional:

- Reunión Anual del Consejo de los Países Miembros de la Iniciativa Andina de Montañas (IAM): del 31 de agosto al 2 de septiembre, en la ciudad de Huaraz.
- Reunión Global de la Mountain Partnership: del 26 al 30 de septiembre, en la ciudad de Aspen (EE. UU.).
- 27.º Sesión de Conferencia de las Partes sobre Cambio Climático – COP 27: del 10 al 16 de noviembre, Sharm al-Shajj (Egipto).

SIMPOSIO INTERNACIONAL “LAS MONTAÑAS, NUESTRO FUTURO”

El MONFU 2022 tiene como objetivo difundir y propiciar el conocimiento científico sobre los ecosistemas de montaña y los glaciares tropicales, en el contexto del cambio climático y progresiva inseguridad hídrica. En particular, busca destacar investigaciones enfocadas en la recuperación de los servicios ecosistémicos y en el diseño de propuestas de acción frente al retroceso glaciar. Esta edición contó con la colaboración de Forest Trends Association como coorganizadores, por medio del proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (INSH), y de CONDESAN, a través del proyecto “Seguridad hídrica y adaptación al cambio climático en cuencas hidrográficas peruanas alimentadas por glaciares” (RAHU). Asimismo, el INAIGEM recibió la colaboración del IRD por medio del proyecto AMANECER - Conexión Amazonia-Andes. Luego de dos años de pandemia y las consecuentes restricciones de interacción social física, el MONFU volvió a su edición presencial en 2022 y tuvo como sede a la ciudad de Arequipa (Perú).

En total se presentaron 103 trabajos científicos: 38 presentaciones orales, 29 exhibiciones físicas de póster y 36 exhibiciones virtuales. Además, se contó con cuatro conferencistas de prestigio, talleres de discusión, una mesa de discusión que reunió proyectos como PEGASUS, RAHU, CASCADA, GLOP y GROWS, y una visita de campo al bosque Pichu Pichu. Los temas expuestos abordaron las temáticas de glaciares (33 % de los trabajos), ecosistemas (29 %), meteorología (18 %), hidrología (10 %), informática (6 %) y conocimientos tradicionales (4 %).

Esta edición congregó a 150 investigadores que participaron de manera presencial, 303 estudiosos que lo llevaron a cabo de manera virtual y más de 3000 asistentes como parte del público en general.

VIII. OFICINA DE COOPERACIÓN TÉCNICA

ACUERDOS DE COOPERACIÓN

En 2022, se ha llegado a suscribir once convenios de cooperación interinstitucional con instituciones como CARE, la Universidad de Indiana Bloomington, la Universidad Peruana Cayetano Heredia, la Consultora Monitoreo Perú SAC, el Swiss Federal Institute for Forest Snow and Landscape Research, el Gobierno Regional de Áncash, la Universidad Nacional del Centro del Perú, el Instituto Geofísico del Perú, Forest

Trends Association y el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Con el propósito de asegurar la transparencia y un mejor acceso a la información en temas relacionados a convenios, desde 2021 se encuentra disponible un sistema de búsqueda de convenios del INAIGEM en el siguiente enlace: <https://buscador-convenios.inaigem.gob.pe/#/>.



CONCLUSIONES

Como parte de las investigaciones en glaciares y lagunas glaciares, el INAIGEM continuó el monitoreo y balance de masa del glaciar Huillca (Áncash) por el cual reporta el retroceso de su lengua glaciar en -18,41 metros para el periodo octubre 2021 a setiembre 2022.

Durante el año 2022, la entidad elaboró cuatro documentos evaluaciones de peligro y riesgo por aluvión en Puno, Cusco, Apurímac y Junín, a escala hidrográfica y distrital. Como resultado de estos estudios, se identificó que 16 105 personas, en total, están expuestas al peligro de aluvión; ante ello, cada estudio sugiere medidas estructurales y no estructurales específicas para cada caso orientadas a la gestión de este riesgo.

En esta línea, también se elaboraron ocho reportes sobre glaciares y lagunas potencialmente peligrosas en los departamentos de Áncash, Huánuco, Junín, Cusco, Apurímac y Puno. En Áncash, se identificaron el riesgo de flujo de detritos en el glaciar Peck II, el riesgo de desbordamiento de las lagunas por desprendimientos del glaciar Vallunaraju, y desprendimientos en las morrenas de las lagunas Arhuaycocha, Artizon Bajo y Artizon Alto, así como el deterioro de sus obras de seguridad. En Huánuco, la UH Nupe presenta avalanchas frecuentes de hielo y roca, lo cual podría desencadenar un desborde violento de laguna (GLOF) en cadena (comprometiendo principalmente las lagunas Quesillococha y Gangrajanca) y de magnitud considerable. En Junín, la UH Shullcas presenta caída de rocas que impacta en la condición de peligrosidad de las lagunas Lazo Huntay y Chuspicocha, y el río Shullcas presenta suelos susceptibles a ser arrastrados e incrementar el volumen de un posible aluvión. En Cusco, se reporta la presencia de 22 cuerpos de agua alrededor del glaciar Chicón, de los cuales la laguna Juchuycocha representa un peligro latente; cerca del glaciar Ausangate, se espera que la laguna Ausangate

Chaqui siga creciendo hasta separarse por completo del glaciar. En Apurímac, el reporte de la laguna Ampaycocha indica una alta probabilidad de colapso de hielo sobre la laguna y caída de rocas, y que su condición crítica aumentará a medida que la laguna incremente su área de espejo. En Puno, la laguna Ananta Cucho presenta peligros potenciales de deslizamientos en los taludes, avalanchas de hielo, caídas de rocas desde glaciares colgantes y sedimentación. En respuesta a emergencias, el INAIGEM realizó tres reportes de inspección ante emergencias por desborde, dos en la laguna Upiscocha, en Cusco, y uno en la laguna Phacu Cucho Alto, en Puno.

Como parte de los estudios de caracterización y evaluación de ecosistemas de montaña en un contexto de cambio climático, el INAIGEM elaboró folletos sobre los pastizales altoandinos, que cubren el 14,2 % del territorio nacional; sobre la puya de Raimondi, una especie que se distribuye únicamente entre Perú y Bolivia; y reportes sobre la población de rodales de puya en los distritos de Cátac y La Libertad, en Áncash. Además, elaboró un mapa de ecosistemas en la UH Jungro Grande, en Arequipa, y un reporte de variación estacional del contenido de agua en suelo con zanjas de infiltración y pajonales con información obtenida en la parcela de investigación en La Raya, en Áncash, estudio que resalta que la cobertura vegetal natural (pajonal) es más eficiente en los procesos de infiltración y almacenamiento de agua en suelo.

Entre los estudios para abordar riesgos que afectan a los ecosistemas de montaña en un contexto de cambio climático, el INAIGEM publicó un reporte de caracterización climática y de comportamiento de las heladas que revela mayor velocidad en el incremento de la temperatura y que julio el mes en que las heladas ocurren con mayor frecuencia e intensidad. Sobre el drenaje ácido de roca (DAR), en el año 2022 se publicó un



folleto con información clave sobre esta problemática, especialmente en zonas periglaciares, un informe técnico de diagnóstico que confirma la contaminación por DAR de la UH del río Negro, y otro de evaluación de calidad y cantidad de agua en sitios con problemas de DAR en las UH de Pachacoto, Pariac-Rajucolta, las microcuencas de Quillcayhuanca y Shallap, la microcuenca del río Pucavado, y la subcuenca del río Negro, todas ubicadas en Áncash, las cuales presentaron concentraciones significativas de metales pesados y que en algunos casos exceden los límites permitidos por los estándares de calidad ambiental, lo cual evidencia que el DAR está contribuyendo a la acidificación de los cuerpos de agua en las zonas de estudio, lo que afecta tanto la calidad del agua como los ecosistemas acuáticos. Con relación a la calidad del agua, el estudio sobre las percepciones locales en la cabecera del río Santa, con énfasis en las subcuencas Olleros y Cátac, encuentra que las percepciones de mala calidad del agua estuvieron relacionadas con la presencia de minerales y otros contaminantes derivados del DAR, lo que afectó el color, olor y sabor del agua, pero que también están influenciadas por factores sociales (por ejemplo, el manejo del agua y las infraestructuras inadecuadas), hallazgos que resaltan la importancia de incorporar el conocimiento ecológico tradicional, percepciones locales y ciencia ciudadana en la gestión de los recursos hídricos. Los estudios para la gestión del riesgo de desastres en las subcuencas río Blanco-Santa Cruz y Pariac-Rajucolta, en Áncash, presentan los peligros y capacidades de la población; en ambos casos el principal peligro es el de aluvión y las capacidades guardan relación con la diversificación de actividades y habilidades, lo cual reduce su dependencia a las actividades agropecuarias que podrían ser afectadas por un aluvión o por una sequía.

Finalmente, durante el año 2022 el INAIGEM publicó la guía ecoturística "Rutas ecosistémicas asociadas al agua: Cusco, Valle Sagrado de los Incas" y la guía "Rutas del cambio climático geoparque del glaciar Quelccaya", ambas con el propósito de contribuir al turismo sostenible.

Estos estudios generados por el INAIGEM, así como los siete proyectos de investigación ejecutados, la innovación tecnológica para el estudio de glaciares y ecosistemas de montaña, el trabajo en colaboración con otras entidades (como el COER Áncash, al cual se transfirió el sistema de monitoreo de la laguna Palcacocha) para agilizar la vigilancia de peligros, las actividades de difusión y diálogo de conocimientos a escala local y nacional, y la emisión de opiniones técnicas en materia de glaciares y ecosistemas de montaña, contribuyen al fortalecimiento de capacidades sobre peligros de origen glaciar y asociados al cambio climático y en conservación, recuperación y uso sostenible de los ecosistemas de montaña y sus servicios ecosistémicos. La progresiva presencia del INAIGEM en plataformas y grupos especializados a nivel nacional e internacional, así como los acuerdos de cooperación suscritos, contribuye a y refleja el fortalecimiento institucional y de su capacidad de gestión.

Influenciados por el cambio climático, los cambios en las masas glaciares, la formación y crecimiento de lagunas de origen glaciar, y las dinámicas social-ecológicas que impactan en los ecosistemas de montañas refuerzan la necesidad de profundizar estudios, sofisticar sistemas de monitoreo, diseñar y ejecutar medidas estructurales y no estructurales, y fortalecer la difusión y diálogo de conocimientos como parte de la gestión de riesgos asociados a glaciares y cambio climático, anticipándonos a la posible afectación a la salud de la población y ecosistemas.



DOCUMENTOS CITADOS

- Arroyo-Alfaro, S. J., & Calderón Quispe, F. (2022). *Estructura poblacional de los rodales de Puya Raimondii Harms en Carpa (Distrito de Cátaç, Provincia de Recuay) y Cajamarquilla (Distrito La Libertad, Provincia de Huaraz), Ancash* (p. 31) [Informe]. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Arroyo-Alfaro, S. J., Hernández, M. C., Ramos-Parado, K., & Grados-Bueno, C. V. (2022). *La importancia de la Puya raimondii*. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/452>
- Castro Camacho, J. (2021). *Elaboración del Mapa de ecosistemas de la Unidad Hidrográfica Jungro Grande, Cordillera Ampato, región Arequipa* (p. 29) [Informe Final]. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Dávila Roller, L., & Torres Amado, L. (2022). *Balance de masa del Glaciar Huillca. Periodo hidrológico octubre 2021—Setiembre 2022* (p. 45). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Díaz, R., & Mallqui, H. (2022). *Variación estacional del contenido de agua en suelo, parcela de investigación La Raya* (p. 18) [Informe Final]. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013). *Resultados Definitivos: IV Censo Nacional Agropecuario - 2012* [Texto]. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/resultados-definitivos-iv-censo-nacional-agropecuario-2012-0>
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2018). *Inventario Nacional de Glaciares Las Cordilleras Glaciares del Perú 2018*. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/57>
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2021). Política Nacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña—Marco general. *INAIGEM*. <https://inaigem.gob.pe/web2/politicas/>
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2022a). *Boletín Hidrometeorológico 2020-2021*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/268>
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2022b). *Informe técnico de la Laguna Ananta Cucho 2021*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/396>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2022c). *Reporte de inspección de la Laguna Upiscocha 10 de agosto 2022*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/425>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2022d). *Reporte de inspección del desborde de la laguna Upiscocha 14 de mayo 2022*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/424>

International Permafrost Association. (s/f). What is Permafrost? *International Permafrost Association*. Recuperado el 30 de septiembre de 2024, de <https://www.permafrost.org/what-is-permafrost/>

Mallqui, H. (2022). *Caracterización climática y del comportamiento de las heladas en ecosistemas de montaña*. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/430>

Montano Chávez, Y. (2022). *Evaluación de la calidad y cantidad de agua en sitios con problemas de Drenaje Ácido de Roca en la Cordillera Blanca, 2021* (Informe POI-AO AOI00163000163; p. 66). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

Montano, Y., Tapia, P. M., Quispe, C., & Fuentealba, B. (2022). *El Drenaje Ácido de Roca y sus potenciales impactos ambientales*. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/441>



- Moschella Miloslavich, P. (2022). *Integración de información para la gestión del riesgo de desastres en las subcuencas Río Blanco-Santa Cruz y Pariac-Rajucolta, Cordillera Blanca* (p. 60) [Informe técnico]. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Rangecroft, S., Dextre, R. M., Richter, I., Grados Bueno, C. V., Kelly, C., Turin, C., Fuentealba, B., Hernandez, M. C., Morera, S., Martin, J., Guy, A., & Clason, C. (2023). Unravelling and understanding local perceptions of water quality in the Santa basin, Peru. *Journal of Hydrology*, 625, 129949. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129949>
- Rios, R. (2020). *Guía Metodológica para la delimitación de Ecosistemas de Montaña*. INAIGEM.
- Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares. (2022a). *Diagnóstico sobre el drenaje ácido de roca en la U.H. del Río Negro (quebrada Uquian), Cordillera Blanca, Áncash* (INFORME N.º 07-2022-INAIGEM/DIG-SDRAG; p. 59). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares. (2022b). *Evaluación del peligro por aluvión en los distritos de Abancay y Tamburco, provincia de Abancay, departamento de Apurímac* (p. 70). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares. (2022c). *Informe de monitoreo de lagunas de origen glaciar potencialmente peligrosas* (Informe técnico N°01-2022-INAIGEM/DIG-SDRAG; p. 26). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares. (2022d). *Informe geológico-geotécnico en la U.H. Shullcas* (Informe técnico N°01-2022-DIG/SDRAG-MC; p. 29). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares. (2022e). *Monitoreo de zonas críticas* (INFORME TÉCNICO N°02-2022-INAIGEM/DIG-SDRAG; p. 25).
- Torres Lázaro, J., Caballero Brediñana, A., Jara Infantes, H., Melgarejo Romero, E., Cosi Fajardo, M., Villafane Gómez, H., Torres Amado, L., Vilca Gómez, O., Vila Garrafa, R., & Aquino Morales, M. (2022). *Evaluación del Peligro por Aluvión en los centros poblados Sina, Potoni y Koriwara, distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno* (Informe técnico N°04-2022-INAIGEM/DIG-SDRAG; p. 71). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Torres Lázaro, J., Caballero Brediñana, A., Jara Infantes, H., Villafane Gómez, H., Melgarejo Romero, E., Torres Amado, L., Cosi Fajardo, M., Martinez Zelaya, C., Escate Gastañaga, I., & Milla Montoro, L. (2022). *Evaluación del riesgo por aluvión en la Unidad Hidrográfica Yavero, distrito de Ocongate, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco* (p. 181). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

Torres Lázaro, J., Caballero Brediñana, A., Jara Infantes, H., Villafane Gómez, H., Torres Amado, L., Cosi Fajardo, M., Melgarejo Romero, E., Araujo Reyes, J., & Escate Gastañaga, I. (2022). *Diagnóstico del estado actual frente a peligros en las lagunas Quesillococha, Siula, Gangrajanca y Carhuacocha* (p. 87). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

Torres Lázaro, J., Vargas Huamán, R., Caballero Brediñana, A., Jara Infantes, H., Melgarejo Romero, E., Cosi Fajardo, M., Villafane Gómez, H., Santiago Martel, A., & Aquino Morales, M. (2022). *Evaluación del peligro por aluvión en la unidad hidrográfica Shullcas, distrito de Huancayo y el Tambo provincia de Huancayo, departamento de Junín* (Informe técnico N°05-2022-INAIGEM/DIG-SDRAG; p. 57). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

Valverde, H., Fuentealba, B., Blas, L., & Oropeza, T. (2022). *La importancia de los pastizales altoandinos peruanos*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM). <https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/8f8bf505-e241-4af0-91ae-4c9e9033ee15/content>

Vila Garrafa, R., & Vilca Gómez, O. (2022). *Informe técnico de inspección de la laguna en formación Auzangate Chaqui* (p. 17) [Informe técnico]. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

Vila Garrafa, R., Vilca Gómez, O., & Bustinza Urviola, V. (2022). *Reporte de Inspección del Glaciar Chicon, Cordillera Urubamba* (p. 20) [Reporte de inspección]. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

Vilca Gómez, O., & Bustinza, V. (2022). *Reporte de Inspección de la laguna Ampaycocha, Nevado Ampay, Cordillera Vilcabamba* (p. 55) [Reporte de inspección]. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

Vilca Gómez, O., & Vila Garrafa, R. (2022). *Reporte de inspección del desborde de la laguna Phacu Cucho Alto* (p. 30) [Reporte de inspección]. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.



