

Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña

2021



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 2021

Dra. Beatriz Fuentealba Durand

Presidente Ejecutiva

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 Yarleque Galvez

Jefa 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 de contacto en 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 2023

Foto de portada: Nevado Artesonraju. (Dickens Rondán). Interiores: INAIGEM

Diagramación: Joan Ramírez, Sabí Torbisco

PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) es una entidad pública peruana de investigación, adscrita al Ministerio del Ambiente (MINAM). Fue creado mediante la Ley 30286 el 12 de diciembre de 2014. INAIGEM es la máxima autoridad a nivel nacional en investigación científica de los glaciares y ecosistemas de montaña. Está enfocada en los desafíos del cambio climático y propone mejoras o cambios en las actividades humanas que afecten la provisión de recursos y servicios ecosistémicos. INAIGEM cuenta con su sede central en Huaraz y dos oficinas desconcentradas en las regiones sur y centro, ubicadas en Cusco y Lima, respectivamente. Su finalidad es fomentar y expandir la investigación científica y tecnológica en glaciares y ecosistemas de montaña, promoviendo su gestión sostenible en beneficio de las poblaciones que residen en dichos ecosistemas o se benefician de estos.

MISIÓN

"Generar y promover investigación científica y tecnológica en glaciares y ecosistemas de montaña en beneficio de los ciudadanos con calidad y pertinencia".

En este informe anual, INAIGEM presenta la situación de los glaciares y ecosistemas de montaña correspondiente al año 2021, con un resumen de sus principales investigaciones y actividades desarrolladas. Se destacan los avances logrados en el Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar (INGLOG), así como diversos estudios de diagnóstico de peligro de origen glaciar en diferentes regiones. También se ha avanzado en proyectos relacionados con la dinámica glaciar y llevado a cabo estudios sobre el estado de diferentes tipos de ecosistemas de montaña, incluyendo bofedales y pastizales, así como el desarrollo de propuestas de recuperación.

Dra. Beatriz Fuentealba
Presidenta Ejecutiva

CONTENIDO

I. POLÍTICA NACIONAL DE GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

8

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

INVENTARIO DE GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

Resultados

INVESTIGACIONES EN ÁNCASH

Monitoreo del retroceso glaciar mediante el método clásico y geodésico para la gestión de riesgo de desastres en la cordillera Blanca

INVESTIGACIONES EN LIMA

Análisis geomorfológico de la subcuenca Shullcas, cordillera Huaytapallana-Junín

Análisis geomorfológico de la subcuenca Río Blanco, cordillera Central-Lima

12

III.

GESTIÓN DE RIESGOS DE ORIGEN GLACIAR

REGIÓN ÁNCASH

Diagnóstico del estado actual de las lagunas Quesillococha, Siula, Gangrajanca y Carhuacocha frente a peligros de origen glaciar en la cordillera Huayhuash

Diagnóstico preliminar de peligros asociados a glaciares en la cordillera Huallanca

Inspección de zonas críticas en ámbitos glaciares - Glaciar PECK

REGIÓN PUNO - CORDILLERA APOLOBAMBA

Evaluación del peligro por aluvión en la microcuenca Occoruruni, unidad hidrográfica Huari Huari, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno

Monitoreo de lagunas glaciares con potencial susceptibilidad al peligro en la cordillera Vilcanota

22

IV.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Proyecto PerúGROWS

Antártida – Proyecto Pant_Bioglaciar

Proyecto Permafrost

Proyecto GLOP - Lagunas de Origen Glaciar en el Perú: Evolución, peligros e impactos del cambio climático

Proyecto IMELS

Proyecto ALPACA

34

V.

INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN EL PERÚ

Riesgos y adaptación al cambio climático

Evaluación de sitios potenciales con presencia de drenaje ácido de roca (DAR) en Áncash y Lima

Avances del proyecto "Nuestro Río". Percepción local de la calidad del agua en la cuenca del río Santa, departamento de Áncash

Evaluación integral de vulnerabilidad y riesgos ante el cambio climático: Marco conceptual y propuesta de indicadores

Inversión pública en infraestructura natural

Estrés bioclimático en los ecosistemas del departamento de Áncash

Informe sobre la gestión del riesgo de desastres en las subcuencas Pariac-Rajucolta y la unidad hidrográfica Río Blanco-Santa Cruz, departamento de Áncash

Avances en la caracterización de bofedales impactados con drenaje ácido de roca.

EVALUACIÓN DE SOCIOECOSISTEMAS Y DE SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Caracterización estructural y funcional de tres bosques dominados por *Polylepis* (Queñual) - Proyecto *Polylepis*

Evaluación de la propagación sexual de *Polylepis weberbaueri* y *Polylepis albicans* en las quebradas Llaca y Quillcayhuanca

Identificación de ecosistemas y evaluación de su condición ecológica en la quebrada Cara Cara, Arequipa

Avances en la caracterización hidrológica en bofedales.

Variación estacional del almacenamiento de agua en el suelo

Evaluación ecohidrológica en pastizales de La Raya, Cusco

Avances de la evaluación de la estructura poblacional de los rodales de *Puya raimondii* en el distrito de Cátac, Áncash, Perú

Recuperación y manejo sostenible de socioecosistemas

Fichas de propagación de especies nativas

Manejo de pastos mejorados en el CICTEM, Cátac, Áncash

Avance: caracterización del proceso productivo y los conocimientos asociados al uso de pastos forrajeros en la comunidad campesina de Cátac, Áncash

Avance: recuperación de pastizales y su efecto en la regulación hídrica

INVENTARIO NACIONAL DE BOFEDALES: VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN CAMPO

Definición de macrozonas de trabajo

Recojo de información en campo para validación de metodología

Ajuste de la metodología para el Inventario Nacional de Bofedales (INB)

42

VI.

INFORMACIÓN EN GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

Sistematización de procesos para la generación de información espacial

Procesamiento y análisis de información espacial, usando teledetección, percepción remota e inteligencia artificial

Viernes Científico

Filmación y edición de videos - Pronóstico climático ambiental

Geoportal

Repositorio institucional

66

VII.

OFICINA DE COOPERACIÓN TÉCNICA

76



POLÍTICA NACIONAL DE GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA





POLÍTICA NACIONAL DE GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

La Política Nacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (PNGYEM) es un instrumento de gestión cuya formulación, aprobación y ejecución están a cargo del INAIGEM, según la Ley N° 30286 (Ley de creación del INAIGEM). En el primer trimestre de 2021, la nueva gestión de la Presidencia ejecutiva, encabezada por el Dr. Bram Willems, realizó una revisión del estado de avance y presentó un informe a la Alta Dirección del MINAM. Es importante destacar que los avances logrados en 2021 contaron con el apoyo financiero de la Fundación Konrad Adenauer (KAS) de Alemania y la ONG Helvetas de Suiza.

Entre marzo y mayo de 2021, el INAIGEM llevó a cabo reuniones de socialización de los avances en la formulación de la PNGYEM con los directores generales del MINAM y los representantes de sus órganos adscritos. Estas reuniones tenían como objetivo recopilar aportes, recomendaciones y comentarios que sirvieran de retroalimentación para el proyecto. Durante este periodo, también se presentó la propuesta al Consejo Directivo del INAIGEM, cuyos miembros validaron la propuesta, expresaron su conformidad y brindaron respaldo al proceso de aprobación. En julio de 2021, se compartieron los avances de la propuesta con el Grupo Técnico de Montañas de la Comisión Nacional de Diversidad Biológica (CONADIB). Las instituciones participantes proporcionaron sus comentarios y aportes.

En vista del proceso de aprobación de la política y la necesidad de respaldo multisectorial para la propuesta (según recomendación del MINAM), el INAIGEM también buscó establecer contacto con aliados estratégicos en el sector privado que pudieran brindar respaldo técnico-científico y relevancia a la propuesta. Entre las organizaciones interesadas, se encontraban el Consorcio del Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (INSH), que incluía la participación de Forest Trends; el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN); y la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA). Además, las ONG CARE y Helvetas manifestaron su interés en brindar apoyo. Esta identificación se llevó a cabo con el objetivo de formar un Comité Impulsor de Trabajo Multisectorial de la PNGYEM, cuya principal meta era lograr la aprobación de la política.

La propuesta final, que incorporó las opiniones de los diferentes actores consultados, definió como problema público la “Disminución de los beneficios que brindan los glaciares y ecosistemas de montaña, afectando la calidad de vida de las personas”. Los objetivos prioritarios se centraron en cuatro beneficios que brindan estas zonas de montaña a la población: la provisión de agua, la seguridad de las personas, la mitigación del cambio climático y la prosperidad de las personas (que se refiere a los recursos que sustentan los medios de vida de la población local). También se avanzó en la identificación de algunos servicios que se ofrecerían desde el INAIGEM.





INVESTIGACIONES EN GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR EN EL PERÚ





INVESTIGACIONES EN GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR EN EL PERÚ

INVENTARIO DE GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

Los glaciares y lagunas constituyen una de las principales reservas de agua dulce del país, y son utilizados para el consumo humano, actividades agrícolas y otras actividades productivas. Por ello, es importante conocer su ubicación, cantidad y distribución en el territorio para realizar una adecuada gestión del recurso hídrico.

Es conocido que el Perú alberga el 68% de los glaciares tropicales del mundo¹, lo que conlleva la responsabilidad de estudiar su variabilidad a través del tiempo. Esta labor se realiza a través de la Dirección de Investigación en Glaciares (DIG) Según la Ley de creación del INAIGEM, el Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar debe ser actualizado cada cinco años. En el Perú, se han desarrollado cuatro Inventarios de Glaciares. El primero fue desarrollado por la Corporación Peruana del Santa y Electroperú, utilizando la técnica de fotografías aéreas tomadas entre 1955 y 1962, reportando una extensión glaciar de 2041.85 km². El segundo inventario fue desarrollado por el Instituto Andino de Glaciología y Geoambiente, estimó un área glaciar de 1595.59 km². El tercero estuvo a cargo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), que utilizó imágenes de los satélites SPOT5, ASTER, LISS-III y LANDSAT del año 2001 al 2010, reportando una extensión glaciar de 1298.59 km². Finalmente, el cuarto inventario fue desarrollado por el INAIGEM, con imágenes de satélite Sentinel-2 del año 2016, encontrando una extensión glaciar de 1118.11 km².

En el año 2021, la Subdirección de Investigación Glaciológica (SDIG) ha realizado avances en la elaboración del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar. En el 2020, de las 20 cordilleras ubicadas el norte, centro y sur del Perú, 18 contaban con cobertura glaciar (Blanca,

¹Veettil, & Kamp. (2019). Global Disappearance of Tropical Mountain Glaciers: Observations, Causes, and Challenges. *Geosciences*, 9(5), 196. <https://doi.org/10.3390/geosciences9050196>

Huallanca, Huayhuash, Raura, Huaytapallana, Chonta, Central, Chila, Ampato, Vilcabamba, Vilcanota, Apolobamba, Carabaya, La Raya, La Viuda, Urubamba, Huagoruncho y Huanzo) y dos son consideradas extintas (Volcánica y Barroso).

En el año 2021, se propuso una metodología y secuencia de procesos para la obtención de los resultados del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar (figura 1).

Resultados

El mapeo y la caracterización de los glaciares se realizó siguiendo las pautas establecidas en el Manual Metodológico del Inventario Nacional de Glaciares², complementado con procedimientos y herramientas (scripts desarrollados en la plataforma GEE) que se han mejorado y están dis-

Etapa 1: Revisión de criterios técnicos y optimización de procesos

En esta etapa se evaluaron las nuevas herramientas tecnológicas a emplearse en el inventario, además de las de optimización de procesos y estimación de variables, ya que no todas las variables pueden ser trabajadas de manera directa con un script, puesto que en muchos casos se requiere de criterios de decisión del especialista.

Se identificó que el Google Earth Engine (GEE) es una plataforma que permite obtener los índices de nieve y agua de forma más eficiente. De igual manera, se concluyó que los lenguajes de programación Python y Java son herramientas que optimizan la estimación de algunas variables denominadas semiautomáticas y automá-

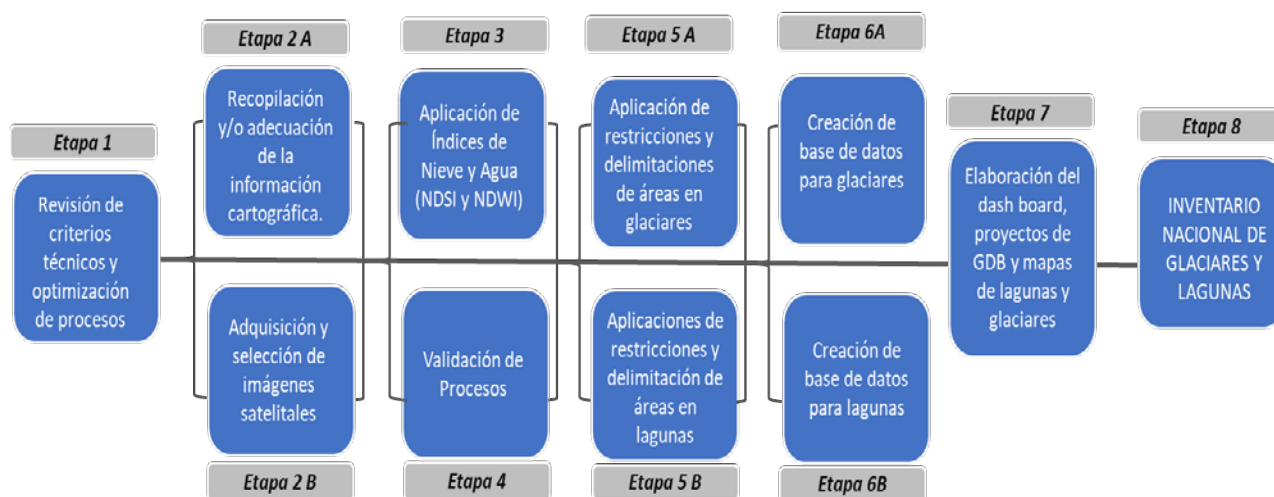


Figura 2. Glaciar Huillca, en la cordillera Blanca.

ponibles para cualquier usuario. El proceso se dividió en las siguientes etapas para el inventario de glaciares y el inventario de lagunas de origen glaciar:

Durante el año 2021, se desarrolló la etapa 1, de revisión de criterios técnicos y optimización de proceso; la etapa 2A, de recopilación y adecuación de la información cartográfica; y la etapa 2B, que correspondió a la adquisición y selección de imágenes satelitales, cuyas actividades se describen a continuación:

ticas (área, coordenadas, orientación, pendiente, volumen, etc.)

Etapa 2A: Recopilación o adecuación de información cartográfica

Se llevaron a cabo dos actividades importantes: la recopilación de información secundaria y la sistematización cartográfica.

² Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña en el Perú: Informe Anual 2017. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, 2019

En la primera actividad, como parte del inicio de acciones para la actualización del inventario correspondiente al año 2020, se solicitó oficialmente la cartografía base existente a las instituciones encargadas de su generación, logrando obtener cartografía actualizada referente a áreas naturales protegidas del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP), catastro y pasivos mineros del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), límites políticos y población del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), unidades hidrográficas y los sistemas de delimitación y codificación Strahler (1957) y Pfafstetter (1989) de la ANA.

La segunda actividad consistió en la sistematización cartográfica, donde se realizó la revisión, organización y adecuación de la información proporcionada por las instituciones. Dicha información se encuentra a escala nacional (1:100 000), por lo que requiere que sea ajustada a la escala de trabajo del inventario (1: 25 000). Durante la revisión se consideró la revisión de vectores, toponimia, escala, etc.

La adecuación cartográfica consistió en la edición manual de los insumos en zonas priorizadas a través del uso de herramientas de Sistemas de

Información Geográfica (SIG). Se buscó la coincidencia de los insumos con las imágenes satelitales y modelos de elevación digital (DEM, siglas en inglés). Los shapefiles (archivos de coordenadas límites) que se priorizaron son los ríos, unidades hidrográficas y curvas de nivel, al ser insumos importantes para la caracterización de glaciares y lagunas.

Etapas 2B: Obtención y procesamiento de imágenes satelitales

Esta actividad fue complementaria con la de la etapa 2A, puesto que para la adecuación cartográfica se ha requerido descargar imágenes. Esto se realizó con base en los criterios estandarizados para la descarga y corrección de las imágenes satelitales Sentinel 2, al ser composiciones de imagen satelital y realización de mosaicos de trabajo.

En general, el trabajo realizado es de alta calidad; y la utilización de herramientas tecnológicas y metodológicas adecuadas ha permitido optimizar el proceso de recopilación y procesamiento de información para la elaboración del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar.



INVESTIGACIONES EN ÁNCASH

Monitoreo del retroceso glaciar mediante el método clásico y geodésico para la gestión de riesgo de desastres en la cordillera Blanca

Desde 2016, el INAIGEM ha llevado a cabo el monitoreo continuo del glaciar Huillca, como parte de sus investigaciones en glaciología. En este informe, se presenta el balance de masa del periodo hidrológico de octubre 2020 a octubre 2021. Su ubicación geográfica está en el distrito de Yuracmarca, provincia de Huaylas, departamento de Áncash. Forma parte de la cuenca del río Santa, unidad hidrográfica del río Quitaracsá.

El objetivo de estudiar y monitorear glaciares como el Huillca en la cordillera Blanca, es comprender su dinámica glaciar (ver figura 2). Hasta el momento, se ha llevado a cabo el monitoreo

mediante el método directo, que consiste en un procedimiento estandarizado de implementación de balizas y pozos de nieve sobre el glaciar en estudio. Para el futuro, se planea utilizar la teledetección con el método geodésico (un procedimiento indirecto mediante el sensoramiento remoto y modelos digitales de elevación para calcular por diferencia el volumen de aporte), debido a las cada vez más peligrosas e inestables condiciones de los glaciares.

Durante el periodo de 2020 a 2021, el glaciar Huillca tuvo una superficie en estudio de 1.25 km². Se obtuvo una estimación de balance de masa glaciar de 439 mm w.e. positivo, y un volumen de aporte de -838 948.59 m³/s durante el año hidrológico (ver figura 3). Se muestra el balance de masa obtenido en función de su altitud.

Para controlar el retroceso glaciar, se establecieron tres puntos exclusivos (PR1, PR2 y PR3);



Figura 2. Glaciar Huillca, en la cordillera Blanca.

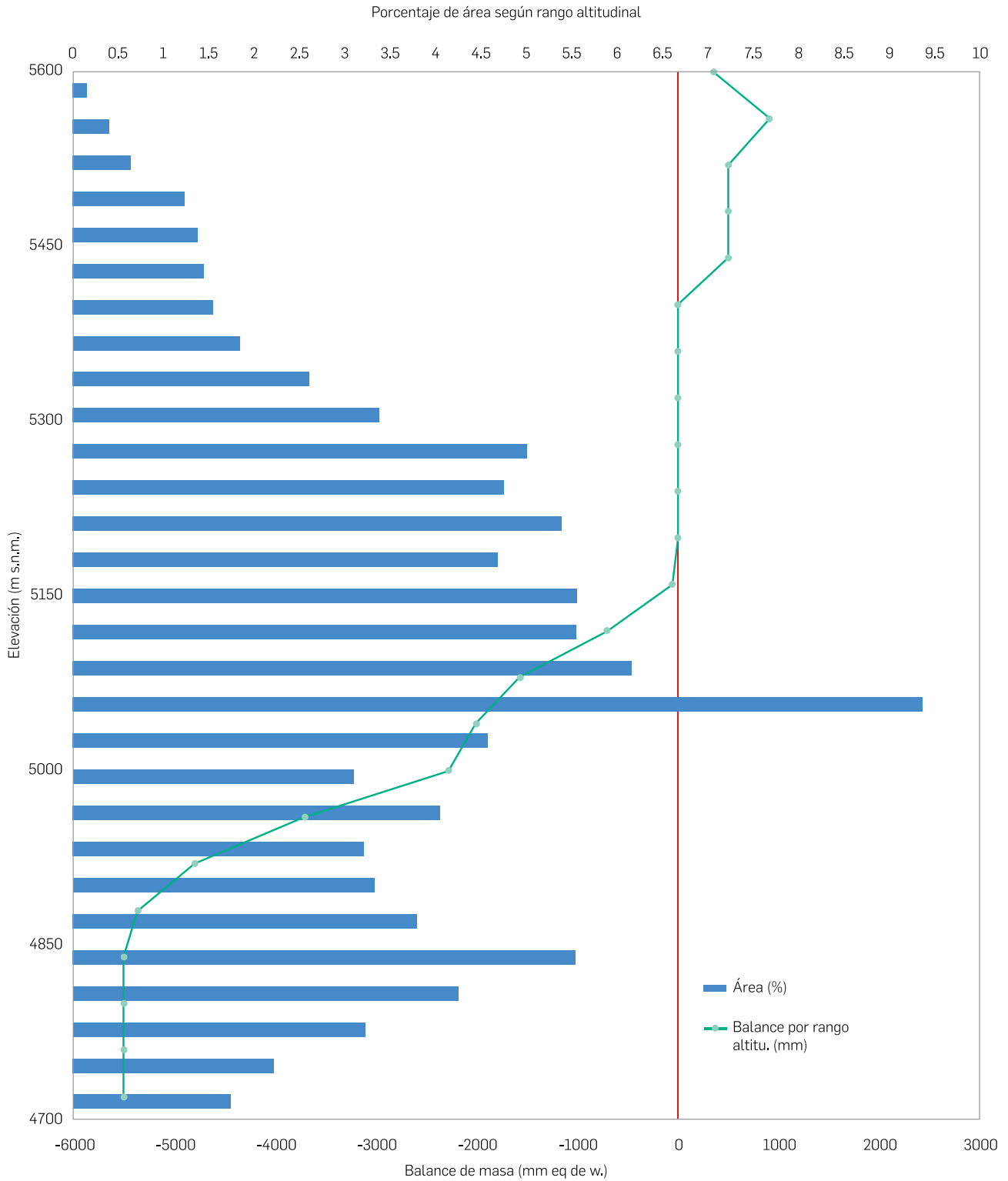


Figura 3. Balance de masa. Distribución porcentual del área por rango altitudinal en el glaciar Huillca 2020 a 2021.

y cuatro puntos auxiliares de apoyo para realizar las lecturas.

La lengua glaciar Huillca ha retrocedido en promedio 11.59 m por año, durante el periodo comprendido de abril de 2016 a octubre de 2021. Sin embargo, se pueden observar cambios muy

rápidos en su dinámica (ver figura 4 y tabla 1). En el frente, se producen desplomes de bloques grandes de hielo que modifican el perímetro y sus fluctuaciones, las cuales varían según las investigaciones realizadas en las salidas al campo.

Tabla 1. Mediciones del frente glaciar Huillca, periodo 2016-2021.

| Cariación de frente glaciar Huillca 2016 - 2021 | | |
|---|---------------|---------------|
| Años | Retroceso (m) | Acumulado (m) |
| abr - 16 | 0.00 | 0.00 |
| nov - 16 | -10.51 | -10.51 |
| jun - 17 | -3.96 | -14.48 |
| sep - 17 | -7.51 | -21.99 |
| may - 18 | -8.47 | -30.45 |
| sep - 18 | -1.76 | -32.21 |
| sep - 19 | -17.73 | -49.94 |
| oct - 20 | -16.07 | -66.01 |
| oct - 21 | -3.51 | -69.52 |

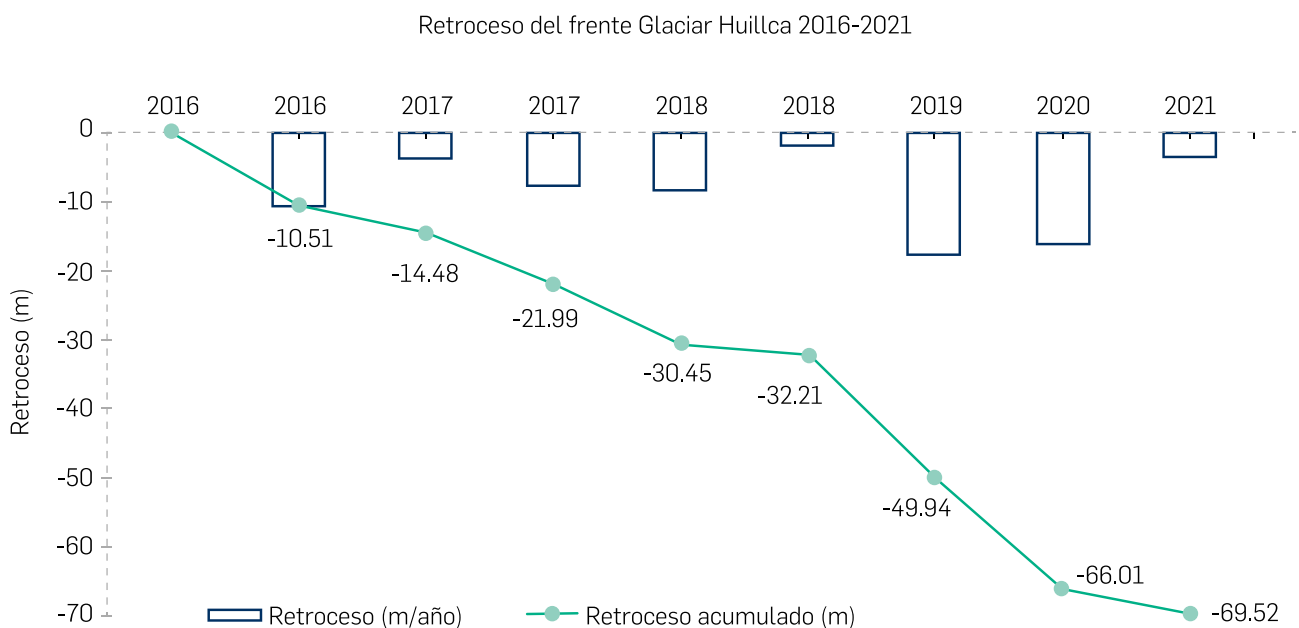


Figura 4. Retroceso del frente glaciar Huillca, periodo 2016-2021.

INVESTIGACIONES EN LIMA

Análisis geomorfológico de la subcuenca Shullcas, cordillera Huaytapallana-Junín

La dinámica glaciar y peri-glaciar se observa en la parte alta de la subcuenca del río Shullcas y otros sectores, debido a que en épocas anterior, cuando las condiciones climáticas eran más frías, los glaciares se extendieron en gran parte de la subcuenca modelando su relieve hacia las partes bajas de la cuenca. Así, han predominado los procesos acumulativos y los grandes abanicos aluvionales, sobre los cuales se emplaza la ciudad de Huancayo. Esta, a su vez, fue influenciada por la dinámica fluvial del río Mantaro, dando como resultado que la subcuenca de Shullcas tenga tres unidades geomorfológicas claramente diferenciadas:

1) Una zona montañosa en la parte alta de la cuenca, donde predominan los procesos acumulativos y erosivos resultantes de la dinámica glaciar y periglaciar, que representa el 41% del área de la subcuenca.

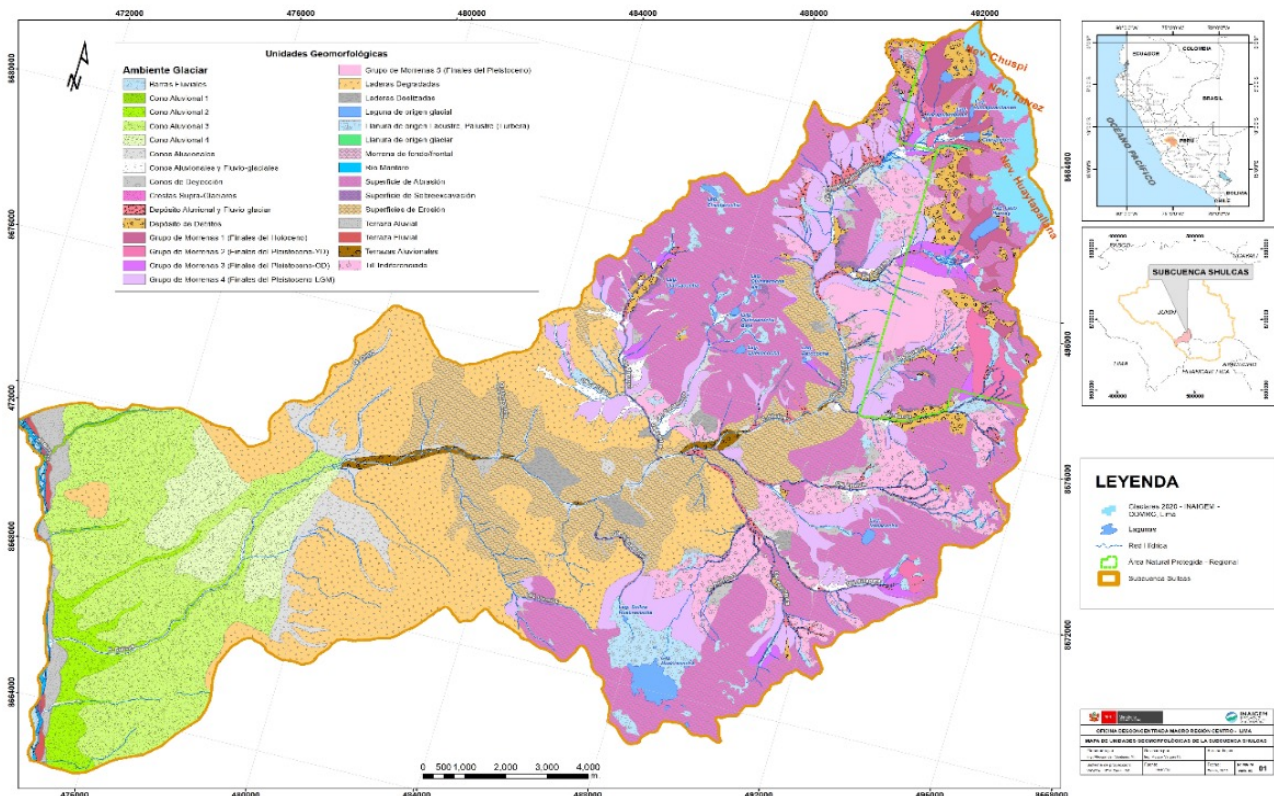
2) Una zona colinosa intermedia, donde predominan los procesos denudativos (generadores del desgaste de la superficie terrestre por el movimiento del agua, el hielo y el viento) que ocasionan gran cantidad de movimientos de masa de 26 % del territorio de la subcuenca.

3) Una zona llana en la parte baja de la subcuenca, donde predominan los procesos acumulativos fluviales y aluvionales, con 22 % de su territorio (figura 5).

Análisis geomorfológico de la subcuenca Río Blanco, cordillera Central-Lima

Se observa la dinámica glaciar y, sobre todo, la peri-glaciar, no solo en la parte alta de la cuenca (glaciar Shullcón y laguna La Rinconada), sino también en la parte media. A continuación, se describen las geoformas identificadas en la subcuenca, representadas en un mapa geomorfológico a escala de 1:25 000.

La subcuenca del Río Blanco presenta tres unida-



des geomorfológicas claramente diferenciadas:

Una zona montañosa, donde predominan los procesos acumulativos y erosivos resultantes de la dinámica glaciar y peri-glaciar, que abarca el 73.22 % de la zona de estudio.

Una zona de laderas erosivas, en la parte baja y media de la subcuenca, donde predominan los

procesos denudativos, que abarcan el 4.3 % de la superficie.

Una zona de acumulación en la parte baja de la subcuenca, donde predominan los procesos gravitacionales o agradacionales, que representan cerca del 22 % de la superficie total (figura 6).

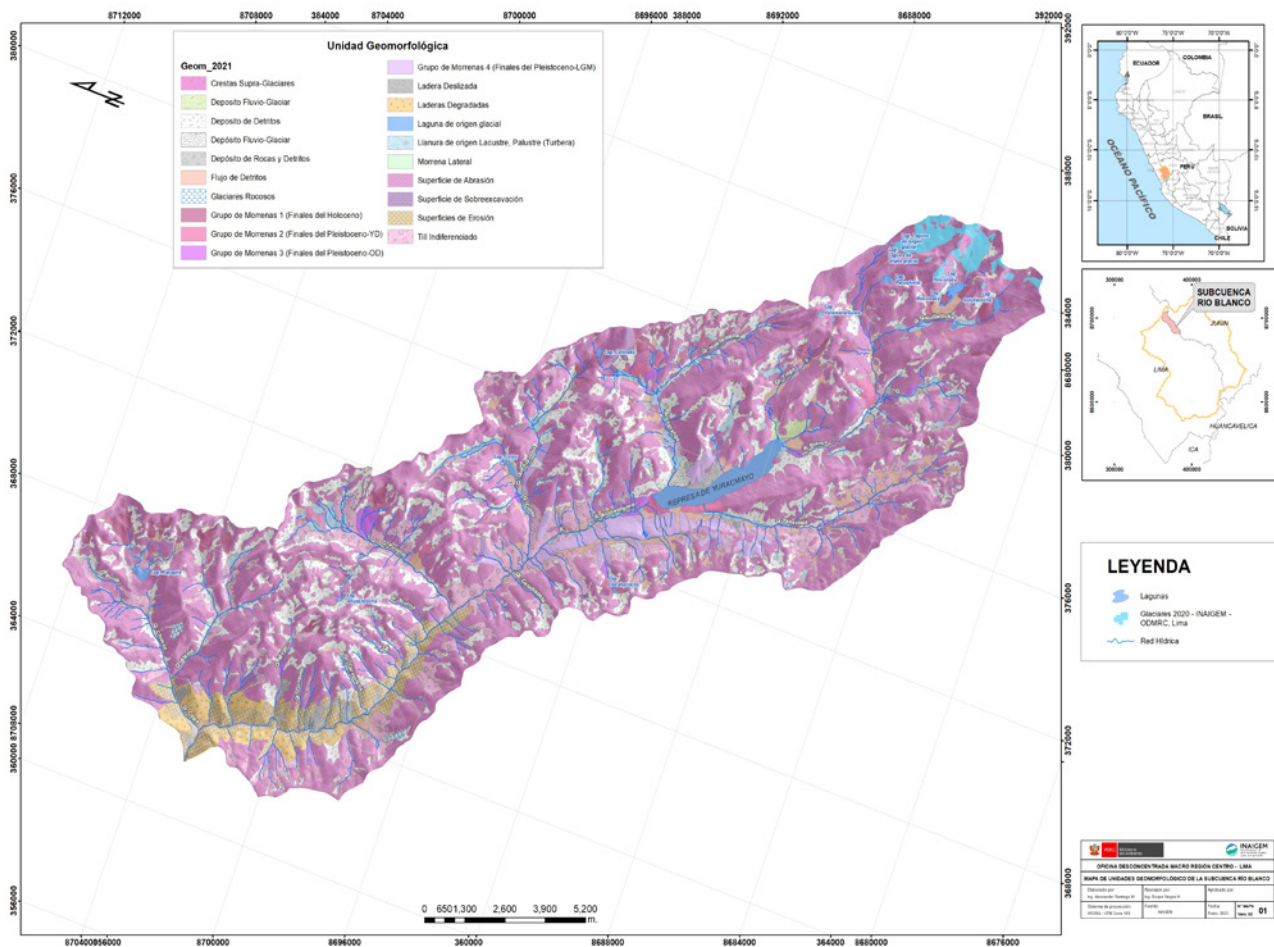


Figura 6. Mapa Geomorfológico de la subcuenca Río Blanco





GESTIÓN DE RIESGOS DE ORIGEN GLACIAR





GESTIÓN DE RIESGOS DE ORIGEN GLACIAR

DEPARTAMENTO DE ÁNCASH

Diagnóstico del estado actual de las lagunas Quesillococha, Siula, Gangrajanca y Carhuacocha frente a peligros de origen glaciar en la cordillera Huayhuash

Esta investigación se desarrolló en la unidad hidrográfica (U.H.) Nupe (quebrada Carhuamayo). Estuvo orientada a evaluar el nivel de peligro que representan las lagunas de origen glaciar de la cordillera de Huayhuash. En ese contexto, se realizaron las siguientes actividades: evaluación de la estabilidad de las morrenas que están presentes en las lagunas Siula, Quesillococha y Gangrajanca; evaluación de los glaciares colgados o peligrosos en el entorno; la batimetría de las lagunas Gangrajanca y Carhuacocha para determinar su profundidad y volumen; y un vuelo fotogramétrico con dron para la obtención de modelos de elevación digital (DEM).

La laguna Gangrajanca (figura 7) está expuesta a frecuentes flujos de hielo y roca provenientes de la cara este del nevado Siula y Yerupajá. Un ejemplo es el flujo de detritos activo que está presente en la margen izquierda de la laguna, a producto a su vez de un flujo originado por el deshielo de la masa glaciar proveniente del nevado Siula.

Las condiciones físicas de la laguna Carhuacocha determinan que su entorno presenta una estabilidad media. El único factor que contribuye a la inestabilidad es la presencia de materiales sueltos en las laderas internas de las morrenas. Aun así, se debe monitorear el volumen de esta laguna, debido a que la laguna Gangrajanca puede originar un GLOF (Glacier Lake Outburst Flood – Inundación por desborde violento de lagunas de origen glaciar) que podría depositarse sobre la laguna Carhuacocha, generando un evento GLOF en cadena.

En resumen, se obtuvo una batimetría igual a ≈ 40 millones de m^3 y una profundidad de 128 m en un entorno muy dinámico de caídas de avalanchas, así como de morrenas inestables. Aguas abajo, se ubica la laguna Carhuacocha, con ≈ 6 millones de m^3 y una profundidad de 18 m. Así mismo, se localiza aguas debajo de dicha microcuenca el poblado de

Queropalca, que podría ser afectado ante el probable desborde de la laguna Gangrajanca y la generación de un aluvión.

Con esta información, se llegó a acuerdos con las autoridades pertinentes para asegurar la conti-

nuidad de los estudios y monitoreo en la cabecera de la U.H. Nupe, sobre la base de los resultados obtenidos y la profundidad determinada por los estudios batimétricos de la laguna Gangrajanca, la cual fue catalogada como una laguna de origen glaciar potencialmente peligrosa.



Figura 7. Zona de emplazamiento de la laguna Gangrajanca, donde se observa la brecha o zanja por donde se desbordó la laguna en 1998.

Diagnóstico preliminar de peligros asociados a glaciares en la cordillera Huallanca

La presente investigación se realizó en la cordillera Huallanca (región Áncash), con el propósito de identificar los peligros asociados a los glaciares de la zona mediante la revisión de información secundaria. Como resultado del análisis, se ha identificado que el nevado Chaupijanca está experimentando un acelerado retroceso glaciar, lo que hace poco probable la generación de una avalancha que impacte sobre la laguna Aguashcocha, y que desencadene un probable aluvión que afecte directamente a la ciudad de Huallanca. Esto se debe a que tanto el vaso de la laguna como la parte frontal están compuestas por roca sedimentaria medianamente competente. Su volumen es de aproximadamente tres millones de metros cúbicos.

En conclusión, se identificaron elementos expues-

tos de la ciudad de Huallanca, que abarcan un área de 68 manzanas y algunas estructuras. Sin embargo, bajo el escenario analizado, no se visualiza un peligro por aluvión que pueda afectar dicha ciudad.

Inspección de zonas críticas en ámbitos glaciares: glaciar PECK

En el ámbito de las cordilleras glaciares existen zonas glaciares y peri-glaciares que representan peligros potenciales para las poblaciones asentadas en dicho entorno. En esa línea, el objetivo es inspeccionar y monitorear de manera periódica las zonas críticas priorizadas, como el glaciar Peck, que representa un peligro potencial para la población de los distritos de Ranrahirca y Yungay, en Áncash.

Durante el año 2021, se obtuvieron las coordenadas geodésicas de orden C del glaciar Peck,

gestión realizada por el INAI GEM a partir de otros puntos geodésicos de base, generados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Así mismo, mediante el levantamiento topográfico con una estación total, se obtuvieron las coordenadas de los hitos de monitoreo P-1, P-2 y P-3, con sus respectivos valores de movimiento en el glaciar Peck 2 (ver figura 8).

También se registró un movimiento promedio de 4.05 m en el periodo comprendido del 24 de julio del 2019 y el 7 de julio del 2021 (ver tabla 2), y de 0.06 m en el periodo del 7 de julio del 2021 al 17 de diciembre del 2021 (ver tabla 3). Con base en los movimientos registrados, se recomienda el monitoreo constante de los hitos instalados en esta zona para conocer la distancia de movimiento por cada periodo.

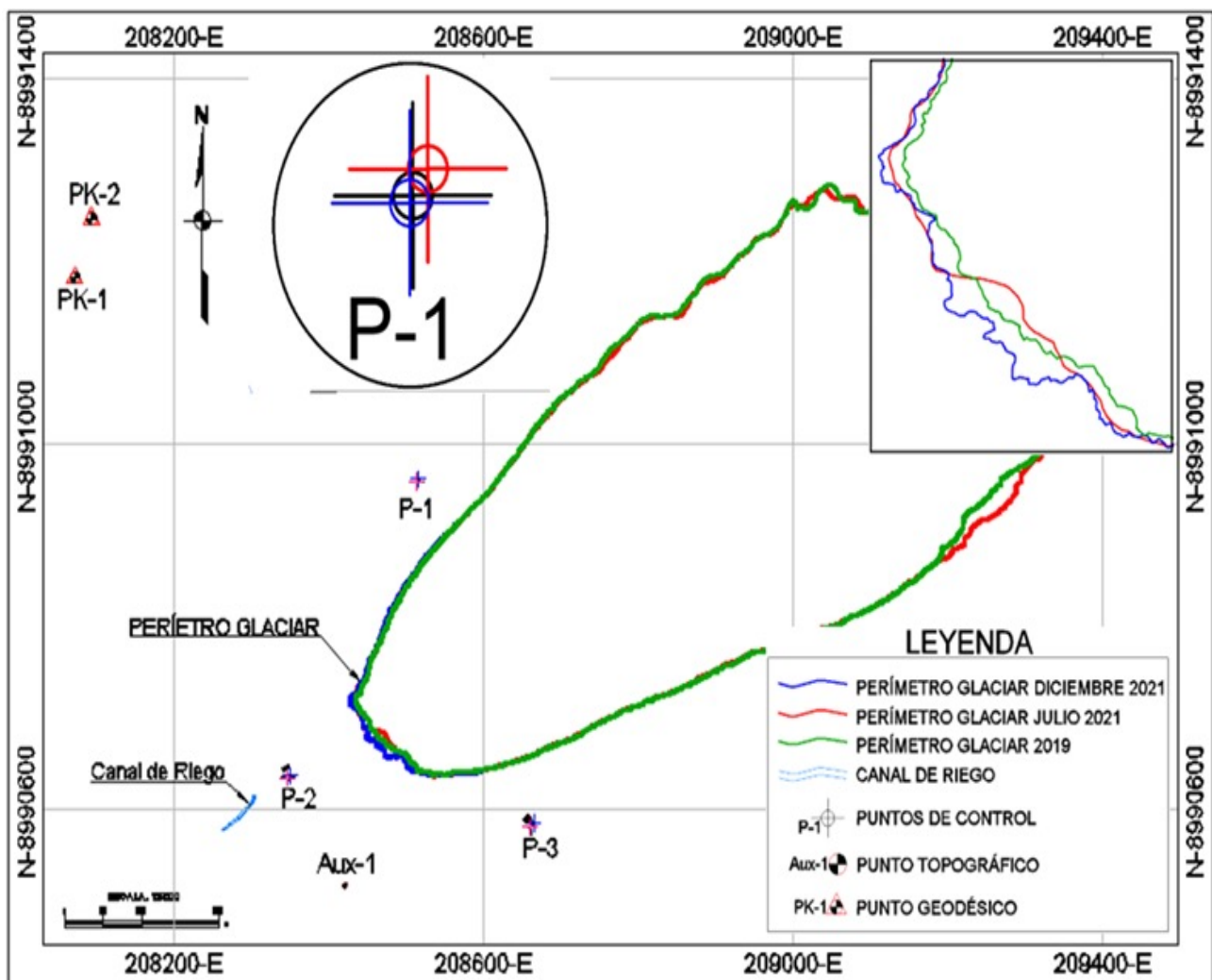


Figura 8. Movimiento de hitos y masa del glaciar Peck 2.

DEPARTAMENTO DE PUNO CORDILLERA APOLOBAMBA

Se está llevando a cabo el registro de información topográfica mediante la fotogrametría de los glaciares Riti Urmasca y Caballune, así como de la laguna Vizcachani; todo esto en el ámbito de la cordillera Apolobamba (ver figura 9). En cuanto al monitoreo de los glaciares, se han obtenido dos ortomosaicos, modelos de elevación digital y curvas de nivel. La generación de información fotogramétrica será útil para analizar el comportamiento de los glaciares en el sur del Perú (ver figuras 10 y 11). Las poblaciones directamente beneficiadas con la información generada son los distritos de Sina y Cojata, ubicados en las

provincias de San Antonio de Putina y Huancané, respectivamente, en el departamento de Puno. Con los registros obtenidos en la campaña del año 2021, se tienen los resultados mostrados en la tabla 4

En el marco del monitoreo de la laguna Vizcachani, se llevó a cabo la medición de la superficie del espejo de agua y la estimación de su volumen, lo cual resulta difícil debido a la presencia de bloques de hielo flotante en la laguna. Se generó un mapa multitemporal mediante la comparación de imágenes. Los registros obtenidos hasta la fecha indican un crecimiento de la laguna, como se muestra en los valores de la tabla 5.

Tabla 2. Movimiento y desnivel de los hitos de monitoreo del glaciar Peck 2 (julio 2019 – julio 2021).

| Movimiento y desnivel de los hitos de monitero en el glaciar Peck2 (Julio 2019 - Julio 2021) | | | | |
|---|----------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|
| Hitos | Elevación (m) 7/07/2021 | Elevación (m) 24/07/2019 | Movimiento (m) | Desnivel (m) |
| P-1 | 4 318.874 | 4 318.886 | 3.11 | -0.013 |
| P-2 | 4 169.784 | 4 169.716 | 3.90 | 0.068 |
| P-3 | 3 321.956 | 4 321.958 | 5.15 | -0.002 |

Tabla 3. Movimiento y desnivel de los hitos de monitoreo en el glaciar Peck 2 (Julio 2021 – diciembre 2021).

| Movimiento y desnivel de los hitos de monitero en el glaciar Peck2 (Julio 2021 - Diciembre 2021) | | | | |
|---|-----------------------------|----------------------------|----------------|--------------|
| Hitos | Elevación (m) 17/12/2021 | Elevación (m) 7/07/2019 | Movimiento (m) | Desnivel (m) |
| P-1 | 4 318.867 | 4 318.874 | 0.05 | -0.007 |
| P-2 | 4 169.784 | 4 169.784 | 0.05 | 0.000 |
| P-3 | 3 321.954 | 4 321.954 | 0.08 | -0.002 |



Figura 9. Mapa de ubicación de los glaciares monitoreados.



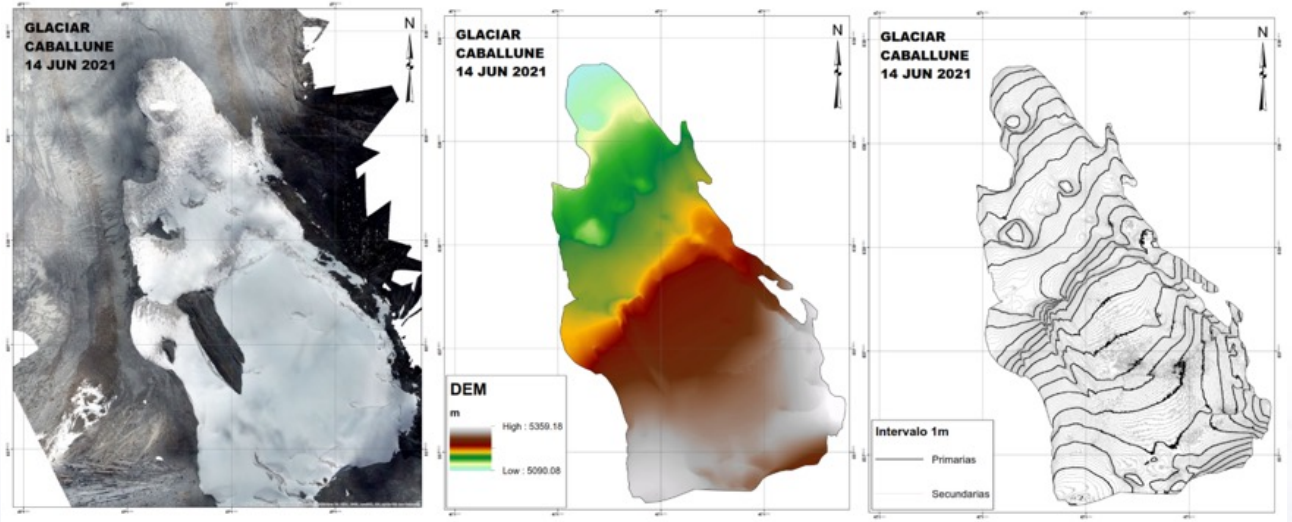


Figura 10. Glaciar Caballune . Información al 14 de junio del 2021.



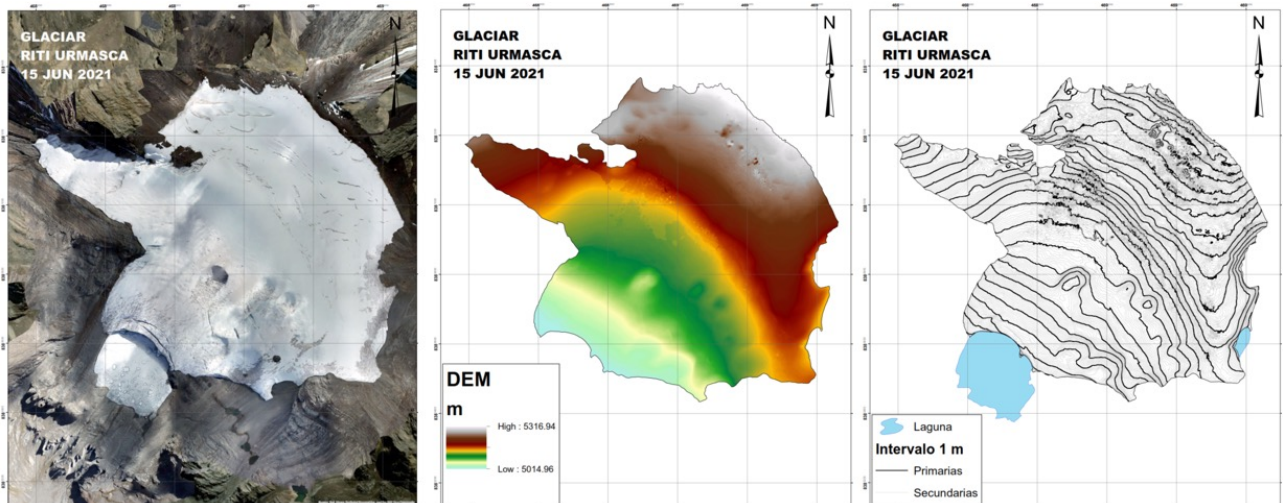


Figura 11. Glaciar Riti Urmasca . Información al 15 de junio del 2021.

Tabla 4. Características geométricas de los glaciares Caballune y Riti Urmasca.

| Glaciar | Área (m ²) | Perímetro (m) | Alt máx. (m) | Alt min (m) | Centroide X (m) | Centroide Y (m) |
|----------------------|------------------------|---------------|--------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Glaciar Caballune | 271 733 | 2 902 | 5359 | 5090 | 471 437 | 8 379 871 |
| Glaciar Riti Urmasca | 598 027 | 4407 | 5316 | 5014 | 469 006 | 8 380 897 |

Los registros obtenidos desde el año 2018 con relación al área de espejo de la laguna Vizcachani muestran un incremento de 57 540 m² hasta el año 2021, lo que representa un aumento del 46%. Del mismo modo, con relación al volumen de agua

almacenada, se calculó que en el año 2018 era de 1 150 000 m³, mientras que en el año 2021 se obtuvo un cálculo de 1 455 686 m³, lo que representa un incremento de 305 686 m³ (27 %). De acuerdo a estos registros, se concluye que la laguna Viz-

Tabla 5. Incremento en superficie y volumen de la laguna Vizcachani con registros de los años 2018 al 2021.

| Año | Área m ² | Incremento m ² | Volumen m ³ | Incremento m ³ |
|------|---------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| 2018 | 124 027 | | 1 150 000 | |
| 2019 | 141 439 | 17 411 | | |
| 2020 | 172 192 | 30 754 | | |
| 2021 | 181 567 | 9375 | 1 455 686 | 305 686 |

cachani está en crecimiento y que aumentará el peligro en la medida en que se encuentre en la dirección de flujo de las pendientes fuertes del circo glaciar. Por este motivo, se continuará el monitoreo con registros anuales.

Evaluación del peligro por aluvión en la microcuenca Occoruruni

El objetivo de este estudio es identificar y determinar los niveles de peligro por aluvión de origen glaciar en la microcuenca Occoruruni, ubicada en la unidad hidrográfica Huari Huari, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno. Se utilizó como área de estudio los resultados de la modelización del aluvión que se generaría desde la laguna Vizcachani, al incorporar los análisis de peligrosidad con la determinación de los niveles respectivos.

El escenario utilizado para el modelado del aluvión corresponde a una avalancha que proviene de los glaciares circundantes a la laguna Vizcachani, considerado como un escenario de desembalse mayor a 1×10^6 m³, con niveles de inundación mayores a 1.2 m en gran parte de la huella.

La evaluación de peligros consideró para su análisis la huella del aluvión, así como las características físicas del área de estudio, que incluye la geotecnia, geomorfología, geología, pendiente y cobertura vegetal. Se identificó que más del 65 % del área de estudio se encuentra en un nivel de peligro muy alto, visible en toda la extensión de la quebrada Occoruruni, que afecta al centro poblado Koriwara. Se muestra el mapa del peligro por aluvión como parte del análisis de los elementos expuestos, estimando una población aproximada de 143 habitantes y 50 viviendas expuestas al potencial aluvión (ver figura 12).

Monitoreo de lagunas glaciares con potencial susceptibilidad al peligro en la cordillera Vilcanota.

Se registró la información por primera vez en la laguna Ananta Cucho, ubicada en la región de Puno, la cual servirá como línea base para el análisis en futuras campañas de registro. Se realizó el registro de información topográfica al frente del glaciar Ananta Cucho, así como la recolección de información batimétrica en la laguna del mismo nombre. El registro generado en

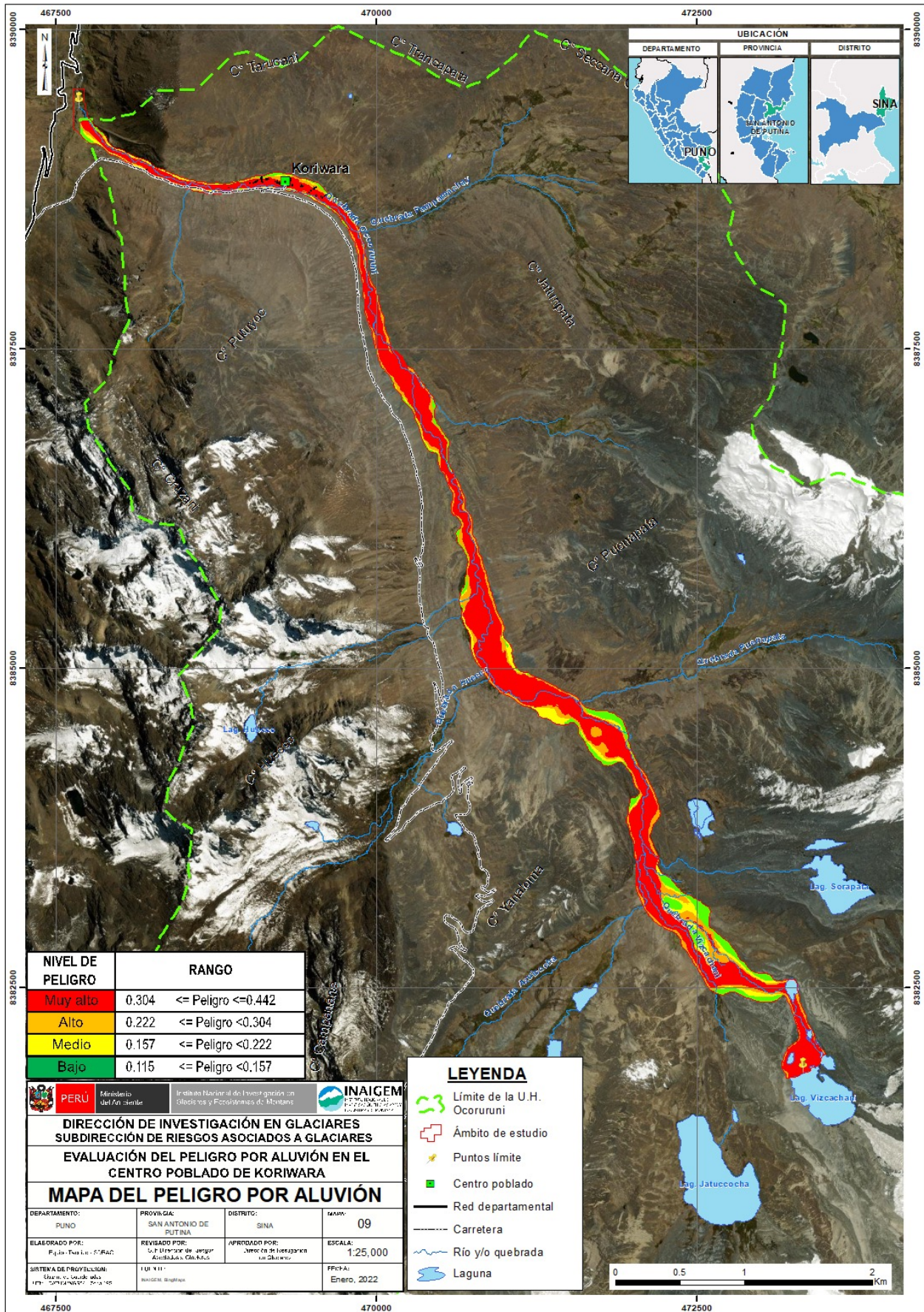


Figura 12. Mapa del peligro por aluvión en la microcuenca Occoruni. U.H. Huari-Huari.

este ámbito formará parte del estudio integral en el glaciar Quelccaya.

Se evidenció la relación existente entre el glaciar y la laguna, enfocando como prioridad la identi-

ficación de los peligros asociados a glaciares en beneficio de las poblaciones del distrito de Corani, provincia de Carabaya. Se muestra esta relación en la figura 13.

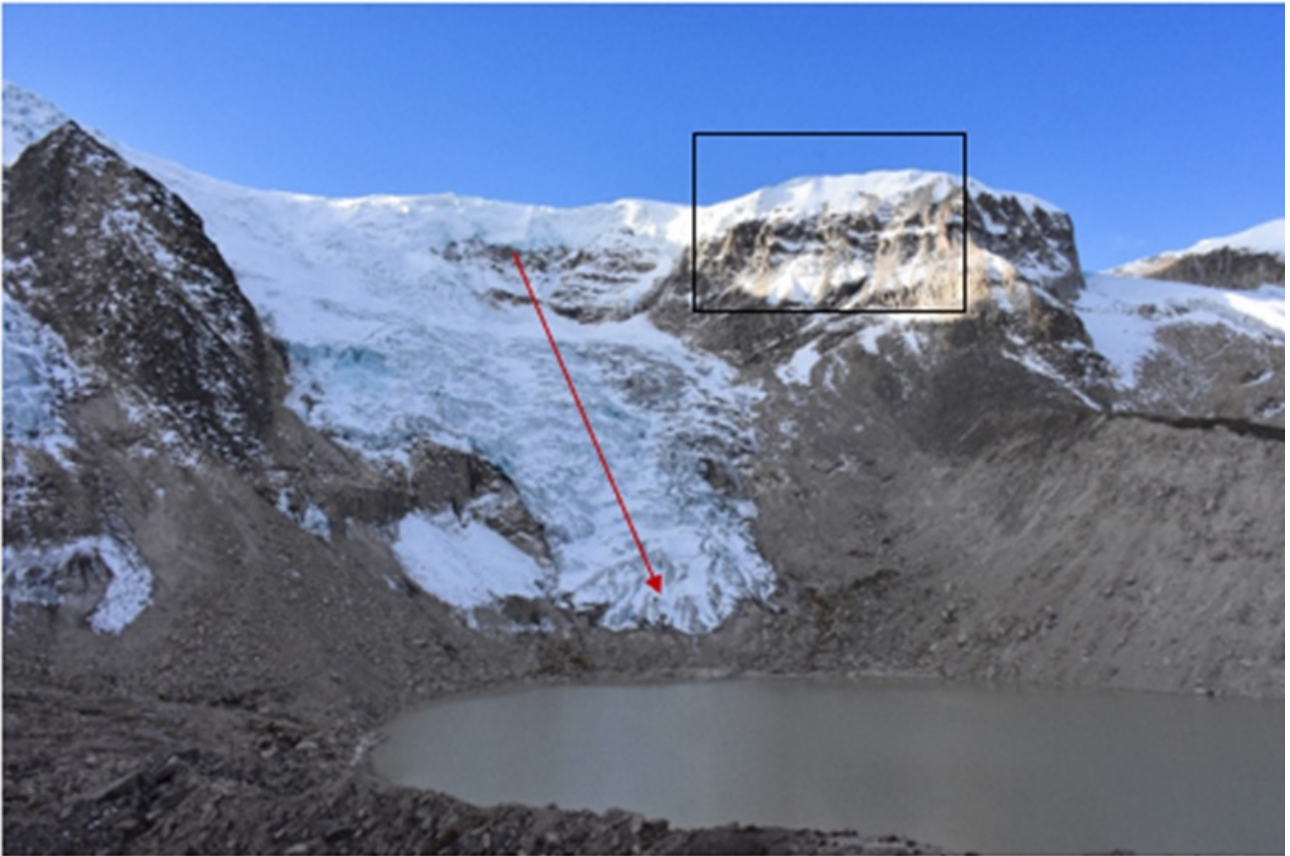


Figura 13. Glaciar y laguna Ananta Cucho, donde se identificaron potenciales zonas susceptibles a avalanchas y caídas de hielo y rocas.



VI. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN





PROYECTO PERÚ GROWS (RETROCESO GLACIAR Y SU IMPACTO EN LA SEGURIDAD HÍDRICA EN EL PERÚ)

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

El proyecto Perú GROWS (Peruvian Glacier Retreat and its impact On Water Security) fue beneficiario de financiamiento para su desarrollo por parte del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) y la Natural Environment Research Council (NERC), de acuerdo al contrato N° 008-2019-FONDECYT. Sus actividades están siendo ejecutadas por el INAIGEM en colaboración con sus entidades asociadas: la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y las universidades de Northumbria, Leeds, BAS, Heriot Watt y Cranfield (del Reino Unido). El objetivo principal del proyecto es mejorar la resiliencia de las comunidades y ecosistemas andinos del Perú, que actualmente experimentan inseguridad hídrica a causa de los cambios en los glaciares y el clima. El área de estudio para el modelamiento corresponde a la parte alta de la cuenca del río Santa. Por otro lado, las áreas de intervención son las unidades hidrográficas Lullán, Áncash, Ranrahirca, Casca, Quillcay y Yanayacu en la cordillera Blanca; y Huata, Santo Toribio, Utcuyacu y Urpay en la cordillera Negra.

El proyecto Perú_GROWS se divide en cuatro paquetes de trabajo (PT). En el PT 1 se estudian los "sistemas socioecológicos de los Andes"; en el PT 2 se estudia el "modelamiento del cambio en el clima y los glaciares"; en el PT 3 se aborda los "impactos de la dinámica glaciar sobre los recursos hídricos y servicios ecosistémicos"; finalmente, en el PT 4 se investiga la "adaptación y mitigación en un contexto de cambio climático y políticas de implementación".

Sistemas socioecológicos de los Andes

Se ha avanzado un 40% en la redacción de la tesis de doctorado "Narrativas sociales locales en los Andes peruanos frente al fenómeno del derretimiento de los glaciares tropicales, enmarcado en el cambio climático", y se ha detallado el caso del conflicto hídrico de la laguna de Parón (Caraz, región Áncash, Perú) entre las décadas de 1990 y 2010. Además, se ha participado en la Conferencia Internacional de trAndeS "Desigualdades Sociales y Desarrollo Sostenible en la Región Andina".

Se ha procesado y analizado la información recopilada sobre la percepción de seguridad hídrica en los centros poblados de Llupa, Coyllur, Unchus e Ichoca, de la unidad hidrográfica Quillcay. También se ha realizado el análisis multitemporal de la variación de la superficie de humedales en las unidades hidrográficas de Quillcay y Gueshgue en el periodo 1989-2019, así como la variación de la superficie de lagunas en las unidades hidrográficas de Llullán, Quillcay y Gueshgue en el mismo periodo. Para el monitoreo de calidad de agua, se llevaron a cabo muestreos de macroinvertebrados, algas y diatomeas en las unidades hidrográficas de Llullán, Quillcay, Casca y Yanayacu durante el año 2021.

Modelamiento del cambio climático y su efecto en los glaciares

Se están desarrollando trabajos para avanzar en los modelamientos climáticos y glacio-hidroclógicos de la cuenca del río Santa. Asimismo, se realiza el análisis multitemporal de la variación del retroceso glaciar en las unidades hidrográficas de Llullán, Quillcay y Gueshgue, comprendido en el periodo 1989-2019. También se cuenta con el procesamiento de los datos de fotogrametría terrestre de los frentes glaciares de Artesonraju, Llaca y Gueshgue del año 2020, donde se obtuvieron modelos digitales de elevación y ortomosaicos de alta resolución.

Se llevaron a cabo salidas de campo en las partes altas de las unidades hidrográficas de Llullán, Casca, Quillcay y Yanayacu para la recopilación de datos, incluyendo fotogrametría aérea y terrestre, medición del volumen de hielo (GPR), aforo de caudales en la parte alta, instalación y lectura de balizas, topografía, pozos de nieve y la instalación de dos puntos geodésicos en el glaciar Artesonraju.

Impactos de la dinámica glaciar sobre los recursos hídricos y servicios ecosistémicos

Se continúa con los trabajos para el avance del modelamiento hidrológico (WEAP) de la cuenca del río Santa; y en el procesamiento e identificación de las muestras biológicas de las salidas de campo del año 2020. Se logró sustentar exitosamente la tesis de maestría titulada "Influencia del gradiente de cobertura glaciar de la cordillera Blanca en la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos, 2019-2020".

Adaptación y mitigación en un contexto de cambio climático y políticas de implementación

Para continuar con el análisis del documento "Estrategias de adaptación a la escasez de agua en Perú", se han diseñado estrategias de adaptación a la escasez de agua en el país. Además, se ha obtenido información sobre las implicaciones para la adaptación ante la inseguridad hídrica en la Unidad Hidrográfica Llullán. Estos datos indican que la estrategia adaptativa podría consistir en controlar adecuadamente la salida de agua de la laguna Parón. Sin embargo, se sugiere que las estrategias actuales deben enfocarse en establecer una normativa e institucionalidad multisectorial, para construir un ambiente de diálogo y consenso entre las autoridades y la población local.

ANTÁRTIDA – PROYECTO PANT_ BIOGLACIAR

El proyecto "Aporte social, económico y ambiental en la conservación y pérdida de la biodiversidad marina-lacustre por el retroceso glaciar" recibió financiamiento por parte del CONCYTEC - FONDECYT y el Banco Mundial (Contrato N°003-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU). Las actividades son ejecutadas por el INAIGEM en colaboración con sus entidades asociadas, incluyendo el Ministerio de Relaciones Exteriores (MRE), en conjunto con el Programa Antártico Peruano, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, McMaster University y el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA). Este proyecto tiene intervención en dos ámbitos: en la quebrada Shallap, subcuenca Quillcay, departamento de Áncash (Perú); y en la Isla Rey Jorge de la Península Antártica (Tratado Antártico).

El proyecto tiene una duración de 36 meses y se espera que continúe en el futuro para contribuir significativamente al Programa Antártico Nacional y a los Andes peruanos. En el 2021, se sustentó la tesis de pregrado "Relación entre los isótopos estables de oxígeno e hidrógeno y las condiciones climáticas pasadas en el glaciar Artesonraju en la cordillera Blanca - 2019".

PROYECTO PERMAFROST

El proyecto Permafrost recibió financiamiento del CONCYTEC y del Banco Mundial (Contrato N°23-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU). Está siendo ejecutado por el INAIGEM en colaboración con la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), la Universidad de Huddersfield y la Universidad de Zúrich. Su objetivo principal es identificar la distribución espacio temporal de permafrost en el Perú, adaptando o aplicando modelos matemáticos que usan imágenes satelitales y variables climáticas, con la finalidad de generar una base geoespacial que permita vi-

sualizar la distribución y formas del permafrost en el Perú y que pueda ser útil para los tomadores de decisiones. El proyecto se enfoca en las 18 cordilleras glaciares del Perú como área de estudio para el modelamiento. Además, se están realizando trabajos de campo en el glaciar rocoso San Félix (Arequipa), el glaciar cubierto Kinzl (Áncash) y las quebradas de Llaca, Parón, Shallap y Gueshgue (Áncash).

La revisión y validación final del inventario nacional de glaciares rocosos se realizó con base en los comentarios de 17 revisores externos, con los cuales se estandarizaron los criterios para la identificación, digitalización y clasificación de estos glaciares. Luego, se procedió a la revisión y validación final del inventario, donde se actualizó la cantidad (2272 en total) y la clasificación (507 activos, 907 inactivos, 311 intactos y 486 relictos) de los glaciares rocosos a nivel nacional. Asimismo, se concluyó que las cordilleras Barroso, Huanzo y Chila tienen el 77% de los glaciares rocosos del Perú; y que en las cordilleras Blanca y Huagoruncho no se encontraron glaciares rocosos.

El proyecto también ha publicado dos artículos científicos con resultados parciales, y ha llevado a cabo un modelamiento exploratorio del permafrost a 90 metros a nivel nacional y a nivel de cordillera, lo que ha permitido reducir la escala del modelamiento avanzado preliminar del permafrost a 30 metros a nivel nacional.

PROYECTO GLOP - LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR EN EL PERÚ. EVOLUCIÓN, PELIGROS E IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El proyecto GLOP (Glacial Lakes of Peru) recibió financiamiento para su desarrollo por parte del CONCYTEC y la Natural Environment Research Council (NERC), de acuerdo al Contrato N° 007-2019-FONDECYT. Sus actividades son ejecutadas por el INAIGEM en colaboración con sus entidades asociadas: Universidad Nacional

Santiago Antúnez de Mayolo, Instituto del Bien Común, Fundación Árbol de la Vida y las universidades de Exeter, Huddersfield y Aberystwyth (Reino Unido).

Este proyecto se enfoca en las lagunas de origen glaciar en Perú, que están experimentando cambios por la rápida deglaciación en respuesta al cambio climático. Como resultado, se han formado numerosas lagunas de origen glaciar de gran volumen, muchas de las cuales son represadas por depósitos glaciáricos de inestabilidad potencial. Las inundaciones por desbordamiento violento de lagunas de origen glaciar (GLOF-Glacial Lake Outburst Floods) representan un peligro significativo para las poblaciones y su infraestructura, por lo que es necesario conocer el nivel del riesgo al que están expuestas.

En este contexto, el proyecto GLOP ha desarrollado los paquetes de trabajo WP01 y WP02, correspondientes al modelamiento climático y análisis temporal, mediante imágenes satelitales de las lagunas glaciares y GLOF, respectivamente. Los resultados están siendo analizados, encontrándose en curso los paquetes de trabajo WP03, 04 y 05, que corresponden a la evaluación del peligro, modelamiento GLOF y evaluación del riesgo e impacto, respectivamente.

Como resultados preliminares, se obtuvieron los niveles de altura del flujo en la U.H. Yavero (Upis-mayo y Mapacho) ante un aluvión desde la laguna Upiscocha. También se registró información primaria (encuestas) a las viviendas localizadas a lo largo del río Mapacho (cordillera Vilcanota, Cusco), que podrían verse afectadas ante la ocurrencia de un aluvión desde la laguna Upiscocha. Durante el registro de campo, se identificaron 329 viviendas como elementos expuestos en el área de estudio.

El 8 de julio de 2021, el proyecto ha publicado un artículo de investigación en colaboración con investigadores del Reino Unido, titulado "Contemporary glacial lakes in the Peruvian Andes" (<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103574>).

También ha presentado cuatro investigaciones en eventos científicos como EGU y ASCE.

PROYECTO IMELS

El Proyecto IMELS es parte del plan de trabajo a mediano plazo del "Memorando de entendimiento de Cooperación en el campo de la Vulnerabilidad, Evaluación de Riesgos, Adaptación y Mitigación al Cambio Climático" entre el Ministerio Italiano de Medio Ambiente, Tierra y Mar (IMELS, siglas en inglés) y el Ministerio del Ambiente (MINAM) de Perú. El objetivo del proyecto es ayudar al gobierno peruano a lograr un cambio transformador mediante el abordaje de las condiciones habilitantes para que las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC, siglas en inglés) de adaptación y mitigación logren el desarrollo sostenible y equitativo, resiliente al clima. El proyecto ha establecido dos objetivos principales: (i) la elaboración de una metodología para el desarrollo de un inventario de glaciares y lagunas de origen glaciar; y (ii) una metodología para el monitoreo de glaciares. Estos documentos buscan estandarizar los métodos necesarios para guiar los estudios de los glaciares y lagunas de origen glaciar a nivel nacional e internacional, y permitir una actualización oportuna del inventario en función al tiempo.

Durante el 2021, se llevaron a cabo eventos de capacitación y entrenamiento al público y personal especializado del INAIGEM, la ANA y el MINAM, sobre las metodologías para el inventario y monitoreo de glaciares y lagunas de origen glaciar del Perú. Además, se realizaron tres salidas de campo a los glaciares Artesonraju (cordillera Blanca) en el departamento de Áncash; Sullcon (cordillera Central) en el departamento de Lima; y Coropuna (cordillera Ampato) en el departamento de Arequipa; todo esto con el objetivo de validar la metodología del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar y la Metodología del Monitoreo Glaciológico.

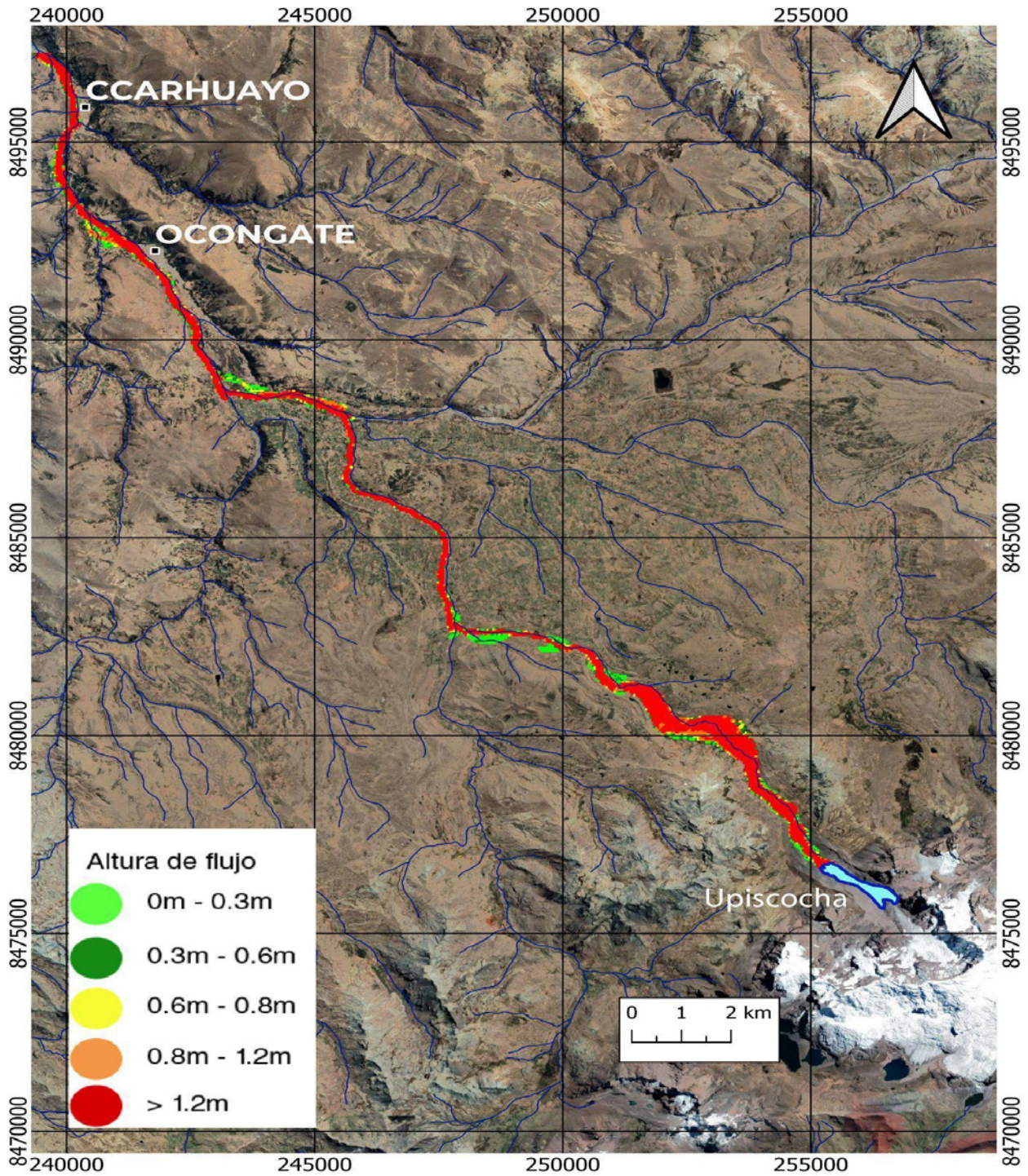


Figura 14. Mapa de altura del flujo por aluvión. U.H. Yavero (Upismayo y Mapacho). Versión preliminar.

PROYECTO ALPACA

El Proyecto ALPACA (Analysis of Light absorbing PArticles: linking Cryosphere to Atmosphere) fue aprobado en el año 2020 como resultado de una propuesta de varios institutos del Consejo Nacional de Investigaciones de Italia, en el marco del convenio de Cooperación entre el MINAM y el IMELS. Su objetivo es identificar y cuantificar las partículas atmosféricas de carbono negro (CN) y las partículas absorbentes de luz (PAL) relacionadas con el derretimiento de los glaciares del Perú y promover la transferencia de conocimiento sobre los impactos de carbono negro en los glaciares del Perú. Para lograr este objetivo, se abordaron cuatro metas específicas:

- Desarrollo de una metodología para el monitoreo del carbono negro atmosférico, incluyendo las mediciones relacionadas.
- Cuantificación de la absorción de luz producida por diferentes partículas absorbentes de luz (PAL) depositadas sobre la nieve.

- Evaluación de medidas de reducción de emisiones del carbono negro (BC).
- Divulgación.

El proyecto se llevó a cabo bajo la forma de una consultoría desarrollada por un equipo de investigadores italianos, denominada "Consultoría para la elaboración de una propuesta metodológica para el monitoreo y evaluación del carbono negro en áreas glaciares priorizadas, elaboración de un informe científico y técnico para la formulación de medidas de mitigación de las emisiones de partículas de carbono negro". En el 2021 se desarrolló una propuesta metodológica para el monitoreo y evaluación del carbono negro en áreas glaciares priorizadas, hasta obtener un quinto producto. En el caso del cuarto producto, se planificó para el año 2022, ya que se han presentado dificultades en la liberación del etalómetro AE-33, retrasando la instalación, las mediciones de concentración de carbono negro en la atmósfera y, por lo tanto, se priorizó la entrega del quinto producto.





ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN UN
CONTEXTO DE CAMBIO CLIMATICO





ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

RIESGOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Evaluación de sitios potenciales con presencia de drenaje ácido de roca (DAR) en Áncash y Lima

El presente estudio piloto se realizó a través del "Servicio de recopilación, procesamiento y análisis de datos hidrológicos para la determinación de sitios con potencial generación de drenaje ácido de roca en las regiones de Áncash y Lima". Esta investigación utilizó datos secundarios generados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) a través de las Autoridades Administrativas del Agua (AAA) y se obtuvo una base de datos con 311 puntos de muestreo en cuerpos de agua (ríos, quebradas y lagunas) que se encuentran dentro del ámbito de intervención del INAIGEM. Se utilizó una novel metodología, que incluyó la exploración e integridad de datos en una serie de tiempo de diez años (2010-2019), análisis estadísticos descriptivos, de correlación, multivariado "escalamiento multidimensional no métrico" (nMDS), y la interrelación con mapas de deglaciación, geológica y provincias metalogénicas (zonas con preponderancia de metales en rocas ígneas). Se obtuvieron los siguientes resultados:

- A. En la región de Áncash, la presencia de pasivos ambientales mineros y vertimientos mineros autorizados es la principal causa de afección a la calidad del agua en las cuencas de esta región. Estas aguas se caracterizan por elevadas concentraciones de metales (en especial manganeso, plomo y zinc) y considerables niveles de acidez. Además, en algunas zonas de esta región, específicamente en la cuenca del río Santa, se evidencia que el retroceso glaciar (e.g. glaciares Cayesh y Yanamarey), se relaciona con condiciones de acidez y elevadas concentraciones de metales (aluminio, hierro y manganeso). Específicamente, se identificaron los puntos de monitoreo en el Río Negro (3332 m s.n.m.) y el río Auqui (3326 m s.n.m.) como posibles sitios impactados por el drenaje ácido de roca.

B. En la región Lima, la presencia de pasivos ambientales mineros, vertimientos mineros autorizados y vertimientos domésticos y municipales, son la principal causa de afectación a la calidad del agua en las cuencas de esta región, donde hay una constante transgresión de los niveles máximos de cadmio, cobre, manganeso y bacterias del tipo coliformes termotolerantes. Las zonas de la región Lima donde se ha evidenciado retroceso glaciar, como en la cordillera Raura, no tienen relación con la generación del drenaje ácido de roca. Por ejemplo, en la cuenca del río Huaura, específicamente en la quebrada Macshay (3965 m s.n.m.), se han identificado impactos en los cuerpos de agua, debido a la geología y mineralogía de la zona, ya que han superado la concentración de metales como manganeso y plomo, pero no han evidenciado condiciones de acidez constante. La mayoría de los sitios identificados (90% del total) son impactados por actividades antropogénicas (domésticas, industriales).

Se proyecta continuar con este mismo análisis a la información disponible en los departamentos del centro y sur del país.

Avances del proyecto "Nuestro Río". Percepción local de la calidad del agua en la cuenca del Río Santa, departamento de Áncash.

El proyecto "Nuestro Río" fue desarrollado por el INAIGEM, en colaboración con la Universidad de Plymouth, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el Instituto de Montaña (IM). El objetivo del proyecto fue comprender las problemáticas de calidad del agua desde la perspectiva de las comunidades locales en zonas prioritarias de la cuenca del río Santa. Para lograr esto, se utilizó una aplicación de ciencia ciudadana llamada "Nuestro Río" que permitió la recopilación de información a través de encuestas puntuales. Entre julio y agosto del 2021, se realizaron 394 encuestas y 115 entrevistas complementarias en ocho poblaciones: Conococha, Utcuyacu, Cátac, Olleros,

Huaraz, Carhuaz, Ranrahirca y Caraz.

Los resultados preliminares del proyecto muestran que las percepciones de la calidad del agua varían según la ubicación geográfica. En las zonas donde se percibe una mala calidad del agua, las principales problemáticas identificadas son: a) la descarga de aguas residuales de los desagües y drenajes sin tratamiento, b) la presencia de basura y residuos sólidos en los ríos y cuerpos de agua, c) la presencia de ganado, cuyos excrementos y orines contaminan el agua, d) la incorporación de sedimentos producidos por la erosión del suelo a causa de la lluvia y e) la descarga de metales pesados al agua, de origen natural y antrópico (actividad minera).

Los resultados del proyecto fueron difundidos en un artículo científico y una exhibición itinerante en los poblados de Cátac, Olleros y Huaraz en el 2022.

Evaluación integral de vulnerabilidad y riesgos ante el cambio climático: marco conceptual y propuesta de indicadores.

Este estudio tiene como objetivo diseñar un marco conceptual que respalde el desarrollo de instrumentos para la evaluación de vulnerabilidad y riesgos relacionados con desastres de origen glaciar en los ecosistemas de montaña y centros poblados ubicados en zonas de cuenca alta y media. El propósito es apoyar la toma de decisiones de entidades nacionales, gobiernos regionales y locales en la implementación de medidas e inversiones para la reducción del riesgo. El instrumento propuesto consiste en un sistema de información geográfico (SIG) combinado con una plataforma automatizada de indicadores, que agilizará las evaluaciones de riesgo y mejorará las condiciones de planificación territorial, enfocándose especialmente en la gestión de riesgos. Entre los resultados más relevantes del estudio se encuentran los siguientes:

1. Se elaboró un documento de síntesis para respaldar las discusiones sobre el marco conceptual.

2. Se integró un listado de indicadores clave para los estudios de riesgo, basándose en el marco conceptual adoptado.
3. Se realizó un análisis de los indicadores que involucró la realización de varios talleres, en los que se revisaron las definiciones y pertinencia de los indicadores, a través de consultas dinámicas que contaron con la participación de especialistas de diferentes equipos técnicos intra e interinstitucionales.
4. Se definieron y establecieron los criterios de análisis y escalas de ponderación para el modelamiento del peligro, la vulnerabilidad y la exposición. Estos criterios sirven como base para el desarrollo del modelo conceptual de una plataforma SIG, planificada para el año 2022.

Inversión pública en infraestructura natural

En el año 2020 se realizó el estudio "Avances de la Inversión Pública en Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica", que consistió en una revisión de información para identificar los proyectos de inversión pública (PIP) que tuvieran como componente central mejorar la seguridad hídrica, aplicando intervenciones en la infraestructura natural. El proceso para generar este documento implicó la revisión de las bases de datos del Ministerio de Economía y Finanzas, en el período comprendido entre los años 2012 al 2020, donde se encontraron 94 PIP. Los hallazgos principales fueron los siguientes:

- Los PIP identificados están distribuidos en 16 departamentos del Perú.
- El departamento de Cusco destaca por tener la mayor cantidad de proyectos, con 46 PIP; seguido de Huancavelica con 10 y Apurímac con seis.
- Los departamentos con una cantidad menor de PIP son La Libertad, Lima y Huánuco.
- El total de proyectos identificados suman una inversión total de S/607 535 649 (seiscientos siete millones quinientos treinta y cinco mil seiscientos cuarenta y nueve soles).

Hasta el año 2020, se ha ejecutado el 58 % del

monto total aprobado, lo que suma un total S/351 524 195 (trescientos cincuenta y uno millones quinientos veinticuatro mil ciento noventa y cinco soles). Estos resultados se ven reflejados en un reporte final dirigido a tomadores de decisiones, que incluye mapas de calor divididos por sectores (norte, sur y centro), y otros para el caso particular de Cusco. Asimismo, se actualizó la base de datos generada durante el 2020 con la información de los proyectos identificados en el 2021. La información más relevante de cada proyecto se encuentra disponible para el público en el Geoserver del INAIGEM. Con esta información, se procederá a seleccionar proyectos para implementar un sistema de monitoreo que genere las evidencias sobre si se está cumpliendo con el propósito de asegurar el agua para el futuro. En el siguiente mapa se puede observar los proyectos de inversión identificados a nivel nacional hasta el año 2021 (figura 15).

Estrés bioclimático en los ecosistemas del departamento de Áncash

El estrés bioclimático es un indicador de la pérdida de sustentabilidad de un ecosistema, causado por variaciones climáticas que exceden su rango de tolerancia. Aquellos ecosistemas con mayor capacidad de adaptación a nuevas condiciones climáticas podrían persistir en su territorio original, mientras que otros podrían desaparecer y ser reemplazados con el tiempo.

El objetivo del estudio "Estrés bioclimático de los ecosistemas de la región Áncash" (figura 16) consiste en proyectar el nivel de estrés bioclimático que podrían generar los escenarios climáticos futuros SSP5-8.5 (peor escenario posible, poco probable) y SSP2-4.5 (escenario intermedio, probable), si no se toman medidas de mitigación extremas para los años 2040 y 2060 en los ecosistemas del departamento de Áncash, Perú. Los resultados de este estudio son una contribución importante para dar una dimensión espacio temporal a los desafíos que el cambio climático trae consigo; y orientar una gestión adecuada de los ecosistemas de esta región. El estudio comprendió la actualización de datos climáticos en el servidor Worldclim, basa-

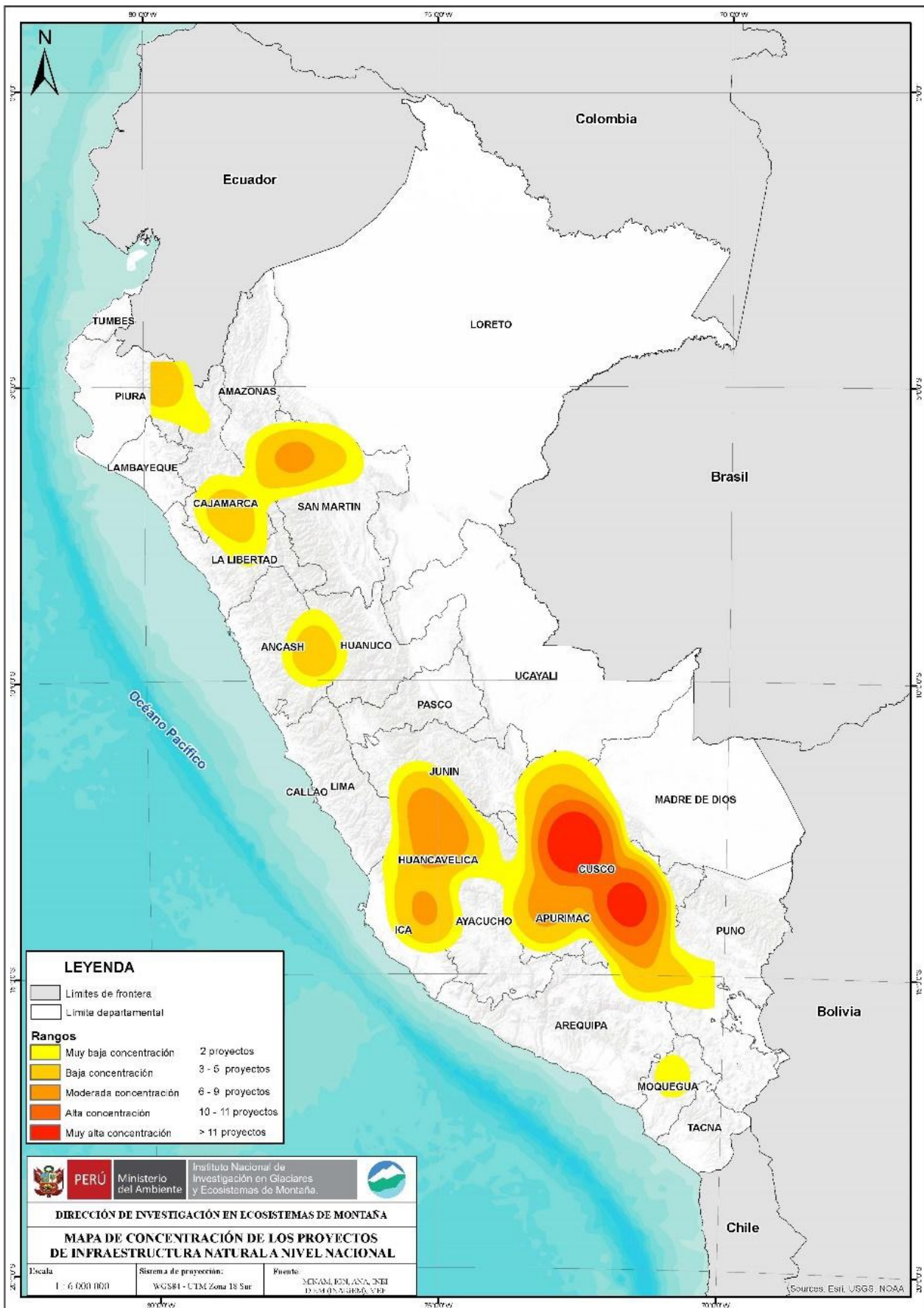


Figura 15. Proyectos de inversión identificados a nivel nacional hasta el año 2021.

dos en las "Rutas Socioeconómicas Compartidas" (SSP). Para la modelización climática, se utilizaron modelos aditivos generalizados para posición, escala y forma (GAMLSS, siglas en inglés).

El estrés bioclimático para el escenario SSP2-4.5 aumentaría desde la línea base al año 2060 de manera mucho más marcada, especialmente en ecosistemas como el Bosque Estacionalmente Seco Interandino (Bes-In), el Bofedal (Bo), el Bosque Relicto Altoandino (Br-a) y la Jalca (Ja). Cabe destacar que el Matorral (Ma) y también el Pajonal (Pjph) parecen ser ecosistemas más resilientes, con una mayor capacidad de tolerar los nuevos escenarios climáticos. En el caso del ecosistema Periglacial y glaciar (Zp-gla), se evidencia un incremento importante del nivel de estrés, debido a las variaciones significativas en las temperaturas como factor condicionante, entre un escenario y otro. Los resultados del modelamiento advierten de un estrés en la agricultura, con una mayor sensibilidad en la región costera. Los ecosistemas costeros que sufrirán mayor estrés son el Humedal Costero (Hu) y las Lomas Costeras (Lo), donde el hecho de encontrarse en unas zonas áridas e hiperáridas, sumados a los incrementos de temperatura, contribuirían a este efecto.

El estrés bioclimático para el escenario SSP5-8.5 muestra niveles mucho más altos, aunque

en la Agricultura Costera (Agri-c), Bosque Estacionalmente Seco de Colina y Montaña (Bes-cm) y el Matorral (Ma) no se evidencian diferencias significativas en comparación con el escenario SSP2-4.5.

Informe sobre la gestión del riesgo de desastres en las subcuencas Pariac-Rajucolta y la unidad hidrográfica Río Blanco-Santa Cruz, Departamento de Áncash.

El INAIGEM ha recopilado información hídrica, ecológica y social a través de la Dirección de Investigación de Ecosistemas y Montañas (DIEM) durante el 2019. Esta se ha utilizado para elaborar un informe que contribuye a la gestión del riesgo de desastres en las subcuencas de Río Blanco – Santa Cruz (ubicada en el distrito de Santa Cruz) y Pariac – Rajucolta (ubicada en el distrito de Huaraz, en la cordillera Blanca, región Áncash).

El informe para cada subcuenca proporciona información sobre la población local, los principales recursos naturales y ecosistemas presentes, recursos hídricos y su demanda de uso, actividades económicas. También describe las capacidades y vulnerabilidades de los medios de vida de la población local. Aunque el

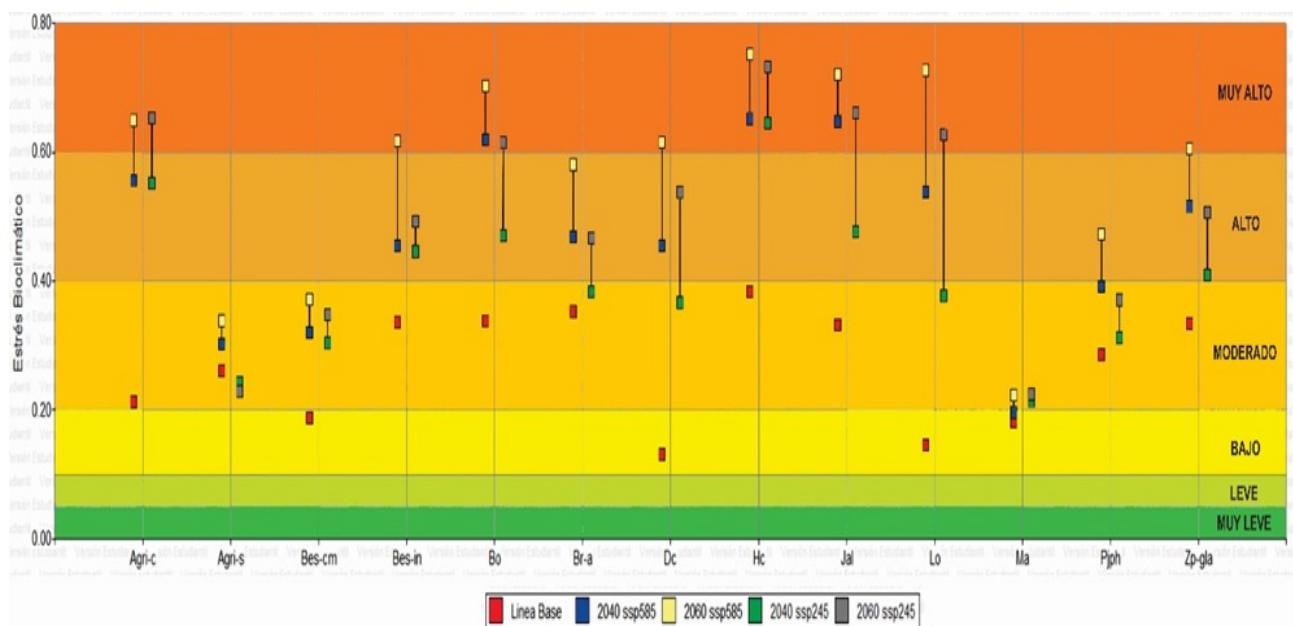


Figura 16. Niveles de estrés bioclimático del departamento de Áncash años 2040 y 2060.

enfoque principal del informe es la percepción de la población sobre el peligro de aluviones por desborde de las lagunas de origen glaciar (GLOF, por sus siglas en inglés), se mencionan otros tipos de peligros (véase la figura 17).

Avances en la caracterización de bofedales impactados con drenaje ácido de roca.

El objetivo general de este avance es determinar el potencial de la especie vegetal *Distichia muscoides*, "kunkuna" u "orcco tiña" (dominante en bofedales), en la biorremediación de un bofedal impactado con drenaje ácido de roca (DAR), en la subcuenca Pachacoto, distrito de Cátac, provincia de Recuay, en la región Áncash (figura 18). Los objetivos específicos son comparar las características del agua, turba, tejidos de *D. muscoides* y la presencia de bacterias sulfato reductoras entre dos bofedales; de estos últimos, uno

con aparente impacto de drenaje ácido de roca y otro sin este. Además, se busca determinar los factores de bioacumulación y traslocación en la turba y *D. muscoides*, trasplantada en una zona experimental del bofedal impactado con drenaje ácido de roca (DAR).

Para el estudio, se seleccionaron dos bofedales. El primero, aparentemente saludable y con poco impacto de DAR, está dominado por cojines de *D. muscoides* (bofedal 1). El segundo recibe directamente el DAR, producto del retroceso glaciar que se evidencia en el nevado Pastoruri, y presenta cojines de *D. muscoides* menos compactos y más pequeños (bofedal 2). Como parte de la caracterización, se realizó la toma de muestras de agua, turba y *D. muscoides* en ambos bofedales. Las mediciones de pH muestran diferencias: el promedio en el bofedal 1 fue de 7.23, mientras que en el bofedal 2 fue de 4.88. La concentra-

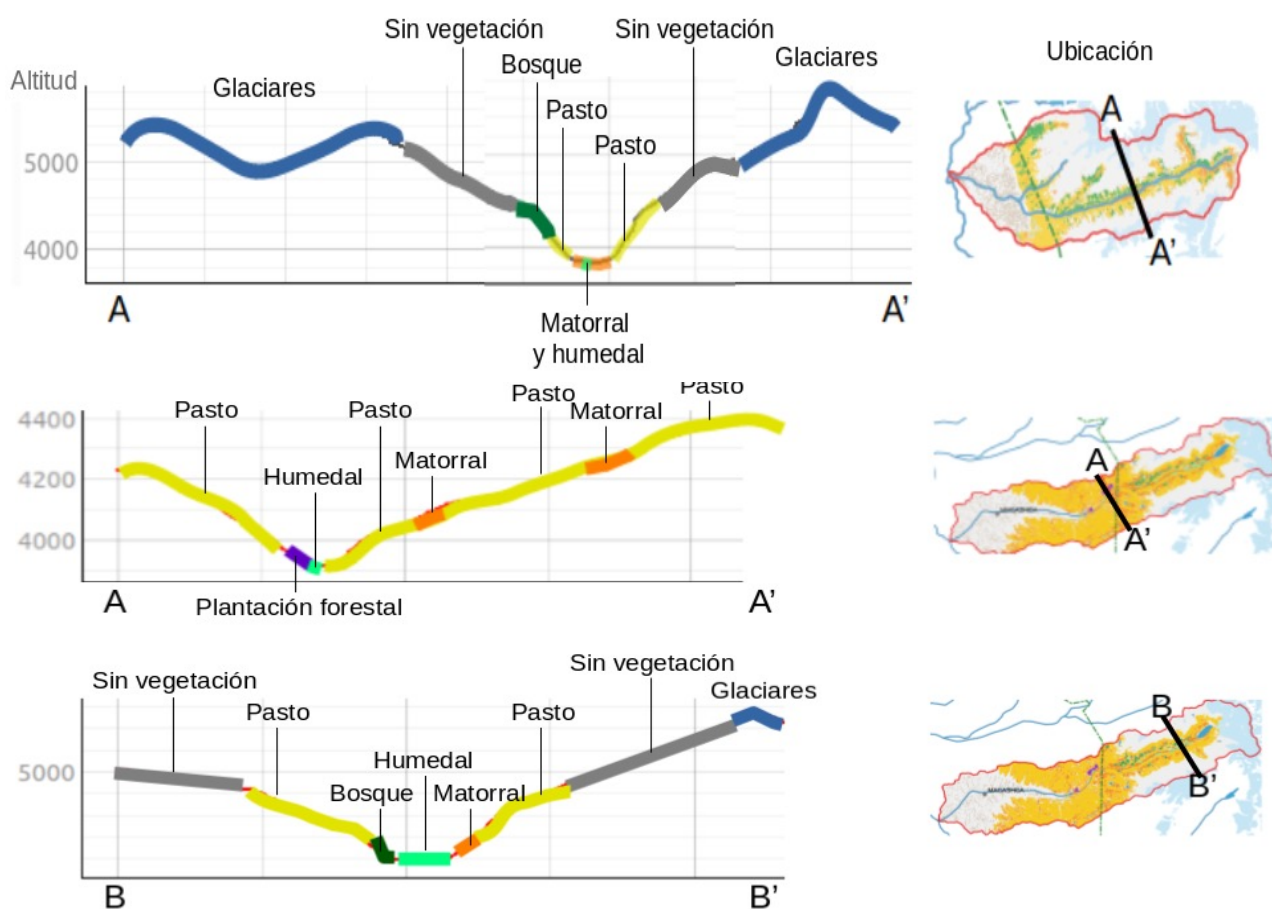


Figura 17. Perfil altitudinal de ecosistemas y coberturas de la tierra en un sector de la subcuenca Pariac-Rajucolta (arriba) y dos sectores de la subcuenca Río Blanco – Santa Cruz (abajo).



Figura 18. *Distichia muscoides* (Familia Juncaceae)

ción de metales en agua muestra valores altos de manganeso en el bofedal 2 (superiores a los estándares de calidad ambiental - ECA), pero sin problemas para los demás metales. En cuanto a la turba y tejidos de *D. muscoides*, en ambos bofedales se encontraron altas concentraciones de hierro, manganeso, zinc y plomo; aunque en la mayoría de los casos la concentración fue mayor en el bofedal 2 que en el bofedal 1 (figura 19).

Además, en diciembre de 2021 se realizó el trasplante de rectángulos de *D. muscoides* del bofedal 1 al bofedal 2, para que después de cinco meses se pueda determinar el potencial remediador de *D. muscoides*.



Figura 19. Zonas de estudio a) Bofedal 1 y b) Bofedal 2, zona experimental (*D. muscoides* trasplantada).

EVALUACIÓN DE SOCIOECOSISTEMAS Y DE SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Caracterización estructural y funcional de tres bosques dominados por *Polylepis* (Queñual) - Proyecto *Polylepis*

En octubre del 2020 se inició el proyecto financiado por ProCiencia (antes FONDECYT), "Caracterización estructural y funcional del bosque de *Polylepis* en un gradiente de intervención humano" (Proyecto 404-2019), que tiene como objetivo central caracterizar y comparar la estructura y funcionalidad de tres tipos de bosques de queñual dentro del Parque Nacional Huascarán. Los bosques seleccionados representan diferentes niveles de intervención humana: un bosque natural aparentemente conservado, extenso (38 ha) y aislado naturalmente, ubicado en la quebrada de Llaca, región Áncash; otro bosque natural pequeño (1.3 ha) y fragmentado, ubicado en la misma quebrada, pero a mayor altitud y cercano a la carretera; y una plantación de queñual sembrada en 1985, en el portal de entrada al Parque Nacional Huascarán, en la quebrada de Quillcayhuanca, provincia de Huaraz. Estos tres bosques, dominados por árboles del género *Polylepis* (Rosaceae), representan diferentes niveles de intervención humana. El objetivo central del proyecto es caracterizar y comparar la estructura y funcionalidad de dichos bosques.

Durante el 2021 se inició la ejecución de dos tesis de pregrado. Una está enfocada en los procesos de producción y descomposición de hojarasca en estos tres bosques, donde se registran datos desde octubre de 2020. La otra tesis busca evaluar la retención hídrica de los musgos con mayor predominancia, y los factores que condicionan su desarrollo en estos tres bosques.

A fines de septiembre del 2021 se realizó la colecta de información representativa de la época seca, estimando la abundancia de las morfoespecies sin identificación taxonómica, la caracterización de la capacidad de retención hídrica con muestras de los tres bosques, y datos de microclima. Se continuará con la colecta de información durante la época de lluvias del 2022, y se realizarán entrevistas a la población local para conocer más de la historia de uso reciente de estas parcelas.

Durante el 2020 también se realizó la caracterización de la vegetación acompañante de *Polylepis* sp. Esto se hizo en cada uno de los bosques, no sólo con caracterizaciones de la composición de las especies presentes, sino también con estimaciones de abundancia y análisis de diversidad y de dominancia. Finalmente, se realizó la marcación, conteo y evaluación de todos los árboles que cumplían con el criterio de diámetro de la altura del pecho ($DAP \geq 10$ cm), que crecen en tres parcelas de 20x25 m por bosque. Con esta



información, se han realizado estimaciones de contenido de carbono en la biomasa aérea de los tres bosques de queñual. Todos estos trabajos serán finalizados durante el 2022 (ver figura 20).

Evaluación de la propagación sexual de *Polylepis weberbaueri* y *Polylepis albicans* en las quebradas Llaca y Quillcayhuanca

Se busca evaluar y comparar los patrones fenológicos y producción de plántulas en dos especies de árboles del género *Polylepis* (ver figura 21). La evaluación fenológica se realizó desde diciembre del 2020 con base en las especies *Polylepis weberbaueri* y *P. albicans*; y continuará en el 2022 en dos bosques naturales de la quebrada Llaca y una plantación forestal en Quillcayhuanca, Áncash. Ambas especies son características del paisaje y dominantes en los bosques de queñual de la cordillera Blanca. Se seleccionó una muestra de individuos de cada especie, y para cada árbol se eligió una rama terminal diferente de 40

cm desde la punta por cada orientación cardinal, las cuales se recolectaron mensualmente. En el gabinete se realizó el conteo de las estructuras reproductivas en las siguientes etapas fenológicas: a) botones florales, b) flores en estadio femenino, c) flores en estadio masculino, d) frutos verdes, e) frutos maduros, y e) frutos secos retenidos en la planta. Además, se evaluó la abundancia de plántulas de cada especie de *Polylepis*, en la época seca, evaluando cuatro cuadrantes de 1 m² alrededor de cada árbol donde se realizó la evaluación fenológica. Los cuadrantes se distribuyeron en la dirección de los puntos cardinales y se tomaron datos del largo y el número de hojas de cada plántula. Esta evaluación se repetirá en la época de lluvias del 2022, antes de presentar resultados.

El patrón fenológico de las especies *P. weberbaueri* y *P. albicans* son similares. Los botones florales se forman finalizando la temporada seca, alcanzando un pico en el mes de octubre,

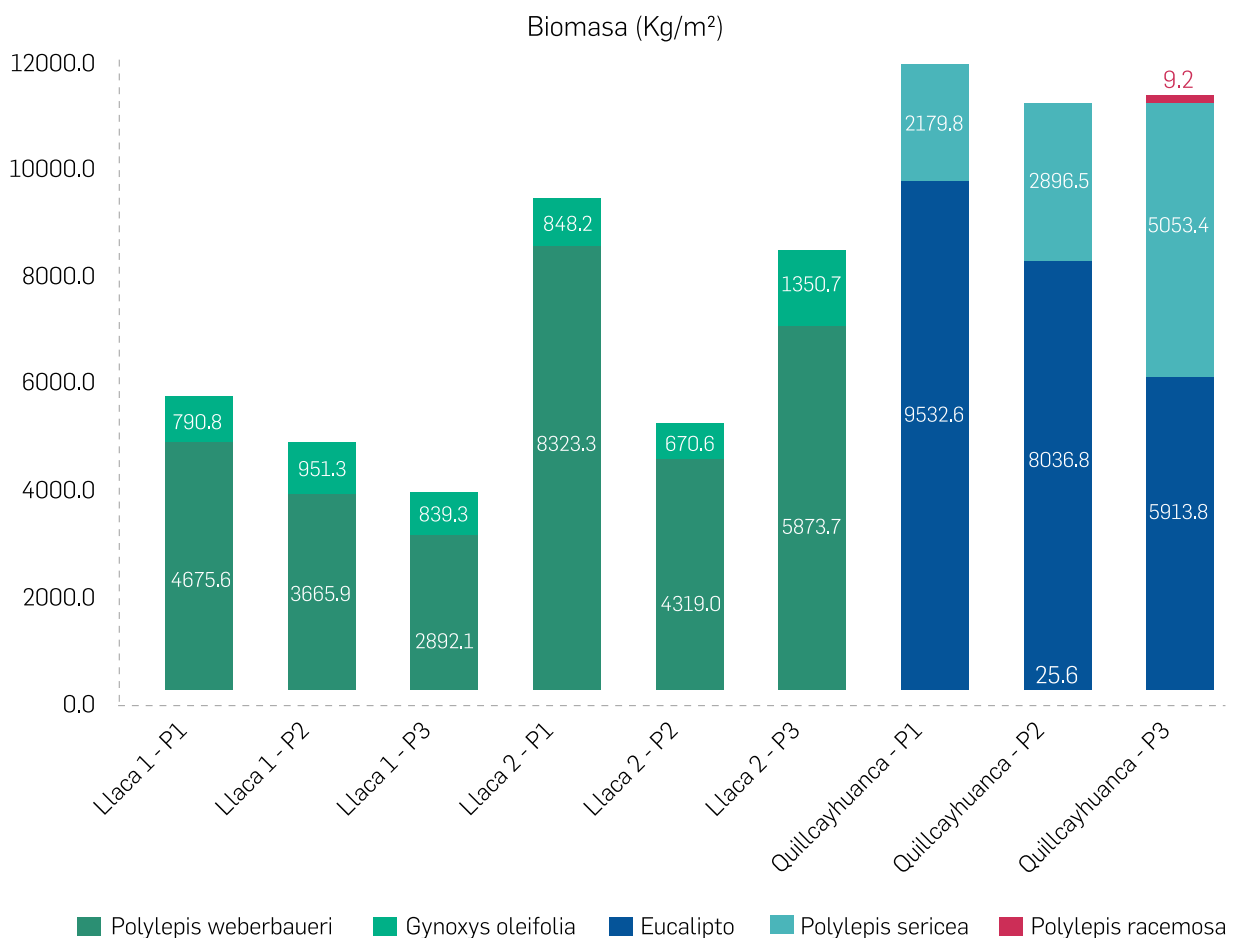


Figura 20. Biomasa acumulada por parcela de estudio y especie arbórea.

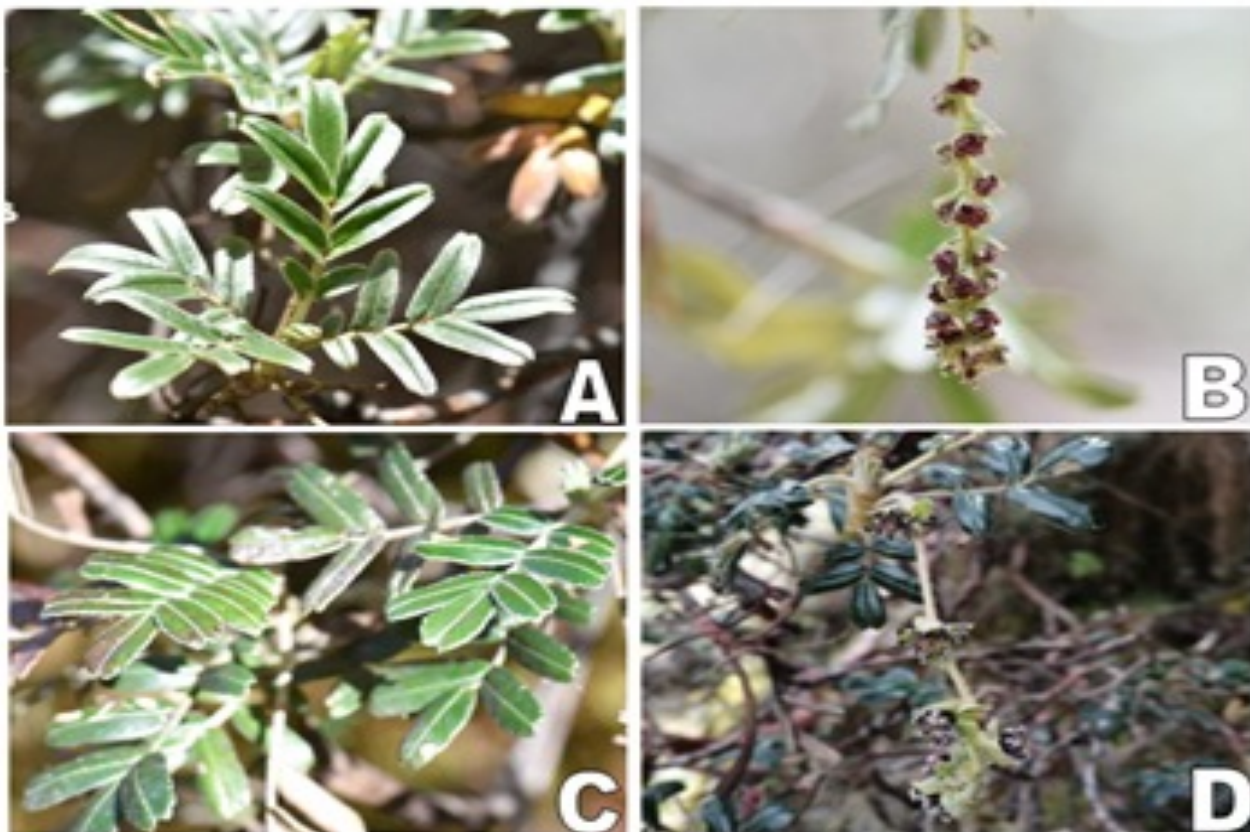


Figura 21. Detalle de las ramas con hojas compuestas (izquierda) e inflorescencias (derecha) de *P. albicans* (A y B) y *P. weberbaueri* (C y D).

y entre noviembre y diciembre se tienen las flores de ambas especies. El pico de fructificación (formación de frutos) cambió en los años 2021 y 2022, lo que puede asociarse a los patrones de precipitación de cada año, pero se presenta de manera diferente en cada especie. En el caso de *P. weberbaueri* el pico de formación de fruto se dio en marzo de 2021 y en enero de 2022; mien-

tras que en el de *P. albicans*, se presentó en febrero de 2021 y en enero de 2022. La diferencia más importante entre ambas especies es la cantidad de estructuras reproductivas que forman, siendo mucho mayor en el caso de *P. albicans*, tanto en el número de botones como en el de flores y frutos (ver figura 22).

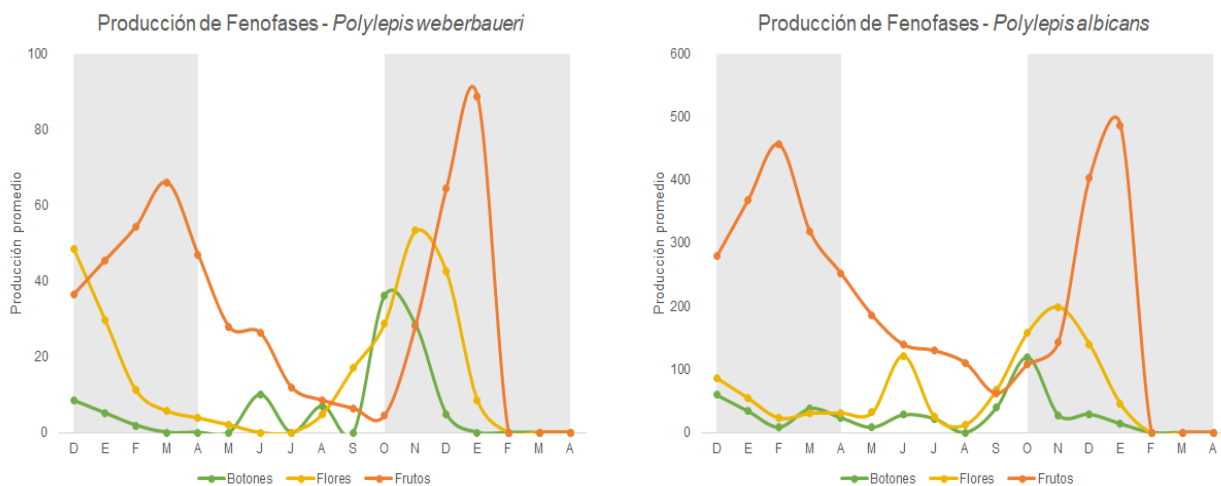


Figura 22. Producción de botones florales, flores y frutos de *Polylepis weberbaueri* y *Polylepis albicans* (dic. 2020 - feb. 2022).

Identificación de ecosistemas y evaluación de su condición ecológica en la quebrada Cara Cara, Arequipa

El presente estudio se llevó a cabo en la quebrada Cara Cara, en el distrito de Viraco, departamento de Arequipa. En esta zona, existen ecosistemas que son esenciales para proporcionar agua al distrito y a las comunidades campesinas cercanas. Sin embargo, estos importantes ecosistemas han sido intervenidos con prácticas inadecuadas de drenaje de agua para favorecer actividades agrícolas. Además, las actividades

intensivas de pastoreo están afectando la condición de estos ecosistemas. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue identificar los principales ecosistemas presentes y evaluar su condición ecológica.

Para la evaluación, se seleccionaron las zonas más heterogéneas según el gradiente de humedad, y se eligieron siete sitios para medir los indicadores ^[3,4]. En cada sitio, se evaluó primero la composición florística, la materia orgánica y la profundidad de la napa freática para diferenciar el tipo de ecosistema dominante. En seis de



| Código del punto evaluado | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|
| Condición ecológica | 58.6 | 49.4 | 43.6 | 42.5 | 66.8 | 45.3 |
| Estado del ecosistema | Regular | Regular | Regular | Regular | Bueno | Regular |

Figura 23. Resumen de la condición final de seis sitios de evaluación que corresponden a ecosistema de bofedal. a) Vista del sitio B4 de evaluación, cuya condición es "Regular" con el puntaje más bajo. b) Vista del sitio de evaluación B5, cuya condición es "Bueno".

³ MINAM (2016). Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos. MINAM.

⁴ MINAM (2019). Guía de evaluación del estado del Ecosistema de Bofedal. MINAM

los siete sitios evaluados, el ecosistema predominante fue bofedal, y sólo uno correspondió a pastizal. Según el tipo de ecosistema presente, se aplicó la guía del MINAM correspondiente, y se encontró que cinco de los sitios presentan un bofedal de condición regular y sólo uno de ellos mostró buen estado (ver figura 23). En conclusión, en la quebrada Cara Cara predomina el ecosistema de bofedal, con indicios de degradación.

Avances en la caracterización hidrológica en bofedales

A finales del año 2020 se instalaron diez pozos de observación en el bofedal Ichikollcocochoa, ubicado en la unidad hidrográfica Pachacoto (Cátac, ;Áncash), con el objetivo de determinar sus características hidrológicas y comprender su capacidad de proporcionar bienes y servicios. Los datos recopilados incluyen las variaciones piezométricas y temperatura, registradas por los sensores Levellogger y Barologger. (figura 24).



Figura 24. Instalación de sensor Levellogger en pozo de observación

La variación de la profundidad de la napa freática fue interpolada mediante ponderación inversa de distancia (IDW).

Para el estudio del escurrimiento superficial, se instalaron tres estaciones hidrométricas para registrar continuamente el nivel de agua y el pH, con tecnología de bajo costo como Arduino. Los datos son almacenados en formato Excel e incluyen la fecha y hora, distancia de la superficie del agua hasta el sensor ultrasónico y el pH del agua (figura 25).

En el marco de la Cooperación Técnica Sur-Sur (CSS) entre países socios, a finales del año 2021 se recibió la visita de personal del Fondo para el Agua de Quito, Ecuador (FONAG). Durante la visita técnica al bofedal, se explicó cómo se realiza la evaluación de la variación del nivel freático a través de piezómetros y se resaltaron los beneficios de los sensores utilizados. Asimismo, se recibieron sugerencias para mejorar el trabajo, a partir de la experiencia de FONAG.

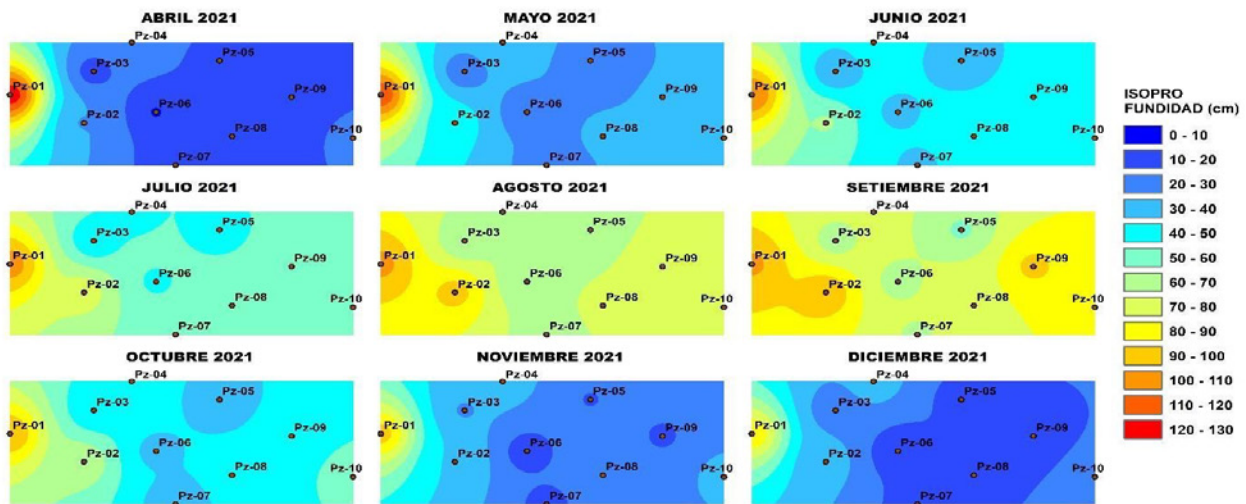


Figura 25. Mapa de isoprofundidad en el bofedal, año 2021. Los puntos representan la ubicación de los pozos de observación y las zonas coloreadas áreas con igual rango de isoprofundidad, según leyenda.

Variación estacional del almacenamiento de agua en el suelo

En este estudio se evaluó la variación estacional del contenido de agua en el suelo mediante un análisis comparativo del balance hídrico a nivel diario en una zona de pajonal natural, y otra intervenida con plantación de *Pinus radiata*.

En el sector de Tayacoto, en la provincia de Huaraz, región Áncash, se midieron las variables de precipitación, temperatura y humedad volumétrica del suelo hasta distintas profundidades, y se estimó la precipitación efectiva (PE) y la escorrentía superficial (ES) mediante el método del número de curva (NC). La evapotranspiración de

referencia (ET_o) se estimó mediante la ecuación FAO Penman-Monteith, mientras que la evapotranspiración total (ET) y la percolación (Per) fueron estimadas directamente del balance hídrico. Los resultados indican que solo el pajonal (TY-04) presentó percolación durante el periodo de estudio y que, tanto el periodo de estiaje como húmedo, TY-04 fue el punto de evaluación que presentó mayores valores de almacenamiento. Se concluye que la cobertura vegetal natural resulta más eficiente en los procesos de infiltración y almacenamiento de agua en el suelo, y que su conservación o recuperación beneficiaría hidrológicamente a las demás áreas no intervenidas de los ámbitos de estudio. (figura 26). Es importante tener en cuenta la complejidad de los

procesos hidrológicos en los ámbitos de montaña y la necesidad de definir las condiciones que sustenten el cambio de la cobertura natural del

suelo, para orientar las intervenciones sin causar una repercusión negativa en dichos procesos.

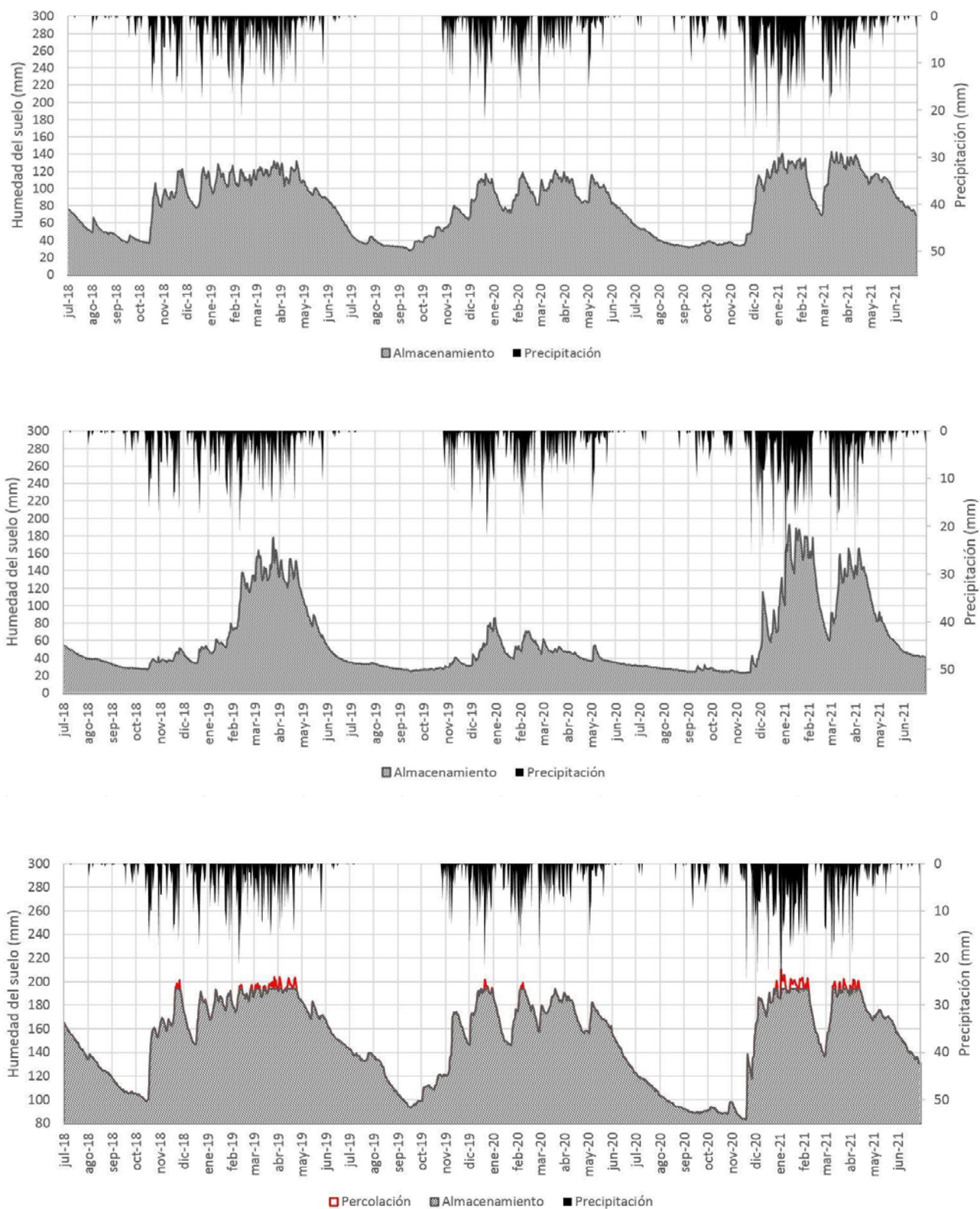


Figura 26. Variación del almacenamiento (ST) y percolación (Per) en punto de estudio de: a) Pino con manejo; b) Pino sin manejo y c) Pajonal.

Evaluación ecohidrológica en pastizales de La Raya, Cusco

En el estudio "Evaluación ecohidrológica en pastizales de La Raya, Cusco", se evaluaron las características hidrológicas de un pajonal en la cuenca del río Vilcanota, utilizando la metodología del análisis comparativo del balance hídrico a nivel diario y registrando la precipitación y la humedad del suelo a tres niveles de profundidad desde 2018. Se aplicaron tres intervenciones: zanjas de infiltración, pajonales y reforestación con queñuales en parcelas de investigación. Los

resultados preliminares sugieren diferencias significativas en los contenidos de humedad en el suelo entre las zanjas de infiltración y el pajonal, siendo mucho mayor en este último, tanto en los meses de estiaje como de lluvias. Sin embargo, estos resultados no permiten visualizar el efecto o impacto teórico esperado de las zanjas de infiltración sobre la percolación y el almacenamiento de agua en el suelo. Estas diferencias podrían explicarse por otros factores, como las propiedades físicas del suelo y los patrones de precipitación.

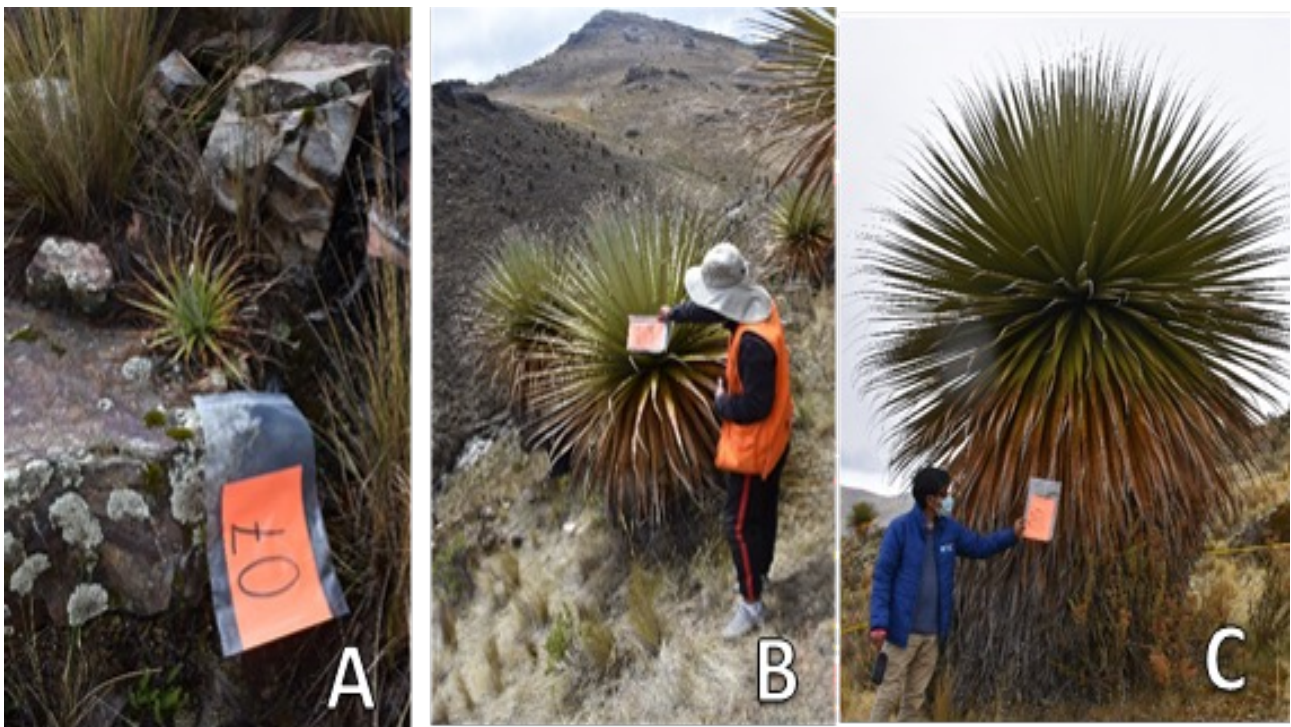


Figura 27. Individuos de *P. Raimondii* por categoría de tamaño: A. Tiernos (< 50 cm), B. Juvenil (>50 cm y < 2 m) y C. Adulto sin inflorescencia (> 2m).

Avances de la evaluación de la estructura poblacional de los rodales de *Puya raimondii* en el distrito de Cátac, Áncash, Perú

En octubre del 2021 se inició la evaluación de la estructura poblacional de dos rodales de *Puya raimondii*, uno ubicado en el centro poblado Carpa (distrito de Cátac, provincia de Recuay), dentro del Parque Nacional Huascarán, y otro en Cajamar-

quilla (distrito de La Libertad, provincia de Huaraz). Se establecieron 11 parcelas en Carpa y 12 parcelas en Cajamarquilla, de 25 x 25 metros. En cada parcela se registraron las coordenadas de las esquinas, altitud y pendiente, y se evaluó la altura y diámetro de todos los individuos presentes, que luego fueron clasificados siguiendo una metodología⁵ basada en el tamaño, floración y no floración de los individuos (figura 27).

⁵ Salazar, J., & Villasante, F. (2012). Distribución geográfica y situación actual de *Puya raimondii* Harms en la Región de Arequipa - Perú, Octubre 2009 - Marzo 2011. *Quad. Bot. Amb. Appl.*, 23, 31–39.

En Carpa, se contabilizaron 551 individuos de *P. raimondii*, de los cuales 85.6 % eran individuos vivos y el resto individuos muertos. En Cajamarquilla, se encontraron un total de 343 individuos, de los cuales 76.38 % eran individuos vivos y el resto individuos muertos.

Con respecto a la estructura poblacional por edades (ver figura 28) en Carpa el mayor porcentaje está representado por el estadio juvenil (55.5 %) con una altura promedio de 107.5 cm, mientras que en Cajamarquilla encontramos un menor porcentaje de individuos tiernos (11.8 %) y juveniles (25.7 %), siendo los adultos sin inflorescencia el grupo dominante (62.6 %). Esto tiene fuertes implicancias en el estado de conservación de la población de *P. raimondii*, ya que no se cuenta con suficientes individuos jóvenes que permitan reemplazar a los adultos.

Es importante destacar que en ninguno de los sitios se encontraron adultos con inflorescencia, y que en Cajamarquilla los adultos sin inflorescencia tuvieron una altura promedio de 330.5 cm, mayor a la altura promedio de los individuos de Carpa (288.8 cm). Durante el 2022 se continuará con este trabajo, para tratar de explicar las principales diferencias entre ambos rodales.

Recuperación y manejo sostenible de socioecosistemas

Fichas de propagación de especies nativas

Desde el 2019 se han realizado ensayos de germinación con diferentes especies leñosas, como: *Oreocallis grandiflora* "Chaqpá", *Puya raimondii* "Puya", *Gynoxys oleifolia* y *Gynoxys caracensis* "Japur". Para dichas especies se cuenta con información de germinación acumulada y tasas de crecimiento. También se realizaron pruebas de germinación con plantas herbáceas, gramíneas típicas de pastizal: *Bromus catharticus* "Alku Shoclla", *Calamagrostis vicunarum* "Alku Shoclla", *Calamagrostis macrophylla* "Jallka Ocsha", *Elymus cordilleranus* y *Festuca loricata*. "cachi". A partir de la información recogida durante estos ensayos, muchos de ellos realizados durante el confinamiento de la pandemia, y complementada con la revisión de literatura, se elaboraron fichas técnicas de propagación de las especies. Actualmente se cuenta con nueve fichas en fase de diseño, con una extensión entre dos a tres hojas por cada una. Cada ficha contiene un nombre científico y común; ubicación taxonómica; descripción de la especie; distribución geográfica y

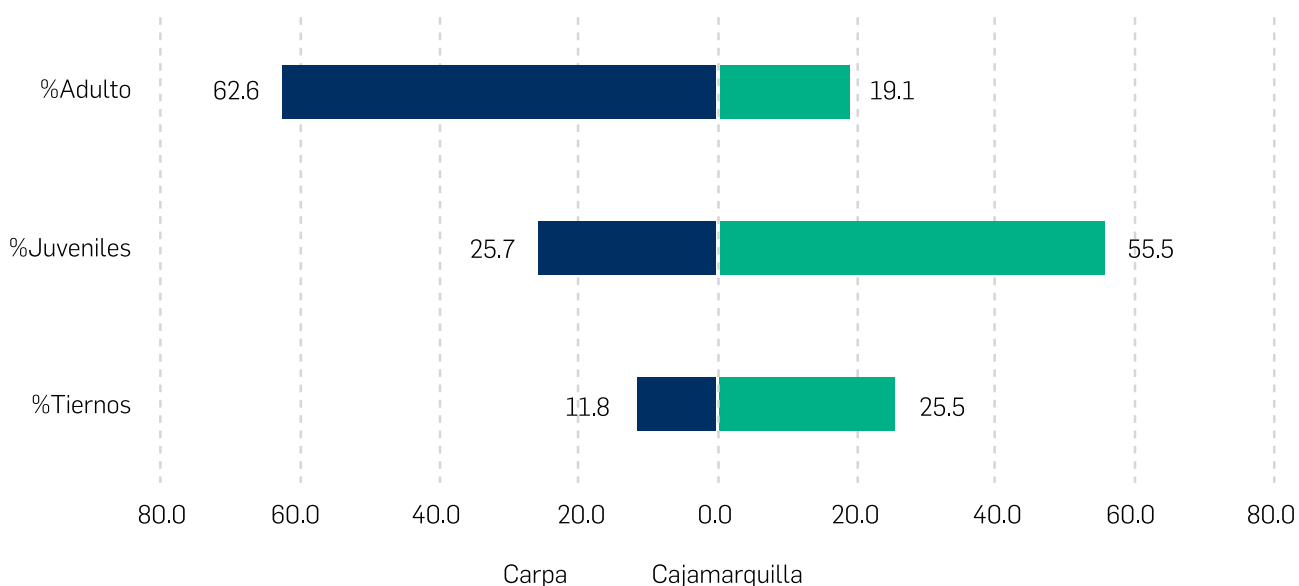


Figura 28. Pirámide con porcentajes por grupo etario de *P. raimondii* en el sector Carpa (distrito de Cátac) y Cajamarquilla (distrito de La Libertad).

altitudinal que incluye un mapa de distribución regional y nacional; y la germinación que incluye un gráfico de germinación acumulada y aspectos ecológicos. En el caso de especies leñosas se incluye información de su uso y para las plantas herbáceas, información de su palatabilidad más un código QR, para facilitar el acceso a la información.

Manejo de pastos mejorados en el CICTEM (Cátac, Áncash)

Desde el 2020 se ha desarrollado el estudio “Evaluación del establecimiento de variedades de pastos cultivados para reducir la presión de pastoreo en pastizales naturales” en el Centro Experimental del INAIEM (CICTEM) ubicado en Cátac, con el objetivo de proponer paquetes tecnológicos de pastos asociados que se adapten a las condiciones de las comunidades del callejón de Huaylas como estrategia para reducir la presión del ganado en los pastizales naturales. Para el estudio, se sembraron

11 tipos de pastos mejorados en el CICTEM, y se evaluaron las variables de altura de planta, forraje verde, materia seca y relación hoja/tallo en cuatro cortes del tercer al sexto (figura 29). Se observó que el rye grass italiano presentó la mayor producción de forraje verde (30 t/ha) en los primeros cortes, pero fue disminuyendo paulatinamente (10 t/ha). En cambio, el rye grass inglés mostró una producción de forraje estable en los seis cortes (10 t/ha). En el caso del dactylis, los tréboles y alfalfas, tuvieron una baja producción de forraje verde en los primeros cortes (9 t/ha), pero esta se incrementó gradualmente hasta llegar a los 20 t/ha.

Además, como parte del compromiso del convenio de cooperación entre el INAIEM y la comunidad campesina de Cátac, se instalaron 4 ha de pastos cultivados en el CICTEM y se realizó un taller de capacitación dirigido a los ganaderos de la comunidad en el tema de instalación y manejo de pastos cultivados. Este taller contó con la participación de 35 comuneros.



Figura 29. Evaluación de variedades de pastos cultivados en el CICTEM

Avance: caracterización del proceso productivo y los conocimientos asociados al uso de pastos forrajeros en la comunidad campesina de Cátac, Áncash.

El objetivo de este estudio es caracterizar el proceso productivo y los conocimientos asociados al uso de pastos forrajeros en la comunidad campesina de Cátac. Para lograr este objetivo, se han planteado los siguientes objetivos específicos: a) Establecer la dinámica de pastoreo en el territorio manejado por la comunidad campesina, b) Identificar los pastos forrajeros - nativos y cultivados - y su importancia para la comunidad, y c) Describir las prácticas del manejo asociados a los pastos forrajeros - nativos y cultivados - en la comunidad.

En noviembre de 2021, se inició el trabajo de campo, con la realización de entrevistas semiestructuradas y procesos de mapeo participativo con los grupos de interés de la comunidad.

Hasta el momento, la recolección de información ha sido útil para conocer la dinámica de pastoreo dentro del territorio, diferenciando la actividad comunera familiar de la actividad comunal - empresarial. Además, se reconoció que los pastos nativos y los cultivados son fundamentales para el sostén

económico del 35% de las familias pecuarias de la comunidad.

En esta fase de la investigación, se ha encontrado que los pastos mejorados se siembran en forma de asociación entre gramíneas y leguminosas, agrupadas en un total de siete pastos, incluyendo tréboles, dáciles y rye grass. Por otro lado, se identificó que la familia Poaceae es la que agrupa la mayor cantidad de especies de pastos naturales palatables para el ganado vacuno y ovino. En el 2022, se continuarán realizando salidas de campo para completar las entrevistas y la recolección de muestras de los pastos utilizados por los pastores de la comunidad.

Avance: recuperación de pastizales y su efecto en la regulación hídrica

Con el apoyo del "Proyecto de cooperación entre Perú e Italia para la adaptación y mitigación al cambio climático (IMELS)", el INAIGEM realizó un diagnóstico ecológico rápido en la quebrada Umasbamba de la microcuenca Piuray Ccorimarca, departamento de Cusco, para determinar sitios de instalación en parcelas experimentales y recuperar pastizales. Se evaluaron 11 sitios en términos de vegetación, suelo, e hidrología aso-

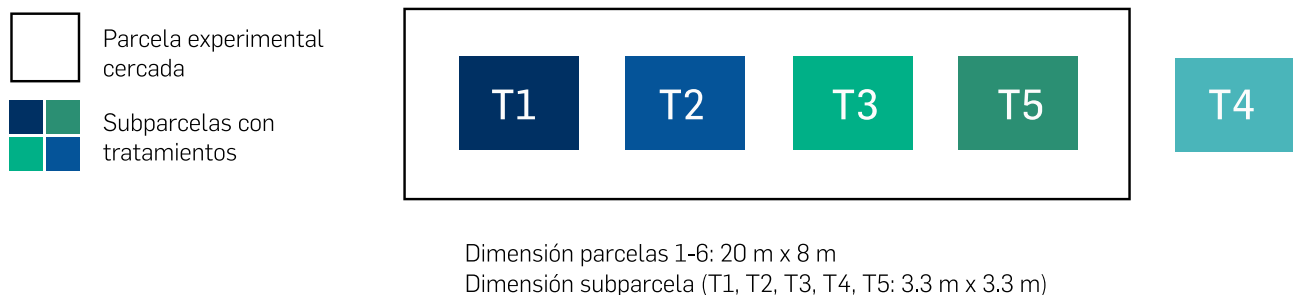
Tabla 6. Resumen de los principales resultados de los aspectos de vegetación, suelo e hidrología asociada al suelo, del diagnóstico ecológico rápido en la quebrada Umasbamba de la microcuenca Piuray Ccorimarca.

| Parámetro | pp1ss | pp2cs | pp3cs | pp4cs | pp5cs | pp6ss | pp7ss | pp8cs | pp9cs | pp10ss | pp12cs |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Cobertura vegetal (%) | 79.4 | 51.2 | 67.4 | 81.2 | 49 | 84 | 69.2 | 62.8 | 79.4 | 80.2 | 68.2 |
| Frag. De roca (%) | 0.2 | 21.4 | 14.2 | 0.8 | 31.8 | 0.6 | 4.6 | 18 | 1.8 | 5.2 | 9 |
| Suelo desnudo (%) | 5.8 | 15 | 16.2 | 3.4 | 8.2 | 8.8 | 4 | 14 | 2 | 7.6 | 13.6 |
| Cob. Spp. asoc. A degradación (%)* | 13.2 | 29.8 | 22.2 | 10.2 | 0.2 | 12.4 | 8.2 | 4 | 24.8 | 0.2 | 16 |
| Densidad aparente (g/cm ³) | 0.93 | 1.1 | 1.1 | 0.94 | 1.24 | 0.9 | 1.06 | 1.18 | 0.8 | 1.2 | 1.07 |
| Humedad (mm) | 20.23 | 5.04 | 13.89 | 25.6 | 3.73 | | | 9.44 | 11.09 | 11.74 | 7.89 |

ciada al suelo. La tabla 6 resume los resultados de estos aspectos, mostrando que la cobertura vegetal en la quebrada Umasbamba varía de 49 a 81.2 %, lo que refleja que algunos sitios tienen una mejor condición que otros. Además, otras coberturas significativas son las de rocas y la de suelo desnudo, y la cobertura de especies asociadas a degradación también tiene porcentajes importantes. Por otro lado, la mayor humedad parece estar relacionada con los lugares que tienen mayor cobertura vegetal. Luego de realizar el diagnóstico ecológico rápido, se establecieron seis parcelas de investigación en la quebrada Umasbamba como prueba piloto de rehabilitación de ecosistemas, con el objetivo de evaluar diferentes estrategias de restauración para la recuperación de funciones hidrológicas, que son un servicio ecosistémico importante. Se instalaron cinco tratamientos (descompactación, remoción de rocas, zanja de infiltración y traslocación de *Festuca dolichophylla*) en las parcelas para su evaluación (figura 30). Además, en cada tratamiento de par-

cela se instalaron dos sensores TMS-4, ubicados en función de la pendiente del terreno, que miden la humedad a 15 cm de profundidad, temperatura del suelo a -15 cm, y temperatura del aire a 0 y 10 cm. Finalmente, se colocaron tres microestaciones meteorológicas en diferentes altitudes de la quebrada: la microestación de la zona baja está a 4008 m s.n.m., la de la zona media a 4148 m s.n.m. y la de la zona alta a 4206 m s.n.m. Se monitorean las variables de precipitación y temperatura del aire en estas estaciones.

En estas parcelas se realiza un monitoreo ecohidrológico, en el que se realiza un seguimiento de las variables hidroclimáticas mencionadas anteriormente, así como de variables ecológicas de manera bianual. Las variables ecológicas monitoreadas son: cobertura del suelo (vegetación, musgos, líquenes, suelo desnudo, rocas, costra, mantillo y fecas); y cobertura de las especies de plantas y fenología.



Se están considerando 5 tratamientos, incluyendo el control.

T1: Cerco + descompactación (huecitos)

T2: Cerco + mover rocas + mulch

T3: Cerco + zanjita (fuera de la subparcela, en la parte encima de la subparcela, a < 0.5 m)

T4: Control (fuera del cerco), 2 TOMST protegidos del pisoteo por jaula de metal

T5: Cerco + traslocación

Figura 30. Diseño experimental de las parcelas instaladas en la quebrada Umasbamba de la Microcuenca Piuray Ccorimarca.

INVENTARIO NACIONAL DE BOFEDALES: VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN CAMPO

Durante el año 2020 se desarrolló una propuesta metodológica para la elaboración del primer Inventario Nacional de Bofedales, basada en la revisión de la literatura y entrevistas con expertos. En 2021 se realizaron ajustes a esta metodología. En primer lugar, se diferenciaron tres macrozonas en los Andes peruanos, y posteriormente se validó en campo la metodología propuesta para el inventario, utilizando información obtenida en el terreno. Finalmente, se obtuvo una versión corregida y ajustada de la metodología que será utilizada durante el 2022 para la elaboración del primer Inventario Nacional de Bofedales. A continuación, se describen los avances más importantes:

Definición de macrozonas de trabajo

Con el fin de lograr un mejor ajuste de la metodología definida en 2020 para la elaboración del inventario de bofedales a nivel nacional, se identificó la necesidad de zonificar la región andina peruana, a fin de diferenciar las condiciones en las que se desarrollan los bofedales. Para ello, se seleccionaron criterios relacionados con las condiciones topográficas, climáticas y los de tipos de composición vegetal en los bofedales; todo esto mediante la revisión de literatura, lo que permitió obtener la delimitación de tres macrozonas (Norte, Centro, Sur).

Los criterios de clasificación incluyeron la altitud, las hoyas hidrográficas (Pacífico, Amazónico y Titicaca), la latitud, la temperatura y la precipitación. Las últimas tres variables fueron abordadas mediante el mapa climático del Perú publicado por SENAMHI a inicios del 2021. Las macrozonas representan un área total de 23 682 758 ha, con un 4.6 % correspondiente al norte, un 68.9 % al centro y el 26.5 % al sur (figura 31).

Recojo de información en campo para validación de metodología

Con el fin de validar y ajustar la metodología desarrollada en el año 2020 para la identificación de bofedales mediante la teledetección, se seleccionaron cuatro sitios piloto que representan las diferentes macrozonas geográficas del Perú. Estos sitios se eligieron en base a la disponibilidad de información previa de campo. Los sitios seleccionados fueron: Cajamarca por la macrozona Norte; la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas en Junín y Lima por la macrozona Centro; la cuenca del Río Cachi y alrededores en Ayacucho y Huancavelica, también por la macrozona Centro; y el Área de Conservación Regional Vilacota Maure en Tacna, por la macrozona sur.

Para cada zona, se aplicó la metodología definida y se elaboraron mapas con los resultados. En el trabajo de campo, se seleccionaron puntos accesibles por carretera que la metodología identificó como posibles bofedales, así como sitios en los que existía cierta confusión sobre el tipo de cobertura vegetal presente. En los sitios identificados como bofedales, se recogió información sobre la vegetación, el suelo, el nivel de humedad y el comportamiento espectral. También se recogió información sobre los indicadores de amenazas y los usos de los bofedales. En los sitios que no eran bofedales, se registró información espectral.

El equipo de trabajo de campo estaba formado por un grupo multidisciplinario de especialistas, incluyendo un experto en la identificación de la vegetación del bofedal; un especialista en la toma de muestras de suelo que registró datos de pH y nivel de la napa freática; un especialista en la toma de firmas espectrales de suelo, agua y vegetación; y la coordinadora del equipo. Además, el trabajo contó con el apoyo del personal de los gobiernos regionales de Cajamarca y Tacna, así como de las áreas naturales protegidas evaluadas.

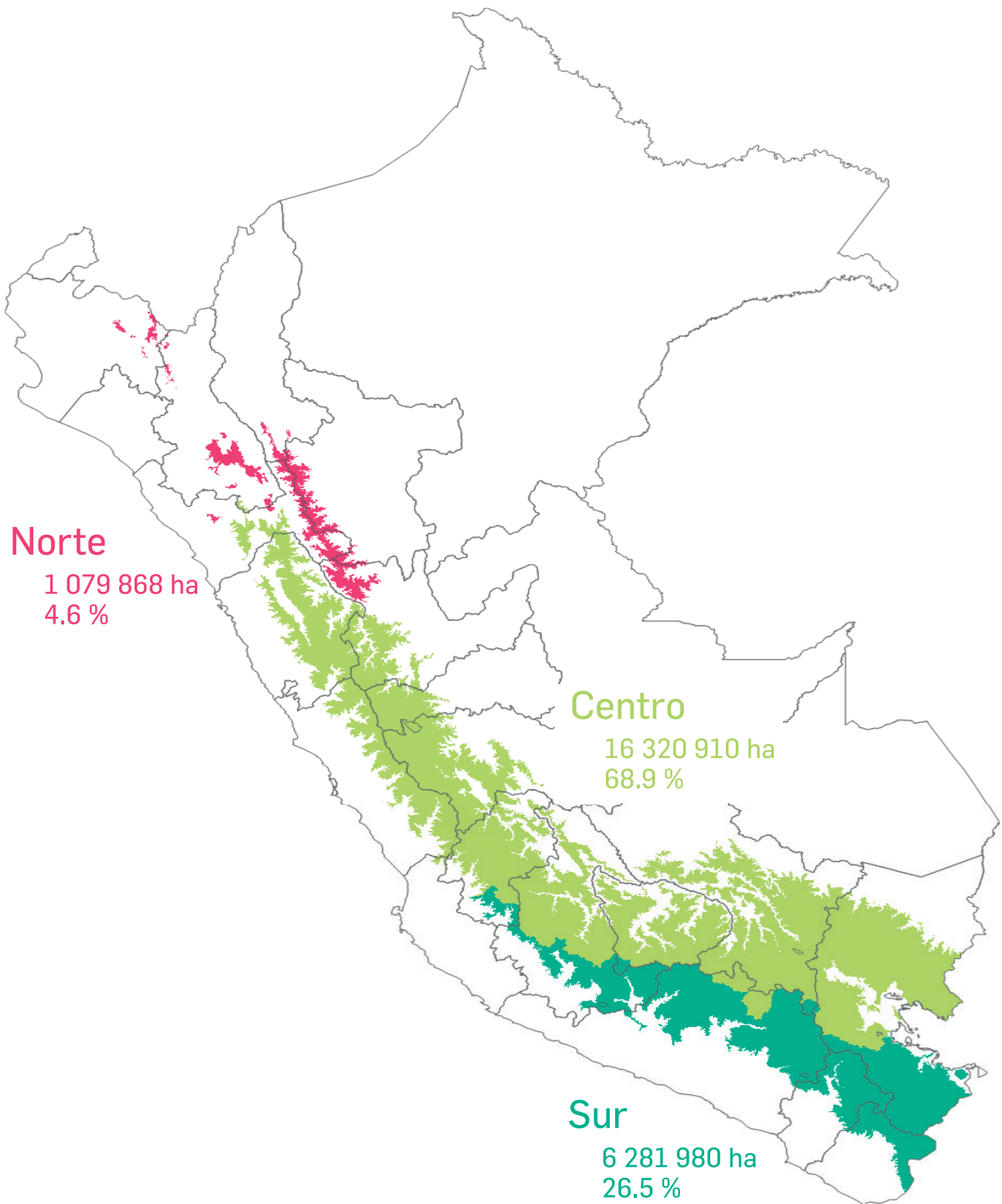


Figura 31. Mapa de Macrozonas de la Región Andina Peruana, con áreas y porcentajes.

Ajuste de la metodología para el Inventario Nacional de Bofedales

La metodología del Inventario Nacional de Bofedales se basa en la aplicación de un árbol de decisiones (véase figura 32), que incorpora siete indicadores. Toda la información recogida en campo se utilizó para corroborar y ajustar los umbrales (rangos de valores) establecidos para cada indicador en cada macrozona. También se pudo identificar las especies vegetales más dominantes a nivel espectral y representativo de

cada macrozona. Además, se obtuvo información espectral sobre algunas formas de degradación, como turba expuesta, especies invasoras, cojines en descomposición y presencia de drenaje ácido de roca en los bofedales.

Esta versión final de la metodología se presentó en un taller con la participación de todas las instituciones y personas que contribuyeron al proceso. Se utilizará durante el 2022 con el propósito de elaborar el primer Inventario Nacional de Bofedales.

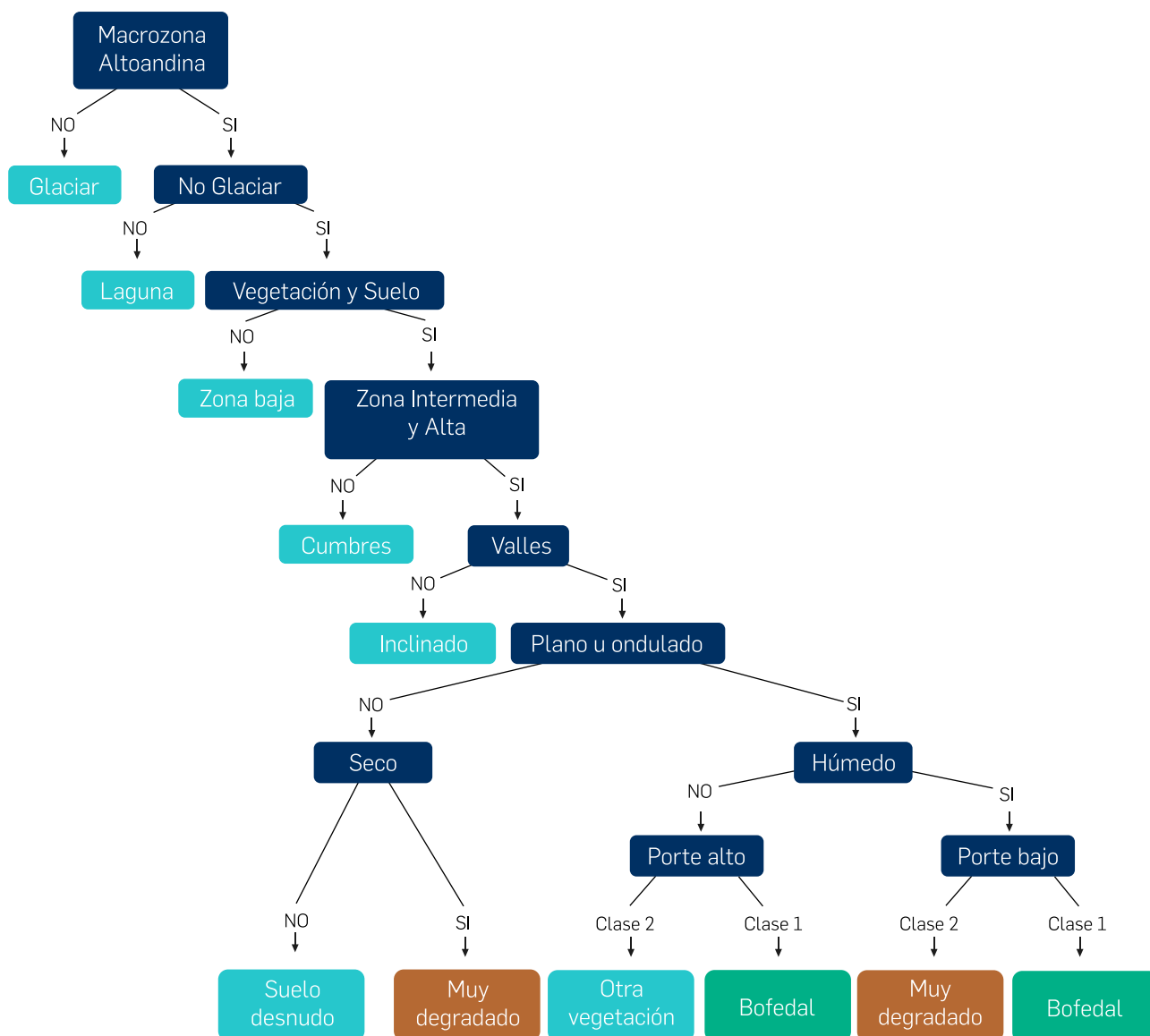


Figura 32. Esquema de la metodología por Árbol de Decisiones resumida.

VI. INFORMACIÓN Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO





Procesamiento y análisis de información espacial, usando teledetección, percepción remota e inteligencia artificial

El procesamiento y análisis de información espacial se lleva a cabo utilizando diversas herramientas computacionales. Entre ellas, destaca Google Earth Engine (GEE), una plataforma de gestión de información geomática en la nube que permite la visualización y análisis de imágenes de satélite a nivel mundial. Además, se emplea la plataforma CONIDA para acceder a imágenes satelitales de alta resolución, capturadas por el satélite Perú-SAT-1 a nivel nacional. Para el procesamiento visual y generación de mapas temáticos de información vectorial o ráster, se utiliza el software QGIS. Por otro lado, para procesamientos automatizados se utiliza el ambiente RStudio, así como avances en inteligencia artificial. Los resultados del análisis de información espacial han contribuido a dos trabajos de investigación, incluyendo el proyecto GLOP, que se enfoca en las proyecciones futuras de temperatura y precipitación.

Viernes científico

Los Viernes científicos fueron presentaciones dinámicas y comunicativas en las que se exponen temas de actualidad, con el objetivo principal de difundir conocimientos, presentar proyectos o propuestas de investigación y sus resultados. Estas presentaciones se transmiten de forma virtual a través de las plataformas Zoom y Facebook.

Durante el año 2021 se llevaron a cabo 29 presentaciones sobre diferentes temáticas relacionadas con glaciares y ecosistemas de montaña. Entre ellas, destacan la presentación de Rupert Stewart-Smith acerca de la atribución de los desastres glaciales al cambio climático; y la de Bram Leo Willems y Oscar Vilca Gómez, acerca de la modelización de las avalanchas de origen glaciar. Puede acceder a estas presentaciones a través del siguiente enlace:

<https://www.facebook.com/watch/1691500661119704/157197463173898>.

El simposio virtual 2021 “Las montañas, nuestro futuro”

En diciembre de 2021 se llevó a cabo el simposio virtual “Las montañas, nuestro futuro” con el objetivo de difundir el conocimiento técnico-científico sobre glaciares tropicales, lagunas de origen glaciar y ecosistemas de montaña en el contexto del cambio climático. Esta actividad contó con la participación de personal del INAIGEM y especialistas de otras instituciones. Se desarrolló en dos mesas redondas: “Impactos del cambio climático en glaciares y ecosistemas de montaña” y “Gestión de riesgos en glaciares y ecosistemas de montaña - Avances en el monitoreo de riesgos de origen glaciar”. Cada mesa tuvo cuatro panelistas que presentaron diferentes aspectos del tema principal y otros cuatro comentaristas que ofrecieron sus puntos de vista. El simposio fue transmitido virtualmente a través de Facebook, y tuvo una gran concurrencia. Las presentaciones de ambos días están disponibles en los siguientes enlaces:

Mesa Redonda 1: <https://www.facebook.com/INAIGEMPERU/videos/201390945205912>

Mesa Redonda 2: <https://www.facebook.com/INAIGEMPERU/videos/4661006314497674>

Filmación y edición de videos - Pronóstico climático ambiental

Durante el año 2021, se llevaron a cabo 38 segmentos del pronóstico climático ambiental INAIGEM, que consiste en una dinámica de preguntas y respuestas sobre los principales eventos meteorológicos, climáticos y ambientales que ocurren en las zonas de alta montaña, con la participación de estudiantes de las escuelas locales. Con el objetivo de conocer y monitorear el estado ambiental, se analizan diferentes fuentes de información meteorológica, como las estaciones y pronósticos del SENAMHI, y modelos numéricos e imágenes satelitales. Estos últimos proporcionan la información necesaria para la comprensión de los eventos meteorológicos y climáticos que ocurren en la región Andina.

Geoportal

El INAIGEM cuenta con una gran cantidad de información geográfica especializada en glaciares y ecosistemas de montaña. En 2021, se mejoró el sistema informático que permite compartir ubicaciones y datos mediante mapas interactivos a través de internet, debido a que la información se encontraba dispersa y desorganizada. Para ello, se realizaron grupos de trabajo con especialistas para definir la estructura y presentación de los datos, seguido de un control de calidad para estandarizar la presentación de los mapas. Finalmente, la información cartográfica fue publicada en el geoportal web. La infraestructura de este sistema está basada íntegramente en la nube, lo que permite un alcance global. Durante el 2021, se mejoraron las operaciones de la plataforma mediante la renovación de licencias, mantenimientos preventivos, actualizaciones y publicación de información, además de la elaboración de protocolos internos y externos de interoperabilidad de la información (figura 34). Todos los usuarios pueden acceder a la plataforma a través de la siguiente dirección web: <https://geoportal.inaigem.gob.pe>.

Repositorio institucional

El repositorio institucional INAIGEM es un espacio digital de información que preserva y organiza materiales científicos y académicos que sirven de apoyo a la investigación y el aprendizaje, a la vez que garantiza el acceso a la información generada por el INAIGEM. Puede accederse libremente a través del enlace: <https://repositorio.inaigem.gob.pe/>

En 2021, se realizaron un total de 102 publicaciones distribuidas en siete categorías. La mayoría de las publicaciones correspondieron a libros e informes (60), seguidos de boletines (26), folletos (9) y revistas científicas (6). Además, se publicó una información digital, en la que las categorías de institucional e investigaciones estuvieron presentes. En septiembre de ese mismo año, se recopiló información sobre el uso del repositorio INAIGEM, y los datos más relevantes se presentan en las tablas 7 y 8, proporcionando estadísticas de acceso.

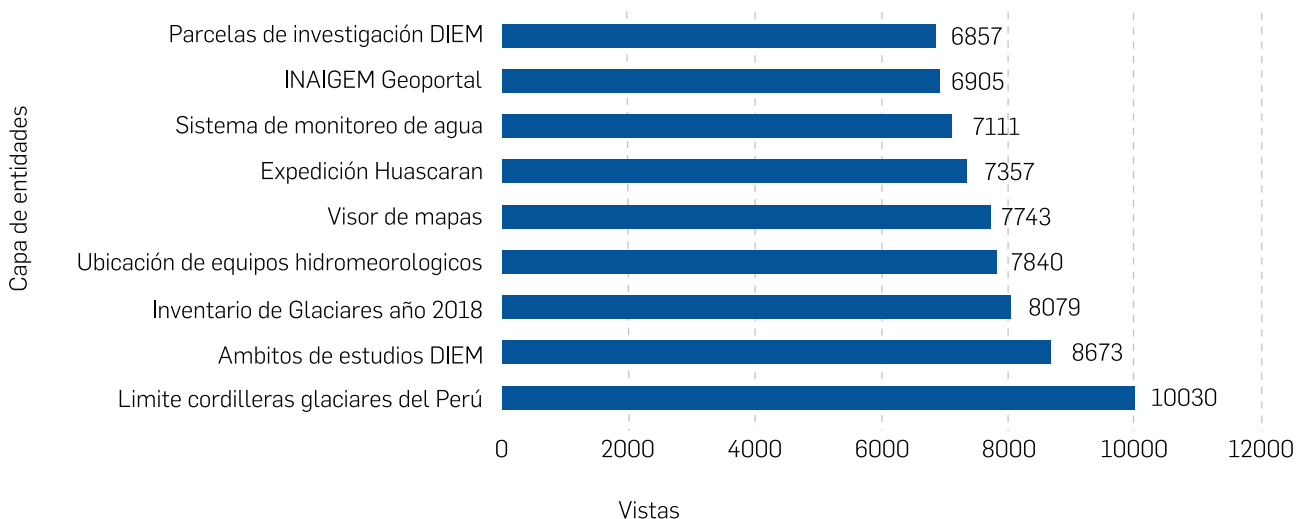


Figura 34. Número de usuarios que accedieron a la información del Geoportal INAIGEM. La figura muestra el top 9 de la información publicada en el Geoportal para el día 13/12/2021.

Tabla 7. Principales descargas del repositorio por países

| Principales países de acceso – Top 10 | | | |
|---------------------------------------|----------------|-----------|-------------|
| N° | País | Descargas | Impresiones |
| 1 | Perú | 1899 | 8711 |
| 2 | México | 290 | 311 |
| 3 | Colombia | 52 | 665 |
| 4 | Estados Unidos | 52 | 307 |
| 5 | Chile | 38 | 334 |
| 6 | Ecuador | 28 | 306 |
| 7 | España | 28 | 244 |
| 8 | Argentina | 23 | 40 |
| 9 | China | 19 | 178 |
| 10 | Brasil | 13 | 142 |

Tabla 8. Principales descargas del repositorio por dispositivo

| Descargas por tipo de dispositivo | | | |
|-----------------------------------|-------------|-----------|-------------|
| N° | Dispositivo | Descargas | Impresiones |
| 1 | Desktop | 1974 | 5805 |
| 2 | Mobile | 549 | 6745 |
| 3 | Tablet | 10 | 268 |

Diseño de una plataforma para recopilación de datos usando IoT

El diseño de una plataforma para recopilación de datos utilizando internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) es una investigación que busca mejorar y ampliar el monitoreo de variables hidrometeorológicas en ambientes de montaña a través de nuevas tecnologías de comunicación. En este estudio, se investigó inicialmente la tecnolo-

gía LoraWAN y posteriormente se exploró la solución IoT satelital, la cual permite configurarse como interfaz de comunicación para instrumentos de medición meteorológica. Con este fin, se adquirió un transmisor para realizar pruebas de operación en condiciones simuladas. Los avances de la integración muestran resultados prometedores. Se espera que la aplicación de esta tecnología permita expandir las fuentes de información en un futuro cercano.

Mejora del monitoreo: detección de avalanchas utilizando sonido

En la presente investigación se busca mejorar el monitoreo y la detección de avalanchas de nieve en los glaciares Palcaraju y Pucaranra, ubicados en la cordillera Blanca, región Áncash. Esta zona representa uno de los ecosistemas montañosos de alto peligro, debido al potencial desborde de la laguna Palcacocha como resultado del impacto de avalanchas de nieve. Para ello, se está desarrollando una metodología que utiliza técnicas de detección y procesamiento de señales sonoras, incluyendo el uso de sensores ultrasónicos. Se busca identificar la frecuencia y patrón de las avalanchas ocurridas en los glaciares mencionados, y experimentar con equipos de sonido capaces de operar en entornos hostiles de alta montaña.

Proyecto TAMYA Implementación de equipos para el monitoreo de las fases de precipitación: nevado Huaytapallana

El proyecto TAMYA, financiado por Prociencia-Concytec, tiene como objetivo determinar los impactos de la precipitación en su fase sólida (nieve) y líquida (lluvia) sobre los cuerpos glaciares del nevado Huaytapallana durante la temporada de verano 2021-2022, con el fin de fundamentar el manejo sostenible del agua y las diversas actividades que dependen de ella. El proyecto comenzó con la instalación de una estación meteorológica en la comunidad campesina de Acopalca (Huancayo) para medir lluvias, temperaturas, vientos y humedad del aire. También se instalará un disdrómetro para medir la cantidad y frecuencia de días y horas con lluvia o nieve, así como un radar meteorológico en Sica-ya para observar la formación de nubes y lluvia sobre el nevado. Se recolectarán datos en zonas aledañas al nevado. La figura 35 muestra la primera presentación del proyecto a la población de Acopalca.



Figura 35. Fotografías del taller de la primera presentación del Proyecto TAMYA a la comunidad campesina de Acopalca.

Proyecto MeteoHuascarán

El proyecto MeteoHuascarán, financiado por Fondecyt (actual ProCiencia) y en colaboración con SENAMHI y la PUCP, tiene como objetivo mejorar la disponibilidad de información de monitoreo y pronóstico meteorológico en el Parque Nacional Huascarán (PNH) con el fin de reducir las fatalidades en actividades ecoturísticas de alta montaña. El proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema de vigilancia automatizado y optimizado de peligros hidrometeorológicos, la implementación de un sistema de inteligencia artificial para determinar el estado del tiempo y herramientas de pronóstico de tormentas eléctricas utilizando información satelital, y un sistema de corrección empírica de modelos numéricos de la atmósfera para generar pronósticos del tiempo a escala local en el PNH a nivel diario. Estas herramientas serán operativizadas en SENAMHI mediante API y se desarrollará una aplicación móvil para poner la información generada a disposición de los visitantes del PNH y operadores turísticos. En promedio, según SERNANP, 4.5 visitantes del PNH fallecen al año, por lo que la mejora en la disponibilidad de información de monitoreo y pronóstico meteorológico será de gran importancia para la planificación y realización más segura de las actividades ecoturísticas en la zona.

Adquisición de datos mediante vehículos aéreos

El proyecto de adquisición de datos mediante vehículos aéreos se enfoca en el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT) para la recolección de imágenes aéreas, con el propósito de generar productos como modelos digitales de superficie. El principal objetivo de los VANT es apoyar la recolección de datos ambientales, climáticos y glaciológicos, a través de estudios fotogramétricos y fotografía aérea, y la obtención de modelos de elevación digital para la colección de datos multiespectrales, así como brindar capacitaciones en vuelos de dron. El proyecto se ha ejecutado en la zona periglacial de los glaciares Yanamarey, ubicado en la distrito de Ticapampa, provincia de Recuay; y en los glaciares Uruashraju y Broggi (figura 36) para verificar la aparición de nuevos ecosistemas generados por el retroceso glaciar. Se utilizó una cámara multiespectral montada en un dron para adquirir datos que permitirán la generación de modelos de elevación digital, así como mapas especializados con las diferentes bandas que proporcionan las cámaras multiespectrales.



Figura 36. Mediciones con dron sobre el glaciar Uruashraju se muestra el vuelo del dron Phantom, la zona de vuelo y la zona de aterrizaje.

Diseño de vehículos terrestres robóticos para adquisición de datos

El diseño de vehículos terrestres robóticos para la adquisición de datos tiene como objetivo principal desarrollar prototipos capaces de recolectar información ambiental, climática y glaciológica en terrenos difíciles de acceder. En este proyecto se diseñó electrónicamente un vehículo terrestre recolector de datos con orugas y se realizaron pruebas en campo para verificar su eficiencia. Para ello, se proyectó en 3D un nuevo chasis para el prototipo y se adquirieron componentes mecánicos y electrónicos para implementar el robot.

Además, se diseñó y desarrolló el vehículo terrestre robótico CROIS (Colector Robótico Optimizado Inteligente Sistematizado). Este vehículo cuenta con un sistema de locomoción basado en orugas, lo que le permite tener más puntos de apoyo en superficies irregulares presentes en zonas glaciares.

Fortalecimiento de capacidades para la gestión de riesgos relacionados a glaciares y ecosistemas de montaña

Los métodos y enfoques activos que animan y fomentan a los participantes a tomar interés y apropiarse del tema contribuyendo con sus experiencias de forma activa al proceso de enseñanza y aprendizaje en lugar de recibir pasivamente la información de expertos de afuera, que en ocasiones pueden desconocer o no entender debidamente los temas locales. Esta metodología fomenta que la gente comparta la información, aprendan unos de los otros y trabajen juntos para resolver problemas comunes. Para ello, se desarrollaron tres talleres:

- El primer taller se realizó en el centro poblado de Macashca, subcuenca Pariac – Rajucolta, provincia de Huaraz, el 27 de octubre, y participaron activamente 54 personas entre autoridades y actores clave. El objetivo fue conocer los riesgos presentes y los daños que estos causarían en un posible aluvión. Además, se recolectó información sobre los



Figura 37. Dr. Willems Bram Leo, respondiendo consultas sobre los estudios de riesgos en el centro poblado de Tzactza - subcuenca de Río Blanco - Santa Cruz.

saberes ancestrales, donde las personas mayores de 70 años fueron las que volcaron sus conocimientos mediante las respuestas representadas por dibujos.

- El segundo taller se realizó en el centro poblado de Arhuay, subcuenca Ranrahirca, en la provincia de Yungay, el 28 de noviembre, con la participación de 20 personas. Se expusieron los desastres y sucesos de origen glaciar ocurridos en esta subcuenca, explicando el desarrollo de la Evaluación del Riesgo de Desastres Originados por Fenómenos Naturales (EVAR). De igual manera, se expusieron los temas de saberes ancestrales, reuniendo información muy importante.
- El tercer taller se llevó a cabo en el centro poblado de Tzactza, subcuenca Río Blanco Santa Cruz, en la provincia de Huaylas, el 15 de diciembre, con la participación de 15 actores clave. Se pudo visualizar el interés de los participantes por la exposición del especialista de la Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares (SDRAG) (ver figura 37). También se expuso el tema de saberes ancestrales y se conoció la percepción de la cosmovisión andina por parte de los pobladores, observándose la integración en los trabajos (respuestas a preguntas con dibujos).



VII. COOPERACIÓN





OFICINA DE COOPERACIÓN TÉCNICA

La Oficina de Cooperación Técnica (OCT) del INAIGEM se enfoca en la gestión eficiente y transparente de convenios de cooperación interinstitucional y en el asesoramiento en temas de cooperación técnica. En la gestión de convenios, la OCT realiza tareas como la revisión periódica del estado de los convenios, reuniones con diferentes direcciones para identificar posibles nuevos aliados, diseño de herramientas internas para estandarizar el proceso de elaboración y seguimiento de convenios, y propuestas de nuevas herramientas para asegurar transparencia y acceso a la información. En cuanto al asesoramiento y gestión de cooperación, la OCT sigue una estrategia que incluye reuniones con la Alta Dirección y las direcciones de línea para identificar necesidades y fortalezas internas que se pueden transformar en oferta de cooperación, y la identificación de posibles nuevos aliados.

Convenios

Durante el año 2021, el INAIGEM ha suscrito 21 documentos de cooperación interinstitucional con universidades nacionales e internacionales, empresas privadas, organismos gubernamentales y comunidades campesinas. Además, se ha desarrollado un nuevo sistema de búsqueda de convenios en colaboración con la Oficina de Tecnología de la Información. Para acceder a este sistema, se puede visitar el siguiente enlace: <https://buscador-convenios.inaigem.gob.pe/#/>.

Cooperación

Durante el periodo examinado en este informe, se han logrado importantes avances en materia de cooperación técnica, entre ellos:

1. El INAIGEM participó en la ejecución del Proyecto MINAM – IMELS de Italia.
2. Se colaboró con Peace Corps de Estados Unidos.
3. Se recibió el apoyo de la fundación alemana Konrad Adenauer Stiftung para la formulación de la Política Nacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (PNGYEM).
4. Se implementó el Proyecto “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” con el Fondo de Agua para la Sostenibilidad del Distrito Metropolitano de Quito (FONAG) de Ecuador, en el marco de la modalidad de Cooperación Sur Sur.

Cooperación con Italia (Proyecto del MINAM)

El Ministerio del Ambiente (MINAM) de Perú y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) han firmado un acuerdo para colaborar en el ámbito de la vulnerabilidad del cambio climático, evaluación de riesgo, adaptación y mitigación. Como parte de este acuerdo, el INAIGEM de Perú está colaborando en cuatro actividades específicas.

El INAIGEM está trabajando en la elaboración y difusión de un inventario nacional de glaciares, lagunas glaciares y humedales, así como en el monitoreo de glaciares.

Implementación de una evaluación piloto de la provisión de servicios ecosistémicos de humedales en las cuencas hidrográficas superiores priorizadas para diseñar un modelo de restauración de ecosistemas.

Esta monitoreando y evaluando el impacto del carbono negro en glaciares en áreas prioritarias. Los productos de dicha actividad serán: a) una metodología para el monitoreo del carbono negro y b) una propuesta para la de regulación de partículas (carbono negro) de emisión por combustión incompleta.

Difusión de información sobre los efectos del cambio climático en glaciares y ecosistemas de montaña a través de documentales científicos en tres idiomas (español, quechua e inglés).

Es importante destacar que los gastos del proyecto están siendo gestionados por una unidad implementadora contratada por el MINAM y el PNUD, siendo este último la entidad ejecutora del proyecto.

Colaboración con Peace Corps (EE.UU.)

Desde julio de 2021 se ha establecido una nueva colaboración con Peace Corps de Estados Unidos, gracias a la participación del INAIGEM en el programa de Servicio Piloto Virtual de Cuerpo de Paz (VSP). Bajo esta nueva modalidad, la entidad cooperante brindó asistencia a INAIGEM para la formulación de un plan de marketing digital, como parte de una campaña de comunicaciones orientada a despertar el interés del público objetivo (tomadores de decisiones, academia, comunidades, público en general) hacia la importancia de las montañas en la sostenibilidad del Perú.

Cooperación con Alemania

En 2021 empezó la ejecución del 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”, proyecto que es parte del Programa de Cooperación Técnica 2020-2022 entre Perú y Ecuador y que fue aprobado en el marco de la Primera Reunión de la Comisión Mixta Perú-Ecuador, que tuvo lugar en agosto 2020. Los objetivos principales de este proyecto son: 1) fortalecer el intercambio de experiencias entre el INAIGEM y el Fondo para la Protección del Agua de Ecuador (FONAG) en relación con las estrategias para la conservación y recuperación de servicios hídricos de ecosistemas de montaña; 2) realizar un monitoreo de las investigaciones orientadas a la evaluación de los impactos en la provisión de servicios hídricos de intervenciones basadas en la restauración y gestión de ecosistemas de pastizal natural y bofedal, implementadas en parcelas de investigación del INAIGEM; y 3) difundir los avances logrados y la metodología de monitoreo de los impactos en la provisión de servicios hídricos de intervenciones para la recuperación de ecosistemas, entre instituciones públicas y privadas relacionadas con la implementación de MERESE en el Perú.

Participación en plataformas internacionales

El INAIGEM viene participando en el marco de instancias regionales e internacionales, representando por la Oficina de Cooperación Técnica.

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). Esta plataforma 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, potenciando en consecuencia la capacidad de concreción de acciones a nivel regional que promuevan la conservación de las montañas y su desarrollo sostenible, según lo definido en la Declaración de San Miguel de Tucumán y el Plan de Acción para el Desarrollo Sostenible de las Montañas Andinas, donde se establecen áreas prioritarias y un con-

junto de acciones a desarrollar que cuenten con el apoyo de todos los puntos focales y de los representantes gubernamentales. Asimismo, se manifiesta un firme compromiso por establecer una red de información e intercambio a nivel regional e internacional sobre datos precisos de experiencias de carácter nacional que se puedan extrapolar en los países miembros.

Además, 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.

Finalmente, 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.





INAIGEM
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA