

Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña

2020



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 2020

Dr. Hernando Tavera Huarache
Presidente Ejecutivo*

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

Jefe de la Oficina Desconcentrada Macrorregión Centro-Lima

Editado por:

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

Sede Central:

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

Oficina 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

Febrero 2023

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

Diagramación: Joan Ramírez, Sabí Torbisco

* La edición y publicación de este ejemplar, se desarrolló durante la gestión de la Dra. Beatriz Fuentealba, presidente ejecutivo del INAIGEM (Febrero 2023).

PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña – INAIGEM es un instituto público peruano de investigación adscrito al MINAM. Fue creado mediante Ley 30286, el 12 de diciembre de 2014.

Es la máxima autoridad a nivel nacional en investigación científica de los glaciares y ecosistemas de montaña, que responde a los retos del cambio climático, proponiendo mejoras o cambios de las actividades antrópicas que afecten la provisión de los recursos y servicios ecosistémicos.

INAIGEM establece sedes desconcentradas a nivel nacional, contándose actualmente con una Sede Central en Huaraz y dos Oficinas Desconcentradas en las regiones Sur y Centro, localizadas en Cusco y Lima, respectivamente.

“Tiene como finalidad fomentar y expandir la investigación científica y tecnológica en los ámbitos de glaciares y ecosistemas de montaña, promoviendo su gestión sostenible en beneficio de las poblaciones que viven en o se benefician de dichos ecosistemas”

MISIÓN

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

Mediante el presente Documento, INAIGEM presenta el Informe Anual sobre la situación de los glaciares y ecosistemas de montaña correspondiente al año 2020, que resume sus investigaciones principales y otras actividades.

Dra. Beatriz Fuentealba
Presidente Ejecutiva

CONTENIDO

I.

**AVANCE EN LA POLÍTICA NACIONAL
DE GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE
MONTAÑA - DIAGNÓSTICO**

7

II.

**INVESTIGACIONES EN GLACIARES Y LAGUNAS
DE ORIGEN GLACIAR EN EL PERÚ**

GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR EN
EL PERÚ

Inventario Nacional de Glaciares
Inventario Nacional de Lagunas de Origen Glaciar
Monitoreo Glaciológico
Investigaciones en la Cordillera Huaytapallana

10

III.

RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES

Evaluación de Peligros en la Unidad Hidrográfica
Ranrahirca, Cordillera Blanca

Evaluación Preliminar del Estado Actual de las
Estructuras Preventivas existentes en Lagunas
Glaciares de la Unidad Hidrográfica Shullcas,
Cordillera Huaytapallana, Junín

Evaluación de Peligros en la Cordillera Apolobamba
(Región Puno)

31

IV.

**PROYECTOS ESPECIALES DE INVESTIGACIÓN
SOBRE GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN
GLACIAR**

Proyecto Perú GROWS (Retroceso glaciar y su impacto en la seguridad hídrica en el Perú)

Proyecto Permafrost (Evaluación y estimación de la distribución espacio temporal de permafrost a nivel como potencial de reserva hídrica)

Proyecto GLOP (Lagunas de Origen Glaciar en el Perú: Evolución, Peligros e Impactos del Cambio Climático)

Proyecto Pant_Bioglaciar (Impacto del ENSO en el retroceso glaciar en la cordillera Blanca y la isla Rey Jorge (península Antártica))

44

V.

**INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS DE
MONTAÑA EN EL PERÚ****PROYECTOS SOBRE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA**

Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

Evaluación de Socioecosistemas y sus servicios ecosistémicos

Recuperación y manejo sostenible de socioecosistemas

Inventario Nacional de Bofedales

Acciones de fortalecimiento

Investigaciones en Cusco

Investigaciones en Puno

Proyecto IMELS

54

VI.

TRABAJOS EN GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

Adquisición de Imágenes

Sistema de Monitoreo Palcacocha

Sistema de Monitoreo Arhuaycocha

Desarrollo del Laboratorio Virtual de Visión

Desarrollo del Laboratorio Virtual de Innovación

Programa virtual de difusión de las ciencias
"Viernes Científicos"

Filmación y edición de videos
"Pronósticos INAIGEM" Y "Talento Científico"

Soporte para la clasificación de ecosistemas
de montaña usando inteligencia artificial

Fortalecimiento de Capacidades - Mapeo de actores
en subcuencas priorizadas e identificación de
actores clave

Biblioteca

Revista Científica

Participación en Ferias Virtuales de Ciencia

Simposio Internacional
"Las Montañas, Nuestro Futuro"

78

VII.

COOPERACIÓN

87

AVANCE EN LA POLÍTICA NACIONAL DE GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA - DIAGNÓSTICO



AVANCE EN LA POLÍTICA NACIONAL DE GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA - DIAGNÓSTICO

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), es un organismo adscrito al Ministerio del Ambiente (MINAM), y tiene como función y atribución la elaboración de la Política Nacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (PNGYEM). Es el responsable de conducir y coordinar con los diferentes actores del sector público, sociedad civil, académica y sector privado, la elaboración de la PNGYEM.

Es así que, conforme a la normatividad vigente, el INAIGEM desarrolló una propuesta de la PNGYEM, entre los meses de julio y diciembre del 2020, que implicó cuatro fases:

Fase 1: Revisión de información y trabajos previos

Con la participación de actores del sector público, privado, académico y de la sociedad en general, se recolectó la información generada en cada una de las actividades organizadas por el INAIGEM, con el propósito de constituirse en insumos para la elaboración de la PNGYEM.

Fase 2: Análisis de pertinencia de la nueva PNGYEM

Se justificó mediante un informe de análisis de pertinencia de la PNGYEM ante el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), destacando cuatro puntos claves: a) la importancia internacional y nacional de los ecosistemas de montaña; b) la relación con la Política Nacional del Ambiente (PNA); c) la definición y ámbito de los ecosistemas de montaña y d) la población beneficiaria en el ámbito de los ecosistemas de montaña.

Es así, que mediante Oficio N° D000471-2020-CEPLAN-DNCP, del 29 de octubre del 2020, el CEPLAN comunica la opinión técnica favorable al informe de análisis de pertinencia presentado por el INAIGEM y la disposición de iniciar con la elaboración de la PNGYEM.

Fase 3: Elaboración del proyecto de la PNGYEM

Se desarrollaron los contenidos siguientes: delimitación del problema público, definición del problema público, determinación de la situación futura deseada, selección de las alternativas de

solución, elaboración de los objetivos prioritarios e indicadores, elaboración de los lineamientos, identificación de los servicios a partir de la Política Nacional del Ambiente.

Por otro lado, los especialistas del INAIGEM trabajaron resúmenes de política (*policy brief*), que sustentan la PNGYEM y permiten comunicar los resultados de las investigaciones de forma clara y concisa.

A continuación, se listan los *policy brief* desarrollados:

- **79 años de escasa gestión de riesgo de desastres en la laguna Palcacocha, cuenca Quilcay, Huaraz, Áncash**
- **La desglaciación producto de la combustión (carbono negro)**
- **¿Hasta cuándo veremos las blancas cordilleras del Perú?**
- **Entender la historia del clima para prevenir riesgos y peligros de desastres naturales en el futuro**
- **Pérdida glaciaria en la Antártida, sus efectos globales y la importancia de la investigación**
- **Impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica de lagunas de origen glaciario**
- **Aspectos sociales para la ejecución articulada de proyectos de investigación en comunidades alto andinas: caso de instalación del sistema de monitoreo en tiempo real de la laguna Arhuaycocha, cordillera Blanca.**

Siguiendo las sugerencias del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el INAIGEM decidió respaldar el diagnóstico de la PNGYEM con información geoespacial, contemplando así tres niveles de catálogos de mapas:

Catálogo de mapas nivel 1: información recopilada de instituciones públicas y privadas, que no fueron modificadas por parte del INAIGEM; por lo cual,

se emplean para caracterizar el ámbito de los ecosistemas de montaña.

Catálogo de mapas nivel 2: información generada por el equipo encargado de la PNGYEM del INAIGEM, a partir de los insumos de base (catálogo nivel 1), bajo el enfoque de cuencas hidrográficas para el ámbito de los ecosistemas de montaña. Se consignó un total de 33 mapas: 8 con énfasis en los aspectos sociales, 13 con énfasis en los aspectos ambientales, 12 con énfasis en los aspectos económicos.

Catálogos de mapas nivel 3: información recolectada y generada por el equipo encargado de la PNGYEM del INAIGEM, bajo el enfoque de cuencas hidrográficas en el ámbito de los ecosistemas de montaña, para identificar las zonas prioritarias aplicando alternativas de solución.

Fase 4: Inicio de la socialización del proyecto de la PNGYEM

Se comenzó a socializar con las entidades relacionadas a los glaciares y ecosistemas de montaña, con el propósito de recibir comentarios y aportes, entre octubre y diciembre del 2020, se detallan las siguientes interacciones:

Debido a que la PNGYEM tiene como marco la Política Nacional del Ambiente, se coordinó en mayor medida la articulación y diferenciación entre ambas políticas con la DGPIGA (Dirección General de Políticas e Instrumentos de Gestión Ambiental) y DGPP (Dirección General de Planeamiento y Presupuesto) del MINAM.

Siguiendo la recomendación del PNUD, se coordinó e intercambió capas de información geoespacial con la DGOTA (Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental) del MINAM, el proyecto INSH (Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica) de Forest Trends y el proyecto del PNUD, con el propósito de desarrollar catálogos de mapas para el diagnóstico.



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



INVESTIGACIONES EN GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR EN EL PERÚ

GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR EN EL PERÚ

Los glaciares constituyen la principal reserva hídrica de agua dulce, la misma que es utilizada para el consumo diario de las personas, actividades productivas, entre otros. Por ello, conocer la ubicación, cantidad y distribución de los glaciares es de vital importancia para la adecuada gestión del territorio.

A nivel nacional/departamental

Se muestra los resultados obtenidos del cuarto inventario nacional de glaciares del Perú (Tabla 1). En el año 2016 existían 2259 glaciares y una superficie glaciaria de 1118.11 km².

En un análisis a nivel departamental, Ancash y Cusco son los departamentos con mayor cantidad y superficie glaciaria con 594 glaciares y 467.38 km²; y 827 glaciares y 362.11 km², respectivamente. Por otro lado, Huancavelica posee la menor cantidad y superficie glaciaria.

En un contexto de calentamiento global, el tipo de cobertura glaciaria influirá en la fusión glaciaria. En una superficie libre de detritos (sedimentos rocosos), la fusión va a depender en su mayoría de las condiciones climáticas, mientras que en las superficies con presencia de detritos, el descongelamiento estará condicionado tanto por la parte climática como por la cantidad de detritos presentes.

Tabla 1. Cantidad y superficie de glaciares por departamento.

Departamento	Cantidad	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Ancash	594	467.38	41.80
Apurímac	13	1.87	0.17
Arequipa	56	53.82	4.81
Cusco	827	362.11	32.39
Huancavelica	3	0.15	0.01
Huánuco	62	26.11	2.34
Junín	167	39.49	3.53
Lima	203	62.22	5.56
Pasco	60	14.22	1.27
Puno	274	90.74	8.12
Total	2259	1118.11	100.00

A nivel nacional, el 95.35% de la superficie glaciar se encuentra libre de detritos, y el restante, 4.65% está cubierta por ellos. Se analizan los resultados por departamento, donde, podemos ver que los departamentos de Áncash, Cusco, Puno, Lima, Arequipa, Junín, Huánuco, Pasco y Apurímac presentan tanto glaciares libres como cubiertos por detritos, mientras que; el departamento de Huancavelica sólo presenta superficies glaciares libres de detritos (Figura 1). Dado el tamaño de la superficie glaciar dentro del departamento de Huancavelica, este es más susceptible a desaparecer en un corto tiempo a diferencia de los departamentos de Ancash y Cusco, además se visualiza que los glaciares del departamento de Huancavelica se encuentran en la Cordillera Chonta, las cuales alrededor del año 2023 estarían por desaparecer¹.

La altitud del glaciar propicia condiciones favorables y desfavorables dentro de su dinámica, se espera que los glaciares de menor altitud desaparezcan antes que los glaciares ubicados en altitudes mayores, por eso es importante conocer la altitud de las superficies glaciares.

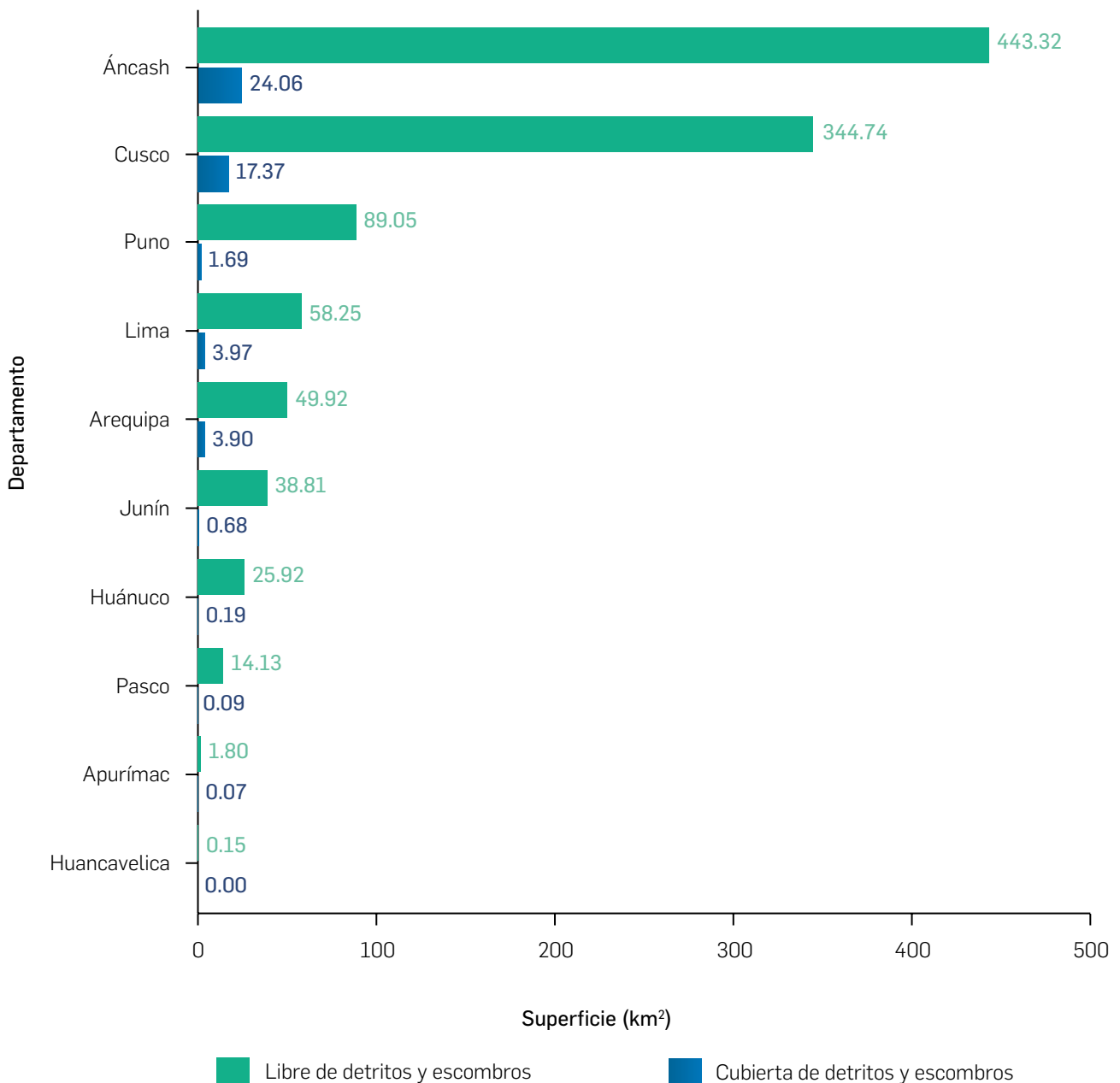


Figura 1. Superficie de glaciares según departamento y tipo de cobertura.

¹ INAIGEM. (2018). Inventario nacional de glaciares: las Cordilleras Glaciares del Perú. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/handle/16072021/57>

Se observa que cuanto más grande es el glaciar, las cotas mínimas son más bajas y las máximas son más altas. Los glaciares más grandes en el Perú suelen ubicarse a altitudes mayores a comparación de los glaciares más pequeños. En el Perú, los glaciares más grandes en superficie presentan cotas mínimas a menor altitud y cotas máximas a mayor altitud (Figura 2).

Conocer la pendiente de una superficie glaciar es de suma importancia, sobre todo, cuando supera los 25° (46.6%) de inclinación porque pueden representar una potencial amenaza generando desplomes o avalanchas con repercusiones negativas de consideración para los ecosistemas y poblaciones ubicadas aguas abajo².

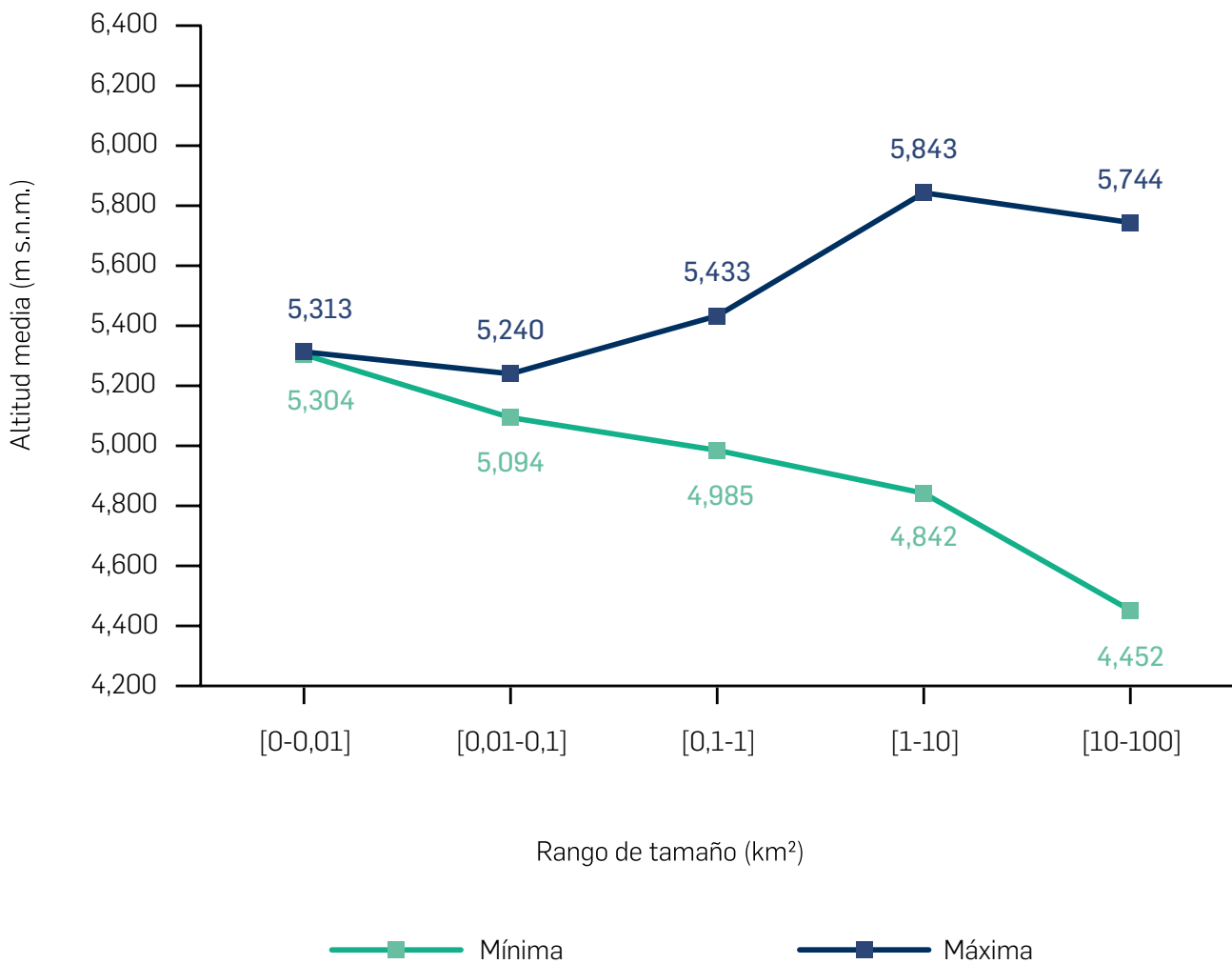


Figura 2. Tamaño glaciar según altitud media, mínima y máxima a nivel nacional.

Se aprecia que la pendiente predominante de la superficie glaciar libre de detritos y escombros se encuentra entre el 25 y 50% de inclinación. En cambio, en la superficie cubierta por detritos y escombros predominan las pendientes entre 50 y 75%, lo que representa una potencial amenaza de desplomes o avalanchas por este tipo de superficies (Figura 3).

² GAPHAZ 2017: Assessment of Glacier and Permafrost Hazards in Mountain Regions – Technical Guidance Document. Prepared by Allen, S., Frey, H., Huggel, C. et al. Standing Group on Glacier and Permafrost Hazards in Mountains (GAPHAZ) of the International Association of Cryospheric Sciences (IACS) and the International Permafrost Association (IPA). Zurich, Switzerland / Lima, Peru, 72 pp. www.gaphaz.org

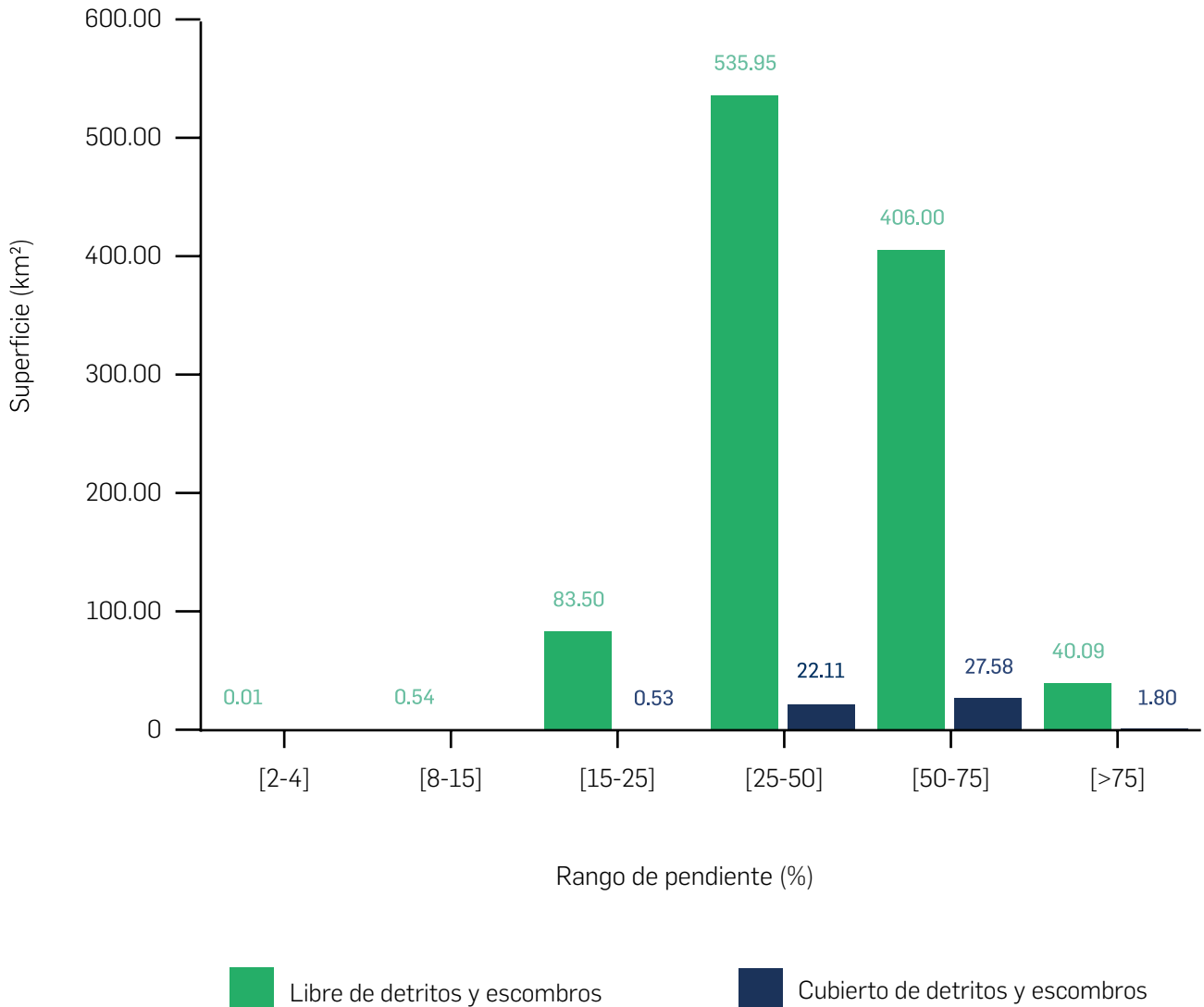


Figura 3. Superficie de glaciares según pendientes y tipo de cobertura a nivel nacional.

El Perú poseía 20 cordilleras con glaciares, de las cuales, dos (Volcánica y Barroso) perdieron el 100% de su cobertura glaciar entre 1970 y 2016, por lo que son consideradas como cordilleras glaciares extintas. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos a nivel de las 18 cordilleras con glaciares, la Cordillera Blanca y Vilcanota poseen la mayor cantidad y superficie glaciar con 449.75 km² (556 glaciares) y 255.51 km² (395 glaciares), respectivamente. Por otro lado, Chila, Chonta, Huanzo, La Raya y La Viuda poseen la menor cantidad y superficie glaciar, y son consideradas como cordilleras en proceso de extinción.

Los resultados completos detallados del cuarto Inventario Nacional de Glaciares del Perú, realizado por INAIGEM se puede consultar en un navegador web, mediante el siguiente enlace:

<https://inaigem.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/f37b51cf963642c0aca30056b445ef63>

Por otro lado, las cordilleras glaciares que han perdido entre el 80 y 50% de su superficie glaciar fueron Raura, Huagoruncho, Huaytapallana, Central, Apolobamba, Ampato y Carabaya. Mientras que, las cordilleras Blanca, Huayhuash, Vilcabamba, Urubamba y Vilcanota han mostrado pérdidas inferiores al 50%.

Tabla 2. Cantidad y superficie de glaciares por cordillera.

Cordillera	Cantidad de Glaciares	Superficie (km ²)
Blanca	556	449.75
Huallanca	27	5.25
Huayhuash	97	53.13
Raura	83	25.60
Huagoruncho	40	7.53
La Viuda	50	3.98
Central	136	42.50
Huaytapallana	94	21.45
Chonta	6	0.38
Ampato	43	52.49
Vilcabamba	340	101.25
Urubamba	111	23.56
Huanzo	20	2.91
Chila	6	0.19
La Raya	24	1.93
Vilcanota	395	255.51
Carabaya	151	31.07
Apolobamba	80	39.63
Total	2259	1118

De forma general, los resultados revelaron una reducción glaciaria del 53.56% respecto al primer inventario, lo cual equivale a 1280.95 km² de superficie glaciaria perdida. Se han analizado algunos casos puntuales en cada uno de los departamentos para realizar un análisis del retroceso glaciario. Un claro ejemplo de un acelerado retroceso es el evidenciado por el glaciar Pastoruri (Áncash) que muestra un retroceso del frente glaciario de ~70 m en los últimos 7 años y ~520 m en el periodo 1962 - 2016. Por otro lado, en la cordillera central el frente del glaciar Sullcon (Lima) se redujo en ~928 m en el mismo periodo (1962 - 2016). En el sector sur tenemos el caso del casquete de hielo Quelccaya

(Cusco), que retrocedió a una tasa de 0.57 km²/año de 1980 al 2010, mientras que el frente del glaciar Qori Kalis retrocedió ~436 m entre 1983 a 2011 y ~842 m de 1962 al 2016³.

Es importante mencionar que gran parte de las poblaciones dependen de las aguas provenientes de los glaciares. En las cordilleras glaciares del norte, en el departamento de Ancash, el 28% de la población habita en zonas donde existe una influencia directa de los glaciares y lagunas de origen glaciario. El 64% se beneficia indirectamente de estas aguas a través de los ríos. En el Perú, se cuenta con 38 concesiones hidroeléctricas que

³ Hanshaw, M. N., & Bookhagen, B. (2014). Glacial areas, lake areas, and snow lines from 1975 to 2012: Status of the cordillera vilcanota, including the Quelccaya Ice Cap, northern central Andes, Peru. *Cryosphere*, 8(2), 359-376. <https://doi.org/10.5194/tc-8-359-2014>

dependen de la influencia glaciar. Por ejemplo, las aguas del río Santa abastecen a la central hidroeléctrica del Cañón del Pato (ubicado en la provincia de Huaylas) que provee de energía a la población de Ancash. Esta agua tiene importancia agrícola, como se evidencia en los proyectos Chincas y Chavimochic, donde se potencia la actividad agrícola de exportación. Otro ejemplo claro son las aguas de la laguna Parón (Huaylas, Ancash) que nacen en el glaciar Artesonraju y que se emplean en el riego de arándanos y flores (ambos para exportación) durante la época de estiaje.

En las cordilleras glaciares del centro, Lima y Callao (con una población de más de 10 millones de personas) son las ciudades más afectadas por la disminución de la oferta de agua proveniente del aporte de los glaciares.

Las cordilleras glaciares del sur han perdido mayor superficie glaciar en comparación con la cobertura glaciar del norte y centro. La cordillera Chila (Arequipa) cuenta con apenas 0.19 km² de cobertura glaciar y la cordillera La Raya (Cusco y Puno) con 1.93 km², lo que ha generado la construcción de múltiples represas como: El Frayle, Chalhuanca, entre otras, ubicados en el departamento de Arequipa, además de fomentar el uso eficiente del agua tanto para uso poblacional, agrícola e industrial.



INVENTARIO NACIONAL DE LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

Lagunas de origen glaciar

En los últimos años los glaciares han retrocedido de manera acelerada; en algunas cordilleras del sur del país se han perdido hasta el 98% de su superficie glaciar (INAIGEM, 2018), esta pérdida repercute directamente en las características de las lagunas de origen glaciar, variando principalmente su tamaño y volumen; además algunas lagunas de origen glaciar pueden representar una amenaza para la población, los medios de vida y afectar el abastecimiento de los diferentes usos de agua; ya sea por ocurrencia de aluviones o déficit hídrico.

Al 2020, el INAIGEM culminó con el inventario nacional de lagunas de origen glaciar, donde cada laguna fue caracterizada de acuerdo a su área, altitud, ubicación geográfica, política, y otras características.

La importancia del inventario de lagunas radica en brindar información actualizada que sirva como instrumento de apoyo en la toma de decisiones en la Gestión Integral del Recurso Hídricos (GIRH) y sus riesgos asociados; asimismo, las lagunas son fuente importante de agua para las actividades económicas de la población. Esta información facilitará incluir a las lagunas dentro de los planes de GIRH, de modo que se pueda hacer uso consensuado y equitativo sin comprometer su sostenibilidad y proponiendo estrategias de conservación bajo el enfoque de cuenca con la participación de todos los actores.

Resultados

Los resultados del inventario de lagunas (Tabla 3) indican una mayor presencia de lagunas en las cordilleras Carabaya, Huaytapallana, Blanca, Central, La Viuda y Chonta. Por otro lado, la menor cantidad de lagunas se encuentran en las cordilleras, Volcánica y Barroso, que son cordilleras que actualmente no presentan cobertura glaciar, motivo por el cual no reciben el aporte de agua producto del deshielo glaciar, dependiendo por lo tanto de las precipitaciones estacionales de la zona.



Tabla 3. Cantidad y superficie de lagunas de origen glaciar por cordillera.

N°	Cordillera	Cantidad	Superficie (km ²)
1	Blanca	836	55.75
2	Huallanca	71	3.31
3	Huayhuash	101	6.51
4	Raura	177	23.90
5	Huagoruncho	622	42.17
6	La Viuda	772	144.95
7	Central	817	76.15
8	Huaytapallana	948	50.91
9	Chonta	708	108.92
10	Ampato	102	63.01
11	Vilcabamba	165	4.87
12	Urubamba	303	17.00
13	Huanzo	502	57.54
14	Chila	65	5.24
15	La Raya	203	75.92
16	Vilcanota	561	63.40
17	Carabaya	1337	103.17
18	Apolobamba	212	35.96
19	Volcánica	15	0.98
20	Barroso	60	82.64
Total		8577	1022.30

Como resultado, se han inventariado un total de 8577 lagunas de origen glaciar, las mismas que comprenden una superficie total de 1022.3 km² (Tabla 4), siendo las cordilleras del bloque del norte las que albergan un mayor número de lagunas de origen glaciar inventariadas.

A nivel de departamentos, Puno presenta la mayor cantidad de lagunas de origen glaciar con 1544 lagunas, seguido del departamento de Junín con 1443 y Cusco con 1294, mientras que la menor cantidad de lagunas se encuentra en los departamentos de Ica, Tacna y Moquegua, estos mismos no cuentan con presencia de glaciares.

Tabla 4. Cantidad y superficie de lagunas de origen glaciar por departamento.

Departamento	Cantidad	Superficie (km ²)
Ancash	924	60.31
Apurímac	199	8.47
Arequipa	366	58.68
Ayacucho	132	59.51
Cusco	1294	164.66
Huancavelica	621	93.55
Huánuco	446	42.18
Ica	1	0.04
Junín	1443	133.89
Lima	969	81.23
Moquegua	28	35.67
Pasco	571	97.99
Puno	1544	163.83
Tacna	26	20.21
Total	8564*	1020.22*

*Se presentan 13 lagunas de origen glaciar que se encuentran en los límites interdepartamentales. Considerando estas lagunas interdepartamentales, se reporta un total de 8577 lagunas de origen glaciar con una superficie de 1022.30 km² a nivel nacional.

Por otro lado, con base en la ubicación política de las lagunas y a los datos del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2017, se ha identificado la cantidad de población por departamento que cuenta con lagunas de origen glaciar (Tabla 5).

Tabla 5. Población que radica en zonas con lagunas de origen glaciar.

Departamento	Número de lagunas	Superficie (km ²)	Población Total	Población que radica en zonas con lagunas de origen glaciar*	
				Cantidad	(%)
Ancash	924	60.31	1 083 519	374 898	34.60
Apurímac	199	8.47	405 759	60 458	14.90
Arequipa	366	58.68	1 382 730	44 247	3.20
Ayacucho	132	59.51	616 176	41 284	6.70
Cusco	1294	164.66	1 205 527	532 843	44.20
Huancavelica	621	93.55	537 294	264 886	49.30
Huánuco	446	42.18	721 047	201 893	28.00
Ica	1	0.04	850 765	851	0.10
Junín	1443	133.89	1 246 038	610 559	49.00
Lima	969	81.23	9 485 405	66 398	0.70
Moquegua	28	35.67	174 863	18 535	10.60
Pasco	571	97.99	254 065	91 209	35.90
Puno	1544	163.83	1 172 697	155 969	13.30
Tacna	26	20.21	329 332	10 209	3.10
Total	8564	1020.22	19 465 217	2 474 239	-

*Corresponde a la población distrital que radica en zonas con lagunas de origen glaciar.

Se observa que, a nivel nacional, la mayor cantidad de población que se beneficia de las aguas de las lagunas de origen glaciar se encuentra en los departamentos de Cusco, Junín y Huancavelica. Por el contrario, las poblaciones de los departamentos de Tacna e Ica, son las que menos se benefician de las aguas de estas lagunas, particularmente en el caso del departamento de Ica, donde únicamente se cuenta con una laguna de este tipo, la cual beneficia a tan solo el 0.1% de sus habitantes. En el caso de Huancavelica, notamos que cerca de la mitad (49.3%) de la población, habitan en zonas con lagunas de origen glaciar.

Monitoreo Glaciológico

En este período, se trabajó específicamente en el Glaciar Huillca, ubicado en la subcuenca Quitaracsa distrito de Yuracmarca, provincia de Huaylas en el departamento de Ancash, es un glaciar de Valle, cuya área aproximada es de 1.25 km², el balance de masa para el periodo setiembre 2019 - octubre 2020 calculado por el método directo glaciológico es de 36 mm w.e. (que significa el equivalente en milímetros de profundidad del agua fundida que produciría) y su línea de equilibrio glaciar se estima a una altura de 5265.6 m s.n.m.

A continuación se describe la metodología empleada para la implementación de la red de monitoreo glaciológico en el glaciar Huillca, la hidrología de la microcuenca glaciar (superficie y forma), los trabajos topográficos realizados en la lengua del glaciar, con la finalidad de proponer estudios de potencial hídrico que beneficie a las comunidades circundantes y empresas generadoras de electricidad.

Se establecieron tres puntos para la medición del retroceso del frente glaciar y cuatro puntos auxiliares de apoyo para realizar las lecturas. El retroceso de la lengua glaciar Huillca tiene un promedio de 16.07 m. para el periodo comprendido de septiembre de 2019 a octubre de 2020, sin embargo es posible observar que la dinámica glaciar está generando cambios muy rápidos en el glaciar, como en el frente se producen desplomes de bloques grandes de hielo que modifican el perímetro y sus fluctuaciones las cuales serán variadas, influenciada por los cambios en los factores ambientales y atmosféricos como las variaciones climáticas extremas al igual que El Niño, Oscilación Sur (ENSO), patrón climático generador de una serie de procesos físicos como la sublimación, evaporación y fusión. Se muestra el retroceso del glaciar Huillca en los últimos años (Figura 4), mientras que se muestra los puntos de medición de su sistema de monitoreo (Figura 5).



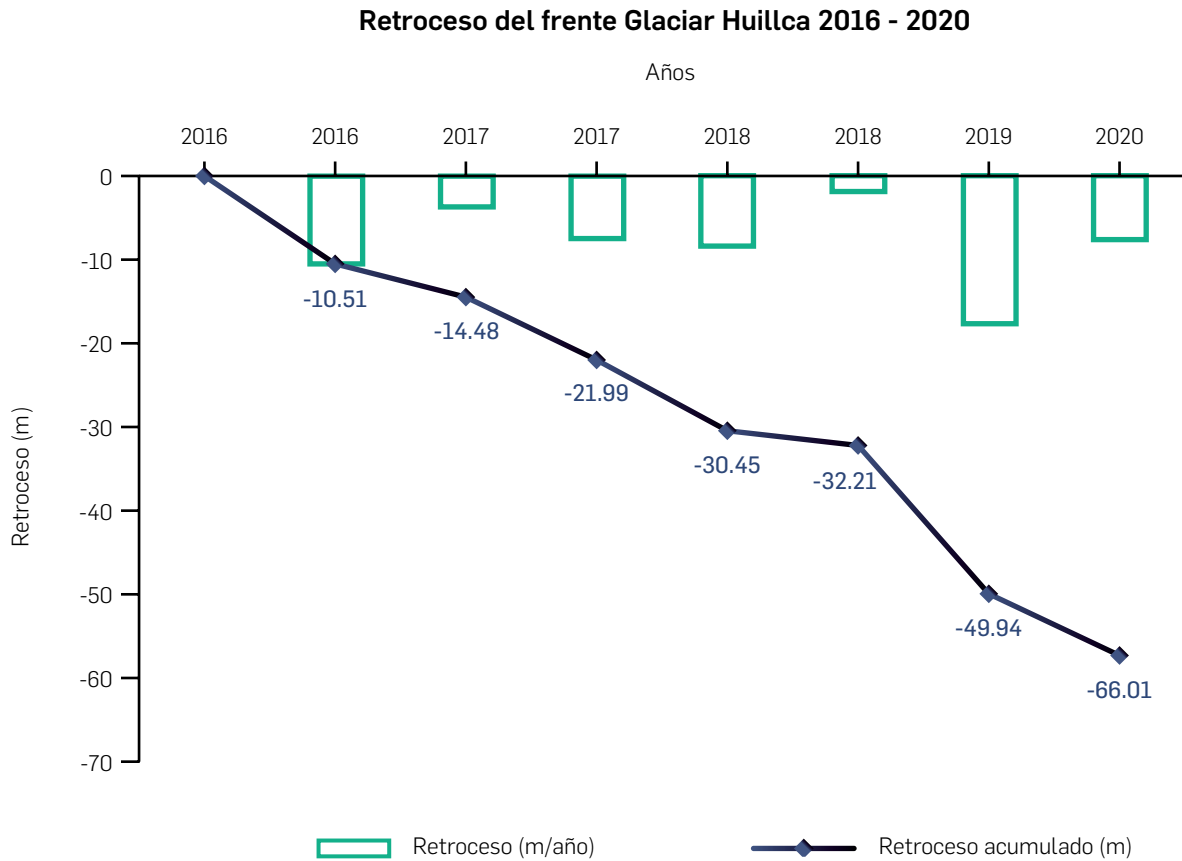


Figura 4. Retroceso del frente glaciar Huillca periodo 2016-2020.

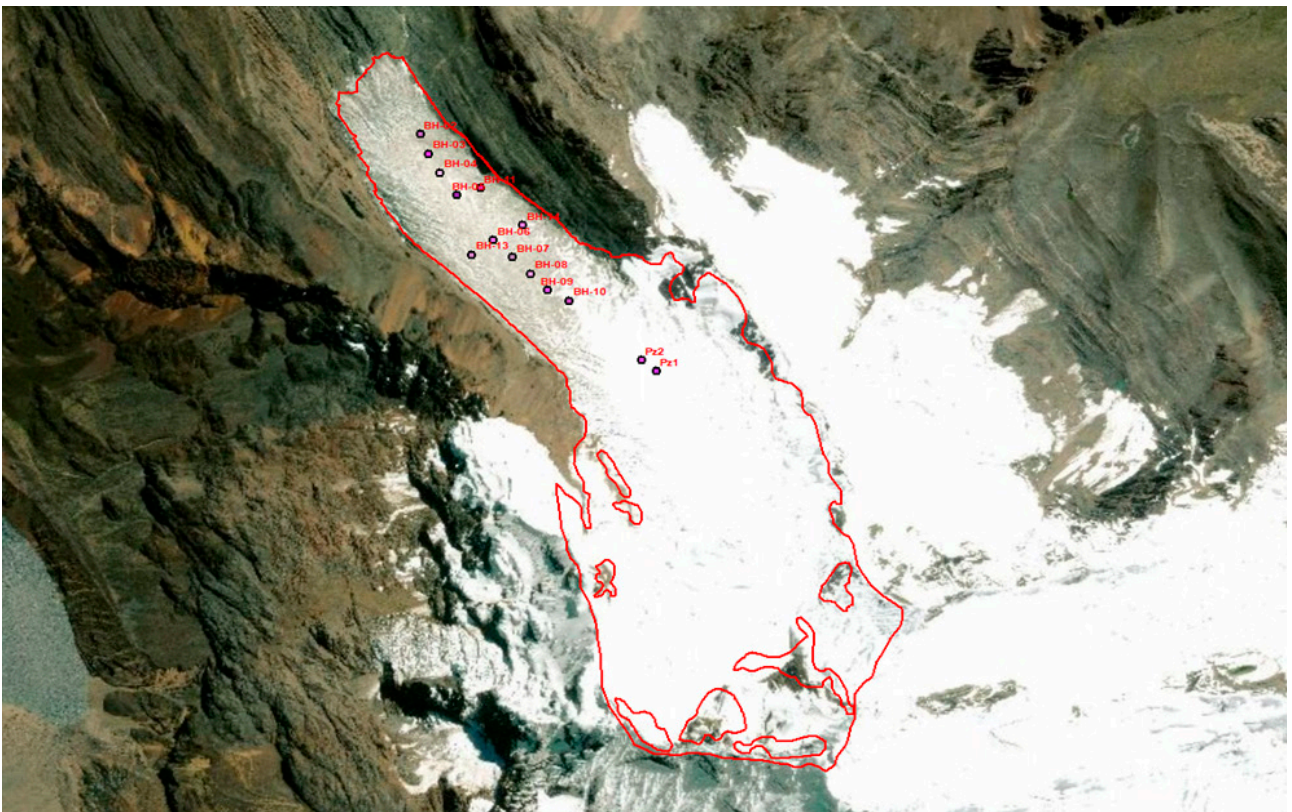


Figura 5. Sistema de medición de la red de monitoreo en el glaciar Huillca.

Balance por rango altitudinal en la zona de ablación

Se conoce como balance de masa a la diferencia en un periodo determinado de la altura de nieve depositada en equivalente de agua en la zona de acumulación (positivo) y pérdidas en la altura de la zona de ablación (negativo).

Se estudió la información glaciológica desde setiembre de 2019 a octubre de 2020 equivalente a un año hidrológico, determinándose un balance de -1488.42 mm w.e. En la Tabla 6 es posible observar la fusión según rango altitudinal.

Tabla 6: Aporte en volumen del proceso de fusión glaciar en la zona de ablación.

Rango de altitud m s.n.m.	Área m ²	Balance por rango altitudinal mm w.e.	Volumen fusionado m ³
4700 – 5040	379 588.01	-1488.42	1 835 698.75

Balance por rango altitudinal en la zona de acumulación

Se estudió información glaciológica obtenida en la muestra de los pozos de acumulación, de la que se determinó la densidad en dichas perforaciones, mostrando un balance acumulado de 1524.61 mm w.e. En la tabla 7 es posible observar la fusión según rango altitudinal. (Figura 6)

Tabla 7: Aporte de nieve y volumen acumulado en la zona de acumulación.

Rango de altitud m s.n.m.	Área m ²	Balance por rango altitudinal mm w.e.	Volumen fusionado m ³
5040 – 5860	874 746.61	1524.61	1 008 048.39

El balance neto calculado en el periodo anual (septiembre de 2019 a octubre de 2020), es de 36.19 mm w.e. y todo este aporte de fusión se dirige hacia la vertiente del Pacífico.

El balance neto en el glaciar Huillca se muestra en la Tabla 8 y especificado por rango altitudinal.

Tabla 8: Balance estacional de masas en volumen y milímetros equivalente de agua.

Balance fusionado mm w.e.	Balance acumulado mm w.e.	Balance neto específico mm w.e. de agua
-1488.42	1524.61	36.19

**Balance de masa, Distribución porcentual del área por rango altitudinal
Huillca 2019 - 2020**

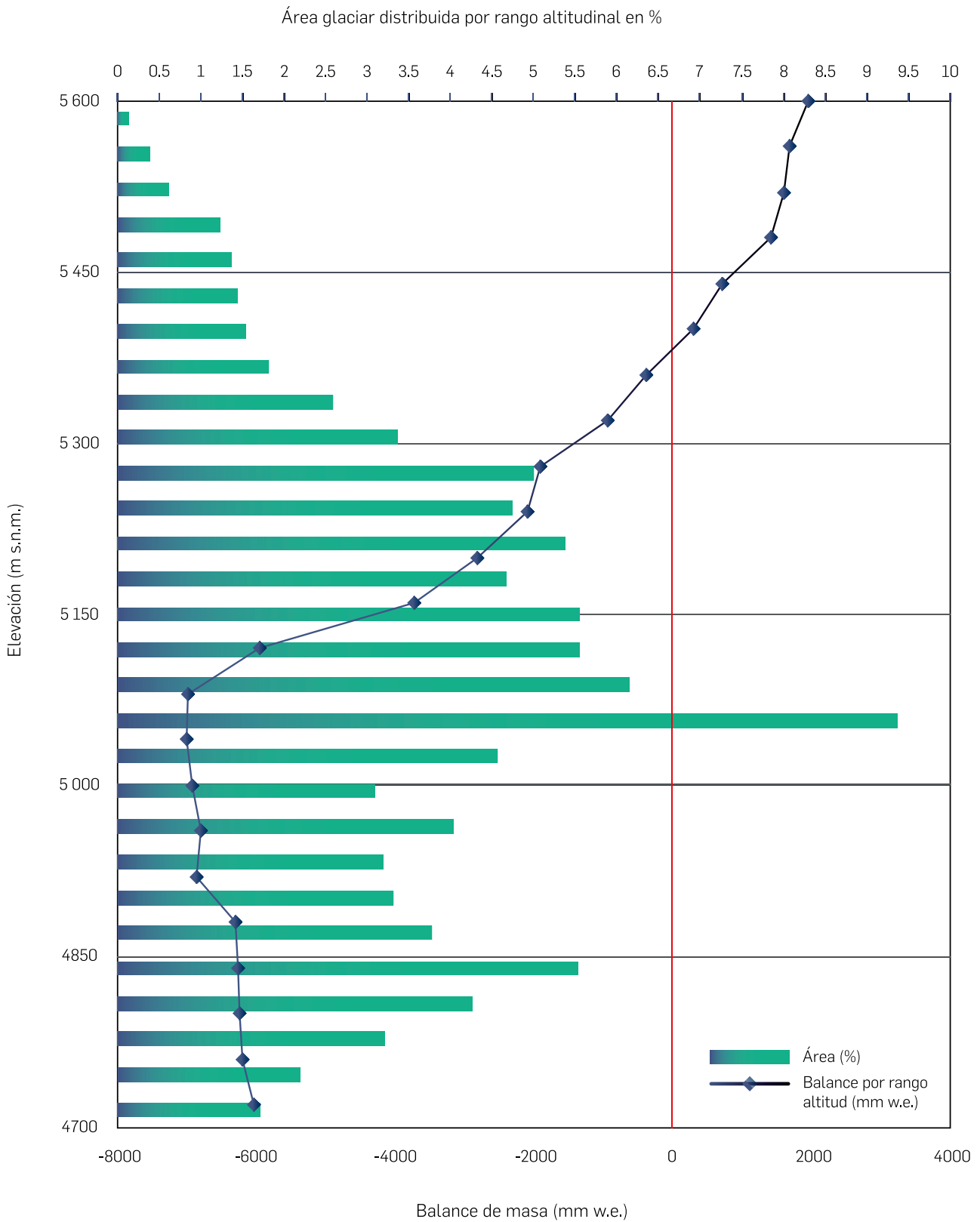


Figura 6: Distribución del balance de masa en milímetros equivalente de agua por rango altitudinal.

El balance neto específico del glaciar Huillca durante el periodo setiembre 2019 octubre 2020, es de 36.19 mm w.e., masa que después se dirigirá casi en su totalidad a la vertiente del Pacífico, discurriendo por la subcuenca de Quitaracsa hasta llegar a la cuenca del río Santa.

La Línea de Equilibrio Altitudinal (LEA), se encuentra ubicada sobre los 5265.6 m s.n.m., su área de ablación representa un 30.3% y la de acumulación representa un 69.7% de la superficie total de glaciar, lo que demuestra que la temporada de precipitación ha sido mayor, teniendo mayor acumulación de nieve que pérdida por fusión. Se obtuvo el mapa topográfico de planta, perfil longitudinal y la superficie de la lengua glaciar Huillca, a escala 1:2 000; el levantamiento topográfico cubrió una superficie de 1 254 334.62 m².

Investigaciones en la Cordillera Huaytapallana y la Cordillera Central

Para la cordillera Huaytapallana, (Junín) y la cordillera Central (Lima), se elaboró la cartografía básica, se hizo el análisis geomorfológico y el cartografiado geológico a escala semidetallada. Los resultados obtenidos confirmaron un acelerado retroceso glaciar en los últimos 58 años, donde la cordillera Huaytapallana registró una pérdida de superficie glaciar de 49.80 km² equivalente al 71.76%, mientras que la cordillera Central perdió 76.19 km² de superficie glaciar equivalente al 65.32%. El análisis de las condiciones físicas y climáticas en ambas cordilleras indica un alto nivel de vulnerabilidad en la subcuenca Shullcas y una fuerte degradación de ecosistemas con impactos negativos sobre los recursos hídricos en la subcuenca Río Blanco - Cordillera Central, localizada en la Provincia de Huancayo.

Cordillera Huaytapallana-subcuenca del río Shullcas

Cartografía base: La cordillera Huaytapallana se ubica al este de la cordillera Central, tiene una longitud aproximada de 27 km y políticamente abarca los departamentos de Junín y Huancavelica, se encuentra expuesta a una alta vulnerabilidad física⁴. En los últimos 58 años, la cordillera Huaytapallana ha registrado un retroceso glaciar de **49.80 km²** (71.76%), evidenciados por el primer registro realizado por la Unidad de Geología e Hidrología Huaraz – HIDRANDINA S.A. en 1988 con imágenes aéreas del año 1962/1970, donde obtuvieron un área de **69.40 km²**. En el 2009, en la actualización del inventario de glaciares desarrollada por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos del ANA (Autoridad Nacional del Agua)⁵, se obtuvo **26.40 km²**. Mediante el análisis de imágenes de satélite de 2016, INAIGEM registró una superficie de **21.42 km²**, y al 2020 con imágenes de satélite Sentinel-2, registró una superficie de **19.60 km²**. Se registraron además, 1956 lagunas.

Cartografiado geológico-geotécnico: En esta subcuenca predominan secuencias de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas, que conforman la secuencia metamórfica Marairazo-Huaytapallana, ubicada en la parte alta de la subcuenca, en parte cubierta por el nevado Huaytapallana. Además, existen secuencias de rocas sedimentarias y volcánicas de edades paleozoicas y mesozoicas que se distribuyen en toda la subcuenca. Se muestran los mapas geomorfológicos y geológicos de la subcuenca (Figura 7 y 8).

⁴ MINAM. (2010). *Mapa de vulnerabilidad física del Perú* - herramienta para la gestión del riego. Ministerio de Ambiente, 52 pp. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1851/doc1851-contenido.pdf>

⁵ ANA. (2014). Inventario de Glaciares del Perú (segunda actualización).

Earth Observing System. (2019). Índice normalizado de diferenciación de nieve (NDSI). <https://eos.com/ndsi/es/>

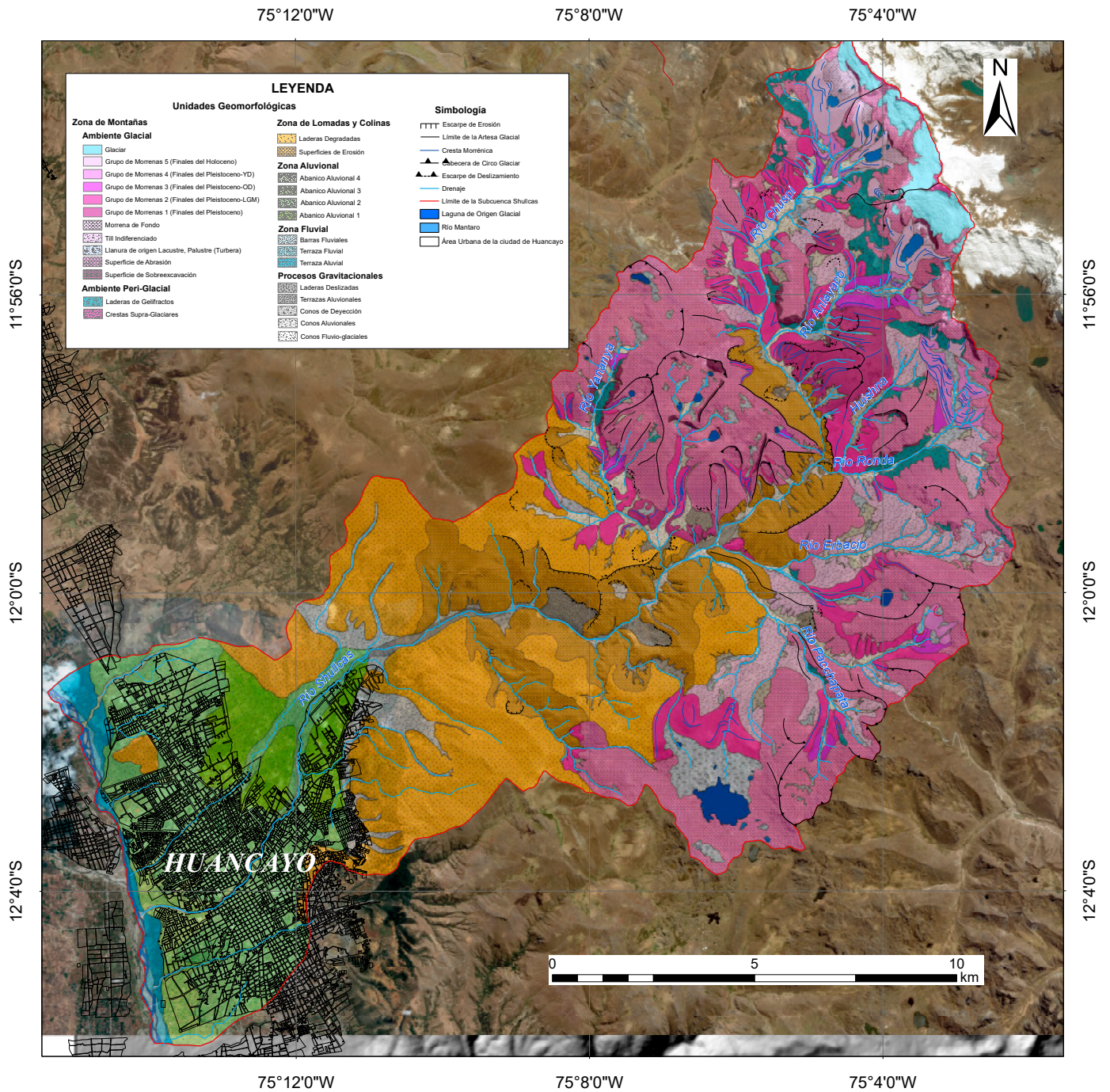
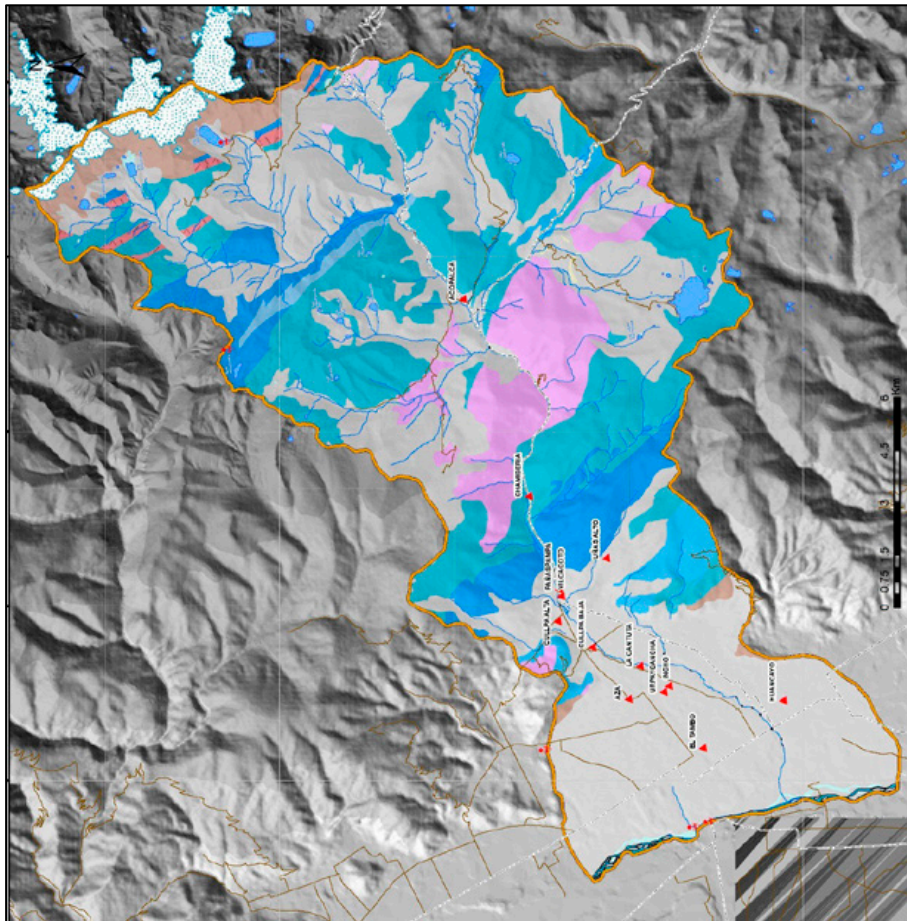


Figura 7: Mapa geomorfológico de la subcuenca Shullcas.

**CARTOGRAFIADO GEOLOGICO INGEMMET
1/100,000**



**CARTOGRAFIADO GEOLOGICO A DETALLE
1/25,000**

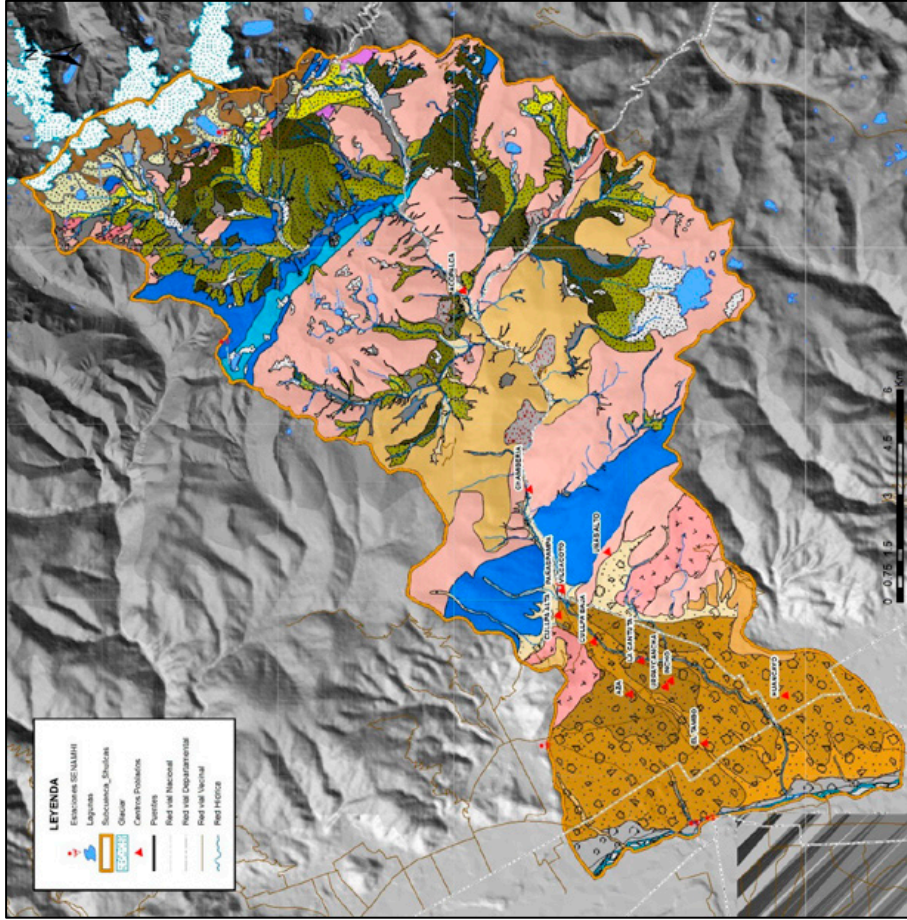


Figura 8: Mapa geológico de la subcuenca Shullcas.

Cordillera Central-subcuenca del río Blanco

Cartografía base:

Ubicada en la parte central del país, tiene un área de 11 574 km² y una longitud de 149 km. Políticamente se extiende en territorio del departamento de Lima, las provincias de Huarochirí y Yauyos, y del departamento de Junín, las provincias de Yauli, Jauja, Concepción y Chupaca.

La pérdida de masa glaciar está alterando los sistemas hidrológicos, afectando así al recurso agua en calidad y cantidad. El primer inventario de glaciares se realizó con fotografías aéreas del año 1962 (Unidad de Geología e Hidrología Huaraz, 1988) donde registró una superficie glaciar de **116.65 km²**. El 2009, la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la ANA actualizó el inventario de glaciares, registrando una superficie de **51.91 km²** (ANA, 2014). El INAIGEM, con imágenes satelitales del 2016, registró una superficie de **42.50 km²** (INAIGEM, 2018), y el 2020, en base a la imagen satelital Sentinel-2, registró un área de **40.46 km²**, indicando un retroceso glaciar de **76.19 km²** en los últimos 58 años.





RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES

RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES

Evaluación de Peligros en la Unidad Hidrográfica Ranrahirca, Cordillera Blanca

EL INAIGEM, a través de la Dirección de Investigación en Glaciares y la Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares (SDRAG), desarrolla investigación aplicada en torno a riesgos asociados a glaciares con la finalidad de identificar y entender los peligros existentes en cuencas de origen glaciar e identificar elementos expuestos como poblaciones y medios de vida vulnerables al impacto de un posible evento, para recomendar medidas de prevención y reducción del riesgo. En ese contexto, se ha llevado a cabo la evaluación de peligros por aluvión de la Unidad Hidrográfica Ranrahirca, distritos de Ranrahirca y Yungay, provincia de Yungay, departamento de Ancash, cuyo resultado permite conocer el potencial impacto de un flujo de detritos proveniente del nevado Huascarán hacia la parte baja de la subcuenca, identificando la huella de inundación y dentro de la misma, los elementos expuestos como población, viviendas y estructuras de importancia.

Para dicho estudio se consideró el volumen de la avalancha como único factor desencadenante, el cual fluye hasta la parte baja de la Unidad Hidrográfica (U.H.) Ranrahirca, de las zonas pobladas del Distrito de Ranrahirca y Distrito de Yungay. Para la determinación del volumen probable de avalancha generada en el pico norte del nevado Huascarán se identificaron cuatro bloques inestables (Figura 9). A continuación, fue necesario el cálculo del volumen glaciar y la estimación de masas potencialmente inestables del glaciar para cada uno de los bloques. Se consideraron cuatro escenarios, produciendo diferentes volúmenes de avalancha, que se comparan esquemáticamente (Figura 10).

Según la modelización del escenario crítico del flujo de avalancha y de detritos provenientes del nevado Huascarán, se calculó un área de inundación basada en el desprendimiento superior a 12 millones de m³.

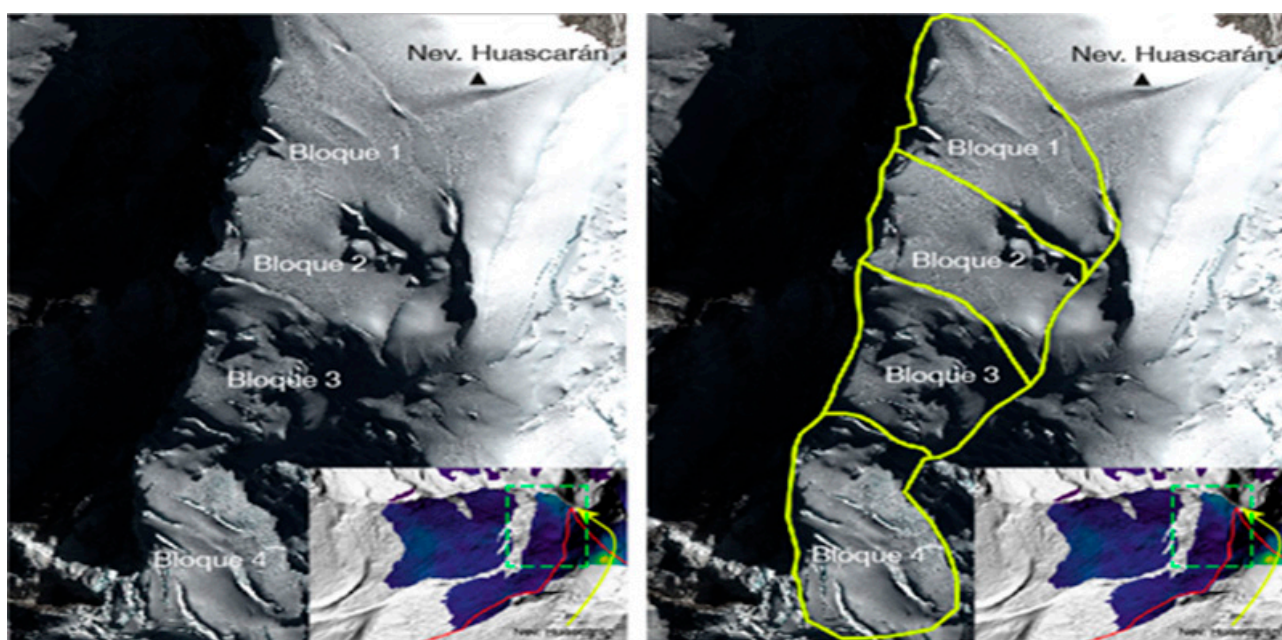


Figura 9. Bloques potencialmente inestables identificados en el Pico Norte del Nevado Huascarán

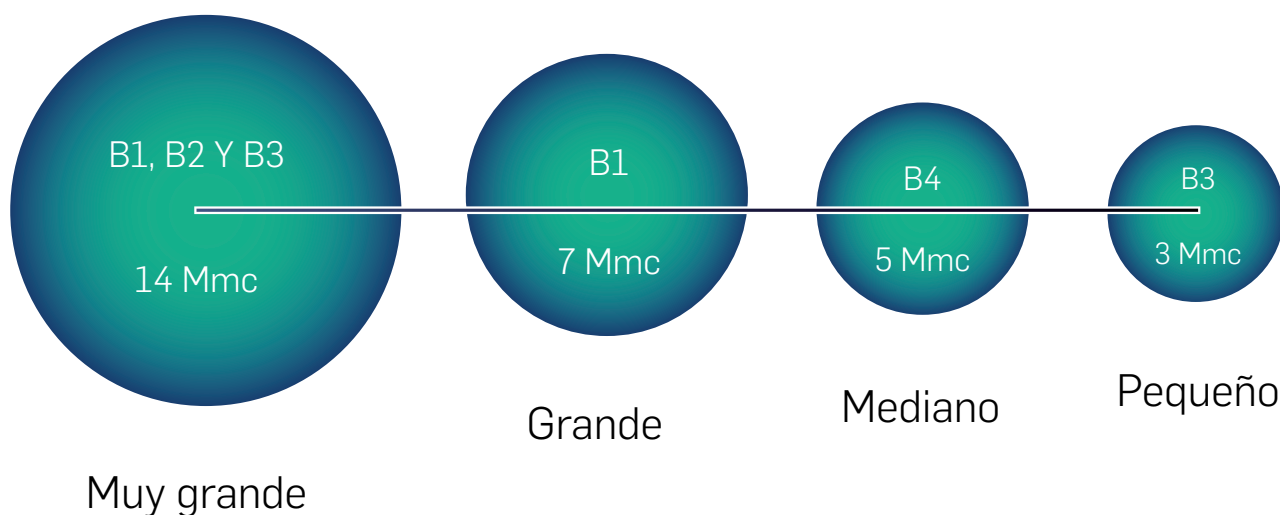


Figura 10. Comparación de volúmenes en diferentes escenarios de avalancha.

A partir de los volúmenes de los bloques potencialmente inestables se elaboró la formación de escenarios de desprendimiento provenientes del pico norte del nevado Huascarán, donde la altura del flujo de detritos fue determinada en base al modelamiento de avalanchas. La información requerida en el modelamiento del fenómeno físico incluyó la topografía de la llanura de inundación, el volumen de desprendimiento de la avalancha y el coeficiente de rugosidad de la superficie del terreno. Los resultados obtenidos son presentados en el mapa de altura de flujo del área de estudio (Figura 11).

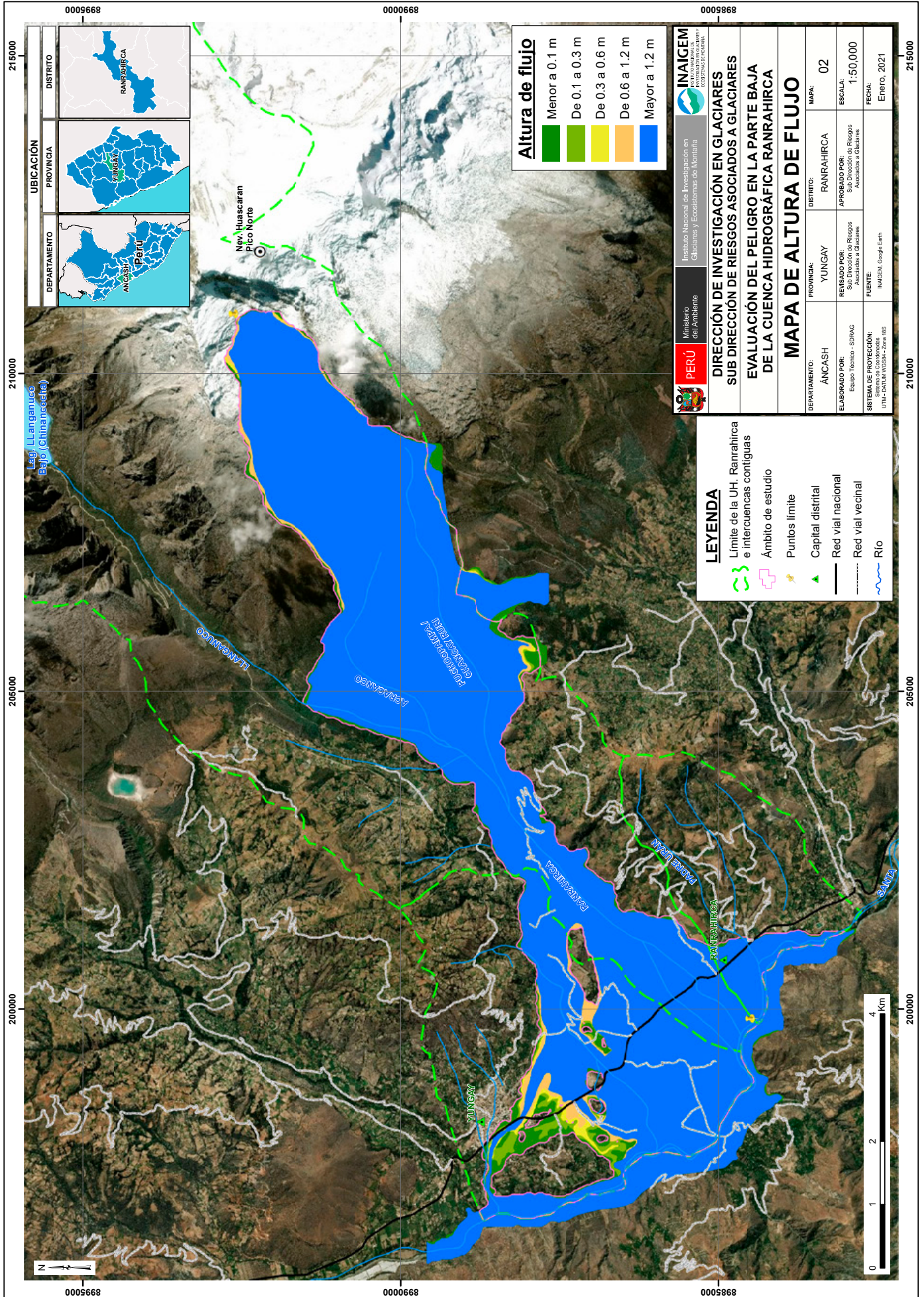


Figura 1.1. Mapa de altura de flujo en el área de estudio.

Los elementos expuestos de la U.H. Ranrahirca, dentro del área de influencia del aluvión pertenecen a la dimensión social, física, económica y ambiental. La población expuesta son 11 385 personas en su totalidad, que habitan en 2765 unidades familiares. Por otra parte, entre algunas de las 31 infraestructuras expuestas se encuentran 17 centros educativos y las plazas de armas de Yungay y Ranrahirca; además de estadios, puentes, vías de comunicación, canales de conducción de agua y una bocatoma (Figura 12).

El escenario de nivel de peligrosidad muy alto considera a las zonas cubiertas por un aluvión con altura de flujo mayor a 1.2 m, con geoforma agradacional de morrena (rocas acumuladas en un glaciar), pendientes mayores a 50%, presencia de depósitos glaciares, suelos de resistencia alta, y con avalanchas de hielo y roca mayores a 12 millones de m³.

El escenario de nivel de peligrosidad alto considera a las zonas cubiertas por un aluvión con altura de flujo entre 0.6 a 1.2 m, con geoforma agradacional de cauce y cono aluvional, pendientes entre 25% y 50%, presencia de depósitos aluvionales y/o fluviales, suelos de resistencia baja y avalanchas de hielo y roca mayores a 12 millones de m³, originadas desde el nevado Huascarán (pico norte).

En el mapa se visualiza los niveles de peligrosidad que tiene la zona de estudio, categorizados en muy alto, alto, medio y bajo (Figura 13).

El estudio de evaluación del peligro mostró la afectación total de la zona urbana de Ranrahirca y parte de la ciudad de Yungay. Por tanto, la ocurrencia de un evento de esta magnitud ocasionaría pérdidas catastróficas de vidas humanas y pérdidas materiales en el departamento de Áncash.



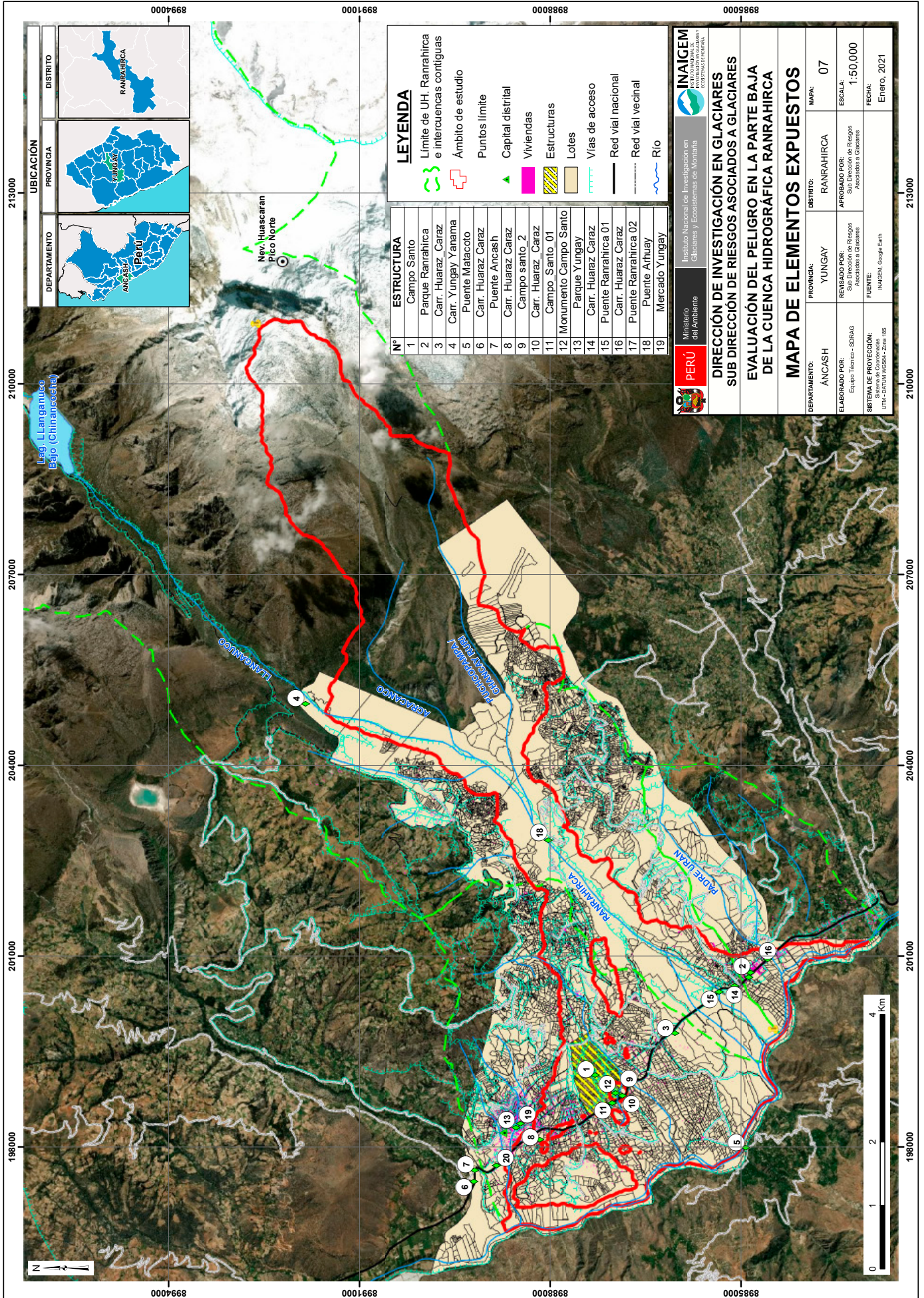


Figura 12. Mapa de elementos expuestos.

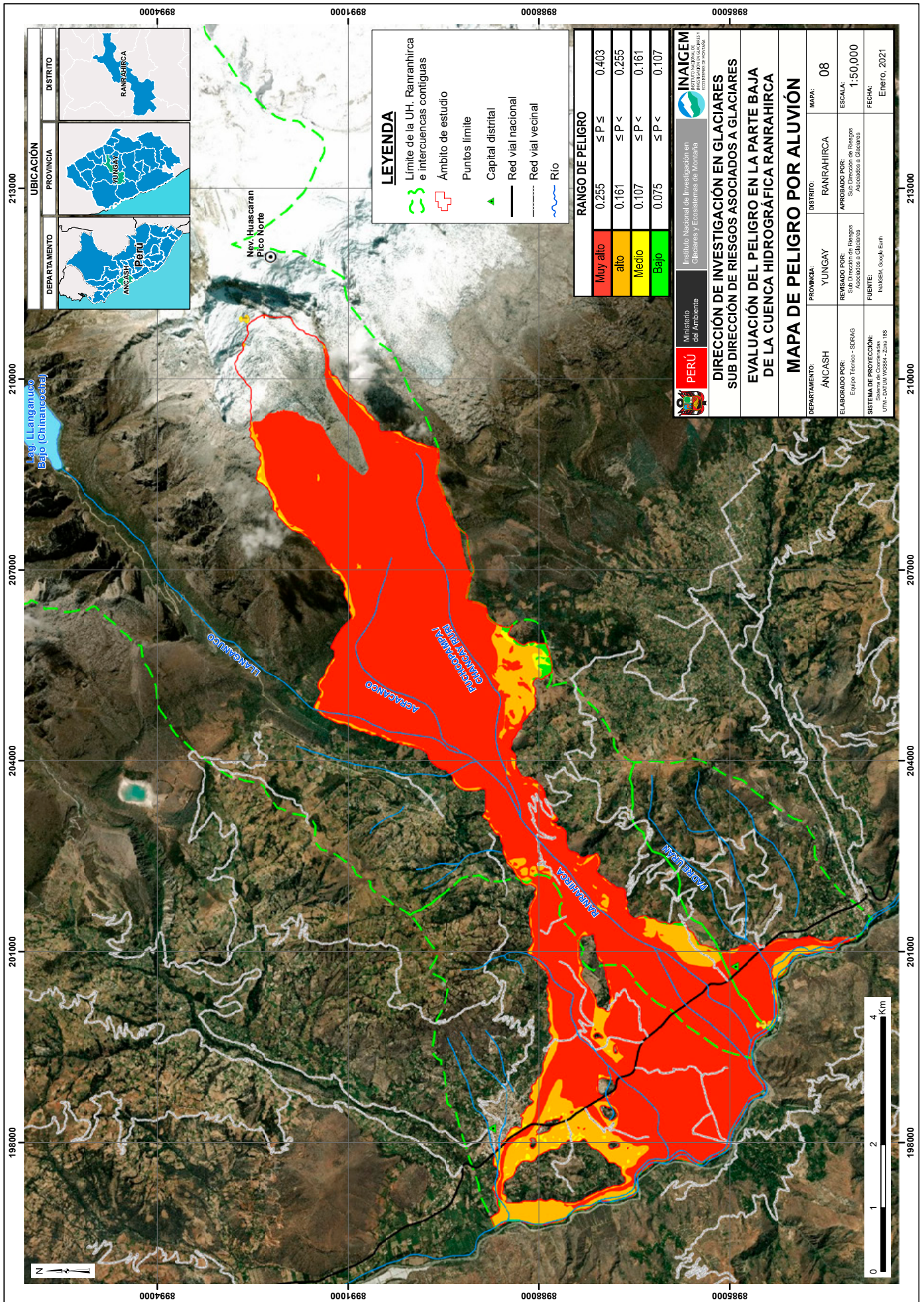


Figura 13. Mapa de niveles de peligrosidad.

Reconocimiento Geocronológico de la Unidad Hidrográfica Ranrahirca y Río Blanco (Sullcón)

Los alrededores de Yungay (Departamento de Áncash) fueron escenario de al menos dos grandes aluviones, i.e. (i) el aluvión de Yungay (año 1970) y (ii) el aluvión de Ranrahirca (año 1962). Tales aluviones tuvieron lugar después de movimientos sísmicos, produciendo un nuevo relieve en los alrededores. Para el estudio de esta región se empleó la técnica de estratigrafía, que consiste en el estudio de muestra verticales de terreno, que contienen diferentes estratos de rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas, realizándose el levantamiento de columnas estratigráficas y la descripción de los sedimentos y rocas que yacen sobre las localidades de Yungay y Ranrahirca, así como el reconocimiento geológico y geomorfológico a la subcuenca del río Blanco (Glaciar Sullcón) con fines geocronológicos.

Las investigaciones geocronológicas permiten realizar la reconstrucción geomorfológica y

paleoclimática de las cuencas en estudio, y de esta manera, identificar aluviones históricos y prever el comportamiento futuro de los peligros asociados a los glaciares.

La metodología aplicada es la inspección *in situ* y la generación de una base de datos donde se indica los resultados de los trabajos realizados; en ese sentido se tiene la etapa de campo, que comprende la ejecución de registros verticales de las rocas sedimentarias que se encuentran apiladas, y la etapa de post-campo que comprende el análisis de la información obtenida en campo, la forma de la sucesión estratigráfica hace un reflejo de la estratigrafía real, para luego realizar la representación gráfica y escalada de las columnas y finalmente poder interpretarlas: En total se elaboraron 8 columnas estratigráficas en la U.H. Ranrahirca, se colectaron 16 muestras en diferentes locaciones (Figura 14) para diferentes propósitos. Se distinguen en general dos tipos de colecta de muestras, tales como (i) colecta de clastos (fragmentos de rocas) y (ii) colecta de sedimentos.

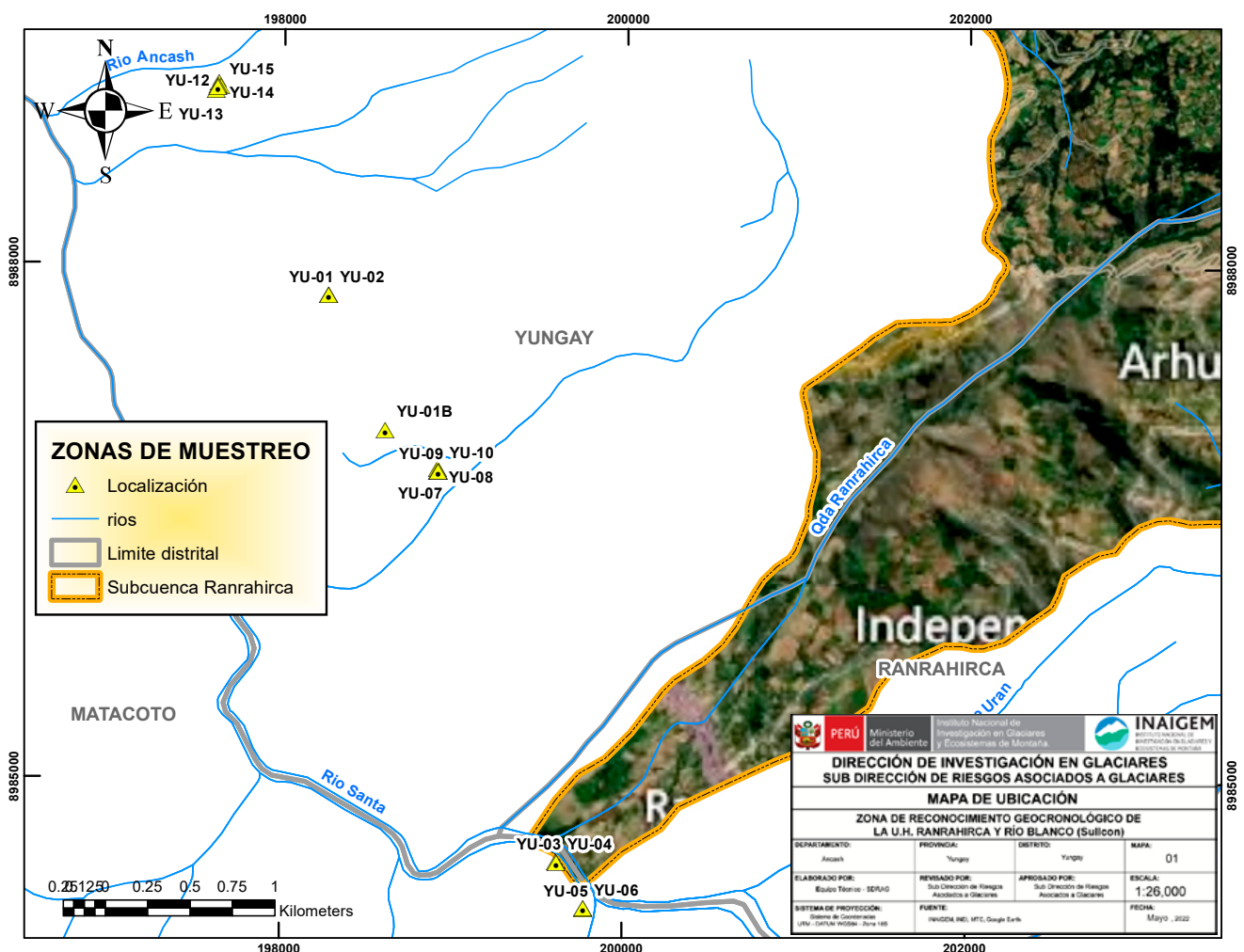


Figura 14. Mapa de localización de las muestras.

Información y monitoreo por movimientos en masas

Se realizó el monitoreo de movimientos en masa, en la zona de deslizamiento de la localidad de Rampac Grande (distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz y departamento de Áncash). Asimismo, se realizó la monumentación (colocación de hitos en el terreno) de un punto geodésico de orden "C", con GPS diferencial; con la finalidad de incrementar la precisión del control del deslizamiento.

Los resultados de la extensometría de la zona de deslizamiento de Rampac, no muestran variaciones peligrosas en ninguno de los sitios; no obstante, el perfil norte claramente muestra mayores movimientos respecto del otro, los cuales se dan en época húmeda (meses de noviembre a abril), visualizándose que en la zona norte los desplazamientos son ligeramente mayores que en la zona sur, no representando ello un indicador de que puedan suceder movimientos abruptos.

Se realizó el monitoreo de la laguna Palcacocha, en la subcuenca Quillcay (distrito de Independencia, provincia de Huaraz, Región Áncash), a partir de visitas técnicas *in situ*, y el análisis comparativo a partir del procesamiento fotogramétrico de vistas fotográficas del entorno de la laguna, lectura de niveles del espejo de agua, e identificación del estado de las obras de seguridad. En el monitoreo de la laguna Palcacocha, los cambios en los glaciares y las morrenas no son significativos macroscópicamente, sin embargo, pueden existir pequeños avances de desplazamiento en el glaciar, así como taludes, o acumulación de fragmentos de hielo o de roca. Se realizaron trabajos de campo en el Glaciar Peck II, pico norte del nevado Huascarán, para el control de puntos geodésicos con GPS diferencial, con la finalidad de medir y monitorear el desplazamiento de la masa glaciar cubierta.



Evaluación Preliminar del Estado Actual de las Estructuras Preventivas Existentes en Lagunas Glaciares la Unidad Hidrográfica Shullcas, Cordillera Huaytapallana, Junín

Se identificó que las lagunas Chuspicocha y Lazuntay se ubican al pie de los nevados Talves y Huaytapallana, hidrográficamente pertenecen a la subcuenca Shullcas, cordillera Huaytapallana. Estas corresponden a los depósitos glaciares, los cuales no presentan altos peligros de desplome, ya que son de baja potencia y habrían alcanzado su ángulo de reposo en cierta medida. No obstante, de presentarse un factor detonante (sismos o lluvias intensas), dicha condición podría cambiar.

Las obras de seguridad emplazadas en la laguna Chuspicocha están conformadas por un canal de ingreso que atraviesa mediante un conducto cubierto de concreto armado, una presa de tierra revestida; y un canal de salida regular (Figura 15).

No obstante, se requiere de un mantenimiento periódico que comprenda la limpieza del cauce de ingreso y salida a dichas estructuras.



Figura 15. Presa de seguridad y canal de salida de la laguna Chuspicocha

Las obras de seguridad emplazadas en la laguna Lazuntay, conformado por un canal de ingreso, de concreto, que atraviesa mediante un conducto cubierto de concreto armado una presa de tierra revestida de concreto, se encuentra en estado regular (Figura 16).

No obstante, se requiere la ejecución de resanes y pequeñas reparaciones de las estructuras, a fin de que dichos daños no progresen.

En relación al aspecto glaciológico y de modelamiento de avalancha, realizada bajo un escenario crítico de desprendimiento de masas glaciares, que impacten las lagunas de Chuspicocha y Lazuntay, el modelamiento del flujo de detritos por una hipotética rotura de los diques naturales de las lagunas; empleando el software de elevación digital Flo-2D, que indica que parte considerable de la ciudad de Huancayo sería inundada.



Figura 16. Presa de seguridad emplazada en la laguna Lazuntay, revestida de concreto, con canales de salida y estructura de rebose

Proyecto de tesis:

Determinación del Factor de Seguridad, debido a las propiedades físicas y mecánicas del suelo, en el dique morrénico de la Laguna Arhuaycocha, subcuenca Santa Cruz, distrito Santa Cruz, Huaylas, 2019.

La inestabilidad en los diques naturales y morrenas laterales de lagunas de origen glaciar en la Cordillera Blanca, han ocasionado varios eventos desafortunados a lo largo de la historia. Debido a ello, hoy en día es necesario que éstas sean evaluadas para prevenir eventos futuros, para determinar el factor de seguridad debido a las propiedades físicas y mecánicas del suelo en el dique morrénico de la laguna Arhuaycocha; laguna que en la actualidad es considerada como una laguna peligrosa. La investigación fue desarrollada mediante el método de equilibrio límite y usando un método de cálculo específico para el análisis de taludes, con ayuda de los algoritmos computacionales especializados. Con la finalidad de alimentar estos programas se obtuvo la topografía y se realizaron estudios de mecánica de suelos, para determinar la estabilidad de manera estática, y además se le sumó un factor de

aceleración sísmica para determinar la estabilidad de manera pseudo estática. Como resultado de esta metodología se obtuvieron factores de seguridad (f_s), números adimensionales: En el talud aguas abajo del dique, se encontraron f_s que van desde 1.56 a 2.28 para el análisis estático y 1.16 a 1.60 para el análisis pseudo estático; aguas arriba del dique lado norte, se encontraron f_s que van desde 1.11 a 1.37 para el análisis estático y 0.88 a 1.04 para el análisis pseudo estático; y finalmente aguas arriba del dique lado sur, se encontraron factores de seguridad que van desde 1.60 a 4.55 para el análisis estático y 1.20 a 2.63 para el análisis pseudo estático. En conclusión al comparar los resultados obtenidos con los valores mínimos de 1.5 para el análisis estático y 1.2 para el pseudo estático, se obtuvo que: El talud aguas abajo es estable, debido a que los factores de seguridad obtenidos para esta zona, superan los valores mínimos; el talud aguas arriba lado norte es ligeramente inestable (para que exista estabilidad en un talud o ladera, el factor de seguridad debe ser $f_s \geq 1.5$ en condiciones normales y ≥ 1.2 en condiciones sísmicas). Esto se debe a que, en esta zona, los factores de seguridad obtenidos son un tanto menores que los valores mínimos y por último el talud aguas arriba lado sur es estable ya que los factores de seguridad obtenidos, superan los valores mínimos.



EVALUACIÓN DE PELIGROS EN LA CORDILLERA APOLOBAMBA (REGIÓN PUNO)

EL INAIGEM, a través del área de investigación en glaciares, ha enfocado su interés en las regiones de Cusco y Puno. Las líneas de investigación que se desarrollan en esta área se vinculan a:

Generación de información para la gestión de riesgos asociados a glaciares (movimientos de masas) y lagunas de origen glaciar en el cambio climático.

Consistió en la búsqueda, clasificación y sistematización de información existente en relación al ámbito de la cordillera Apolobamba, cadena montañosa de los Andes peruanos y bolivianos, al norte del lago Titicaca, departamento de Puno.

Generación de información sobre la dinámica y reserva de agua disponible en los glaciares, con el acopio de información glaciológica en la cordillera Apolobamba y de información glaciológica en el glaciar Quelccaya, cordillera Vilcanota.

Se obtuvo insumos de gran valor para la investigación futura en el ámbito de la cordillera Apolobamba, tanto en relación a peligros de origen glaciar como en el análisis del retroceso de los glaciares. De este modo, el INAIGEM cuenta con información de alta resolución en relación a la evolución de la laguna Vizcachani, caracterizada como peligrosa y sujeta a monitoreo anual. La información generada será de utilidad para la Evaluación de Riesgos en la subcuenca Huari Huari. Por otro lado, se inició el registro fotogramétrico de alta resolución de los glaciares Caballune y Riti Urmasca, situados en las cuencas del Inambari y Titicaca respectivamente.

Se concretó la elaboración de una maqueta a escala de todo el ámbito del glaciar Quelccaya, la misma que servirá para la planificación futura de zonas de investigación y para los talleres de difusión con las comunidades aledañas.

En el ámbito del glaciar Quelccaya, se realizó el acondicionamiento y la adquisición de equipos y vestuario para el personal especialista que formará parte de la Expedición Científica Quelccaya, según el convenio suscrito con la universidad de Maine que tiene como finalidad la extracción de núcleos de hielo y la medición de espesor glaciar.

VI. PROYECTOS ESPECIALES DE INVESTIGACIÓN SOBRE GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR





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

PROYECTOS ESPECIALES DE INVESTIGACIÓN SOBRE GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

Busca mejorar las capacidades de las comunidades y los ecosistemas andinos del Perú, que afrontan la inseguridad hídrica generada por los cambios en los glaciares y el clima, se presenta el enfoque integral del proyecto que considera trabajos de investigación básica y aplicada, realizados en conjunto por profesionales del Reino Unido y Perú. El proyecto GROWS se desarrolla en 4 paquetes de trabajo (PT).

- PT 1 se estudian los “Sistemas socio ecológicos de los Andes”
- PT 2 el “Modelamiento de cambio en el clima y los glaciares”
- PT 3 el “Impacto de la dinámica glaciar sobre los recursos hídricos y servicios ecosistémicos”
- PT 4 la “Adaptación y mitigación bajo el futuro climático y políticas de implementación”.

Estos consisten en el levantamiento de información de base climática, cartográfica (instalación de puntos geodésicos), geofísica (medición de espesor de hielo, fotogrametría aérea y terrestre), glaciológica (instalación de balizas, señalizadores), hidrológica (aforo de caudales), social-económica y ecológica (monitoreo de macroinvertebrados).

Para ello, se realizó la instalación de equipos para la toma de datos meteorológicos en las zonas adyacentes a los glaciares de las unidades hidrográficas de intervención Llullán Parón (provincia de Huaylas), Quillcay (provincia de Huaraz) y Yanayacu (distrito de Catac) todos ubicados en el departamento de Áncash. Se desarrollaron talleres con las comunidades y autoridades de las unidades hidrográficas de intervención con el fin de levantar información social, ecología y económica.

Se ha realizado el modelamiento preliminar de demanda hídrica de la cuenca del río Santa, donde se identificaron 4 actividades principales que demandan la mayor cantidad de agua disponible, las cuales son: la agricultura de pan llevar y venta local, la agro exportación, la actividad piscícola y la actividad pecuaria y pastos.

Así mismo, se ha avanzado con el procesamiento de los datos obtenidos de fotogrametría aérea, terrestre y espesor de hielo (Figura 17) representa la obtención de un Modelo de Elevación Digital (DEM) de alta resolución y un ortomosaico del glaciar Gueshgue del año 2020 que permitirá estudiar a detalle la dinámica del frente glaciar y el crecimiento de su respectiva laguna.

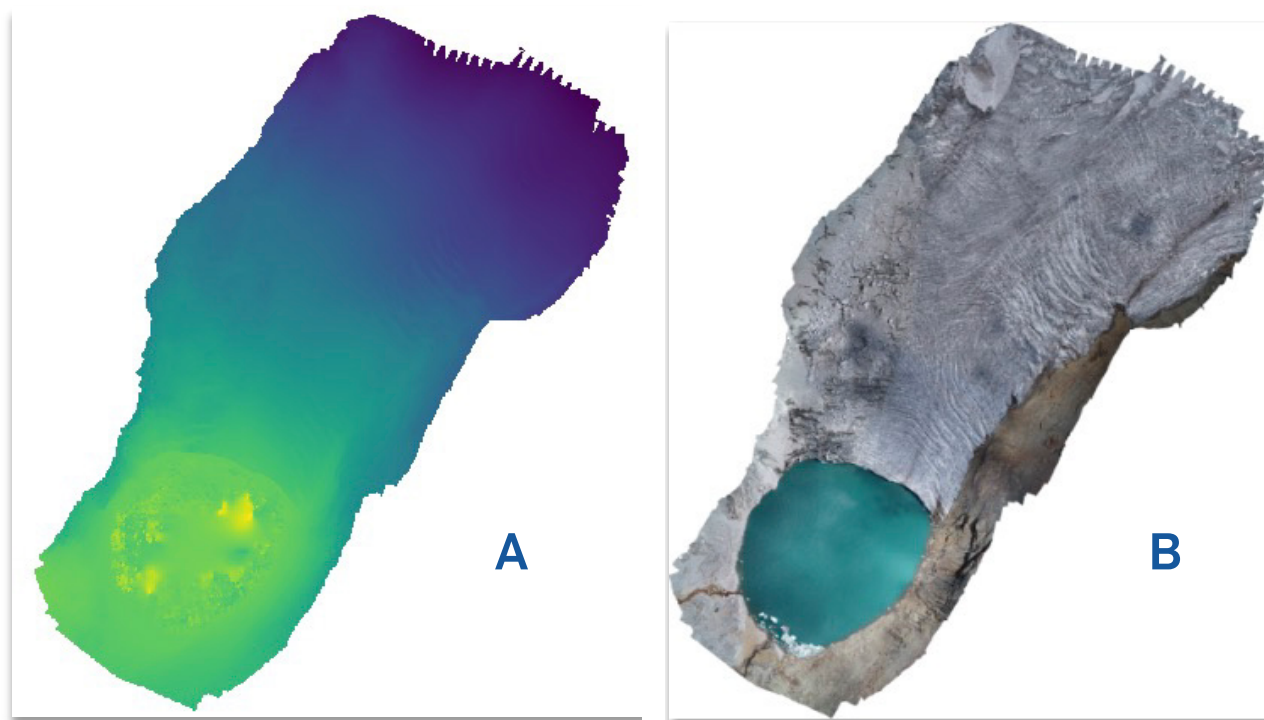
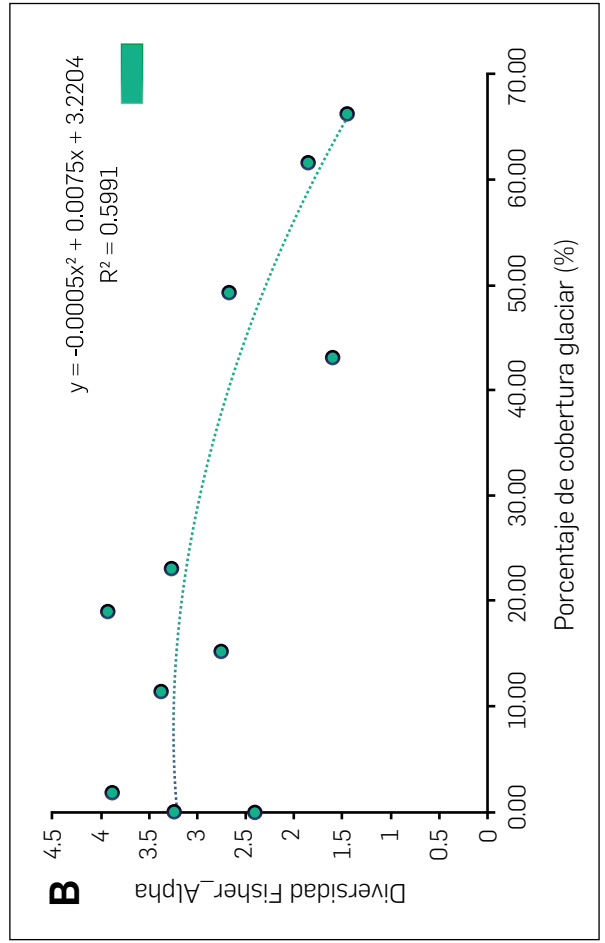
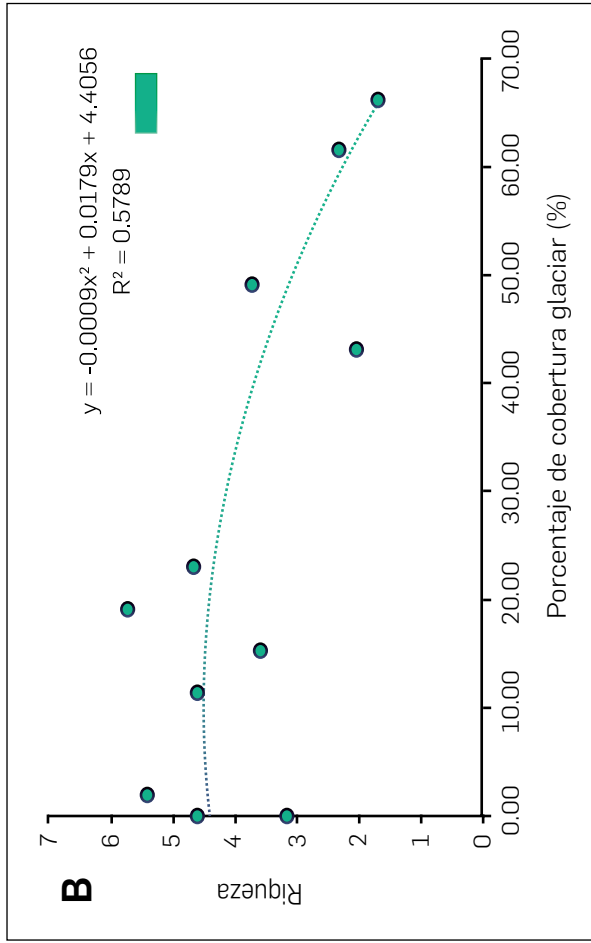


Figura 17. A) DEM de alta resolución y B) Ortomosaico, glaciar Gueshgue 2020.

Como resultado de la respuesta de los ecosistemas y la biodiversidad a la pérdida glaciar, en el monitoreo de los macroinvertebrados, se han analizado el nivel de correlación con la cobertura glaciar. Se observa la correlación de cobertura glaciar (gradiente glaciar) y los indicadores de biodiversidad, en los resultados se muestran que la riqueza y diversidad que se ajustan a un modelo polinómico con un grado de correlación de 0.82 y 0.77 en época de sequía y 0.57 y 0.59 en época húmeda (Figura 18). La riqueza es mayor en época de lluvia debido principalmente a la mayor heterogeneidad fisicoquímica de las corrientes por los aportes de la lluvia. Los resultados muestran que la heterogeneidad generada por la lluvia también afecta la correlación entre el glaciar y la biodiversidad, encontrando menor grado de correlación en la época húmeda.

HÚMEDA +



SECA +

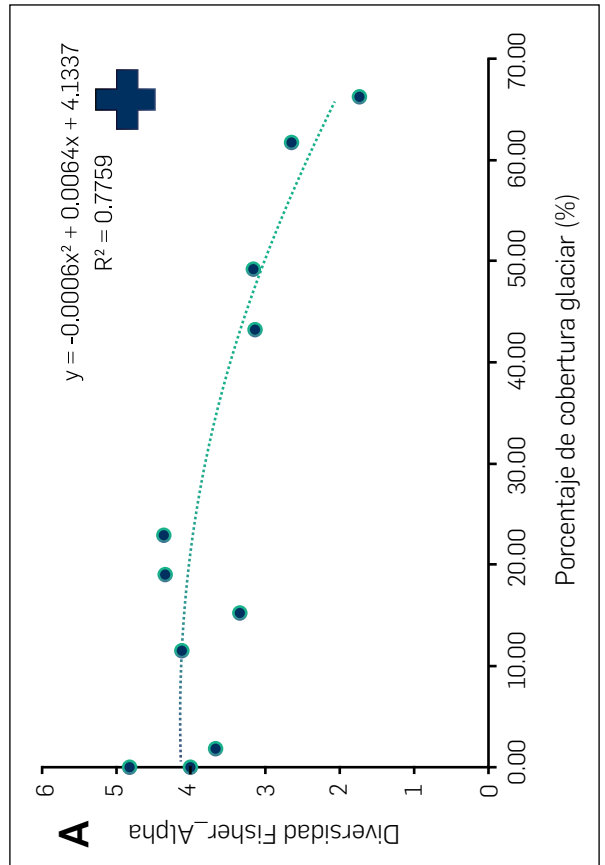
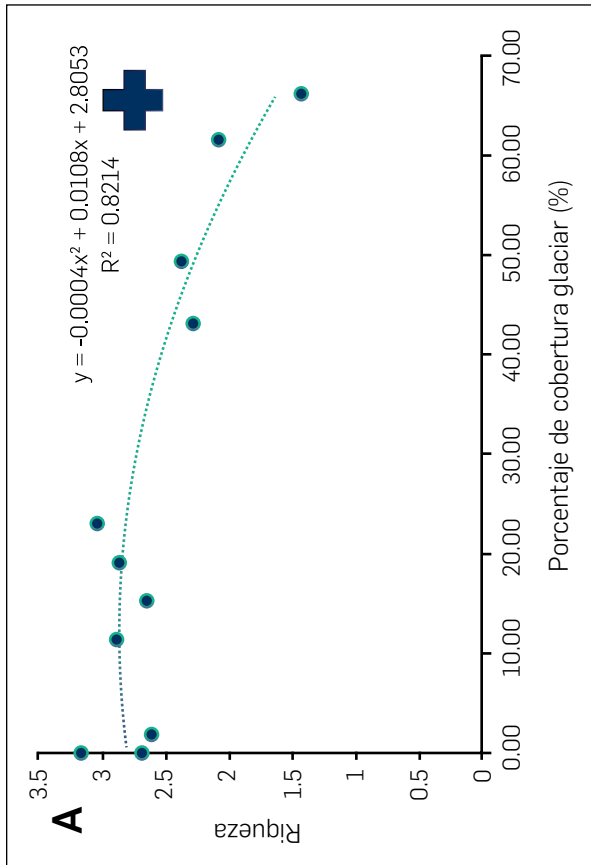


Figura 18. Grado de correlación entre los indicadores de biodiversidad y el porcentaje de cobertura glaciar (modelo de regresión polinómica).

Se ha realizado un diagnóstico actual del recurso hídrico en el Perú, donde se halló que existen dos factores que condicionan la distribución del agua en el Perú: los factores naturales y sociales, así mismo, ellos generan la inseguridad hídrica. Para ello, se ha elaborado el documento "Estrategias de adaptación a la escasez de agua en Perú". Se resume gráficamente la temática de dicho documento (Figura 19).



Figura 19. Resumen gráfico de las estrategias de adaptación a la escasez de agua en Perú.



PROYECTO PERMAFROST (EVALUACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE PERMAFROST A NIVEL COMO POTENCIAL DE RESERVA HÍDRICA)

El permafrost representa una reserva de agua potencialmente significativa, cuya contribución de agua dulce es probable que aumente en el futuro a medida que los glaciares desaparezcan o se retiren hacia las elevaciones superiores en respuesta al cambio climático en curso, significa una amenaza de incremento de emisiones de carbono en la atmósfera, en caso de futura degradación por el calentamiento global.

Para obtener información de conocimientos necesarios para la gestión de recursos hídricos del permafrost en un contexto de cambio climático, el proyecto realizó un mapeo de las formas de permafrost, sobre el cual se socializó el primer Inventario Nacional de Glaciares Rocosos, basado en imágenes satelitales de alta resolución, variables climáticas y modelos matemáticos. Los datos de temperatura, radiación solar y otras variables meteorológicas se obtuvieron usando estaciones meteorológicas de diferentes regiones del país tanto del SENAMHI, como de entidades privadas. Junto a ello, se diseñó una estación meteorológica (EM) con tecnología Arduino de bajo costo y para alta montaña, que puede medir variables como: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, precipitación y radiación solar. También, se está realizando el diseño de un dron (basado en Arduino) para la recopilación de información meteorológica en zonas de alta montaña donde las condiciones climáticas limitan el acceso.

En el glaciar rocoso San Félix (cordillera Chila, Arequipa) se instalaron registradores de datos a diferentes niveles del suelo para monitorear la temperatura de la capa superficial y sub-superficial del suelo para evaluar la posible presencia de permafrost. En el mismo lugar se instaló y se puso en operación el prototipo de EM, además, se instalaron mini data loggers MX 2303 para conocer el comportamiento térmico del suelo y su relación con la temperatura ambiental. Por otro lado, en la cordillera Blanca se instalaron sensores de temperatura en paredes de roca los cuales tuvieron los siguientes resultados:

- Se logró mapear las formas de permafrost en el Perú a través del uso de imágenes satelitales.
- Se logró validar y contrastar la información generada por el prototipo de estación meteorológica diseñado y basado en un software de libre acceso.
- Se obtuvo el modelamiento preliminar del permafrost a nivel nacional a una resolución de 90 m. Para su generación se utilizaron las variables de radiación solar, la altitud y el índice de vegetación normalizada (NDVI).

El modelo de permafrost de 90 m de resolución espacial estima las áreas de mayor probabilidad de presencia del permafrost. En la Figura 20 se muestra, como ejemplo del modelamiento, la probabilidad de la presencia de permafrost en la cordillera Blanca. La probabilidad del modelo oscila entre 0 y 1, donde los valores cercanos a 1 representan una mayor probabilidad de encontrar permafrost, por otro lado, las áreas con valores menores a 0.5 son considerados como zonas ausentes de permafrost. Estas teorías de detección de señales demuestran que el modelo es capaz de diferenciar entre zonas con presencia y ausencia de permafrost.

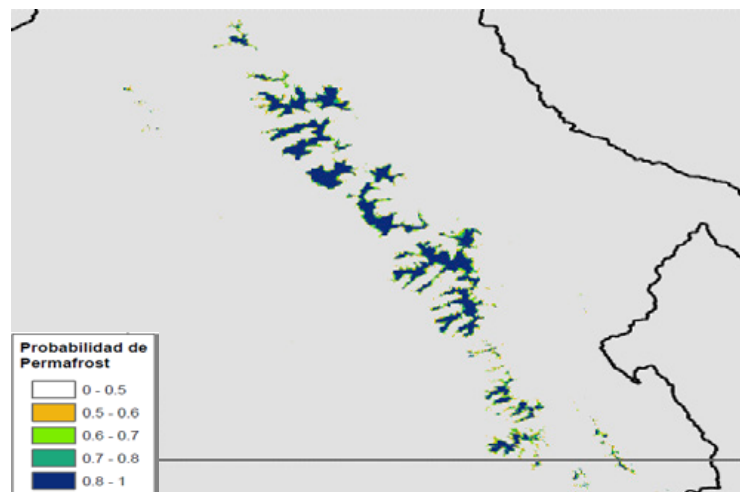


Figura 20. Mapa de distribución del permafrost (90 m) en la zona de la cordillera Blanca.

PROYECTO GLOP (LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR EN EL PERÚ: EVOLUCIÓN, PELIGROS E IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO)

Los glaciares en Perú están experimentando una rápida desglaciación en respuesta al cambio climático, lo que ha ayudado a producir numerosas lagunas de origen glaciar de gran volumen, muchas de las cuales son represadas por depósitos glaciáricos de inestabilidad potencial. Las inundaciones por desbordamiento de lagunas de origen glaciar (GLOF), representan un peligro significativo para las poblaciones y su infraestructura, consecuentemente, es necesario conocer el nivel del riesgo al cual están expuestas, en ese contexto, se detalla los avances desarrollados en los paquetes de trabajo considerados para el desarrollo del proyecto en el ámbito de las cordilleras peruanas tomando como áreas de estudio, tres subcuencas representativas de origen glaciar. En la actualidad, se tiene definida la subcuenca Río Blanco - Santa Cruz, como una de las áreas de estudio, localizado en la cuenca del río Santa, Cordillera Blanca, departamento de Ancash. Estos avances en la evaluación de peligros, modelamiento de flujos y evaluación de riesgos son:

- **Conocimiento de las regiones montañosas de origen glaciar del Perú donde se experimentan los mayores cambios climáticos (en función a la temperatura y precipitaciones), a partir de un conjunto de proyecciones sobre modelos climáticos numéricos, utilizando la última generación de modelos climáticos CMIP5, HELIX y proyecciones reducidas de CORDEX-Sudamérica, marco WCRP para evaluar el modelo climático regional.**
- **Obtención de un registro histórico de inundaciones por desborde de lagunas de origen glaciar (GLOF) en áreas de influencia glaciar en el Perú, a fin de conocer la ocurrencia y recurrencia de dichos eventos con validación en campo.**
- **Identificación, caracterización y clasificación de los procesos geodinámicos que rigen el comportamiento del GLOF en las tres cuencas representativas de origen glaciar en el Perú según los resultados de los WP1 y WP2.**
- **Obtención de la huella de inundación por GLOFs en las tres cuencas representativas de origen glaciar en el Perú mediante la aplicación de modelos numéricos de flujos para avalanchas, oleajes, rotura de brechas y aluviones.**
- **Estimación del riesgo y los daños que podría ocasionar un GLOF a las poblaciones y medios de vida a nivel de zonas focalizadas e infraestructura asentada aguas abajo, desde la perspectiva socio-económica.**

Dentro de los avances realizados se ha generado datos únicos en zonas de montaña a través del modelamiento climático (a más de 4600 m s.n.m.), a un nivel de procesamiento y escala espacio-temporal requerido para un sistema a micro-escala como es la laguna Palcacocha de la provincia de Huaraz Departamento de Ancash.

PROYECTO PANT_BIOGLACIAR (IMPACTO DEL ENSO EN EL RETROCESO GLACIAR EN LA CORDILLERA BLANCA Y LA ISLA REY JORGE - PENÍNSULA ANTÁRTICA)

El proyecto tiene como objetivo conocer el impacto social, económico y ambiental a consecuencia del retroceso glaciar sobre la biodiversidad marina y lacustre en la península Antártica como en los Andes. En este contexto, durante el año 2020, se ha desarrollado la tesis de maestría denominada "Impacto del ENSO (El Niño-Southern Oscillation) en el retroceso glaciar en la cordillera Blanca y la isla Rey Jorge (península Antártica)", la cual busca explicar los efectos que ocurren en los glaciares tropicales y los glaciares de la península antártica.

Se ha encontrado que mientras que un evento de El Niño puede presentar condiciones más frías, el siguiente evento de El Niño con la misma clasificación puede presentar condiciones más cálidas. En la quebrada Shallap en la Cordillera Blanca, se evidencia mayor pérdida glaciar durante eventos El Niño, siendo El Niño de 1997/98 el que registró la mayor pérdida glaciar. Se realizó la delimitación de la cobertura glaciar en la isla Rey Jorge, empleando la Clasificación GLIMS, plugin versión 6 para segmentar la isla en unidades de glaciares⁶. Debido a la incongruencia en algunas zonas, se procedió a corregir la clasificación GLIMS con base a curvas de nivel a (40 m), sombras y la orientación de la superficie en la isla Rey Jorge.

Se determinaron las características de los glaciares en esta zona. Para delimitar la cobertura glaciar en la quebrada Shallap, en la primera etapa se procedió a seleccionar la imagen más antigua.

Para el análisis ENSO, se analizó información de los índices de Niño Oceánico (ONI) y SOL, cada uno con su respectivo marco metodológico que establece los años de El Niño, La Niña y neutro. Se empleó la serie histórica mensual de los índices SOI y ONI desde enero de 1980 hasta diciembre del 2019.

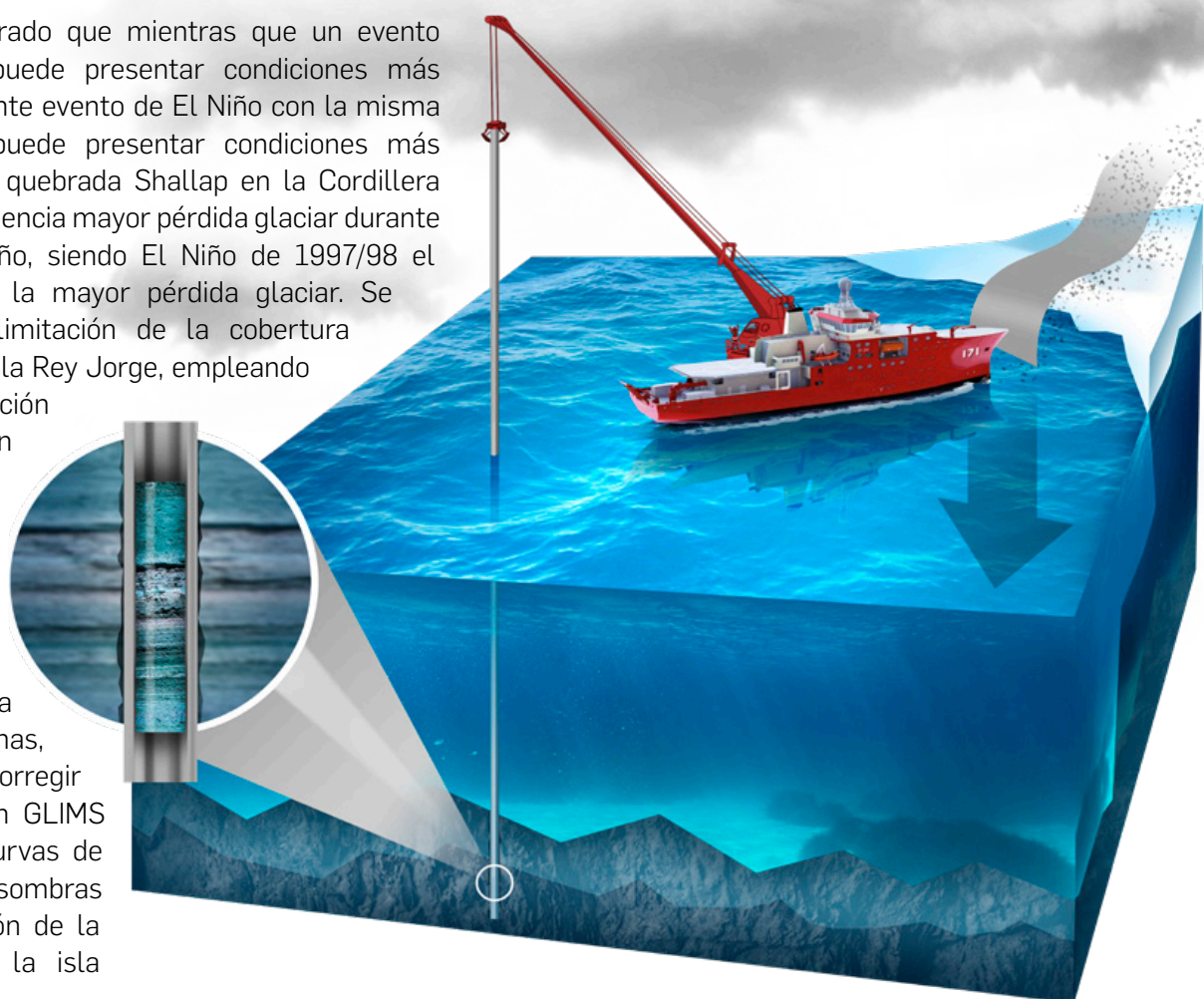


Ilustración: Joan Ramírez

⁶ RGI Consortium. (2017). Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0 GLIMS Technical Report RGI. Global Land Ice Measurements from Space. En R. Consortium., Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0 GLIMS Technical Report RGI. Global Land Ice Measurements from Space (pág. Digital Media 4(July): 71.). Colorado, USA.: RGI Consortium

CAMBIOS EN LA COBERTURA GLACIAR

Isla Rey Jorge

En el año 1989 la isla tenía una cobertura glaciar de 1098.42 km², distribuida entre los 73 glaciares acorde con la clasificación GLIMS v6. Para el 2020, la cobertura glaciar se ha reducido hasta 989.45 km², lo que representa una pérdida de 10% de cobertura glaciar en la isla Rey Jorge a una tasa de 3.5 km² por año⁻¹

Quebrada Shallap

En el año 1988 la quebrada Shallap tenía una cobertura glaciar de 16.26 km² en toda la zona de estudio. La cobertura glaciar se ha reducido a

10.53 km² al 2020, representando una pérdida de 35% de cobertura glaciar a una tasa de 0.12 km² por año⁻¹. Sin embargo, un análisis individual del glaciar Shallap demostró menores pérdidas. En los últimos 32 años, este glaciar perdió cobertura glaciar en un 17% a una tasa de 0.04 km² por año⁻¹. Esta disminución representa la mitad de la pérdida en todo el ámbito (una pérdida total de 35%) En el año 1988 en el área estudiada, había 16 glaciares (acorde a la clasificación GLIMS v2), mientras que en el año 2020 la cantidad de glaciares se redujo a 13, indicando una pérdida de tres glaciares (o sus áreas se redujeron a menos de 0.01 km²) en los últimos 32 años.



V. INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN EL PERÚ





Fotografía: Dickens Rondan

INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN EL PERÚ

RIESGOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Evaluación de tres especies de plantas nativas con potencial uso en la fitorremediación, asistidas con biochar

Durante el 2020 se concluyó la tesis de pregrado titulada "Evaluación de la capacidad fitoremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayhuanca, Áncash".

Esta tesis plantea como problemática central los impactos que genera el drenaje ácido de roca (DAR) en los ecosistemas de montaña y las fuentes de agua que utiliza la población local. El DAR se genera por la pérdida de masa glaciar, acelerada por el cambio climático, que expone rocas mineralizadas que luego de una serie de procesos químicos libera y acumula metales pesados en el agua y el suelo por donde discurre.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas (*Calamagrostis spp.*, *Paranephelius ovatus* y *Werneria nubigena*), asistidas con biochar, carbón vegetal obtenido por un proceso de pirolisis en suelos contaminados por DAR, como una alternativa de solución (Figura 21). Los principales resultados del trabajo fueron:

1. Las dosificaciones del biochar modificaron las características físico-químicas del suelo, generando que las plantas en estudio cambien su potencial fitorremediador de estabilizador a extractor o viceversa.
2. A partir de muestras de plantas colectadas en un área con impactos de DAR se encontró que las especies vegetales ***Calamagrostis spp.*** y ***Werneria nubigena*** tuvieron capacidad de acumular Al, Cu, Fe, Mn y Zn en los tejidos de la raíz. Mientras que la especie *Paranephelius ovatus* tuvo capacidad de

acumular efectivamente todos los metales analizados en sus partes aéreas (hojas y tallos) y radiculares.

3. *Calamagrostis spp.* presentó acumulación significativamente mayor de Cu y Al en su parte aérea, mientras que, *Paranephelius ovatus* y *Werneria nubigena* presentaron acumulaciones significativamente mayores de Mn, Fe, Zn y Cu en sus raíces.



Figura 21. Trabajo de la tesis de fitorremediación con especies andinas

A. Sitio de estudio impactado por DAR (quebrada de Cayesh-Microcuenca Quillcayhuanca).

B. Toma de muestra de suelo.

C. Fase experimental (especies de plantas en invernadero).

D. Medición del pH en el suelo en una muestra de *Paranephelius ovatus*.

Marco conceptual de evaluación integral de riesgos ante el cambio climático, incorporando los sistemas naturales y humanos

Durante el 2020 se tuvieron importantes avances en la generación de un “Marco conceptual de evaluación integral de riesgos ante el cambio climático, incorporando los sistemas naturales y humanos”. Esto forma parte de los esfuerzos de investigación del INAIGEM a través de la DIEM (Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña) para proponer al país mejorar las evaluaciones de riesgo, que actualmente sólo valora la exposición al riesgo de las personas y la infraestructura, incorporando también la evaluación de las potenciales afectaciones a los ecosistemas que contribuyen al mantenimiento de los medios de vida de la población local.

Los aspectos a destacar de este estudio son:

1. Se diseñó un diagrama (Figura 22) que refleja, integra y resume la propuesta conceptual, donde los desastres representan un continuo, producto de las condiciones particulares de la sociedad y su territorio.

2. Se realizó un resumen cronológico de la evolución conceptual alrededor del tema de riesgos, destacando los conceptos y enfoques, especialmente concernientes al cambio paradigmático de la atención de la gestión del riesgo de desastres. Esto incluyó las definiciones teóricas y prácticas de diferentes organizaciones e instituciones internacionales y nacionales.
3. A partir del marco teórico elaborado, se desarrollaron y propusieron una serie de parámetros e indicadores relacionados a los componentes del riesgo.
4. Finalmente, se propuso iniciar el diseño de un Sistema de Información Geográfico SIG, como plataforma para automatizar, relacionar y documentar el conjunto de componentes específicos, que permita a los usuarios finales, crear consultas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente la información geográfica referenciada asociada a la vulnerabilidad y riesgos de un territorio.

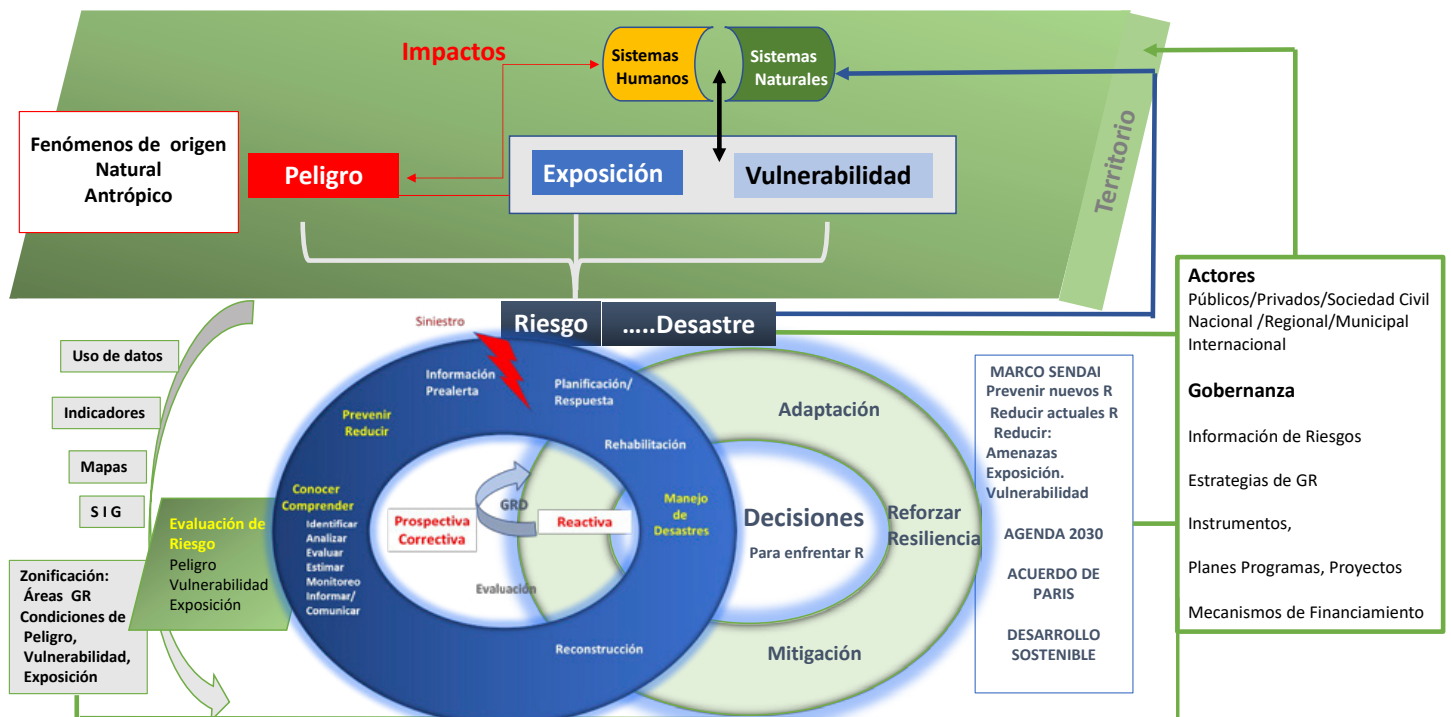


Figura 22. Diagrama del marco conceptual para la evaluación integral de vulnerabilidad y riesgos ante el cambio climático incorporando los sistemas naturales y humanos

Estimaciones de la Inversión Pública en Seguridad Hídrica

Durante el 2020 concluyó una tesis de maestría y se estimó la cantidad de inversión pública que se está utilizando para mejorar la seguridad hídrica en el ámbito de las montañas del Perú. Para ello se identificaron las inversiones en proyectos vinculados con el desarrollo de infraestructura natural y seguridad hídrica en el Programa Presupuestal 0068: "Reducción de la vulnerabilidad y atención por desastres" y el 144: "Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos", además de las intervenciones realizadas por las Unidades Ejecutoras del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego: Agro Rural y Fondo Sierra Azul.

Los proyectos incluidos fueron aquellos que incorporaban intervenciones con infraestructura natural como: forestación, zanjas de infiltración, protección y restauración de bosques andinos, protección y restauración de pastizales altoandinos, protección y restauración de humedales/bofedales, optimización de tecnologías ancestrales como amunas (recarga de acuíferos), y siembra/cosecha de agua: cochas (pequeños reservorios o lagunas)

Los principales resultados fueron:

1. Se identificaron y sistematizaron 56 proyectos de inversión pública, entre el año 2012 y mediados de 2020, por un monto aprobado de S. / 362 817 690.64, siendo los gobiernos regionales son los que más proyectos están ejecutando.
2. Se constató, a través de entrevistas a distintos actores (MEF, MINAM, MIDRAGRI), que existe la necesidad de monitorear estas intervenciones, no sólo en términos financieros, sino también los impactos reales de estas inversiones en la recarga y seguridad hídrica. Posteriormente el INAIGEM escogerá al menos un proyecto donde se puedan instalar equipos para evaluar y monitorear la magnitud de los impactos que se han generado en términos hídricos, y así contar con evidencias sobre los beneficios de estas intervenciones.



Caracterización de heladas meteorológicas en parcelas de investigación

El objetivo de este estudio ha sido caracterizar el comportamiento de las heladas meteorológicas en tres parcelas de investigación. Para ello se ha analizado las temperaturas mínimas de los años 2018, 2019 y 2020, registradas a intervalo horario por tres microestaciones meteorológicas WatchDog-Spectrum, ubicadas en el Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Ecosistemas de Montaña (CICTEM, Cátac), ubicado a 3852 m s.n.m.; en la quebrada Llaca (a 4279 m s.n.m.) y en el sector Tayacoto (a 3890 m s.n.m.), ambos en el distrito de Huaraz, en el departamento de Áncash.

Entre los resultados más resaltantes se tiene que, en las tres áreas de evaluación, la mayor frecuencia de heladas meteorológicas se da entre junio y setiembre, siendo julio el mes en el que se da este fenómeno con la mayor frecuencia e intensidad. El período libre de

heladas meteorológicas se ha duplicado para el año 2019 en comparación con el año 2018, esto para Llaca y el CICTEM, sin un incremento importante en el 2020. En el caso de Tayacoto también ha sufrido un pequeño incremento de 47 días sin heladas entre el 2018 y 2019 y de 4 días el 2020 (Figura 23).

Una característica importante en la evolución de la helada en Llaca y el CICTEM a partir del umbral superior 0°C evaluado para el año 2019, es que las tasas de variación media del descenso de temperatura son lentas, 0.64 ± 0.19 °C/h en Llaca y 0.86 ± 0.13 °C/h en el CICTEM. Se ha observado que luego de ocurrir la temperatura más baja, el aumento de temperatura es mucho más rápido en el CICTEM (2.98 ± 0.54 °C/h) que en Llaca (0.72 ± 0.22 °C/h). Esta situación puede deberse al distinto grado de exposición a la radiación solar y geomorfología de cada una de estas áreas para el mes de evaluación.

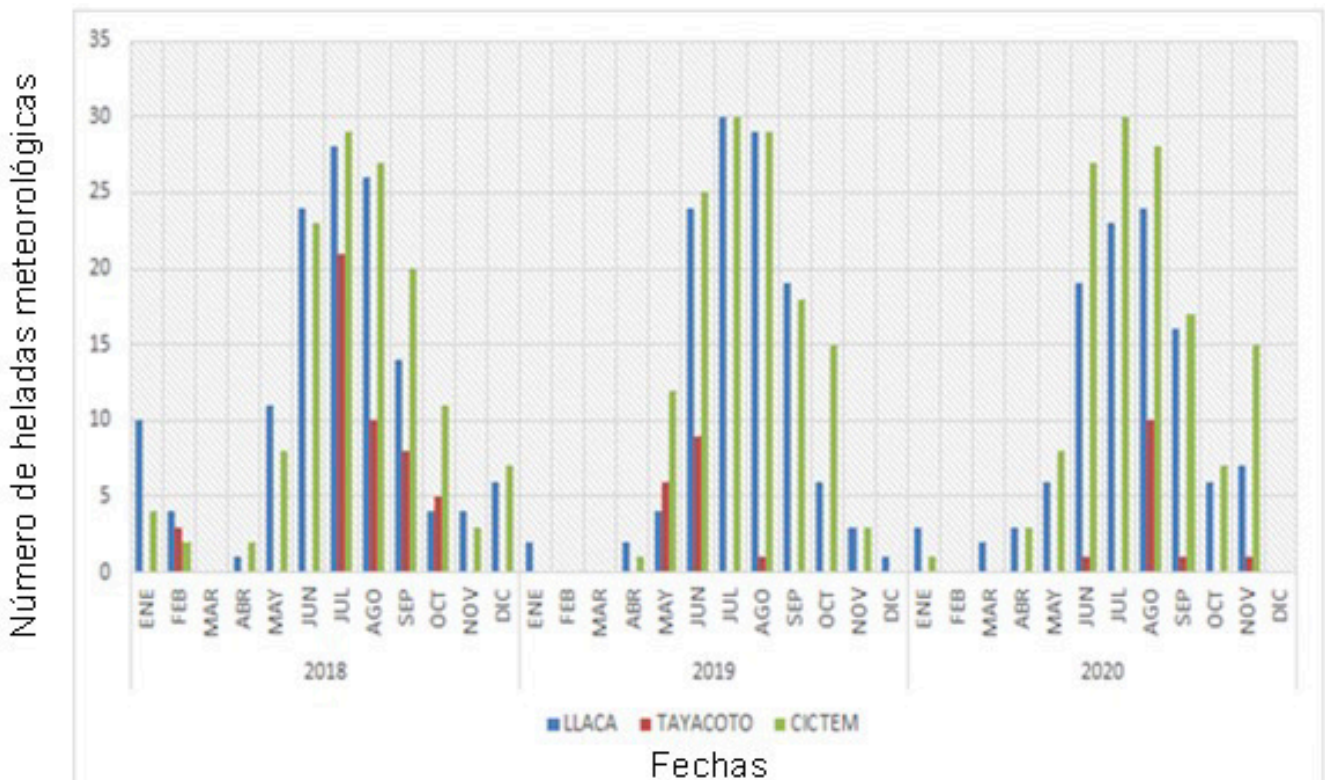


Figura 23. Número de días con heladas meteorológicas en los sitios de estudio

Análisis de la calidad del agua en cuencas con retroceso glaciar

En el año 2020, debido a las medidas de prevención contra el COVID-19, sólo se pudieron realizar evaluaciones de la calidad del agua durante la época seca. Se priorizaron en las unidades hidrográficas (U.H. Pachacoto y Pariac-Rajucolta y las microcuencas Shallap, Pucavado y río Negro) Huaraz- Ancash, en los que se tiene indicios de la presencia de drenaje ácido de roca (DAR). Las evaluaciones se realizaron en el río principal y varios afluentes, con un total de 38 puntos monitoreados, todos dentro del ámbito del Parque Nacional Huascarán. Algunos resultados importantes fueron los siguientes:

1. En la parte alta de la U.H. Pachacoto y de la U.H. Pariac-Rajucolta, se registraron incrementos de las concentraciones de aluminio, plomo y zinc, a diferencia de años anteriores que sólo se registraban altas concentraciones de manganeso.
2. En la microcuenca Shallap y Pucavado se han registrado varios puntos con pH muy bajos (aguas ácidas) y altas concentraciones de metales (manganeso, plomo y zinc) tanto en el río principal, como en algunos de sus afluentes.
3. Se realizó una evaluación hidrobiológica en muestras de perifiton y sedimento superficial de 30 puntos de monitoreo. Se identificaron un total de 123 taxones, dividida en 44 géneros de diatomeas. Los resultados indican que las diatomeas tienen un gran potencial de utilizarse como bioindicadores de calidad de agua (Figura 24).

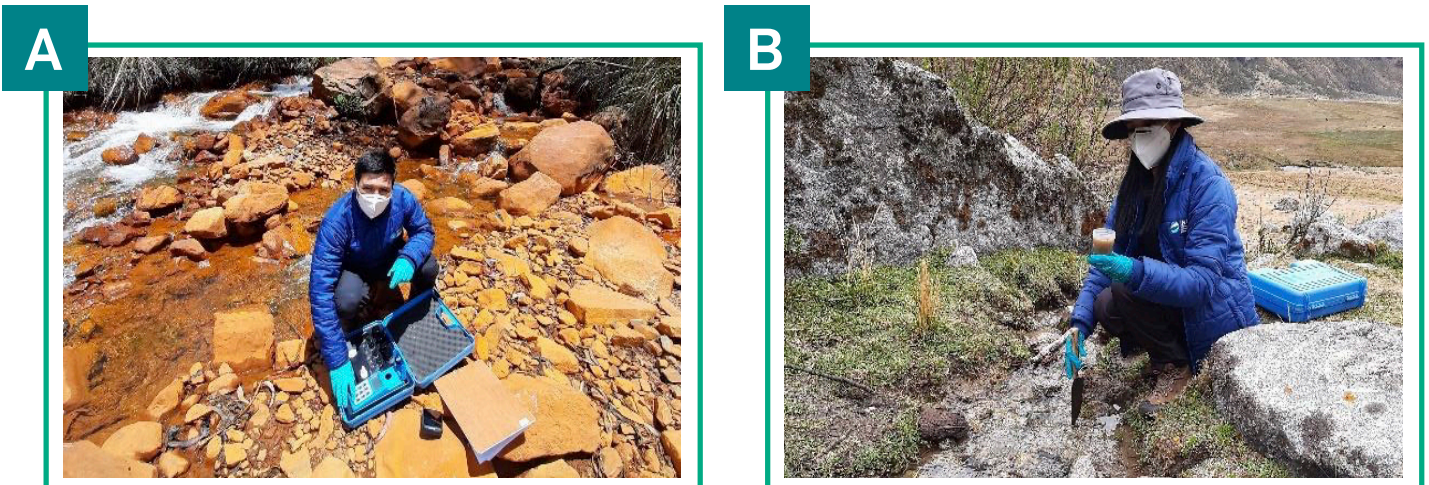


Figura 24: A. Medición de parámetros de campo. B. Toma de muestra de sedimento

EVALUACIÓN DE SOCIOECOSISTEMAS Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Evaluación de la comunidad líquénica epífita en tres bosques de queñual en el Parque Nacional Huascarán

Durante el 2020 se concluyó la tesis de pregrado titulada “Evaluación de la comunidad líquénica epífita en tres bosques dominados por árboles del género *Polylepis*, en el Parque Nacional Huascarán, Huaraz- Áncash, periodo 2019- 2020. El objetivo de esta investigación consiste en evaluar la comunidad líquénica epífita y los factores que condicionan su presencia, en tres bosques andinos dominados por el género *Polylepis*. Los tres bosques de queñual seleccionados fueron dos bosques naturales ubicados en la quebrada de Llaca, uno con alto grado de conservación, y otro con evidencias de degradación, y una plantación de queñual realizada en el portal de Quillcayhuanca. Todos los bosques se ubican dentro del Parque Nacional Huascarán.

Los principales resultados del trabajo fueron:

- La mayor diversidad de líquenes estuvo asociada a la plantación forestal de Quillcayhuanca, ubicado en Parque Nacional Huascarán- Cordillera Blanca, en Ancash Perú y no al bosque conservado (Llaca 1), como se esperaba (Figura 25a). Esto se debió a que se han encontrado 8 especies de líquenes creciendo exclusivamente asociados a árboles de eucalipto, que no son nativos de la zona y que sólo se encuentran en la plantación.
- Se encontró una correlación directa entre el pH de la corteza y la riqueza de comunidad líquénica que se establece en los bosques evaluados. A mayor pH, mayor riqueza. No se encontró ninguna relación entre las condiciones microclimáticas y la riqueza de la comunidad líquénica epífita en estos bosques.
- Se encontró un alto recambio de especies entre parcelas y bosques, lo que indicaría que es difícil establecer una comunidad líquénica “ideal” para la interpretación de las condiciones ecológicas del bosque, y que se requiere más información aún para definir bioindicadores (Figura 25b).
- En el bosque conservado (Llaca 1) se han encontrado especies de líquenes que la literatura destaca por su alta sensibilidad a las condiciones perturbadas. Esto nos permitiría proponer algunas especies como bioindicadoras de buenas condiciones en bosques de *Polylepis*.

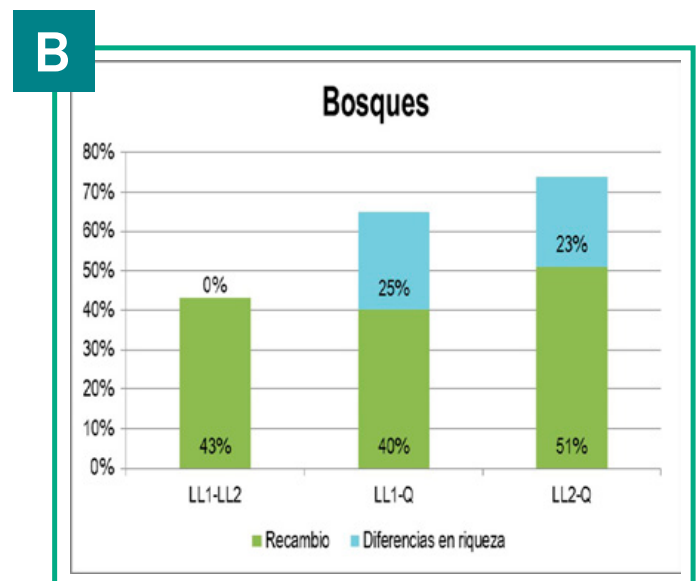
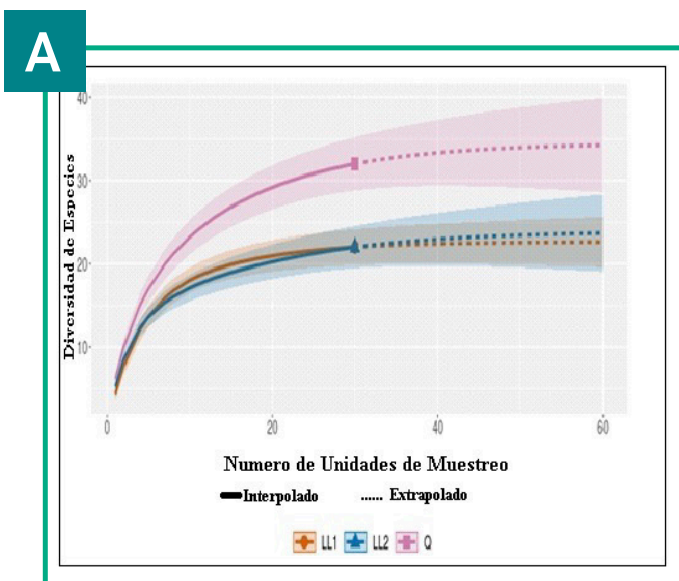


Figura 25 A) Curvas de rarefacción comparando la riqueza de especies entre bosques (a la izquierda), y B) Resultados de la diversidad-beta por pares de bosques (a la derecha). LL1= bosque conservado de Llaca, LL2= bosque degradado de Llaca y Q= plantación de Quillcayhuanca.

Evaluación de cultivos de cushuro y su inocuidad para uso alimentario

En octubre de 2020 se evaluaron diversas lagunas en el distrito de Cátac, como la laguna de Patococha, en Mesapampa y las pozas de cultivo de cushuro. En estas lagunas se realizaron mediciones *in situ*, la toma de muestras del agua y cushuro para el análisis del contenido de metales y la identificación taxonómica de cushuro y de diatomeas bentónicas asociadas. Dentro de las muestras para analizar se incluyeron cuatro muestras de cushuro de los mercados de la ciudad de Huaraz.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados (pH, oxígeno disuelto, conductividad, turbiedad, potencial óxido reducción y sólidos totales disueltos) mostraron resultados dentro de los límites establecidos para agua de buena calidad. Sin embargo, la cantidad de metales totales en tres de las muestras de cushuro, indicaron elevadas concentraciones de aluminio (Al), bario (Ba) y manganeso (Mn) (Tabla 9). Estos valores no se correlacionan con altos valores de metales disueltos en las aguas donde crecen, lo que indica que está ocurriendo un proceso de biomagnificación para estos 3 metales.

Los resultados de la identificación taxonómica de las muestras de las colonias de cushuro, mostraron que el cushuro evaluado pertenece a la especie *Nostoc* cf. *N. sphaericum*. No obstante, no se pudo identificar con total certeza debido a que no presentaba los aquinetos. La recomendación dada es que se corran pruebas de tipo molecular para la confirmación de la especie *N. sphaericum*.

Se realizó la identificación taxonómica de microalgas bentónicas (diatomeas), asociadas a las colonias de *Nostoc* sp. (cushuro) en cuatro muestras de sedimentos superficiales. Se obtuvieron un total de 69 morfoespecies distribuidas en 36 géneros de diatomeas. Así mismo, se observaron algunas especies con deformaciones teratológicas, no genéticas y restos de organismos silíceos, que muestran la influencia de metales pesados en el ambiente donde se desarrolla estos microorganismos. En síntesis, esta evaluación muestra que las lagunas y pozas de cultivos están dentro de los parámetros normales de calidad de aguas para cultivos hidrobiológicos, recreación y conservación, sin embargo, existe una biomagnificación de los metales Al, Ba y Mn en algunas muestras, lo que indica que se necesita prestar mayor atención para determinar la inocuidad de este recurso hidrobiológico.

Tabla 9. Valores de algunos metales totales en muestras de Cushuro de la Cordillera Blanca, Áncash (2020)- Las concentraciones más elevadas se muestran en color rojo.

Metal	LDM mg/kg	PACH-CUSH-L01	PACH-CUSH-L04	MES-CUSH-P6
Al	0.05	3.113	4.845	14.19
Ba	0.015	2.18	15.62	3.04
Mn	0.05	41.12	38.25	2.52

Nota: Dentro del código: L = muestras en lagunas, P = pozas de cultivo

Estudio de la variación estacional del contenido de agua en el suelo entre un ecosistema pajonal y zonas intervenidas con plantación de pinos

Este estudio tiene como objetivo comparar las variaciones estacionales del almacenamiento de agua en el suelo, así como su dinámica para comprender las complejas interacciones entre la cobertura vegetal y las propiedades físicas del suelo como una respuesta en las funciones ecosistémicas que desarrollan, especialmente de provisión y regulación hídrica. En el sector Tayacoto, de la comunidad campesina de Cahui de Huaraz, se tienen dos años de registros de datos hidrológicos comparando dos usos de

suelo: plantación de pino versus el pajonal. Se ha podido observar que la variación temporal de los componentes del balance hídrico ha tenido las mismas tendencias en los periodos 2018-2019 y 2019-2020. Es decir, el almacenamiento de agua en el suelo, así como la formación de agua gravitacional, ha sido mayor en el pajonal que en la plantación en ambos periodos de tiempo (Figura 26). Esto nos permite concluir que, en esta área de estudio, el reemplazo de un pajonal por una cubierta distinta estaría produciendo cambios importantes en los aportes de agua que llegan al suelo y en la cantidad de agua involucrada en la evapotranspiración y percolación.

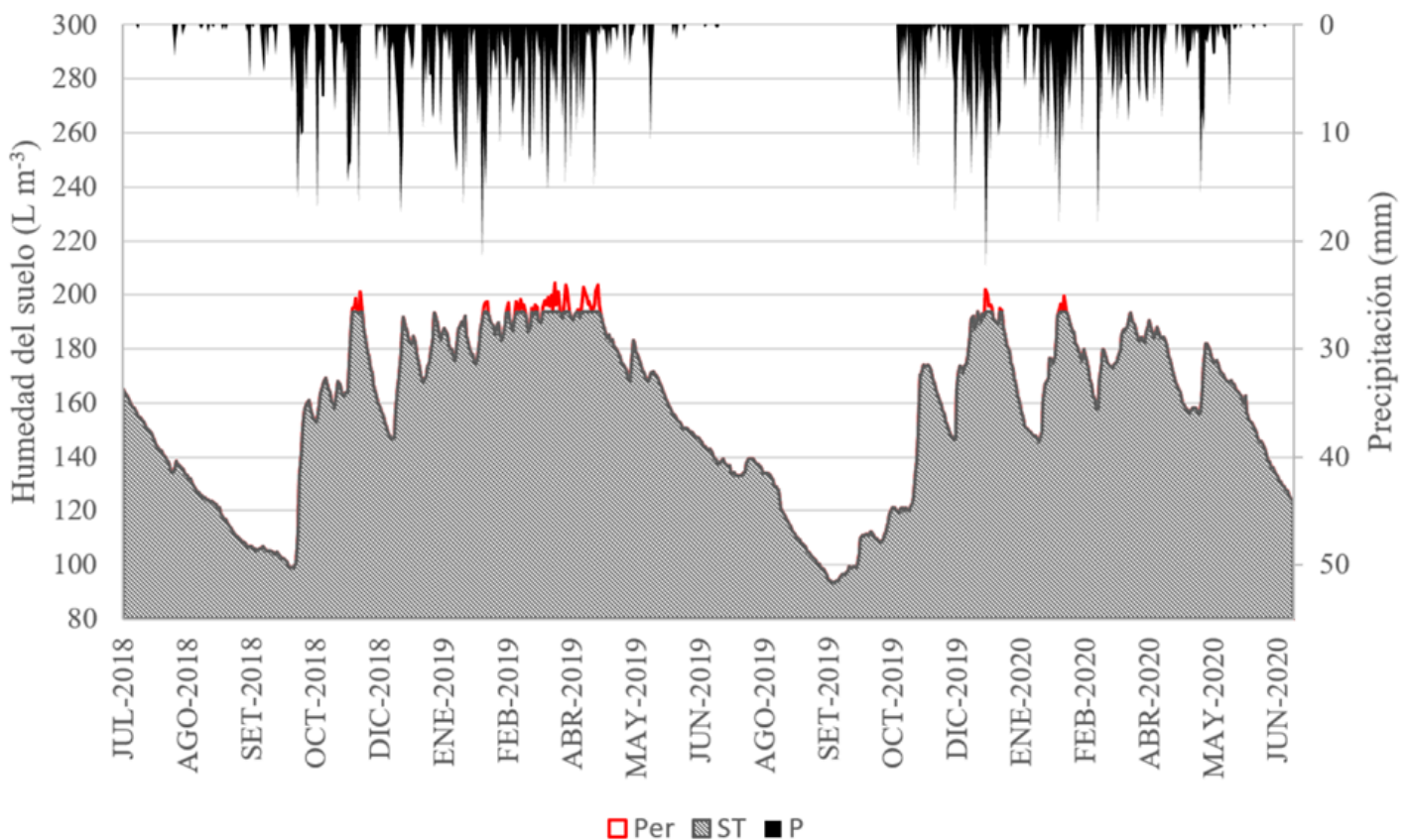


Figura 26. Variación de la percolación (Per) y almacenamiento (ST) del agua en el pajonal – sector Tayacoto.

Integración de políticas de pago por servicios ecosistémicos en la cuenca alta del río Santa, Perú, frente al metabolismo social hídrico: caso de la subcuenca Quillcay

Durante el 2020 se concluyó la tesis de maestría titulada "Integración de políticas de pago por servicios ecosistémicos en la cuenca alta del río Santa, Ancash- Perú, frente al metabolismo social hídrico: caso de la subcuenca Quillcay".

Se usó como marco de análisis a las políticas públicas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), (en particular los servicios hídricos), conocida en Perú como Mecanismos de Retribución de Servicios Ecosistémicos (MRSE). Para ello, se caracterizó la cuenca hidrográfica como una unidad socioecológica del metabolismo hídrico, para luego explorar los procesos de gobernabilidad y políticas públicas para la seguridad hídrica, e implementación de mecanismos de pagos por servicios ecosistémicos.

El ámbito donde se concentró la investigación fue la subcuenca del río Quillcay, en la cuenca alta del río Santa, y su objetivo general fue: "analizar la convergencia entre la integración de políticas de pago por servicios ecosistémicos con el metabolismo social hídrico de la cuenca alta del Santa".

Los principales hallazgos de esta investigación fueron:

- En la dimensión ecológica, los factores que facilitan la adopción de estos esquemas (PSA) están relacionados con un aumento acelerado de las áreas degradadas en el país.
- La dimensión social genera una mayor presión en los sistemas ecológicos, debido a una baja voluntad política para fomentar mayor inversión pública en conservación y protección de los ecosistemas, por procesos burocratizados que propician la ineficacia para implementar los mismos instrumentos de política que se diseñan.
- Normativas como los MRSE hídricos podrían generar más cuellos de botella en la implementación de estos esquemas si se asume al territorio nacional como homogéneo, y no se reconoce activamente la existencia de una gran variedad de dinámicas socioculturales presentes en cada territorio.
- A nivel ecológico, la evidencia científica sobre los resultados de estas intervenciones en los ecosistemas implementados bajo los esquemas de PSA, son todavía inciertos.



Caracterización estructural y funcional en bosques de queñual, Parque Nacional Huascarán

El proyecto trabaja en tres bosques de queñual (*Polylepis spp.*) que representan tres historias de uso de suelo diferentes. Son dos bosques naturales ubicados en la quebrada de Llaca, uno mejor conservado y otro más fragmentado y degradado, y además trabajamos en una plantación forestal, realizada en 1985, ubicada en la quebrada de Quillcayhuanca, con *Polylepis albicans* y algunos eucaliptos. Los tres bosques se encuentran ubicados en el distrito de Independencia de la provincia de Huaraz dentro del Parque Nacional Huascarán, Áncash.

Con este proyecto se busca comparar las características estructurales y funcionales, a nivel

ecosistémico, de los tres bosques seleccionados, para conocer mejor el funcionamiento de estos ecosistemas e identificar algunos indicadores de su condición ecológica. Asimismo, se busca generar más información sobre los patrones fenológicos, relación entre los factores climáticos y los ciclos de los seres vivos, así como la propagación natural de las especies *Polylepis weberbaueri* y *P. albicans*. A la fecha, se han establecido tres parcelas por bosque, para la evaluación de diferentes características estructurales y funcionales, y se ha iniciado con la evaluación de producción y descomposición de hojarasca. Además, se han elegido 36 árboles a los que se les dará seguimiento mensual para conocer la fenología de las dos especies de *Polylepis* (Figura 27).

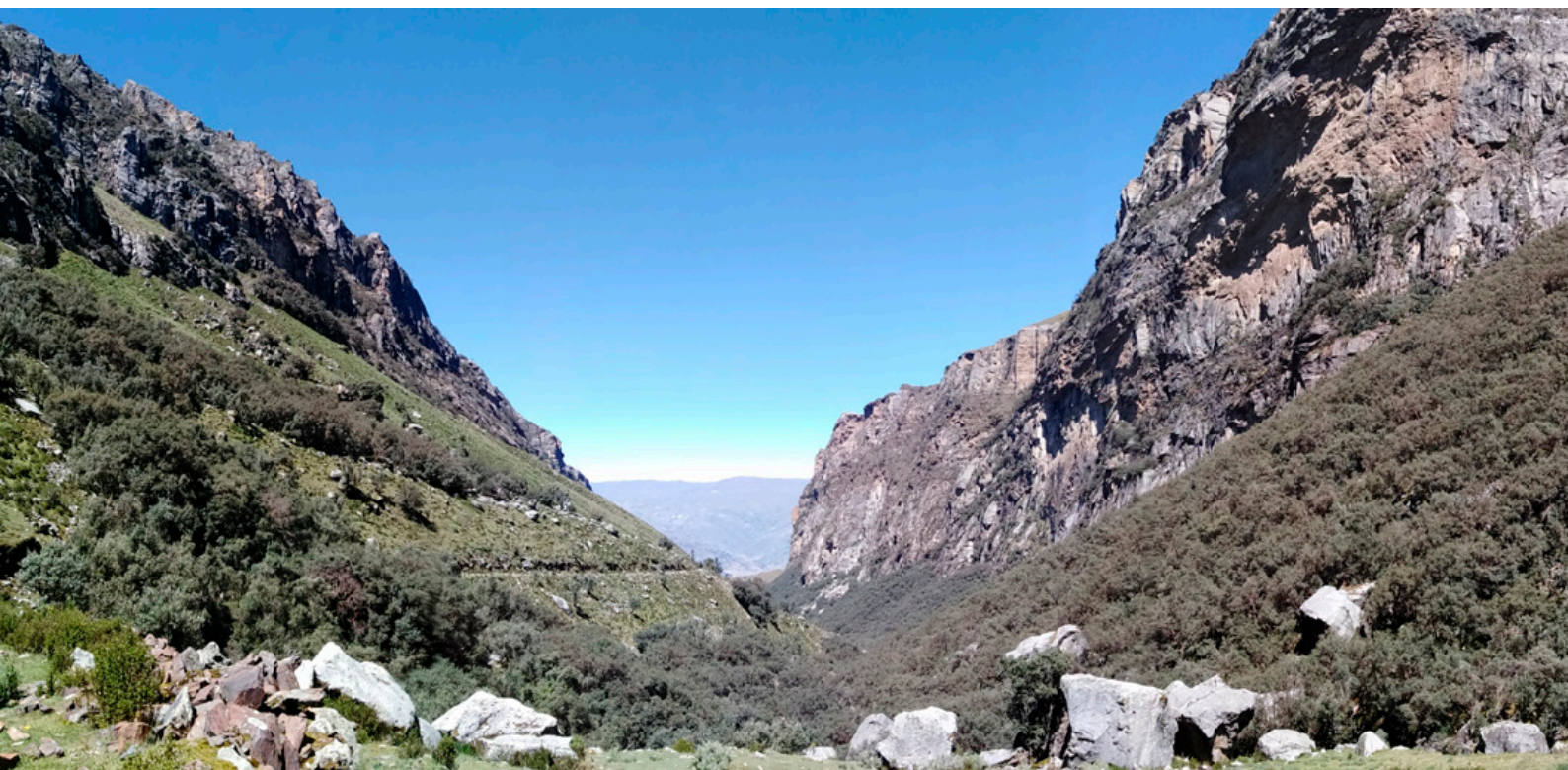


Figura 27. Bosques de queñual en la quebrada de Llaca, Áncash.

Evaluación de parámetros hidrogeológicos de un humedal andino

Orientada a determinar las características hidrogeológicas de un bofedal andino, para entender la estrecha relación entre su hidrología y su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos hídricos.

Se usó como marco de análisis a las políticas en el mes de noviembre se terminó la instrumentalización

en una superficie aproximada de 5.0 ha, en un bofedal cercano a Pastoruri, en la U.H. Pacahacoto, Cátac. Se instalaron 10 piezómetros (Figura 28) de marca Solinst, con levellogger y barologger de registro continuo con intervalos de 1 hora. También se avanzó con la caracterización del suelo mediante el análisis de muestras superficiales en puntos representativos del área de estudio y su análisis en laboratorio.



Figura 28. Instalación de levellogger de registro continuo en el bofedal Pastoruri

RECUPERACIÓN Y MANEJO SOSTENIBLE DE SOCIOECOSISTEMAS

Establecimiento de trébol rojo y blanco en pastizales naturales

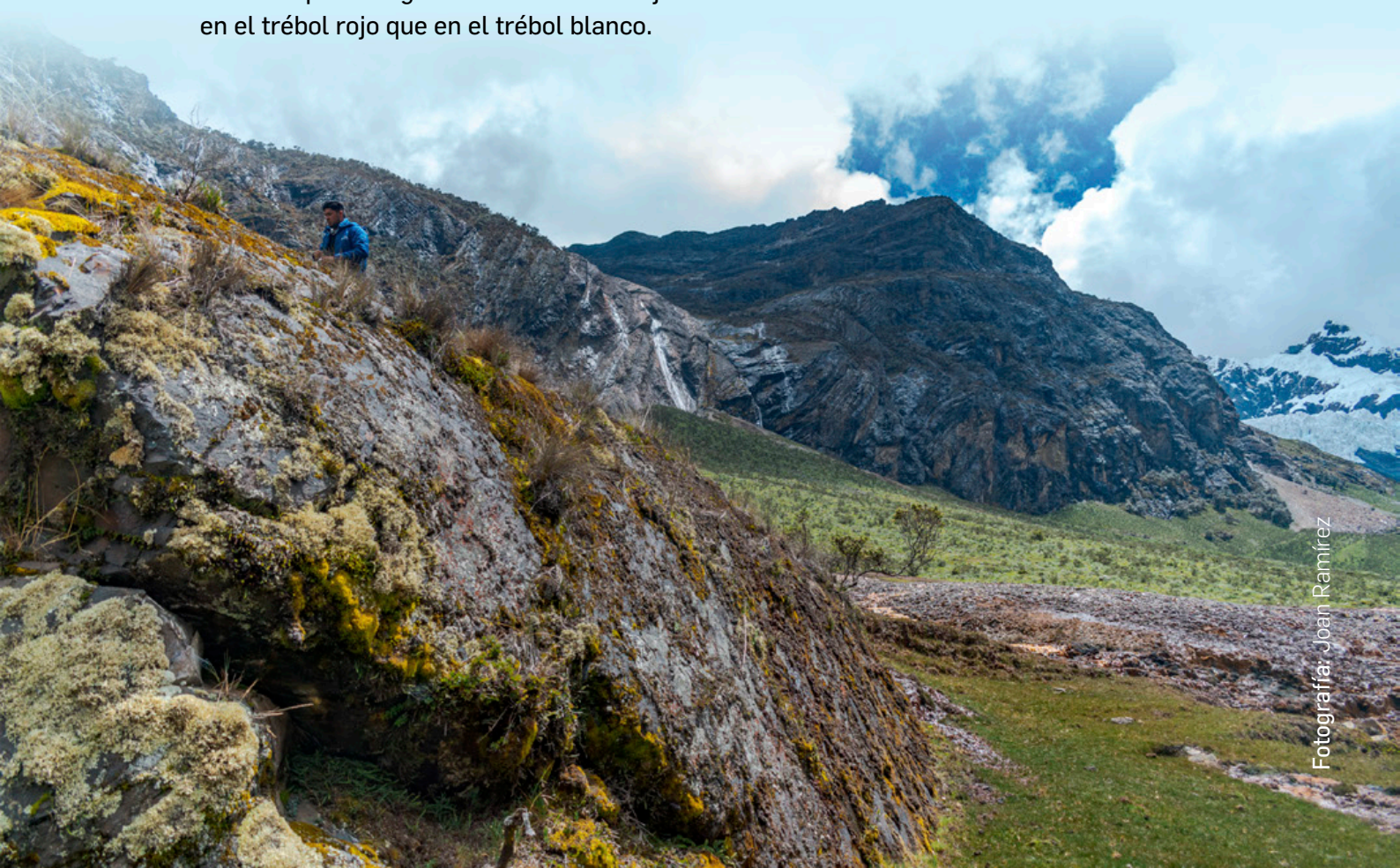
Durante el 2020 se concluyó la tesis de pregrado titulada "Establecimiento de dos especies de trébol para la mejora del pastizal altoandino en el CICTEM".

La problemática abordada por la tesis es la degradación de los pastizales naturales, y la propuesta del establecimiento de trébol como una alternativa de enriquecimiento de los pastizales naturales, con una leguminosa que fija nitrógeno y mejora la dieta animal, sin poner en riesgo la biodiversidad nativa. Para ellos se realizó la siembra de trébol blanco y trébol rojo en dos parcelas con condiciones de sitio diferentes: con dos densidades de siembra y diferente distancia a pastos macollados que crecían naturalmente en la zona.

Los principales hallazgos del trabajo son:

- El desempeño en general fue mucho mejor en el trébol rojo que en el trébol blanco.

- Se encontró un fuerte efecto de sitio, la parcela 1, en que dominaba el pasto ***Festuca loricata*** (más grande y de mayor cobertura) presentó mejores condiciones y permitió el establecimiento de ambas especies de trébol, en comparación con la parcela 2, con dominancia ***Calamagrostis macrophylla*** (más pequeña), en donde sólo se pudo establecer el trébol rojo. Además, en la parcela 2 se encontró una baja infiltración del agua en el suelo, con baja retención de humedad en el suelo.
- El trébol blanco incrementó su sobrevivencia y altura debido a que se desarrolló cerca al pasto dominante, en comparación con los espacios abiertos. Mientras que el trébol rojo muestra mayor resistencia, y su sobrevivencia es similar cerca o lejos del pasto, pero crece más rápido en altura cuando está cerca al pasto.



Ensayos de germinación de especies de plantas importantes en la zona altoandina

Durante el 2020 se desarrollaron pruebas de germinación con semillas de diferentes especies nativas. Se trabajó con pastos nativos (Poaceae) palatables, cuyas semillas fueron colectadas en Cátac, entre junio del 2019 y marzo del 2020. Las especies propagadas fueron: *Elymus cordilleranus* (Elyco), *Bromus catharticus* (Broca), *Festuca loricata* (Felo), *Calamagrostis macrophylla* (Cama), *Calamagrostis vicunarum* (Cavi) y *Calamagrostis tarmensis* (Cata). Se realizó también la propagación con semillas de "chacpá" (*Oreocallis grandiflora*, Proteaceae), colectadas en Huaraz entre febrero y marzo del 2020, una especie arbustiva nativa. Finalmente se trabajó con semillas de árboles: *Gynoxys oleifolia* (Gyol) y *Gynoxys caracensis* (Gyca, Asteraceae), cuyos frutos se recolectaron en la Quebrada de Llaca en julio de 2020.

Las semillas de cada especie de pasto nativo fueron caracterizadas: por tamaño y peso, y se realizaron dos pruebas de germinación: en la primera prueba, Broca mostró el mayor porcentaje

de germinación (99% en 14 días), seguido por Elyco y Felo con 76% y 65% respectivamente. Los valores de germinación más bajos lo presentaron las especies del género *Calamagrostis*: Cama - 42%, Cavi - 32% y Cata - 18% (Figura 29). En una segunda prueba de germinación se aplicaron diferentes condiciones de luz y temperatura para evaluar el porcentaje y tiempo de germinación en tres especies para las que se contaba con suficientes semillas: Cavi, Felo y Elyco. Los tratamientos aplicados no mejoraron la tasa de germinación de ninguna de las especies, en todos los casos la tasa y velocidad de germinación fue mejor sin aplicar ningún tratamiento.

Para las especies de *Gynoxys* (Gyol y Gyca), se aplicaron tres tratamientos pre-germinativos: control, peróxido de hidrógeno y agua tibia, empujándose 100 semillas para cada tratamiento. Las semillas de Gyca no germinaron. Las semillas sin tratamiento (control) de Gyol alcanzaron 51% de germinación en 25 días y 47% cuando las semillas tratadas con agua oxigenada. Los frutos con inmersión en agua tibia no germinaron.

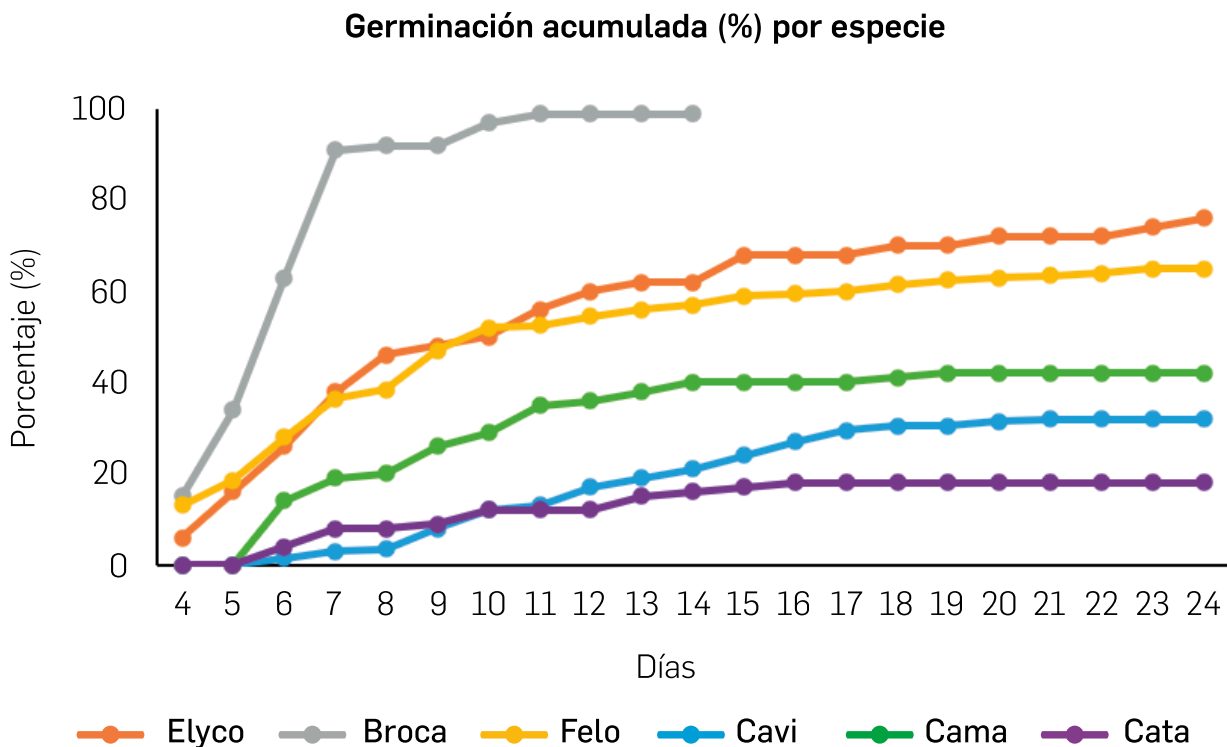


Figura 29. Germinación acumulada en porcentaje de seis especies de pastos nativos

Elyco: *Elymus cordilleranus*, Broca: *Bromus catharticus*, Felo: *Festuca loricata*, Cama: *Calamagrostis macrophylla*, Cavi: *Calamagrostis vicunarum* y Cata: *Calamagrostis tarmensis*.

Evaluación del efecto de la clausura de mediano plazo en la recuperación de un pastizal altoandino, en la Cordillera Blanca

En febrero del 2016, en la quebrada de Llaca se establecieron dos parcelas de investigación en un pastizal: una parcela clausurada con cerco eléctrico, y otra aledaña y sin clausura que continuó siendo usada por el ganado vacuno y equino local. En cada parcela se establecieron tres transectos fijos, evaluados anualmente al final de la época de lluvias. En cada transecto se registraron datos de riqueza y abundancia de especies (%), biomasa (kg/ha) y cobertura del suelo. Los resultados muestran

que en la parcela con cerco se incrementó la biomasa (Figura 30), la cobertura de vegetación (de 75.0% a 84.7%), y el porcentaje de especies deseables para el ganado vacuno (de 10.19 a 33.19%). Sin embargo, en el pastizal sin cercar también se encontraron incrementos similares en la cobertura de la vegetación (71.65% a 86.67%) y de especies deseables (18.66% al 25.68%). Los cambios en la vegetación se muestran en sólo un año en la parcela cercada, mientras que en la parcela sin cerco toma alrededor de tres años. Esto muestra la importancia del descanso de los pastizales para mejorar su condición.

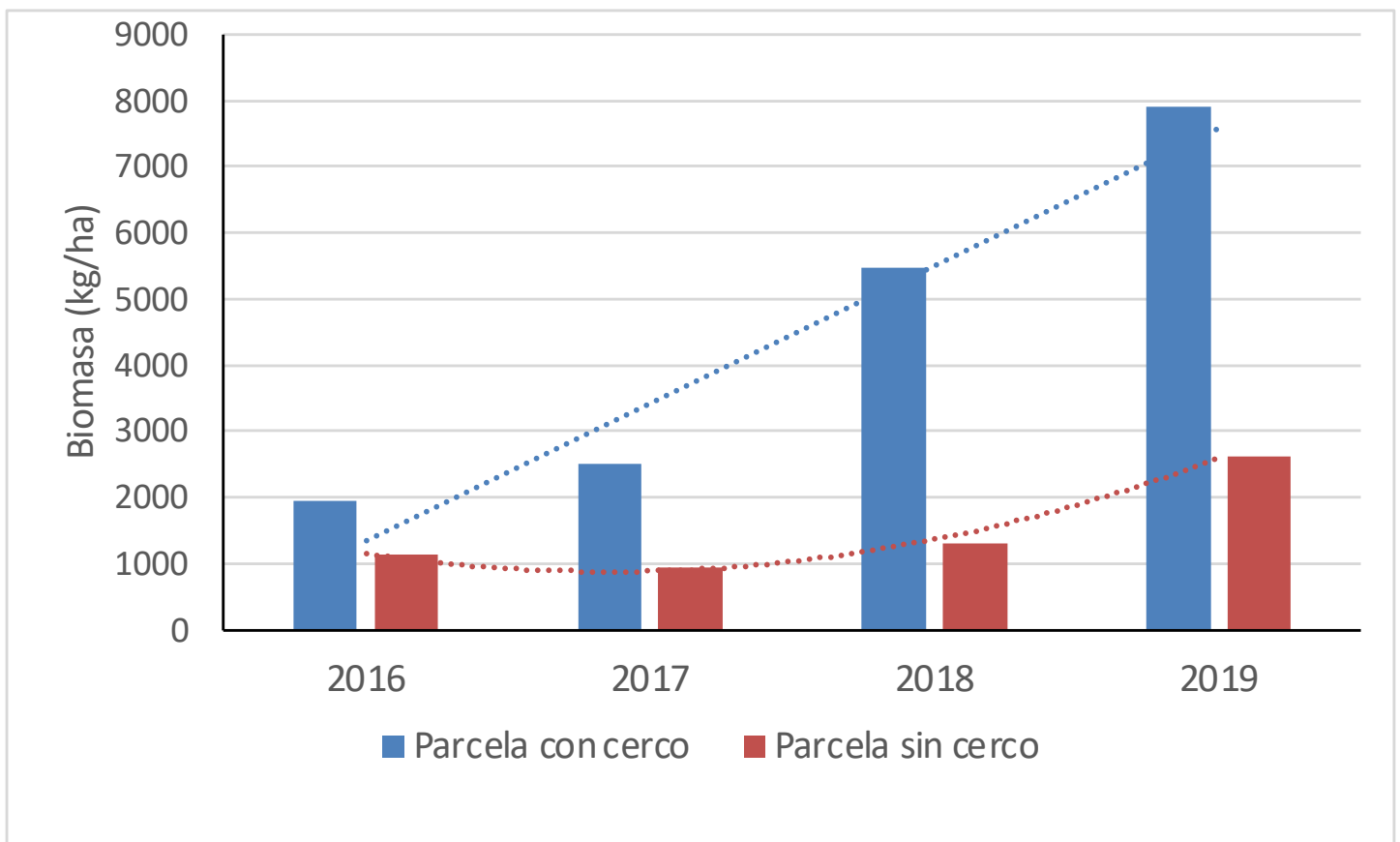


Figura 30. Variación en la Biomasa por año en las parcelas con cerco y sin cerco de la quebrada Llaca.

Evaluación del establecimiento de variedades de pastos cultivados para reducir la presión de pastoreo en pastizales naturales

En febrero del 2020, en el Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Ecosistemas de Montaña (CICTEM), Cátac, Áncash se instalaron 11 variedades de diferentes pastos cultivados (gramíneas - rye grass italiano, inglés y *dactylis*; y leguminosas - trébol y alfalfa), a 3852 m s.n.m., con el objetivo de evaluar su rendimiento (Figura 31) durante dos años (2020 y 2021) y con ello proponer alternativas de pastos asociados que garanticen una buena producción de forraje en la zona de estudio. Los indicadores de producción fueron: altura de planta (AP), forraje verde (FV), materia seca (MS), densidad de plantas, número de tallos por planta y relación hoja/tallo (H:T). Se sembraron tres repeticiones, repartidas al azar, en parcelas de 15 m² por cada

tratamiento. En el 2020 se realizó la evaluación de dos cortes de pastos. Para la producción de forraje verde se encontró que los Rye Grass muestran una mayor producción en el primer corte y se reduce en el segundo corte. Rye Grass italiano (Tama, Magnum y ecotipo Cajamarquino) en el primer corte produce 30.89 t/ha (la mayor producción obtenida) y disminuye a 7 t/ha en el segundo corte, mientras que los rye grass ingleses (Nui y Boxer) producen 9.67 t/ha en el primer corte y disminuyen a 8 t/ha en el segundo corte. Para el caso del *Dactylis glomerata* (variedad Potomac), la producción es baja pero estable en los dos cortes (2.6 t/ha). Las leguminosas, como los tréboles (Quiñequeli y Huia) y la alfalfa dormante WL 350 muestran una alta producción y estable en los dos cortes (alrededor de 12 t/ha). Las alfalfas San Pedrana y Moapa 69 incrementan su producción con el tiempo, 3.83 t/ha en el primer corte y 11.33 t/ha en el segundo corte.



Figura 31: Evaluación de variedades de pastos cultivados en el CICTEM.

INVENTARIO NACIONAL DE BOFEDALES

En el 2020 se inició el proceso de elaboración del primer Inventario Nacional de Bofedales, con apoyo del Proyecto de cooperación entre Perú e Italia para la adaptación y mitigación al cambio climático del Ministerio del Ambiente, con un enfoque de diversidad ambiental, a fin de establecer una propuesta de indicadores para su conservación, contribuyendo así a los objetivos de la adaptación al cambio climático en el Perú. Con ello se busca fomentar y expandir la investigación científica y tecnológica en los territorios de montaña, promoviendo su gestión sostenible en beneficio de las poblaciones que viven o se benefician de los mismos.

En esta primera etapa se formuló la propuesta de la metodología para la elaboración del Inventario, realizándose así la revisión de literatura y recogiendo aportes de expertos de

instituciones públicas y privadas como MINAM, IGP, SERFOR, ANA, SENAMHI, OSINFOR, OEFA, SENANP, IIAP, INGEMMET, UNMSM, CONDESAN, CCA, PNUD, Programa Bosques, CONIDA y el programa SWAMP. La propuesta metodológica inicial fue probada en tres sitios pilotos para los que se contaba con información previa: Nor Yauyos Cochabamba, del Parque Nacional Huascarán y Apurímac.

La metodología aplicada permite determinar la cantidad, estado y superficie de tales ecosistemas (Figura 32). Se tiene previsto culminarlo en el año 2022. Para los tres sitios con información preexistente, con base en estos resultados, se hicieron algunos ajustes, y la propuesta metodológica final fue presentada en un taller con representantes de diferentes entidades públicas y privadas, que participaron de la fase de entrevistas.

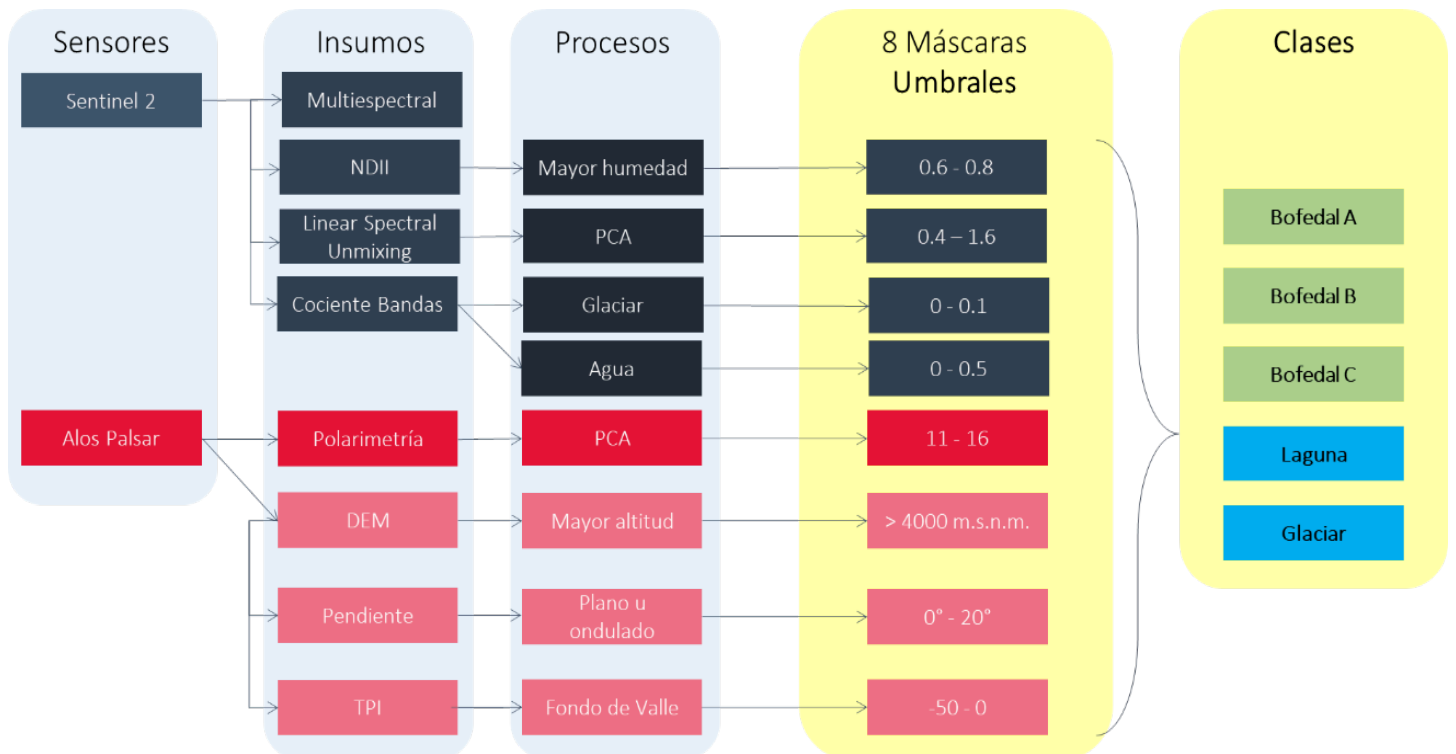


Figura 32. Esquema de la metodología propuesta para la elaboración del primer Inventario nacional de bofedales.

INVESTIGACIONES EN CUSCO

EL INAIGEM, a través del área de investigación en ecosistemas de montaña de la Oficina Desconcentrada Macro Región Sur-ODMRS Cusco, trabaja en las regiones Cusco, Arequipa y Puno. Las líneas de investigación se desarrollan con los siguientes temas:

1. Caracterización de ecosistemas de montaña
2. Evaluación del estado de los ecosistemas de bofedal y pastizal
3. Caracterización y recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica
4. Caracterización ecológica y social para evaluaciones integrales de la vulnerabilidad a peligros de origen glaciar.

Caracterización de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la parcela de investigación La Raya-UNSAAC

Se ubica políticamente en el distrito de Layo, provincia de Canas, región Cusco, limitando directamente con la región Puno. Hidrológicamente pertenece a la cuenca Vilcanota-Urubamba y a la cordillera La Raya.

Se desarrollaron investigaciones para evaluar el aporte del agua al suelo por infiltración de los diferentes tratamientos establecidos en la parcela como servicio ecosistémico de regulación hídrica. Para este fin, primero, se ha caracterizado los aspectos de suelo y vegetación; y segundo, se viene haciendo un seguimiento de variables hidrometeorológicas a partir de sensores de humedad del suelo y temperatura del aire instalados en el área de cada tratamiento.

El suelo utilizado en el tratamiento para pastos naturales presentó tres horizontes. La textura del suelo más superficial fue franco, y de los más profundos fue franco arenoso. Asimismo, presentó un porcentaje bajo de materia orgánica en el horizonte superficial. En la época de evaluación (temporada de lluvias) el pH del suelo resultó ácido (4.6 en promedio). Por otro lado, el suelo del tratamiento zanja de infiltración también mostró tres horizontes, siendo el horizonte superficial de textura franco limosa, y franco y franco arenoso para los siguientes horizontes. Este tratamiento resultó también con poco contenido de materia orgánica en el horizonte superficial, y con pH ácido (4.3 en promedio) en la época de evaluación.

La cobertura con mayor extensión en el área de evaluación en ambos tratamientos fue la vegetación (51.4% para pastos naturales y 5.8% para zanjas de infiltración), seguida de mantillo, cubierta natural que se forma en el horizonte superior del suelo (35% en el tratamiento de pastos naturales, y de costra biológica y 15.9% en el tratamiento de zanjas de infiltración). En cuanto a las especies dominantes, el tratamiento de pastos naturales está dominado por cinco especies de poáceas diferentes (*Muhlenbergia peruviana*, *Aciachne acicularis*, *Calamagrostis vicunarum*, *Calamagrostis heterophylla* y *Anatherostipa obtusa*), en cambio en el tratamiento de zanjas de infiltración se observa dominancia de la especie poácea *Calamagrostis amoena*. Por último, en cuanto a la productividad primaria calculada mediante la biomasa seca, para el tratamiento de pastos naturales fue 10.12 toneladas/ha, mientras que para el tratamiento de zanjas de infiltración fue 5.51 toneladas/ha.

INVESTIGACIONES EN PUNO

Mapa de delimitación de ecosistemas hacia una evaluación integral de la vulnerabilidad ante peligros de origen glaciar en la cuenca Occoruruni, cordillera Apolobamba

La cuenca Occoruruni está ubicada en el distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina, Región Puno. Hidrológicamente está dentro de la cuenca Huari, la cual a su vez pertenece al sistema hidrológico de la cuenca Inambari. Además, está fuertemente influenciada por la cordillera Apolobamba, que es compartida por Perú y Bolivia. En esta cuenca se encuentran principalmente los territorios de la comunidad de Koriwara y una pequeña parte de la comunidad de Potoni.

La cuenca Occoruruni es una cuenca glaciar expuesta a peligros de avalancha o aluvión, entre otros, que conllevan el movimiento de grandes masas de barro, rocas y piedras. Estos eventos afectaron a corto plazo los ecosistemas de los que depende la población agrícola-ganadera, en este sentido es importante conocer cómo se distribuyen y cuál es el área que abarcan dichos ecosistemas, de tal manera que se contribuya a la evaluación integral del riesgo que se está ejecutando en este ámbito.

Como características generales de la cuenca Occoruruni, a partir de la ejecución metodológica de teledetección y sistemas de información geográfica, se obtuvo un área de 6608.17 ha, el

perímetro fue de 38.92 km y el nivel y orden de drenaje por el Sistema de Codificación Pfafstetter fueron 9 y 8, respectivamente, obteniéndose un rango de pendientes de 0% a 77%.

Luego, se obtuvieron las respuestas espectrales o las reflectancias para cada una de las formaciones vegetales o ecosistemas de montaña de la cuenca, derivando los siguientes tipos: glaciar, cuerpos de agua, roca, humedal, pastizal, deslizamiento o depósitos. Estos se clasificaron mediante la metodología de árbol de decisiones, resultando un total de 4892.92 ha (74.04%) catalogadas.

La clasificación de ecosistemas se ha realizado considerando las características únicas de la cuenca Occoruruni. Además, en campo se han notado claras diferencias entre algunos ecosistemas, tales como pajonal y césped de puna (en el mapa denominadas como "pastizal"), así como la presencia de zonas inundadas y húmedas correspondientes a humedales y bofedales (ambas mencionadas en el mapa como "humedales"). Esta diferenciación no se ha podido abordar a la escala del mapa elaborado, ya que se necesitarían estudios más finos (Figura 33).

Es importante señalar que el territorio está dominado por pastizales y humedales y son utilizados por la población para actividades agrícola – ganaderas.



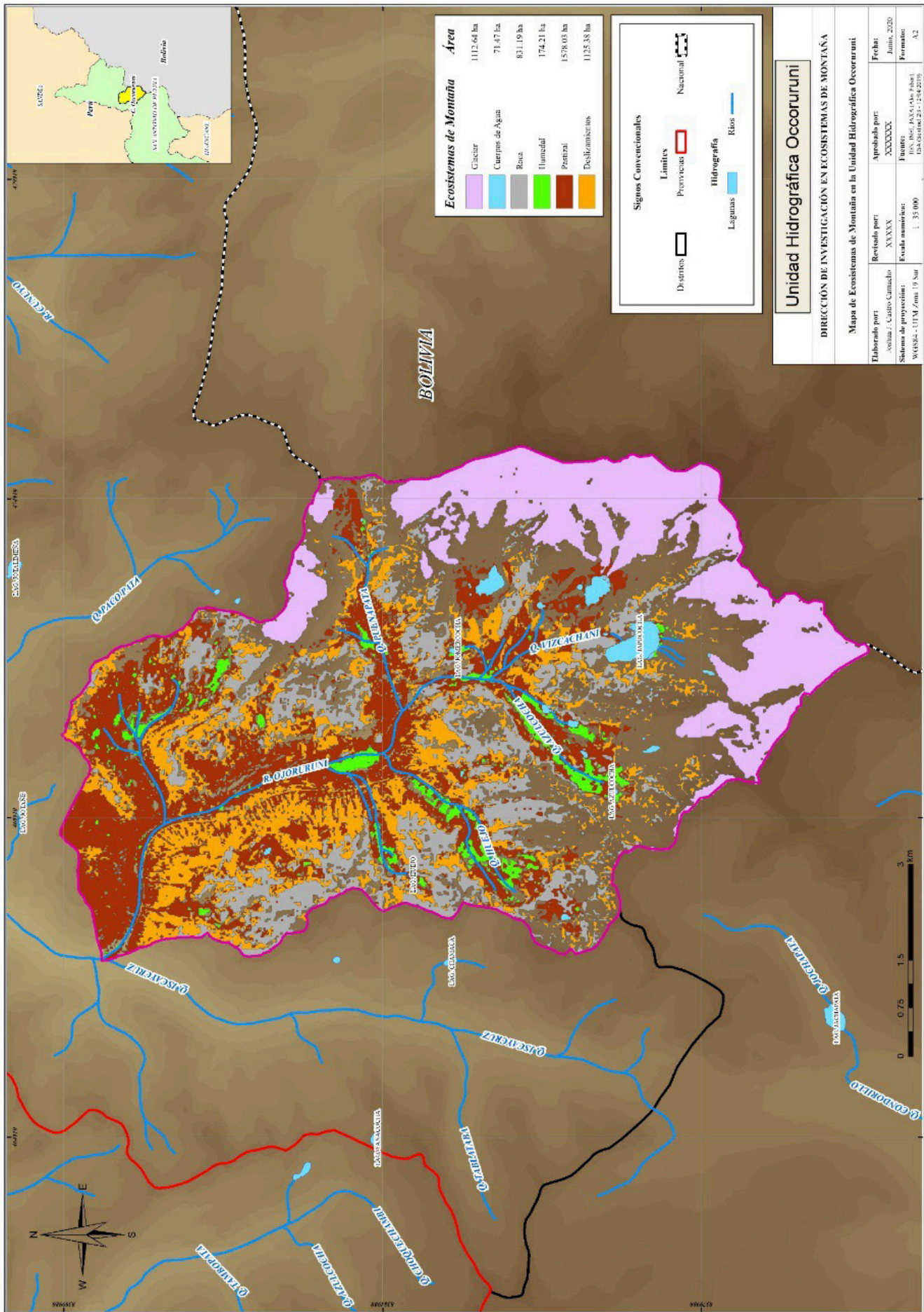


Figura 33. Mapa de delimitación de ecosistemas de montaña de la cuenca Occoruruni.



PROYECTO IMELS “VULNERABILIDAD, EVALUACIÓN DE RIESGOS, ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO”

Es un proyecto sectorial, administrado desde el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), bajo la formulación de un documento de proyecto, que cuenta con un plan de trabajo en relación al “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, por sus siglas en inglés) y el Ministerio del ambiente del Perú (MINAM)”.

La laguna Piuray proporciona agua para consumo humano al 31% de la población de la ciudad del Cusco. En los últimos 30 años, esta laguna ha ido disminuyendo en su capacidad para la provisión de agua. Estos factores, sumados a la importancia de la microcuenca en la provisión de servicios ecosistémicos y a la necesidad de conservarla para aumentar su capacidad de recarga de acuíferos, dan razón a la ejecución de investigaciones sobre el tema.

En el marco de este proyecto, se viene implementando la actividad “Evaluación piloto de los servicios ecosistémicos de provisión de humedales en la Microcuenca Piuray ubicada en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba (laguna Piuray) en cuencas altas priorizadas para el diseño de un modelo de restauración de ecosistemas”, sobre la base de dos hipótesis. La primera se refiere a los efectos de los eventos extremos en un contexto de cambio climático, los que tienen como consecuencia la pérdida de los servicios ecosistémicos. La segunda se relaciona con la recuperación de los ecosistemas, lo que ayudará a la infiltración del agua y por tanto a la recarga de los acuíferos. Se desarrollan estudios que permitirán validar las hipótesis planteadas.

VI. TRABAJOS EN GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO





Fotografía: Dickens Rondán

TRABAJOS EN GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES

GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

Adquisición de Imágenes

Se realizó un trabajo de adquisición de imágenes a partir de las siguientes fuentes:

1. Mediciones fotogramétricas utilizando vuelos con drones y vehículos robóticos terrestres, generando productos como modelos digitales de elevación, mapas de elevación ortomosaicos, entre otros.
2. Se gestionó la renovación de un usuario para el acceso de imágenes satelitales con la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA) se atendieron un total de 11 pedidos de imágenes satelitales para las diferentes direcciones de línea, siguiendo los procedimientos de CONIDA y presentando la documentación correspondiente a cada pedido.
3. Adicionalmente se adquirieron herramientas para el procesamiento de imágenes a través de Google Earth Engine que posee una amplia base de datos de imágenes satelitales que puede ser accedida libremente.

Sistema de Monitoreo Palcacocha

EL INAIGEM a través de la Dirección de Gestión del Conocimiento, cuenta con una estación meteorológica y un sistema básico de monitoreo en tiempo real (instalado en 2017) de la laguna Palcacocha. Se viene manejando y manteniendo el sistema de monitoreo en tiempo real. La información generada mediante ambos sistemas de monitoreo se comparte mediante el portal web institucional y redes sociales y se encuentra almacenado en nuestra base de datos, disponibles a solicitud.

Desarrollo del Laboratorio Virtual de Visión

Se puso en funcionamiento un laboratorio virtual de manera local, luego se implementó un servidor web local para su visualización a través de Internet. Con el uso de herramientas web (Docker, Bitbucket) se ha logrado poner una primera versión a disposición del público a través de internet, en la página institucional.

Se logró llevar a una versión web las simulaciones de vehículos de recolección de datos, basados en paquetes de interacción web a través de las

bibliotecas de código del ROS (*Robot Operating System*). En dichas interfaces se puede obtener la información sensorial y se pueden operar los vehículos recolectores de datos. Adicionalmente, se realizaron vistas tridimensionales de glaciares (Quelccaya, Pastoruri, Palcaraju y Pucaranra) a través del tiempo desde 1980 hasta la actualidad. Se observa la interfaz de teleoperación del vehículo recolector de datos Rover Curiosity (Figura 34a), y se observan vistas de las plataformas usadas en el laboratorio de visión y proyectos de desarrollo que se han venido trabajando (Figura 34b).

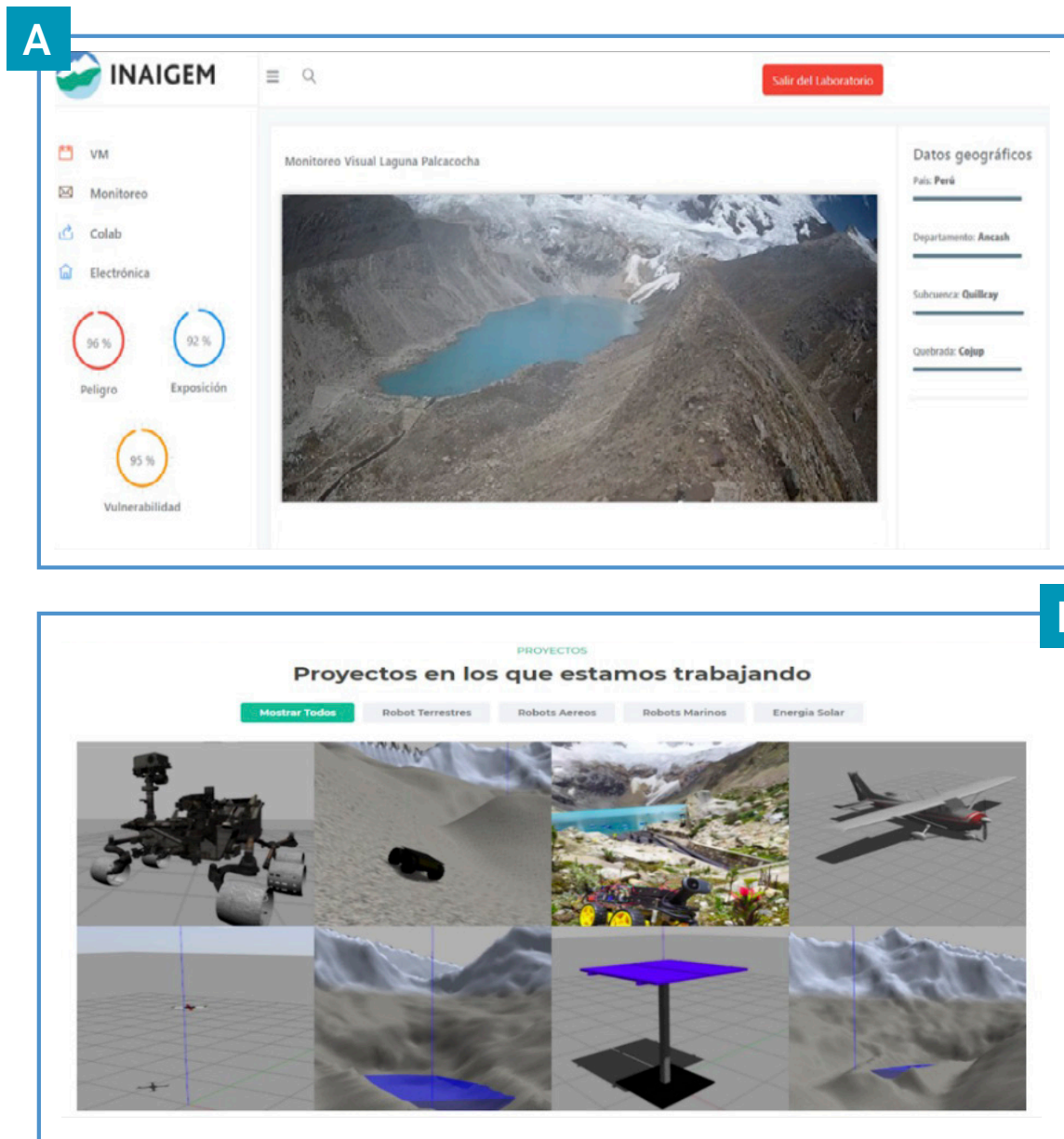


Figura 34. Se observa la sección de monitoreo visual con la transmisión de video en tiempo real de la laguna Palcacocha. (A) Imagen del laboratorio de Innovación, y (B) laboratorio virtual de Visión.

Desarrollo del Laboratorio Virtual de Innovación

Se desarrolló un laboratorio virtual denominado Innovation Lab. Que está concebido como una plataforma tecnológica dedicada a crear entornos de trabajo virtuales donde es posible realizar simulaciones, cálculos computacionales y procesos con grandes prestaciones computacionales. Innovation Lab es un espacio de trabajo virtual y compartido, con la capacidad de interactuar con otros investigadores, tesis, especialistas, etc. En el mismo se puede avanzar en proyectos de programación, electrónica y análisis de datos principalmente relacionados al estudio del cambio climático en los glaciares y ecosistemas de montaña del Perú.

Soporte para la clasificación de ecosistemas de montaña usando inteligencia artificial

Se aplicó el método de redes neuronales con el fin de proponer un esquema y generar un conjunto de datos para solucionar el problema de clasificación de ecosistemas de montaña.

Cabe destacar que debido a que no se cuenta con grandes volúmenes de datos, el trabajo se centró en la identificación y etiquetado de los glaciares en imágenes de satélite. Se estudiaron las estructuras de redes neuronales que permiten generar e integrar la mayor cantidad de información posible, partiendo de los conjuntos de datos con los que se cuenta, como imágenes de satélite y modelo de elevación digital). Fueron seleccionados tres tipos de redes neuronales, las cuales están destinadas a integrar y generar información dentro de la estructura propuesta.

Como resultado se obtuvo el conjunto de redes neuronales entrenadas, múltiples conjuntos de elementos con los cuales entrenar redes neuronales, el código necesario para la implementación de redes neuronales y la clasificación de una imagen de satélite realizada en un tiempo inferior a tres horas, la cual alcanza un 73.87% de similitud con el actual inventario glaciar, esto debido a que no pudieron ser identificados adecuadamente los glaciares enterrados que forman aproximadamente un 10% de la imagen.



Programa virtual de difusión de las ciencias “Viernes Científicos”

LOS Viernes Científicos consisten en ponencias de dinámica comunicativa en las cuales el ponente hace una presentación, para dar a conocer temas de actualidad. Esta actividad se presenta como un mecanismo para la difusión del conocimiento.

El objetivo principal de estos eventos es divulgar los conocimientos y logros investigativos sobre glaciares y ecosistemas de montaña, incluyendo aspectos de ciencias sociales. Para esto es necesario atraer la atención de la audiencia y preparar el camino al mensaje principal, a través de una introducción y posteriormente darles una visión de la ponencia para hacerla interesante y atractiva. Las ponencias están a cargo de especialistas del INAIGEM o científicos invitados.

Entre enero y diciembre se realizaron 38 sesiones de divulgación y popularización científica a través de este programa, las que tuvieron el carácter de teleconferencias, con una ponencia inicial de aproximadamente 45 minutos, seguidos por 15 minutos para responder a preguntas del público. Estas presentaciones se pueden visualizar en:

<https://www.inaigem.gob.pe/viernes-cientifico/>

El alcance global de todas las presentaciones tiene un total de 524 341 accesos.

Se muestra el seguimiento de cada una de las temáticas presentadas en los Viernes Científicos (Figura 35). La temática de presentación con mayor alcance en las personas fue la de “Glaciares” con un total de 193 868 accesos, seguida por Ecosistemas.

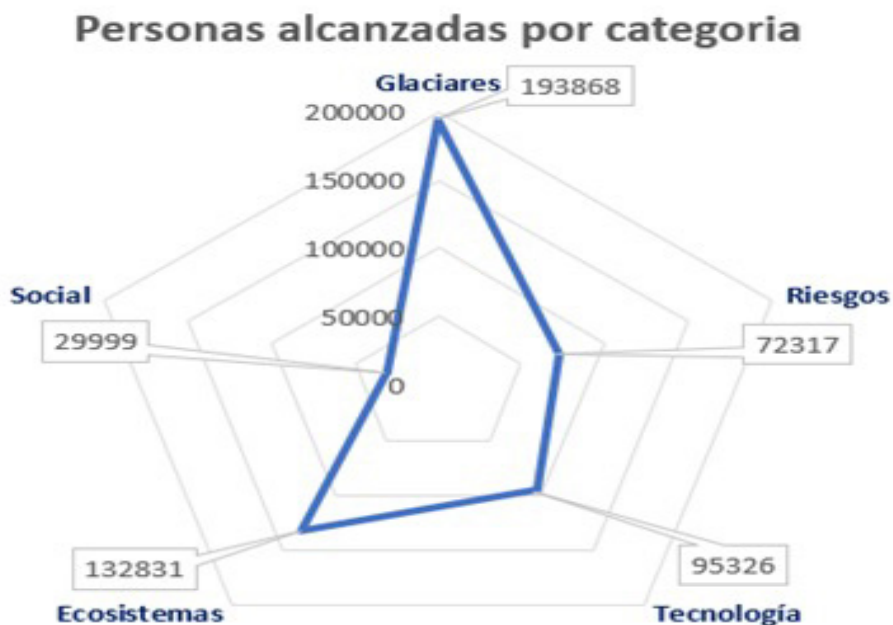


Figura 35. Distribución del alcance de las presentaciones por temática (Glaciares, Riesgos, Ecosistemas, Social, Tecnología).

FILMACIÓN Y EDICIÓN DE VIDEOS “PRONÓSTICOS INAIGEM” Y “TALENTO CIENTÍFICO”

Pronósticos INAIGEM

Los pronósticos INAIGEM consisten en realizar un video de corta duración que se publica cada semana en la página de Facebook de la institución. Este se basa en un guion que se prepara previamente y está dividido en dos secciones. La primera consiste en una parte introductoria y presentación de la participación del niño o adolescente, en coordinación con los docentes de su escuela. La segunda sección consiste en responder la pregunta del participante con un lenguaje sencillo y claro, explicando los principales eventos meteorológicos, climáticos y ambientales que se dan en las zonas de alta montaña.

Con un total de 42 videos de “Pronósticos INAIGEM” desde el 25 de marzo de 2020 hasta finales del año, este proyecto tuvo

un impacto muy positivo en redes sociales e interinstitucionales. Todos los videos se encuentran alojados actualmente en la red social de Facebook de INAIGEM (Figura 36).

Talento científico

Se llevó a cabo la edición de los videos del programa “Talento científico”, también conocido como “Conversando con nuestros científicos”; en estos videos, algunos especialistas de la institución responden a preguntas realizadas por niños hacia la institución. Estos programas fueron compartidos en las redes sociales de la institución, ayudando a posicionar el nombre de la institución en la mente de nuestra población, siendo en total 39 ediciones las cuales ampliaron el conocimiento científico en la población.



Figura 36. Especialista interactuando con el público en uno de los videos “Pronósticos INAIGEM”

Fortalecimiento de Capacidades - Mapeo de actores en subcuencas prioritizadas e identificación de actores clave

Se desarrolló un taller de capacitación sobre la identificación de actores clave para especialistas del INAIGEM, con el objetivo de fortalecer las capacidades y desarrollar competencias comunicativas de los trabajadores de la institución. En este taller se compartió un resumen básico del proceso para la identificación de actores clave y se presentaron las experiencias en Fortalecimiento de Capacidades, participando como representantes la subdirectora de Riesgos Asociados al Cambio Climático en Ecosistemas de Montaña de la DIEM, el jefe de la Oficina Desconcentrada Macro Región Sur-Cusco, los directores, subdirectores, especialistas de la sede central y las subsedes en la identificación de los actores.

En el mes de setiembre, se terminó la versión final del instructivo para el llenado del formato de actores clave:

(<https://repositorio.inaigem.gob.pe/handle/16072021/123>).

Biblioteca de INAIGEM

Se participó en las Reuniones Técnicas de Bibliotecas Ambientales, en la cual participan entidades como MINAM, IGP, OEFA, SENAMHI, IIAP, SERNANP e INAIGEM. Los planes de trabajo de estas reuniones fueron los siguientes: (1) crear la red de bibliotecas ambientales, (2) fortalecer la gestión de bibliotecas ambientales, (3) fortalecer las colecciones de las bibliotecas

ambientales, (4) promover la normalización de terminología ambiental, y (5) promocionar los servicios, colecciones y productos de las bibliotecas ambientales. Todas estas actividades continuarán en 2021.

Revista Científica

Se terminó la composición del Número 6 de la Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña. Proveniente del Simposio Internacional "Las Montañas, Nuestro Futuro", organizado por el INAIGEM en Cusco en diciembre de 2019. Este número contiene 43 pósters presentados sobre investigación científica hecha por diversos expertos nacionales e internacionales en temas relacionados con glaciología, cambio climático, retroceso glaciar, ecosistemas de montaña, meteorología, políticas públicas y otros, seleccionados en un concurso de 68 propuestas, y abarcando diversos temas referentes a glaciares tropicales y ecosistemas de montaña. Se destacan los siguientes temas: impactos del cambio climático en glaciares y ecosistemas de montaña, acciones de adaptación ante el retroceso glaciar y cambio climático, investigaciones para la recuperación de ecosistemas de montaña y/o sus servicios ecosistémicos, estudios de caso en que las investigaciones en el ámbito de montañas han trascendido hacia la política pública, y contribuciones de las ciencias sociales a la adaptación al cambio climático y la política pública. La revista se puede visualizar en:

<https://repositorio.inaigem.gob.pe/handle/16072021/263>



Participación en Ferias Virtuales de Ciencia

EL INAIGEM participó en formato virtual como parte de la interacción institucional (debido a la situación actual de salud nacional) en la feria “Expoagua Educativa de la Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento SUNASS 2020” organizada por la SUNASS entre el 5 de noviembre y el 4 de diciembre, y en la feria internacional “Perú con Ciencia 2020” organizada por CONCYTEC entre el 21 de noviembre y el 10 de diciembre como parte de la Semana Nacional de la Ciencia. En el stand se presentaron, tres proyectos que el INAIGEM viene desarrollando (Figura 37):

1. Impacto del carbono negro en los glaciares de la Cordillera Blanca
2. Investigación en inundaciones por desbordamiento violento de lagunas de origen glaciar (GLOF)
3. Sistema de monitoreo de la laguna Palcacocha

Simposio Internacional “Las Montañas, Nuestro Futuro”

Es un evento de difusión interinstitucional que tiene el objetivo de difundir el conocimiento técnico científico sobre los glaciares tropicales, lagunas de origen glaciar y ecosistemas de montaña, en un contexto de cambio climático, se realizó el 14, 15 y 16 de diciembre del 2020. En formato virtual, resaltó las investigaciones recientes llevadas a cabo por personal del INAIGEM. El programa tuvo presentaciones de cada dirección (DIG, DIEM y DIGC), con participación de directores, subdirectores, especialistas y tesistas del INAIGEM, más un ponente invitado cada día. Se hicieron un total de 28 presentaciones virtuales. Tuvo una gran concurrencia virtual por Facebook. Las presentaciones están disponibles en: (Día 14) <https://fb.watch/beyEHOQVTh/> , (Día 15) <https://fb.watch/beyGJtNylN/> , y (Día 16) <https://fb.watch/beyJnYbpvB/> .



Figura 37. Proyectos presentados en la feria virtual “Perú con Ciencia 2020”.



VII. COOPERACIÓN

COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL

Durante la gestión correspondiente al 2020, se ha llegado a suscribir 11 documentos de cooperación interinstitucional. Los mayores logros relacionados a cooperación técnica que se han obtenido durante el periodo objeto del presente informe han sido los siguientes:

- 1) Participación del INAIGEM en la ejecución del Proyecto MINAM – IMELS de Italia.
- 2) Apoyo de la fundación alemana Konrad Adenauer Stiftung para la realización de diferentes actividades.

Cooperación con Italia

A través de la firma del Documento de Proyecto entre el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para la ejecución del “Memorando de Entendimiento sobre Cooperación en el Ámbito de Vulnerabilidad del Cambio Climático, Evaluación de Riesgo, Adaptación y Mitigación”, suscrito entre el MINAM y el Ministerio de Relaciones Exteriores de Italia, se ha oficializado la participación del INAIGEM en dicho proyecto. En el marco de dicho Proyecto, INAIGEM contribuye a la ejecución de las siguientes cuatro actividades:

1. **Información para elaborar y difundir el inventario nacional de glaciares, lagos glaciares y humedales:** el producto de dicha actividad será una metodología para elaborar el Inventario Nacional de Glaciares, Lagunas Glaciares y Humedales; y monitoreo de Glaciares.
2. **Implementación de la evaluación piloto de la provisión de servicios ecosistémicos de humedales en las cuencas hidrográficas superiores priorizadas, para diseñar un modelo de restauración de ecosistemas:** los productos de dicha actividad serán a) una metodología para la evaluación del cambio climático sobre la regulación hidrológica en ecosistemas priorizados y b) un modelo de restauración de ecosistemas en microcuencas.

COOPERACIÓN

3. Monitoreo y evaluación del impacto del carbono negro en glaciares en áreas priorizadas: 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.
4. Difusión de información sobre los efectos del cambio climático en glaciares y ecosistemas de montaña: el producto de dicha actividad serán documentales científicos en tres idiomas (español, quechua e inglés).

Cooperación con Alemania

Se ha recibido el apoyo de la Fundación alemana Konrad Adenauer Stiftung (KAS) por el monto total de aproximadamente S/. 156 000 para la contratación de dos consultorías y el servicio de Clickmeeting (plataforma para videoconferencias) para el INAIGEM. Cabe mencionar que los pagos correspondientes vienen realizados directamente por la KAS y no se incorporan al presupuesto del INAIGEM.

Participación en plataformas internacionales

Es oportuno mencionar que la Oficina de Cooperación Técnica sigue representando a INAIGEM en el marco de instancias regionales e internacionales.

Entre ellas destacan la Iniciativa Andina de Montañas (IAM), una plataforma integrada por los siete países que atraviesa la cordillera de los Andes (Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina), que busca generar y fortalecer un espacio de diálogo regional orientado al desarrollo de acciones articuladas en la región que permita mantener la colaboración en la temática del desarrollo sostenible de montañas; y 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.

Convenios

Durante la gestión correspondiente al 2020, se ha llegado a suscribir 14 documentos de cooperación interinstitucional los mismos convenios suscritos por INAIGEM se encuentran en el sistema de búsqueda de convenios SBC, y se puede encontrar en el siguiente link:

<https://buscador-convenios.inaigem.gob.pe/#/>

