

Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña

2019



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 2019

Dr. Bram L. Willems

Presidente Ejecutivo

Abg. Guillermo Rojas Gutiérrez

Gerente General

Directores y jefes:

Ing. Jesús Gómez López

Director de Investigación en Glaciares (DIG)

Ph.D. Beatriz Fuentealba Durand

Directora de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM)

Dr. Santiago Madrigal Martínez

Director (e) de Información y Gestión del Conocimiento (DIGC)

Ing. Víctor Bustinza Urviola

Jefe de la Oficina Desconcentrada Macrorregión Sur - Cusco

Ph.D. Fey Yamina Silva Vidal

Jefa Oficina Desconcentrada Macrorregión Centro-Lima

Editado por:

© Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

Dirección de Información y Gestión del Conocimiento

Sede Central:

Jr. Juan Bautista N° 887 Huaraz, Ancash, Perú

Teléfono: (043) 22-1766 / (043) 45-6234

Oficina de contacto en Lima:

Av. Paz Soldán Nro. 170, Oficina 602-603, San Isidro, Lima, Perú

Teléfono: (01) 301-7443

Oficina Desconcentrada Macrorregión Sur - Cusco:

Av. Prolongación Túpac Amaru A-2, Urbanización Miraflores, Wanchaq, Cusco, Perú

Teléfono: (084) 200259

www.inaigem.gob.pe

Septiembre 2021

Foto de portada: Nevado Pucaranra, lado oeste, Huaylas, Áncash. (J. Ramírez). Interiores: INAIGEM

Presentación

- El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña – INAIGEM es un instituto peruano de investigación adscrita 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.
- Es la entidad técnico-científico que debe responder a los retos a los que nos enfrentamos ante el cambio climático, así como proponer mejoras o cambios de las actividades antrópicas que afecten la provisión de los recursos y de los servicios ecosistémicos.
- Debe establecer sedes desconcentradas a nivel nacional. Actualmente contamos con una sede principal en Huaraz y subsedes en Cusco y Lima.

“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”.

El INAIGEM presenta este Informe Anual 2019 que resume sus investigaciones principales y otras actividades pertinentes.

Dr. Bram Leo Willems
Presidente Ejecutivo

Contenido

I. GLACIARES Y LAGUNAS GLACIARES EN EL PERÚ	7
Inventario Nacional de Glaciares	8
Inventario Nacional de Lagunas	12
Investigaciones en Ancash	15
Investigaciones en Lima	19
II. GESTIÓN DE RIESGOS DE ORIGEN GLACIAR	24
Región Ancash	26
Región Puno – Cordillera Apolobamba	34
III. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	36
Expedición Huascarán	38
Proyecto PerúGROWS (Peruvian Glacier Retreat and Its Impact on Water Security)	38
Proyecto Permafrost (Evaluación y estimación de la distribución espacio temporal de permafrost a nivel como potencial de reserva hídrica)	39
Proyecto GLOP (Lagunas de Origen Glaciar en el Perú: Evolución, Peligros e Impactos del Cambio Climático)	40
Antártida – Proyecto Pant_Bioglaciar	40
Proyecto Pant_Bioglaciar (Aporte Social, Económico y Ambiental en la Conservación y Pérdida de la Biodiversidad Marina-Lacustre por el Retroceso Glaciar)	41
Listado de Proyectos de Tesis	42
IV. ECOSISTEMAS DE MONTAÑA	46
Evaluación Integral de Riesgos	50
Adaptación al Cambio Climático	53
Evaluación de Socio-ecosistemas de Montaña	55
Evaluación y Valoración de Servicios Ecosistémicos	56
Recuperación de Ecosistemas de Montaña	57
Herramientas Basadas en Sensores Remotos	58
Región Cusco	59

Región Puno	59
Región Arequipa	59
V. COOPERACIÓN	62
VI. GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO	66
Geoportal	68
Repositorios	68
Simposio Internacional “Las Montañas, Nuestro Futuro”	68
VII. CONSIDERACIONES GENERALES	
RESULTADOS DEL SIMPOSIO INTERNACIONAL	
“LAS MONTAÑAS, NUESTRO FUTURO”	70
Cambio Climático	72
Glaciares Tropicales	72
Ecosistemas de Montaña	73
Políticas Públicas	73
Comunicación	74



GLACIARES Y LAGUNAS GLACIARES EN EL PERÚ



Glaciar Artesonraju

Foto: Santiago Martel

I. GLACIARES Y LAGUNAS GLACIARES EN EL PERÚ

Inventario Nacional de Glaciares

Los glaciares son reservas de agua dulce y forman parte del ciclo hidrológico que abastece a los ríos y a las poblaciones ubicadas en las partes bajas de las cuencas para satisfacer sus necesidades básicas y la producción a gran escala (hidroeléctrica, actividades industriales y turismo, entre otros).



Perú posee el 68% de los glaciares tropicales del mundo (Veettil & Kamp, 2019), que junto a los de Bolivia, Ecuador y Colombia representan el 99% de los glaciares tropicales del planeta.

Es imprescindible disponer de información fidedigna sobre el estado real de estas reservas hídricas en las zonas de alta montaña. Por tanto, una de las labores más importantes que realiza el INAIGEM es la actualización permanente del Inventario Nacional de Glaciares, el cual permite identificarlos, delimitarlos, conocer su distribución y sus características métricas para poder gestionar eficientemente el territorio y los recursos a nivel nacional.



Actualmente, los glaciares tropicales vienen siendo afectados por las consecuencias del cambio climático, lo cual ha generado una gran preocupación porque los glaciares pierden superficie y volumen de manera acelerada.

Área de Estudio

El ámbito de estudio abarca 18 de las 20 cordilleras del Perú las cuales contienen cuerpos glaciares. Con este marco de trabajo, se recogió información sobre la cantidad y superficie de estos recursos hídricos de origen glaciar por departamentos, provincias y distritos (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación departamental de las cordilleras glaciares del Perú, de norte a sur.

N°	Cordillera	Zona	Departamento
1	Blanca	Cordilleras del norte	Ancash
2	Huallanca		Ancash
3	Huayhuash		Ancash, Huánuco y Lima
4	Raura		Ancash, Lima y Pasco
5	Huagoruncho	Cordilleras del centro	Huánuco y Pasco
6	La Viuda		Junín, Lima y Pasco
7	Central		Junín y Lima
8	Huaytapallana		Junín
9	Chonta		Huancavelica y Junín

N°	Cordillera	Zona	Departamento
10	Ampato		Arequipa
11	Vilcabamba		Cusco
12	Urubamba		Cusco y Apurímac
13	Huanzo		Arequipa, Cusco y Apurímac
14	Chila	Cordilleras del sur	Arequipa
15	La Raya		Cusco y Puno
16	Vilcanota		Cusco y Puno
17	Carabaya		Cusco y Puno
18	Apolobamba		Puno

Resultados por Vertiente

En el análisis de vertientes hidrográficas se ha podido determinar que la vertiente del Atlántico concentra una mayor cantidad con respecto a la vertiente del Pacífico (Tabla 2).

Tabla 2. Cantidad y superficie de glaciares por vertiente.

Vertiente	Cantidad	Superficie (km²)
Atlántico	1,510	652.34
Pacífico	687	442.31
Titicaca	62	23.46
Total	2,259.00	1,118.11

Asimismo, se ha determinado el tipo de glaciar según la vertiente hidrográfica y podemos observar una clara predominancia de los glaciares limpios sobre los glaciares cubiertos por detritos (Figura 1).

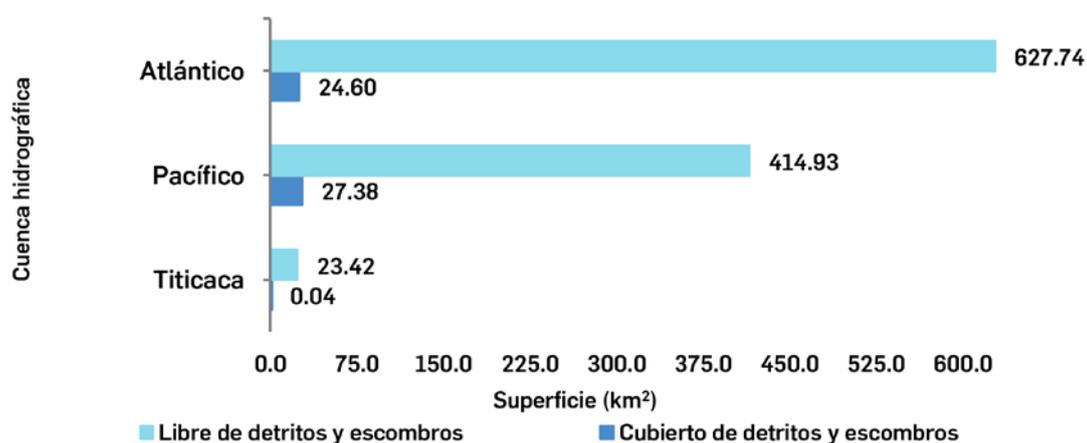


Figura 1. Tipo de superficie glaciar según vertiente hidrográfica.

Resultados por Departamento

Se han consolidado los resultados por departamento en la tabla 3. El departamento que concentra la mayor superficie glaciar es Ancash con 467.38 km² y es el segundo con mayor cantidad de glaciares (594), después de Cusco (827).



El departamento de Lima que concentra la mayor cantidad de población a nivel del Perú, con más de ocho millones de habitantes según el Censo de Población 2017 del INEI, concentra menos del 6% del área glaciar a nivel nacional, con una superficie de 62.22 km²

Tabla 3. Cantidad y superficie de los glaciares del Perú por departamento.

Departamento	Cantidad	Superficie (km ²)	Área glaciar (%)
Ancash	594	467.38	41.8
Apurímac	13	1.87	0.2
Arequipa	56	53.82	4.8
Cusco	827	362.11	32.4
Huancavelica	3	0.15	0.0
Huánuco	62	26.11	2.3
Junín	167	39.49	3.5
Lima	203	62.22	5.6
Pasco	60	14.22	1.3
Puno	274	90.74	8.1
Total	2259	1118.11	100

Resultados por Provincia

Se han consolidado los resultados por provincia en la tabla 4. La provincia con mayor cantidad y superficie glaciar es Quispicanchi en el departamento de Cusco, el mismo que concentra un 13% (145.07 km²) del total de superficie glaciar nacional, pero solamente tiene una población de menos de 88,000 habitantes, según el Censo de Población 2017 del INEI.

Las cuatro provincias que concentran la menor superficie glaciar a nivel nacional son Ambo y Pachitea (Huánuco), Huaura (Lima) y Huancavelica (Huancavelica), que representan tan solo el 0.02% del total nacional (0.25 km²), pero albergan a una población de más de 440,000 habitantes, según el Censo de Población 2017 del INEI.

Tabla 4. Cantidad y superficie de los glaciares del Perú por provincias.

Departamento/Provincia	Cantidad	Superficie (km ²)
Ancash	594	467.38
Bolognesi	52	21.00
Carhuaz	72	80.78
Corongo	12	0.58
Huaraz	94	72.87
Huari	54	35.32
Huaylas	121	87.05
Mariscal Luzuriaga	5	0.33

Departamento/Provincia	Cantidad	Superficie (km²)
Pomabamba	10	19.49
Recuay	67	20.81
Yungay	51	73.40
Asunción	56	55.75
Apurímac	13	1.87
Abancay	7	0.97
Antabamba	6	0.90
Arequipa	56	53.82
Castilla	15	20.99
Caylloma	15	4.96
Condesuyos	20	26.55
La Unión	6	1.32
Cusco	827	362.11
Anta	39	8.64
Calca	33	7.69
Canas	7	0.44
Canchis	116	86.23
Chumbivilcas	7	0.87
Paucartambo	14	5.66
Quispicanchi	239	145.07
Urubamba	81	14.98
La Convención	291	92.53
Huancavelica	3	0.15
Huancavelica	3	0.15
Huánuco	62	26.11
Ambo	1	0.01
Lauricocha	60	26.03
Pachitea	1	0.07
Junín	167	39.49
Huancayo	59	16.77
Jauja	24	7.03
Yauli	48	10.84
Concepción	36	4.85
Lima	203	62.22
Cajatambo	78	26.33
Canta	3	0.36
Huaral	5	0.72
Huaura	1	0.02
Yauyos	55	12.45
Oyón	28	8.65
Huarocharí	33	13.69
Pasco	60	14.22
Pasco	49	8.54
Daniel Alcides Carrión	11	5.68
Puno	274	90.74
Carabaya	160	47.15
Melgar	19	2.12
San Antonio de Putina	56	31.53
Sandia	39	9.94

Inventario Nacional de Lagunas

En los últimos años, los glaciares han perdido su superficie glaciar de manera acelerada en la mayoría de las cordilleras, llegando a perder hasta el 98% de su superficie glaciar en algunas cordilleras del sur del Perú (INAIGEM, 2018).

Esta pérdida glaciar repercute en las características de las lagunas, variando principalmente su tamaño y volumen, en algunos casos poniendo en riesgo a la población, los medios de vida y las demandas de agua, ya sea por aluviones o déficit hídrico. Los aluviones son frecuentes en la Cordillera Blanca de Ancash, con eventos donde el daño a la población y la economía han sido considerables, como en el caso del evento que sucedió en la ciudad de Yungay en el año 1970, donde se registró miles de pérdidas humanas.

La importancia del desarrollo del inventario de las lagunas de origen glaciar es tener información actualizada de la situación de las lagunas que se encuentran en zonas de montaña y que son fuentes importantes para las actividades económicas y el abastecimiento de recursos hídricos para la población. Además, a nivel nacional, este inventario es importante para la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH), tal como se encuentra en la política y estrategia nacional de recursos hídricos donde contempla la gestión de la cantidad de agua en cada cuenca hidrográfica (ANA, 2013). De esta manera, se puede incluir dicha fuente para mejorar la gestión y aprovechamiento del recurso hídrico de manera coordinada y equitativa, sin comprometer su sostenibilidad, proponiendo medidas o estrategias para su conservación con enfoque de cuenca, con la participación de todos los actores.

La información generada por el inventario se dirige a diversos actores: desde la población que debe conocer el estado de las lagunas y el impacto del retroceso glaciar, hasta las autoridades locales, regionales y nacionales, quienes deben tomar decisiones y buscar estrategias ante la variación de las características de las lagunas por el retroceso glaciar.

Área de Estudio

El inventario de lagunas se desarrolló en las zonas de montaña del Perú, donde se ha venido observando importantes fuentes del recurso hídrico para la población. Están distribuidas en el norte, centro y sur del Perú, en 20 cordilleras, 18 con cobertura glaciar (Blanca, Huallanca, Huayhuash, Raura, Huaytapallana, Chonta, Central, Chila, Ampato, Vilcabamba, Vilcanota, Apolobamba, Carabaya, La Raya, La Viuda, Urubamba, Huagoruncho y Huanzo) y 2 sin cobertura glaciar (Volcánica y Barroso).

Lagunas por Cordillera

Las lagunas de origen glaciar en las 20 cordilleras se distribuyen en el norte, centro y sur como se muestra en la Tabla 5.

Las cordilleras con mayor presencia de lagunas son Carabaya, Huaytapallana, Blanca, Central, La Viuda y Chonta, principalmente porque cubren mayor área a diferencia de las demás cordilleras.

Tabla 5. Cantidad de lagunas por cordillera.

N	Ubicación	Cordillera	Cantidad
1	Norte	Blanca	836
2		Huallanca	71
3		Huayhuash	101
4		Raura	177
5	Centro	La Viuda	772
6		Central	817
7		Huagoruncho	622
8		Huaytapallana	948
9		Chonta	708
10		Ampato	102
11		Vilcabamba	165
12		Urubamba	303
13	Sur	Huanzo	502
14		Chila	65
15		La Raya	203
16		Vilcanota	561
17		Carabaya	1337
18		Apolobamba	212
19		Volcánica	15
20		Barroso	60
		Total	8577

Lagunas por Departamento

Se han inventariado y caracterizado las lagunas de las 20 cordilleras, cuantificando en total 8,577 lagunas (Tabla 5), donde se observa la cantidad y superficie de lagunas por departamento. En algunos casos, se señala la superficie de lagunas que están entre los límites de dos departamentos (/). El departamento de Puno contiene la mayor cantidad de lagunas con 1,544, seguido del departamento de Junín con 1,443, Cusco con 1,294, Lima con 969 y Ancash con 924 lagunas (Tabla 6).

Tabla 2. Cantidad y área de lagunas por departamento.

Departamento	Cantidad	Superficie (Km ²)
Ancash	924	60.314
Ancash/Huánuco	1	0.122
Apurímac	199	8.467
Apurímac/Cusco	1	0.192
Arequipa	366	58.680
Ayacucho	132	59.512
Cusco	1,294	164.655
Cusco/Puno	1	0.011
Huancavelica	621	93.552
Huancavelica/Junín	2	0.146
Huánuco	446	42.180
Ica	1	0.044
Junín	1,443	133.886
Junín/Lima	1	0.007
Lima	969	81.233
Lima/Huancavelica	1	0.006
Lima/Junín	5	1.085
Moquegua	28	35.674
Pasco	571	97.991
Puno	1,544	163.834
Puno/Tacna	1	0.492
Tacna	26	20.213
Total	8,577.00	1,022.295

Conclusiones

Se ha desarrollado el inventario de lagunas de origen glaciar de las 20 cordilleras distribuidas en el norte, centro y sur del Perú, con imágenes satelitales Sentinel del año 2016, a una escala 1:25,000, inventariando en total 8,577 lagunas a nivel nacional.

El Inventario Nacional de Lagunas de Origen Glaciar, al igual que el Inventario Nacional de Glaciares, está disponible para todos los niveles de gobierno (nacional, regional y local) y la población, para fines de mejorar su gestión y conservación.

Investigaciones en Ancash

Balance de Masa del Glaciar Huillca

El INAIGEM como parte de sus actividades de investigación glaciológica ha realizado el monitoreo de los glaciares Huillca (Ancash) y Sullcón (Lima) durante el periodo de setiembre 2018 a setiembre 2019, correspondiente a un año hidrológico. Se han priorizado estos dos glaciares para realizar los balances de masa a nivel nacional, principalmente por la importancia hídrica que tienen.

Objetivos

- Determinar el balance de masa anual.
- Determinar la densidad en la zona de acumulación mediante la medición de los testigos de nieve para el control de la acumulación de masa glaciar.
- Determinar la fusión en la zona de ablación mediante la instalación y lectura de las balizas de madera para el control de la pérdida de masa glaciar.
- Desarrollar el levantamiento topográfico de la superficie y la zona frontal del glaciar.

Área de Estudio

El glaciar Huillca se ubica en la vertiente occidental de los Andes del Norte en la Cordillera Blanca, en la unidad hidrográfica del río Quitaracsa que forma parte de la cuenca del río Santa, con las coordenadas 77°35'54" longitud oeste y 8°50' 36" latitud sur. Políticamente, el glaciar se ubica en el departamento de Ancash, provincia de Huaylas, distrito de Yuracmarca.

El glaciar Huillca (Figura 2) aporta a la unidad hidrográfica del río Quitaracsa, cuyas aguas están usadas por la Central Hidroeléctrica de Quitaracsa para la generación de energía eléctrica para la red interconectada, y también para proyectos de agroexportación, tales como CHAVIMOCCHIC y CHINECAS que se localizan en la desembocadura de la cuenca del río Santa.

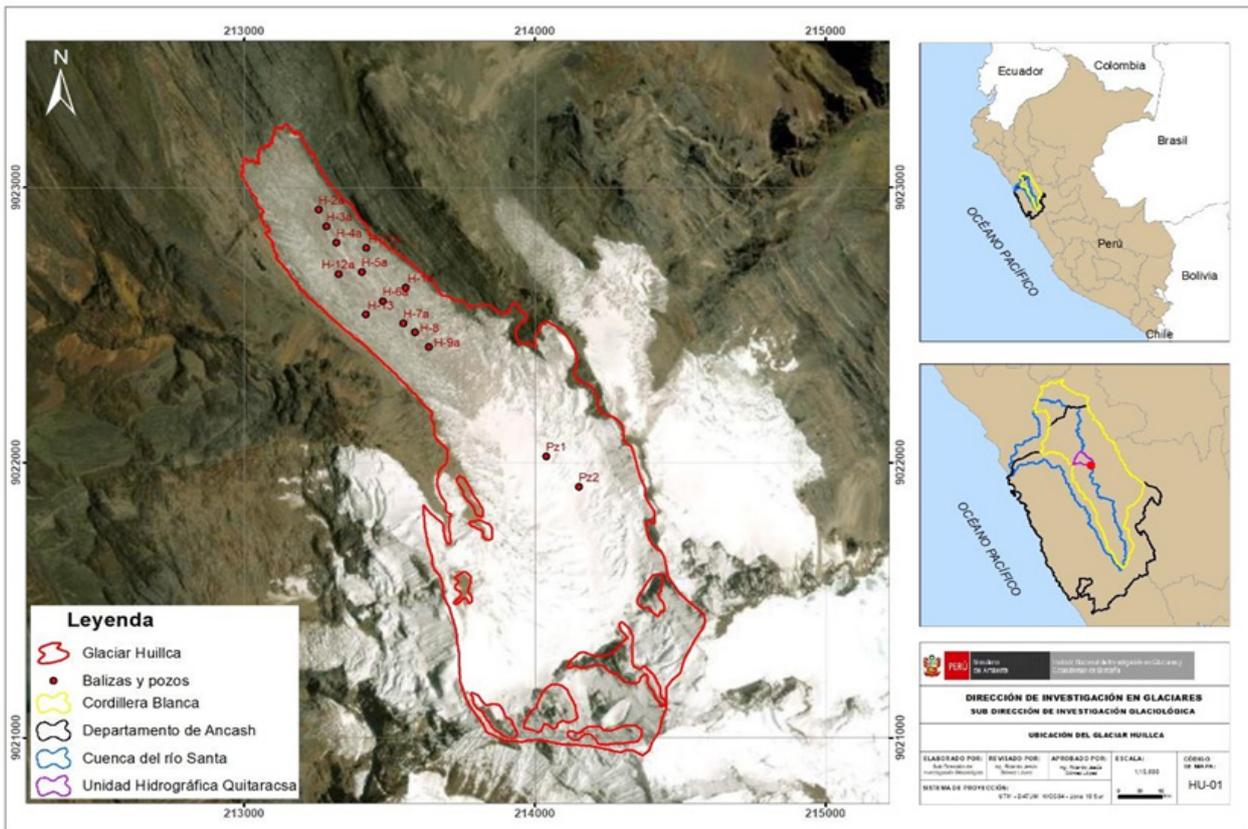


Figura 2. Ubicación del glaciar Huillca.

Retroceso Glaciar

En abril de 2016, el INAIGEM inicia el monitoreo glaciológico en este glaciar, ubicando el punto base para las mediciones del frente glaciar.

En la Figura 3 se aprecia que la variación acumulada año a año hasta el 2019 ha alcanzado un retroceso total acumulado de -49.94 m con respecto a su ubicación inicial en 2016.

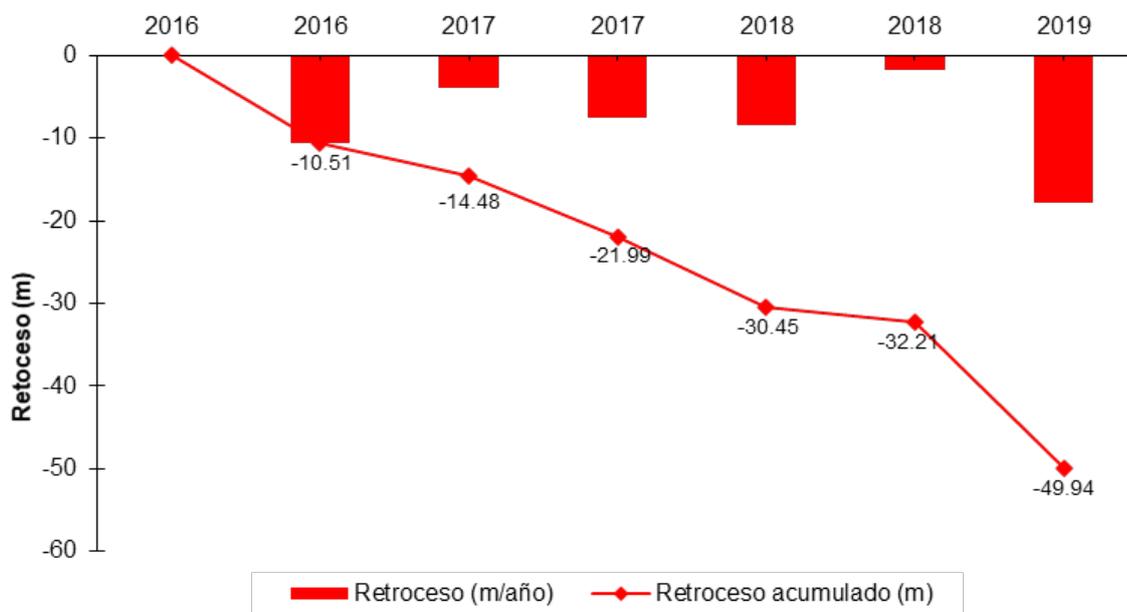


Figura 3. Evolución del frente glaciar de Huillca.

Medición de Acumulación

De los estudios de topografía e interpretación satelital, se determinó un área de la zona de acumulación de 879,060.4 m² en setiembre de 2019. Los análisis posteriores realizados en gabinete sobre los testigos de nieve permiten extrapolar y obtener un valor de equivalente de agua de 817 mm w.e., correspondiente a la zona de acumulación (Cuadro 5).

Cuadro 5. 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.)
5040 - 5860	879,060.4	817.0
Equivalente a 0.817 ton/m2 en la superficie		

Medición de Ablación

De los estudios de topografía, se determinó un área de la zona de ablación de 382,421.7 m² a setiembre de 2019. Los análisis posteriores sobre las mediciones de la red de balizas permiten obtener los valores de equivalente de agua (Cuadro 6).

Cuadro 6. Pérdida 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.)
4680 - 5040	382,421.7	-880.3
Equivalente a -0.88 ton/m2 en la superficie		

Balance neto específico por rango altitudinal

Para el balance neto calculado en el periodo anual (setiembre de 2018 a setiembre de 2019), se obtuvo un valor de -63.3 mm w.e. (Cuadro 7), equivalente a 0.06 toneladas de masa por cada metro cuadrado de la superficie. Este aporte de agua se dirige hacia la vertiente del Pacífico, a través de la cuenca del río Santa.

Cuadro 7. Balance estacional en milímetros de equivalente de agua.

Balance fusionado (mm w.e.)	Balance acumulado (mm w.e.)	Balance neto específico (mm w.e.)
-880.3	817.0	-63.3

Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA)

La altura de la línea de equilibrio ha sido determinada sobre los 5202.4 m s.n.m. (Figura 4). La ELA divide el glaciar en dos zonas: el 30% de la superficie se encuentra en la zona de ablación y el 70% se encuentra en el área de acumulación (Figura 5).

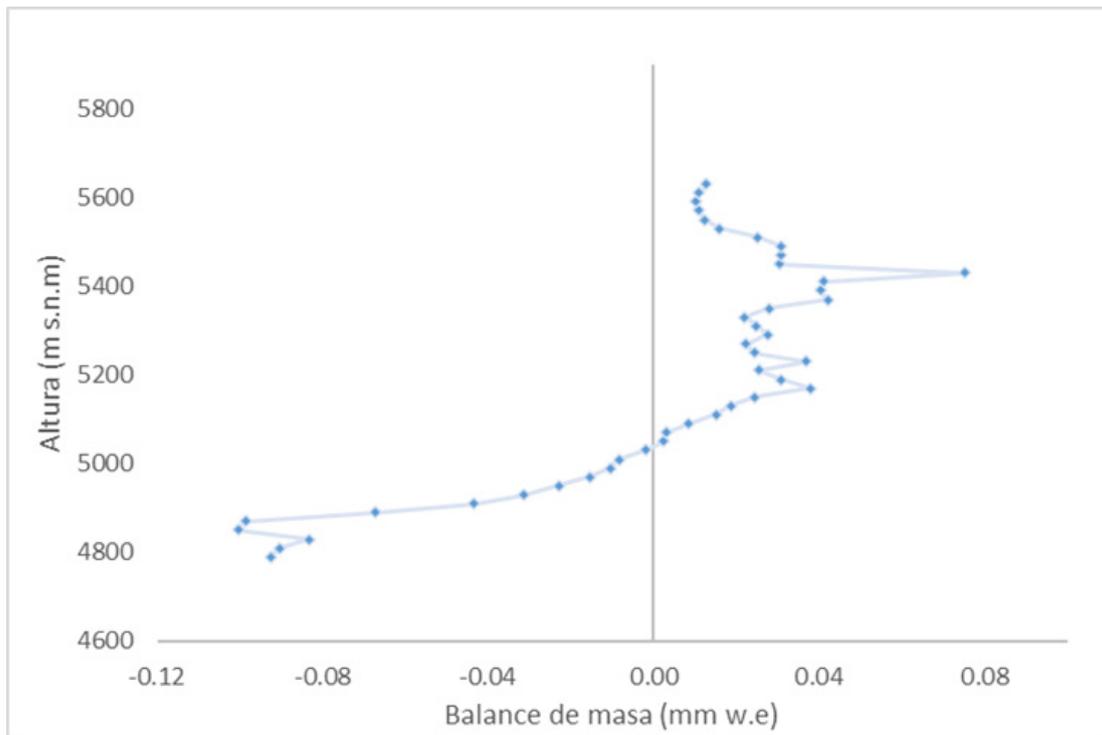


Figura 4. Balance en función de la altitud - ELA.

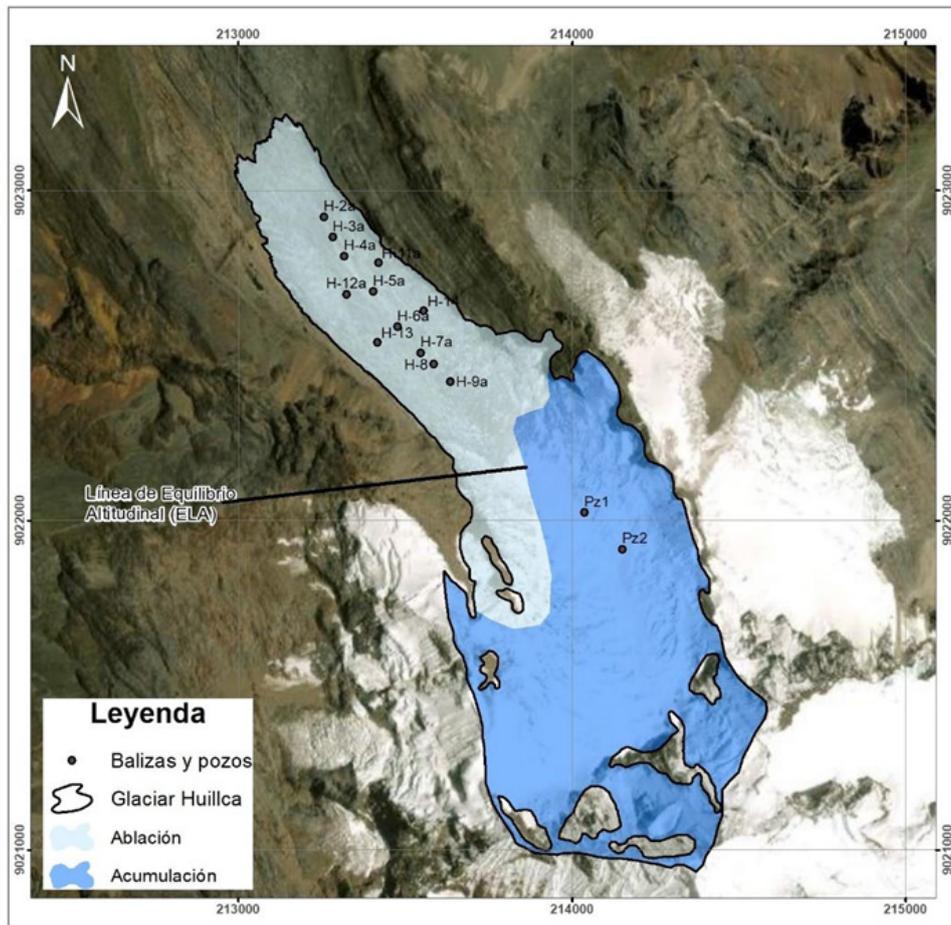


Figura 5. La zona de acumulación del glaciar Huillca (superficie azul).

Investigaciones en Lima

Balance de Masa del Glaciar Sullcón

Objetivos

- Determinar el balance de masa anual.
- Determinar la densidad en la zona de acumulación mediante la medición de los testigos de nieve para el control de la acumulación de masa glaciar.
- Determinar la fusión en la zona de ablación mediante la instalación y lectura de las balizas de madera para el control de la pérdida de masa glaciar.
- Desarrollar el levantamiento topográfico de la superficie y la zona frontal del glaciar.

Área de Estudio

El glaciar Sullcón (Figura 6) aporta agua a la cuenca del río Mantaro y a la cuenca del río Rímac. El monitoreo de este glaciar es importante porque las aguas provenientes del glaciar se almacenan en la presa Yuracmayo, de donde son reguladas hacia la cuenca del río Rímac, el cual abastece de agua a la ciudad de Lima. Además, en su camino a la presa, estas aguas están usadas por las poblaciones aledañas al río Rímac en diferentes actividades agropecuarias y de uso doméstico.

El glaciar se encuentra en la vertiente occidental de la Cordillera Central en la unidad hidrográfica del río Blanco que forma parte de la cuenca del río Rímac, en las coordenadas 76°3'24" longitud oeste y 11°53' 25" latitud sur. Políticamente, el glaciar se ubica en el departamento de Lima, provincia de Huarochirí, distrito de San Mateo.

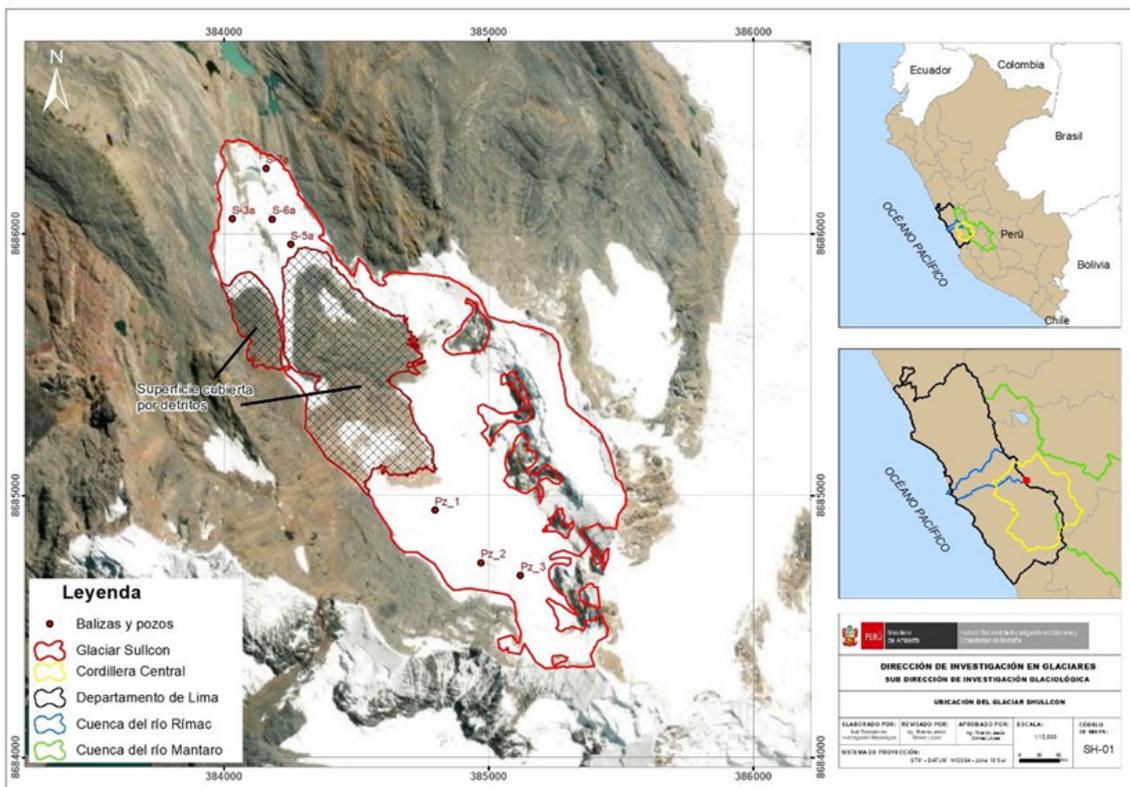


Figura 6. Ubicación del glaciar Sullcón.

Retroceso Glaciar

Las mediciones del frente glaciar se han realizado desde 2001 hasta 2012 a cargo de la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, mientras que el INAIGEM viene desarrollando esta actividad desde el 2016.

La Figura 7 muestra el retroceso del frente glaciar expresado en metros desde el año 2001 hasta el 2019. En esta figura se aprecia que en los años 2004 y 2016 se presentaron retrocesos más marcados (-47.35 y -73.23 m respectivamente) con respecto a otros años.

Asimismo, se observa el retroceso acumulado año a año del frente glaciar Sullcón desde el año 2001 hasta el año 2019, el cual ha alcanzado un retroceso total de -345.35 m con respecto a su ubicación inicial en 2001.

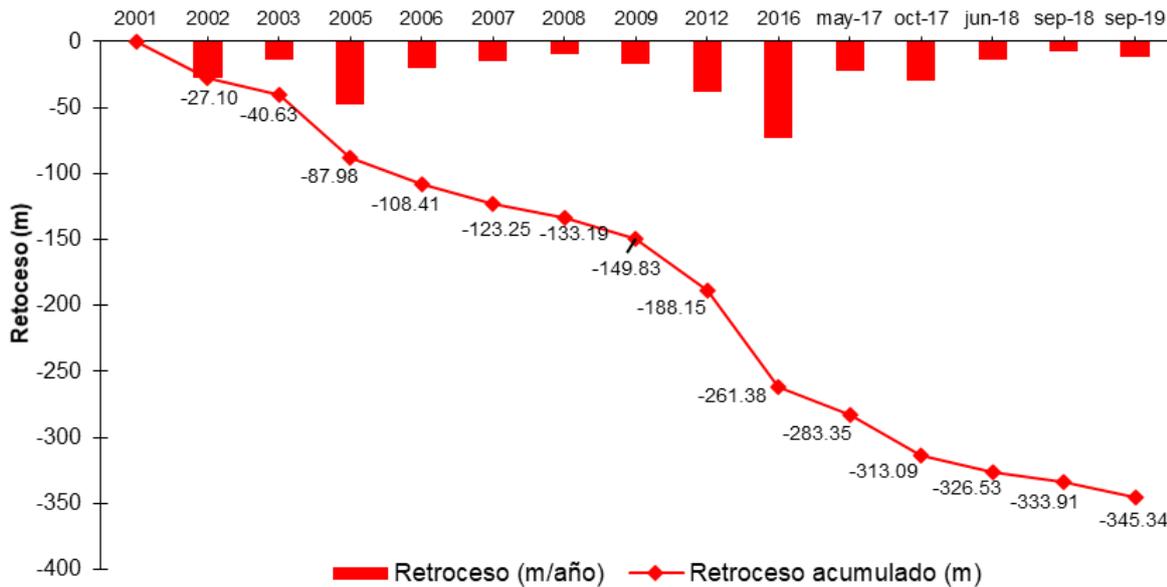


Figura 7. Evolución del frente glaciar de Sullcón.

Medición de Acumulación

De los estudios de topografía e interpretación satelital, se determinó un área de la zona de acumulación de 670,317.9 m² a setiembre de 2019. Los análisis posteriores realizados en gabinete sobre los testigos de nieve permiten extrapolar y obtener un valor de equivalente de agua de 431 mm w.e., correspondiente a la zona de acumulación (Cuadro 8).

Cuadro 8. Aporte de nieve y volumen acumulado en la zona de acumulación.

Rango de altitud (msnm)	Área (m ²)	Balace por rango altitudinal (mm w.e.)
5220 - 5640	670,317.9	431.0
Equivalente a 0.431 ton/m² en la superficie		

Medición de Ablación

De los estudios de topografía se determinó un área de la zona de ablación de 265,632 m² a setiembre de 2019. Los análisis posteriores sobre las mediciones de la red de balizas permiten obtener los valores de equivalente de agua (Cuadro 9).

Cuadro 9. Pérdida en volumen del proceso de fusión glaciar en la zona de ablación.

Rango de altitud (msnm)	Área (m ²)	Balance por rango altitudinal (mm w.e.)
4960 - 5220	265,632	-707.5
Equivalente a -0.71 ton/m² en la superficie		

Balance neto específico por rango altitudinal

Para el balance neto calculado en el periodo anual (octubre de 2018 a setiembre de 2019), se obtuvo un valor de -276.5 mm w.e. (Cuadro 10), equivalente a 0.27 toneladas de masa por cada metro cuadrado de la superficie. La mayor parte de este aporte de agua se dirige hacia la vertiente del Atlántico, dejando un caudal insignificante de aproximadamente 0.35 l/s hacia el Pacífico, el cual fluye hacia la cuenca del Rímac.

Cuadro 10. Balance estacional en milímetros de equivalente de agua.

Balance fusionado (mm w.e.)	Balance acumulado (mm w.e.)	Balance neto específico (mm w.e.)
-707.5	431.0	-276.5
Equivalente a -0.28 ton/m² en la superficie		

Línea de Equilibrio Altitudinal (ELA)

La altura de la línea de equilibrio ha sido determinada sobre los 5328.6 m s.n.m. (Figura 8). La ELA divide el glaciar en dos zonas: el 28% de la superficie se encuentra en la zona de ablación y el 72% se encuentra en el área de acumulación (Figura 9).

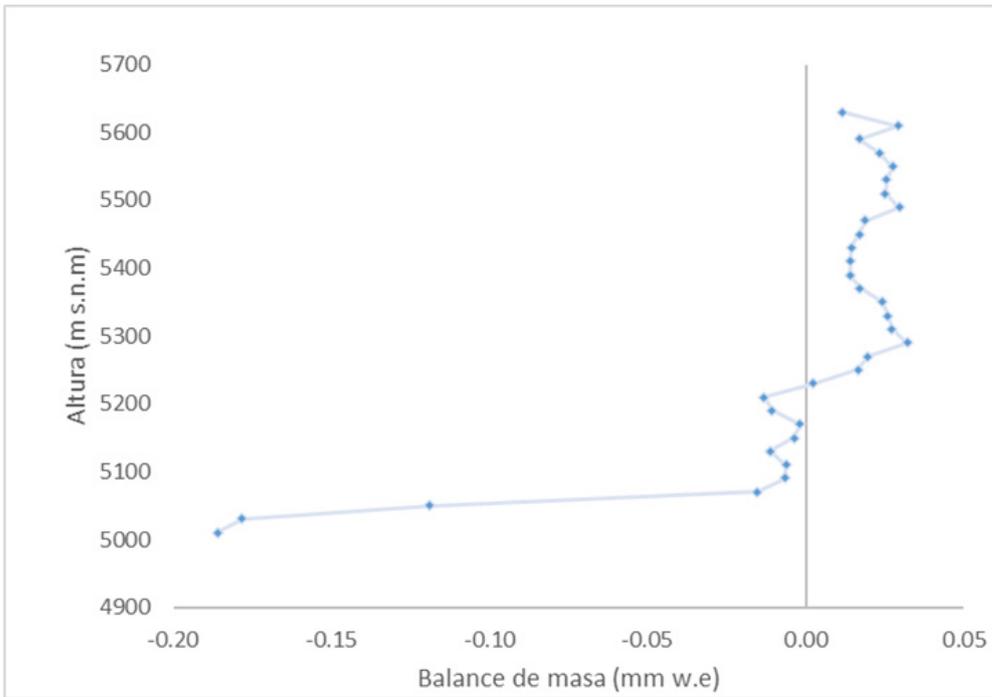


Figura 8. Balance en función de la altitud - ELA.

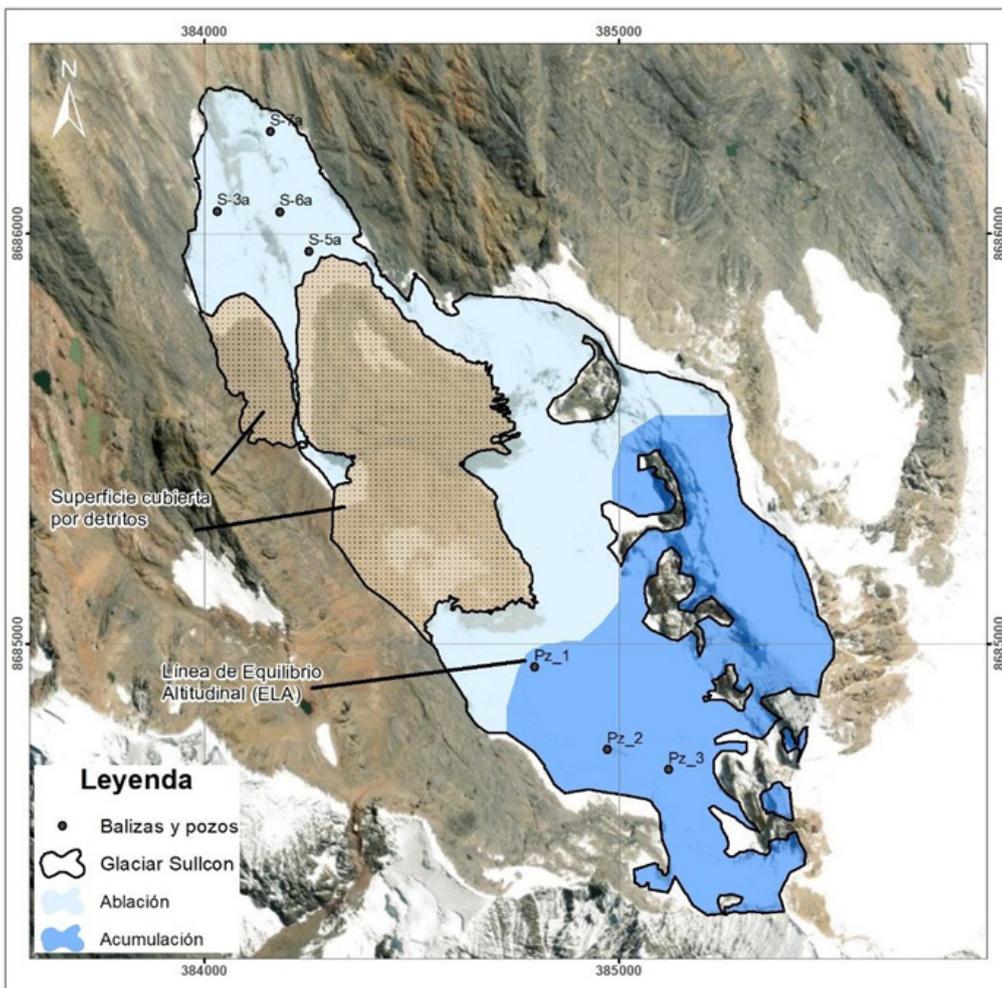


Figura 9. La zona de acumulación del glaciar Sullcón.

Proyección

Ambos glaciares, Sullcón y Huillca, seguirán siendo monitoreados por el equipo del INAIGEM con la finalidad de generar una base continua de datos que nos permitan entender la dinámica de los glaciares tropicales con los que cuenta el Perú. Los monitoreos se realizarán una vez por cada año hidrológico.

Retroceso Glaciar

Las mediciones del frente glaciar se han realizado desde 2001 hasta 2012 a cargo de la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, mientras que el INAIGEM viene desarrollando esta actividad desde el 2016.

Estudio de Carbono Negro

Objetivos

- Evaluar el transporte y la distribución espacial de metales pesados y carbono negro efectivo en la superficie del glaciar Artesonraju, Cordillera Blanca, en 2019.
- Determinar el mecanismo de transporte de carbono negro y metales pesados mediante el modelo HYSPLIT y una rosa de vientos en la superficie del glaciar Artesonraju, Cordillera Blanca, en 2019.

Se realizaron el análisis de carbono negro en el glaciar Artesonraju por encontrarse en la UH Parón-Llullán, la cual forma parte de las prioridades de estudio por INAIGEM, según la clasificación interna de cuencas priorizadas por el tema de riesgos asociados a glaciares. Por el tema presupuestal, se pudo realizar este muestreo y análisis tan solo por tres meses consecutivos.



|| ■ GESTIÓN DE RIESGOS DE ORIGEN GLACIAR



Nevado Huascarán

Foto: Joan Ramírez

II. GESTIÓN DE RIESGOS DE ORIGEN GLACIAR

Región Ancash

Cordillera Blanca

Situación de los Glaciares en la Cordillera Blanca

Para el año 2019, a fin de contribuir con la gestión del riesgo de desastres, así como conocer los niveles de riesgo en subcuencas glaciares y sus poblaciones expuestas, el INAIGEM ha desarrollado estudios sobre evaluaciones del riesgo por aluvión y por desembalse violento de lagunas de origen glaciar. Además, ha completado esta tarea con las evaluaciones del estado actual de las obras de seguridad construidas desde la década de los 50 en algunas lagunas de origen glaciar. Los resultados fueron socializados a las comunidades y otros actores involucrados mediante la realización de talleres. En la actualidad, se encuentra en curso el proceso de entrega de los resultados finales para ser considerados como instrumentos de gestión del riesgo de desastres por las autoridades correspondientes. Se realizaron evaluaciones in situ en las provincias de Huaylas, Yungay, Carhuaz y Recuay (Cotaparaco).

Se concluyeron el informe de evaluación del riesgo por aluvión de la parte baja de la subcuenca de origen glaciar Lullán-Parón (Huaylas) y los informes de evaluación del riesgo por desembalse violento de ocho lagunas de origen glaciar (Palcacocha, Tullpacocha, Cuchillcocha, Rajucolta, Parón, Artesoncocha, Arhuaycocha y Jatuncocha) con la finalidad de conocer el riesgo potencial y así tomar las medidas de prevención en el marco del Sistema Nacional de la Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) con calidad y oportunidad. De la misma forma, se está evaluando las obras de seguridad construidas en el pasado para conocer su estado actual y generar las recomendaciones del caso.

Evaluación sobre el estado actual de las obras de seguridad existentes en lagunas de origen glaciar

La Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares de la Dirección de Investigación en Glaciares del INAIGEM realiza estudios de gestión del riesgo de desastres asociados a glaciares, a fin de identificar y analizar riesgos y recomendar medidas de prevención y reducción del riesgo en los ámbitos de las subcuencas glaciares priorizadas a nivel nacional. De acuerdo con las actividades previstas en el Plan Operativo Institucional 2019, se realizó la evaluación de once (11) lagunas ubicadas en seis subcuencas de origen glaciar, haciendo una evaluación a nivel superficial del estado actual de las obras de seguridad y las condiciones geológicas y geotécnicas a nivel preliminar del entorno de la laguna para determinar si dichas lagunas representarían un peligro para las poblaciones e infraestructura ubicadas aguas abajo. La Tabla 3 muestra las obras de seguridad inspeccionadas y la evaluación de su condición.

Tabla 3. Situación actual de lagunas inspeccionadas en la Cordillera Blanca.

N°	Laguna	Cota (M S.N.M.)	Cuenca	Subcuenca	Provincia	Obras De Seguridad		Nivel De Peligrosidad Del Vaso De La Laguna
						Obras De Seguridad Existentes	Estado	
1	Ishinca	4960	Santa	Paltay	Huaraz	Dique De Tierra Revestido / Conducto Y Canal De Salida	Regular	Medio
2	Toclla	4648	Santa	Paltay	Huaraz	Tajo Abierto	Regular	Medio
3	Pacliash	4591	Santa	Paltay	Huaraz	Canal De Mampostería De Piedra	Regular	Medio
4	Llanganuco Alto	3833	Santa	Ranrahirca	Yungay	Tajo Abierto	Regular	Alto
5	Llanganuco Bajo	3833	Santa	Ranrahirca	Yungay	Canal De Mampostería De Piedra	Regular	Alto
6	Laguna 69	4595	Santa	Ranrahirca	Yungay	Tajo Abierto	Regular	Medio
7	Llaca	4431	Santa	Llaca	Huaraz	Dique De Tierra Revestido / Conducto Y Canal De Salida	Regular	Medio
8	Shallap	4262	Santa	Quillcay	Huaraz	Dique De Tierra Revestido / Conducto Y Canal De Salida	Regular	Medio
9	Mullaca	4593	Santa	Mullaca	Huaraz	Dique De Tierra Revestido / Conducto Y Canal De Salida	Regular	Medio
10	Rajucocha	4638	Santa	Los Cedros	Huaylas	Tajo Abierto	Regular - Malo	Alto
11	Cullicocha	4390	Santa	Los Cedros	Huaylas	Túnel De Descarga / Compuerta / Desarenador / Canal De Salida	Regular	Alto

Evaluación del riesgo por aluvión en la zona baja de la subcuenca Lullán-Parón, Huaylas, Ancash

El análisis de vulnerabilidad fue realizado a las poblaciones y viviendas, separadas de las estructuras, porque en el análisis de las poblaciones y viviendas se utilizan las dimensiones, social, física, económica y ambiental y en el de estructuras, solo se utiliza la dimensión física.

Se ha identificado los elementos expuestos conformados por 22,303 personas, 7,738 viviendas y 27 estructuras de importancia local, donde el peligro se califica en los niveles muy alto, alto, medio y bajo, de acuerdo al grado de exposición al peligro por aluvión.

En ese contexto, se determinó que, en el área de estudio, el 79.97% de las viviendas posee vulnerabilidad alta, el 15.74% de las viviendas tiene vulnerabilidad media y 4.29% vulnerabilidad baja; las estructuras, poseen 33.33% en vulnerabilidad muy alta, 29.63% en vulnerabilidad alta, 25.93% en vulnerabilidad media, y 11.11% vulnerabilidad baja.

En relación a los niveles de riesgo, se determinó en viviendas, el 33.94% presenta niveles de riesgo muy alto, el 16.39% presenta nivel de riesgo alto, 40.77% presenta nivel de riesgo medio y 8.9% riesgo bajo; en estructuras, los niveles de riesgo son de 29.63% muy alto, 3.71% alto, 33.33% riesgo medio y 33.33% bajo. (Fig. 10a)

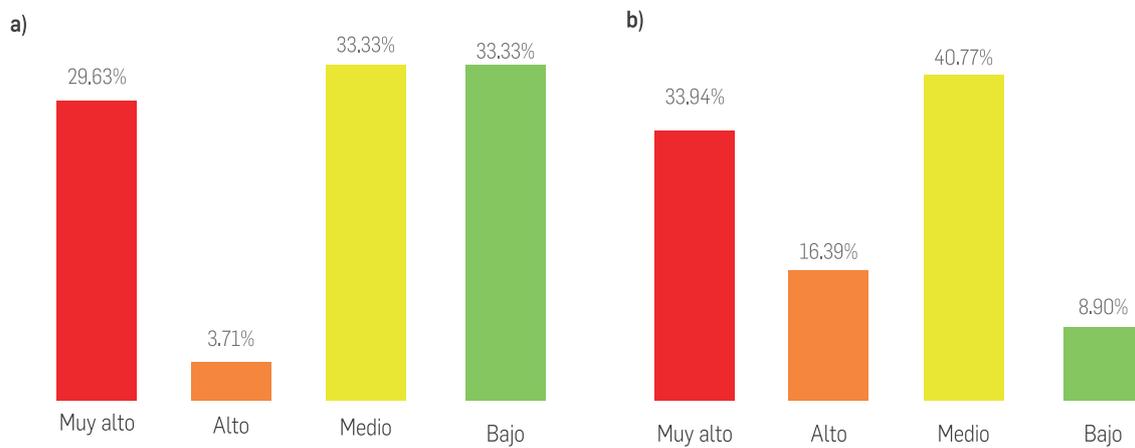


Figura 10a. Distribución porcentual del nivel de riesgo en: a) Estructuras b) Viviendas.



Ante un aluvión que afecte la parte baja de la subcuenca Lullán-Parón, los efectos o daños probables han sido estimados en S/. 387,047,086.11 soles, incluyendo los costos de afectación a las viviendas e infraestructuras. Para el cálculo de daños probables, se ha considerado la afectación de 7,738 viviendas con un costo de S/. 250,710,018.70 y 27 estructuras: vías pavimentadas: vías afirmadas y veredas con un costo de S/. 136,337,067.41. (Fig. 11a)

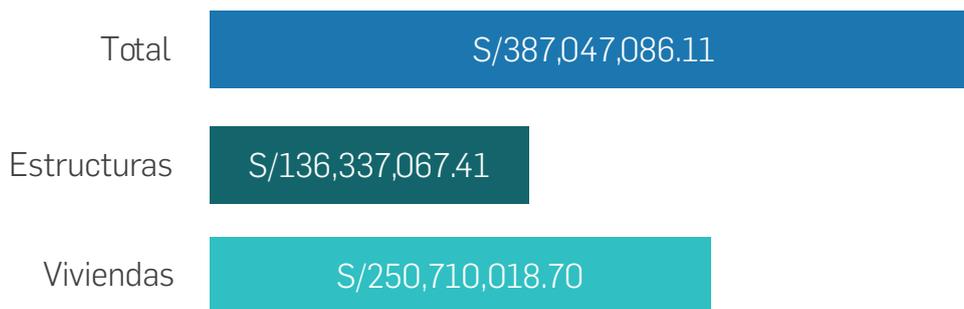


Figura 11a. Pérdidas económicas en estructuras y viviendas dentro de la llanura de inundación.

El cálculo del control de riesgos determina que, si el nivel de consecuencia y daños es Alto, el nivel de aceptabilidad y/o tolerancia indica que se deben desarrollar actividades INMEDIATAS y PRIORITARIAS para el manejo de riesgos y la prioridad de intervención sería Nivel II INACEPTABLE.

Por tanto, en las actuales condiciones del sitio, la evaluación del riesgo por aluvión en la parte baja de la subcuenca Lullán-Parón muestra que los niveles de riesgo son predominantemente Muy Alto y Alto para viviendas (50% del total), Muy Alto y Alto para estructuras (100%). Si bien el peligro también es Muy Alto y Alto dada las condiciones del territorio, la vulnerabilidad puede modificarse y reducirse mejorando las condiciones sociales, físicas, económicas y ambientales del territorio.

Evaluación del riesgo por desembalse violento de las lagunas Palcacocha, Cuchillacocha, Tullraju, Rajucolta, Parón, Artesoncocha, Arhuaycocha y Jatuncocha, Ancash

De acuerdo con los parámetros evaluados a lo largo de las subcuencas priorizadas, se identificó que, en las zonas altas de las subcuencas que albergan a las lagunas Palcacocha, Cuchillacocha, Tullparaju, Rajucolta, Parón, Artesoncocha, Arhuaycocha y Jatuncocha, predominan los niveles de peligro de Alto a Muy Alto, debido a las características físicas de los materiales que circundan dichas lagunas.

Se realizó la evaluación las ocho lagunas ubicadas en tres subcuencas de origen glaciar, realizando una evaluación a nivel superficial del estado actual de las obras de seguridad y las condiciones geológicas y geotécnicas, a nivel preliminar, del entorno de la laguna. Las obras de seguridad inspeccionadas en las lagunas se presentan en la Tabla 4.

En resumen, se realizó el análisis de vulnerabilidad de las lagunas sobre las estructuras físicas, en base a la dimensión física.



Se ha identificado en total 47 estructuras. Sobre los niveles de riesgo, se determinó que el 77% de las estructuras presentan niveles de riesgo Muy Alto, 19% riesgo Alto y 4% riesgo Medio. Ante el escenario de un desembalse violento que afecta las estructuras localizadas en dichas lagunas de origen glaciar, los efectos o daños probables han sido estimados en S/. 22,461,014.77 soles (Tabla), incluyendo los costos de afectación de las 47 estructuras.

De ese monto estimado, 26% corresponde a las estructuras localizadas en la laguna Palcacocha, 20% en la laguna Rajucolta, 14% en la laguna Parón, 14% en la laguna Cuchillacocha, 13% en la laguna Tullparaju, 12% en la laguna Jatuncocha y 1% en las lagunas Arhuaycocha y Artesoncocha.

El cálculo del control de riesgos determina que el nivel de consecuencia y daños es Alto, el nivel de aceptabilidad y/o tolerancia indica que se deben desarrollar actividades INMEDIATAS y PRIORITARIAS para el manejo de riesgos y la prioridad de intervención sería Nivel II INACEPTABLE.

Tabla 4. Elementos expuestos, su nivel de riesgo y costos estimados de daños.

N°	Laguna	Elementos Expuestos		Nivel de Riesgo	Costo Estimado (S/.)	Costo Total (S/.)
		Cantidad	Estructura			
1	Arhuaycocha	1	Canal de salida	Alto	165,000.00	165,000.00
		1	Canal de entrada	Alto	96,000.00	
2	Jatuncocha	1	Presa de tierra	Muy Alto	2,600,000.00	2,712,000.00
		1	Canal de salida	Alto	16,000.00	
3	Artesoncocha	1	Vertedero	Muy Alto	5,000.00	27,000.00
		1	Estación Hidrométrica	Alto	15,000.00	
		1	Canal de Salida	Muy Alto	7,000.00	
4	Parón	1	Túnel de Descarga	Muy Alto	1,147,500.00	3,051,960.00
		1	Ingreso a la sala de mandos + Sala de mandos	Muy Alto	1,000,000.00	
		1	Caseta de Control	Muy Alto	15,000.00	
		1	Rápida	Muy Alto	9,000.00	
		1	Canal de salida y transición	Muy Alto	8,000.00	
		1	Poza de Disipación de Energía	Medio	10,000.00	
		1	Vertedero	Muy Alto	4,000.00	
		1	Canal Complementario	Muy Alto	101,160.00	
5	Tullparaju	1	Casa Refugio - comunidad	Muy Alto	256,000.00	2,960,000.00
		1	Carretera	Muy Alto	210,000.00	
		1	Trocha	Muy Alto	51,100.00	
		1	Campamento	Muy Alto	240,200.00	
		1	Dique principal	Muy Alto	2,700,000.00	
6	Cuchillacocha	1	Canal aguas abajo	Muy Alto	70,000.00	3,171,000.00
		1	Canal aguas arriba + aletas de entrada	Muy Alto	20,000.00	
		1	Conducto cubierto / aguas arriba y aguas abajo	Muy Alto	170,000.00	
		1	Dique principal + Conducto cubierto	Muy Alto	3,150,000.00	
		1	Canal aguas abajo	Muy Alto	12,000.00	
		1	Canal aguas arriba	Muy Alto	9,000.00	

N°	Laguna	Elementos Expuestos		Nivel de Riesgo	Costo Estimado (S/.)	Costo Total (S/.)
		Cantidad	Estructura			
7	Rajucolta	1	Estación meteorológica	Alto	40,000.00	4,503,000.00
		1	Obra de toma	Alto	10,000.00	
		1	Rápida	Muy Alto	30,000.00	
		1	Caseta (zona de desfogue)	Muy Alto	185,000.00	
		1	Aliviadero (Creager)	Medio	240,000.00	
		1	Canal de salida	Muy Alto	30,000.00	
		1	Muro gavión	Alto	40,000.00	
		1	Presa de tierra / dique artificial	Alto	3,900,000.00	
		1	Casa / campamento	Alto	28,000.00	
8	Palcacocha	1	Dique Secundario	Muy Alto	2,811,649.15	5,871,054.77
		1	Dique principal	Muy Alto	2,839,201.29	
		1	Canal aguas abajo	Muy Alto	70,000.00	
		1	Canal aguas arriba	Muy Alto	9,000.00	
		1	Casa de vigilancia	Muy Alto	31,500.00	
		1	Casa n° 01	Muy Alto	25,838.55	
		1	Casa n° 02	Muy Alto	28,100.00	
		1	SAT_01	Muy Alto	25,838.55	
		1	SAT_02	Muy Alto	28,000.00	
		1	Caja de control 01	Muy Alto	642.41	
1	Caja de control 02	Muy Alto	642.41			
1	Caja de control 03	Muy Alto	642.41			
Total		47				22,461,014.77

Modelamiento de Avalanchas 2019

Objetivos

Monitorear la trayectoria de los bloques de glaciares colgantes, a través del modelamiento de avalanchas, permite aproximar y conocer las posibilidades existentes de desprendimiento y generación de posibles desastres como amenazas y detonantes de aluviones.

- Estimar la superficie, volumen, pendiente y espesor del bloque glaciar a desprenderse en la ocurrencia del desprendimiento.
- Modelar la trayectoria del bloque en el proceso de desprendimiento y conocer el potencial de destrucción.

Área de Estudio

Se han priorizado los estudios en las unidades hidrográficas (U.H.) Pariac-Rajucolta, Llullán-Parón y Río Blanco-Santa Cruz en la Cordillera Blanca, departamento de Ancash, determinadas por la Subdirección de Riesgos Asociados a Glaciares ante la necesidad de contribuir en la obtención de mapas de peligro.

Resultados

Los volúmenes y superficies estimados en los glaciares colgados con mayor probabilidad de desprendimiento son los siguientes:

- En la U.H. Pariac-Rajucolta se han identificado ocho glaciares con volúmenes superiores a 222,244,000 m³, superficies promedio a 9,000,000 m² y espesores que oscilan entre 23 a 54 m de profundidad. En Llullán-Parón, se han identificado cinco glaciares colgados con mayor probabilidad de desprendimiento con volúmenes superiores a 57,544,000 m³, superficies de 13,000,000 m² y espesores que oscilan entre 18 a 47 m de profundidad. En Río Blanco-Santa Cruz, se han identificado siete glaciares colgados con mayor probabilidad de desprendimiento con volúmenes superiores 587,479,000 m³, superficies promedio de 7,900,000 m² y espesores de entre 27 a 56 m de profundidad.
- En el modelamiento, se ha identificado que en U.H. Pariac-Rajucolta los glaciares colgados identificados tienen una pendiente superior a 26°. De los glaciares estudiados sólo tres podrían impactar en las lagunas generando oleajes anómalos y posibles desbordes. En la U.H. Llullán-Parón, los glaciares colgados tienen pendientes superiores a los 17° y en U.H. Río Blanco-Santa Cruz, los glaciares colgados tienen una pendiente superior a 27°. De los estudiados, tres llegarían a impactar en las lagunas en formación y las lagunas ya formadas, según cada caso.
- De los glaciares colgantes estudiados, se puede mencionar que se tiene mayor probabilidad de ocurrencia son los siguientes: para la U.H. Pariac-Rajucolta, se tienen los bloques 2 y 6; para la U.H. Llullán-Parón se tiene al bloque 1 y para la U.H. Río Blanco-Santa Cruz, se tiene el bloque 2. Sin embargo, hay otros factores que podrían acelerar el proceso en los otros bloques colgantes en cada unidad hidrográfica.

Sistema de Monitoreo Arhuaycocha

Teniendo en cuenta la existencia de la enorme cantidad de lagunas peligrosas ubicadas a lo largo de la cadena montañosa de los Andes peruanos, el INAIGEM ha continuado con el monitoreo de algunas de dichas lagunas. En diciembre de 2019, en coordinación con las autoridades de la subcuenca Santa Cruz, provincia de Huaylas, se logró implementar un sistema de monitoreo en tiempo real conformado por nodos de comunicación distribuidos a lo largo de la subcuenca (Figura 12). La Municipalidad de Santa Cruz tiene una sala de control implementada con equipos informáticos y un operador de radio que se encarga de informar a la población diariamente el estado situacional de la laguna.



Figura 12. Ubicación geográfica de los nodos de comunicación.
Subcuenca Santa Cruz - Callejón de Huaylas – Ancash.

Instalación de una estación meteorológica automática (EMA) con sistema de transmisión en tiempo real en la laguna Palcacocha, provincia de Huaraz, departamento de Ancash

Se adquirió e instaló una estación meteorológica automática (EMA) con transmisión en tiempo real en la morrena lateral de la laguna Palcacocha, cuyos datos pueden ser visualizados en la web de INAIGEM (Figura 13). La estación registra las variables de temperatura, humedad relativa, precipitación, radiación solar, índice de radiación UV, presión barométrica, velocidad y dirección del viento.



Figura 13. Estación meteorológica automática instalada en la morrena lateral de la laguna Palcacocha, Huaraz, Ancash.

Región Puno – Cordillera Apolobamba

Evaluación del Riesgo en la Subcuenca Huari Huari

En el área de glaciares de la Oficina Desconcentrada de la Macro Región del Sur (ODMRS), damos especial importancia al proceso de la evaluación de riesgos por peligros de origen glaciar. Es así que durante el año 2019 se realizaron actividades que consisten en la recolección de información geológica y topográfica (alta resolución) con la finalidad de obtener un instrumento para la gestión del riesgo en la subcuenca Huari Huari, lugar donde se tiene identificado lagunas con peligro potencial de desborde por avalanchas de hielo y roca.

Inspección de la Laguna Chojñacota

A solicitud del alcalde del distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina de la región Puno, la ODMRS asistió con un especialista para la inspección multisectorial a consecuencia del desborde de la laguna Chojñacota como producto de un drenaje subglaciar. Este evento se originó en los glaciares ubicados en la zona alta, en territorio boliviano específicamente, según el informe detallado de la descripción del evento, el mismo que fue entregado a la autoridad distrital en mención y al Centro de Operación de Emergencias Regional Puno.





Nevado Chacaraju

Foto: Santiago Martel





PROYECTOS
DE INVESTIGACIÓN

Taller Proyecto PERÚ GROWS*

Foto: Joan Ramírez

III. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Expedición Huascarán

La expedición duró del 9 al 18 de julio 2019, el objetivo principal fue salvar información climática atrapada en el hielo del nevado Huascarán para saber qué pasó en los Andes Tropicales en los últimos 20,000 años. También, se podrá entender con qué velocidad se están derritiendo nuestros nevados y glaciares.

El INAIGEM junto con la Universidad Estatal de Ohio realizó dicha expedición. Esta fue encabezada por el glaciólogo estadounidense Dr. Lonnie Thompson, quien estudia los glaciares de todos los continentes, así como de científicos rusos, italianos, franceses, mexicanos y estadounidenses. Por parte del INAIGEM participaron tres científicos peruanos, Óscar Vilca (quien subió hasta la cumbre), Edwin Loarte y Alexander Santiago.

Se extrajeron cuatro muestras de núcleo de hielo para realizar estudios del comportamiento del clima y fenómenos del cambio climático. Dos fueron de 170 metros de largo del col (también llamado "la garganta") y dos de 70 metros de la cima de la cumbre sur. Todas las muestras fueron almacenadas en 480 contenedores especiales, transportadas a Lima por vía aérea y enviadas inmediatamente a la Universidad Estatal de Ohio, EE.UU. Se realizarán análisis sobre biodiversidad de la Amazonía, química, atmosférica, temperatura y precipitación de los últimos 20,000 años. Estos estudios ayudarán a prevenir futuras amenazas por el deshielo de glaciares y adoptar políticas públicas que permitan una adecuada adaptación a los fenómenos del cambio climático.

Proyecto PerúGROWS

(Peruvian Glacier Retreat and Its Impact on Water Security)

Objetivos

Mejorar la resiliencia de las comunidades y ecosistemas andinos en el Perú por la inseguridad hídrica generado por cambios en los glaciares y el clima.

Donde también se pretende:

- Desarrollar un mapa de línea base socio-económico y de estado de los recursos hídricos en las cuencas de estudio, identificando la dependencia de los ecosistemas, producción agrícola, seguridad alimentaria, producción de energía y vulnerabilidad socio-ecológica sobre el régimen hidrológico.
- Cuantificar cómo el volumen y caudal proveniente de los glaciares cambiará en el futuro y proyectar los impactos sobre la disponibilidad estacional del agua, a través de un mejor entendimiento de los procesos que controlan el balance de masa y flujos de derretimiento glaciar en respuesta al cambio climático y variabilidad climática en el Perú.
- Modelar los impactos de los cambios proyectados en el régimen hidrológico sobre los ecosistemas, agricultura, seguridad alimentaria, producción energética y vulnerabilidad socio-ecológica.
- Generar estrategias de adaptación y mitigación robustas con respecto a la escasez de agua que promuevan la reducción de la pobreza, la distribución equitativa y el crecimiento poblacional.

Área de Estudio

El proyecto se desarrollará en el ámbito de la cuenca del río Santa, Ancash. Teniendo como áreas de estudio las unidades hidrográficas de Llullán (Huaylas), Quillcay (Huaraz) y Yanayacu (Cátac), zonas donde se posee mayor

disponibilidad de información. La generación de información a más detalle será de mayor utilidad y, además, las áreas se ubican representativamente a lo largo de la cuenca alta del río Santa.

Resultados

Mapeo y caracterización de actores

En la unidad hidrográfica Lullán, se ha trabajado con dirigentes de la comunidad Cruz de Mayo y autoridades de la Municipalidad de Huaylas. En la unidad hidrográfica Quillcay, se ha trabajado con algunos actores y dirigentes comunales, así mismo con entidades que ven el recurso hídrico en la ciudad de Huaraz. Finalmente, en la unidad hidrográfica Yanayacu, se han desarrollado talleres con la comunidad y se ha tenido buen recibimiento por parte de las autoridades de la Municipalidad de Cátac, quienes están muy prestos a apoyar y participar activamente del proyecto.

Procesamiento de información de clima, demandas y vulnerabilidad

En esta tarea se ha obtenido la información de la demanda hídrica. En la parte climática se tiene data de estaciones terrestres que se están depurando y homogeneizando. También, se están preparando los modelos para generar data especializada de los diferentes parámetros como temperatura y precipitación, parámetros que permitirán entender la variabilidad en los recursos hídricos de las zonas de estudio y, así, obtener un mejor control en la seguridad hídrica en la cuenca.

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 y cuya contribución de agua dulce es probable que aumente en el futuro a medida que los glaciares desaparezcan y/o se retiren hacia elevaciones superiores en respuesta al cambio climático en curso.

Objetivos

- Identificar la distribución espacio temporal de permafrost en el Perú, adaptando o aplicando modelos matemáticos, usando imágenes satelitales y variables climáticas.
- Generar una base geoespacial donde se pueda visualizar su distribución y formas del permafrost en el Perú y los datos asociados a este y ser de utilidad para los tomadores de decisiones.

Área de Estudio

El modelamiento de la distribución de permafrost se desarrollará en el ámbito de las cordilleras glaciares del Perú, realizando trabajos de campo en el glaciar de roca San Félix (distrito de Chachas, provincia de Castilla, departamento de Arequipa) y en la quebrada Quillcayhuanca (distrito y provincia de Huaraz) y en el glaciar cubierto Kinzl (distrito y provincia de Yungay), los dos últimos en el departamento de Ancash. La elección de los lugares de trabajo estuvo basada en la presencia de glaciares de roca (San Félix), glaciares cubiertos (Kinzl) o en su defecto a que se contaba con una estación meteorológica convencional próxima que permitiera la validación de la data colectada por el prototipo (Quillcayhuanca).

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. Esto ha ayudado a producir numerosas lagunas de origen glaciar de gran volumen, muchas de las cuales son represadas por depósitos morrénicos de inestabilidad potencial. Las inundaciones por desbordamiento violento de lagunas de origen glaciar (GLOF - Glacial Lake Outburst Flood) representan un peligro significativo para las poblaciones, infraestructuras y medios de vida. Consecuentemente, es necesario conocer el nivel del riesgo y los impactos al cual están expuestas.

Antártida – Proyecto Pant_Bioglaciar

Proyecto: Aporte social, económico y ambiental en la conservación y pérdida de la Biodiversidad marina por el retroceso GLACIAR en la Península ANTártica (PANT_ BIOGLACIAR).

Tenía como objetivo principal conocer el impacto social, económico y ambiental a consecuencia del retroceso glaciar sobre la biodiversidad marina y lacustre en la península Antártica. Se sustenta en que durante años se ha desarrollado investigación de forma individual en distintos temas, pero no de manera integral, teniendo como objetivo la conservación de la biodiversidad (población más vulnerable). En muchas investigaciones se ha recomendado realizar estudios que vinculen aspectos glaciológicos con biodiversidad, pero no ha surtido efecto.

Durante la presente campaña antártica ANTAR XXVI (2019), el INAIGEM desarrolló en el marco del proyecto actividades para obtener información de los líquenes antárticos, carbono negro, fotogrametría terrestre glaciar, dinámica glaciar con espesor de hielo en el Znosko, isotopía de oxígeno e hidrógeno en nieve del glaciar Znosko. Esto es la primera parte de las temáticas a estudiar durante la duración del proyecto.

Resultados preliminares:

1. En cuanto a los trabajos fotogramétricos, se logró registrar 3571 fotografías de la superficie glaciar Znosko y superficies de la parte colindante.
2. Se registró información con GPS diferencial de seis puntos de control para el ajuste de la información fotogramétrica.
3. Se recabó la data de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento de cinco puntos distribuidos sobre el glacir, empleando el equipo meteorológico compacto (Kestrel).
4. Se obtuvieron 12 muestras de algas en Punta Crepín para análisis de clorofila.
5. Se obtuvieron cuatro muestras de agua de nieve sobre el glaciar Znosko para poder analizar isótopos de oxígeno e hidrógeno.
6. Se obtuvo una muestra de 4.5 m de sedimentos de fondo glaciar de la Bahía Almirantazgo.

Proyecto Pant_Bioglaciar (Aporte Social, Económico y Ambiental en la Conservación y Pérdida de la Biodiversidad Marina-Lacustre por el Retroceso Glaciar)

Objetivos

Conocer el impacto social, económico y ambiental del retroceso glaciar en la biodiversidad marino-lacustre para proponer la aplicación de los resultados para la sostenibilidad ambiental y desarrollo social.

Área de Estudio

Este proyecto tiene intervención en dos ámbitos, uno en los Andes y otro en la Antártida. En el primero se ubica específicamente en la quebrada Shallap, en la subcuenca Quillcay y el segundo ámbito de intervención está ubicado en la Isla Rey Jorge de la Península Antártica.

Identificación de organismos biorremediadores (ámbito: Cordillera Blanca)

Reconociendo que la pérdida de calidad de agua por acumulación de metales pesados es un proceso favorecido por el cambio climático, en agosto del 2019 se inició una tesis de pregrado llamada "Evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies altoandinas asistidas con biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayhuanca, Ancash", que busca identificar especies de plantas nativas que tienen capacidad fitorremediadora, es decir, que acumulan metales pesados y pueden ayudar a descontaminar el agua y suelo.

Investigación de pastos nativos potencialmente tolerantes a heladas

Evaluación de pastos tolerantes a heladas

El primer informe muestra los resultados obtenidos de la evaluación de la tolerancia ante las heladas de tres especies de pastos deseables para el ganado. La selección de especies se realizó en el trimestre anterior, usando como base el conocimiento tradicional de los pastores de la comunidad de Cátac. La evaluación de campo se realizó en el CICTEM.

Listado de Proyectos de Tesistas

Proyecto PerúGROWS

Influencia del gradiente de cobertura glaciar de la Cordillera Blanca en la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos, 2019-2020

Tesista de postgrado: Edson Desciomar Palacios Robles

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz

Demanda hídrica de la cuenca alta del río Santa, mediante la aplicación de una propuesta

Tesista de pregrado: Gonzalo Pablo Galarza Peña

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima

Efecto del cambio climático en la oferta de agua en las unidades hidrográficas Yanayacu y Utcuyacu para la gestión de recursos hídricos, Ancash, Perú

Tesista de pregrado: Reynner Raymundo Flores Estrada

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima

Influencia de variables climáticas en el balance de masa glaciar en la Cordillera Blanca – Perú, 1962 – 2020

Tesista de pregrado: Edy Peter León Chávez

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz

Proyecto Permafrost

Línea de congelamiento como probable límite de la extensión del permafrost y su relación con la cobertura de nieve en la Cordillera de los Andes del Perú, 2019

Tesista de pregrado: Hairo Alexander León Dextre

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz

Desarrollo y validación de prototipo de estación meteorológica de bajo costo para factores climáticos en zonas de alta montaña

Tesista de pregrado: Jean Pol Juniors Luján León

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Federico Villareal, Lima

Tecnologías de información geográfica para determinar la dinámica de los glaciares de roca como formas de permafrost en los Andes tropicales del Perú

Tesista de pregrado: Edwin Noé Badillo Rivera

Universidad de procedencia: Universidad Nacional del Callao, Lima

Modelamiento espacio temporal del permafrost en el Perú, 2017-2019

Tesista de postgrado: Eduardo Emer Villavicencio Guillen

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima

Implementación de un vehículo aéreo no tripulado de ala fija con despegue y aterrizaje verticales aplicando control óptimo con sensores para el estudio del permafrost en las zonas altoandinas del Perú

Tesista de pregrado: Ericsson Lorgio López Vega

Universidad de procedencia: Universidad Nacional de Ingeniería, Lima

Proyecto Pant_Bioglaciar

Influencia de la variabilidad climática en la concentración de los isótopos ^{18}O y 2H y metales Al, Cd, Pb, Zn, As, Cu, Hg, Mo en el ámbito del glaciar Artesonraju de la Cordillera Blanca en los últimos 10 años, Ancash-2019

Tesista de pregrado: Lihan Hoyos Zarzosa

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz

Estandarización y evaluación de una metodología basada en código de barras de ADN para la identificación de líquenes de la Isla Rey Jorge, Antártica

Tesista de pregrado: Renato Daniel La Torre Ramírez

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima

Los líquenes como bioindicadores de presencia de metales pesados en los glaciares andinos: Experiencia en la Cordillera Blanca, Ancash-Perú

Tesista de pregrado: José Arroyo Sánchez

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima

Transporte y distribución espacial de metales pesados y carbono negro efectivo en la superficie del glaciar Artesonraju, Cordillera Blanca 2019

Tesista de pregrado: Fiorella Yesenia Quiñonez Collas

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz

Impacto del ENSO en el retroceso glaciar en la Cordillera Blanca y la isla Rey Jorge (Península Antártica)

Tesista de posgrado: Ibeth Celia Rojas Macedo

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima

Valorización de servicios ecosistémicos en la unidad hidrográfica de Quillcay en el Departamento de Ancash, 2019

Tesista de pregrado: Christian G. García Rojas

Universidad de procedencia: Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa

Tesistas en la DIGC

Detección de avalanchas en secuencias de video mediante aprendizaje profundo: Caso de estudio laguna Palcacocha

Tesista de pregrado: Milwart Calizaya Bobadilla

Universidad de procedencia: Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa

Sistema de monitoreo nocturno de bajo costo para la detección de avalanchas que impacten a

la laguna pro-glaciar Palcacocha, usando sensores acústicos y algoritmos de inteligencia artificial

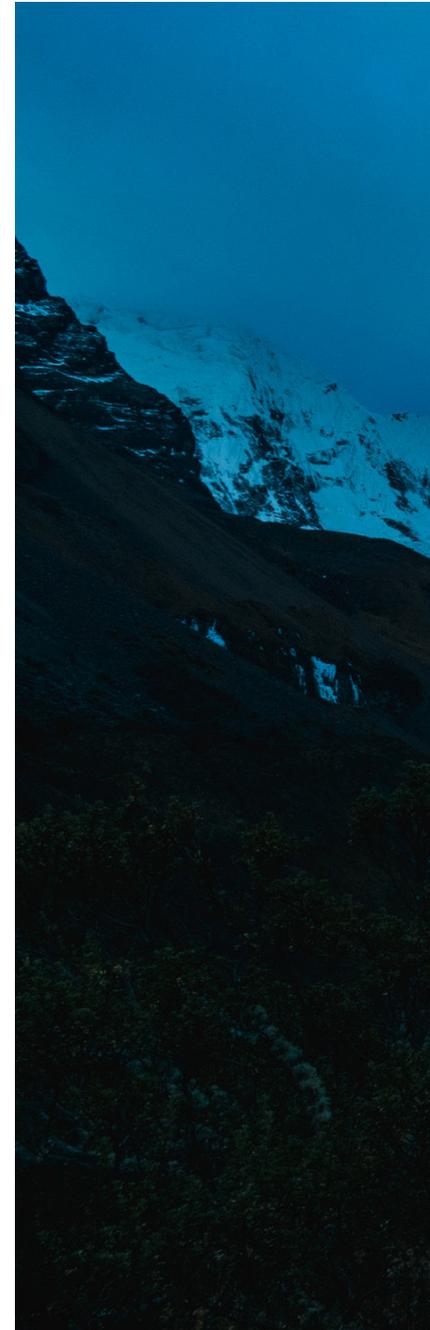
Tesista de pregrado: Kimberly Grace Sevillano Colina

Universidad de procedencia: Universidad Nacional de Ingeniería, Lima

Impacto climático sobre el glaciar Sullcón, ubicado en la cuenca del río Rímac, usando sensoramiento remoto

Tesista de pregrado: Susan Lelia Coaguila Agurto

Universidad de procedencia: Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima





Laguna Tullpacocha y glaciar Tullparaju

Foto: Santiago Martel



IV. ECOSISTEMAS DE MONTAÑA



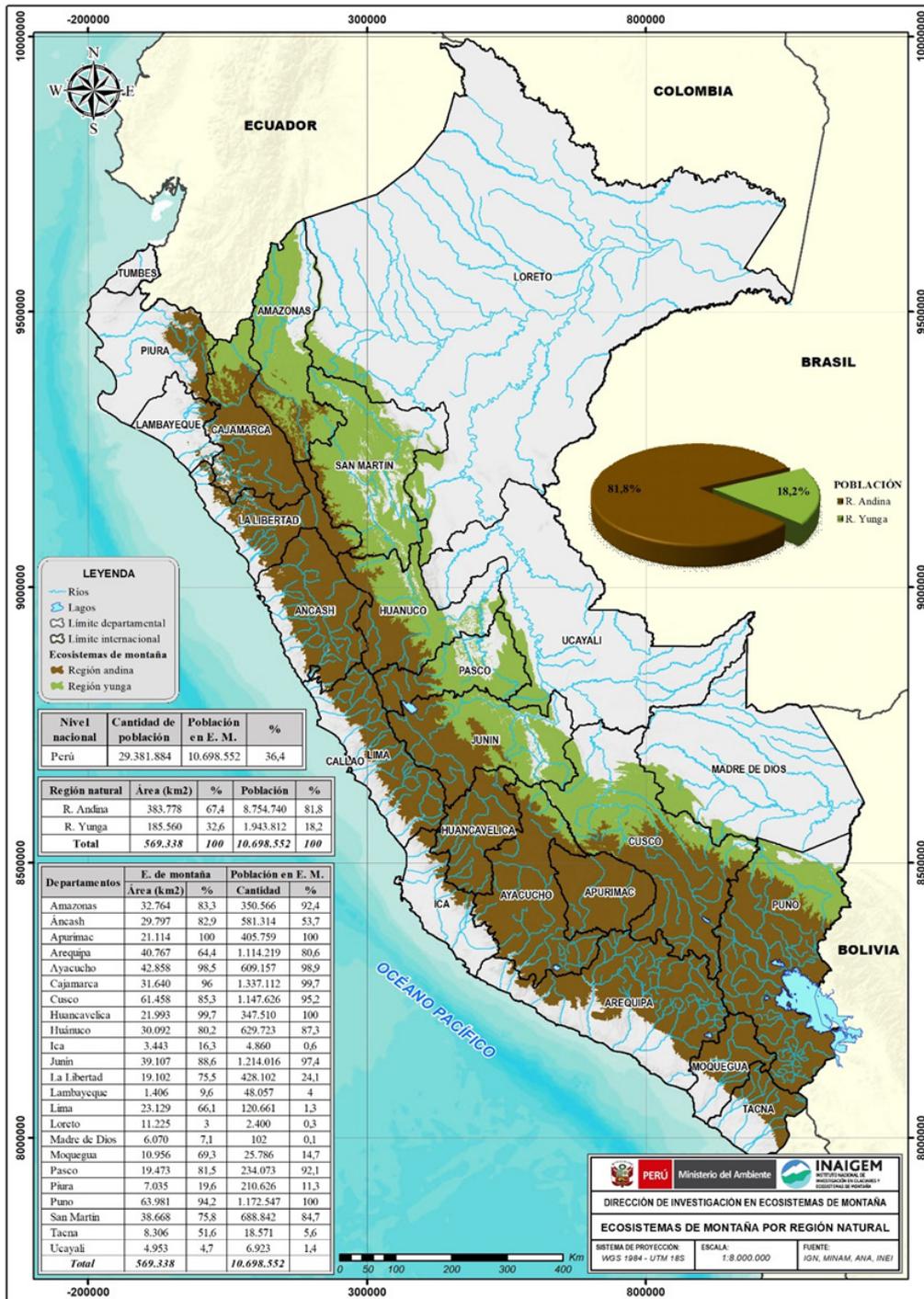
Quebrada Quillcayhuanca

Foto: Joan Ramírez

IV. ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Ámbito de Trabajo

El ámbito de trabajo del INAIGEM ha sido definido con base en el Mapa de Ecosistemas publicado por el MINAM en el 2018, incluyendo tanto a la vertiente occidental como la oriental de la Cordillera de los Andes, es decir las regiones Andina y Yungas, respectivamente. Esto representa el 44% de la superficie nacional, y alberga el 36.4% de la población (10,693,007 habitantes) según los datos del censo del INEI de 2017 (Mapa 1).



Mapa 1. Población que habita en el ámbito de los glaciares y ecosistemas de montaña.

Durante el 2019, el ámbito de trabajo de la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña, a nivel nacional, abarcó cuatro departamentos: Áncash, Cusco, Arequipa y Puno (Mapa 2). En el Departamento de Áncash, las actividades son desarrolladas por los profesionales que trabajan en la DIEM de la sede central del INAIGEM en Huaraz, cuyos avances son presentados en adelante. Mientras que las acciones desplegadas en el sur del país se atienden con las capacidades técnica-operativas de los profesionales de la Oficina Desconcentrada de la Macro Región del Sur (ODMRS), con el apoyo y asesoría técnica del personal de la sede central.



Mapa 2. Ámbito de trabajo de la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña.

En el caso del departamento de Ancash, se trabaja en nueve distritos, lo que representa una población beneficiaria de 313,646 habitantes que se encuentra directamente vinculada a nuestros trabajos. En el caso de la Oficina Desconcentrada Macro Región Sur (ODMRS), ubicada en Cusco, se trabaja en cuatro provincias distintas de los departamentos de Cusco (Chinchero y Marangani), Arequipa (Viraco) y Puno (Sina). Haciendo la relación entre unidades hidrológicas (UH) y los distritos en que se ubican, se estima un total de 23,271 pobladores beneficiarios.

En la Dirección de Ecosistemas de Montaña (DIEM) se han definido seis líneas prioritarias de investigación:

1. **Evaluación integral de riesgos:** Se refiere a la generación de instrumentos que fortalezcan los procesos de evaluación y gestión de riesgos en el ámbito de los ecosistemas de montaña.
2. **Adaptación al cambio climático:** Se refiere a la identificación de estrategias que permitan adaptarnos a las condiciones que generará el cambio climático en el ámbito de los ecosistemas de montaña.
3. **Evaluación de socio-ecosistemas de montaña:** Se refiere a caracterizar las condiciones ecológicas que aseguran el funcionamiento de los ecosistemas de montaña; y a partir de ello, se espera identificar indicadores para la evaluación de su "condición ecológica". Asimismo, queremos entender las relaciones entre el sistema natural y el humano, para identificar estrategias que ayuden a la conservación y manejo sostenible de estos ecosistemas.
4. **Evaluación y valoración de servicios ecosistémicos:** Se refiere a la generación de metodologías que permitan cuantificar y valorar los servicios ecosistémicos que brindan los ecosistemas de montaña. Debido a la complejidad de la temática, nos estamos enfocando en temas de servicios ecosistémicos hídricos.
5. **Recuperación de ecosistemas de montaña:** Se refiere a identificar y validar estrategias que permitan recuperar las funciones, estructura y/o biodiversidad de los ecosistemas de montaña, y asegurar la provisión de los servicios ecosistémicos más importantes. Se espera en el futuro generar instrumentos que den alternativas, de acuerdo con el tipo de ecosistemas, tipo de daño y problemática, y contexto ambiental, para promover su recuperación.
6. **Herramientas basadas en sensores remotos y sistemas de información geográfica,** aplicadas al ámbito de los ecosistemas de montaña: Esto se refiere al desarrollo de metodologías que faciliten la caracterización y priorización de lugares de "intervención" para tomadores de decisión a nivel local y regional. Entendemos como intervenciones a proyectos que buscan conservar y recuperar ecosistemas de montaña, así como reducir la vulnerabilidad y riesgo de desastres naturales asociado al cambio climático, con un enfoque de cuenca.

A continuación, se dará información general de los avances obtenidos durante el 2019, en cada línea de investigación.

Evaluación Integral de Riesgos

Evaluación integral de riesgos asociados a glaciares (ámbito: Cordillera Blanca)

En el 2019 se inició este trabajo que busca dar propuestas al CENEPRED para incorporar otros aspectos a la Evaluación de Riesgos, y permita tener una mirada integral. Como parte de esta propuesta consideramos fundamental incorporar la íntima relación que existe entre los ecosistemas de montaña y los beneficios que reciben directamente los pobladores de este ámbito, en especial el agua y el forraje para el ganado, que les permiten asegurar sus medios de vida. En el mediano plazo esperamos generar un instrumento que les permita a los tomadores de decisión visualizar los resultados de estas evaluaciones y facilitar la decisión de los lugares en los que intervenir para reducir el riesgo y la vulnerabilidad.

Durante el 2019 se seleccionaron dos unidades hidrográficas (UH): Pariac-Rajucolta y Río Blanco-Santa Cruz, donde

ya se contaban con los modelos de predicción de la huella que generaría un aluvión de origen glaciar. En ambas unidades se realizó una caracterización hidrológica, ecológica y social, tomando en cuenta el territorio que sería afectado por la huella del aluvión. Se espera durante el 2020 integrar y complementar la información, para avanzar en la construcción de una evaluación integral de riesgos y un instrumento de visualización de estos resultados, para facilitar el trabajo de los tomadores de decisión.

Caracterización hidrológica

Se estimaron varios parámetros morfométricos (área, perímetro, forma de la UH, densidad de drenaje, pendiente de la UH, tiempo de concentración y curva hipsométrica) para poder hacer una descripción física y comparación entre las UH, y también, para identificar la influencia del relieve y morfología sobre su respuesta ante eventos de lluvia. Posteriormente, en cada UH se identificaron las principales fuentes de agua y los usos que da la población humana, con el fin de actualizar la base de datos existente acerca de las bocatomas y bloques de riego. Esta caracterización incluye la recopilación de la información meteorológica (precipitación, temperatura, velocidad y dirección del viento) e hidrométrica (caudales) de las UH estudiadas.

Caracterización ecológica

Se realizaron mapas de los ecosistemas de montaña presentes en ambas UH, agrupando los ecosistemas en matorral, pajonal o pastizal, humedal y bosque relicto. Se incluyeron las plantaciones forestales y se diferenciaron áreas de glaciar, roca y cuerpos de agua. Luego, se seleccionaron puntos de muestreo representativos de los ecosistemas que están en el área de la huella modelada del aluvión, con el objetivo de estimar algunos de los servicios ecosistémicos que se perderían en caso de ocurrir dicho aluvión. Se trabajaron en 10 unidades en la UH Pariac - Rajucolta y siete en la UH Río Blanco - Santa Cruz.

Para cada UH se priorizaron servicios ecosistémicos que benefician directamente a las poblaciones aledañas, eligiendo para este estudio piloto:

- Servicio de provisión de forraje para el ganado (en pastizales y matorrales, principalmente)
- Servicio de regulación de la erosión del suelo (en todos los ecosistemas)
- Servicio de provisión de madera y leña (en plantaciones forestales)
- Servicio de captura de carbono en suelo (en pastizales y humedales, principalmente)

Caracterización social

Para esta caracterización se aplicó el enfoque de medios de vida en las UH Río Blanco-Santa Cruz y Pariac-Rajucolta. Para ello se describe el contexto local de vulnerabilidad del medio sociocultural, ambiental, económico e institucional. Se priorizó la caracterización de la población que depende de los servicios que ofrecen los ecosistemas de montaña expuestos al riesgo de aluvión de origen glaciar, identificando, junto a ellos, los distintos tipos de activos disponibles (humanos, naturales, financieros, físicos y sociales) con los que cuentan. Esto permitió describir las características de la familia, acceso a agua y tierra de cultivo, acceso a crédito, infraestructuras productivas, participación en organizaciones comunitarias, entre otros. Además, se incluyeron algunas variables sobre la percepción del cambio climático.

En la UH Río Blanco – Santa Cruz encontramos que las principales actividades económicas son la producción agropecuaria y el turismo de aventura, ambas ligadas a los ecosistemas de montaña que se encuentran en la parte alta del territorio, por lo que son vulnerables a un potencial aluvión. Mientras que la Municipalidad Distrital

de Santa Cruz ha enfocado sus inversiones en el desarrollo de la infraestructura de riego que depende del agua generado en la parte alta de la UH. Se ha encontrado que institucionalmente se tienen intenciones de reforzar el área de gestión de riesgos, pero no se cuenta con presupuesto ni personal técnico designado. Mientras que en la UH Pariac-Rajucolta, se encontró que la principal actividad económica es la producción agropecuaria. Existe un comité de usuarios de pastos naturales para el manejo ganadero al interior del Parque Nacional Huascarán, pero en general no existe una conciencia de que es una zona de riesgo.

Ante un eventual aluvión en la unidad hidrográfica Río Blanco – Santa Cruz, se afectaría el servicio de provisión que brindan los pastizales naturales, que son la fuente principal alimento al ganado vacuno y de equinos de los usuarios de pastos. Esta es una actividad importante en la zona. Mientras que en la UH Pariac-Rajucolta, la crianza de vacunos se vería afectada, pero no es su actividad principal. Los pobladores de esta zona, debido a la cercanía del distrito de Huaraz, desarrollan otras actividades económicas como el comercio y el transporte.

Efectos de desglaciación en la calidad de agua (ámbito: Ancash)

Desde el 2015 se está evaluando la calidad de agua, asociada a la concentración de metales pesados, en diferentes unidades hidrográficas de Ancash. Esto con el objetivo de identificar y estudiar mejor los procesos de formación de Drenaje Ácido de Roca (DAR), así como su comparación con impactos de Drenaje Ácido de Mina. Durante el 2019 se realizaron dos muestreos, uno al finalizar la época de lluvias (abril) y otra durante el estiaje (agosto), en cinco unidades hidrográficas evaluadas desde 2016: Santiago (ubicada en la Cordillera Negra), Quillcay, Casca-Llaca, Pachacoto, Río Blanco-Santa Cruz (ubicadas en la Cordillera Blanca), y se han incorporado dos nuevas UH al análisis: Llullán-Parón y Pariac-Rajucolta (ubicadas también en la Cordillera Blanca). En cada UH se evalúa el curso de agua principal y sus afluentes. En el caso de la Cordillera Blanca, todas las evaluaciones son dentro del ámbito del Parque Nacional Huascarán, para entender los procesos naturales, y en al menos siete puntos.

Además de tener los resultados del análisis del ICP de cada muestra de agua, se registran algunos parámetros en campo: pH, oxígeno disuelto (OD), temperatura, conductividad eléctrica y turbidez. Toda la información colectada desde el 2016 ha sido organizada, y se han estimado los promedios de cada parámetro, así como su rango de variación, para identificar puntos y UH con valores o patrones de variación atípicos. Durante el 2020 se elaborarán reportes para cada unidad hidrográfica para dar a conocer los resultados obtenidos, y se evaluará con más detalle los puntos atípicos identificados en Quillcayhuanca, Shallap y Pachacoto.

En el Simposio Internacional: Las Montañas, Nuestro Futuro, organizado por el INAIGEM en la ciudad de Cusco, se presentó un poster con los resultados de la UH Quillcay, los cuales indican una marcada heterogeneidad espacial y temporal en la calidad del agua. Las microcuencas de Shallap y Quillcayhuanca muestran serios problemas de calidad de agua, con un pH muy ácido (menor a 4.0), y concentraciones de Mn, Fe y Al, mayores al límite establecido por el ECA-Agua (Cat. 3), mientras que la microcuenca de Cojup presenta los valores dentro de los límites establecidos.

Adaptación al Cambio Climático

Modelos de estrés bioclimático (ámbito: Ancash)

Durante el 2019 se han generado modelos de estrés bioclimático para los ecosistemas de montaña de la región Ancash. Estos modelos toman en cuenta el rango climático en el que naturalmente se han establecido los diferentes ecosistemas, y con base en esto estima su capacidad de respuesta y adaptación a las condiciones climáticas que se prevén en los escenarios de cambio climático, aplicadas en las zonas en que actualmente se distribuye cada ecosistema. Aquellos ecosistemas con mayor capacidad de adaptación a nuevas condiciones climáticas podrían persistir en su territorio original, mientras que otros podrían desaparecer, siendo reemplazados por nuevas especies e incluso nuevas comunidades vegetales preparadas para subsistir en esas nuevas condiciones climáticas.

Los resultados del estudio muestran que para los escenarios de los años 2050 y 2070 (RPC85), la mayoría de los ecosistemas de montaña de la región Ancash se encontrarían entre las categorías de estrés más alto: Muy Alto y Extremadamente Alto (AGRIMED, 2014). El estrés bioclimático integrado aumentaría desde el escenario 2050 al escenario 2070 (Figura 14) de manera drástica, especialmente en ecosistemas como bofedales, bosques relictos, jalca y las zonas periglacial y glaciar. Cabe destacar, que el matorral y pajonal parecen ser ecosistemas más resilientes, con capacidad de tolerar los nuevos escenarios climáticos.

Para el análisis espacial a nivel de Ancash, se advierte también un estrés en la zona costera que afectará principalmente a la agricultura. Aunque mucho más sensible se muestra la agricultura de la región andina. Se está preparando un reporte con todos los detalles del estudio para discutir con los expertos en la temática, y posteriormente difundir los resultados obtenidos.

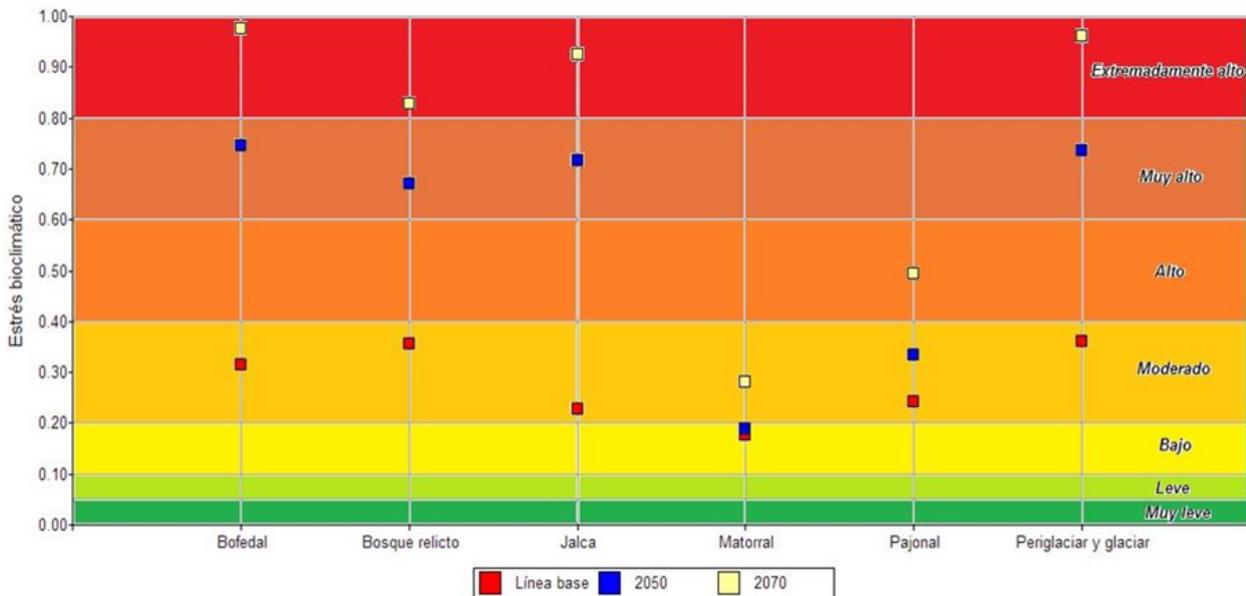


Figura 14. Estrés bioclimático para varios ecosistemas de montaña entre 2050 y 2070.

Evaluación del comportamiento de las heladas (ámbito: Cordillera Blanca)

Se han analizado los datos colectados durante los años 2018 y 2019, por las microestaciones meteorológicas de la DIEM instaladas en las quebradas de Llaca (4100 m s.n.m.) y Tayacoto (3800 m s.n.m.) y en el CICTEM-Cátac (3800 m s.n.m.) para elaborar un informe sobre el comportamiento de las heladas en cada lugar. Este informe será corregido y compartido durante el 2020.

Para este trabajo se define como heladas meteorológicas a los eventos que ocurren cuando la temperatura del

aire es menor a los 0 °C. Se encontró que la frecuencia de heladas fue mayor en el año 2018, en comparación con el 2019. En las tres áreas de evaluación, la frecuencia de heladas meteorológicas se incrementó entre junio y setiembre, siendo julio el mes de mayor frecuencia e intensidad del fenómeno, concentrando el 23% en Llaca, 22% en Tayacoto y 22% en el CICTEM de todas las heladas ocurridas en el año.

También se ha caracterizado la evolución de la helada meteorológica calculando la tasa de variación media del descenso y ascenso de temperatura, análisis que se ha realizado a partir de registros de cinco minutos de las microestaciones de Llaca y el CICTEM para el mes de julio 2019. Se observa que a partir del umbral superior 0 °C, las tasas de variación media del descenso de temperatura son lentas para las dos áreas estudiadas. Mientras que, luego de ocurrir la temperatura más baja, la tasa de ascenso de temperatura es mucho más rápida en el CICTEM que en Llaca, situación que puede deberse al distinto grado de exposición a la radiación solar para este mes, como también, a la geomorfología de las áreas de estudio. Esto significa que la vegetación en Llaca queda expuesta durante mayor tiempo al efecto de la helada que la vegetación en el CICTEM.

Identificación de organismos biorremediadores (ámbito: Cordillera Blanca)

En agosto del 2019 se inició una tesis de pregrado llamada "Evaluación de la capacidad fitoremediadora de tres especies altoandinas asistidas con biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayhuanca, Ancash", que busca identificar especies de plantas nativas que tienen capacidad fitorremediadora, es decir que acumulan metales pesados en sus tejidos, y que pueden ayudar a descontaminar el agua y suelo. Asimismo, se espera probar el efecto del biochar o biocarbón como potenciador de la capacidad fitoremediadora de las especies evaluadas.

Durante el 2019, se eligió a la quebrada de Cayesh, en la microcuenca Quillcayhuanca, como área de estudio debido a los avanzados procesos de contaminación por Drenaje Ácido de Roca (DAR), favorecidos por el retroceso glaciar. En noviembre del 2019 se colectaron muestras de plantas altoandinas de las especies *Lupinus sp.*, *Baccharis sp.*, *Paranephelius sp.*, *Calamagrostis sp.* y *Werneria sp.*, creciendo en la zona impactada por DAR. Asimismo, se colectaron 24 muestras del suelo en que se desarrollaban las plantas recogidas y tres muestras de aguas.

Estas muestras de suelo, plantas y agua fueron preparadas en un laboratorio de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y quedaron listas para ser analizadas en el espectrofotómetro de luz UV-VIS, adquirido por la DIEM, para evaluar los metales elegidos (Al, Cu, Fe, Mn y Zn). De acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró que todas las especies colectadas almacenan metales en sus tejidos, pero se han priorizado tres especies: *Paranephelius ovatus*, *Calamagrostis vicunarum* y *Werneria nubigena* por presentar los mejores valores. Durante el 2020, estas especies serán evaluadas en invernadero para cuantificar su potencial fitorremediador y el efecto del biochar en esta capacidad de fitorremediación.

Investigación de pastos nativos potencialmente tolerantes a heladas (ámbito: Cátac, Recuay)

Para esta investigación se usó como base el conocimiento tradicional de los pastores de la comunidad de Cátac para seleccionar especies que los pastores saben que son deseables para el ganado ovino y vacuno, y que son tolerantes a las heladas. Para ello se aplicaron encuestas a los pastores en sus áreas de pastoreo, y nos señalaron algunas de las especies importantes para ellos por ser tolerantes a las heladas y deseables para el ganado. Después de revisar la lista de especies generada, se seleccionaron tres especies para la etapa experimental.

Las especies seleccionadas fueron: *Festuca loricata* "cachi", *Calamagrostis macrophylla* "jallka ocsha" y *Calamagrostis vicunarum* "crespillo". Para evaluar su resistencia a heladas se seleccionaron 15 plantas de cada especie, en tres lugares en los que el ganado no tiene acceso, dos sitios sujetos a heladas y un control. La evaluación en campo se realizó de mayo a julio, evaluando la altura de planta verde y con daño por helada, cobertura de copa, porcentaje

de cobertura verde y biomasa. Los resultados muestran que cada especie presenta una estrategia diferente de tolerancia a la helada. En el caso de *Festuca loricata*, presentó menor daño en las hojas en los tres lugares (de 11-16%), pero menor ganancia de biomasa en el tiempo. Mientras que en *Calamagrostis macrophylla*, el daño fue mayor (15-28%), pero también tuvo un incremento de tamaño en el tiempo. Finalmente, *Calamagrostis vicunarum* es una especie que se seca durante el estiaje por lo que evade el potencial daño de la helada. Estos resultados nos muestran que las familias ganaderas de la comunidad campesina de Cátac conocen en forma empírica las variedades de especies nativas de pastos deseables y tolerantes a las heladas, siendo importante revalorar sus conocimientos. Se espera en el futuro profundizar estos análisis y el conocimiento científico sobre estas especies para favorecer su establecimiento en las áreas de pastizales naturales altoandinos.

Con el análisis de los resultados obtenidos de esta tarea se elaboró el poster "Especies de pastos nativos deseables para el ganado y potencialmente tolerantes a heladas", el cual fue presentado en el Simposio Internacional "Las Montañas, Nuestro Futuro", desarrollado en la ciudad de Cusco del 10 al 12 de diciembre de 2020.

Evaluación de Socio-ecosistemas de Montaña

Valor cultural asociado a la *Puya raimondii* (ámbito: Ancash)

Esta investigación buscó entender y comparar la percepción que tienen los pobladores de dos distritos en Ancash, La Libertad y Cátac, con relación a la *Puya raimondii*, siendo ambos sitios conocidos por albergar importantes rodales de esta planta imponente.

Para este trabajo se aplicaron entrevistas a una muestra representativa de la población de todo el distrito, no sólo en el área en que se encuentran los rodales de Puya, y se contó con apoyo de las escuelas de los poblados de Cajamarquilla y Cátac. Con esta información se ha generado un informe que aún está en fase de validación por los propios pobladores y autoridades del distrito. Los resultados preliminares nos han mostrado importantes diferencias en las características socio-económicas en cada distrito, lo que a su vez se relaciona con la importancia y valor asignado a la Puya. Se ha visto, por ejemplo, que en el distrito de La Libertad (ubicado en la Cordillera Negra y con mayores índices de pobreza) se le asignan más usos a las plantas de Puya, lo que a la vez significa que están sujetas a mayor presión de extracción. Esto en comparación con Cátac (ubicado en la Cordillera Blanca y con menor dependencia de las actividades agropecuarias), donde se reportan menos usos directos de esta especie y mayor valor de la Puya como atracción turística.

Esta investigación continuará en el 2020, para evaluar la condición ecológica de estos rodales de *Puya raimondii* y su relación con el valor cultural.

Investigación para la conservación de bosques de *Polylepis* (ámbito: Cordillera Blanca)

En el 2019 se inició la tesis de pregrado titulada "Evaluación del potencial de la comunidad líquénica epífita como bioindicador de la condición ecológica de bosques dominados por el género *Polylepis*, en un gradiente de intervención humana, en el ámbito del Parque Nacional Huascarán, Huaraz-Ancash, periodo 2019-2020". Esta investigación busca caracterizar y comparar la comunidad de líquenes epífitos (que se desarrollan en el tronco de los árboles a más de un metro de altura), en tres bosques dominados por queñuales (árboles del género *Polylepis* sp.), ubicados dentro del Parque Nacional Huascarán.

Los tres bosques seleccionados corresponden a un gradiente de intervención del humano ya que se cuenta con un bosque de queñua extenso (más de 30 ha) y con baja intervención humana en los últimos años, un bosque relicto pequeño (menor a 2 ha), con frecuente intervención del ganado vacuno y ocasional extracción de leña, ambos ubicados en la quebrada Llaca. Además, se tiene una plantación de queñua con más de 35 años de antigüedad,

ubicada en Quillcayhuanca.

En noviembre del 2019 se realizaron las colectas en campo en los tres bosques seleccionados. Para ello se establecieron dos parcelas de 25x20 m en cada bosque, una parcela en el borde y otra en el interior del bosque. En cada parcela se colectaron muestras de líquenes de 15 árboles de al menos 15 cm de diámetro, además se evaluó la altura, DAP y cobertura de todos los árboles adultos presentes, y en subparcelas se contaron los juveniles y las plántulas del género *Polylepis*. Finalmente, se tomaron muestras de hojarasca, usando un cuadrante de 30 x 30 cm de referencia. Esta información será procesada y complementada en el 2020.

Evaluación y Valoración de Servicios Ecosistémicos

Producción de cushuro en lagunas altoandinas (ámbito: Ancash)

Durante el 2019 se realizaron algunas evaluaciones en las lagunas altoandinas de las cordilleras Blanca y Negra para caracterizar las condiciones físico-químicas en que se desarrollan las colonias de cianobacterias de cushuro (*Nostoc* sp.). Asimismo, se buscó identificar el mejor indicador de producción de cushuro, colectando muestras de estas lagunas. El informe nos muestra que para un total de nueve cuadrantes de 0.25 m² en siete lagunas diferentes se encontró una alta variabilidad en el conteo entre los cuadrantes (en colonias/m²). El peso húmedo por cuadrante presentó una variabilidad intermedia (en g/m²), y finalmente la menor variabilidad la tiene el diámetro promedio de las colonias de cushuro (en mm/m²). Basado en esto, se ha definido que el promedio del diámetro de la colonia/m² es la medida más adecuada para representar de una manera consistente la producción natural de cushuro en las lagunas altoandinas.

Regulación hídrica en ecosistemas de montaña de diferente condición (ámbito: Ancash)

Durante el 2019 se ha avanzado en la validación de un método para la evaluación del servicio de regulación hídrica. Para ello se han analizado los datos colectados entre 2017 y 2018 en la UH Huanchay (Cordillera Negra), comparando el comportamiento del almacenamiento de agua en el suelo del pastizal con el de las zanjas de infiltración. Además, se han analizado los datos colectados desde el 2018 en Tayacoto (Cordillera Blanca), comparando el comportamiento del almacenamiento de agua en el suelo de un pastizal con el de una plantación de pino.

El reporte elaborado muestra que las características del suelo son similares entre puntos de comparación, tanto en Huanchay como en Tayacoto. Las estimaciones del agua que se evapotranspira en las zanjas de infiltración es mayor que en el pastizal, generando que en la época seca el almacenamiento de agua en el suelo del pastizal sea mayor al de las zanjas de infiltración. Asimismo, se encuentra que en las áreas con pino sembrado se almacena menos agua en el suelo que en los sitios del pastizal. Finalmente, se puede decir que estos resultados se relacionan con las condiciones locales, y aún no se pueden generalizar; sin embargo, muestra la efectividad de esta metodología para las evaluaciones propuestas, por lo que se ampliarán las áreas de evaluación.

Los resultados obtenidos del desarrollo de esta tarea fueron presentados mediante un póster científico titulado "Estudio de la variación estacional del almacenamiento de agua en el suelo en una plantación de pino y un pajonal andino" en el Simposio Internacional "Las Montañas, Nuestro Futuro", realizado en la ciudad de Cusco en el mes de diciembre.

Recuperación de Ecosistemas de Montaña

Recuperación de los pastizales naturales (ámbito: Cordillera Blanca)

Durante el 2019 se ha trabajado en tres investigaciones relacionadas con el manejo y recuperación de pastizales naturales. En la primera investigación, se analizó el efecto del cercado en la recuperación del pastizal. Para ello se han analizado datos generados desde el 2016 al 2019 en una parcela ubicada en la quebrada de Llaca (Huaraz), comparando la vegetación de los pastizales naturales creciendo dentro del cercado con el control fuera del cercado y bajo pastoreo de ganado vacuno. Para esta comparación se han usado datos de la composición de especies, cobertura del suelo y la biomasa. Los resultados preliminares muestran una rápida recuperación de la cobertura de vegetación al interior del cercado, y un incremento en la biomasa presente; sin embargo, se han encontrado indicadores de recuperación también fuera del cercado, que aún hay que analizar con detalle.

En agosto del 2019 se inició una tesis de pregrado titulada "Efecto del pastoreo ovino sobre la condición de pastizales altoandinos" que busca evaluar el impacto de dos niveles de carga animal en la vegetación y el suelo de un pastizal natural, en comparación con un control sin pastoreo. Para seleccionar los niveles de carga animal, primero se realizaron entrevistas a los pastores de la comunidad campesina de Cátac en sus lugares de pastoreo para estimar el tamaño de rebaño y área de pastoreo, buscando reflejar en este experimento la realidad local. Asimismo, se realizaron evaluaciones en el pastizal natural donde se desarrollaría el experimento para determinar la carga animal óptima. Esta tesis continuará su desarrollo en el 2020.

En agosto del 2019 se inició una segunda tesis de pregrado titulada "Establecimiento de dos especies de trébol para la mejora del pastizal altoandino en el CICTEM-Cátac, periodo 2019-2020". Esta investigación busca evaluar el establecimiento de dos especies de trébol, que aunque es una especie exótica, es ampliamente valorada por los pastores locales y por ser una leguminosa fijadora de nitrógeno. Podría incrementar la carga animal que soportan los pastizales naturales, mejorar la dieta del ganado, y mejorar la fertilidad del suelo. Como parte de este trabajo se seleccionaron dos especies para el trabajo, *Trifolium repens* "trébol blanco" y *Trifolium pratense* "trébol rojo", y se realizó la caracterización de la vegetación y del suelo en las dos áreas de siembra. Esta tesis continuará su desarrollo en el 2020.

Elaboración del manual de instalación y manejo de pastos mejorados (ámbito: Cátac, Recuay)

Como parte del trabajo en pastizales naturales, se ha avanzado con el manuscrito del manual denominado "Manual de instalación y manejo de pastos mejorados dirigido a campesinos y pequeños productores". Esto bajo una mirada integral del sistema de pastoreo que permita reducir la presión que el ganado ejerce sobre las áreas de pastizales naturales. El manual está dirigido a familias pastoras y campesinos, por lo que se realizó un pequeño taller con miembros de la comunidad campesina de Cátac para recoger sus expectativas y sugerencias. Este manual además incorpora la experiencia generada en el CICTEM sobre instalación y manejo de pastos mejorados en el periodo 2016-2019. El contenido incluye la planificación de la siembra de pastos, preparación del terreno, análisis de suelo, enmiendas para corrección del suelo (encalado, abonamiento), y la elección de especies de pastos para realizar la asociación. Luego, explica la cosecha y manejo de los pastos sembrados: abonamiento, riego, cálculo de capacidad de carga y sistemas de pastoreo para un mejor uso del pasto cultivado. Queda pendiente realizar el procesamiento, diseño y diagramación del texto, para ser publicado como manual y ser compartido con las comunidades con las que se trabaja actualmente.

Investigación en la propagación y establecimiento de especies leñosas nativas de los ecosistemas de montaña (ámbito: Cordillera Blanca)

Durante el 2019, se identificaron dos investigaciones claves para dar continuidad a trabajos desarrollados por la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña previamente, uno centrado en el establecimiento de *Alnus acuminata* "aliso", especie clave para el desarrollo de bosques ribereños de montaña, y otro que aborda la propagación de *Oreocallis grandiflora* "chakpá", un arbusto silvestre poco estudiado, pero importante para el mantenimiento de polinizadores en áreas entre 3500 y 3800 m s.n.m.

En diciembre del 2017 en la quebrada Cojup (Huaraz), en un sector aledaño al río, se sembraron 44 juveniles de aliso, con diferentes alturas iniciales y colectadas de los bosques naturales. Se le ha dado seguimiento desde entonces a su sobrevivencia y crecimiento. Durante el 2019 se organizó y actualizó esta información, y se realizaron análisis. Los resultados preliminares nos muestran que la principal limitación para el establecimiento de los alisos es la ocurrencia de heladas. La altura inicial de los alisos tuvo un efecto en la sobrevivencia y crecimiento hasta que ocurre la primera temporada de heladas. Luego de ello, se homogeniza la altura de las plantas y se pierde el efecto de la altura inicial. Las heladas generan la pérdida de ramas, hojas y reducción en altura de las plantas de aliso. Los individuos que toleran estas condiciones, cuando se recuperan condiciones favorables, rebrotan y continúan con su crecimiento hasta la siguiente temporada de heladas.

En cuanto a la propagación del chakpá, se colectaron semillas de arbustos silvestres y se realizó una caracterización morfológica de sus frutos y semillas. En agosto se estableció un experimento de germinación y establecimiento inicial del chakpá en el invernadero del CICTEM. Para ello se comparó el efecto del remojo por 48 horas como tratamiento pre-germinativo, con semillas sin remojo. Asimismo, se usaron dos tipos de sustrato para comparar el suelo de vivero tradicional con tierra colectada de las áreas en que se desarrollan los arbustos de chakpá. Los resultados nos muestran que las semillas de chakpá empiezan la germinación 24 días después de la siembra y alcanzan altas tasas de germinación (84 a 93%). También se encuentra que el remojo incrementa la velocidad de germinación, no la capacidad de germinación.

El establecimiento y crecimiento de las plantas germinadas fue mayor en el sustrato con suelo recogido del área en que crece el chakpá en comparación con las que tienen suelo agrícola. Hay algunos indicios que en el suelo del chakpá se pueden encontrar micorrizas, que se asocian a las raíces de esta especie, y por ello se requiere de este mismo suelo como inóculo de micorrizas para el adecuado desarrollo de las plantas recién germinadas. La evaluación de esta etapa continuará en el año 2020.

Herramientas Basadas en Sensores Remotos

Guía para la identificación de ecosistemas de montaña

Durante el 2019, se ha elaborado una propuesta metodológica para la identificación de los ecosistemas de montaña, usando como base el trabajo en tres unidades hidrográficas (UH): Río Blanco – Santa Cruz, Pariac – Rajucolta, y Quillcay, ubicadas en la Cordillera Blanca.

Esta metodología se basa en la aplicación de un "árbol de decisiones" (decisiones binarias) que ayudan a la clasificación de ecosistemas de montaña usando imágenes satelitales del sensor Sentinel 2 (óptico) y el sensor Alos Palsar (Radar). Para los mapas, se definieron categorías generales de los ecosistemas de montaña: pajonal, matorral, bosque relicto, humedal, además de diferenciar glaciario, cuerpos de agua, y suelo desnudo. Esta guía se concluirá, validará y publicará durante el 2020. Los avances de este trabajo fueron presentados en el Simposio Internacional "Las Montañas, Nuestro Futuro", como póster.

Región Cusco

Microcuenca Piuray

En la Región Cusco el INAIGEM está realizando investigaciones en la Microcuenca Piuray, ubicada en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba. También, colabora en una parcela de investigación establecida en convenio con la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, ubicada en el límite entre las regiones de Cusco y Puno, en La Raya, en el distrito de Layo, provincia de Canas.

En ambos sitios se han implementado prácticas de infraestructura verde y recuperación de ecosistemas que generalmente son aplicadas para mejorar la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua. En este sentido, los estudios se orientan al recojo de datos a largo plazo de variables climáticas (a partir de sensores de temperatura, humedad de suelo, nivel freático y precipitación, instalados in situ) y de la vegetación con el fin de evidenciar la efectividad de dichas prácticas en la mejora de la infiltración y almacenamiento de agua.

Región Puno

Se realizó el estudio de la condición ecológica de pastizales y bofedales en el área de influencia de los peligros de origen glaciar en la cuenca Occoruruni, Cordillera Apolobamba. Los resultados de este estudio se presentaron en el Simposio Internacional "Las Montañas, Nuestro Futuro". Se realizó también un taller de análisis de la vulnerabilidad con la población de la comunidad de Koriwar para la recopilación de información que contribuirá al análisis de riesgo de esta población.

En la región Puno se están conduciendo investigaciones de diagnóstico en la cuenca Occoruruni (tributario de la cuenca Huari, que a su vez tributa a la cuenca Inambari), que contribuyan a evaluar el riesgo a eventos de origen glaciar con un enfoque integral, es decir, se parte de la mirada que al ocurrir un evento de alta peligrosidad como huaycos o aluviones, no solo es afectada la infraestructura, si no también, y sobre todo en ambientes rurales, los ecosistemas que proveen servicios a la población y por lo tanto sustentan sus medios de vida. En este sentido, las investigaciones se orientan a recoger información de la vegetación para la identificación de ecosistemas, de la condición ecológica de ecosistemas y sobre el contexto social de la vulnerabilidad.

En cuanto al diagnóstico en ecosistemas, se ha determinado que la cuenca está dominada por pastizales. Asimismo, de los lugares seleccionados para la evaluación de la condición ecológica, siete corresponden a pastizales (algunos con régimen constante de agua, pudiendo ser pastizales higrofiticos o humedales) y nueve a bofedales. Del análisis de la condición ecológica de bofedales, que se basa en atributos determinantes de este ecosistema (agua, suelo, biota y alteraciones en el paisaje), se determinó que estos están en buen estado.

Por último, en cuanto al contexto social, la población que habita en la cuenca es la comunidad de Koriwara. Esta se encuentra alejada, sin acceso a buenos servicios públicos de salud y educación, con manejo deficiente de los residuos sólidos, institucionalmente con escasa colaboración comunitaria, sumado a que los niveles de pobreza han aumentado a nivel distrital. Estas características le proveen a la población de un nivel de vulnerabilidad más alto, que ante un eventual peligro de origen glaciar se verían muy afectados en distintos aspectos de su supervivencia.

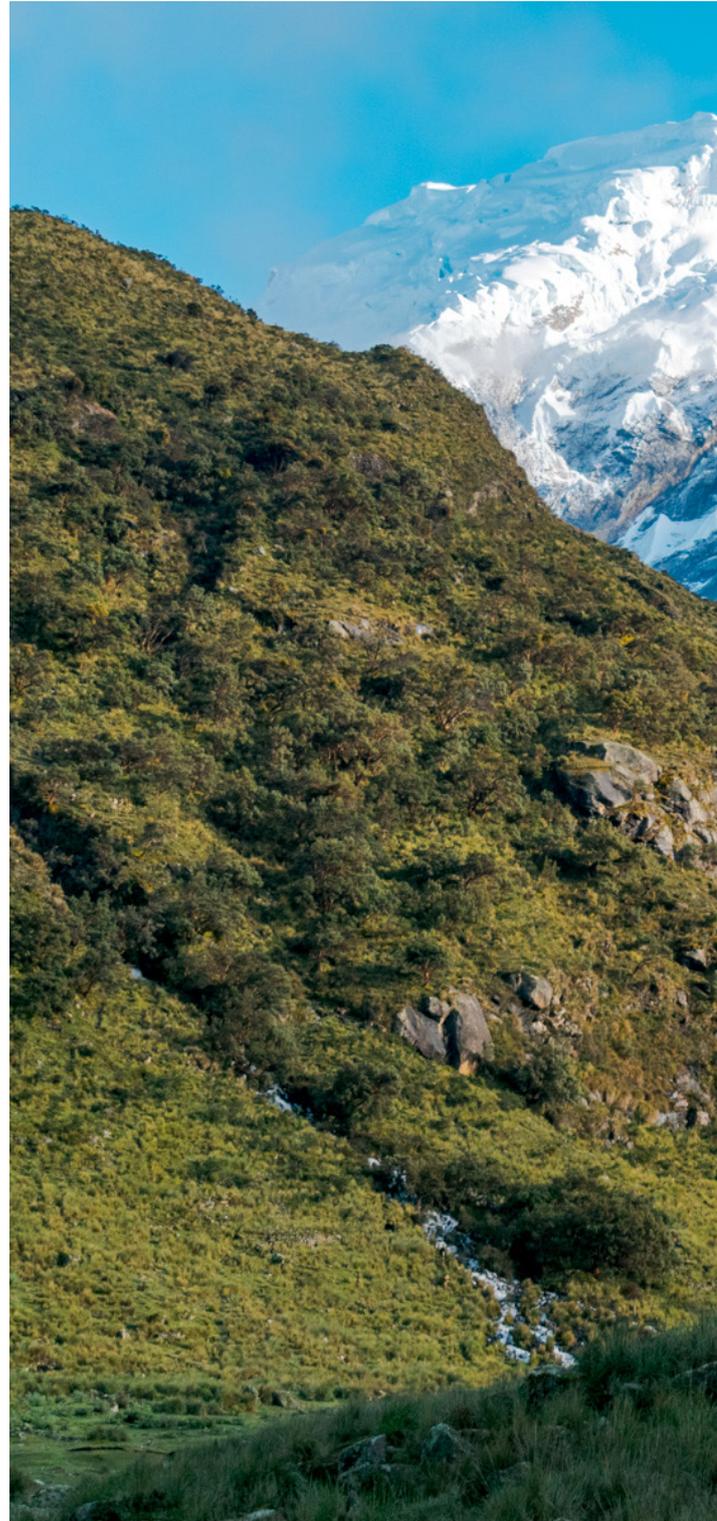
Región Arequipa

En la región Arequipa se trabaja en la quebrada Cara Cara, en el distrito de Viraco, provincia de Castilla. Esta alberga ecosistemas de montaña que cumplen un rol importante en la provisión de agua, siendo una de las principales fuentes para la población de este distrito y por lo tanto esencial para el desarrollo de sus actividades económicas (ganadería y agricultura). Aquí las investigaciones buscan, primero, recoger información de distintos aspectos (cobertura vegetal, suelo, comportamiento hídrico, calidad de agua) que sirvan de diagnóstico para diseñar investigación aplicada que contribuya a la recuperación y conservación de los ecosistemas de la quebrada.

Entre los primeros hallazgos que se tienen para este sitio es que los ecosistemas comprenden con mayor importancia bofedales y humedales, le siguen los pastizales (césped de puna) y tolares, correspondiendo a una zona de puna seca.

Hidrológicamente, esta área pertenece a la cuenca Junco Grande, tributario de la cuenca Llajllajo, que a su vez tributa a la cuenca Majes Camaná. Está dominado por fuentes de agua de origen glaciar, siendo la fuente principal el volcán glaciar Coropuna. Esto contribuye a que se discurra una gran cantidad de sedimento, alojándose en las partes altas y en las inmediaciones de los cursos de agua de la quebrada. Así también, presenta un peligro para los ecosistemas por el arrastre constante de material rocoso.

Por último, el agua en esta quebrada ha presentado valores altos de arsénico y manganeso en dos entradas de agua de origen glaciar-volcánico. Sin embargo, estos valores se normalizan al discurrir por la cobertura vegetal y juntarse con otras fuentes en la quebrada.





Nevado Pucaranra

Foto: Joan Ramírez



V. COOPERACIÓN



Comisión de la expedición Huascarán en el congreso

Foto: Joan Ramírez

V. COOPERACIÓN

Los mayores logros relacionados a cooperación técnica que se han obtenido durante el periodo objeto del presente informe han sido los siguientes: 1) oficialización de la participación del INAIGEM en la ejecución del Proyecto MINAM – IMELS de Italia, 2) apoyo de la fundación alemana Konrad Adenauer para la realización de diferentes actividades, y 3) financiamiento de la cooperación suiza. Cabe recordar que, durante la gestión de la Dra. Gisella Orjeda la cooperación recibida ha sido de aproximadamente \$26,000 para el 2018 y de aproximadamente \$100,000 para el 2019. Asimismo, para el 2020 se espera empezar la ejecución del presupuesto asignado al INAIGEM por MINAM en el marco de la Cooperación con Italia.

Cooperación con Italia (Proyecto del MINAM)

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 su par de Italia), se ha oficializado la participación del INAIGEM en dicho proyecto. Al respecto, el presupuesto total asignado al INAIGEM para la realización de las actividades correspondientes es de € 450,000.

Cabe mencionar que los gastos se realizarán a través de una Unidad Implementadora que será contratada por MINAM y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el cual es la Entidad Ejecutora del proyecto.

Cooperación con Alemania

Se ha recibido el apoyo de la fundación alemana Fundación Konrad Adenauer (KAS) por el monto total de aproximadamente S/. 187,000 para la realización de un taller regional, dos estudios, seis talleres macro regionales dirigidos a validar los lineamientos para la formulación de la Política Nacional en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, y pago de algunos proveedores para la realización del Simposio Internacional "Las Montañas, Nuestro Futuro". Cabe mencionar que los pagos correspondientes vienen realizados directamente por la KAS y no se incorporan al presupuesto del INAIGEM.

Cooperación con Suiza

A través de la Carta N° 002-2019-INAIGEM/PE, se solicitó el apoyo de la Agencia de Cooperación de Suiza (COSUDE) para financiar la elaboración de un estudio de preinversión a nivel de perfil para el mejoramiento de los servicios del INAIGEM en materia de investigación y desarrollo tecnológico en glaciares y ecosistemas de montaña. Mediante Carta s/n del 22 de febrero del 2019, el Director de Cooperación de la Embajada de Suiza confirmó el compromiso de COSUDE en brindar el apoyo solicitado. Sucesivamente, en fecha 8 de noviembre de 2019, COSUDE contrató el equipo consultor para la elaboración del proyecto de inversión pública "Mejoramiento de los servicios del INAIGEM en materia de investigación y desarrollo tecnológico en glaciares y ecosistemas de montaña distrito de todos, provincia de todos, departamento de mul.dep". El financiamiento de COSUDE asciende a S/ 110,101.50.

Asimismo, se ha recibido también el apoyo del Programa Bosques Andinos (implementado por la ONG suiza Helvetas) para la contratación de un consultor para la elaboración de un diagnóstico sobre temas relacionados a ecosistemas de montaña, cuya información servirá de insumo para la propuesta de Política Nacional en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. El financiamiento del programa asciende a \$ 15,000.

Otras fuentes

Además de las fuentes cooperantes ya mencionadas, se ha contado con el apoyo de otros actores, los cuales han aportado montos menores; sin embargo, son útiles para complementar las demás y asegurar la ejecución de algunas actividades como los talleres macroregionales para la definición de los lineamientos de la Política Nacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña, el Simposio Internacional “Las Montañas, Nuestro Futuro”, y la participación en capacitaciones. En ese sentido, se ha recibido el apoyo del proyecto “Infraestructura Natural y Seguridad Hídrica”, liderado por Forest Trends Association; la ONG CONDESAN (la cual pagó algunos proveedores de los talleres macroregionales por un monto de aproximadamente \$ 3,455.00); y el Centro de Estudios Regionales Andinos “Bartolomé de las Casas”.



VI. GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO



Laguna Tullparaju y glaciar Tullparaju

Foto: Santiago Martel

VI. GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

Geoportal

El INAIGEM cuenta con una gran cantidad de información geográfica especializada en glaciares y ecosistemas de montaña. Sin embargo, la información se encontraba dispersa y desorganizada. Ante esta problemática, en 2019 se logró implementar un sistema informático que permite compartir ubicaciones y datos mediante mapas interactivos a través del internet. Inicialmente, se realizaron grupos de trabajo con especialistas para definir la estructura y la presentación de los datos. Posteriormente, se implementó un control de calidad para estandarizar la presentación de los mapas, y finalmente la información cartográfica fue publicada en el geoportal web GEM accesible a través de la dirección: <http://geoportal.inaigem.gob.pe>.

Repositorios

Repositorio Institucional

El repositorio institucional del INAIGEM es un sistema de información que preserva y organiza materiales científicos y académicos como apoyo a la investigación y el aprendizaje, a la vez que garantiza el acceso a la información difundida por el INAIGEM.

El repositorio institucional se ubica en la dirección web: <http://repositorio.inaigem.gob.pe/>

Revista Indexada

La revista indexada es un sistema que facilita el desarrollo de publicaciones con acceso libre, que permite la gestión de manuscritos y la revisión por pares, proveyendo una infraestructura técnica para la presentación en línea de artículos de la revista. Incluye el envío de manuscritos, rondas de revisión e indexación, y permite un manejo eficiente y unificado del proceso editorial. Con esto se busca acelerar el acceso en la difusión de contenidos e investigación producidos por el INAIGEM y otros productores del conocimiento relacionado a glaciares y ecosistemas de montaña. Así mismo, busca consolidarse como una herramienta con innovaciones que permite el acceso en texto completo de los documentos publicados.

La plataforma de la revista digital institucional se encuentra en la dirección: <http://revista.inaigem.gob.pe/>

Simposio Internacional “Las Montañas, Nuestro Futuro”

Objetivo General

Difundir el conocimiento técnico científico sobre los glaciares tropicales y los ecosistemas de montaña en un contexto de cambio climático.

Objetivos Específicos

- Transferir el conocimiento técnico científico sobre los efectos del cambio climático en los ecosistemas de montaña y los glaciares tropicales a la institucionalidad nacional e internacional para la toma de decisiones.
- Identificar investigaciones científicas sobre la recuperación de los servicios ecosistémicos y propuestas de acción frente al retroceso glaciar.
- Analizar si los resultados y hallazgos de las investigaciones han contribuido a políticas públicas y si estos han influido en la implementación de prácticas de adaptación y mitigación al cambio climático.

Resultados

El Simposio Internacional "Las Montañas, Nuestro Futuro" se desarrolló con éxito los días 10, 11 y 12 de diciembre 2019, en el Centro de Convenciones de la Municipalidad Provincial del Cusco.

Los objetivos se han cumplido con la presentación de 22 ponencias, 11 de expertos internacionales y 11 nacionales, siete paneles de análisis, cuatro mesas de trabajo, presentación de 46 proyectos de investigación en la modalidad de poster y la participación promedio por día de 450 asistentes, representantes de la institucionalidad nacional e internacional.

<https://www.inaigem.gob.pe/simposio/>



VII.

CONSIDERACIONES GENERALES RESULTADOS DEL SIMPOSIO INTERNACIONAL "LAS MONTAÑAS, NUESTRO FUTURO"



Simposio Internacional "Las Montañas, Nuestro Futuro"*

Foto: Joan Ramírez

VII. CONSIDERACIONES GENERALES – RESULTADOS DEL SIMPOSIO INTERNACIONAL “LAS MONTAÑAS, NUESTRO FUTURO”

Cambio Climático

- El cambio climático está afectando todas las dimensiones del desarrollo y tiene un gran impacto en los glaciares tropicales y los ecosistemas de montaña. El retroceso glaciar es mucho más acelerado hoy que en décadas pasadas, lo que provoca la variación del régimen hídrico en cuencas de alta montaña y su afectación en los ecosistemas circundantes. El incremento de la temperatura y la variación del régimen de precipitaciones tiene efectos en los ecosistemas de montaña, como la pérdida de cobertura vegetal, mayor frecuencia e intensidad de precipitaciones, erosión y pérdida de la fertilidad de los suelos y, por consiguiente, la pérdida del capital natural.
- La adaptación al cambio climático debe ser una prioridad y debe ser integral y participativa con la población. Es indispensable incorporar a las personas en las discusiones para la toma de decisiones.
- Es importante poner especial atención a temas que tienen menos visibilidad, como por ejemplo el tema del carbono. El carbono en ecosistemas altoandinos es importante, tanto para la **mitigación** como para la **adaptación**. Para la mitigación, porque si no cuidamos los bofedales y los páramos, existe la posibilidad de emisión de grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera. En adaptación, lograr la regulación hídrica en los ecosistemas altoandinos tiene que ver con el carbono y con el suelo. En general un suelo con mayor cantidad de carbono es un suelo con mejor regulación hídrica.

Glaciares Tropicales

- El Perú en el año 1962 tenía 2,399.06 km² de glaciares tropicales, pero al año 2016 se ha reducido a solamente 1,114.11 km²; es decir, un reducción de 53%.
- En muchos casos, el agua de los glaciares llega a los bofedales o páramos. Si no hay bofedales, no hay agua y alimento para los animales en época seca, y si no hay animales, no hay comunidades, no hay vida en la montaña. Entonces, el ciclo hidrológico está directamente vinculado a los medios de vida de las poblaciones que habitan la montaña.
- Es muy importante que la ciencia ingrese en los ámbitos de decisión política. Sería una de las mejores formas de responder adecuadamente a la problemática generada por el retroceso glaciar que traerá consigo la variación del ciclo hidrológico en las cuencas de montaña, la degradación de los ecosistemas contiguos a las cordilleras glaciares y afectará considerablemente los medios de vida de millones de personas.
- El futuro de los glaciares dependerá del aumento de la temperatura. El incremento de la temperatura no es uniforme en todo el planeta. En las regiones polares, el aumento es dos a tres veces mayor que el promedio global. El reciente informe de la ONU sobre las brechas de emisiones (noviembre 2019, preparado para la COP 25) señala que, si no se logra cambiar el rumbo de las emisiones, el futuro será un mundo sin glaciares tropicales.
- Los glaciares tropicales son excelentes indicadores del cambio climático. El retroceso acelerado de los glaciares da lugar a la formación de nuevas lagunas que generalmente son muy susceptibles a generar peligros para poblaciones cercanas.

Ecosistemas de Montaña

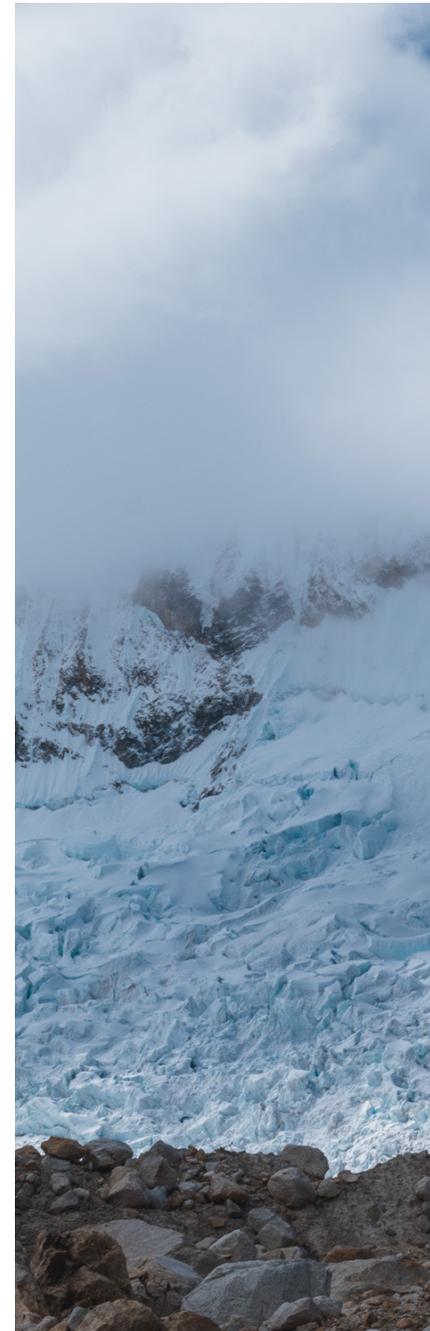
- El Perú es uno de los países más vulnerables a los impactos del cambio climático, principalmente en cuanto a la seguridad hídrica. Los eventos climatológicos extremos, cada vez más frecuentes e intensos, provocan muchos desastres que demuestran la vulnerabilidad del país.
- La infraestructura natural puede jugar un papel fundamental para enfrentar los desafíos hídricos y mejorar la oferta hídrica en épocas de estiaje. La revisión sistemática y la meta-análisis son métodos sólidos y transparentes de síntesis de evidencias para informar a los decisores en políticas y programas sobre la importancia de la implementación de prácticas de infraestructura natural.
- Las brechas de conocimiento sobre el manejo de infraestructura natural para la seguridad hídrica en el Perú son aún grandes. La academia tiene una tarea pendiente en la investigación vinculada a certificar la efectividad de las prácticas de infraestructura natural en la regulación hídrica de las cuencas.
- El conocimiento sobre el funcionamiento de los servicios ecosistémicos hidrológicos puede promover la conservación y restauración de los ecosistemas de montaña. Sin embargo, las experiencias locales o los hallazgos y resultados de las investigaciones no están llegando a políticas públicas. Primero, es necesario que las investigaciones respondan a las necesidades de información y conocimiento de las regiones. Sólo así hay una mayor posibilidad de llegar a trascender en políticas públicas.

Políticas Públicas

- En los últimos años en el Perú, se ha avanzado en la implementación de un sistema de gobernanza y mecanismos institucionales que favorecen acciones sostenibles en favor de los ecosistemas de montaña y, por ende, en los servicios ecosistémicos, como el Programa Sierra Azul, los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE), las tipologías de proyectos de inversión en diversidad biológica y servicios ecosistémicos, la incorporación de iniciativas de siembra y cosecha de agua en intervenciones a nivel de la agricultura familiar (Haku Wiñay), entre otros. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos, estos no trascienden más allá de lo local a espacios territoriales más amplios como en cuencas y regiones del País.
- Se ha identificado como una experiencia valiosa, desde el MINAGRI, la creación de un Programa Nacional de Siembra y Cosecha de Agua. Esta iniciativa tuvo como prolegómeno la realización de seminarios en diferentes capitales de regiones en las que se presentaban experiencias diversas vinculadas a la siembra y cosecha de agua. Estas experiencias fueron sistematizadas en un documento titulado "Hacia un Programa Nacional de Siembra y Cosecha de Agua" y publicado con el apoyo de la cooperación internacional, documento que recoge aprendizajes de cada experiencia e identifica aspectos comunes para analizar la posibilidad de su escalamiento a una política pública nacional, orientada a la recuperación y mejora de los ecosistemas para incrementar los servicios ecosistémicos hídricos. Como resultado de estas acciones, hoy se tiene un programa denominado "Fondo Sierra Azul" que viene ejecutando proyectos de siembra y cosecha a lo largo de la sierra del Perú.
- Investigaciones sobre las proyecciones de lagunas futuras, el impacto económico del retroceso glaciar en la cuenca del río Santa y la propuesta de proyectos multipropósito son orientados a resolver el problema público y con la evidencia generada se pudo trabajar con el sector de economía en el desarrollo de lineamientos para proyectos de inversión pública en sistemas de alerta temprana ante aluviones y proyectos multipropósito del agua.
- Es importante acercar la ciencia a la gente mediante la implementación de políticas públicas. Los hallazgos y resultados de las investigaciones aún no están llegando a políticas públicas. Los esfuerzos son aún incipientes, aislados y muy dispersos. Un conjunto de resultados, producto de las diferentes investigaciones, pueden llegar a políticas públicas. Esto es una tarea pendiente.

Comunicación

- Se han identificado dos experiencias valiosas de cómo las estrategias comunicacionales han permitido que resultados de las investigaciones lleguen a políticas públicas, lineamientos o normas.
- Sin embargo, las experiencias son muy puntuales y específicas, no trascienden el nivel local. Es necesario establecer estrategias y herramientas comunicacionales que permitan transmitir adecuadamente los resultados y hallazgos de las investigaciones y estudios para que estos lleguen a políticas públicas, y estas a su vez transiten a la implementación de medidas y prácticas de adaptación al cambio climático.





Glaciar Artesonraju

Foto: Santiago Martel

