



Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña

2017



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**

2017

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

INAIGEM

Presidente Ejecutiva

PhD. Gisella Orjeda Fernández

Gerenta General

Abg. Marita Mercado Zavaleta

Directores:

Ing. Jesús Gómez López

Director de Investigación en Glaciares (DIG)

PhD. Beatriz Fuentealba Durand

Director de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM)

PhD. José Herrera Quispe

Director de Información y Gestión del Conocimiento (DIGC)

Ing. Víctor Bustinza Urviola

Oficina Desconcentrada Macro Región Sur

Directores 2017

Ing. Marco Zapata Luyo

Director de Investigación en Glaciares (DIG)

Ing. David Ocaña Vidal (2017)

Director de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM)

Ing. Ricardo Villanueva Ramírez (2017)

Director de Información y Gestión del Conocimiento (DIGC)

Editado por:

© Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

Dirección de Información y Gestión del Conocimiento

Dirección:

Sede Central

Jr. Juan Bautista N° 887

Huaraz, Ancash, Perú

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

Oficina de contacto en Lima

Av. Del Pinar N° 134. Of. 804

Santiago de Surco, Lima, Perú

Teléfono: (511) 288-3477

Oficina Desconcentrada Macro Región Sur

Granja Kayra - UNSAAC

Distrito de San Jerónimo, Cusco, Perú

www.inaigem.gob.pe

Febrero 2019

Fotos interiores: INAIGEM

CONTENIDO

Presentación	7
Introducción	9
1. Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña en el Perú	11
1.1 Cordilleras glaciares en el Perú	13
1.1.1 Ámbito	13
1.1.2 Reducción de las superficies glaciares	20
1.1.3 Riesgos asociados	20
1.2 Los ecosistemas de montaña	20
1.2.1 Población	20
1.2.2 Las cordilleras glaciares y los ecosistemas de montaña	20
1.2.3 Riesgos asociados	38
2. Acciones Adoptadas	39
2.1 Investigaciones	41
2.1.1 Glaciares	41
2.1.2 Ecosistemas de Montaña	67
2.1.3 Información y Gestión del Conocimiento	74
2.2 Estudios sobre riesgos	89
2.2.1 Riesgos asociados a glaciares y lagunas	89
2.2.2 Gestión de riesgos en la subcuencas glaciares	89
a. Subcuenca Quillcay	90
b. Subcuenca Pariac	91
c. Subcuenca Yuracmayo	91
2.2.3 Riesgos asociados a los ecosistemas de montaña	97
2.3 Fortalecimiento de capacidades	99
2.4 Promoción de la investigación	102
2.5 Dificultades y acciones tomadas para superarlas	103
2.6 Acciones de otras instituciones	104
2.6.1 Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP)	104
2.6.2 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)	105
2.6.3 Compañía Minera Milpo S.A.A.	107
2.6.4 Sociedad Geológica del Perú	108
2.6.5 Proyecto Glaciares +	110
Conclusiones	111
Recomendaciones	115
Referencias	119

PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) es un organismo técnico especializado adscrito al Ministerio del Ambiente, regulado mediante Ley N° 30286 (Ley de Creación del INAIGEM). Tiene como finalidad fomentar y expandir la investigación científica y tecnológica en el ámbito de los glaciares y los ecosistemas de montaña, promoviendo su gestión sostenible en beneficio de las poblaciones que viven en o se benefician de dichos ecosistemas.

El objetivo del Informe 2017 es presentar, en concordancia con la Quinta Disposición Complementaria Final de la Ley N° 30286, la situación anual de los glaciares y ecosistemas de montañas en el país, como eje de los procesos de cambio climático, así como las acciones adoptadas por la entidad al respecto.

Se presentan dos secciones. La primera describe la situación de los glaciares y los ecosistemas de montaña. Se identifican 18 cordilleras glaciares, su ámbito, la reducción de la superficie glaciar y los riesgos asociados. Para los ecosistemas de montaña se describe la población, su relación con los glaciares y los riesgos asociados. En la segunda sección se presentan las acciones adoptadas por el Instituto, entre ellos los estudios sobre riesgos, la evaluación del nivel de susceptibilidad de las subcuencas Quillcay, Pariac-Rajucolca y Yuracmayo-Santa Cruz. Luego, se describen las principales dificultades y las acciones tomadas para superarlas. Finalmente, las acciones de otras instituciones que contribuyen a la gestión de glaciares y ecosistemas de montaña.

INAIGEM

INTRODUCCIÓN

Los glaciares tropicales en nuestro país son una de las más importantes reservas de agua dulce; sin embargo, son muy sensibles al cambio climático, presentando un retroceso acelerado siendo probable su desaparición en las próximas décadas. Este retroceso genera nuevas lagunas y la presencia de glaciares colgantes, incrementando la probabilidad de ocurrencia de fenómenos peligrosos, tales como avalanchas y aluviones, exponiendo a poblaciones vulnerables e incrementando el nivel de riesgo de desastres. Además, estos desplazamientos de masas destruyen suelos cultivables y naturales, afectando la estabilidad de los ecosistemas de montaña. Luego, el retroceso glaciar expone macizos rocosos que pueden contener sustancias contaminantes como el Drenaje Ácido de Roca (DRA), contaminando las aguas y poniendo en riesgo la salud de animales, plantas y el hombre.

De otra parte, los ecosistemas de montaña se han visto afectados por procesos de degradación progresiva, debido a los cambios en el estilo de vida de las poblaciones y las presiones del mercado sobre los recursos naturales, propiciando el uso de prácticas extractivas insostenibles, como el sobrepastoreo de los pastizales andinos, la extracción minera y el cambio de uso de la tierra.

En Sudamérica, los glaciares tropicales están ubicados en la Cordillera de los Andes: 71% en Perú, 20% en Bolivia, 4% en Ecuador y 4% en Colombia. La responsabilidad institucional para los estudios glaciológicos y el control de lagunas peligrosas experimentó cambios de gestión en el tiempo, con instituciones tales como: la Comisión de Control de Lagunas de la Cordillera Blanca (1951–1969), la Corporación Peruana del Santa (1966–1973), Electroperú (1973-1976), el Instituto Nacional de Geología y Minería - INGEOMIN (1976-1978), el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET (1978-1981), Electroperú (1981-1986), Hidrandina (1986-1990), Electroperú (1991-1999) y (1999-2008), la Autoridad Nacional del Agua - ANA (2008-presente) y, finalmente INAI GEM (2015-presente).

INAI GEM nace como el ente rector para responder a la necesidad de realizar investigación científica en los ámbitos de Glaciares y Ecosistemas de Montaña, cuya dinámica y evolución son poco conocidas aún.

Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña en el Perú



1. Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña en el Perú

1.1 Cordilleras Glaciares en el Perú

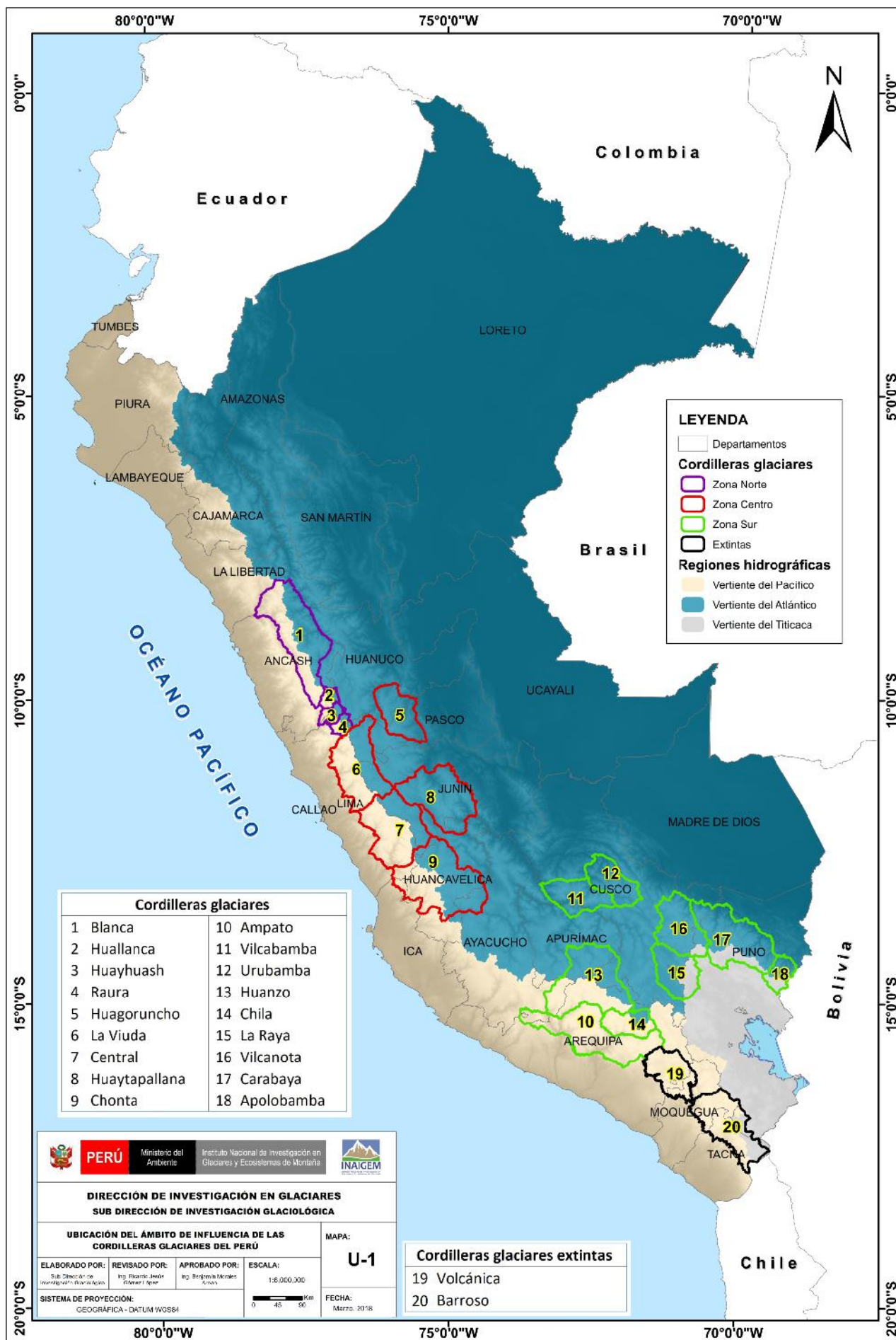
1.1.1 Ámbito

Cordillera de los Andes peruanos

La formación de las cordilleras glaciares está asociada al origen de la cordillera de los Andes. Está conformada por cadenas de montañas que se extienden a lo largo de la zona occidental de América del Sur, ocupando una superficie aproximada de 3.37 millones de km² que se desarrolla en paralelo de la línea de la costa del océano Pacífico y parte del mar Caribe a lo largo de 7,240 km. Así, se constituye como la cadena montañosa más larga de la Tierra. En este contexto, los Andes están comprendidos entre los 11° de latitud N y los 55° de latitud S, formando parte de los territorios de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina. En el caso peruano, los Andes cuentan con dieciocho cordilleras con cobertura glaciar y dos extintas (véase Mapa 1), distribuidas entre las zonas norte, centro y sur del país, cuya geología ha originado una variada geomorfología en toda su extensión, la cual ha condicionado la presencia de tres principales vertientes hidrográficas del país: Pacífico, Atlántico y del Titicaca.

Clima de la región andina

Las condiciones climáticas que influyen sobre las cordilleras están regidas por patrones de circulación atmosférica forzados por la distribución continente-océano, topografía continental, variaciones de la radiación solar sobre la superficie y las interacciones entre las capas de la atmósfera. Todo esto se da en el espacio y tiempo, siendo, principalmente, el comportamiento de los vientos y la cantidad de humedad que rigen las condiciones meteorológicas (Saavedra et al., 2011).



Mapa 1. Ubicación del ámbito de influencia de las cordilleras del Perú.

La radiación solar que incide de manera desigual sobre la superficie terrestre, sumado a un invierno austral que favorece el desequilibrio de energía, originará el transporte del calor a través de los vientos, desde las regiones más cálidas hacia las más frías. A grandes escalas, el aire se calienta en la zona ecuatorial, disminuyendo su densidad y elevándose. Así, al ascender, se dirige hacia los polos geográficos, sufriendo una desviación en sentido antihorario (hemisferio sur) debido a la fuerza de Coriolis. Al llegar a los polos, el aire se enfría y desciende para retornar al ecuador. En este momento, es absorbido por las presiones bajas que se generan en las áreas donde el aire caliente asciende, de manera que en su regreso también será afectado por la fuerza de Coriolis, teniéndose, en mayor proporción, vientos provenientes del Este sobre las cordilleras.

Para la estación húmeda, sobre todo al llegar al verano, existe abundante evapotranspiración producto del calentamiento sobre el océano Atlántico y la cuenca del Amazonas. Por ello existe un aporte importante de humedad hacia la atmósfera —humedad que es desplazada hacia el Oeste por la dinámica climatológica de los vientos— que se va precipitando mientras avanza, según el grado de saturación que sufre la masa de aire con humedad contenida. De esta manera, en la Amazonia ocurren abundantes precipitaciones. Al estar sobre las regiones montañosas, hacia el flanco oriental de las cordilleras, la masa de aire sufre un ascenso forzado que la enfría, condensa y produce precipitaciones abundantes.

En la temporada de estío, el aire se enfría más rápido sobre el continente sudamericano que sobre el océano. Esto conlleva que haya un refuerzo en la zona anticiclónica, interfiriendo con el ascenso de la poca humedad que se tiene debido a la escasa evapotranspiración propia de esta temporada. Por ello, se tiene escasa presencia de cobertura nubosa sobre las montañas (Gilford et al., 1992).

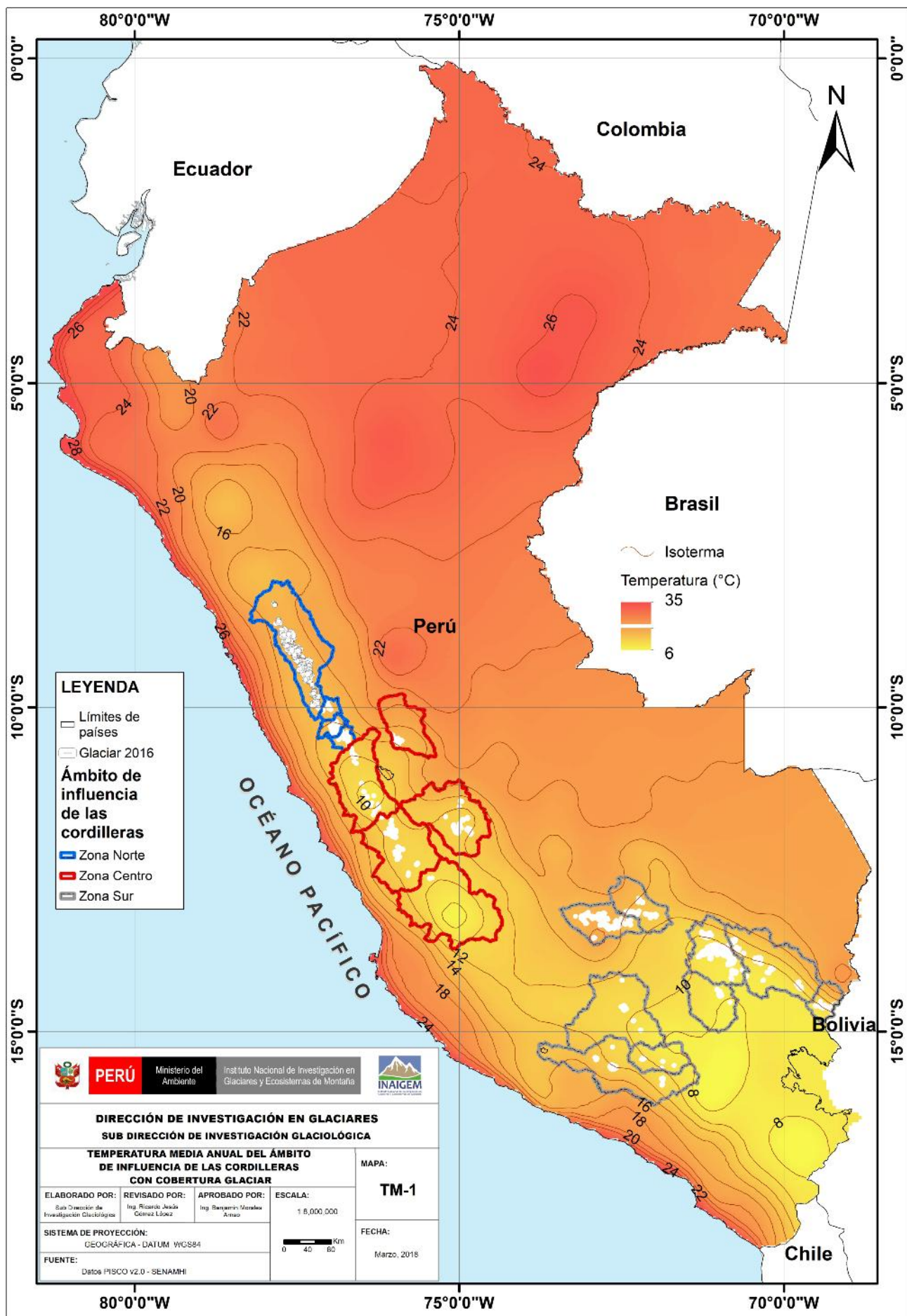
La temperatura media está influenciada por diversos factores, desde planetarios (movimiento de rotación y traslación) y geográficos como la orientación del relieve, la altitud y la latitud, estos dos últimos pueden visualizarse en el Mapa 2, donde las isotermas presentan valores decrecientes cuando la altitud se incrementa y los valores son más altos mientras más cerca se esté del ecuador; por ejemplo, las cordilleras ubicadas en la Zona Norte presentan un valor de 14 °C como temperatura media, este valor desciende mientras aumenta la latitud, teniéndose 12 °C para las cordilleras de la Zona Centro y 10 °C para la Zona Sur.

Hidrografía

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2009), el territorio nacional cuenta con ciento cincuenta y nueve cuencas, las cuales son unidades hidrográficas, distribuidas en tres vertientes: Pacífico, Atlántico y Titicaca.

Dentro del ámbito de las cordilleras con cobertura glaciar, se tienen treinta y seis cuencas que abarcan parcialmente estos ámbitos. Entre los principales ríos de la vertiente del Pacífico se encuentran Camaná, Cañete, Chillón, Lurín, Mala, Ocoña, Pativilca, Rímac, Santa y Yauca. En la vertiente del Atlántico podemos mencionar los ríos Apurímac, Huallaga, Madre de Dios, Marañón, Inambarí, Mantaro, Perené y Urubamba. En la vertiente del Titicaca tenemos los ríos Azángaro, Huancané, Pucará y Suches.

La vertiente del Pacífico, dentro del ámbito de las cordilleras glaciares, cuenta con veinte unidades hidrográficas. Los ríos en esta vertiente se caracterizan por poseer gran pendiente y por ser del tipo estacionario. En la vertiente del Atlántico, existen doce cuencas. Los ríos se caracterizan por poseer gran pendiente -sobre todo los



Mapa 2. Temperatura del ámbito de influencia de las cordilleras glaciares.

de la parte alta (sierra)- mientras que los de la parte de la llanura amazónica se caracterizan por ser de baja pendiente, poseen grandes longitudes, mantienen caudales perennes y forman parte de la red hidrográfica del río Amazonas. La vertiente del Titicaca, dentro del ámbito de las cordilleras glaciares, abarca cuatro cuencas. Sus ríos poseen grandes pendientes en la parte alta, que van disminuyendo conforme se produce el descenso. Las redes hídricas son de menor longitud, si son comparadas con los ríos de las otras vertientes. Al final de su recorrido, confluyen en el lago Titicaca (véase Mapa 3).

La agreste conformación geomorfológica de las cordilleras, sumada a los resultados de la fusión de los glaciares, permite que los cursos de agua sean aprovechados con gran éxito en la instalación de importantes centrales hidroeléctricas que contribuyen a sostener el desarrollo del país. Entre las más importantes destacan las cuencas hidrográficas de los ríos Vilcanota, Chili, Rímac, Mantaro, Paucartambo, Pativilca, Cañete, Huaura y Santa, para construir centrales hidroeléctricas.

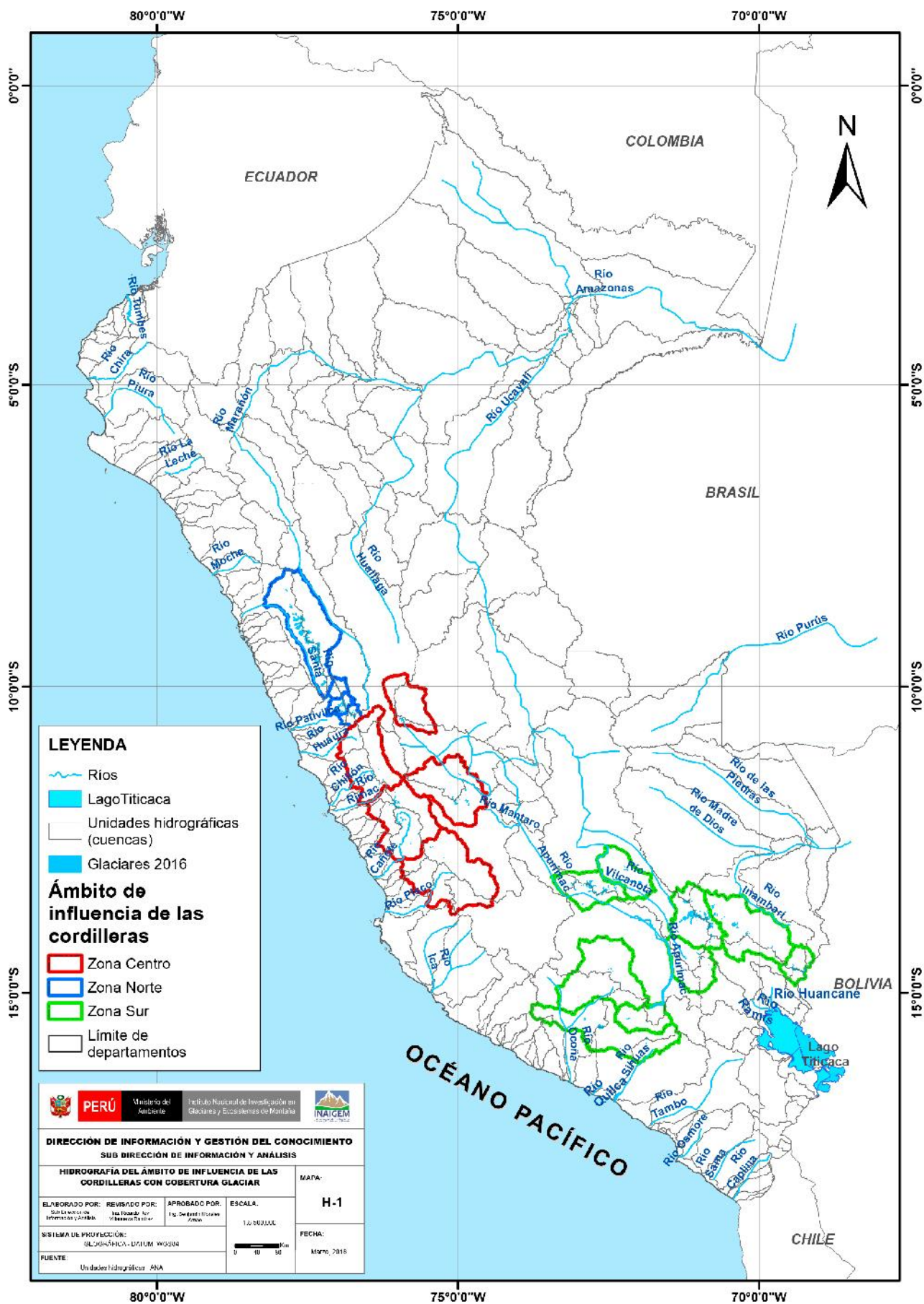
Sismología

El Perú se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, zona de la convergencia entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Las fallas geológicas presentes en los Andes peruanos también originan sismos de diversa magnitud. Los movimientos telúricos han afectado la estabilidad de las cordilleras glaciares de nuestro país y han causado la destrucción de grandes poblados y ciudades. Por ejemplo, en 1970 el fatídico terremoto y aluvión destruyó Ranrahirca y Yungay en Áncash.

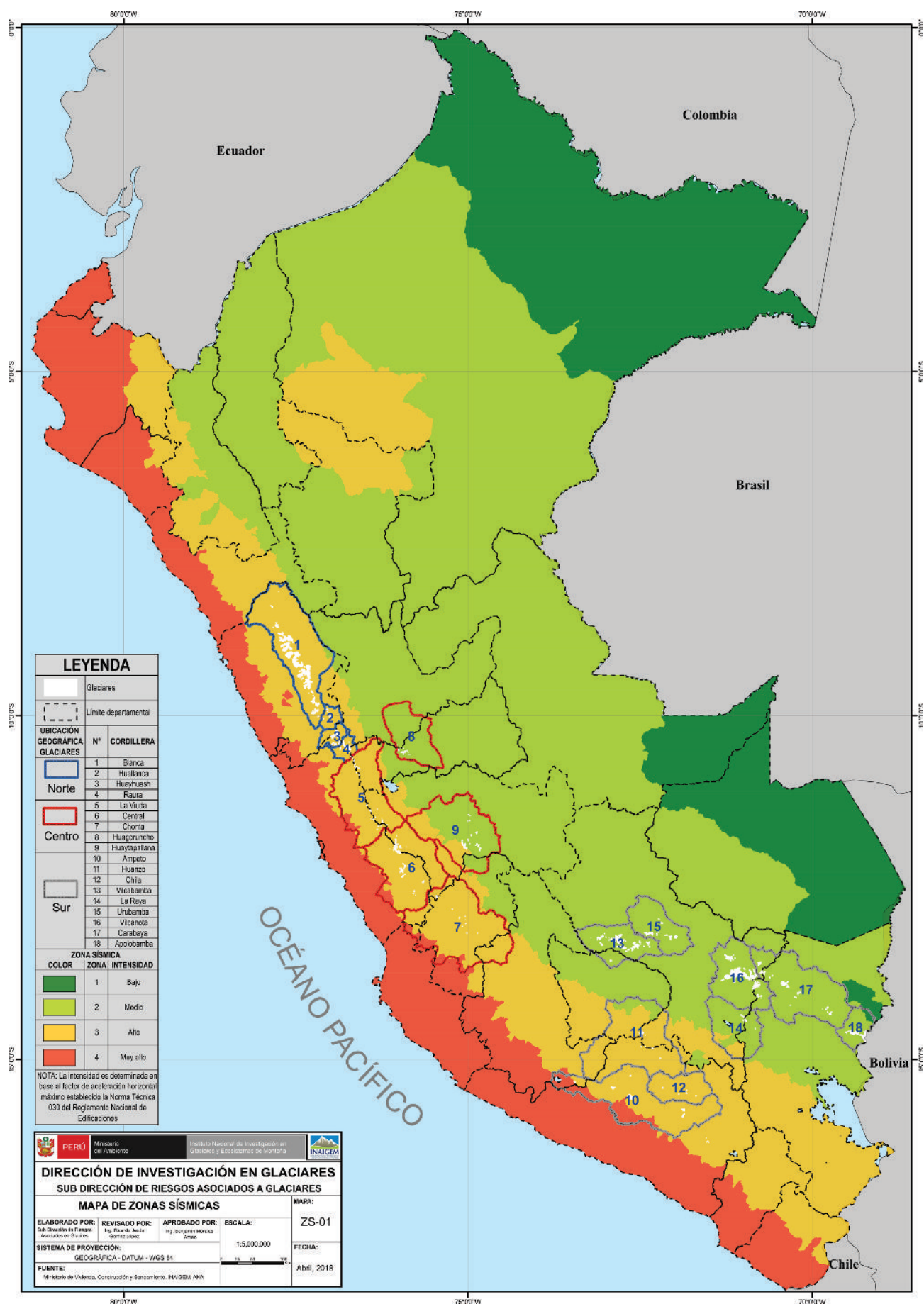
El análisis de la sismicidad histórica de los últimos cien años (Bernal y Tavera, 2002) registra altos niveles de actividad sísmica. La mayoría de los sismos identificados corresponden a eventos superficiales (<60 km), cuyos epicentros se presentan en la zona del contacto de la placa Sudamericana con la placa de Nazca, en la fosa Perú-Chile.

La sismotectónica del Perú se caracteriza por la colisión y subducción de las placas tectónicas activas de Nazca y Sudamericana. La placa Sudamericana está conformada por todo el continente, avanzando hacia el Oeste con una velocidad de dos a tres centímetros por año, encontrándose en extremo occidental con la placa de Nazca, que avanza hacia el Este con una velocidad aproximada de cinco a diez centímetros por año (Berrocal, Deza y Shikiya, 1975). Estas condiciones tectónicas generan los movimientos sísmicos que son las causas de los terremotos. Bajo estas consideraciones tectónicas, geológicas y geomorfológicas, se establece que el Perú es uno de los países con mayor riesgo sísmico en América Latina.

En el Perú existe un Mapa de Zonas Sísmicas. La zonificación se elaboró en base a las aceleraciones máximas horizontales en suelo rígido, con una probabilidad al 10% de ser excedida en 50 años (teniendo en cuenta la Norma Técnica E.030 «Diseño Sismoresistente» del Reglamento Nacional de Edificaciones). Se puede apreciar en el Mapa 4, donde la zona sísmica 4 (muy alta intensidad) puede influir la sismicidad en las cordilleras glaciares Blanca, Huallanca, Huayhuash, Raura, La Viuda, Central, Chonta y Ampato. Dentro de la zona sísmica 3 (alta intensidad) se ubican las cordilleras glaciares Blanca, Huallanca, Huayhuash, Raura, La Viuda, Central, Chonta, Ampato, Huanzo y Chila. En la zona sísmica 2 (media intensidad) se ubican las cordilleras glaciares Huagoruncho, Huaytapallana, Vilcabamba, Urubamba, La Raya, Vilcanota, Carabaya y Apolobamba. Finalmente, en la zona sísmica 1 (baja intensidad) no se ubica alguna cordillera glaciar.



Mapa 3. Hidrografía del ámbito de influencia de las cordilleras con cobertura glaciar.



Mapa 4. Zonas sísmicas del ámbito de influencia de las cordilleras con cobertura glaciar.

1.1.2 Reducción de las superficies glaciares

En nuestro país, se han identificado dieciocho cordilleras con cobertura glaciar, las mismas que se indican en la Mapa 1 e Imágen 1, mientras que en la Tabla 1, se muestran los resultados de los inventarios por cordillera glaciar al 2017.

1.1.3 Riesgos asociados

El retroceso acelerado de glaciares debido al cambio climático ha originado la formación de lagunas nuevas con alto nivel de amenaza física. Las nuevas lagunas, de acuerdo con su evolución, características físicas y presencia de poblaciones en la parte baja de las subcuencas, están definidas como *lagunas peligrosas*. En general, estas lagunas de origen glaciar se ubican en las cabeceras de las cuencas glaciares del Perú.

En la Cordillera Blanca han ocurrido varios desembalses de lagunas de origen glaciar, debido a la caída de roca y hielo sobre ellas. Para menguar estos eventos, se han construido varias obras de seguridad, sobre todo en las lagunas que podrían representar alta peligrosidad. Entre los años 1950 y 2000 se han construido 34 obras de seguridad en la Cordillera Blanca. Debido a la importancia que tienen estas obras, es necesario inspeccionarlas para evaluar su estado físico y la funcionalidad en cuanto a la seguridad.

1.2 Los ecosistemas de montaña

Los ecosistemas de montaña se ubican sobre los 1500 m s.n.m. (MINAM, 2015), en la Cordillera de los Andes. En el Perú, esta región abarca cerca de 30 millones de hectáreas, que representa el 20% de la superficie del Perú. En esta región habitan aproximadamente ocho millones de habitantes el 28% de la población peruana. En estos territorios se reconocen, principalmente, cinco tipos de ecosistemas: bofedales, bosques andinos relictos, bosques montanos, pajonales o pastizales andinos y matorrales arbustivos. Estos ecosistemas tienen funciones que permiten el mantenimiento de la biodiversidad andina, así como la provisión de importantes servicios ecosistémicos, tanto para pobladores locales (son fuente de agua, leña y forraje para el ganado) como para los pobladores de las zonas bajas.

1.2.1 Población

Se ha estimado que en las áreas de influencia de las cordilleras habitan 2'971,974 personas (INEI, 2015). Esto representa el 10% de la población nacional, con un promedio de 18 habitantes por kilómetro cuadrado. Esta cifra evidencia que las cordilleras, en general, tienen baja densidad poblacional. A todo esto, se estima que 1.4 millones de personas viven de la agricultura en los Andes peruanos, y constituyen el 63.9% del total de productores agrícolas del país (MINAM, 2015).

1.2.2 Las cordilleras glaciares y los ecosistemas de montaña

Las cordilleras glaciares dentro de su entorno albergan diversos ecosistemas que poseen características particulares de suelo, clima y diversidad biológica. Estas prestan las condiciones para brindar diversos servicios ecosistémicos, como son el agua, la energía y los recursos naturales. A continuación, se describe los ecosistemas y servicios ecosistémicos de las diferentes cordilleras glaciares en nuestro país.

- Según el Ministerio de Ambiente (MINAM, 2015), en la **Cordillera Blanca** se presentan seis ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia (véase Fotografía 1). Dichos ecosistemas son



Imágen 1. Imágen aérea de las dieciocho cordilleras glaciares del Perú. Fuente: Google Earth, 2017.

Tabla 1. Resultados del inventario por cordillera glaciar al 2017

Inventarios									
Cordillera		Hidrandina S.A., 1989			CONAM, 2001			MINAGRI - ANA, 2014	
		Corporación Peruana del Santa & Electoperú		Analizado por INAIGEM, 2016	Instituto Nacional de Glaciares y Geambiente		Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos		
		(1)		(2)	(3)		(4)		
N°	Nombre	Año de la fotografía aérea	Área glaciar (km²)	Año de imagen satelital	Área glaciar (km²)	Año de imagen satelital	Área glaciar (km²)	Año de imagen satelital	Área glaciar (km²)
1	Blanca	1962	723.37	1962/1975	726.26	1997	611.48	2003	527.62
2	Huallanca	1962	20.91	1962/1975	21.05	1997	17.64	2007	7.01
3	Huayhuash	1962	84.97	1962/1975	86.89	1997	71.68	2007	55.27
4	Raura	1962	55.20	1962/1975	55.31	1997	28.92	2007	28.34
5	Huagoruncho	1962	23.40	1962/1976	23.70	1997	13.38	2009	9.71
6	La Viuda	1962	28.60	1962	28.60	1997	14.99	2007	6.03
7	Central	1962	116.65	1962/1975-1978	117.20	1997	79.32	2007	51.91
8	Huaytapallana	1962	59.08	1962/1984	68.05	1997	37.57	2009	26.40
9	Chonta	1962	17.85	1962	17.85	1997	9.35	2009	1.40
10	Ampato	1955	146.73	1955	146.73	1997	99.78	2010	60.96
11	Vilcabamba	1962	37.74	1962/1975	261.45	1997	25.66	2009	129.15
12	Urubamba	1962	41.48	1962/1975	76.16	1997	28.21	2009	26.39
13	Huanzo	1955	36.93	1955/1975	39.31	1997	25.11	2010	4.51
14	Chila	1955	33.89	1955	33.89	1997	23.05	2010	0.93
15	La Raya	1962	11.27	1962	11.27	1997	7.66	2010	3.06
16	Vilcanota	1962	418.43	1962/1975	495.05	1997	375.75	2009	279.40
17	Carabaya	1962	104.23	1962/1975	107.17	1997	70.88	2009	34.53
18	Apolobamba	1962	81.12	1962/1975	83.12	1997	55.16	2010	45.25
19	Volcánica*	-						2009	0.72
20	Barroso*	-							
TOTAL			2,041.85		2,399.06		1,595.59		1,298.59

(1) Información trabajada por la Corporación Peruana del Santa y Electropertu, publicada por Hidrandina S.A. en 1989. No se logró cubrir en su totalidad las 20 cordilleras nevadas del Perú.

(2) Información analizada por INAGEM con imágenes satelitales Landsat 2 MSS del año 1975; superficies no cubiertas en el primer inventario.

(3) Información trabajada por INAGGA desde 1997 con imágenes Landsat y publicada por CONAM en el 2001.

(4) Información trabajada por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la ANA desde 2003 y publicada en el 2014. En este inventario se cubrió la Cordillera Volcánica con imágenes Aster del 2009 en su totalidad, y en las demás cordilleras se utilizó Spot, Aster, Landsat y LISS III.

* Cordilleras Extintas.

bofedales, bosque relicto altoandino, bosque xérico interandino, cardonal, matorral arbustivo y pajonal andino. El pajonal andino es el ecosistema que predomina notoriamente, ya que ocupa el 38% del territorio. Luego, existe un porcentaje importante de matorral arbustivo con el 27% y el porcentaje restante se distribuye entre los otros ecosistemas. En la Cordillera Blanca se encuentra el Parque Nacional Huascarán, que es un área natural protegida de gran biodiversidad. En este sentido, la composición vegetal y las características edafológicas de los ecosistemas de esta cordillera permiten que tengan especiales condiciones para la captación y almacenamiento de agua, siendo este uno de los principales servicios ecosistémicos que brindan. En términos de captación o absorción, buena parte de este recurso proviene de la fusión glaciar y otro tanto llega a través de las lluvias y la niebla que es atrapada por la vegetación, principalmente el pajonal y *Polylepis* sp. (queñua o quenual) que es una especie representativa de esta cordillera.



Fotografía 1. Morfología típica de montaña en la Cordillera Blanca.

- En la **Cordillera Huallanca** se presentan cuatro ecosistemas que brindan servicios ecosistémicos importantes dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas, según el MINAM (2015), son bofedales, bosque relicto altoandino, matorral arbustivo y pajonal andino. El pajonal andino ocupa el 82% del territorio, seguido por el matorral arbustivo con el 11%. El porcentaje restante lo ocupan los otros dos ecosistemas: el bofedal con el 5% y el bosque relicto altoandino con el 2%.

El paisaje actual ha sido modelado por los procesos geodinámicos, principalmente de origen glaciar, facilitando la formación de morrenas y amplios fondos de valle, ocasionando cambios en la parte baja de las subcuencas. En la Fotografía 2, se visualiza la cabecera de la microcuenca Shicra Shicra con pequeños afluentes que convergen al bofedal del mismo nombre.



Fotografía 2. Cuenca glaciar de la quebrada Shicra Shicra a la derecha el bofedal del mismo nombre - Cordillera Huallanca.

- En la **Cordillera Huayhuash** se presentan cuatro ecosistemas que brindan servicios ecosistémicos (véase Fotografía 3): bofedales, bosque relicto altoandino, matorral arbustivo y pajonal andino. Los servicios que brindan estos ecosistemas están orientados a la regulación hídrica, mantenimiento de la biodiversidad, secuestro de carbono, belleza paisajística y formación de suelos, entre otros (MINAM, 2015).

La biodiversidad del entorno de la Cordillera Huayhuash es muy rica, como en todo el macizo andino. Algunas de las lagunas están circundadas por grandes bosques de queñuales (*Polylepis racemosa*) y quisuare (*Buddleja incana*). Por debajo de los glaciares ocupa gran extensión el ichu en sus distintas variedades (*Stipa brachyphylla*, *S. obtusa*, *S. inconspicua*) como magnífico forraje para la crianza de animales. Hay una gran variedad de otras plantas que van desde líquenes, musgos, plantas almohadilla (*Plantago rigida*), plantas medicinales como la huamanripa (*Senecio tephrosioides*) y la hiula huila o ancosh (*Senecio canescens*).



Fotografía 3. Cadena montañosa, pajonal andino y cochas - Cordillera Huayhuash.

- En la **Cordillera Raura** se presentan cuatro ecosistemas que brindan servicios ecosistémicos importantes dentro de sus áreas de influencia (véase Fotografía 4). Estos ecosistemas son bofedales, bosque relicto altoandino, matorral arbustivo y pajonal andino. Los servicios que brindan estos ecosistemas están orientados a la regulación hídrica, mantenimiento de la biodiversidad, secuestro de carbono, belleza paisajística y formación de suelos, entre otros (MINAM, 2015).

En esta cordillera se encuentran comunidades arbustivas con follaje caducifolio, siendo las más comunes las siguientes: chilca (*Baccharis* sp.), chamana (*Dodonea viscosa*), huarumo (*Tecoma sambucifolia*), retama (*Spartium junceum*), agave (*Agave americana*) y *Puya* spp., como las más representativas. En los límites superiores, el matorral tiene follaje siempre verde, siendo representado por las siguientes especies: huarumo (*Tecoma* sp.), manzanita (*Hesperomeles* sp.), mutuy (*Senna* sp.), roque (*Colletia spinosissima*), chilca (*Baccharis* sp.) y tiri (*Miconia* sp.). Este matorral constituye una fuente energética (leña) para los pobladores del campo y al mismo tiempo es un refugio para la fauna silvestre. Así mismo, el estrato herbáceo que tapiza los suelos está constituido por gramíneas perennes que sirven de sustento al ganado.



Fotografía 4. Ecosistema pajonal y laguna Lauricocha – Cordillera Raura.

- En la **Cordillera Huagoruncho** se presentan cinco ecosistemas que cumplen funciones importantes dentro de sus áreas de influencia (véase Fotografía 5). Estos ecosistemas son bofedales, bosque montano, bosque relicto mesoandino, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015).

El pajonal andino es el ecosistema que predomina ya que ocupa el 38.4% del territorio. Las comunidades arbóreas que destacan en esta cordillera son de porte bajo y con abundantes especies epífitas, muchas de las plantas con follaje coriáceo. Entre las típicas familias y géneros se mencionan a las siguientes: Myricaceae (*Myrica*), Myrsinaceae (*Myrsine*), Melastomataceae (*Miconia*), Clethraceae (*Clethra*), Rosaceae (*Polylepis* y *Hesperomeles*), Bignoniaceae

(*Delostoma*), Grossulariaceae (*Escallonia*), Araliaceae (*Aralia*, *Schefflera* y *Oreopanax*), Myrtaceae (*Calyptanthus* y *Myrcianthes*) Clusiaceae (*Clusia*), Cunoniaceae (*Weinmannia*), Solanaceae (*Solanum*), Brunelliaceae (*Brunellia*), *Hedyosmum*, Siparunaceae (*Siparuna*) y Elaeocarpaceae (*Vallea*).



Fotografía 5. Zona periglacial y ecosistema pajonal del glaciar Huagoruncho
Cordillera Huagoruncho

- En la **Cordillera La Viuda** se presentan seis ecosistemas importantes: bofedales, bosque relictos altoandino, bosque relictos mesoandino, cardonal, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015).

El pajonal andino ocupa el 55.5% del territorio, seguido por el matorral arbustivo con 16% y el porcentaje restante lo ocupan los otros ecosistemas, resaltando el bofedal con el 4%.

En la Cordillera La Viuda los pajonales se encuentran asociados al chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis* L. spp.), que es una planta de porte arbustiva. También, se puede encontrar yorac yorac (*Senecio nivalis*) es una planta pequeña con pubescencia blanca y con tallos que sirven como raíces (rizomas). Pertenecen a la familia Asteraceae que se caracteriza por contener alcaloides (véase Fotografía 6).



Fotografía 6. Zona periglacial laguna Chuchón, cuenca Chillón – Cordillera La Viuda.

- En la **Cordillera Central** se presentan seis ecosistemas: bofedales, bosque relicto altoandino, bosque relicto mesoandino, cardonal, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015). El pajonal andino ocupa el 61.7% del territorio, seguido por el matorral arbustivo con 14%, el cardonal con 4% y el bofedal con 1.2% (véase Fotografía 7). Los otros ecosistemas ocupan superficies más pequeñas. Asimismo, estos cumplen con funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia, como la regulación hídrica, el mantenimiento de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza paisajística y la formación de suelos, entre otros.

En esta cordillera se encuentra la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (RPNYC), ubicada en la cuenca alta y media del río Cañete y en la cuenca del Cochas Pachacayo en la serranía de los departamentos de Lima y Junín. Tiene una extensión de 221,268.48 hectáreas.

Dentro de la flora característica de esta cordillera destacan los pajonales y extensas áreas de queñuales (*Polylepis incana*). Se encuentran también rodales de puyas Raimondi (*Puya raimondii*) ubicados en el distrito de Canchayllo, provincia de Jauja.



Fotografía 7. Ecosistema de pajonal andino - Cordillera Central.

- En la **Cordillera Huaytapallana** (véase Fotografía 8) existen cuatro ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son bofedales, bosque montano, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015). El pajonal andino ocupa el 58% del territorio y el porcentaje restante lo ocupan los otros ecosistemas.

En esta cordillera se ubica el Área de Conservación Regional Huaytapallana, que tiene como objetivo conservar la diversidad biológica y paisajística, orientado al uso adecuado de los recursos hídricos. Para esto se busca asegurar la conservación y restauración de los ecosistemas de pajonales, césped de puna,

bofedales, lagunas y ecosistema nival. En este sentido, destacan los complejos sistemas hidromórficos (bofedales) que contienen diversas asociaciones vegetales que sirven de piso forrajero, tales como *Hypochaeris taraxacoides* e *H. echegarayi*.



Fotografía 8. Zona periglacial y cochas asociadas a bofedales – Cordillera Huaytapallana

- En la **Cordillera Chonta** existen seis ecosistemas: bofedales, bosque relicto altoandino, bosque relicto mesoandino, cardonal, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015). El pajonal de puna se encuentra principalmente sobre los 3800 y hasta los 4500 m s.n.m. Las especies dominantes en esta formación son poáceas de los géneros *Festuca* y *Calamagrostis* que se encuentran acompañadas de una veintena de otras especies de poáceas y de otras especies principalmente de las familias Malvaceae y Asteraceae que crecen protegidas entre los manojos de ichu. Destacan por su abundancia en esta cordillera *Lobelia tenera* y *Rumex acetosella*.

En el caso de los bofedales, este tipo de vegetación se presenta en lugares de mal drenaje que se encuentran saturados de agua. Esta vegetación tiene una gran importancia pues es la principal fuente de alimento de ganado (camélidos sudamericanos principalmente) en la época seca, en la que los pastos naturales son escasos o muy poco nutritivos. El pajonal andino ocupa el 68% del territorio y el porcentaje restante lo ocupan los otros ecosistemas, donde resaltan las áreas de matorral arbustivo con el 13% (véase Fotografía 9).



**Fotografía 9. Ecosistema pajonal y bofedal
al fondo se muestra la laguna Acchicocha–Cordillera Chonta.**

- En la **Cordillera Ampato** se presentan cinco ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia (véase Fotografía 10). Estos ecosistemas son bofedales, bosque relicto altoandino, cardonal, matorral arbustivo y pajonal andino. Los servicios que brindan estos ecosistemas están orientados a la regulación hídrica, mantenimiento de la biodiversidad, secuestro de carbono, belleza paisajística y formación de suelos, entre otros (MINAM, 2015). El pajonal andino ocupa el 35% del territorio y el porcentaje restante lo ocupan los otros ecosistemas, donde resaltan las áreas de matorral arbustivo con el 28%.

El pajonal, como el ecosistema altoandino más extenso, presenta vegetación herbácea que puede ocupar terrenos planos u ondulados o colinas de pendiente suave a moderada en suelos principalmente de textura areno-limosa con bajo contenido de materia orgánica. Tiene cobertura inferior al 35 % y altura máxima que generalmente no supera los 1.5 metros. Está constituido generalmente por céspedes dominados por gramíneas de porte bajo y pajonales dominados por gramíneas amacolladas robustas, xeromórficas, a menudo con hojas rígidas, duras y punzantes, con presencia variable de arbustos resinosos, intercalándose vegetación saxícola en los afloramientos rocosos (está típicamente asociado a los arbustos) y canllares (formaciones de *Margyricarpus* sp.). Colindantes al nevado volcán Coropuna se observan apiáceas y gramíneas de los géneros *Azorella* y *Stipa* (yaretas e ichu).



Fotografía 10. Bofedal Maucallacta - Cordillera Ampato.

- En la **Cordillera Vilcabamba**, los glaciares se distribuyen a lo largo de 94 km, ubicados en la cadena montañosa de los Andes del oriente. En ella destacan los siguientes glaciares: Salcantay, Chilipahua, Ticllacocha, Planchayoc, Ampay (véase Fotografía 11), Padrechachoc, Chulluncuy, Ranrapata, Ancasvilca y Ranrapata, entre otros. En este contexto se presentan siete ecosistemas: bofedales, bosque montano, bosque relicto mesoandino, bosque relicto mesoandino de coníferas, bosque xérico interandino, matorral arbustivo y pajonal andino. El pajonal andino ocupa el 35.5% y matorral arbustivo el 12.6%. Los bosques andinos suman también un porcentaje importante de aproximadamente 20% del territorio (MINAM, 2015).

Esta cordillera tiene escasa aptitud para la agricultura, debido su clima extremo. La falta casi total de plantas arborescentes es uno de los caracteres más resaltantes. Sólo los bosques de queñual (*Polylepis*) y ccolle (*Buddleja coriacea*) constituyen una excepción. También en lugares muy contados se encuentran rodales de *Puya raimondii*. Predominan los pajonales de ichu (*Stipa ichu*) y chiliwa (*Festuca dolicophylla*). Los lugares más abrigados, como son fondos de valles, roqueríos y laderas expuestas al sol, permiten el desarrollo de una vegetación más variada. En partes muy altas, la vegetación es corta, densamente enmarañada, adaptada a las condiciones extremas. Muchas plantas tienen rosetas de hojas comprimidas en el suelo, y raíces muy profundas. Muchas también tienen hermosas flores (*Gentiana*, *Hypochaeris*, *Werneria*) y otras forman almohadones extensos (la yareta, *Azorella compacta*). Los fondos de los valles glaciares a menudo tienen bofedales con vegetación densamente enmarañada (*Plantago rigida* y *Distichia muscoides*).



Fotografía 11. Bofedal Soraypampa al pie del glaciar Salcantay – Cordillera Vilcabamba.

- En la **Cordillera Urubamba** se tienen cinco ecosistemas que brindan servicios ecosistémicos importantes dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son bosque montano, bofedales, bosque relictos altoandino, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015). Los ecosistemas más resaltantes en esta cordillera son los pajonales y matorrales altimontanos de la puna húmeda, definidos como vegetación secundaria de origen principalmente antrópico a partir de la degradación de los bosques bajos y arbustales altimontanos de la puna húmeda. Son herbazales graminoides amacollados con proporciones variables de matorrales mayormente microfoliados y resinosos, que se instalan sobre suelos degradados después de la deforestación, cultivo e impacto del fuego y del ganado. Las formaciones vegetales conformadas por matorrales y bosques nativos remanentes se encuentran relegados a zonas inaccesibles de pendiente pronunciada, habiendo sido remplazados en algunos casos por plantaciones forestales exóticas, principalmente con eucalipto (véase Fotografía 12).



Fotografía 12. Bofedal impactado por actividades antrópicas al pie del glaciar Chicon – Cordillera Urubamba

- En la **Cordillera Huanzo** se presentan cinco ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son bofedales, bosque relicto mesoandino, cardonal, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015). El pajonal andino ocupa 65.5% del territorio y el porcentaje restante lo ocupan los otros ecosistemas: bofedal (2%), matorral arbustivo (7%), bosque relicto mesoandino (0.3%) y cardonal (0.5%) (véase Fotografía 13).



Fotografía 13. Ecosistema pajonal - Cordillera Huanzo.

- En la **Cordillera Chila**, los glaciares se distribuyen a lo largo de 55 km, destacando los glaciares Chila Pillune, Sandoval con 5,575 m s.n.m., Choquepirhua, Huillcayo con 5,585 m s.n.m., Ccacsata, Surihuiri con 5,540 m s.n.m., Jatunpila y Mismi (véase Fotografía 14). En esta cordillera se presentan cinco ecosistemas que brindan servicios ecosistémicos importantes dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son bofedales, bosque relicto altoandino, cardonal, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015).

El pajonal andino ocupa el 55% del territorio, seguido por el matorral arbustivo (9.2%), bofedal (1.5%), cardonal (1.3%) y bosque relicto altoandino con el 1%. La vegetación predominante comprende las comunidades de pastos amacollados que se ubican entre 3500-3800 m y 4200 m de altitud. Reciben mucha más precipitación que las punas interandinas, y son comunidades mixtas, dominadas por gramíneas (*Festuca*, *Deyeuxia*, *Poa*, *Cortaderia*) y con presencia variable de especies leñosas arbustivas, sobre todo de familias como Asteraceae (*Baccharis*, *Gynoxis*, *Pentacalia*). También son abundantes los helechos de porte herbáceo y arbustivo, así como una importante cobertura de musgos terrestres. En ciertas quebradas hay bosques de *Polylepis*, los cuales antes cubrían todo este piso.



Fotografía 14. Cocha andina y ecosistemas pajonal. Al fondo Glaciar Mismi Cordillera Chila.

- En la **Cordillera La Raya** se presentan tres ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son bofedales, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015). El pajonal andino ocupa el 70% del territorio y el porcentaje restante lo ocupan los otros ecosistemas: bofedal con el 3.5% y matorral arbustivo con el 8%. Uno de los ecosistemas importantes en esta cordillera es los bofedales, que se hallan constituidos por especies vegetales propias de ambientes húmedos de carácter permanente o temporal, y constituyen fuentes de forraje durante los periodos de sequía. En su composición florística dominan especies de porte almohadillado, como *Distichia muscoides*, *Plantago rigida*, *Oxycloe* sp, y especies

como *Calamagrostis ovata*, *C. eminens* y *C. rigescens*. Junto a estas especies se encuentran otras de importancia secundaria, como *Hipchoeris taraxacoides*, *Werneria pigmaea*, *Alchemilla diplophylla* y *Cotula mexicana*.

Son importantes también los totorales y juncuales que son comunidades vegetales que se desarrollan al borde de los lagos y se hallan dominados mayormente por *Scirpus californicus* y *S. mexicanus* (véase Fotografía 15).



Fotografía 15. Ecosistema bofedal en la cabecera de la subcuenca Vilcanota Cordillera La Raya.

- En la **Cordillera Vilcanota** se presentan cuatro ecosistemas que brindan servicios ecosistémicos importantes dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son bofedales, bosque montano, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015). Los bosques de *Polylepis* de la Cordillera Vilcanota se encuentran entre 3600-4500 m s.n.m. y son caracterizados por contener una fauna y flora única, caracterizada por presentar altos niveles de endemismo. Son albergue de especies raras de aves de Sudamérica, incluyendo a especies como *Anairetes alpinus*, *Cinclodes aricomae*, *Poospiza garleppi* y *Oreomanes fraseri*. Desfavorablemente, estos bosques constituyen uno de los hábitats más vulnerables debido a la fuerte presión antropogénica existente (tala para leña y materiales de construcción, además de sobrepastoreo). Es imprescindible resaltar que estos bosques representan, en muchos lugares de la cordillera, la única fuente de recurso maderable (véase Fotografía 16).



Fotografía 16. Bofedal en el ámbito de la Cordillera Vilcanota.

- En la **Cordillera Carabaya** se presentan tres ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia (véase Fotografía 17). Estos ecosistemas son bofedales, bosques montano y pajonal andino (MINAM, 2015). El pajonal andino ocupa el 59% del territorio, seguido por el conjunto de bosques andinos con el 23%.



Fotografía 17. Ecosistema pajonal – al fondo el nevado Allin Capac Cordillera Carabaya.

- En la **Cordillera Apolobamba** se presentan cinco ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia: bofedales, bosques de montaña altimontano, bosques de montaña basimontano, bosques de montaña montano y pajonal andino (MINAM, 2015). El pajonal andino ocupa el 49% del territorio seguido por el conjunto de bosques andinos con el 16% y el porcentaje restante lo ocupan los otros ecosistemas, resaltando las áreas de bofedales con el 1.5% (véase Fotografía 18).

Los ecosistemas de turberas altoandinas puneñas, son muy característicos de esta cordillera. Están dominadas por biotipos de hemcriptófitos y caméfitos subfruticosos con denso crecimiento cespitoso, que originan morfologías muy compactas de aspecto plano o almohadillado, constituidas por una o dos especies a las que acompañan pequeñas hierbas rosuladas o reptantes. Estas formaciones se desarrollan en suelos fríos permanentemente saturados de agua, dando lugar a depósitos de turba que pueden alcanzar notables espesores. Los bofedales sirven como forraje principalmente para los camélidos. Mayormente están constituidos por especies características de este ecosistema *Distichia muscoides*, *Oxychloe andina*, *Plantago rigida*, *Plantago tubulosa*, *Myrosmodes palusdum*, *Gentianella* sp., *Astragalus* sp., *Alchemilla bipinnatifida* y *Luciliocline*.



Fotografía 18. Ecosistema pajonal y zona periglacial – Cordillera Apolobamba.

- En la **Cordillera Volcánica** se presentan cuatro ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son humedales (lagunas, bofedales), bosques andinos (relictos altoandinos), matorral arbustivo y pradera nativa o pajonal andino (MINAM, 2015). El pajonal andino es el ecosistema predominante que ocupa el 72% del territorio, seguido por el matorral arbustivo con un 9% y el porcentaje restante se reparten los otros ecosistemas (véase Fotografía 19).

En gran parte de la Cordillera Volcánica se encuentra la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca que alberga una muestra representativa de la puna seca de Sudamérica. Hasta la fecha, según el SERNANP, en la Reserva se han

identificado un total de 358 especies de plantas, distribuidas en 155 géneros, 47 familias, 31 órdenes, 4 clases y 3 divisiones.

Al centro de este sistema volcánico se encuentra el ecosistema humedal (lagunas y bofedales). El más representativo es la laguna Salinas de 13 km de longitud y unas 6,182 ha. Esta laguna es de poca profundidad, y en épocas de sequía se puede secar totalmente. Sus principales tributarios son los ríos Chacalaque y Turca. La laguna constituye un hábitat original de aves como el flamenco andino o parihuana (*Phoenicoparrus andinus*) y el pato cordillerano (*Lophonetta specularioides*).



Fotografía 19. Ecosistema pajonal. Al fondo se ve el volcán Misti con nieve temporal en su cima – Cordillera Volcánica.

- En la **Cordillera Barroso** (véase Fotografía 20) se presentan cinco tipos de ecosistemas que cumplen funciones importantes dentro de sus áreas de influencia. Estos ecosistemas son humedales (lagunas y bofedales), bosque relictos altoandino, cardonal, matorral arbustivo y pajonal andino (MINAM, 2015). El ecosistema pradera nativa es escaso y se desarrolla solamente en los flancos bajos y depresiones, siendo conformado principalmente por el ichu (*Stipa ichu*), musgos y líquenes. Lo habitan pocas vicuñas (*Vicugna vicugna*) y vizcachas (*Lagidium viscacia*). La laguna más representativa es el Suches, ubicada en el distrito de Candarave, Tacna, a 4,450 m s.n.m. Tiene una extensión de 15 km², siendo sus afluentes los ríos Huaytire, Livelcalane y Humapalca. La laguna cuenta con una gran variedad de fauna y flora donde destacan huallatas (*Chloephaga melanoptera*) y patos silvestres, entre otros. Hacia el noreste de la laguna se desarrollan de manera natural los pastizales que son utilizados como alimento por tropillas mixtas de vicuñas y suris (*Rhea pennata*).



**Fotografía 20. Nevado La Monja con zona periglacial y ecosistema pajonal
Cordillera Barroso.**

1.2.3 Riesgos asociados

La recuperación y conservación de los ecosistemas de montaña se reviste de importancia para proteger y conservar la biodiversidad. Por ello, se estableció la alianza estratégica con el SERNANP para abordar dicha problemática de manera conjunta y cooperativa. Asimismo, se tiene un convenio marco y se vienen realizando acciones específicas con el Parque Nacional Huascarán en Áncash. Esto se replicará en las oficinas desconcentradas que se tiene previsto dar apertura.

En general, en el Perú se ha establecido una política nacional de adaptación al cambio climático a través de procesos participativos. Sin embargo, el avance a nivel local y regional sigue siendo limitado, lo cual quiere decir que las políticas nacionales no incorporan adecuadamente las prioridades locales y no se cuentan con planes adecuados para financiar y ejecutar iniciativas de adaptación a nivel local. Esto afecta los ecosistemas de montaña, donde los impactos del cambio climático suelen ser de carácter local e impredecible, por lo cual se requieren respuestas flexibles que reflejen las cambiantes necesidades locales.

Acciones Adoptadas



Fotografía 21. Monitoreo de calidad de agua superficial en laguna Pomacanchi (Cusco).

2. Acciones adoptadas

2.1 Investigaciones

Conociendo la situación de los glaciares y ecosistemas de montaña a nivel nacional, el INAIGEM ha desarrollado diferentes investigaciones con la finalidad de contribuir a la generación de información especializada y oportuna en un contexto de cambio climático. A continuación, presentamos las investigaciones más importantes realizadas por los órganos de línea del INAIGEM.

2.1.1 Glaciares

A. Actualización del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas al año 2017

Para la elaboración del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas se recopiló cartografía a escala 1: 25,000 e información base de las cordilleras Central, Chonta, Huaytapallana, Huanzo, Chila y La Raya. Se obtuvo imágenes de satélites Sentinel-2 de libre acceso, imágenes multispectrales de 13 bandas con diferentes longitudes de ondas y resolución espacial de hasta 10 metros, y se elaboró mapas temáticos y documentos técnicos.

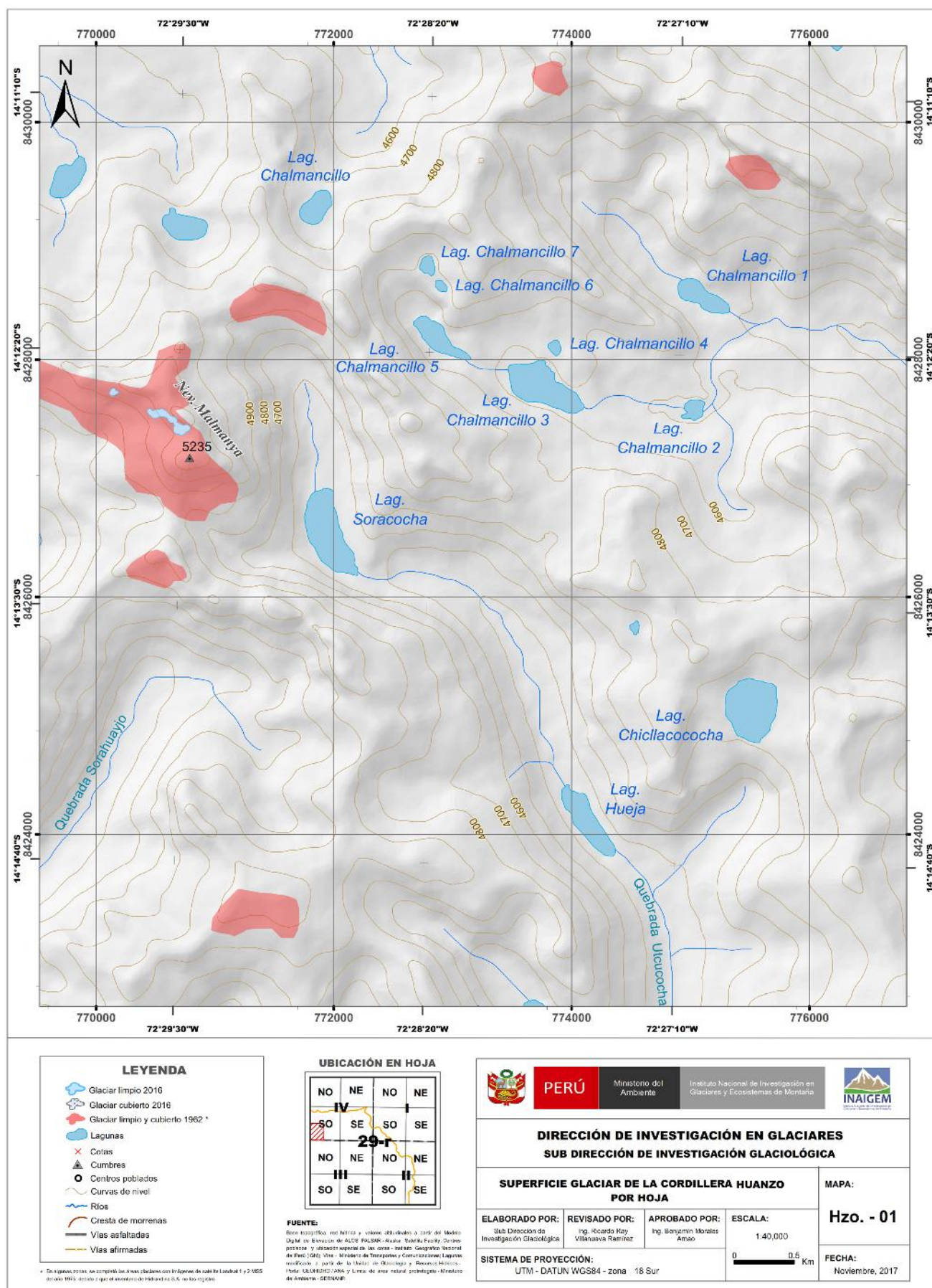
Resultados:

- Cartografía base de seis cordilleras de estudio a escala 1:25,000.
- Nueve imágenes de satélite Sentinel-2 del año 2016 para las seis cordilleras de estudio.
- Inspección técnica de las lagunas de las cordilleras Huanzo y Chila, identificándose 10 lagunas permanentes, seis temporales y 12 secas.
- Los glaciares y las lagunas de las cordilleras fueron clasificados en dos grupos: glaciares inventariados (mayores y/o iguales a 5,000 m²) y no inventariados (menores a 5,000 m²), por cordillera.

- Caracterización individual de lagunas por cordilleras, generando una capa vectorial con 35 campos.
- Se hizo una clasificación de las lagunas inventariadas en función a su rango altitudinal y a la región natural que abarcan. También se identificaron las nuevas lagunas inventariadas por microcuenca de cada cordillera.
- Se elaboraron 4, 2, 8 y 6 plantillas de las cordilleras Chila, Chonta, Huanzo y La Raya, respectivamente para el inventario de glaciares; y para el inventario de lagunas de origen glaciar, se elaboraron 46, 170, 159 y 54 plantillas, respectivamente (véase Mapa 5).

B. Inventario rápido de glaciares a nivel nacional

Para el Inventario rápido de glaciares a nivel nacional se realizó la recopilación de la cartografía base y la obtención de imágenes de satélite. Después de obtener las imágenes de las cordilleras Chila, Chonta, Huanzo, La Raya, Huaytapallana, Central, Huallanca, Huayhuash, Raura, La Viuda, Huagoruncho, Ampato, Urubamba, Vilcabamba, Carabaya y Apolobamba, se realizó el procesamiento de dichas imágenes satelitales, efectuando la corrección y homogenización de la resolución espacial de las bandas espectrales, y elaborando posteriormente la cartografía temática. También se efectuó la caracterización básica de las imágenes satelitales, teniendo en cuenta la cobertura glaciar limpia y los glaciares cubiertos presentes, utilizando Modelos Digitales de Elevación (MDE), obtenidos de las imágenes de radar ALOS PALSAR, con resolución espacial 12.5 m. Finalmente, se obtuvieron los documentos técnicos y mapas (véase Mapa 6).



Mapa 5. Superficie glaciaria y lagunas de la Cordillera Huanzo.



Mapa 6. Superficies glaciares de la Cordillera Huanzo.

Resultados:

- Se recopilaron cuatro capas vectoriales entre curvas de nivel y red hídrica a escala 1:25,000 a nivel nacional.
- Se recopilaron 42 imágenes de satélite del sensor Sentinel-2 que cubren las zonas glaciares de las 18 cordilleras para el inventario rápido de glaciares, según programación del POI 2017.
- Se adquirieron cartas topográficas disponibles a escala 1:100,000 de manera digital del portal del MINEDU, las cuales corresponden a la capa vectorial de curvas de nivel y red hídrica a nivel nacional.
- Se realizó la validación de 36 imágenes de satélite del sensor Sentinel-2 con proceso de homogenización de la resolución espacial de bandas espectrales 38 y 11 para las cordilleras Chila, Chonta, Huanzo, La Raya, Huaytapallana, Central, Huallanca, Huayhuash, Raura, La Viuda, Huagoruncho, Ampato, Urubamba, Vilcabamba, Carabaya y Apolobamba.
- Se elaboraron 16 documentos en hojas de cálculo de los resultados del Inventario de la Superficie Glaciar al 2016 (FASE I), 249 plantilla (formato mxd) y 249 mapas temáticos (formatos JPG y PDF) para el inventario de la superficie glaciar al 2016 (FASE I) y 16 documentos técnicos de inventario de glaciares de las cordilleras Chila, Chonta, Huanzo, La Raya, Huaytapallana, Central, Huallanca, Huayhuash, Raura, La Viuda, Huagoruncho, Ampato, Urubamba, Vilcabamba, Carabaya y Apolobamba.
- Registro de superficie glaciar al 2017 según las imágenes de satélites Sentinel-2, con un total de 410.77 km², como se muestra en la Tabla 2.
- Con relación a la reducción del área glaciar entre el primer Inventario de Glaciares del Perú 1955 y 1962 (Hidrandina, 1989) y el Inventario Nacional de Glaciares 2016 (INAIGEM, 2017), se muestra un resumen en la Tabla 3.
- Se realizaron 249 plantillas (extensión mxd) y mapas temáticos (extensión JPG y PDF) con una escala de salida 1:40,000. Asimismo, se generaron 27 plantillas que corresponden a una escala 1:35,000 para las siguientes cordilleras: Ampato, Chila, Chonta, Huanzo, La Raya, Central, Huallanca, Huagoruncho, Huayhuash, Huaytapallana, La Viuda, Raura, Apolobamba, Carabaya, Urubamba y Vilcabamba.
- Se redactaron 16 documentos técnicos del Inventario de Glaciares (Fase I) para las cordilleras Chila, Chonta, Huanzo, La Raya, Huaytapallana, Central, Huallanca, Huayhuash, Raura, La Viuda, Huagoruncho, Ampato, Urubamba, Vilcabamba, Carabaya y Apolobamba, utilizando los resultados estadísticos y los mapas.
- El inventario ha determinado que las cordilleras de la zona centro (Chonta, Huaytapallana, Central, La Viuda y Huagoruncho), durante 54 años entre 1962 (Hidrandina, 1989) y 2016 (INAIGEM, 2017), han reducido su superficie glaciar en 179.73 km², equivalente al 70.37% de masa glaciar. Mientras que en la zona sur (las cordilleras Apolobamba, Carabaya, Vilcanota, La Raya, Chila, Huanzo, Vilcabamba, Urubamba y Ampato), la reducción glaciar de la superficie en 54 años, medido entre 1962 (Hidrandina, 1989) y 2016 (INAIGEM, 2017), es de 748.44 km² (59.68%). Finalmente, las cordilleras de la zona Norte (Raura, Huayhuash, Huallanca y Blanca), durante 54 años entre 1962 (Hidrandina, 1989) y 2016 (INAIGEM, 2017), han reducido su superficie glaciar en 356.78 km², equivalente al 40.11%. Es preciso anotar que los resultados definitivos de las cordilleras están en proceso de revisión y validación.

Tabla 2. Superficie glaciar al año 2017.

N°	Cordillera	Área glaciar (Km²)
1	Blanca	448.81
2	Huallanca	5.24
3	Huayhuash	53.06
4	Raura	25.62
5	Huagoruncho	7.58
6	La Viuda	3.84
7	Huaytapallana	21.42
8	Central	42.44
9	Chonta	0.39
10	Ampato	50.05
11	Vilcabamba	101.00
12	Urubamba	23.54
13	Huanzo	2.91
14	Chila	0.19
15	La Raya	1.90
16	Vilcanota	255.44
17	Carabaya	31.05
18	Apolobamba	39.63
TOTAL		1,114.11

Tabla 3. Reducción del área glaciar entre 1955/1962 y 2016.

N°	Cordillera	Área glaciar 1955/1962 (km²) *	Área glaciar 2016 (km²)	Reducción del área glaciar (km²)	Reducción del área glaciar (%)
1	Blanca	726.26	448.81	277.45	38.20
2	Huallanca	21.05	5.24	15.81	75.11
3	Huayhuash	86.89	53.06	33.83	38.93
4	Raura	55.31	25.62	29.69	53.68
5	La Viuda	28.60	3.84	24.76	86.57
6	Central	117.20	42.44	74.76	63.79
7	Chonta	17.85	0.39	17.46	97.82
8	Huagoruncho	23.70	7.58	16.12	68.02
9	Huaytapallana	68.05	21.42	46.63	68.52
10	Ampato	146.73	50.05	96.68	65.89
11	Huanzo	39.31	2.91	36.40	92.60
12	Chila (1955)	33.89	0.19	33.70	99.44
13	Vilcabamba(1975)	261.45	101.00	160.45	61.37
14	La Raya	11.27	1.90	9.37	83.14
15	Urubamba	76.16	23.54	52.62	69.09
16	Vilcanota	495.05	255.44	239.61	48.40
17	Carabaya	107.17	31.05	76.12	71.03
18	Apolobamba	83.12	39.63	43.49	52.32
TOTAL		2,399.06	1,114.11	1,284.95	53.56

* Hidrandina, 1989 y análisis INAIGEM, 2017.

C. Monitoreo de balance de masa glaciar

Se vienen realizando trabajo de monitoreo continuo en tres cordilleras del país: Cordillera Blanca, Cordillera Central y Cordillera Vilcanota, para la investigación en balance de masa glaciar (véase Fotografía 22). Es de resaltar que se está llevando a cabo el monitoreo de carbono negro en varios glaciares de la Cordillera Blanca.



Fotografía 22. Actividades para el monitoreo glaciológico: (a) perforación en la zona de ablación e instalación de balizas de madera de 1" x 1" x 2 m, que van unidos a listones, uno sobre otro, haciendo un recorrido de 10 m, (b) perforación en la zona de acumulación para la extracción de un testigo de nieve, (c) tomando las medidas del testigo de nieve obtenido, (d) realizando el levantamiento topográfico del perímetro de la superficie glaciar, (e) personal de apoyo transportando el prisma por el perímetro glaciar para realización del levantamiento topográfico, (f) aforo con el correntómetro para medir el caudal de desagüe de la laguna y (g) pozo de acumulación para medir la altura de nieve en un año hidrológico.

C.1 Cordillera Blanca

En los glaciares Huillca, Copap, Llaca y Queullaraju, se realizaron el monitoreo glaciológico y el monitoreo hidrológico, midiendo la relación entre la zona de ablación glaciar y la variabilidad de caudales. Las aguas provenientes de los glaciares Llaca y Queullaraju benefician a la empresa Orazul Energy Egenor (antes Duke Energy) en la generación de energía eléctrica, a los agricultores y ganaderos de las mismas quebradas, a los comités de usuarios, al servicio de agua para la costa norte de Áncash, al proyecto Chavimochic y a la empresa prestadora de servicio de agua potable de la ciudad de Trujillo. Por su parte, las aguas provenientes del glaciar Copap benefician a los agricultores y ganaderos de la misma quebrada y es uno de los tributarios de la cuenca del Marañón.

C.2 Cordillera Central

En la Cordillera Central se encuentran los glaciares Sullcón, Paccha y Ticlla. En estos glaciares se realiza el monitoreo glaciológico dos veces al

año. También se realiza el monitoreo hidrológico para relacionarlo con la ablación glaciar. Las aguas provenientes de los glaciares Sullcón y Paccha benefician a los agricultores y ganaderos de las cuencas Rímac y Mantaro, a la empresa EDEGEL por la hidroeléctrica y a SEDAPAL, por brindar servicios de agua potable a las provincias de Lima y Callao, almacenando agua en la represa Yuracmayo, proveniente del río Blanco, que a la vez es uno de los tributarios de la cuenca del río Rímac. Por su parte, con las aguas provenientes del glaciar Ticlla, se beneficia la empresa CELEPSA con la central Hidroeléctrica el Platanal, donde fue represado la laguna Paucarcocha. Estas aguas, también, son aprovechadas por los proyectos vitivinícolas, actividades turísticas y deportivas en Lunahuaná.

C.3 Cordillera Vilcanota

En la Cordillera Vilcanota se inició con la implementación del monitoreo glaciológico del glaciar Chumpe en agosto de 2017. Como parte complementaria también se realizó el monitoreo hidrológico, de tal manera que exista relación entre la ablación glaciar y la variabilidad de caudales. Los estudios hidrológicos beneficiarían directamente a la empresa EGEMSA para generar energía eléctrica, y a los agricultores y ganaderos de la misma quebrada, donde almacenan aguas en la represa Sibinacocha, siendo uno de los tributarios de la cuenca del río Urubamba.

Resultados

- Se realizó la implementación para el monitoreo glaciológico en el la lengua glaciar Chumpe (Cordillera Vilcanota), los glaciares Copap y Queullaraju (Tucó) en la Cordillera Blanca, a través del levantamiento topográfico del perímetro glaciar y la georeferenciación con balizas.
- Luego de realizado el monitoreo del glaciar Huilca (Cordillera Blanca), de los glaciares Sullcón y Ticlla (Cordillera Central), los resultados procesados muestran que el balance neto específico del glaciar Huilca durante el año hidrológico 2016 - 2017 fue de 664.21 mm eq de agua, masa que después se dirigirá casi en su totalidad a la vertiente del Pacífico, discurriendo por la subcuenca de Quitaracsa hasta llegar a la cuenca del río Santa. Por otro lado, el balance neto específico del glaciar Sullcón durante el año calendario 2016 - 2017 es de -1138.88 mm eq de agua, el cual se dirige casi en su totalidad a la vertiente del Atlántico de los tributarios de la cuenca del río Urubamba.

D. Monitoreo de carbono negro en glaciares

A partir de octubre de 2015, el INAIGEM inició el estudio de carbono negro en los glaciares Vallunaraju, Tocllaraju, Yanapaccha (véase Mapa 9) y Shallap. Estos glaciares están ubicados en la Cordillera Blanca. El estudio comprendió la evaluación in situ de las características de la cobertura de nieve con la finalidad de conocer el impacto de carbono negro en la fusión de los glaciares (véase Fotografía 23).

Actualmente, se monitorean los glaciares Vallunaraju y Tocllaraju. El procedimiento consiste en recolectar nieve reciente con el fin de estimar la concentración de carbono negro, así como evaluar la densidad, granulometría, pH y concentración de metales (véase Imágen 2). Algunos resultados preliminares se muestran en la Tabla 4.

También se llevó a cabo el monitoreo de concentración de carbono negro en los glaciares Paccha, Ticlla y Sullcón (incluido en otras entidades aportantes a la

investigación) en la Cordillera Central. Los resultados preliminares mostraron que la presencia de partículas absorbentes de luz en el glaciar Sullcón es inversamente proporcional a la altitud, registrando valores muy altos por debajo de los 5000 m s.n.m.



Fotografía 23. Muestreo de carbono negro en el glaciar Yanapaccha, Cordillera Blanca.

Tabla 4. Valores de carbono de cuatro glaciares de monitoreo en el año 2017

Nombre Glaciar	Mes	Mínimo (ng/g)	Máximo (ng/g)
Yanapaccha	feb	0.628	531.19
Vallunaraju	mar	1.888	780.67
Tocllaraju	feb	2.73	65.34
Shallap	mar	20.42	706.40

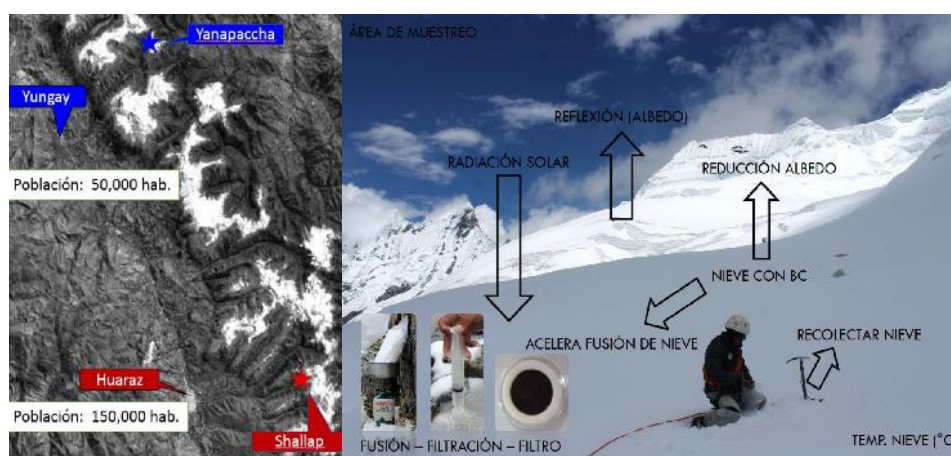


Imagen 2. (a) Imagen satelital de puntos de monitoreo. (b) Evaluación de glaciares para determinar el contenido de carbono negro.

Resultados:

- A mayor cantidad de radiación solar que llega sobre los glaciares, mayor será la energía absorbida por el carbono negro, en consecuencia, también por el propio glaciar, siendo menor en los meses de lluvia en la Región Áncash.
- La mayor concentración de carbono negro se registró en los glaciares Shallap y Vallunaraju en el mes de julio de 2017, durante la estación de estiaje. La menor concentración de carbono negro se registró en los glaciares Yanapaccha y Tocllaraju en el mes de febrero de 2017, siendo la estación húmeda en la Región Áncash.
- La concentración de carbono negro es mayor en la zona de ablación de los glaciares en estudio, en comparación con la zona de acumulación. De esta manera, las zonas bajas de los glaciares presentan mayor concentración de carbono negro junto a otras partículas absorbentes de luz.
- El albedo disminuye en relación a la concentración de carbono negro presente en la nieve de los glaciares. Tomando un valor de 0.71069986 para el albedo de la nieve superficial, se reducirá con una mayor concentración de carbono negro.
- Durante la estación de estiaje el albedo de la nieve se reduce de 0.71 a 0.56 como mínimo, para el caso del glaciar Vallunaraju. Una reducción significativa en comparación con la estación húmeda, que se reduce de 0.71 a 0.70 para el caso del mismo glaciar.
- El potencial de hidrogeno (pH) de la nieve varía según la presencia de nieve reciente en los glaciares, es decir, cuando existe nieve reciente el pH varía entre 6 y 7, mientras que en ausencia de nieve reciente el pH varía entre 5 y 6.
- La concentración de metales pesados totales (Al, As, Cd, Cu, Pb y Zn) se encuentra por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua de consumo humano previo tratamiento convencional. En el caso del mercurio (Hg), el límite de detección usado por el laboratorio es mayor al registrado como resultado, siendo este a su vez menor al ECA.

E. Evaluación de las superficies de los glaciares en proceso de extinción y sus impactos en el recurso hídrico

Para evaluar las superficies de los glaciares en proceso de extinción y sus impactos en el recurso hídrico en sus ámbitos de influencia, se priorizaron aquellas cordilleras glaciares que presentan mayor desglaciación, siendo los resultados los que se muestran en el Gráfico 1.

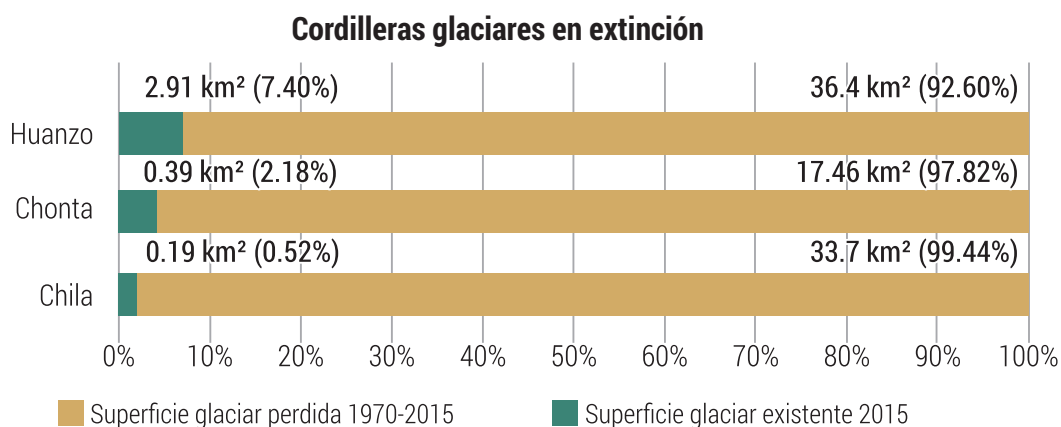
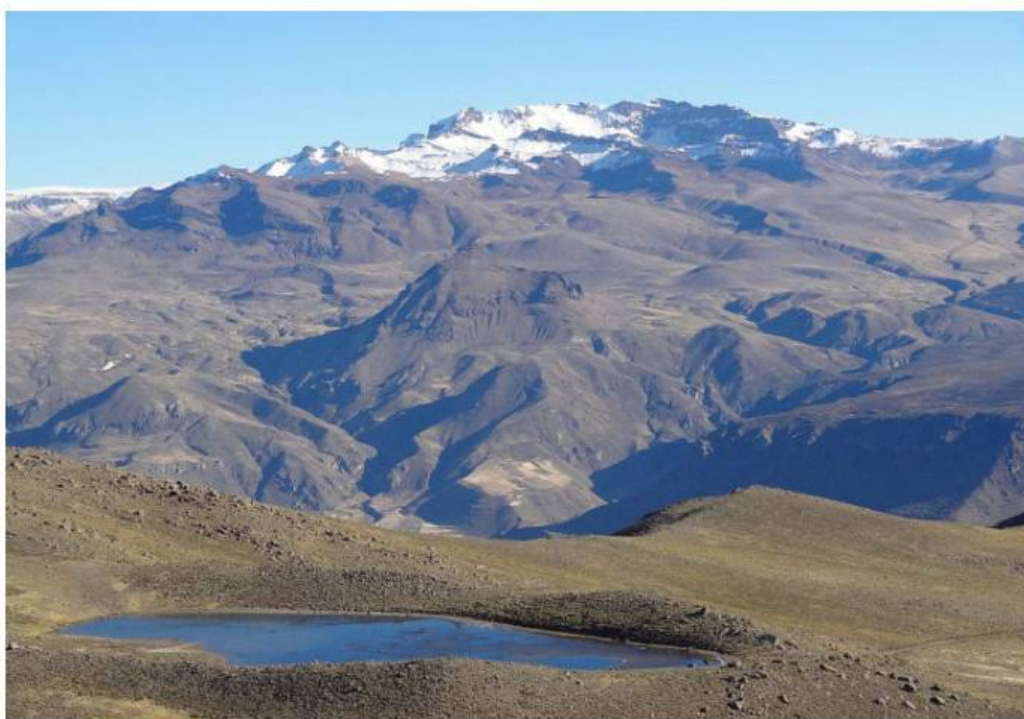


Gráfico 1. Superficie glaciar en las cordilleras glaciares en proceso de extinción.

E.1 Cordillera Chila

- La superficie glaciar en la Cordillera Chila al año 2016 era de 0.19 km². Según Hidrandina (1989), la superficie glaciar en el año 1955 fue de 33.89 km². En 61 años se tiene una pérdida de superficie de 33.70 km², lo que representa una disminución del 99.44%.
- La poca cobertura glaciar presente en la Cordillera Chila está distribuida en los glaciares Chila Pillune, Sandoval, Choquepirhua, Surihuiri, Jatunpila y Mismi principalmente (véase Fotografía 24). El mayor número de glaciares drenan sus aguas hacia la cuenca Camaná y una mínima cantidad a la cuenca Alto Apurímac. El ámbito de la cordillera cuenta con 66 lagunas con superficies mayores a 5,000 m², de las cuales el 38% se encuentra en la cuenca del río Camaná, el 24% en la cuenca del río Molloco, el 20% en la cuenca del río Alto Ucayali y el 18% en la cuenca del río Ayo.



Fotografía 24. Glaciar Mismi – Cordillera Chila.

E.2 Cordillera Chonta

- La superficie glaciar en la Cordillera Chonta al año 2016 era de 0.39 km². Según Hidrandina (1989), la superficie glaciar en el año 1962 fue de 17.85 km². En 54 años se tiene una pérdida de superficie de 17.46 km², lo que representa una disminución del 97.82%.
- La cobertura glaciar presente en la Cordillera Chonta está distribuida en dos agrupaciones de masas glaciares, el primer grupo es los glaciares Conaypunco y el otro grupo es los glaciares Condoray (véase Fotografía 26). Estos glaciares están en proceso de extinción, por lo que las zonas de ablación y acumulación en su mayoría no están bien definidas. Las aguas provenientes de estos glaciares drenan a la cuenca del Mantaro. El ámbito de la cordillera cuenta con 709 lagunas con superficies mayores a 5,000 m², de las cuales el 60% se encuentran

en la cuenca del Mantaro, el 22% en la Unidad Hidrográfica (UH) 1375, el 17% en la UH Pampas y el 1% en la UH Ica.



Fotografía 25. Glaciares Condoray – Cordillera Chonta.

E.3 Cordillera Huanzo

- La superficie glaciar en la Cordillera Huanzo al año 2016 era de 2.91 km². Según Hidrandina (1989), la superficie glaciar en el año 1955 fue de 39.31 km². En 61 años se tiene una pérdida de superficie de 36.40 km², lo que representa una disminución del 92.60%.
- La cobertura glaciar presente en la Cordillera Huanzo está representada por los glaciares Huaychahui, Huayrahui (véase Fotografía 26), Atashira y Huaña, entre otros de menos área que se encuentran aislados y dispersos. Las aguas provenientes de estos glaciares drenan a la cuenca del Alto Apurímac (vertiente del Atlántico), Ocaña y Camaná (vertiente del Pacífico). El ámbito de la cordillera cuenta con 709 lagunas con superficies mayores a 5,000 m², de las cuales el 62% se encuentran en la UH Alto Ucayali, el 10% en la cuenca del río Ayo, el 9% en la cuenca del río Cotahuasi, el 9% en la cuenca del río Oyolo, el 6% en la cuenca del río Molloco y el 4% en la UH 1469.



Fotografía 26. Glaciar Huaychahui al 2016.

F. Evaluación de los peligros asociados a glaciares

Para evaluar los peligros asociados a glaciares en sub cuencas con cobertura glaciar y los impactos en sus ámbitos de influencia, se prioriza aquellas subcuencas que tienen algún evento histórico precedente, siendo los resultados los que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Subcuencas de origen glaciar y su relación con eventos históricos.

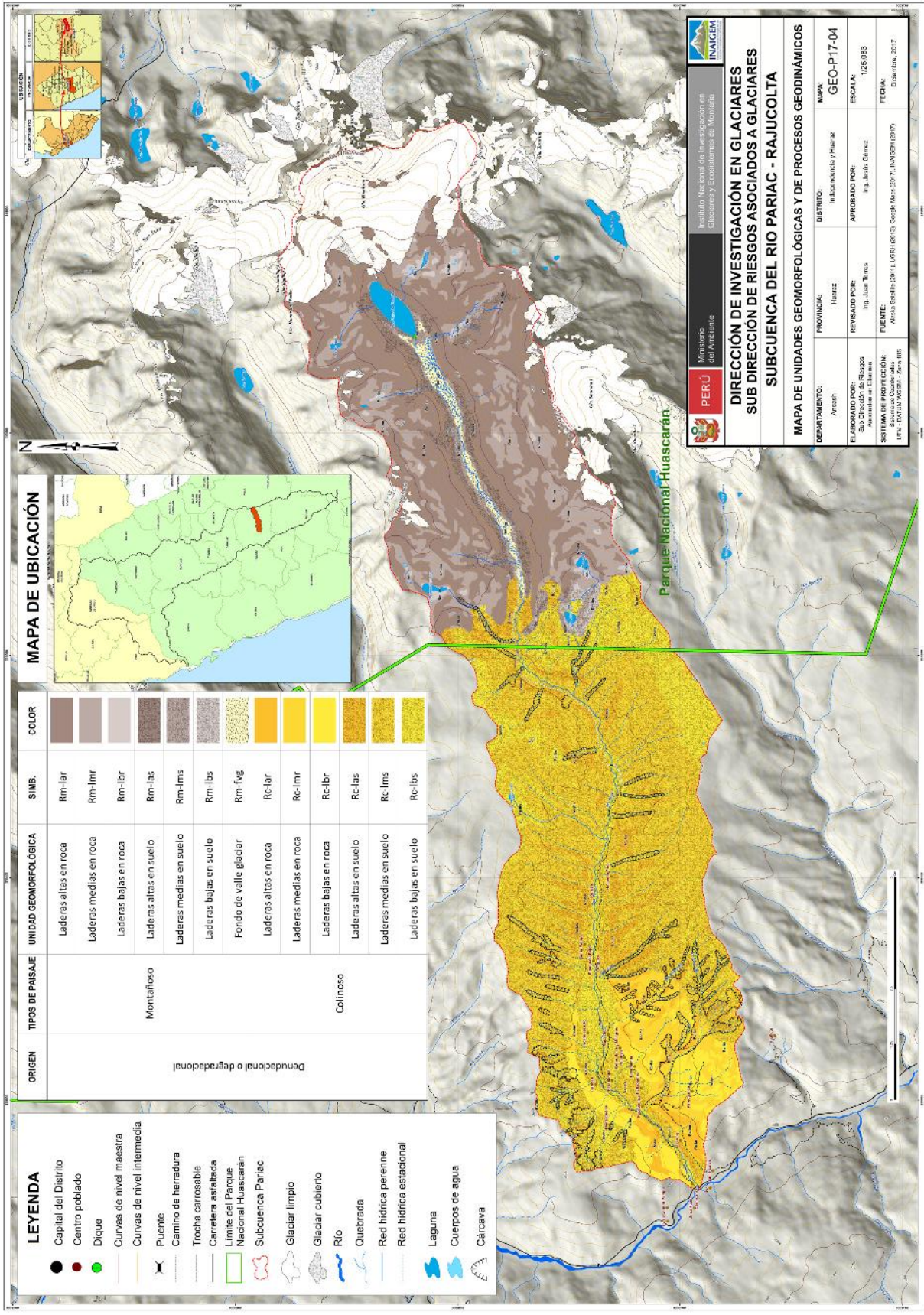
	Subcuenca de origen glaciar	Evento Historico	Fecha
Cordillera Blanca	Quillcay	Aluvión Flujo de lodos desde la laguna Palcacocha hacia la ciudad de Huaraz, ocasionando la pérdida aproximada de 1,800 vidas humanas (Wegner, 2014).	13 de diciembre de 1941
		Aluvión Se produjo el rebalse de la laguna Tullparaju.	18 de junio de 1954
		Aluvión Se produjo el rebalse de la laguna Tullparaju.	8 de diciembre de 1959
		Avalanchas Se produjeron continuas avalanchas de hielo en la laguna Cuchillacocha, generando oleajes.	31 de mayo de 1970
	Pariac	Aluvión Flujo de lodos desde la laguna Rajucolta (Tambillo) que afectó al poblado de Macashca, debido al desborde.	24 de junio de 1883
	Santa Cruz	Aluvión Se produjo la ruptura del dique de la laguna Artizón Bajo, quebrada Santa Cruz, produciéndose un aluvión que llegó hasta la laguna Jatuncocha.	8 de febrero de 2012

Resultados:

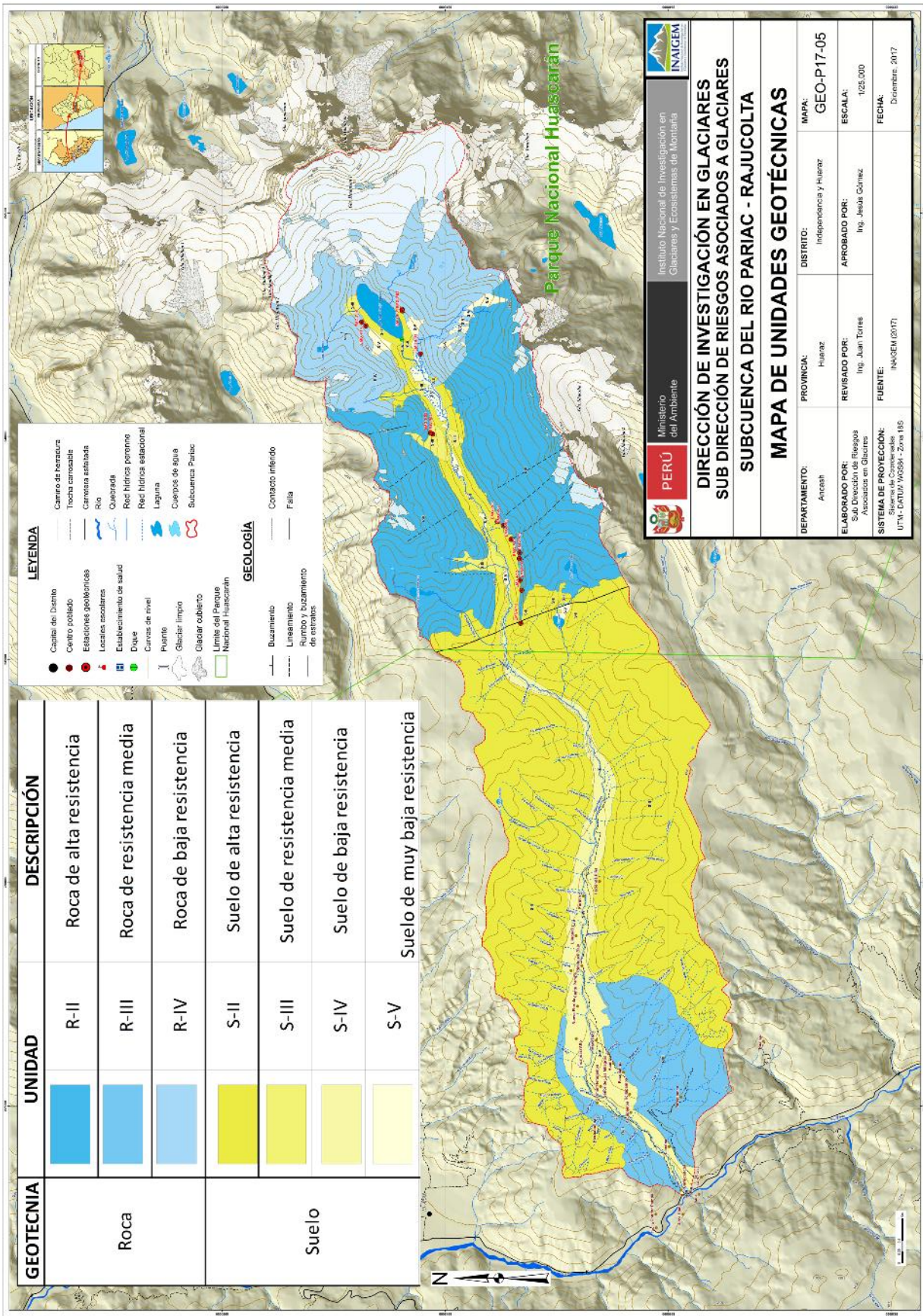
- Se ha identificado las lagunas potencialmente peligrosas para las subcuencas de origen glaciar investigadas: Palcacocha, Tullparaju y Cuchillacocha (Quillcay), Rajucolta (Pariac), Arhuaycocha y Jatuncocha (Santa Cruz).
- Se ha identificado los glaciares que podrían contener potencialmente masas peligrosas para las subcuencas de origen glaciar investigadas: Palcaraju y Pucaranra (Quillcay), Chinchey (Pariac), Arhuay (Santa Cruz).
- Mapas de unidades geológicas a escala 1/25,000 de las subcuencas de origen glaciar: Quillcay, Pariac y Santa Cruz (véase Mapas 7, 11 y 15).
- Mapas de unidades geomorfológicas a escala 1/25,000 de las subcuencas de origen glaciar Quillcay, Pariac y Santa Cruz (véase Mapas 8, 12 y 16).
- Mapas de unidades de pendiente a escala 1/25,000 de las subcuencas de origen glaciar: Quillcay, Pariac y Santa Cruz (véase Mapas 10, 14 y 18).
- Mapas de unidades geotécnicas a escala 1/25,000 de las subcuencas de origen glaciar: Quillcay, Pariac y Santa Cruz (véase Mapas 9, 13 y 17).
- Mapas de susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1/25,000, de las subcuencas de origen glaciar: Quillcay, Pariac y Santa Cruz (véase Mapas 8, 12 y 16).



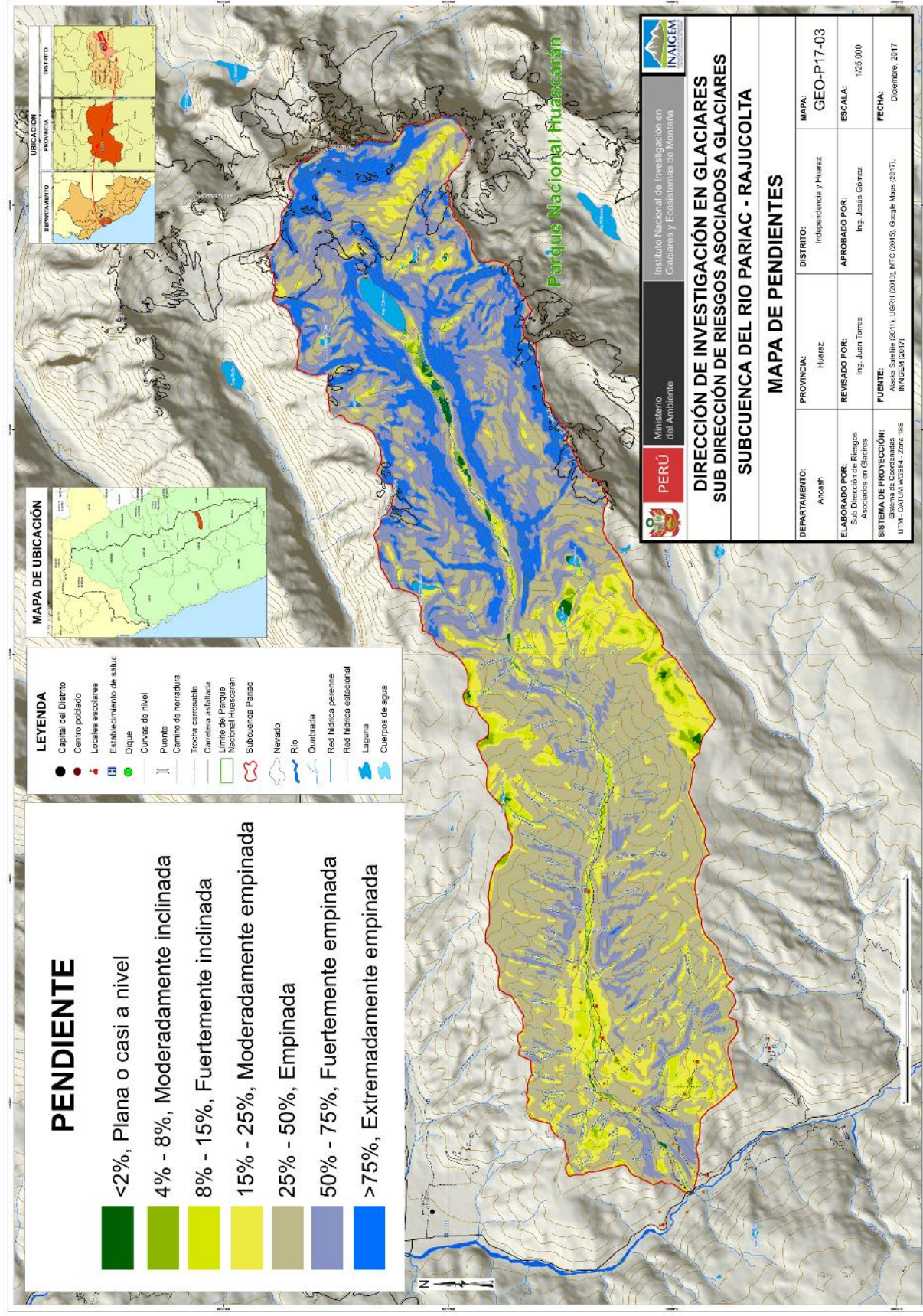
Mapa 7. Mapa de unidades geológicas subcuena del río Quillcay.



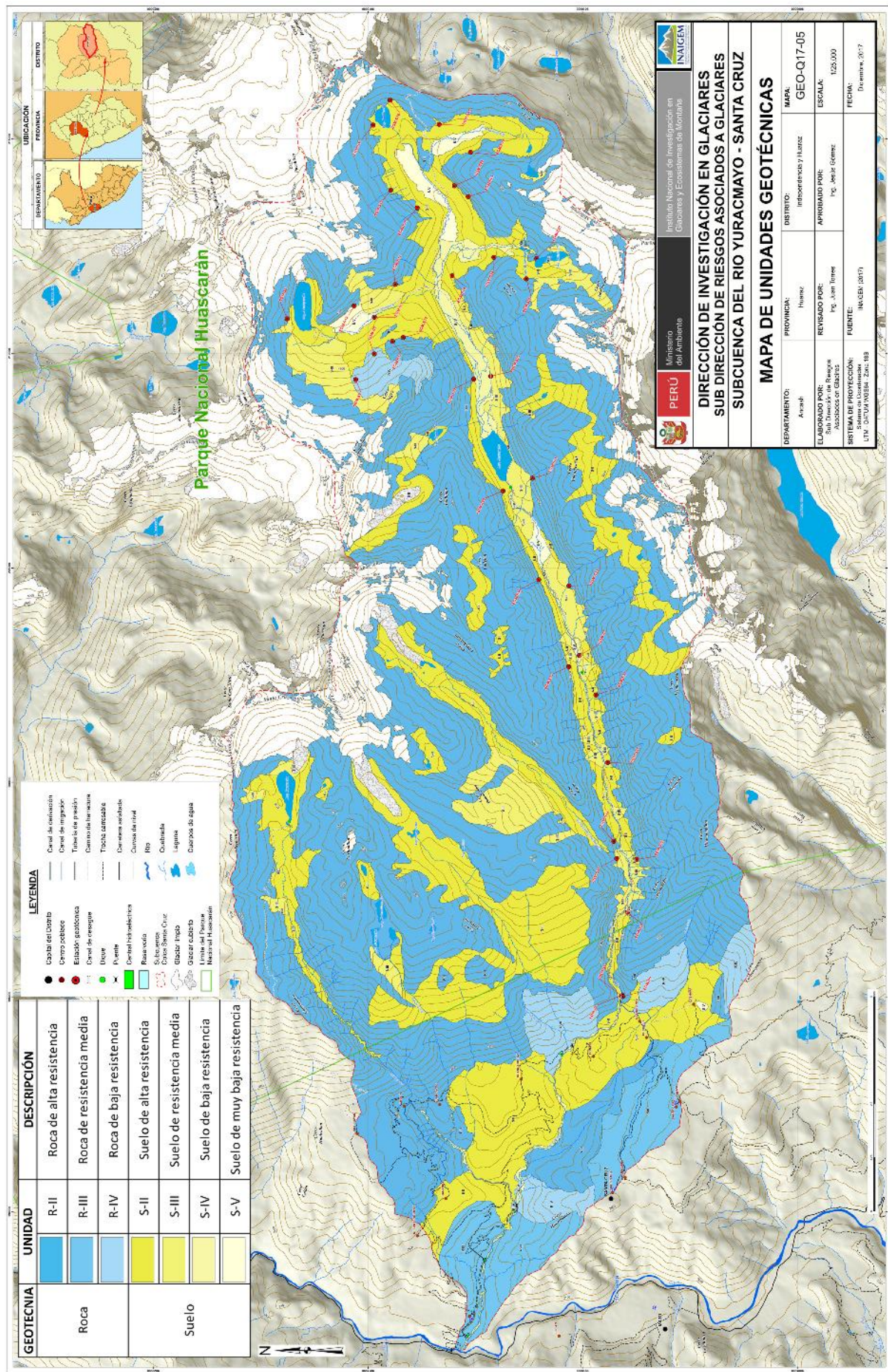
Mapa 12. Mapa de unidades geomorfológicas y de procesos geodinámicos subcuenca río Pariac.



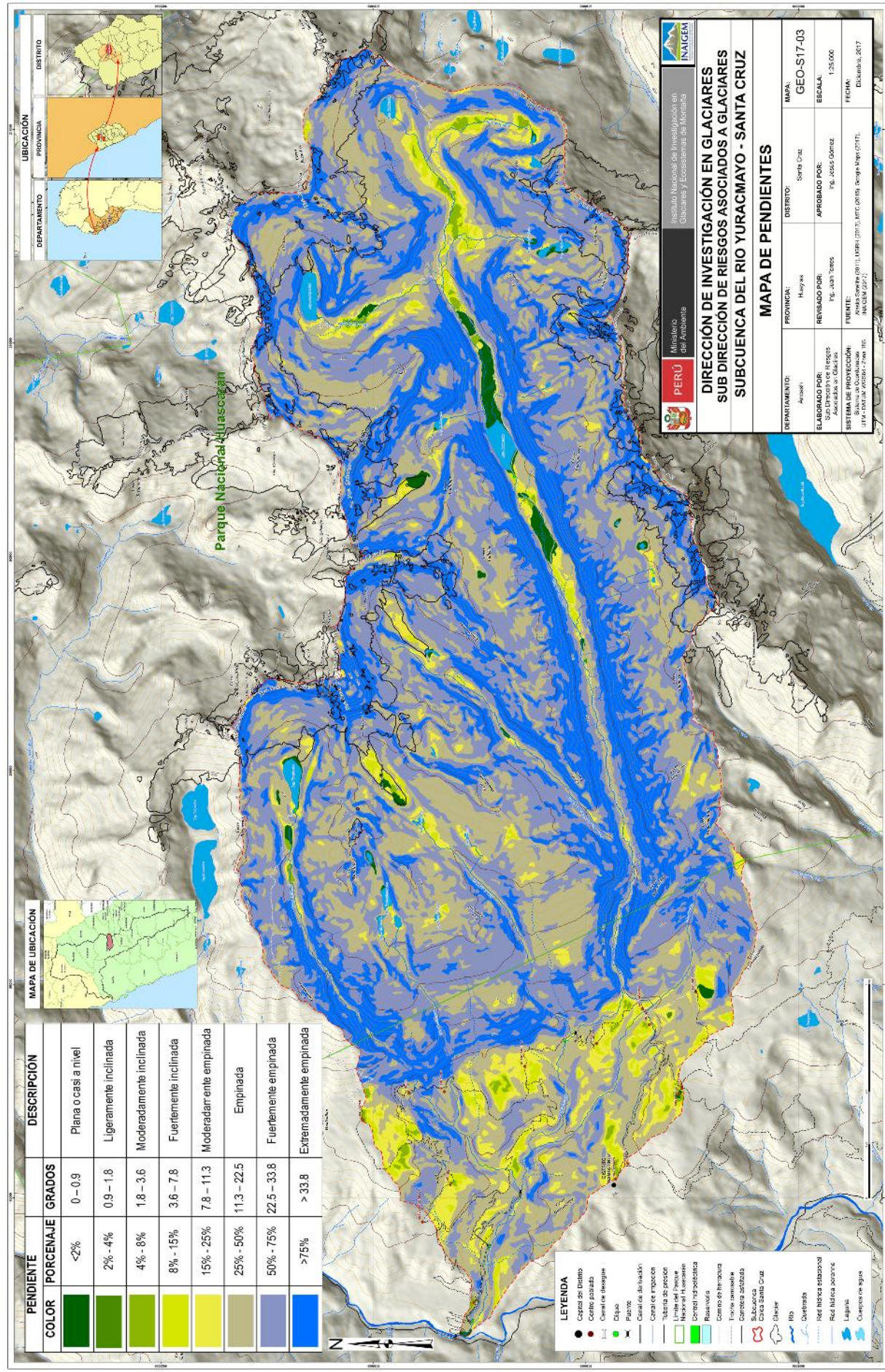
Mapa 14. Mapa de pendientes subcuena río Pariac.



Mapa 13. Mapa de unidades geotécnicas subcuenca del río Pariac.



Mapa 17. Mapa de unidades geotécnicas subcuena del río Yuracmayo - Santa Cruz.



Mapa 18. Mapa de pendientes subcuenca río Yuracmayo - Santa Cruz.

2.1.2 Ecosistemas de Montaña

Se cuenta con tres líneas de investigación: a. Recuperación y conservación de los ecosistemas de montaña y los servicios que estos proveen, b. Riesgos asociados al cambio climático y c. Gestión integral del recurso hídrico. Así como subcuencas prioritizadas y modalidades de investigación.

A. Caracterización de ecosistemas

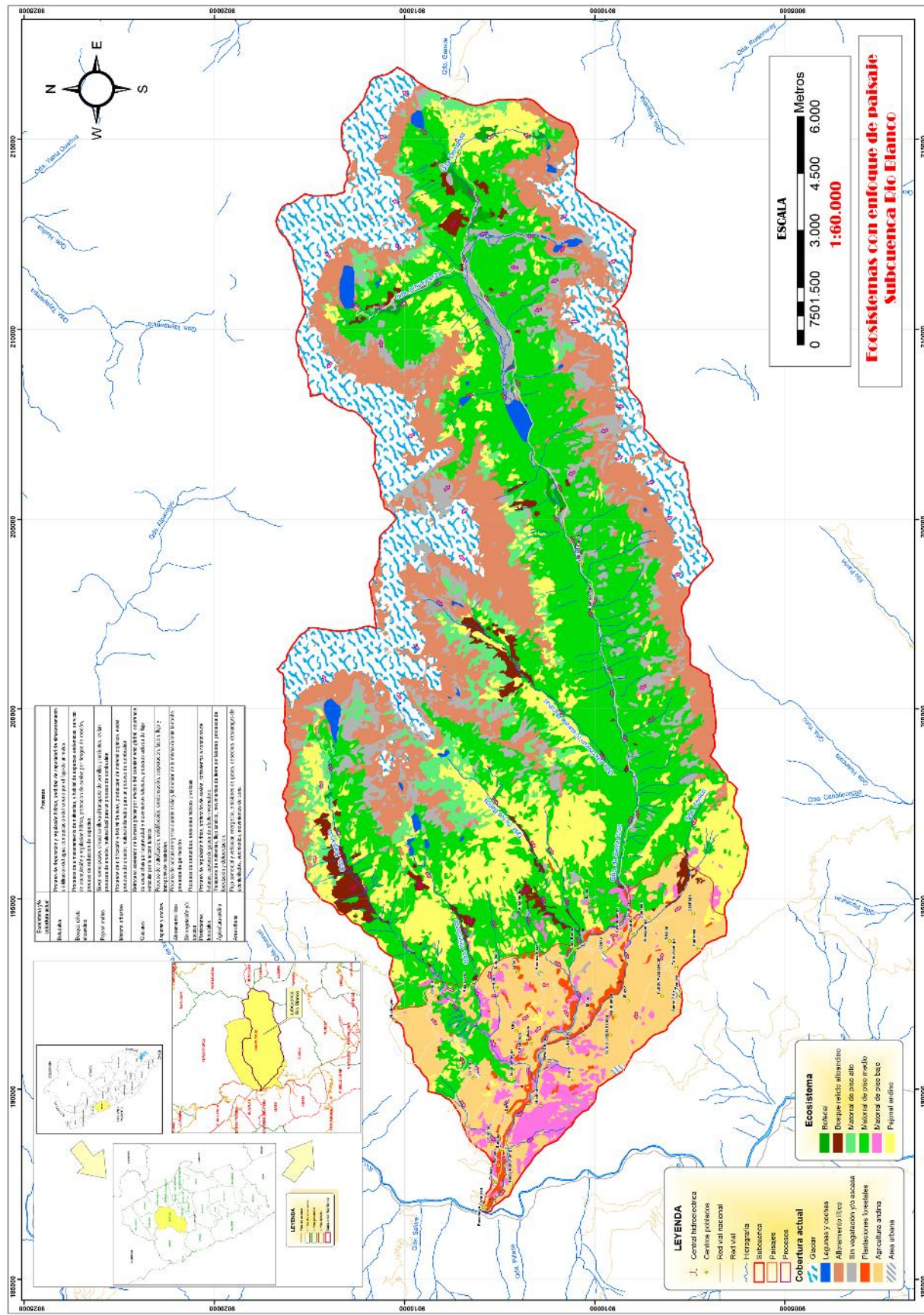
Uno de los primeros pasos desarrollados en investigación en ecosistemas de montaña el año 2017 ha sido la identificación espacial y caracterización de ecosistemas dentro de las subcuencas prioritizadas, lo cual se ha desarrollado mediante técnicas de geomática y trabajo de campo. Esto ha sido importante como paso inicial y complementario para el desarrollo de investigaciones puntuales sobre los ecosistemas a través de la implementación de parcelas de investigación, y como un aporte importante a la generación de información cartográfica de detalle a una escala de 1 / 25,000. En el Mapa 19 se aprecia la distribución espacial de los ecosistemas de la subcuenca Río Blanco en la Región Ancash.

B. Monitoreo de la calidad y cantidad de agua en ecosistemas de montaña

Como consecuencia del monitoreo de la calidad y cantidad de agua, se ha podido observar que el retroceso glaciar está produciendo procesos de degradación de sus condiciones físico – químicas, evidenciado por su acidificación debido a procesos de lixiviación y oxidación de minerales derivados de sulfuros como la piritita (FeS_2), común en las formaciones geológicas de muchas cordilleras glaciares. Es así que durante las temporadas de estiaje y lluvias se ha encontrado concentraciones altas de metales como cadmio y arsénico en algunas fuentes de agua de las subcuencas Río Blanco, Quillcay, Casca y Pachacoto. Esta información permitirá establecer el grado de afección a los medios de vida de las poblaciones aledañas, mediante la identificación de las vías de exposición (fuente, punto de exposición, modo de exposición) para desarrollar investigaciones orientadas a proponer medidas de adaptación a estas condiciones.

Tabla 6. Diseño para el monitoreo de calidad y cantidad de agua, 2017.

Región	Cordillera	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Puntos de Monitoreo	Número de Monitoreo 2017
Ancash	Blanca	Santa	Río Blanco	Santa Cruz	10	32
			Casca	Llaca	8	26
			Quillcay	Quillcayhuanca	17	51
				Cojup	10	25
				Shallap	10	30
			Pachacoto	Pachacoto	10	28
	Cordillera Negra	Huarmey	Santiago	Wehuash	7	22
Cusco	La Raya - Vilcanota	Urubamba	-	La Raya - Vilcanota	23	23
Total					95	237

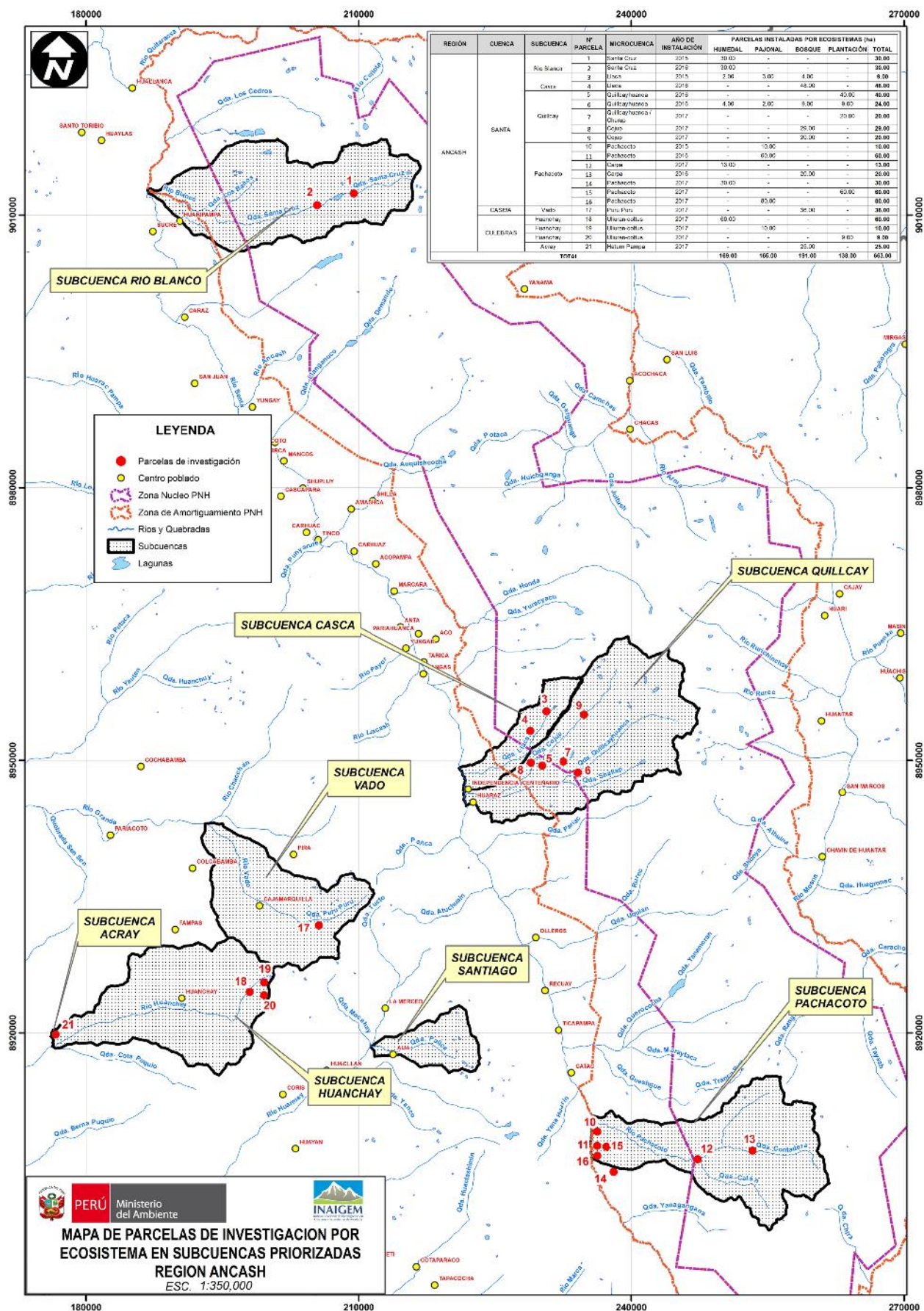


C. Implementación de parcelas de investigación

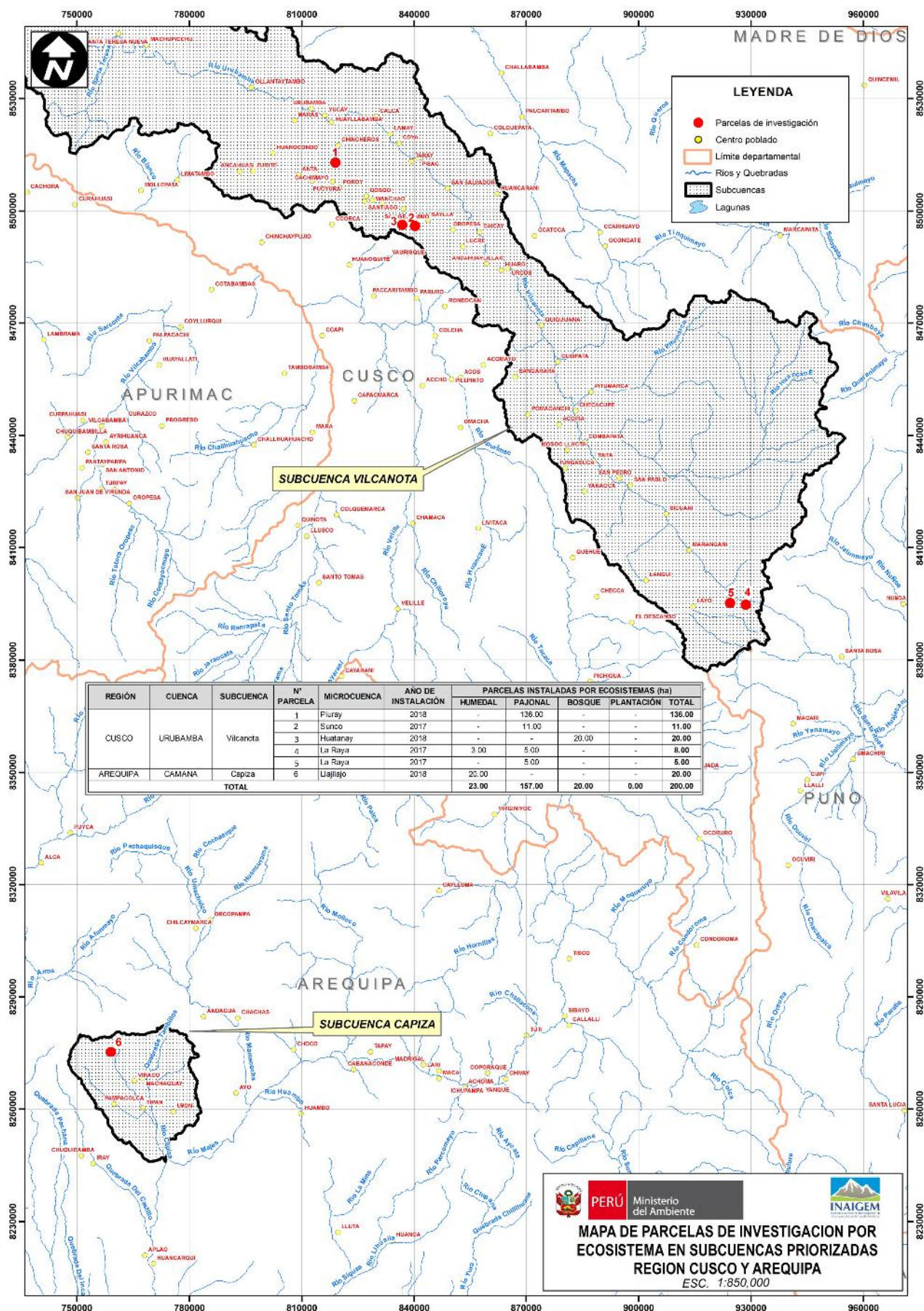
Para la realización de investigaciones se ha priorizado los siguientes ecosistemas de montaña: humedal, pajonal, bosque relicto y plantaciones. Es así que para el año 2017 se tienen instaladas un total de 27 parcelas de investigación: 21 parcelas en el departamento de Ancash, 5 en el departamento de Cusco y una en Arequipa (véase Tabla 7 y Mapas 20 y 21). La superficie que abarcan comprende 863 ha, de las cuales 192 ha se encuentran en el ecosistema humedal, 322 ha en el ecosistema pajonal, 211 ha en el ecosistema de bosque relicto y 138 ha en plantaciones.

Tabla 7. Parcelas de investigación instaladas por Región.

Región	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	N° Parcela	Parcelas instaladas en ecosistemas (ha)				
					Humedal	Pajonal	Bosque	Plantación	Total
Ancash	Santa	Quillcay	Quillcayhuanca	2	4.00	2.00	9.00	49.00	64.00
			Churup	1	-	-	-	20.00	20.00
			Cojup	2	-	-	49.00	-	49.00
		Río Blanco	Santa Cruz	2	60.00	-	-	-	60.00
			Casca	2	2.00	3.00	52.00	-	57.00
		Pachacoto	Pachacoto	5	30.00	150.00	-	60.00	240.00
			Carpa	2	13.00	-	20.00	-	33.00
	Casma	Vado	Puru Puru	1	-	-	36.00	-	36.00
	Culebras	Huanchay	Uliuran-Coltus	3	60.00	10.00	-	9.00	79.00
		Acra	Hatun Pampa	1	-	-	25.00	-	25.00
Cusco	Urubamba	Vilcanota	Sunco	1	-	11.00	-	-	11.00
			La Raya	2	3.00	10.00	-	-	13.00
			Piuray	1	-	136.00	-	-	136.00
			Huatanay	1	-	-	20.00	-	20.00
Arequipa	Camana	Capiza	Llajllajo	1	20.00	-	-	-	20.00
Total				27	192.00	322.00	211.00	138.00	863.00



Mapa 20. Ubicación de las parcelas de investigación en la Región Ancash.



Mapa 21. Ubicación de las parcelas de investigación en las regiones Cusco y Arequipa.

D. Estudios e investigaciones

Las investigaciones desarrolladas en ecosistemas de montaña son de dos tipos: investigaciones realizadas a nivel de tesis de pregrado e investigaciones realizadas por el personal de la institución. Estas investigaciones se orientan a conocer el estado de los ecosistemas priorizados, así como el estudio de medidas orientadas a su conservación y recuperación. En la Tabla 8 se presenta el detalle de las investigaciones.

En el año 2017 se empezaron o culminaron 13 investigaciones, de las cuales en la categoría de tesis de pregrado se tiene:

- Tres investigaciones en desarrollo, próximos a ser concluidas.
- Cuatro investigaciones concluidas, pendiente de ser sustentadas en la universidad correspondiente.
- Tres investigaciones sustentadas y aprobadas por la universidad y facultad correspondiente.

A nivel de investigaciones del personal de la institución, se han concluido 3 investigaciones:

- Dos investigaciones respecto al ecosistema de bosques andinos.
- Una investigación respecto al ecosistema de matorral-arbustivo.

Tabla 8. Parcelas de investigación instaladas por Región.

Parcela instalada descripción	Investigación	Año	Estado de la investigación
Parcela de Investigación de recuperación de Humedal en Jatuncocha (Quishuar Pampa).	Activación de los procesos de edafización a través de la implantación de especies pioneras en los depósitos diluvio-fluviales de la quebrada de Santa Cruz - Parque Nacional Huascarán, 2017.	2017	CONCLUIDA (TESIS)
Parcela de investigación de Producción y Cultivo de Cushuro Sector-Carpa.	Estudio de la influencia de las cochas construidas a diferentes profundidades en un ecosistema de humedal en la producción de <i>Nostoc sp.</i> (Cushuro), en la subcuenca Pachacoto- Parque Nacional Huascarán- Cátac - Ancash, 2017	2017	SUSTENTADA (TESIS)
Parcela de Investigación Siembra y Cosecha de Agua, Sector Shillquill.	Identificación y evaluación de áreas con potencial a la recarga hídrica, en función a variables físicas de cuenca, en el contexto de adaptación al cambio climático, Microcuenca Uliuran , Huanchay - Huaraz - Ancash, 2017-2018.	2017	EN DESARROLLO (TESIS)
Parcela de Investigación de Bosque relicto de <i>Polylepis</i> sp, Pradera Nativa y Bofedal (Cuta Cancha).	Evaluación del efecto de clausura sobre la recuperación de pastizales nativos en la quebrada Llaca, Parque Nacional Huascarán-Ancash.	2017	SUSTENTADA (TESIS)
	Estudio de la influencia de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal, en la quebrada Llaca Parque Nacional Huascarán-Ancash 2016-2017. (1*)	2017	SUSTENTADA (TESIS)
Parcela de Investigación de bosque relicto de <i>Polylepis</i> sp. (Quenual) Entrada a Llaca.	Análisis del efecto de borde en los bosques del género <i>Polylepis</i> en la quebrada Llaca - Huaraz - Ancash 2017	2017	CONCLUIDA (TESIS)
Parcela de Investigación de bosque de <i>Puya raimondii</i> Regeneración natural.	Evaluación del estado de conservación de <i>Puya raimondii</i> , en el sector Carpa, Parque Nacional Huascarán.	2017	CONCLUIDA (TESIS)
Parcela de Investigación: Bosque de <i>Puya raymondii</i> .	Caracterización de la exudación de la parte vegetativa de la <i>Puya Raimondi</i> (<i>Puya raimondii</i>) en el distrito de Cajamarquilla, Huaraz, Ancash- Perú.	2017	CONCLUIDA (TESIS)
	Conteo de individuos de <i>Puya raimondii</i> mediante técnicas geomáticas en territorio de la Comunidad Campesina Cajamarquilla, Ancash.	2017	CONCLUIDA (PERSONAL DIEM)
Parcela de Investigación de Plantaciones forestales de <i>Pinus radiata</i> sector- Tayacoto.	Evaluación del efecto de cambio de uso del suelo, por plantaciones forestales de pino en el centro poblado de Tayacoto- zona de amortiguamiento del PNH, subcuenca Quillcay- Huaraz.	2017	EN DESARROLLO (TESIS)
Parcela de investigación en áreas de deslizamiento del centro poblado de Rampac Grande, distrito de Carhuaz.	Investigación sobre deslizamientos para la reducción de riesgos y la adaptación al cambio climático en ambientes de alta montaña en el Perú	2017	CONCLUIDA (PERSONAL DIEM)

Bosques andinos.	<i>Polylepis</i> como bancos genéticos para la restauración ecológica de los ecosistemas de montaña.	2017	CONCLUIDA (INVESTIGACIÓN- PERSONAL DIEM)
Indicadores Biológicos.	Identificación de especies vegetales como indicadores biológicos de la calidad del suelo en Tayacoto - subcuenca Quillcay.	2017	EN DESARROLLO (TESIS)

E. Artículos Publicados

Tabla 9. Artículos publicados en ecosistemas de montaña.

Artículo	Autor	Referencia	Páginas	Mes
Parcela de Investigación de recuperación de Humedal en Jatuncocha (Quishuar Pampa).	Helder Mallqui Meza	Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Año 2, N° 2)	8 (79-86)	Junio
Línea base de diversidad biológica para la investigación en ecosistemas de montaña en parcelas de investigación priorizadas por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.	Oscar Santander Azpilcueta	Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Año 2, N° 2)	8 (79-86)	Agosto
Monitoreo hidrológico en la microcuenca del río Paria.	Ivonne Sotelo Solórzano, Gabriel Martel Valverde, Ricardo Duran Mamani, David Garay Marzano.	Boletín INAIGEM (Año II, N° 3)	12 (61- 72)	Agosto
Siembra y cosecha de agua en la comunidad Liberación Campesina de Coltus en la subcuenca Huanchay, cuenca del río Culebras, Ancash, Perú.	David Ocaña Vidal	Boletín INAIGEM (Año II, N° 3)	10 (25-34)	Agosto
Artropodofauna de los bosques de <i>Polylepis</i> (Rosaceae) de la zona de Conchucos, Ancash.	Anahí J. Oroz Ramos, Abdiel A. Bustamante Navarrete, Jhony Farfán Flores, Oscar J. Santander Azpilcueta	Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Año 2, N° 3)	16 (97- 112)	Diciembre
Avances en la investigación: Determinación de la relación entre grado de compactación y la capacidad de infiltración del bofedal Cochapampa de la microcuenca Quillcayhuanca, Huaraz, Ancash, Perú.	Helder Mallqui Meza	Boletín INAIGEM (Año II, N° 4)	5 (37-41)	Diciembre
Instalación de parcelas de investigación en ecosistemas de montaña en la Sede Macro Regional- Cusco.	David Ocaña Vidal	Boletín INAIGEM (Año II, N° 4)	9 (28-36)	Diciembre
Investigación para la recuperación de servicios ecosistémicos de regulación y provisión hídrica en las subcuencas glaciares del Perú.	Ana Rosario Guerrero, Helder Mallqui Meza, Gabriel Martel Valverde, David Ocaña Vidal	Boletín INAIGEM (Año II, N° 4)	13 (42-54)	Diciembre

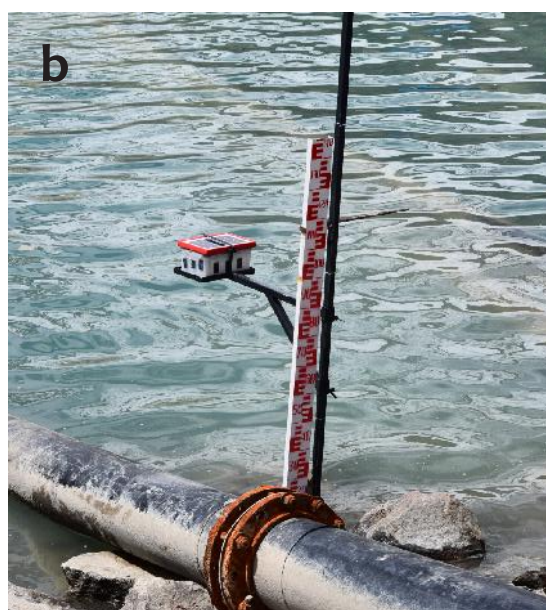
2.1.3 Información y Gestión del Conocimiento

A. Monitoreo hidrometeorológico

El año 2017 se inicia con el monitoreo hidrometeorológico de la laguna Palcacocha. Esta laguna está ubicada en la subcuenca priorizada Quillcay, en la Cordillera Blanca. Palcacocha presenta un riesgo latente, por ello el INAIGEM decide intervenir instalando una estación meteorológica portátil (Fotografía 27) en la morrena frontal de la laguna y reglas limnimétricas (Fotografía 28a), realizando aforos semanales a la salida del sistema de sifonaje y el desarrollo de un prototipo tecnológico a bajo costo (Fotografía 28b), que tendrá un registro horario de las variaciones del nivel de la laguna.



Fotografía 27. Estación meteorológica automática ubicada en la morrena frontal de la laguna Palcacocha, en donde se tiene registro cada cinco minutos de variables como temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y precipitación.



Fotografías 28 (a) Regla limnimétrica que tiene el nivel de la laguna a través de la inspección visual. (b) Prototipo de bajo costo que registra de forma horaria y automática el nivel de laguna.

Estación meteorológica Palcacocha (noviembre - diciembre 2017)
Elevación 4607 m s.n.m.

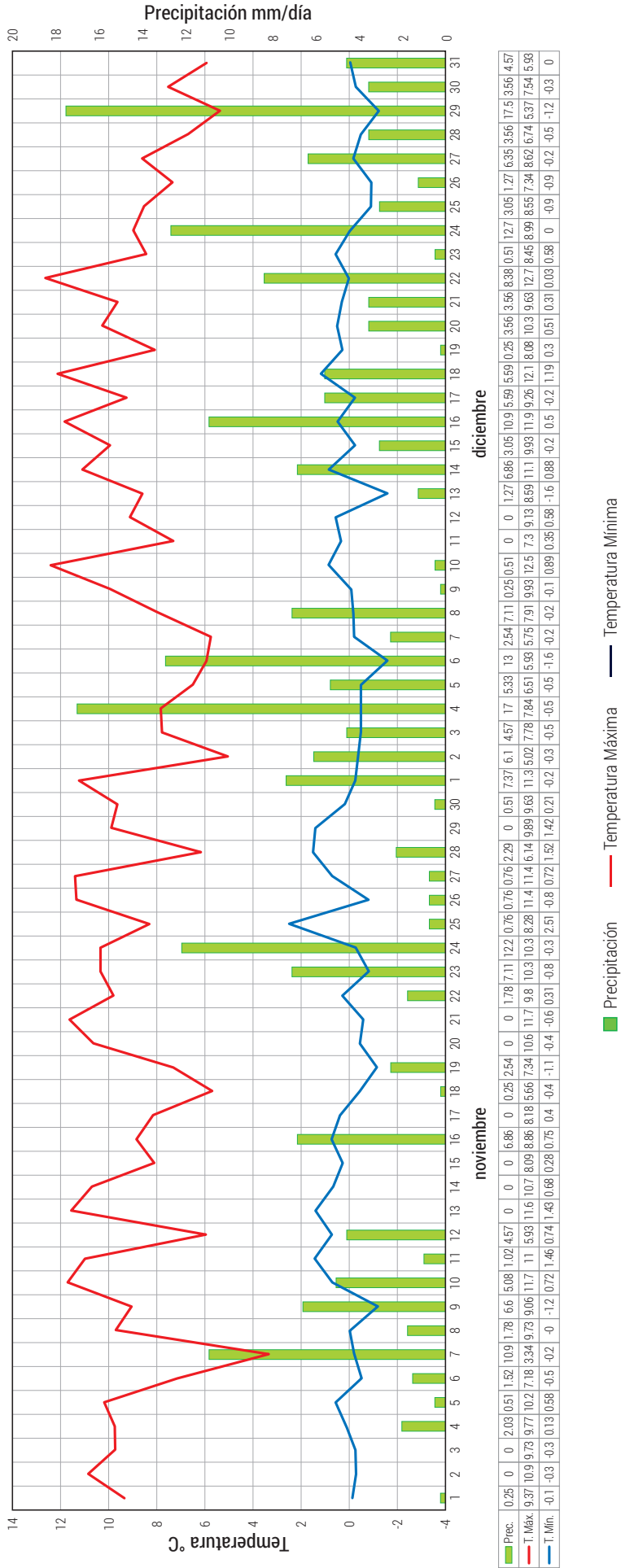


Gráfico 2. Comportamiento de las variables meteorológicas de la laguna Palcacocha.

Variación horaria del nivel de la laguna Palcacocha para el mes de octubre del 2017

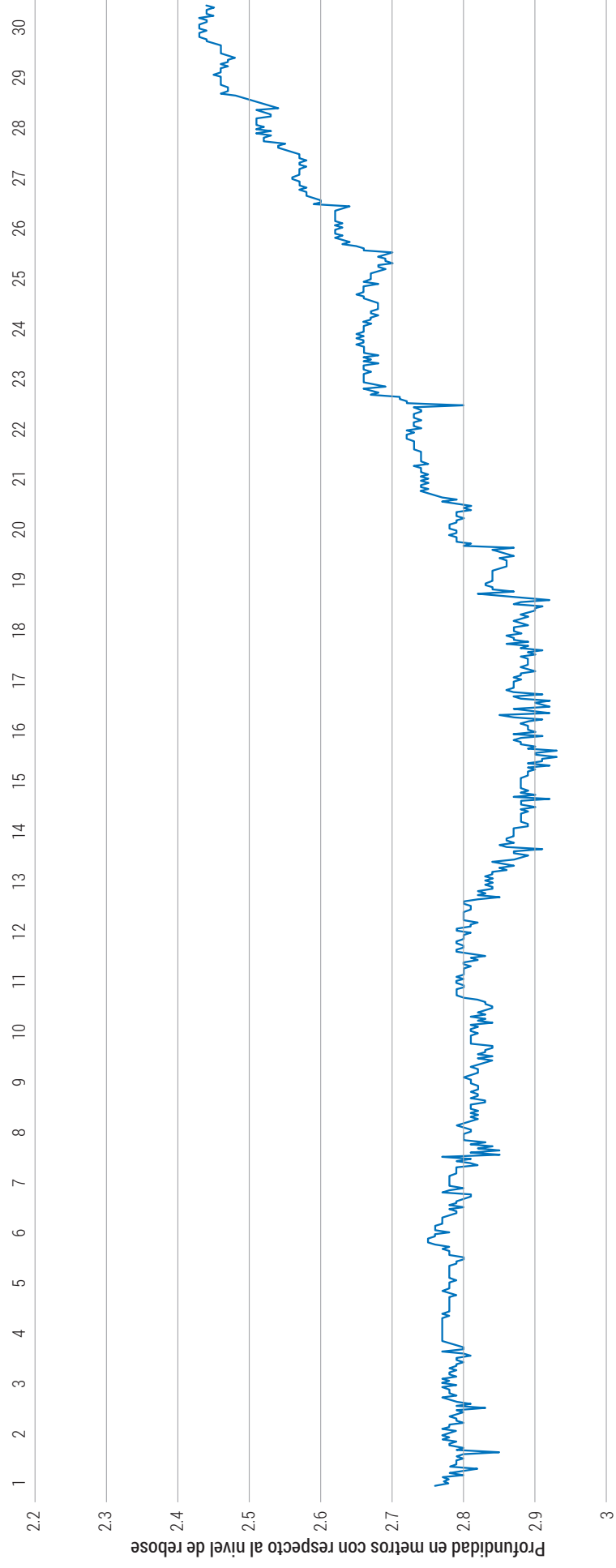


Gráfico 3. Variación horaria del nivel de la laguna Palcacocha para el mes de octubre del 2017.

B. Reporte hidrometeorológico de la laguna Palcacocha al COEN

Desde octubre de 2017 se viene remitiendo al Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) reportes hidrometeorológicos semanales de la laguna Palcacocha, cuyos contenidos son el análisis de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación a nivel diario, además de la medida del caudal a la salida del sistema de sifonaje y el promedio diario de las variaciones del nivel de agua de la laguna. El monitoreo hidrometeorológico de la laguna Palcacocha y la emisión de pronósticos se difunden en el COER – Ancash y sirven como insumos para la atención ante emergencias, por ejemplo, el suscitado en el mes de marzo por el Fenómeno El Niño Costero.

C. Sistema de monitoreo en tiempo real

Con el objetivo de generar información sobre glaciares y ecosistemas de montaña, se desarrolló y desplegó; un sistema de bajo costo dedicado al monitoreo en tiempo real de la laguna Palcacocha. Dicha laguna se encuentra catalogada como peligrosa por el volumen de agua que contiene (Volumen $\approx 16 \text{ Mm}^3$) y las características geomorfológicas de la microcuenca que la vinculan con la ciudad de Huaraz. El sistema está compuesto por tres torres de telecomunicaciones distribuidas en el ámbito de la subcuenca Quillcay, específicamente a lo largo de la quebrada Cojup. La primera torre se encuentra ubicada en la morrena izquierda de la laguna Palcacocha, la segunda se ubica en las alturas del cerro Churup y la tercera está localizada en el sexto piso de la sede central del INAIGEM-Huaraz. Técnicamente, cada torre posee una altura de nueve metros y está equipada con equipos de telecomunicación basados en tecnología WiMAX 5.8 Ghz, paneles solares monocristalinos de 100 watts, baterías solares de gel a 12V y 100Ah y accesorios electrónicos como controladores de carga de 30 amperios, inversor de corriente de 12V a 220V, cables STP (*Shielded Twisted Pair*), entre otros. La torre ubicada en la morrena izquierda de la laguna Palcacocha cuenta con una cámara de video vigilancia modelo mini domo para exteriores de la marca Dahua, resolución Full HD 1080p 2Mp, instalada a nueve metros de la base de la torre, capaz de recepcionar video durante el periodo de luz diurna y en condiciones de poca nubosidad y niebla. En condiciones óptimas, el campo de visión de la cámara cubre la laguna y las paredes frontales de los glaciares Pucaranra y Pallcaraju. Esto permite monitorear el comportamiento de los glaciares y el posible desprendimiento de masas hacia la laguna. La cámara permite una rotación de 360° a la redonda con la capacidad de enfocar objetivos concretos. El sistema opera de manera continua y se difunde a través de medios digitales como la página web institucional y el canal de YouTube. Se continuará durante el periodo de permiso otorgado por el Parque Nacional Huascarán hasta diciembre de 2019.

El proyecto se inició en enero de 2017 con un estudio de viabilidad, detallando aspectos técnicos como la visibilidad de cuenca, estudios de frecuencias, estudios de sostenibilidad energética y estudios estructurales. Los resultados que arrojaron fueron favorables. Esto motivo la adquisición del equipamiento necesario a bajo costo para la instalación del sistema. El despliegue total del sistema se culminó el día 28 de diciembre de 2017. Posteriormente, se realizaron pruebas técnicas para observar el comportamiento de los parámetros en la transmisión como el nivel de ruido en las trayectorias de enlace, determinación del ancho de canal ideal, capacidades netas de transmisión en Mbps y el consumo energético real en condiciones de operación.

Finalmente, se implementará instrumentos de medición hidrometeorológica a bajo costo, desarrollados por el INAIGEM con la premisa de “independencia tecnológica a bajo costo”.

Actividades en desarrollo:

- Tecnología de comunicación en tiempo real para zonas agrestes (véase Fotografía 29).
- Desarrollo de sensores autónomos de bajo costo para el monitoreo ambiental (véase Fotografía 28b).
- Monitoreo de caudales de subcuencas de origen glaciar.
- Dinámica glaciar en el nevado Huascarán.

Actividades concluidas:

- Evolución del glaciar en el Pastoruri empleando tecnología UAV.
- Construcción de modelo digital de superficie de la microcuenca río Seco en Huaraz.



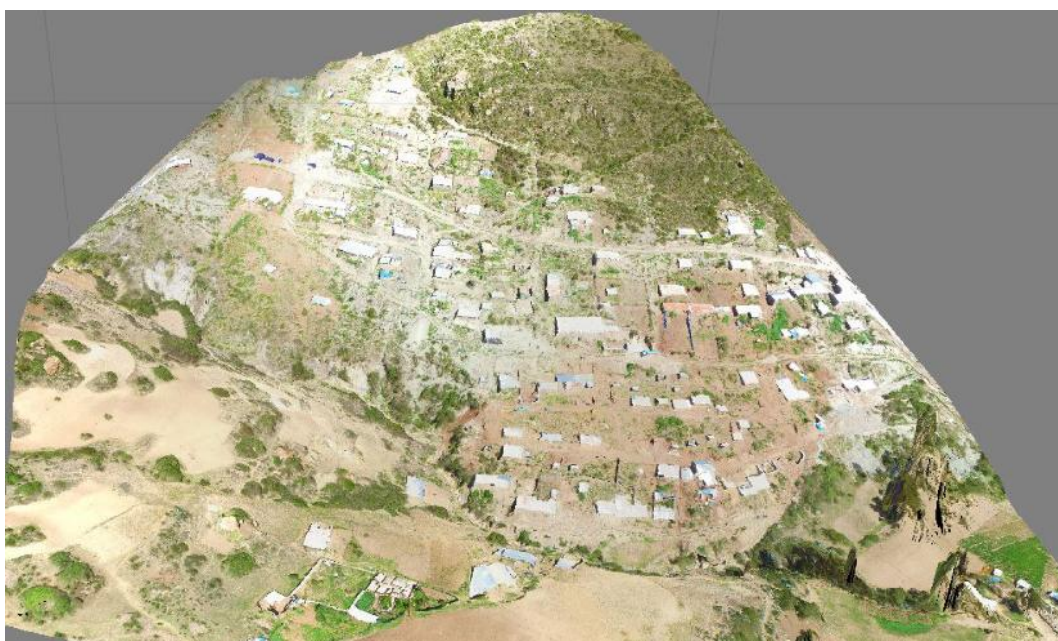
Fotografía 29. Imagen de la laguna Palcacocha, recibida en la sede del INAIGEM.

D. Atención de emergencias

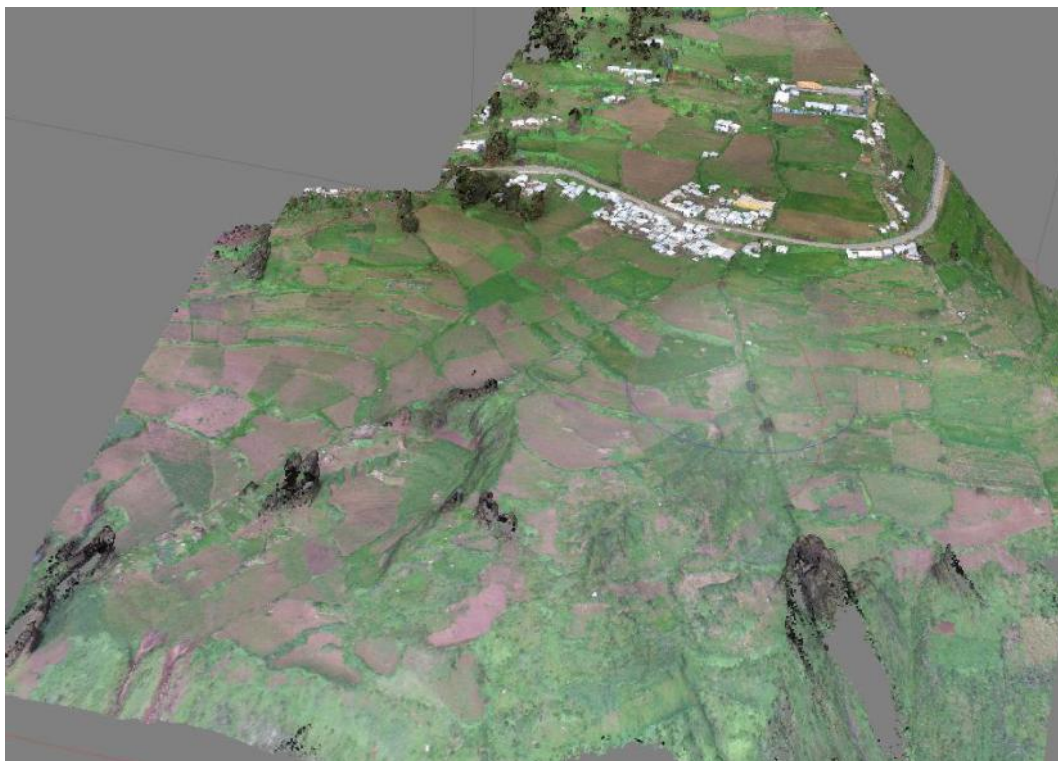
Se realizaron vuelos sobre las zonas afectadas por las intensas lluvias provocadas por el Fenómeno El Niño. Se sobrevolaron los siguientes lugares: Santa Rita, Shecta, centro poblado de Jirac, laguna Mullaca, caseríos de Huellap y Hornuyoc. Se obtuvo información de alta resolución <1 metro de las áreas de interés para el mapeo respectivo del territorio y análisis de las condiciones de las áreas afectadas (véase Fotografías 30 , 31 y 32).



Fotografía 30. Trabajo fotogramétrico en atención al estado de emergencia en Santa Rita.



Fotografía 31. Fotogrametría en el sector Shecta para evaluar el estado de riesgo por un posible deslizamiento de rocas.



Fotografía 32. Trabajo fotogramétrico en atención al estado de emergencia en el C.P. Jirac.

E. Sistema de información

E.1 Publicaciones

El INAIGEM, a través de la Dirección de Información y Gestión del Conocimiento, tiene por objetivo difundir los resultados de los estudios e investigaciones en temas de glaciares y ecosistemas de montaña. Para tal efecto, en el año 2017, se ha publicado 17 títulos, tal como se detalla en la Tabla 10.

Se han editado informes, folletos, boletines y revistas, tanto en formato digital como impreso, estando accesibles en la biblioteca especializada del INAIGEM y el portal web:

<http://biblioteca.inaigem.gob.pe/publicaciones>.

Véase Figuras 3 y 4, en las que se muestran las portadas de las publicaciones listadas.

La gestión de recursos digitales de la institución involucra la aplicación, la actualización y el mantenimiento de las plataformas para fines de difusión y masificación de la información. Se priorizó el uso de software libre (DSpace y Koha), en distintos mecanismos de gestión de la información que se detalla a continuación.

Tabla 10. Relación de publicaciones 2017.

N°	Publicación	Tiraje	Páginas
1	Situación de los glaciares y ecosistemas de montaña en el Perú – Informe anual 2016.	500	101
2	Manual Metodológico del Inventario de Glaciares.	1000	119
3	Expedición Científica Huascarán INAIGEM - 2017.	1000	35
4	El Carbono Negro y la Extinción de los Glaciares.	1500	16
5	El Alpamayo: El Nevado más Bello del Mundo.	500	16
6	Impact of the Climate Change in the Glacier Mountain Ranges in Peru.	1000	16
7	Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Ecosistemas de Montaña "Reynaldo Trinidad Ardiles".	1000	16
8	Investigación en Siembra y Cosecha de Agua.	1500	12
9	Boletín, Año II, N° 3. Enero - agosto 2017.	1000	111
10	Boletín, Año II, N° 4. Septiembre – diciembre 2017.	500	24
11	Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Año 2, N° 2. Junio 2017.	500	120
11	Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Año 2, N° 3. Diciembre 2017.	500	120
13	Boletín Hidrometeorológico. Año II, N° 7. Enero – febrero 2017.	100	40
14	Boletín Hidrometeorológico. Año II, N° 8. Marzo – abril 2017.	100	42
15	Boletín Hidrometeorológico. Año II, N° 9. Mayo – junio 2017.	--	44
16	Boletín Hidrometeorológico. Año II, N° 10. Julio – agosto 2017.	--	44
17	Boletín Hidrometeorológico. Año II, N° 11. Septiembre – octubre 2017.	--	44
18	Boletín Hidrometeorológico. Año II, N° 12. Noviembre – diciembre 2017.	--	44

Nota.- A partir del N° 9 del Boletín Hidrometeorológico sólo se publicó en formato digital.



Imágen 3. Portadas de las Publicaciones en formato digital e impresos.



Imagen 4. Portadas de las Publicaciones en formato digital e impresos.

E.2 Página web institucional

La difusión de contenidos a través de la página web involucra tareas importantes como la publicación y actualización de secciones en la web en forma permanente. Este es el medio de difusión más importante al cual se puede acceder a través de la siguiente dirección: <http://www.inaigem.gob.pe>. Este dominio incluye la página web de la biblioteca accesible a través de: <http://biblioteca.inaigem.gob.pe>. véase captura de pantalla en la Imagen 5.

Las estadísticas de acceso al portal web del INAIGEM, para el año 2017, se muestran en el Gráfico 4, en la que se señala que se han registrado 41,165 visitantes distintos 61,518 como número de visitas efectivas y se han abierto 267,666 páginas.



Imagen 5. Portal web Biblioteca INAIGEM.

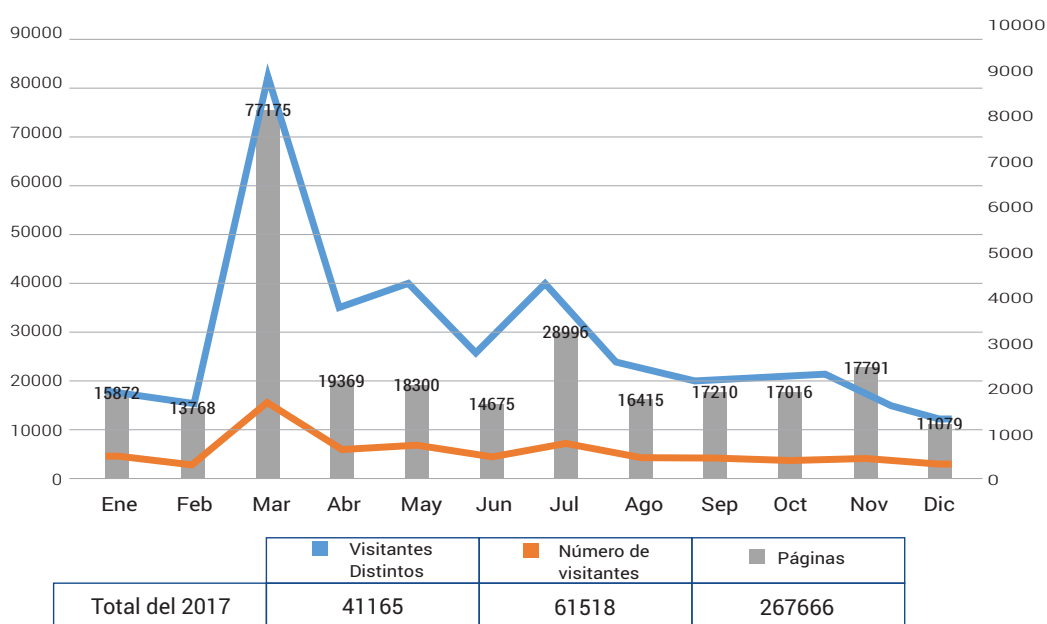


Gráfico 4. Estadísticas de acceso a la página electrónica institucional (<https://www.inaigem.gob.pe>).

E.3 Biblioteca Especializada y Portal web biblioteca

La Biblioteca Especializada del INAIGEM ha organizado y automatizado su colección física proveniente de compras y donaciones, haciéndolas accesibles a través del catálogo en línea y la biblioteca digital (repositorio). Brinda servicios a los investigadores, estudiantes y público en general en temas de glaciares y ecosistemas de montaña.

El portal web de la biblioteca institucional se puede acceder a través de la siguiente dirección electrónica: <http://www.biblioteca.inaigem.gob.pe>. véase Imágen 6. En ella se encuentra disponible las diversas publicaciones, como el *Boletín Institucional*, la *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, notas técnicas y boletines hidrometeorológicos, entre otros, en versión digital y disponibles para la descarga respectiva del público general. Asimismo, es una ventana de acceso al sistema Koha usado como catálogo de fuentes bibliográficas disponibles en la biblioteca física. El portal fue puesto en operación a mediados de 2016, y desde entonces vienen incrementando las visitas. Es así que para el 2017 se tuvo 1376 visitantes distintos, 2061 visitas efectivas y se abrieron 7521 páginas (véase Gráfico 5).

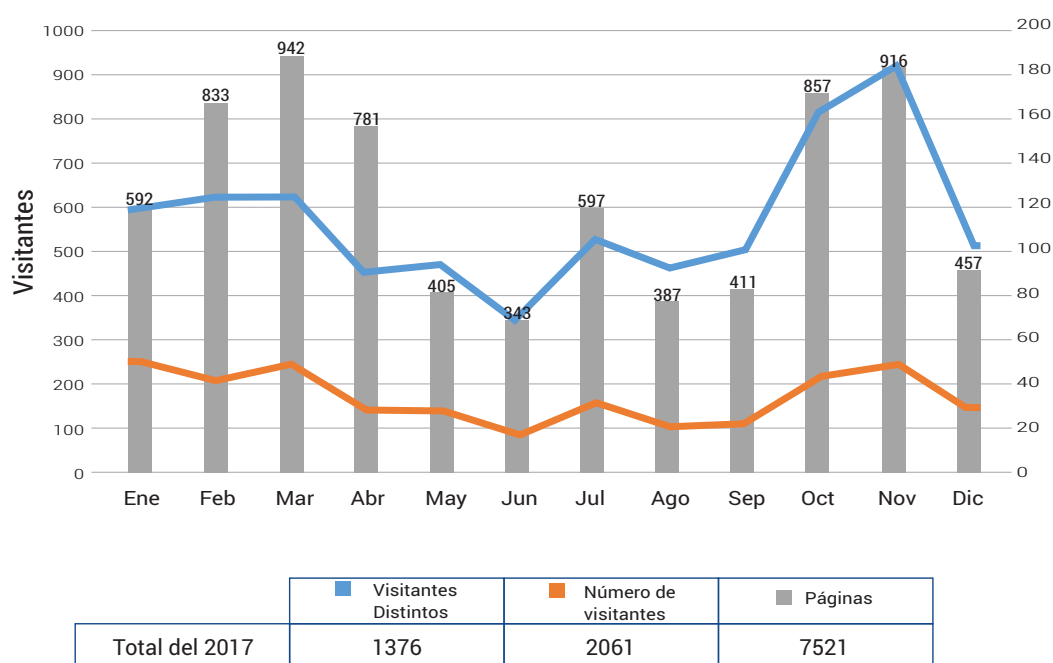


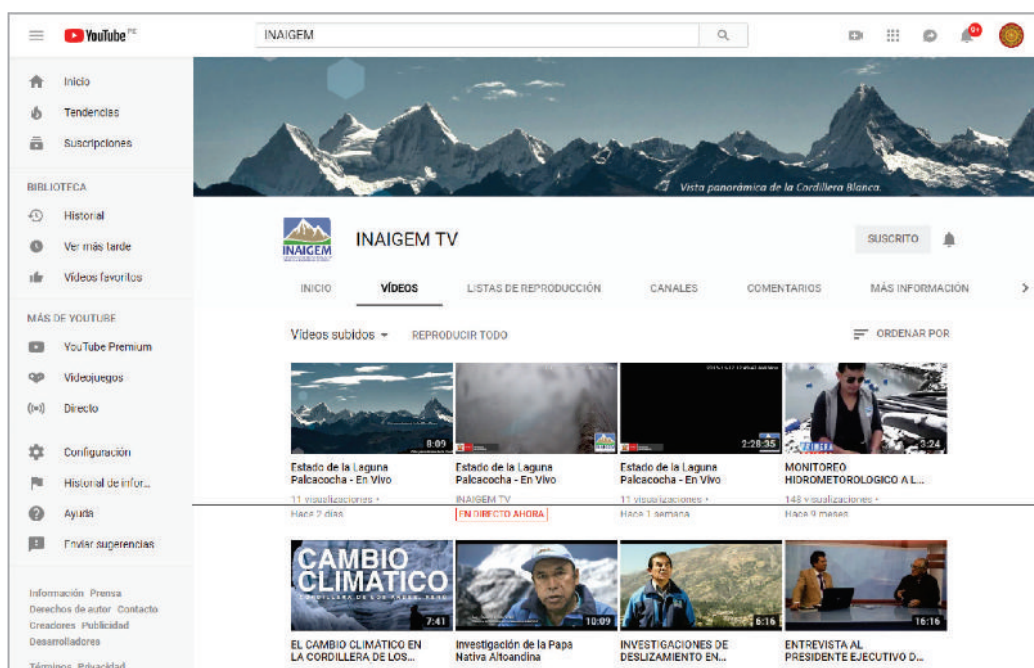
Gráfico 5. Estadísticas de uso de la biblioteca virtual del INAIGEM en el 2017 (<https://www.biblioteca.inaigem.gob.pe/>).



Imágen 6. Portal web Biblioteca INAIGEM.

E.4 Portal de videos YouTube

El canal de Youtube se inscribió oficialmente el día 12 de mayo de 2016 con el nombre de INAIGEM TV: https://www.youtube.com/channel/UCs3FthuZRD8n3QkHU8_rYxg. Desde entonces se publican videos periódicamente, con la intención de aprovechar las redes sociales para una mejor difusión de la información y el conocimiento generado por el INAIGEM. Estos medios de comunicación son modernos y sin costo, además de estar muy vinculados con la población joven. El tema de la mayoría de los videos está relacionado con los glaciares y ecosistemas de montaña y su relación con el cambio climático, además del sistema de transmisión en vivo de imágenes que muestran la laguna Palcacocha y los glaciares Pucaranra y Palcaraju (<https://www.youtube.com/watch?v=koBS3h3yIVo&app=desktop>). Actualmente, se cuenta con 25 videos y se espera incrementar progresivamente esta cantidad (véase Imágen 7).



Imágen 7. INAIGEM TV - Youtube.

I. Expedición Científica Huascarán

El INAIGEM, a través de la Dirección de Investigación en Glaciares, viene monitoreando el comportamiento de los frentes glaciares en diversos ámbitos del Perú, tales como Copap, Queullaraju, Llaca, Huillca, Ticlla, Sullcón 3 y Paccha. Este monitoreo se viene desarrollando desde los años setenta del siglo XX por diferentes instituciones. Sin embargo, no se cuenta con información sobre el comportamiento de las cumbres nevadas, teniendo en consideración, sobre todo, las actuales condiciones de cambio climático que estarían afectando severamente las cordilleras nevadas. La información sobre la altitud de las principales cumbres nevadas del Perú no presenta datos contundentes que hayan sido verificados en campo. La información oficial existente elaborada por el IGN se basa en trabajos fotogramétricos que requieren ser detallados en campo.

El INAIGEM, como entidad de investigación en glaciares, tiene la necesidad y obligación de contar con información certera sobre las condiciones físicas de los glaciares. Esto incluye su altimetría, características biológicas, meteorológicas y geológicas, así como la posible existencia de especies de micro y macroinvertebrados o algas, además de conocer la concentración de carbono negro en la superficie de algunos nevados, entre otros, que podrían ser indicadores de la dinámica de los glaciares tropicales. En cuanto al carbono negro, su concentración nos ayuda a evaluar el impacto de la quema de combustibles fósiles sobre los nevados y glaciares.

Bajo este contexto, entre el 6 y 12 de agosto del 2017, se realizó la Expedición Científica a la cumbre sur del Nevado Huascarán, la cual marcó un hito en la investigación glaciológica del Perú (véase Fotografía 33). Los resultados y conclusiones son los siguientes:



Fotografía 33. Medición de acumulación y densidad de nieve en la cumbre del nevado Huascarán el 10 de agosto del 2017.

Resultados

- La altura de la cumbre sur del nevado Huascarán es 6757 m s.n.m. con respecto al modelo geode EGM2008, el cual es un punto de referencia.
- En el pozo de acumulación se observó una capa de nieve compacta y congelada de 20 cm en la cumbre del Huascarán con una disposición de nieve homogénea granular de 1.60 m.
- La mayor gradiente térmica se registró en el frente glaciar con más de 19 °C.
- Los picos máximos de temperatura en la parte baja del glaciar, como el frente glaciar (ruta de entrada para el ascenso al glaciar) y Campo 1, se registraron entre las 11.00 y 12.00 h, con valores de hasta 13.6 °C. Las temperaturas mínimas se dieron entre las 05.00 y 06.00 h y arrojaron valores de hasta -8 °C.
- Los valores de humedad relativa disminuyen conforme las temperaturas se incrementan y viceversa, fenómeno observado en la parte baja del glaciar (frente glaciar y Campo 1). Véase Gráfico 6.
- Se observa la evidencia de la colonización progresiva de algunas especies hacia las alturas, como un mosquito de la familia Culicidae en el frente glaciar, un arácnido que habita entre las rocas y el glaciar y plantas (*Calamagrostis* sp.) en la zona rocosa adyacente al glaciar.
- Existen indicios de posibles grietas en la cumbre del nevado Huascarán.
- Se han observado focos de contaminación producida por la actividad de alta montaña, sobre todo en las zonas de los campamentos (Campo 1 y 2), por residuos sólidos como restos de comida, envolturas de plástico y excreta humana.

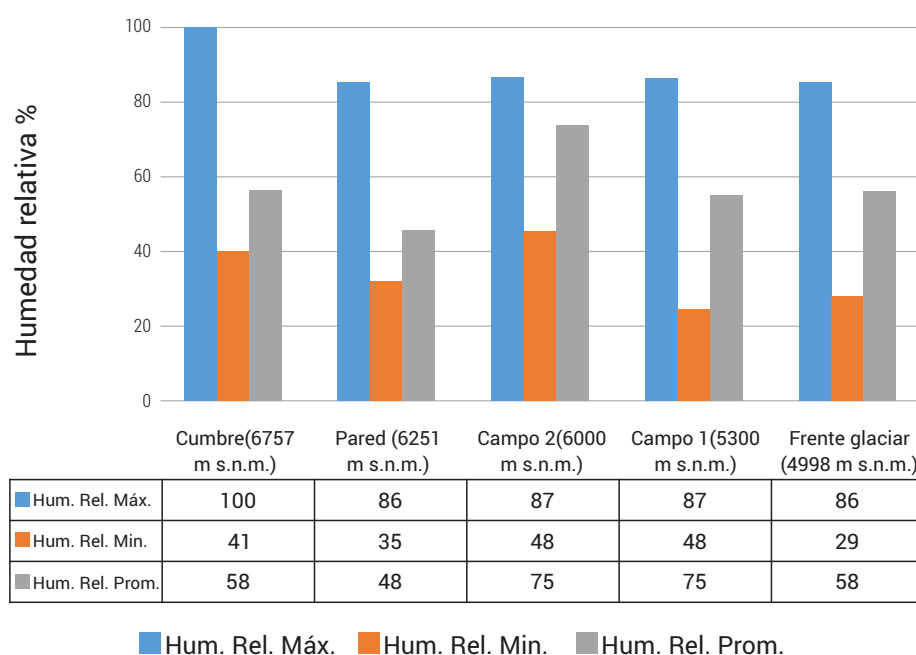


Gráfico 6. Humedad relativa a diferentes altitudes, día 10 de agosto del 2017 en el nevado Huascarán.

Conclusiones

- El equipo satelital de navegación global (GPS Diferencial), empleado en el cálculo de la altura del Huascarán (6757 m s.n.m.), ha demostrado robustez e idoneidad para trabajo en alta montaña, teniendo antecedentes de su empleo a nivel mundial.
- El gradiente de temperatura se incrementa al llegar al mediodía, con lo que se infiere que en la parte baja del glaciar (frente glaciar y Campo 1) existe una mayor influencia de la radiación solar, en el incremento de la temperatura, debido a la menor incidencia de los vientos y a la existencia de carbono negro.
- La menor cantidad de carbono negro en la nieve de la cumbre sur del nevado Huascarán favorece la reflectividad (albedo), lo que implica menor energía solar absorbida y, por ende, menor fusión. Lo contrario sucede en la parte baja del glaciar donde se observan mayores concentraciones de carbono negro.
- La acumulación de nieve durante la estación húmeda del año 2017, favoreció la presencia de nieve relativamente limpia en el nevado Huascarán. Sin embargo, por debajo de 6000 m s.n.m. la cantidad de carbono negro aumenta.
- Las especies que habitan en el frente glaciar (4998 m s.n.m.), en particular los mosquitos observados, pueden ser un indicador de cambio climático a ser investigado.

2.2 Estudios sobre riesgos

2.2.1 Riesgos asociados a glaciares y lagunas

El INAIGEM, como institución encargada de establecer la política pública en glaciares y ecosistemas de montaña, a través de la Dirección de Investigación en Glaciares, realiza estudios de gestión del riesgo de desastres asociados a glaciares, con la finalidad de identificar y analizar los riesgos y recomendar medidas de prevención y reducción del riesgo en los ámbitos de las cuencas, subcuencas y microcuencas priorizadas a nivel nacional. En ese contexto, y de acuerdo a las actividades previstas en el plan operativo institucional de la Sub Dirección de Riesgos Asociados a Glaciares, se realizó la evaluación de peligros por movimientos en masa en las subcuencas de los ríos Quillcay, Pariac-Rajucolta y Yuracmayo-Santa Cruz, departamento de Ancash. Así también, se realizó la inspección de ocho lagunas ubicadas en dichas subcuencas, realizando una evaluación a nivel superficial del estado actual de las obras de seguridad y el entorno de la laguna, y determinando si representarían un peligro para las poblaciones e infraestructura ubicadas aguas abajo. véase Fotografía 34 y Tabla 11.

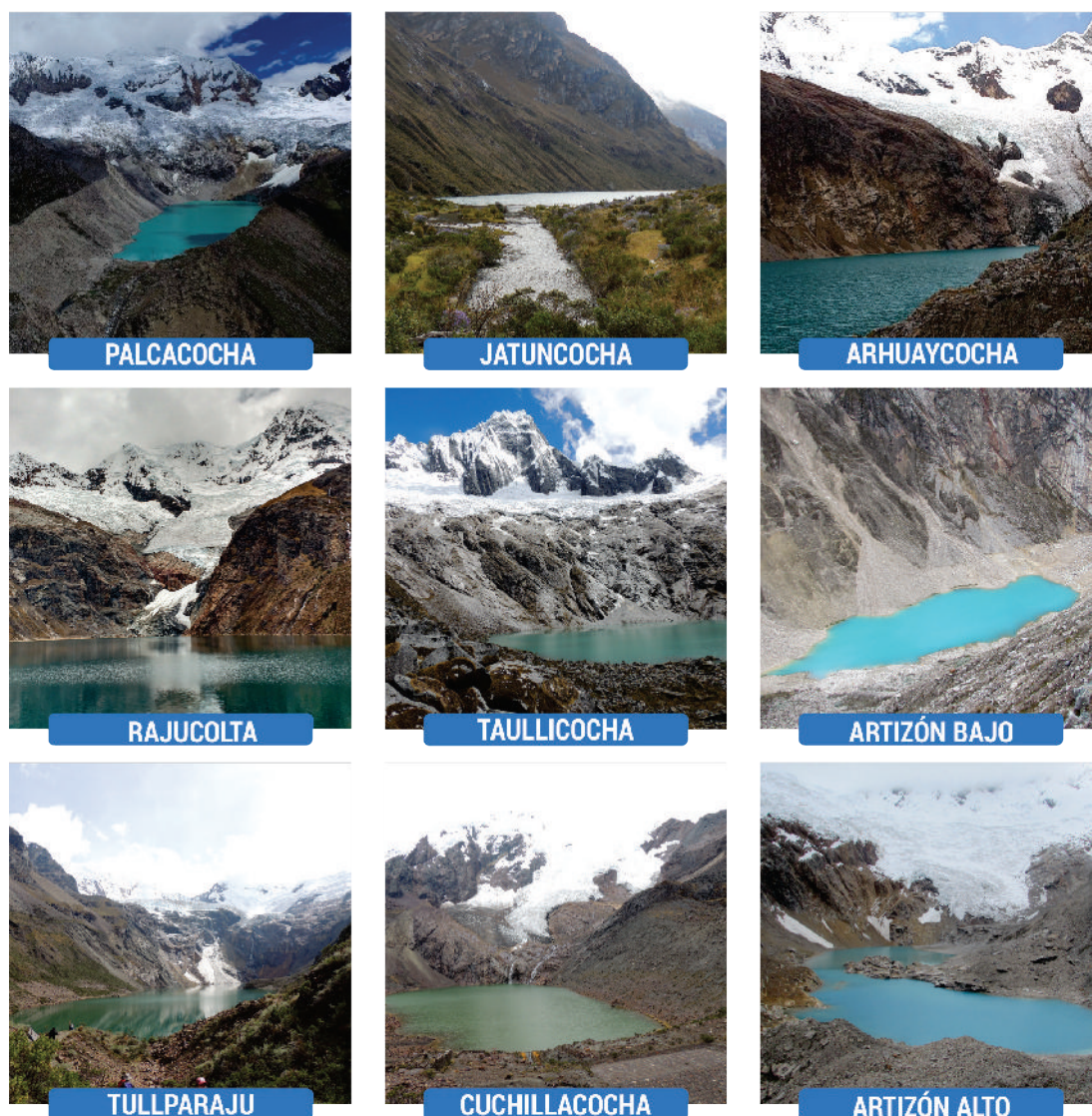
2.2.2 Gestión de riesgos en las subcuencas glaciares

Históricamente, en la Cordillera Blanca han ocurrido eventos desastrosos que han perjudicado la vida de muchas personas emplazadas en su entorno. Esto hace necesario la realización de estudios especializados que permitan identificar los niveles de peligro natural, como estudios geológicos, geomorfológicos, geodinámicos, geotectónicos, glaciológicos; además, la estimación de volúmenes de masas glaciares colgadas potenciales y estado de las Obras de Seguridad (OS), que se ubican en las lagunas de origen natural consideradas peligrosas.

Durante el año 2017, la Sub Dirección de Riesgos Asociados a Glaciares (SDRAG) de la Dirección de Investigación en Glaciares (DIG) del INAIGEM realizó la identificación de peligros naturales en las subcuencas de los ríos Quillcay, Pariac-Rajucolta y Yuracmayo-Santa Cruz, teniendo como base estudios especializados, los mismos que permitieron caracterizar temáticamente el área comprendida en

cada subcuenca y así determinar los niveles de susceptibilidad por movimientos en masa muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo.

A continuación, se presenta el resultado de los estudios realizados en subcuencas glaciares dentro de la Cordillera Blanca.



Fotografía 34. Lagunas glaciares en riesgo.

a. Subcuenca Quillcay

En la subcuenca del río Quillcay, se realizó la evaluación mediante la aplicación de una metodología con el uso de análisis multivariables, desde el punto de vista geológico, geomorfológico, geotécnico y de pendientes, determinando los niveles de peligro o susceptibilidad por movimientos en masa: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto (véase Mapa 22).

De acuerdo a los parámetros evaluados a lo largo de la subcuenca, se identificó que en las zonas bajas de la quebrada Cojup predominan los niveles de peligro de alto a muy alto, situación que es visualizada en el entorno de la laguna Palcacocha, siendo que, por las características físicas de los materiales circundantes, se presenta un nivel de peligro predominantemente muy alto. En torno a la laguna Cuchillacocha, se visualiza un nivel de peligro alto. Situación distinta es visualizada en el entorno de la laguna Tullparaju, en la cual

se determinaron niveles de peligro muy altos, condición determinada por sus características físicas y de formación.

El estudio glaciológico consistió en la estimación de volúmenes inestables de los glaciares que podrían provocar avalanchas, basado en la pendiente de la masa glaciar y el volumen que podría tener cada bloque. En el glaciar Palcaraju, se identificaron 22 bloques de glaciares colgados cuyos volúmenes oscilarían entre 0.034 Mm³ y 0.765 Mm³; en el glaciar Pucaranra, 10 bloques de glaciares colgados potenciales cuyos volúmenes oscilarían entre 0.042 Mm³ y 1.56 Mm³, lo cual nos muestra su alta peligrosidad y en el glaciar Tullparaju, se identificaron 19 bloques de glaciares colgados potenciales, cuyos volúmenes oscilan entre 0.313 Mm³ y 2.035 Mm³.

De otra parte, se inspeccionaron las obras de seguridad y se evaluó su estado actual, identificando que el estado de la obra de seguridad de la laguna Palcacocha es regular, teniendo elementos deteriorados que podrían afectar la estructura, visto a nivel superficial. Respecto a la obra de seguridad de la laguna Cuchillacocha, su estado es regular y no se visualizan elementos deteriorados. De otra parte, la obra de seguridad de la laguna Tullparaju se encuentra en estado regular, con elementos deteriorados que requieren ser reparados.

Tabla 11. Situación actual de lagunas inspeccionadas en la Cordillera Blanca.

N°	LAGUNA	COTA (m s.n.m.)	CUENCA	SUB CUENCA	PROVINCIA	PELIGRO POTENCIAL
1	PALCACOCHA	4562	SANTA	QUILLCAY	HUARAZ	ALTO
2	CUCHILLACOCHA	4625	SANTA	QUILLCAY	HUARAZ	ALTO
3	TULLPARAJU	4283	SANTA	QUILLCAY	HUARAZ	ALTO
4	RAJUCOLTA	4273	SANTA	PARIAC	HUARAZ	ALTO
5	ARHUAYCOCHA	4400	SANTA	SANTA CRUZ	HUAYLAS	ALTO
6	JATUNCOCHA	3887	SANTA	SANTA CRUZ	HUAYLAS	MEDIO
7	ARTIZON ALTA	4737	SANTA	SANTA CRUZ	HUAYLAS	BAJO
8	ARTIZON BAJA	4639	SANTA	SANTA CRUZ	HUAYLAS	BAJO
9	TAULLICOCHA	4465	SANTA	SANTA CRUZ	HUAYLAS	BAJO



Mapa 22. Mapa de susceptibilidad por movimientos de masas – subcuenca del río Quillcay.

b. Subcuenca Pariac

En la subcuenca del río Pariac, se realizó la evaluación mediante la aplicación de una metodología con el uso de análisis multivariantes, desde el punto de vista geológico, geomorfológico, geotécnico y de pendientes, determinando los niveles de susceptibilidad por movimientos en masa: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto (véase Mapa 23).

Se estima que los niveles de susceptibilidad de la subcuenca van de moderado a muy alto, lo cual se debe a las características físicas de los materiales circundantes. Se presenta un nivel de peligro predominantemente muy alto en las zonas bajas, y en la laguna Rajucolta, una susceptibilidad que disminuye en las zonas altas.

El estudio glaciológico consistió en la estimación de volúmenes inestables de los glaciares que podrían provocar avalanchas, identificando 19 bloques de glaciares colgados cuyos volúmenes oscilarían entre 0.018 Mm³ y 0.526 Mm³.

De otra parte, se inspeccionó la obra existente en la laguna Rajucolta, identificando que su estado es regular. Se resalta que el borde libre del espejo de agua debe estar dentro del espacio técnicamente viable para la seguridad integral de la estructura construida.

c. Subcuenca Yuracmayo

En la subcuenca del río Yuracmayo – Santa Cruz, se realizó la evaluación mediante la aplicación de una metodología con el uso de análisis multivariantes, desde el punto de vista geológico, geomorfológico, geotécnico y de pendientes, determinando los niveles de susceptibilidad por movimientos en masa: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto (véase Mapa 24).

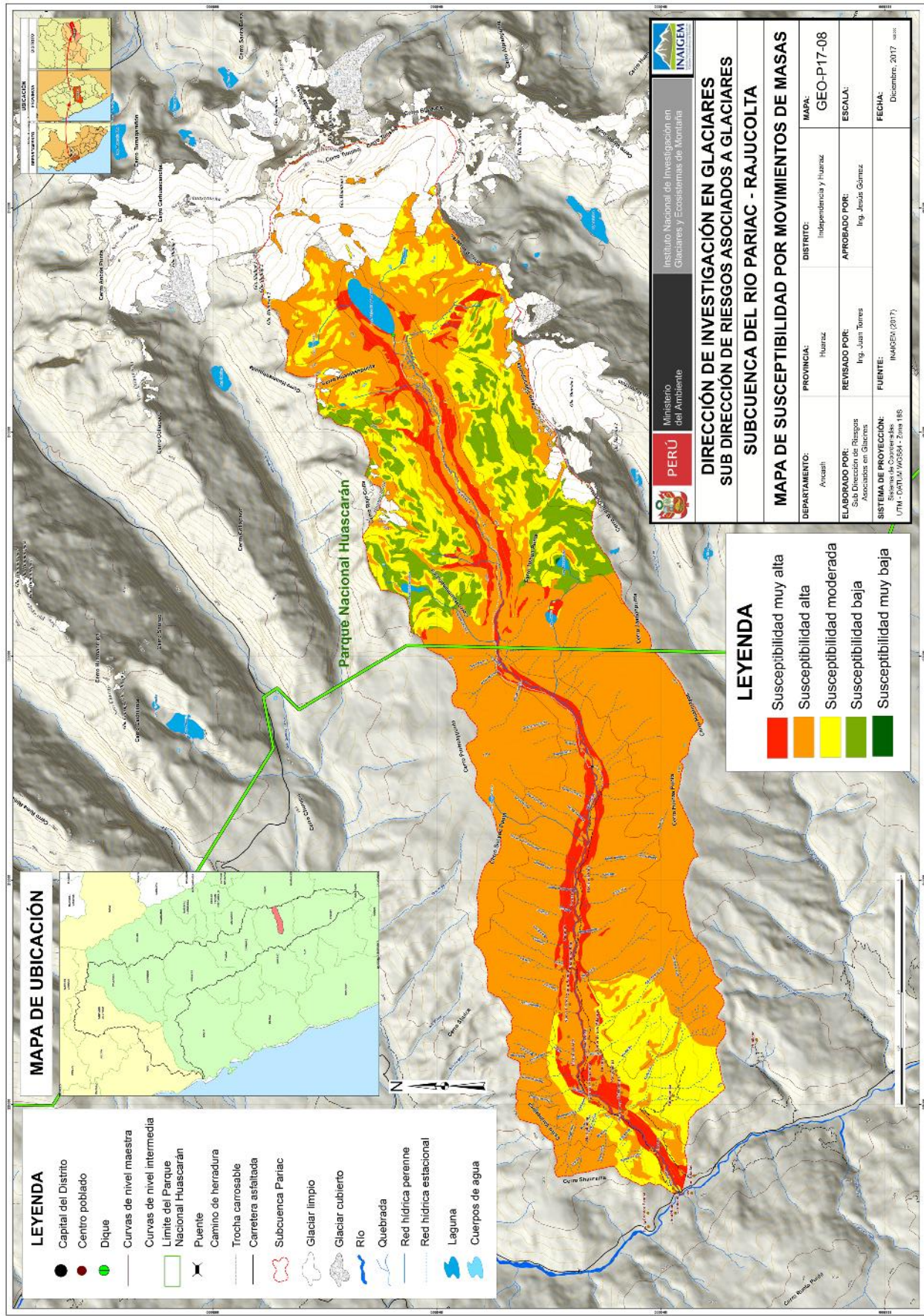
De acuerdo a los parámetros evaluados a lo largo de la subcuenca, se identificó que, en las zonas aledañas al cauce del río principal, predominan los niveles de peligro de alto a muy alto, tratándose de depósitos cuaternarios. Además, es visualizada en el entorno de la laguna Jatuncocha que, por las características físicas de los materiales circundantes, se presenta un nivel de peligro predominantemente muy alto. De otra parte, se visualiza que en las laderas de la quebrada Arhuaycocha predominan los niveles de peligro de altos (zona aledaña al cauce) a muy altos (a medida que va ganando altura), condición distinta es apreciada en las cumbres, tratándose de zonas de macizo rocoso expuesto. En torno a la laguna Taullicocha, se visualiza un nivel de peligro alto, con áreas mínimas de niveles muy altos. Cabe precisar que, en la zona anterior a la laguna predomina el nivel de peligro moderado. No obstante, en la zona de recorrido del río que discurre aguas abajo, zona denominada Taullipampa, se emplazan áreas de depósitos cuaternarios de nivel de peligro muy alto. La zona posterior a la laguna Artizón Bajo presenta niveles de peligro muy altos, situación que es concordante con las características del material de las laderas, así como su elevada pendiente.

El estudio glaciológico consistió en la estimación de volúmenes inestables de los glaciares que podrían provocar avalanchas, basado en la pendiente de la masa glaciar y el volumen que podría tener cada bloque. En el glaciar Pucahirca, se identificaron dos bloques de glaciares colgados cuyo volumen probable de avalancha es de 0.118 Mm³ (118,678.54 m³).

De otra parte, se inspeccionó las obras de seguridad y se evaluó su estado actual, identificando que el estado de la obra de seguridad (canal de salida)

de la laguna Arhuaycocha es regular, visualizándose de manera superficial unos elementos deteriorados. En la laguna Jatuncocha se tiene una obra de seguridad en mal estado, con elementos deficientes y colapsados, debido a la afectación que tuvo ante el aluvión ocurrido en el año 2012 y que vino desde la laguna Artizón Bajo.

La SDRAG tiene programado efectuar al año 2018 la finalización de la evaluación del riesgo (incluyendo análisis de la vulnerabilidad y estimación del riesgo) de las subcuencas de los ríos Quillcay, Pariac – Rajucolta y Yuracmayo – Santa Cruz, con la finalidad de conocer los riesgos asociados a la geodinámica de las subcuencas glaciares, y para que ello sea comunicado a las autoridades competentes, a fin de que se adopten e implementen las medidas de mitigación recomendadas



Mapa 23. Mapa de susceptibilidad por movimientos de masa – subcuenca del río Paríac - Rajucolta.

2.2.3 Riesgos asociados a los ecosistemas de montaña

Se ha desarrollado el marco conceptual y metodológico para la elaboración del mapa de riesgo en ecosistemas. Este comprende como subcuenca piloto a la subcuenca Quillcay en la Cordillera Blanca de la Región Áncash. Se ha identificado los peligros que tendrían impacto sobre los ecosistemas y sus funciones, constituyendo en consecuencia una amenaza para el desarrollo sostenible de las poblaciones. Se ha priorizado el impacto potencial que podrían causar fenómenos como las precipitaciones extremas, rangos de temperatura extremos, estrés hídrico, geodinámica externa y la producción de drenajes ácidos de roca producto del retroceso glaciar. Toda esta información se orienta al establecimiento de umbrales e indicadores que permitan reducir los riesgos hidro climáticos y, además, su incorporación a un Sistema de Alerta Temprana (SAT) a través del establecimiento de canales adecuados para su transmisión, de tal manera que la información pueda llegar de manera oportuna a los agricultores de la subcuenca.

Para establecer el nivel de riesgo cuantificado sobre el ecosistema bofedal, se ha realizado mediciones de los niveles de compactación del suelo y velocidad de infiltración en el bofedal piloto ubicado en Cochapampa en la microcuenca Quillcayhuanca de la subcuenca Quillcay. Estas variables medidas son importantes para la determinación de umbrales que permitan establecer el grado de riesgo de estos ecosistemas por efectos antrópicos y climáticos. Asimismo, este estudio permitirá establecer una metodología para la evaluación del estado de conservación de un bofedal, aspecto importante que es considerado para el inventario nacional de bofedales que debe realizar la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña, en coordinación con gobiernos locales y regionales y demás entidades vinculadas (véase Mapa 25).

Las condiciones de cambio climático a nivel global se traducen también en procesos geodinámicos. El año 2017, el INAIEM con apoyo de la Embajada de la República Checa ha implementado el proyecto “Investigación sobre deslizamientos para la reducción de riesgos y la adaptación al cambio climático en ambientes de alta montaña en el Perú”. En este estudio se viene monitoreando el comportamiento de la zona de deslizamiento. Se ha elaborado el mapa de peligro, la señalización de rutas de evacuación en caso de la presencia de un evento peligroso, todo esto con participación de los pobladores, autoridades, escuela y líderes campesinos (véase Fotografía 35). Durante el 2017 se logró la caracterización geológica, geomorfológica y geodinámica en el entorno de Rampac Grande-Sector Hornuyoc-Cordillera Negra, para determinar zonas críticas con deslizamientos que permita elaborar un mapa de peligros.



Fotografía 35. Socialización del mapa de peligros con la población de Hornuyoc (Carhuaz, Ancash).

2.3 Fortalecimiento de capacidades

Se han realizado diferentes actividades con el objetivo de generar conocimiento sobre los glaciares y ecosistemas de montaña, dirigidas a los docentes y alumnos de las diferentes instituciones educativas del ámbito de la Región Áncash. Estas experiencias serán replicadas a nivel nacional (véase Fotografías 36 y 37). En la Tabla 12 se presentan las diferentes actividades realizadas en el año de evaluación 2017.



Imágen 8. Carátula del manual para docentes sobre aguas, suelos y servicios ecosistémicos.



Fotografía 36. Reconocimiento del perfil del suelo en Pitec, con alumnos del Colegio El Pinar.



Fotografía 37. Feria itinerante en el Parque Perú de la ciudad de Huaraz.



Fotografía 38. Feria informativa por la semana ambiental en la Plaza de Armas de Huaraz.



Fotografía 39. Feria por el Día Interamericano del Agua en la Plaza de Armas de Huaraz.

Tabla 12. Actividades de sensibilización año 2017.

Público	Actividad	Día/Mes	Lugar	Participación INAIGEM	Resultado
Comunidad educativa	Elaboración de un Manual para docentes – documento de consulta técnica especializada elaborado por especialistas de las tres direcciones de línea (Imagen 8).	21/04	Colegio El Pinar, Huaraz	Autor del Manual.	Un docente coordinador de primaria y un profesor CCNN capacitados y motivados.
Comunidad educativa	Visita guiada a campo con alumnos del Colegio El Pinar, para consolidar los conocimientos adquiridos en clase, conforme al manual elaborado por los especialistas del INAIGEM (Fotografía 36).	28/08	Mirador camino a Pitec, Huaraz	Responsable de guiar la visita y realizar las actividades en campo.	80 estudiantes de 3° y 5° de primaria.
Público en general.	Feria itinerante “Prepárate Huaraz”, iniciativa de diversas instituciones con competencia en la Gestión de Riesgos de Desastre, con la finalidad de sensibilizar e informar a la población sobre cómo debe actuar antes, durante y después de un catástrofe natural (Fotografía 37).	09/09	Plazuela de La Soledad, Huaraz	Presentación de un stand informativo.	500 personas informadas con material de difusión impreso.
		23/09	Losa deportiva San Martín, Independencia Huaraz		
		07/09	Parque Perú, Huaraz		
		21/10	Parque Las Flores, Huaraz		
Público en general.	Semana Ambiental “Conciencia Verde - Buenas Prácticas Ambientales y Ecoeficiencia”, organizada por la Corte Superior de Justicia de Ancash, donde el INAIGEM tuvo participación, mediante ponencia y stand informativo (Fotografía 38).	25/09	Plaza de armas, Huaraz	Ponencia y presentación de un stand informativo.	250 personas informadas con ponencia y material de difusión impreso.
Público en general. Ciudadanos	“Día Interamericano del Agua”, donde el INAIGEM difundió información acerca de las actividades que realiza con el fin de contribuir a la conservación y preservación de las principales fuentes de agua a nivel nacional (Fotografía 39).	05/10	Local central de la UNASAM, Huaraz	Presentación de un stand informativo.	200 personas informadas con material impreso.

2.4 Promoción de la investigación

Una propuesta para desarrollar la promoción de la investigación desde el INAIGEM fue la formación de los núcleos de investigación con estudiantes de las escuelas de posgrado de Universidades peruanas. Se conformaron dos núcleos de investigación con alumnos de la maestría en Gestión Ambiental de la Universidad Nacional del Santa (Chimbote) y la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (Huaraz). A ellos, que se encuentran elaborando sus proyectos de tesis, se les facilitó toda la información técnica especializada con que cuenta el INAIGEM, en ámbito de los glaciares y ecosistemas de montaña.

Se tiene programado, para el mes de mayo del año 2018 seguir con las reuniones de coordinación con los núcleos ya formados y seguir conformando nuevos núcleos con alumnos del nivel de doctorado del ámbito nacional (véase Fotografía 40).



Fotografía 40. Especialistas del INAIGEM, socializando las bondades de conformar Núcleos de Investigación con estudiantes de maestría.

2.5 Dificultades y acciones tomadas para superarlas

Las excesivas precipitaciones en el primer trimestre del año han generado dificultades para el monitoreo hidrológico y de calidad de aguas, así como para la instalación de nuevas parcelas de investigación y estudios en ellas. Estos problemas han sido superados con programación de salidas al campo a muy tempranas horas de la mañana (de 5 a 6 a.m.) o reprogramación de actividades. Otro problema -que prolongó el tiempo para el desarrollo de acciones relacionadas a las investigaciones- fue el cambio periódico de directivos comunales o funcionarios de instituciones públicas y privadas.

De acuerdo a la experiencia del año 2016, la adquisición de equipos retrasó considerablemente las acciones; para el año 2017, fueron solicitados con anticipación. Se tuvieron dificultades con la compra de los piezómetros debido a que no se producen en el país y la compra tardó seis meses. Este retraso causó la pérdida de información de nivel de agua subterránea en las parcelas del ecosistema que se viene monitoreando.

Los actores identificados para los eventos de capacitación a nivel de subcuencas residen en zonas distantes, por lo que la convocatoria a los talleres significa el uso de mayor tiempo del personal de la Institución.

Durante el año, los equipos instalados en algunas parcelas de investigación han sido dañados por causas naturales o por personas inescrupulosas, que han sustraído componentes de los sistemas (por ejemplo, los paneles solares de los cercos eléctricos). Por este motivo, se procedió a las denuncias policiales correspondientes y a mejorar el sistema de protección de los equipos.

Asimismo, no se cuenta con suficientes ambientes para el almacenamiento de materiales y equipos de investigación.

2.6 Acciones de Otras Instituciones



2.6.1 Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP)

Cordillera Vilcabamba

El glaciar Incachiriasca fue identificado como objeto de estudio por el SERNANP por las características únicas que presenta, para entender la dinámica de este recurso y poder estudiar los importantes servicios ambientales que presta. El análisis de los datos permite afirmar que el glaciar Incachiriasca está en retroceso, con balance de masa negativo, con una pérdida de área glaciar y un incremento en altitud de la isoterma 0 °C. La línea de equilibrio para el año 2012 está en 5,030 m s.n.m., la misma que se ha elevado en 84 m con respecto a la medición del año 2007. Este incremento se debería, principalmente, al calentamiento de la atmósfera (véase Gráfico 7 y Fotografía 41).

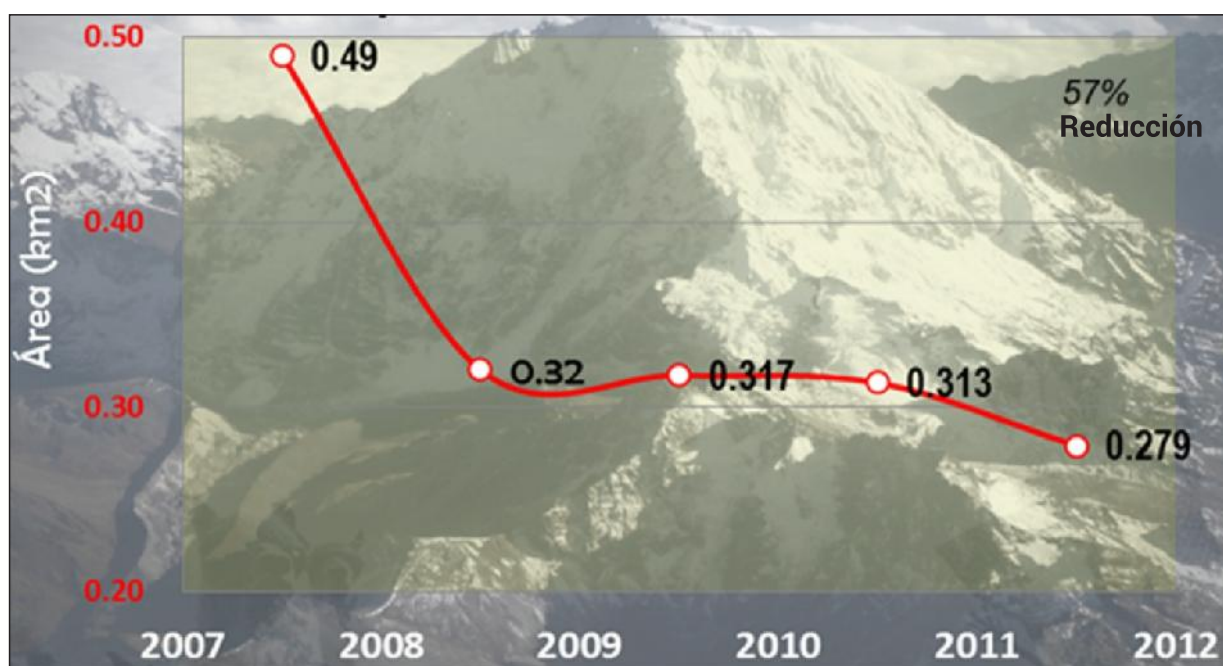
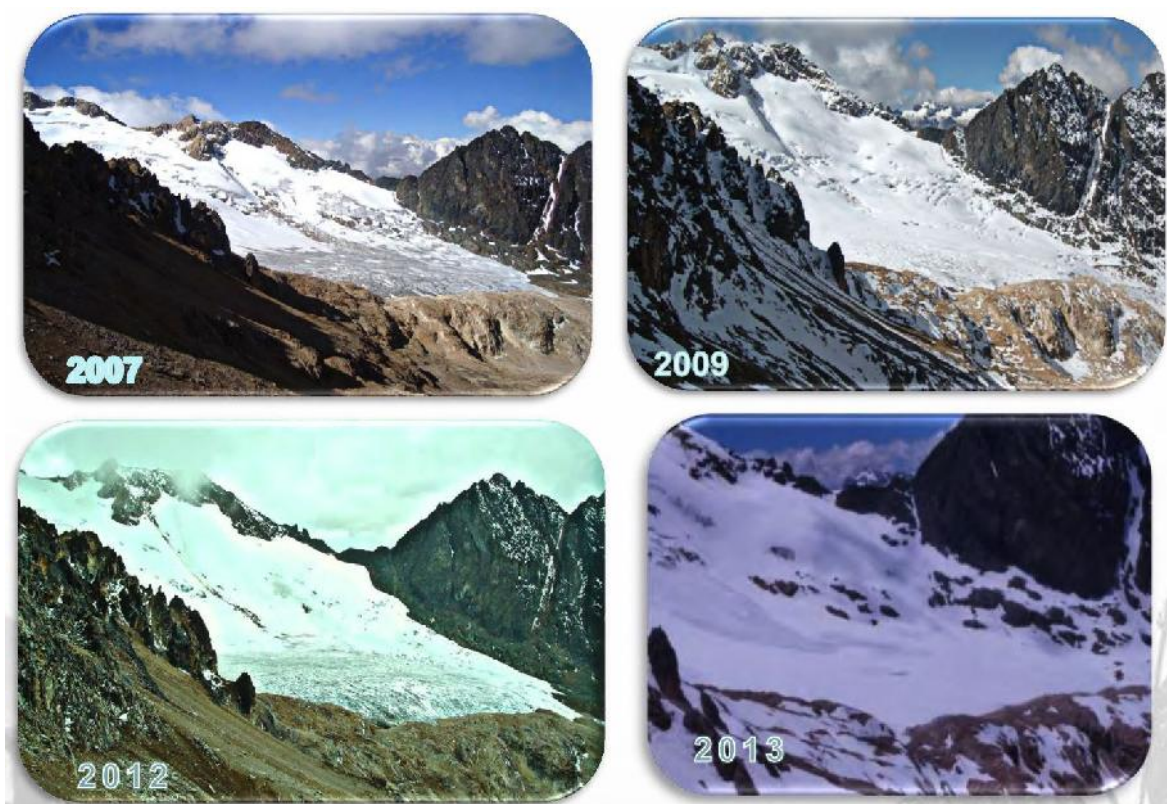


Gráfico 7. Muestra las variaciones de superficie en el glaciar Incachiriasca, Cordillera Vilcabamba – Región Cusco. Fuente: SERNANP.



Fotografía 41. Muestra los cambios y variación paisajística del glaciar Incachiriasca en la Cordillera Vilcabamba – Región Cusco. Fuente: SERNANP.

2.6.2 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)

La Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco escogió la Cordillera Vilcanota, específicamente, el glaciar Suyuparina para realizar un balance de masa durante el periodo 2010/11 y 2013/14. De este estudio se obtuvo que:

- El balance de masa neto puntual en la lengua del glaciar es altamente variable con valores entre +0.2 m w.e. (acumulación) y -4 ó -6 m w.e. (ablación), dependiendo de la microtopografía del sitio. La acumulación en la zona de acumulación en 2013/14 fue del orden de magnitud entre 1.2 y 1.4 m w.e. (véase Gráfico 8).
- La velocidad del flujo glaciar en la lengua entre octubre 2013 y noviembre 2014 está en el rango de 10 a 20 m.
- Se observa un patrón estacional en el balance de masa puntual, con menos ablación en la estación de lluvias, entre diciembre y mayo. Esto de acuerdo con resultados en el glaciar Shallap donde hay más ablación en la temporada seca debido al balance de radiación neta más positivo (Favier et al., 2004). Sin embargo, estos resultados van en contra a los resultados del glaciar Zongo en Bolivia, donde la tasa de derretimiento es muy pequeña o cero en la temporada seca (Gurgiser et al., 2013).
- La gran dispersión de la ablación en función a la elevación observada en los dos años de mediciones se debe a la importante influencia de la superficie irregular del glaciar. Futuras investigaciones deberían enfocarse en desarrollar un método para estimar el balance de masa total en este tipo de glaciares.

- Glaciares pequeños, como el Suyuparina, son los más vulnerables a cambios en el clima y probablemente desaparecerán dentro de pocas décadas. Como los glaciares en la Cordillera Vilcanota actúan como almacenamientos estacionales de agua, es fundamental estudiar su comportamiento y su rol en el sistema hídrico. El conocimiento de este estudio ayuda a mejorar el monitoreo del balance de masa en los glaciares de la Cordillera de Vilcanota y finalmente proporciona información importante para tomar medidas de adaptación al cambio climático.

Evaluaciones anuales de la evolución del frente glaciar se han realizado utilizando equipos como la estación total para el levantamiento topográfico en campo. Los resultados muestran un retroceso promedio de 37.36 m para los años 2010-2011-2012 (véase Gráfico 9). La altitud mínima del glaciar en el 2010 era de 5,095.71 m s.n.m. En 2012 se elevó a 5,107.15 m s.n.m., es decir, una diferencia de altura de 11.44 m. A partir de 2012 el proceso se desacelera. Para el periodo 2013-2014 se ha calculado 2.84 m de retroceso. La altitud mínima del último año es 5,107.53 m s.n.m. (Edwin et al., 2015).

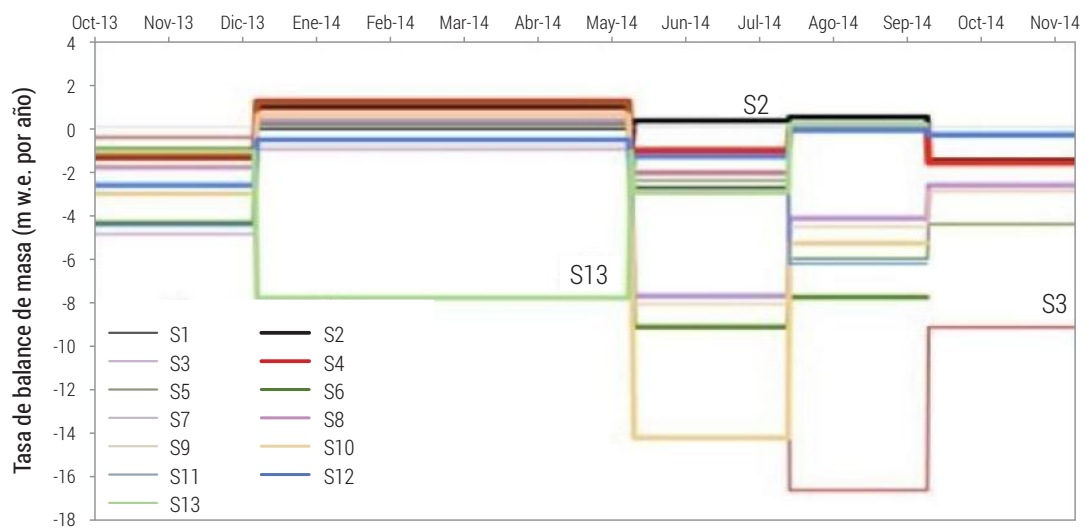


Gráfico 8. Muestra la tasa de balance de masa para cada baliza y periodo (en m w.e. por año).

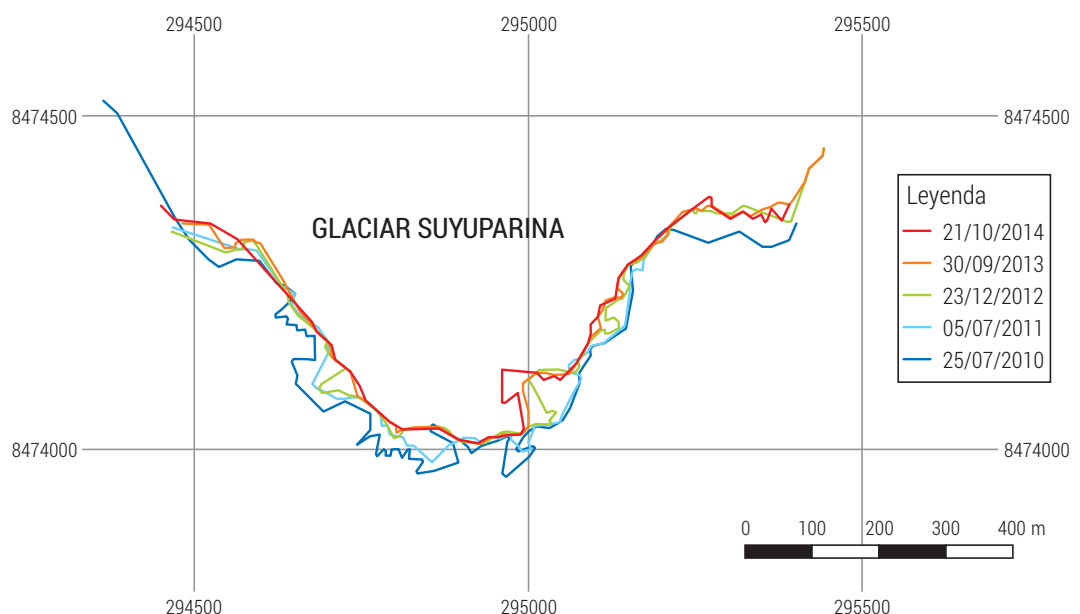


Gráfico 9. Muestra la evolución del frente glaciar Suyuparina entre 2010 - 2014.

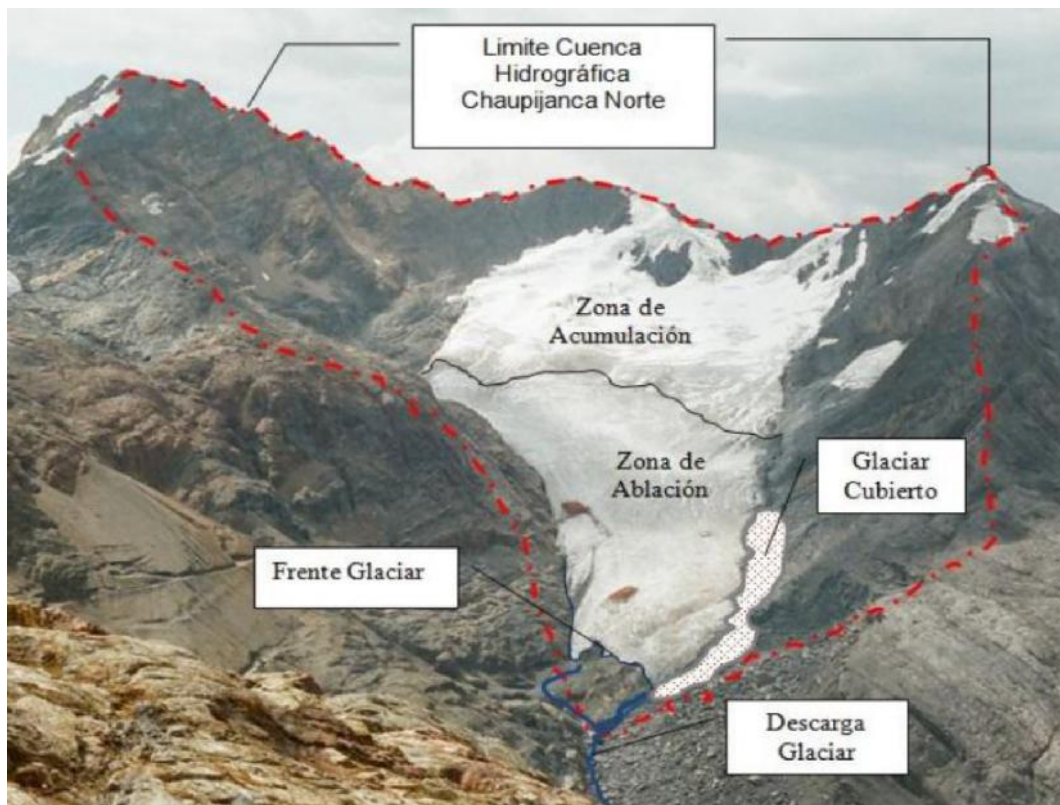
2.6.3 Compañía Minera Milpo S.A.A.

Cordillera de Huallanca

La lengua glaciar de Chaupijanca, ubicada en la Cordillera Huallanca, está siendo estudiada por la empresa Milpo S.A.A. desde el año 2007 (véase Imágen 9). Por sus especiales condiciones geomorfológicas y facilidades de acceso, debe ser actualmente uno de los glaciares más convenientes para las investigaciones glaciológicas en las cordilleras tropicales.

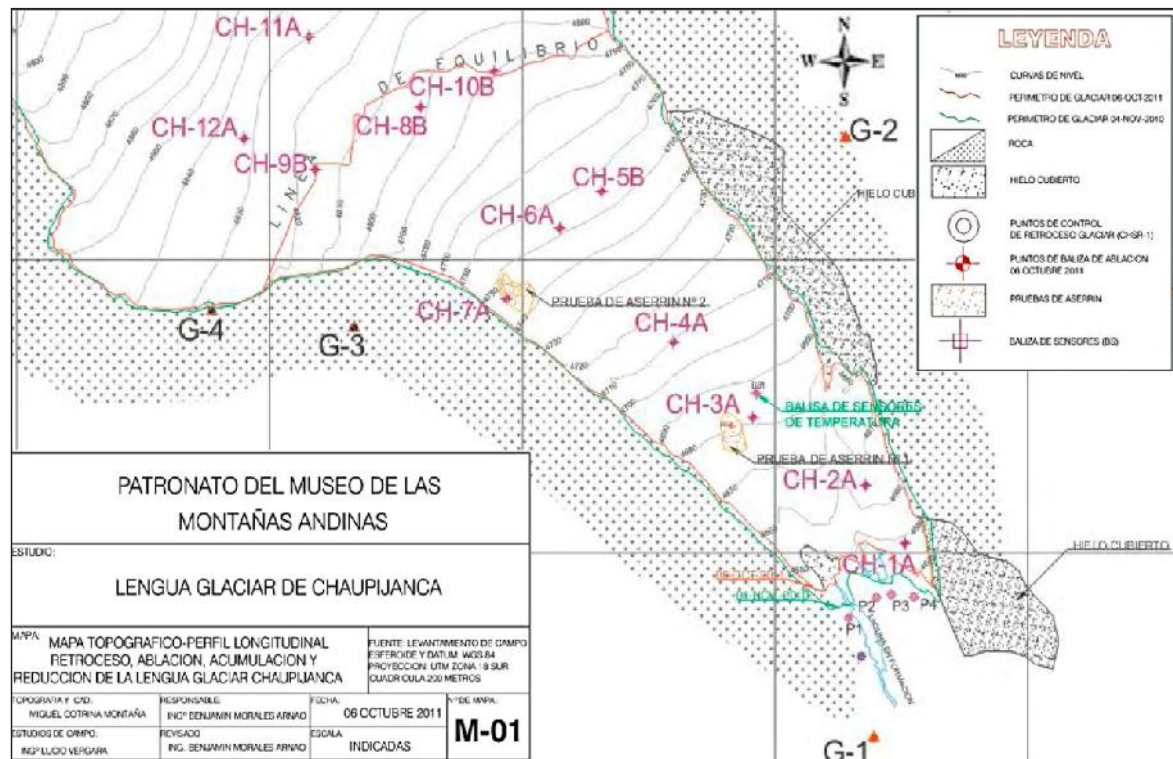
El retroceso en la lengua glaciar tiene un promedio anual de 21.64 m para el periodo comprendido entre noviembre de 2010 y octubre de 2011. Este promedio de retroceso es menor al promedio del periodo de setiembre de 2009 - noviembre de 2010, que fue de 40.36 m. Esto puede deberse a que en esta temporada nevó mucho más, teniendo por consiguiente menos horas de sol, factor que disminuyó la fusión del frente glaciar (véase Tabla 13 y Gráfico 10).

La fusión o pérdida de hielo del glaciar se mide en la superficie descubierta de nieve de la lengua glaciar, denominada superficie de ablación, la que es diferente cada año, dependiente de las condiciones climáticas. Así por ejemplo, para octubre del 2011 ha sido de 87,234.974 m², esta superficie es 2.5 veces menor al del año 2010 donde se tenía una superficie de 219,818.212 m², esto se debe a que la línea de equilibrio glaciar durante ese año se encontraba a una cota inferior de 87 m que la del año 2010.



Imágen 9. Lengua glaciar de Chaupijanca.

Hitos	Este	Norte	Altitud (m s.n.m.)	Retroceso (m) Nov. 2010 – Oct. 2011
P1	279,268.439	8'896,103.76	4643.76	17.25
P2	279,295.606	8'896,115.68	4645.96	14.10
P3	279,342.435	8'896,101.96	4636.05	21.00
P4	279,359.11	8'896,084.49	4626.98	34.20
Retroceso promedio anual				21.64



incendios de turba contribuyen hasta un 45% a las emisiones de carbono negro en esta región.

La pérdida de los glaciares a nivel mundial está jugando un papel importante en el suministro de agua para las generaciones futuras. Asimismo, las poblaciones locales dependen en gran medida del ciclo hidrológico estacional, equilibrado por el derretimiento de los glaciares, los cuales suministran agua durante la estación seca. Durante eventos climatológicos extremos como el ENOS (El Niño Oscilación del Sur) sucedido entre 2015-2016, los incendios forestales fueron recurrentes en los meses secos y la falta de precipitaciones fue notoria durante la estación húmeda. Esto sumado a la alta cantidad de radiación solar que recibimos debido a nuestra ubicación en la zona Tropical, puede agravar el problema de pérdida de los glaciares.

La cantidad de carbono negro en los glaciares varía según su ubicación respecto a su cercanía a ciudades densamente pobladas. Así se confirmó con los resultados obtenidos por Schmitt, et al. (2015). En el caso del glaciar Sullcón ubicado en la Cordillera Central muy cerca de la ciudad de Lima, esto se vuelve a confirmar. Debido a ello, se realizaron mediciones en campo y análisis de filtros, concluyendo que los glaciares tropicales están en un proceso de derretimiento acelerado con efectos inmediatos en el suministro de agua. Un factor contribuyente para la pérdida de los glaciares es la presencia de partículas absorbentes de luz en la superficie glaciar.

Este trabajo presenta los resultados de dos años de mediciones mensuales de partículas absorbentes de luz en la nieve del glaciar Yanapaccha en la Cordillera Blanca y una medición en diferentes altitudes en el glaciar Sullcón en la Cordillera Central. Los filtros obtenidos después de fundir y filtrar la nieve de los glaciares se analizaron mediante el método de absorción de luz de calefacción (LAHM). En la Cordillera Blanca, la concentración de partículas absorbentes de luz es más alta durante la temporada seca, mientras que durante la temporada húmeda las concentraciones disminuyen. En la Cordillera Central, se presentó la concentración más alta de partículas absorbentes de luz, la cual disminuye el albedo del glaciar y acelera su derretimiento.

2.6.6 Proyecto Glaciares +

La coordinación del proyecto está a cargo de CARE Perú (ONG). La primera fase del proyecto se desarrolló entre noviembre del 2011 y agosto del 2015. Tuvo como objetivo fortalecer las capacidades técnico-operativas en el monitoreo e investigación de glaciares para acercar el conocimiento científico a las comunidades aledañas y brindar información para su adaptación y reducción de vulnerabilidad. Asimismo, facilitar las condiciones institucionales que garanticen la sostenibilidad de dichas acciones en el marco de la adaptación al cambio climático (<http://www.proyectoglaciares.pe/segunda-fase/>).

La segunda fase del Proyecto tenía planificado realizar y promover investigaciones y publicaciones conjuntas a escala regional e internacional. Es así como en ese marco han elaborado un informe denominado “El futuro del clima y de los glaciares en el Perú”, cuyas conclusiones fueron las siguientes:

El futuro del clima

Precipitación:

- Existe una considerable incertidumbre sobre futuras precipitaciones.
- La mayoría de los estudios concuerdan en que, durante la estación seca, la

precipitación tiende a disminuir. Sin embargo, durante la estación de lluvias no hay una tendencia inequívoca. Mientras que los modelos climáticos indican que la precipitación aumentará durante la estación húmeda, los cambios proyectados en la circulación global indican una disminución importante de la precipitación durante aquel periodo (Neukom et al., 2015).

Temperatura del aire:

- El aumento de la temperatura ambiental depende del modelo y del escenario de emisión.
- Asumiendo un escenario con grandes emisiones (RCP8.5), se estima un incremento de 5 °C hacia fines del siglo XXI, comparado con el clima actual.

Altura de congelación:

- Con el escenario de emisión más optimista (RCP2.6), el futuro aumento de la altura de congelación es comparable con el aumento observado en las últimas décadas.
- Con el escenario de emisión más pesimista (RCP8.5), el aumento sería aproximadamente tres veces más fuerte que en el escenario optimista.

Conclusiones del futuro de los glaciares

- Indicador climático: la altura de congelación.
- En regiones con poca disponibilidad de data y medición, la altura de congelación puede ser utilizada como indicador de la extensión del glaciar (principalmente en la estación de lluvias). Ello, a partir de los resultados obtenidos por los modelos climáticos globales y los escenarios de emisión.
- Asumiendo un escenario de emisión optimista (RCP2.6), los glaciares van a continuar retrocediendo y se va a perder, como mínimo, la mitad del área total glaciar para finales del siglo XXI. Se presenta un rango de incertidumbre del 30%.
- Asumiendo un escenario de emisión pesimista (RCP8.5), únicamente entre el 1% al 5% del área glaciar permanecerá en las cumbres más altas, con una incertidumbre del 15%. El asumir el escenario pesimista conlleva a un nivel de congelación por encima de las cumbres glaciares más altas de la Cordillera Central.
- Glaciares pequeños y de elevaciones bajas desaparecerán en los próximos años y décadas.

Conclusiones

Conclusiones

- En el Perú, entre 1962 y 2017, la reducción estimada de la superficie glaciar fue del orden del 53.56%. Al año 2017 se han identificado 18 cordilleras glaciares distribuidas en el norte, centro y sur del país.
- El INAIGEM ha determinado un coeficiente de reducción para evaluar la evolución de la superficie glaciar en el Perú. El periodo de análisis fue entre 1962 y 2017. Para la zona norte, donde se ubican las cordilleras Blanca, Huallanca, Huayhuash y Raura, se determinó un coeficiente de reducción de $-1.6013 \text{ km}^2/\text{año}$. Para la zona sur, donde están las cordilleras Apolobamba, Carabaya, Vilcanota, Vilcabamba, Ampato, Urubamba, Chila, Huanzo y La Raya, un coeficiente de reducción de $-1.5831 \text{ km}^2/\text{año}$. Para la zona centro, donde se encuentran las cordilleras La Viuda, Chonta, Central, Huagoruncho y Huaytapallana, se determinó un coeficiente de reducción de $-0.6799 \text{ km}^2/\text{año}$. De acuerdo a estos resultados, se estimó que los glaciares de las cordilleras del Perú se extinguirían alrededor del año 2100.
- Las cordilleras glaciares albergan en su entorno diversos ecosistemas que poseen características particulares de suelo, clima y diversidad biológica, que cumplen importantes funciones y servicios ecosistémicos. El ecosistema más importante y extenso es el pajonal, cuya pérdida de cobertura vegetal es creciente, con un alto grado de degradación y deterioro, y con un suelo que se encuentra en la categoría de pobre a muy pobre. Las principales causas de este deterioro son el sobrepastoreo y la quema de pastizales.
- La recuperación y conservación de los ecosistemas de montaña reviste de importancia por su rol de proteger y conservar la biodiversidad. Por ello, es necesario trabajar en alianza estratégica con instituciones afines como el SERNANP. Se tiene un convenio marco y ya se vienen realizando acciones específicas con el Parque Nacional Huascarán en Áncash.
- Conociendo la situación de los glaciares y ecosistemas de montaña a nivel nacional, y con el fin de contribuir a generar información especializada y oportuna en un contexto de cambio climático, el INAIGEM realizó la identificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en las subcuencas de los ríos Quillcay, Pariac - Rajucolta y Yuracmayo - Santa Cruz, cuyos mapas fueron elaborados a una escala de 1:25,000.
- Como resultado del monitoreo de carbono negro en los glaciares Yanapaccha, Vallunaraju, Tocllaraju y Shallap de la Cordillera Blanca, se determinó que la mayor concentración de carbono negro se registró en los glaciares Shallap y Vallunaraju en el mes de julio de 2017, durante la época de estiaje. La menor concentración de carbono negro se registró en los glaciares Yanapaccha y Tocllaraju en el mes de febrero de 2017, durante la época húmeda.
- Se mejoró la línea editorial del INAIGEM con publicaciones impresas y digitales cuyo propósito fue difundir la gestión, los estudios y la investigación generada hacia los actores sociales, académicos y del Estado a nivel nacional e internacional.
- Un logro resaltante en materia del desarrollo tecnológico para el monitoreo de ámbitos glaciares en tiempo real fue el desarrollo y la implementación en la laguna Palcacocha, quebrada Cojup, de un sensor automático del nivel de laguna, desarrollado en el INAIGEM. Este sensor recoge datos de manera horaria y mide el caudal.
- Se ha instalado también, en el marco del convenio con el CIAD-UNASAM, una estación meteorológica automática para complementar la información sobre el comportamiento de los parámetros meteorológicos en relación al nivel de la laguna. Se ha implementado, además, un sistema de transmisión de datos en tiempo real, consistente en tres torres de telecomunicaciones mediante tecnología WIMAX, para el envío en tiempo real de los datos recolectados. Actualmente, se transmite una señal de video HD. Finalmente, se tiene previsto acciones para que el sistema recoja y transmita los datos de los sensores de nivel de la laguna y estación meteorológica.

- La información generada mediante el monitoreo de la laguna Palcacocha (declarada en emergencia), permite remitir al Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) un reporte hidrometeorológico semanal de la laguna, con el análisis de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación a nivel diario; con la medida del caudal a la salida del sistema de sifonaje; y con el promedio diario de las variaciones del nivel del espejo de agua de la laguna.

Recomendaciones

Recomendaciones

- En la subcuenca del río Quillcay, en el entorno de las lagunas Palcacocha, Cuchillacocha y Tullparaju, predominan los niveles de peligro de alto a muy alto. La obra de seguridad ubicada en la laguna Palcacocha tiene un estado regular, presentando de manera superficial algunos elementos deteriorados que podrían afectar su estructura (a la fecha ya cumplió con su vida útil). Respecto a la obra de seguridad de la laguna Cuchillacocha, su estado es regular y no se visualizan elementos deteriorados. En el caso de la laguna Tullparaju, el estado de su dique es regular, con elementos deteriorados; se recomienda su reparación a corto plazo.
- En la subcuenca del río Pariac - Rajucolta, en el entorno de la laguna Rajucolta, predominan los niveles de peligro alto y muy alto. La obra de seguridad ubicada en la laguna Rajucolta tiene un estado regular, presentando de manera superficial algunos elementos deteriorados que podrían afectar su estructura; se recomienda su reparación a corto plazo.
- En la subcuenca del río Pariac - Rajucolta, en el entorno de la laguna Rajucolta, predominan los niveles de peligro alto y muy alto. La obra de seguridad ubicada en la laguna Rajucolta tiene un estado regular, presentando de manera superficial algunos elementos deteriorados que podrían afectar su estructura, con elementos deteriorados que deben ser reparados a corto plazo.
- En la subcuenca del río Yuracmayo – Santa Cruz, en el entorno de las lagunas Arhuaycocha, Jatuncocha y Artizón Bajo, predominan los niveles de peligro de alto a muy alto. De otra parte, en las lagunas Artizón Alto y Taullicocha, predomina el nivel de peligro alto. La obra de seguridad ubicada en la laguna Arhuaycocha tiene un estado regular, presentando de manera superficial algunos elementos deteriorados que podrían generar su colapso. Respecto a la obra de seguridad de la laguna Jatuncocha, su estado es malo, visto que parte de su estructura colapsó a causa del aluvión del año 2012, proveniente de la laguna Artizón Bajo; se recomienda su pronta evaluación.

Referencias

Referencias

- ANA. (2009). Política y estrategia nacional de recursos hídricos del Perú. Lima: Ministerio de Agricultura, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Economía y Finanzas, Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de la Producción, Ministerio de Salud y Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- ANA. (2014). Inventario de lagunas glaciares del Perú. Huaraz: Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, Autoridad Nacional del Agua.
- Bernal I. y Tavera, H. (2002). Geodinámica, sismicidad y energía sísmica en el Perú. Lima: Instituto Geofísico del Perú.
- Berrocal, J., Deza, E. y Shikiya, J. (1975). Estudio de sismicidad para el “Proyecto de derivación del río Mantaro a Lima”. Lima: Instituto Geofísico del Perú.
- CONAM. (2001). Comunicación Nacional del Perú a la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Primera comunicación. Lima: Consejo Nacional del Ambiente.
- Edwin, M., Simone, S., Christian, H., Wilfried, H., Alejo, C., Thomas, C., ... Felipe, S. (2015). Iniciación de un monitoreo del balance de masa en el glaciar Suyuparina, Cordillera Vilcanota, Perú. *Climate Change in the Tropical Andes* (Vol. 2). Retrieved from: <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/ANA/3185/ANA0001765.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Favier, V., Wagnon, P., Chazarin, J., Maisincho, L. y Coudrain, A. (2004). One-year measurements of surface heat budget on the ablation zone of Antizana Glacier 15, Ecuadorian Andes, J. *Journal of Geophysical Research.*, doi: 10.1029/2003JD004359, in press.
- Gilford, M., Vojtesak, M., Bonam, R. y Martens, D. (1992). South America south of the Amazon River: A climatological study. Illinois: USAF.
- Gurgiser, W., Marzeion, B., Nicholson, L., Ortner, M. y Kaser, G. (2013). Modeling energy and mass balance of Shallap Glacier, Peru. *The Cryosphere*, 7(6): 1787–1802.
- Hidrandina. (1989). Inventario de glaciares del Perú. Huaraz: CONCYTEC.
- ICCT. (2009). A policy-relevant summary of black carbon climate science and appropriate emission control strategies. Washington, D.C.: International Council on Clean Transportation.
- INAIGEM (2017). Manual metodológico del Inventario Nacional de Glaciares. Huaraz: INAIGEM.
- INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). Sitio web: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>
- Lamarque, J.-F., Bond, T. C., Eyring, V., Granier, C., Heil, A., Klimont, Z.,... van Vuuren, D. P. Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: methodology and application. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 7017–7039. doi: 10.5194/acp-10-7017-2010, 2010.
- MINAM (2010). Desertificación y recursos hídricos plan de acción de adaptación y mitigación frente al cambio climático. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2015). Mapa nacional de cobertura vegetal: Memoria descriptiva. Lima: Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- Neukom, R., Rohrer, M., Calanca, P., Salzmann, N., Huggel, C., Acuña, ... Morales, M. (2015). Facing unprecedented drying of the Central Andes? Precipitation variability over the period AD 1000–2100. *Environmental Research Letters*, 10(8), 1–13.
- Saavedra, M., Calvo, M. y Jiménez, C. (2011). Caracterización climática de la circulación atmosférica en América del Sur. *Revista de Investigación de Física*, 14.

- Schmitt, C. G., All, J. D., Schwarz, J. P., Arnott, W. P., Cole, R. J., Lapham, E. y Celestian, A. (2015). Measurements of light-absorbing particles on the glaciers in the Cordillera Blanca, Peru. *The Cryosphere*, 9, 331-340. doi:10.5194/tc-9-331-2015
- USEPA. (2012). Report to congress and black carbon. EPA- 450/R-12-001. Washington, D.C., United States Environmental Protection Agency.
- Wegner, S. (2014). Lo que el agua se llevó: Consecuencias y lecciones del Aluvión de Huaraz de 1941. Lima: MINAM.



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA