

# RETROCESO GLACIAR EN LOS ANDES PERUANOS DURANTE LAS ÚLTIMAS SEIS DÉCADAS



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

**10** AÑOS **INAIGEM**  
INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

# RETROCESO GLACIAR EN LOS ANDES PERUANOS DURANTE LAS ÚLTIMAS SEIS DÉCADAS

## **Autores**

Mayra D. Mejía Camones  
Paola Moschella Miloslavich  
Yadira A. Curo Rosales  
Gladis T. Celmi Henostroza  
Danny E. Robles Sanchez  
Carlos E. Obispo Padilla

## **Colaboradores**

Luzmila Dávila Roller  
Juan de Dios Fernández Vega  
Alexzander Santiago Martel

## **Editado por**

© Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM)  
Sede central: Av. Centenario 2656 - Sector Palmira, Independencia, Huaraz - Áncash - Perú  
Teléfono: (043) 64 3460

## **Elaboración de mapas**

Yadira A. Curo Rosales  
Yessica Gutierrez Quenta

## **Revisión de estilo**

Mariluz Romero Castillo

## **Diseño y diagramación**

Joan Ramírez Romero

## **Ilustración**

Jaime Cerna Mendoza

## **Fotografía de portada**

Wilmer Sánchez Rodríguez

## **Fotografías**

Alexzander Santiago Martel  
Luzmila Dávila Roller  
Renny Díaz Aguilar  
Wilmer Sánchez Rodríguez  
Oscar Vilca Gómez

1ra edición

Marzo 2025

Depósito legal del libro N° 2025-02633

Citar la publicación de la siguiente manera:

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (2025).  
RETROCESO GLACIAR EN LOS ANDES PERUANOS DURANTE LA ÚLTIMAS SEIS  
DÉCADAS. INAIGEM. Huaraz, Perú.

# CONTENIDO

---

|   |    |
|---|----|
| PRESENTACIÓN  | 8  |
| INTRODUCCIÓN  | 9  |
| SECCIÓN I. CONOCIENDO LOS GLACIARES                                 | 11 |
| 1.1. La criósfera   | 12 |
| 1.2. Los glaciares  | 13 |
| 1.3. Formación de un glaciar  | 13 |
| 1.4. Partes y zonas de un glaciar                                   | 14 |
| 1.5. Movimiento de un glaciar                                       | 15 |
| 1.6. Formas del relieve por erosión y deposición glaciar            | 18 |
| 1.7. Tipos de glaciares   | 21 |
| 1.8. Sistemas glaciares y nevados                                   | 22 |
| 1.9. Periodos glaciales e interglaciales y la Pequeña Edad de Hielo | 23 |
| SECCIÓN II. GLACIARES PERUANOS EN EL CONTEXTO GLOBAL                | 26 |
| 2.1. Distribución de glaciares en el mundo                          | 27 |
| 2.2. Distribución latitudinal de los glaciares                      | 28 |
| 2.3. Características de los glaciares tropicales                    | 29 |
| 2.4. Cordilleras glaciares en Perú                                  | 30 |
| SECCIÓN III. IMPORTANCIA DE LOS GLACIARES TROPICALES                | 32 |
| 3.1. Fuentes de agua dulce  | 33 |
| 3.2. Reguladores del clima  | 33 |
| 3.3. Sustento de la biodiversidad                                   | 33 |
| 3.4. Indicadores del cambio climático                               | 34 |
| 3.5. Valor cultural   | 35 |
| 3.6. Atractivo turístico  | 36 |
| 3.7. Laboratorio científico   | 36 |
| SECCIÓN IV. EL RETROCESO GLACIAR Y SUS CAUSAS                       | 40 |
| 4.1. El retroceso glaciar   | 41 |
| 4.2. Factores del retroceso en glaciares tropicales                 | 43 |
| 4.3. Cambio climático y el deshielo de los glaciares                | 43 |

|  |            |
|--|------------|
| 4.4. Anomalías climáticas  | 44         |
| 4.5. Carbono negro   | 45         |
| <b>SECCIÓN V. RETROCESO GLACIAR EN LOS<br/>ANDES PERUANOS EN 58 AÑOS</b>           | <b>48</b>  |
| 5.1. Inventarios de glaciares a nivel nacional                                     | 49         |
| 5.2. Retroceso glaciar por cordilleras   | 50         |
| 5.3. Retroceso glaciar por cuenca y vertiente                                      | 54         |
| 5.4. Retroceso glaciar por departamento  | 56         |
| 5.5. Desaparición de glaciares por cordillera                                      | 58         |
| 5.6. Retroceso glaciar: casos representativos del Perú                             | 60         |
| <b>SECCIÓN VI. CONSECUENCIAS DEL RETROCESO GLACIAR</b>                             | <b>85</b>  |
| 6.1. Reducción de la cantidad de agua  | 86         |
| 6.2. Repercusiones sobre la calidad del agua                                       | 87         |
| 6.3. Pérdida de la biodiversidad   | 88         |
| 6.4. Riesgo asociado a glaciares   | 88         |
| 6.5. Impactos en la economía   | 89         |
| 6.6. Pérdida del valor cultural  | 90         |
| <b>SECCIÓN VII. CUÁNTO NOS QUEDA: ESTADO DE LOS<br/>GLACIARES DEL PERÚ AL 2020</b> | <b>91</b>  |
| 7.1. Cantidad de glaciares en el Perú y su extensión                               | 92         |
| 7.2. Glaciares dentro de áreas naturales protegidas                                | 101        |
| 7.3. Tendencias hacia un futuro sin glaciares                                      | 104        |
| <b>8. RECOMENDACIONES DE ACCIÓN</b>  | <b>105</b> |
| <b>CONCLUSIONES</b>  | <b>107</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>  | <b>110</b> |

# LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Componentes de la criósfera   | 12 |
| Figura 2. Formación del hielo glaciar   | 13 |
| Figura 3. Partes y zonas de un glaciar  | 15 |
| Figura 4. Avance, retroceso o estabilidad de un glaciar   | 16 |
| Figura 5. Movimiento, erosión y transporte de sedimentos  | 17 |
| Figura 6. Tipos de grietas  | 18 |
| Figura 7. Formas de erosión glaciar   | 19 |
| Figura 8. Tipos de morrenas según su ubicación  | 20 |
| Figura 9. a) sistema glaciar, b) nevado, c) glaciar   | 22 |
| Figura 10. Causa de las glaciaciones y otros periodos fríos: factores externos  | 23 |
| Figura 11. Variaciones orbitales de la Tierra   | 23 |
| Figura 12. Causa de las glaciaciones y otros periodos fríos: factores internos  | 24 |
| Figura 13. Pequeña Edad de Hielo en Amberes (Bélgica) en un óleo<br>de Lucas van Valckenborch de 1593   | 25 |
| Figura 14. Regiones glaciares y ubicación de glaciares del mundo  | 28 |
| Figura 15. Incidencia de la radiación solar de acuerdo con la ubicación latitudinal   | 28 |
| Figura 16. Distribución latitudinal de los glaciares  | 29 |
| Figura 17. Distribución de los glaciares tropicales en Sudamérica   | 30 |
| Figura 18. Mapa de ubicación de las cordilleras glaciares en<br>los Andes peruanos  | 31 |
| Figura 19. Expedición Huascarán: extracción de testigos de hielo  | 37 |
| Figura 20. Importancia de los glaciares   | 38 |
| Figura 21. Evidencia del retroceso en el glaciar Yanamarey  | 41 |
| Figura 22. Monitoreo directo: a) perforación para instalación de baliza<br>b) baliza instalada, c) excavación de pozo de acumulación,<br>d) medición de densidad de nieve en calicata | 42 |
| Figura 23. Monitoreo indirecto: uso de imágenes satelitales<br>del sistema glaciar Quelccaya  | 42 |
| Figura 24. a) año Normal, b) año Niño, c) año Niña  | 44 |
| Figura 25. Albedo de las superficies con nieve y sin nieve  | 45 |
| Figura 26. Presencia de partículas absorbentes de luz sobre la superficie glaciar   | 46 |
| Figura 27. Principales fuentes de emisión de carbono negro e incidencia<br>sobre los glaciares en el contexto regional  | 47 |
| Figura 28. Inventarios de glaciares realizados a nivel nacional   | 50 |
| Figura 29. Porcentaje de reducción de la superficie glaciar en<br>las cordilleras del Perú (1962-2020)  | 51 |
| Figura 30. Cambio de altitud mínima de la superficie glaciar<br>en las cordilleras del Perú   | 53 |
| Figura 31. Cambio de orientación predominante de la superficie<br>glaciar a nivel nacional  | 53 |
| Figura 32. Porcentaje de reducción de la superficie glaciar<br>por vertiente y cuenca (1962-2020)   | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 33. Reducción de la superficie glaciar por vertiente y cuenca (1962-2020)                                | 56 |
| Figura 34. Porcentaje de reducción de la superficie glaciar por departamento (1962-2020)                        | 57 |
| Figura 35. Reducción de la superficie glaciar por departamentos (1962-2020)                                     | 58 |
| Figura 36. Ejemplo de glaciares desaparecidos mediante imagen satelital del año 2019 - cordillera Huaytapallana | 59 |
| Figura 37. Número de glaciares desaparecidos por cordillera (1962-2020)   | 60 |
| Figura 38. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Huascarán  | 61 |
| Figura 39. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar  | 62 |
| Figura 40. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar  | 62 |
| Figura 41. Fotografía nevado Huascarán  | 63 |
| Figura 42. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Huascarán   | 64 |
| Figura 43. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Queullaraju  | 65 |
| Figura 44. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar  | 66 |
| Figura 45. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar  | 66 |
| Figura 46. Pérdida de cobertura: nevado Pastoruri   | 67 |
| Figura 47. Fotografía nevado Pastoruri  | 67 |
| Figura 48. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Queullaraju   | 68 |
| Figura 49. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Huaytapallana  | 69 |
| Figura 50. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar  | 70 |
| Figura 51. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar  | 70 |
| Figura 52. Fotografía nevado Huaytapallana  | 71 |
| Figura 53. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Huaytapallana   | 72 |
| Figura 54. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Pariacaca  | 73 |
| Figura 55. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar  | 74 |
| Figura 56. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar  | 74 |
| Figura 57. Fotografía nevado Pariacaca  | 75 |
| Figura 58. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Pariacaca   | 76 |
| Figura 59. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Quelccaya  | 77 |
| Figura 60. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar  | 78 |
| Figura 61. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar  | 78 |
| Figura 62. Fotografía sistema glaciar Quelccaya   | 79 |
| Figura 63. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Quelccaya   | 80 |
| Figura 64. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Coropuna   | 81 |
| Figura 65. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar  | 82 |
| Figura 66. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar  | 82 |
| Figura 67. Fotografía nevado Coropuna   | 83 |
| Figura 68. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Coropuna  | 84 |
| Figura 69. Distribución de la cantidad y superficie en las cordilleras del Perú                                 | 93 |
| Figura 70. Porcentaje de superficie glaciar por vertiente   | 94 |
| Figura 71. Superficie glaciar por vertiente y cuenca  | 95 |
| Figura 72. Porcentaje de glaciares por rangos de tamaño   | 96 |
| Figura 73. Cantidad y superficie de glaciares por rangos de tamaño  | 97 |
| Figura 74. Porcentaje de glaciares por rangos de altitud mínima   | 98 |
| Figura 75. Cantidad de glaciares por rangos de altitud mínima   | 98 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 76. Superficie de glaciares por rangos de altitud mínima           | 99  |
| Figura 77. Porcentaje de superficie glaciar por rangos de pendiente       | 100 |
| Figura 78. Cantidad y superficie de glaciares por rangos de pendiente     | 100 |
| Figura 79. Porcentaje de glaciares en áreas naturales protegidas          | 101 |
| Figura 80. Porcentaje de superficie glaciar en áreas naturales protegidas | 101 |
| Figura 81. Cantidad y superficie de glaciares por área natural protegida  | 103 |

## LISTA DE CUADROS

---

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Tipologías más comunes para clasificación de los glaciares                 | 21 |
| Cuadro 2. Grandes periodos glaciales   | 24 |
| Cuadro 3. Cantidad y superficie de glaciares en el mundo                             | 27 |
| Cuadro 4. Retroceso anual promedio de la superficie glaciar                          | 52 |
| Cuadro 5. Tamaños máximo y promedio de los glaciares<br>desaparecidos por cordillera | 59 |
| Cuadro 6. Componentes de la criósfera y su equivalente en el nivel del océano        | 86 |
| Cuadro 7. Cantidad y superficie glaciar por departamentos                            | 96 |

# PRESENTACIÓN

---

El año 2025 ha sido designado por las Naciones Unidas como el Año Internacional de la Conservación de los Glaciares con el fin de destacar su importancia y la necesidad de acciones para su conservación. En este marco, desde el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), máxima autoridad en investigación científica de los glaciares y ecosistemas de montaña en el país, presentamos el documento «Retroceso glaciar en los Andes peruanos durante las últimas seis décadas», el cual reúne los principales mensajes que merecen ser difundidos durante este año de relevancia internacional. De tal modo, esta publicación busca dar a conocer la situación de la pérdida glaciar desde una perspectiva integral que incluye los conceptos básicos, la distribución e importancia de los glaciares, las causas y consecuencias del retroceso; así como, las recomendaciones para reducir la velocidad de esta pérdida glaciar y aumentar la resiliencia frente a sus consecuencias.

Es importante destacar que el Perú posee 68% de los glaciares tropicales del mundo, pero el cambio climático está ocasionando su retroceso acelerado. De manera que, en las últimas seis décadas, se ha perdido 56% de la superficie de glaciares, lo que incluye la desaparición de 1514 glaciares. Así mismo, en este periodo, el departamento de Ayacucho perdió todos sus glaciares y, en el corto plazo, sucedería lo mismo con los departamentos de Huancavelica y Apurímac. Ante esta situación es necesario reducir emisiones contaminantes que afectan directamente a los glaciares como la quema de combustibles y la quema de vegetación, y aumentar los esfuerzos para mitigar el cambio climático. De igual modo, es importante incrementar la protección de glaciares en áreas naturales protegidas e incrementar la conservación de bofedales y humedales andinos para minimizar el impacto del retroceso glaciar en la disponibilidad de agua.

El INAIGEM tiene la finalidad de 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 la población. Con este propósito, durante estos 10 años desde la creación de la institución, se han elaborado dos Inventarios Nacionales de Glaciares, los cuales brindan información detallada de todos los glaciares a nivel nacional para comprender parte de los efectos del cambio climático. Así mismo, venimos realizando el monitoreo continuo de glaciares priorizados en diversas cordilleras del país, lo que permite cuantificar los volúmenes de pérdida glaciar y caracterizar su comportamiento ante las variaciones climáticas y el impacto de contaminantes. El presente documento, elaborado por el equipo de la Dirección de Investigación en Glaciares, recoge el conocimiento generado en el desarrollo de estas funciones y utiliza la información de los inventarios nacionales de glaciares.

Consideramos que esta publicación permitirá acercar información a estudiantes, profesionales en temas ambientales y toda persona interesada en conocer más de los glaciares peruanos. Así mismo, esperamos que esta información aporte a la mejor comprensión de la situación actual de nuestros glaciares, valorar más el rol de los glaciares en nuestras sociedades y ecosistemas; y con ello, tomar conciencia de la urgente necesidad de actuar para conservar los glaciares para las futuras generaciones.

**Paola Moschella Miloslavich**  
Directora de Investigación en Glaciares

Instituto Nacional de Investigación en  
Glaciares y Ecosistemas de Montaña

# INTRODUCCIÓN

---

En tan solo 58 años, el Perú ha perdido más de la mitad de su superficie glaciar, poniendo en riesgo el suministro de agua para miles de personas. Los glaciares en los Andes peruanos constituyen una fuente vital de agua para una gran población, tanto comunidades altoandinas como muchas ciudades que dependen de los glaciares para abastecerse de agua potable y sustentar diversas actividades económicas.

Sin embargo, nuestros glaciares se están derritiendo rápidamente, como lo demuestra la información presentada en este documento. En este contexto, a medida que los glaciares desaparecen, la vulnerabilidad de las poblaciones aumenta, enfrentándose a una crisis que podría afectar su calidad de vida a mediano y largo plazo. En el plano económico, sectores clave como la agricultura, la ganadería, y la generación de energía hidroeléctrica sufrirían grandes pérdidas debido a la escasez de agua. Asimismo, el turismo de montaña se verá afectado por el cambio del paisaje.

Ante esta realidad, resulta imperativo conocer las causas y consecuencias del retroceso glaciar, así como las formas en las que podemos contribuir para aminorar sus efectos.

El presente documento se ha elaborado con el propósito de dar a conocer los alarmantes niveles de reducción de la cobertura glaciar en los Andes peruanos durante las últimas seis décadas. Asimismo, busca ofrecer una perspectiva completa sobre la situación de los glaciares de nuestro país. Este documento está dirigido a todo el público interesado en adquirir un conocimiento básico y general sobre los glaciares y su importancia para la sociedad y los ecosistemas.

La primera sección, **«Conociendo los glaciares»**, presenta los conceptos básicos que ayudan a comprender la naturaleza de los glaciares, para lo cual se abordan temas como: definiciones, procesos de formación, tipos de clasificación y sus características en el pasado.

La sección II, **«Glaciares peruanos en el contexto global»**, muestra cómo se distribuyen los glaciares en el mundo. Se enfatiza en la distribución de acuerdo con su ubicación latitudinal, que describe mejor las características de los glaciares tropicales. Asimismo, se describe brevemente el ámbito en el que se encuentran distribuidos los glaciares en nuestro país.

La sección III se centra en explicar la **«Importancia de los glaciares»**, destacando su rol como proveedores de agua dulce, reguladores del clima local e indicadores del cambio climático. Además, de ser atractivos turísticos y contar con un valor cultural y espiritual.

En la sección IV se abordan los aspectos relacionados con el **«Retroceso glaciar y sus causas»**, como el cambio climático, la ocurrencia de eventos climáticos extremos y el efecto de partículas que, al depositarse sobre los glaciares, contribuyen a acelerar su derretimiento.

La sección V presenta la **«Estimación de la superficie glaciar perdida en los Andes peruanos en 58 años»**, basada en la información que brindan los inventarios elaborados a partir de fotografías aéreas y satelitales de los años 1962 y 2020, respectivamente. La información se presenta por cordillera, vertiente, cuenca hidrográfica y departamento. Asimismo, se muestra el retroceso glaciar en nevados y sistemas glaciares representativos del norte, centro y sur del Perú.

La sección VI describe las **«Consecuencias más notables del retroceso glaciar»**, tanto a nivel global como local. En algunos casos, se aborda cómo este proceso afecta los ecosistemas, las poblaciones aledañas y las actividades económicas en nuestro país.

La sección VII, **«Cuánto nos queda: estado de los glaciares del Perú al 2020»**, da a conocer los principales resultados del último inventario Nacional de Glaciares desarrollado por el INAIGEM. Además, se muestra información acerca de la superficie glaciar dentro de las áreas naturales protegidas en sus diferentes categorías.

En la sección VIII se presentan las **«Recomendaciones de acción»** que pueden adoptarse con la finalidad de reducir la velocidad de pérdida del glaciar e incrementar la resiliencia de las poblaciones ante los efectos del retroceso de los glaciares y del cambio climático.

Finalmente, se brindan las conclusiones, en las que se exponen los puntos clave sobre los que es necesario tomar conciencia y actuar con prontitud a todo nivel.

Como se observa, la información proporcionada en esta publicación aborda elementos que permiten conocer múltiples aspectos sobre los glaciares de los Andes tropicales del Perú, los cambios que han experimentado en las últimas décadas y lo que eso significa para nuestro futuro.



SECCIÓN 1

# CONOCIENDO LOS GLACIARES



# 1. CONOCIENDO LOS GLACIARES

## 1.1. LA CRIÓSFERA

La criósfera es el componente de la Tierra integrado por todas las zonas de continentes y océanos donde el agua se encuentra en estado sólido. Esto incluye el hielo en el mar, lagos y ríos, las superficies con nieve, los glaciares, los casquetes de hielo y el hielo en el suelo o permafrost (Figura 1). La criósfera se localiza principalmente en las montañas más elevadas de la Tierra y en las altas latitudes, donde las temperaturas son extremadamente bajas.

En términos de área y volumen, los glaciares, los casquetes de hielo y las plataformas de hielo flotantes son los componentes más importantes de la criósfera. En conjunto, abarcan un área aproximada de 16 400 000 km<sup>2</sup>, lo que equivale a cerca del 10 % de la superficie de continentes e islas del planeta (IPCC, 2013). Tal es su importancia que se estima que, si estas coberturas llegaran a derretirse por completo, el nivel del mar aumentaría aproximadamente 66 metros (Rivera et al., 2017; Cisternas, 2023).

La criósfera es un subsistema muy dinámico que se caracteriza por su fragilidad y sensibilidad a los cambios naturales o inducidos por la acción humana (Serrano, 2005).

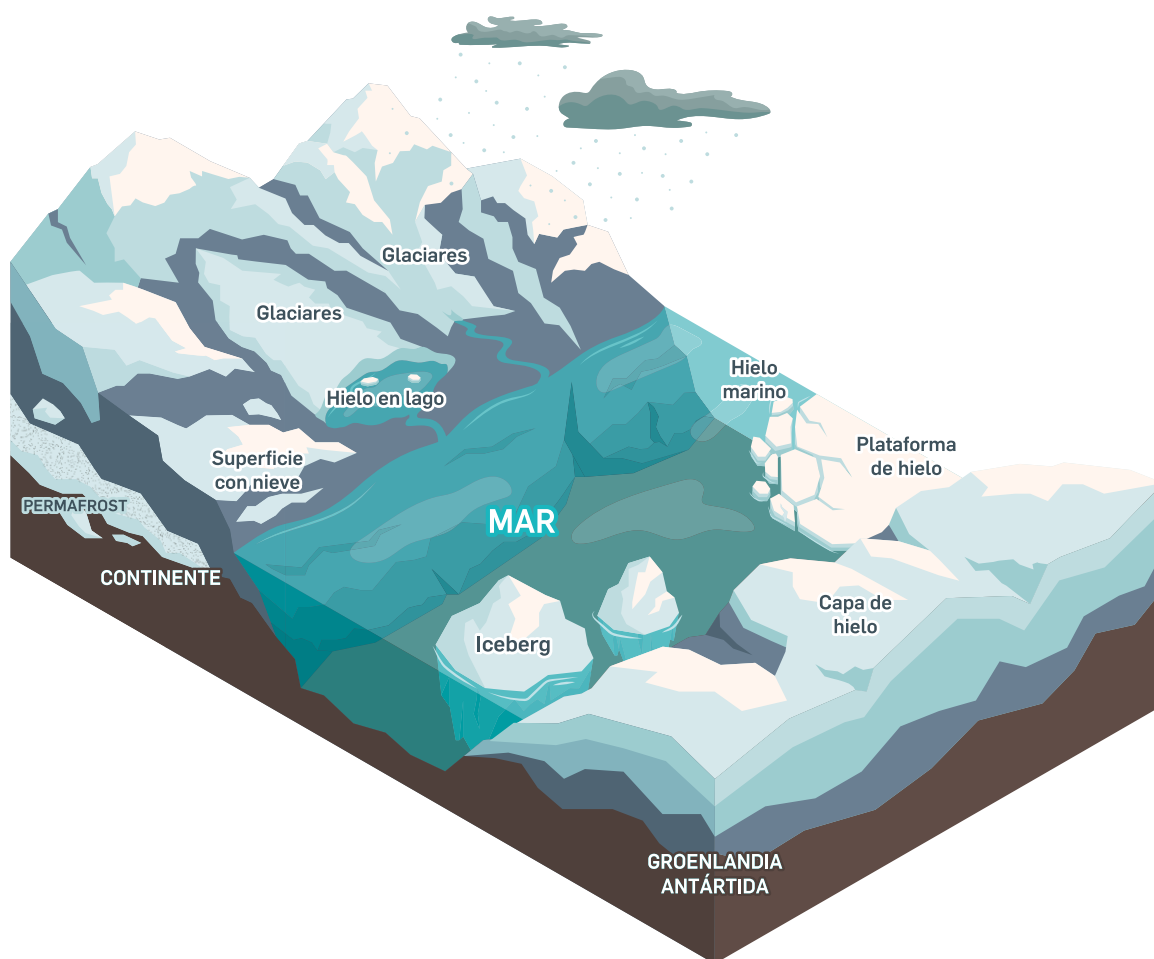


Figura 1. Componentes de la criósfera

## 1.2. LOS GLACIARES

De acuerdo con sus características básicas, los glaciares son masas de hielo terrestre formadas por la acumulación y compactación de la nieve durante miles de años. Estas masas de hielo se encuentran encerradas por los elementos topográficos que las rodean, como las laderas de un valle o las cumbres adyacentes (Figura 3).

Los glaciares se caracterizan por ser dinámicos, ya que se desplazan pendiente abajo, desde algunos centímetros hasta cientos o incluso miles de metros por año, por efecto de la fuerza de gravedad (CECS, 2009; IDEAM, 2012; Schoolmeester et al., 2018). Asimismo, un glaciar permanece al final de la temporada de deshielo o, en el caso de los glaciares tropicales, después de que la nieve temporal se ha derretido (Kargel et al., 2014).

## 1.3. FORMACIÓN DE UN GLACIAR

Los glaciares se originan por la acumulación, compactación y recristalización de la nieve u otras formas de precipitación sólida. Este proceso de formación se denomina glaciación. Para que se forme un glaciar, es necesario que la temperatura media anual sea inferior o próxima a 0 °C, y que la cantidad de nieve caída en invierno sea superior a la que se funde en verano (Tarbuck & Lutgens, 2005).

La formación de un glaciar inicia con la caída de copos de nieve, los cuales están compuestos por diminutos cristales de hielo entrelazados con espacios ocupados por agua y aire (Figura 2). Si la temperatura de la superficie se encuentra por debajo de los 0 °C, la nieve puede depositarse de manera permanente, condición que se cumple en altas latitudes (zonas cercanas a los polos) y en sitios de gran altitud (zonas montañosas) (IDEAM, 2012).

La nieve que se deposita sobre la superficie año tras año se acumula en forma de capas, compuestas por estratos de diferentes grosores (Figura 2). Es en este punto donde ocurre el paso de nieve a hielo glaciar (IDEAM, 2012; Chile Sustentable, 2013). Durante la transición, el peso de las capas de nieve depositadas va generando una compactación entre los cristales de hielo, reduciendo los espacios ocupados por el aire y aumentando su densidad.

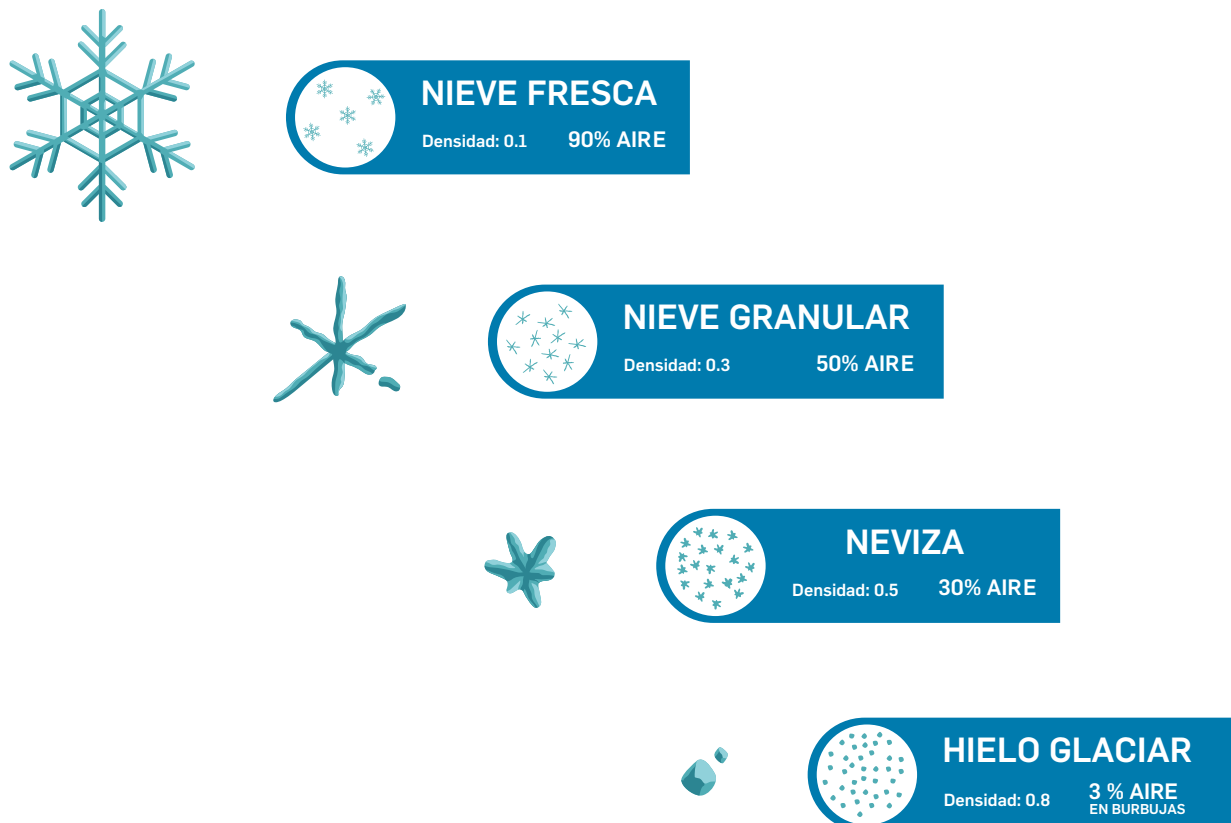


Figura 2. Formación del hielo glaciar

A medida que esto ocurre, la nieve se transforma en nieve granular y, posteriormente, en neviza. La neviza enterrada soporta el peso de las capas de nieve que van cayendo en forma sucesiva, de manera que se va compactando hasta convertirse en hielo glaciar, el cual adquiere una tonalidad blanca en pocos años (IDEAM, 2012). Cuando la acumulación de hielo es representativa, los cristales continúan creciendo, obteniéndose así el hielo azul característico de los glaciares (Figura 2) (Aguilón et al., s.f.; IDEAM, 2012).

El cambio de densidad y espesor es tan significativo que un metro de nieve fresca puede transformarse en tan solo unos pocos centímetros de hielo glaciar (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019). En este sentido, para que se forme un glaciar se requiere de una cantidad considerable de años, además de condiciones climáticas favorables para su formación. No obstante, existen evidencias de regeneración de glaciares en conos volcánicos sometidos a erupciones. Por ejemplo, en el Monte St. Helens, en Estados Unidos, este proceso requirió 16 años para formar un cuerpo de hielo de decenas de metros de espesor (Walder et al., 2007). El hielo que existe en un glaciar puede tener cientos o miles de años, como ocurre en los Andes y en la Patagonia, o incluso millones de años como los casquetes de la Antártica y Groenlandia. (CECS, 2009; Schoolmeester et al., 2018).

## 1.4. PARTES Y ZONAS DE UN GLACIAR

Según su morfología, los glaciares generalmente presentan tres partes: circo glaciar o cabecera, lengua glaciar y frente glaciar (Figura 3).

**El circo glaciar o cabecera:** es una depresión circular o semicircular, rodeada por paredes verticales y abruptas, generado por la acción erosiva de la masa glaciar sobre la roca (IDEAM, 2012). En esta zona, la nieve depositada se compacta y se transforma en hielo (Aguilón et al., s.f.).

**La lengua glaciar:** es la masa de hielo que desciende por una quebrada o valle, impulsada por la acción de la gravedad. La velocidad de su desplazamiento depende de factores topográficos y de las variaciones en la cantidad de masa glaciar en un determinado periodo (Chile Sustentable, 2013).

**El frente glaciar:** es el límite inferior del glaciar, que puede terminar sobre roca, tierra o cuerpos de agua, como las lagunas. El frente glaciar puede estar en un estado de equilibrio, avanzar o retroceder, dependiendo del balance de masa de superficie y el aporte de hielo proveniente de la parte alta (Ermolin et al., 2015).

Por otro lado, en relación con la acumulación o pérdida de masa del glaciar, se distinguen dos zonas principales en un glaciar:

La primera, conocida como **zona de acumulación**, corresponde al área en la que el glaciar gana masa debido a la acumulación de nieve y hielo.

En contraposición, el área donde se pierde masa por sublimación, evaporación o fusión de la nieve y el hielo se conoce como **zona de ablación**. En esta zona, se generan pequeños drenajes o escorrentías superficiales que alimentan a los ríos.

Ambas zonas están separadas por la **Línea de Equilibrio Altitudinal o ELA** (sigla en inglés de Equilibrium Line Altitude), una línea imaginaria que marca el límite entre la nieve reciente y la nieve antigua que queda expuesta tras el deshielo (Schoolmeester et al., 2018). Teóricamente, la ELA, representa el lugar donde el glaciar no gana ni pierde masa (Figura 3).

A esta relación entre ganancias y pérdidas se le conoce como el balance de masa de un glaciar. Las zonas de acumulación y ablación, junto con la ELA, se desplazan

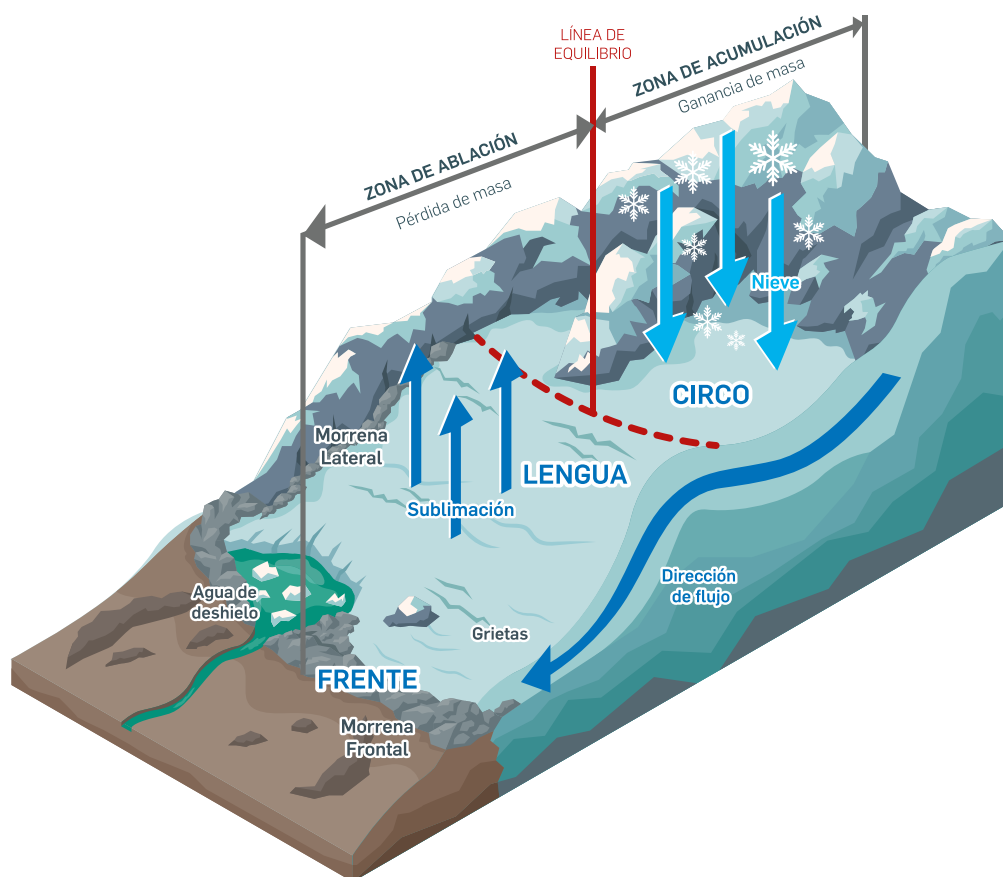


Figura 3. Partes y zonas de un glaciar

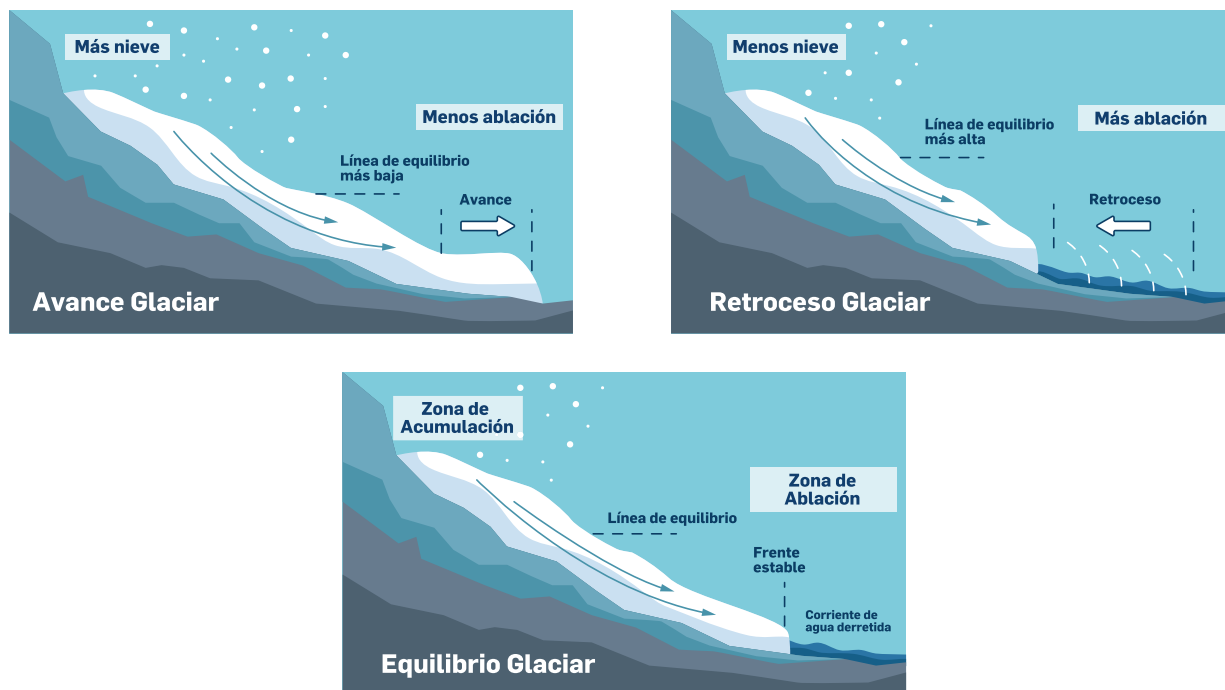
en respuesta a las variaciones climáticas (IDEAM, 2012; Chile Sustentable, 2013; INAIGEM, 2023a). Esto determina el avance o retroceso de un glaciar.

## 1.5. MOVIMIENTO DE UN GLACIAR

Un glaciar no es estático: cambia de forma, se mueve, crece o decrece dependiendo de su relación con los demás componentes del entorno (IDEAM, 2012). El movimiento de un glaciar se explica porque el hielo tiene un comportamiento similar al de un cuerpo viscoplástico, afectado por factores asociados a la aceleración de gravedad, la pendiente, la topografía subglacial y superficial, entre otros, que pueden generar la deformación del hielo (Paterson, 2001).

Existe una transferencia proporcional de masa de hielo desde la zona más alta del glaciar hasta la más baja (Paterson, 2001). Cuando la cantidad de nieve y hielo acumulada en las partes más altas (zona de acumulación) es favorable, el exceso de carga provoca que el hielo, por efecto de la gravedad y de su propio peso, se desplace hacia la parte baja (zona de ablación) (Alberto & Gómez, 2013). Por otro lado, el hielo acumulado en las zonas bajas es sometido a una intensa fusión en la superficie, lo que ocasiona que el hielo desaparezca por el frente del glaciar. En este sentido, el proceso de transferencia del hielo está condicionado por el balance de masa y por las características topográficas del glaciar (Comunidad Andina, 2007; Chile Sustentable, 2013).

De manera similar, el avance, retroceso o estabilidad de un glaciar resulta del efecto combinado de la ablación producida en el frente y de la dinámica del glaciar (Comunidad Andina, 2007). En un balance de masa positivo, donde la acumulación es mayor que la ablación, se produce un avance del frente glaciar.



**Figura 4. Avance, retroceso o estabilidad de un glaciar: a) acumulación > ablación: el frente glaciar avanza. b) acumulación < ablación: el frente retrocede. c) acumulación = ablación: el frente se mantiene estable.**

Por el contrario, si la acumulación es menor a la ablación, el frente glaciar retrocede. En algunos casos, cuando la acumulación es equivalente a la ablación, el frente permanece en el mismo lugar (Figura 4).

La respuesta de un glaciar a un cambio en el balance de masa es variable, esta depende de su tamaño, espesor, geometría del lecho rocoso, pendiente promedio, cantidad de agua entre el hielo y el lecho, y la temperatura del hielo en la base. En glaciares pequeños (menor a 1 km<sup>2</sup>), la extensión de las zonas de acumulación y de ablación varía cada año, siendo posible que durante ciertos años la superficie entera del glaciar se convierta en una zona de ablación o en una de acumulación. Estos glaciares tienen una dinámica menos activa. Por otro lado, los glaciares más grandes pueden tardar entre cinco y diez años en responder a cambios en su entorno (Comunidad Andina, 2007).

### 1.5.1. Tipos de movimiento

Un glaciar se mueve de dos maneras: por flujo interno y por desplazamiento basal.

**El movimiento por flujo interno** ocurre por la deformación de la estructura de los cristales de hielo debido a la acción de su propio peso, la fuerza de gravedad y la temperatura. El desplazamiento máximo se produce en la superficie y es casi nulo en la base (Rivera, 2024). En las partes superficiales el hielo es más frágil y se producen grietas (Figura 6), mientras que en el interior el hielo tiene un comportamiento más plástico y los cristales de hielo se deslizan unos sobre otros.

**En el movimiento por deslizamiento basal**, la masa de hielo se desplaza en bloque sobre la superficie de la roca sobre la cual se asienta (Rivera, 2024). En la base del glaciar puede existir una película de agua líquida que reduce el rozamiento, facilitando el movimiento del hielo sobre el sustrato rocoso o sedimento (Aguilón et al., s.f.).

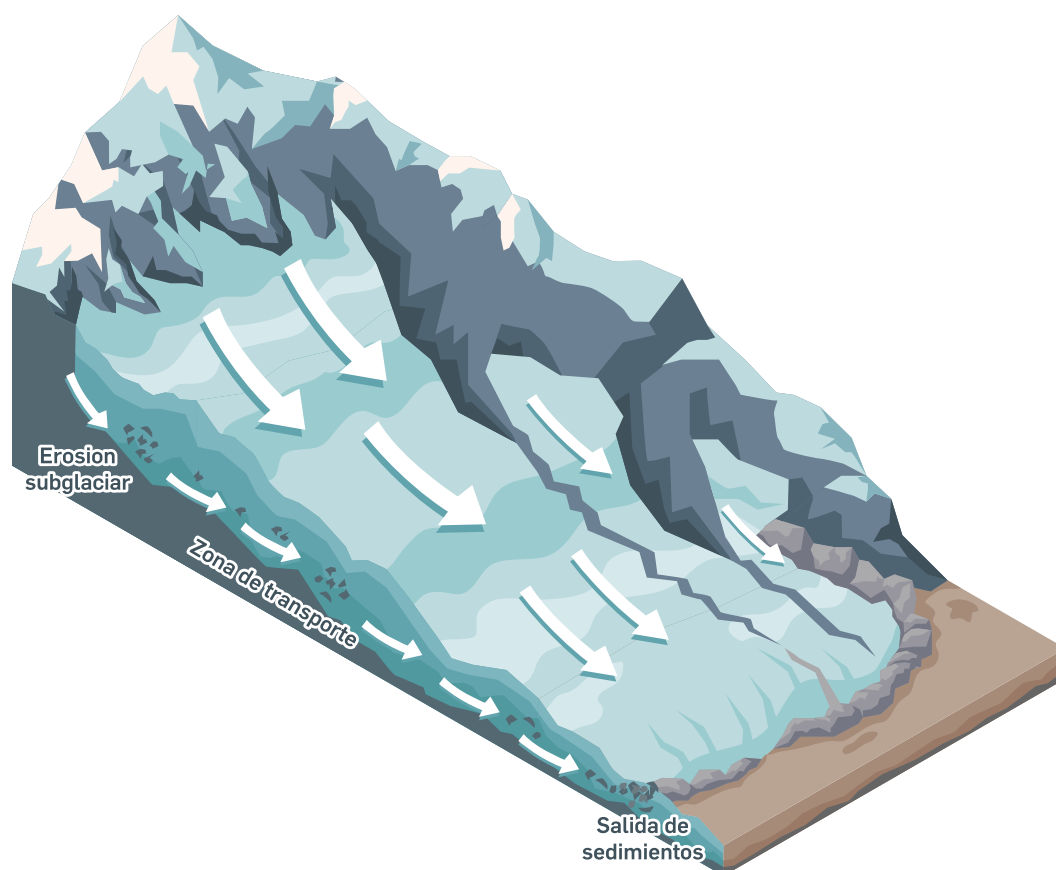


Figura 5. Movimiento, erosión y transporte de sedimentos

### 1.5.2. Formación de grietas

Los glaciares suelen presentar zonas fracturadas denominadas grietas o «crevasses». Estas son rupturas de la superficie glaciar cuyo tamaño varía desde minúsculas fracturas hasta grandes brechas de varios metros de ancho.

Las grietas se forman por efecto del movimiento glaciar, la diferencia de velocidad en distintas zonas de su masa y las irregularidades y desniveles del terreno sobre el que fluye la base. Estas grietas son muy importantes, ya que controlan la infiltración del agua de la fusión superficial y desempeñan un papel fundamental en la circulación general del agua glaciar (Ermolin et al., 2015).

La tensión a la que se somete el glaciar genera diferentes tipos de grietas, siendo las más comunes:

**Grietas transversales:** son el tipo más común de fracturas de un glaciar. Se encuentran en zonas donde la tensión de deformación del glaciar es elevada. Generalmente se observan en la zona de acumulación cuando el lecho tiene una pendiente uniforme, y donde existe una elevada pendiente en el lecho del glaciar y crece la velocidad de desplazamiento pendiente abajo. Estas grietas se disponen en la dirección perpendicular al flujo del glaciar (Ermolin et al., 2015).

**Grietas marginales:** se forman cuando el desplazamiento del hielo es mayor en el centro del glaciar, donde se encuentra la zona de mayor espesor. Estas grietas pueden observarse en casi cualquier lugar y circunstancia (Ermolin et al., 2015).

**Grietas longitudinales:** se forman en dirección paralela al flujo glaciar, como consecuencia de la tensión de deformación hacia los márgenes. Aparecen tanto en el centro de la zona de ablación del glaciar como en áreas donde la lengua glaciar se

expande hacia los márgenes. También pueden generarse como consecuencia de la existencia de irregularidades en la superficie del lecho rocoso (Ermolin et al., 2015).

**Rimaya:** es una grieta de gran tamaño (grieta principal) que separa el hielo que se mueve por la pendiente del hielo que queda adherido a la roca (Geoestudios LTDA, 2008; IDEAM, 2012). Se forma en la cabecera del glaciar, paralela a la pared del circo y posee una pendiente muy pronunciada (Figura 6). Las rimayas pueden extenderse hasta cientos de metros y alcanzar profundidades de hasta 50 metros. Son especialmente visibles en verano, cuando la cornisa de nieve desaparece (Ermolin et al., 2015).

**Seracs:** conjunto de grietas complejas y de diversos tamaños y formas. Se generan por abruptos cambios de pendiente, formas muy irregulares de la topografía del lecho de fondo (a manera de pináculos dentados), movimiento acelerado del glaciar y/o fuerte ablación (Rivera, 2024; Ermolin et al., 2015).

Por lo general, no existe un único tipo de grieta en un glaciar; sino, se manifiestan diversos tipos sobre la masa glaciar, bajo distintas formas y combinaciones (Ermolin et al., 2015).

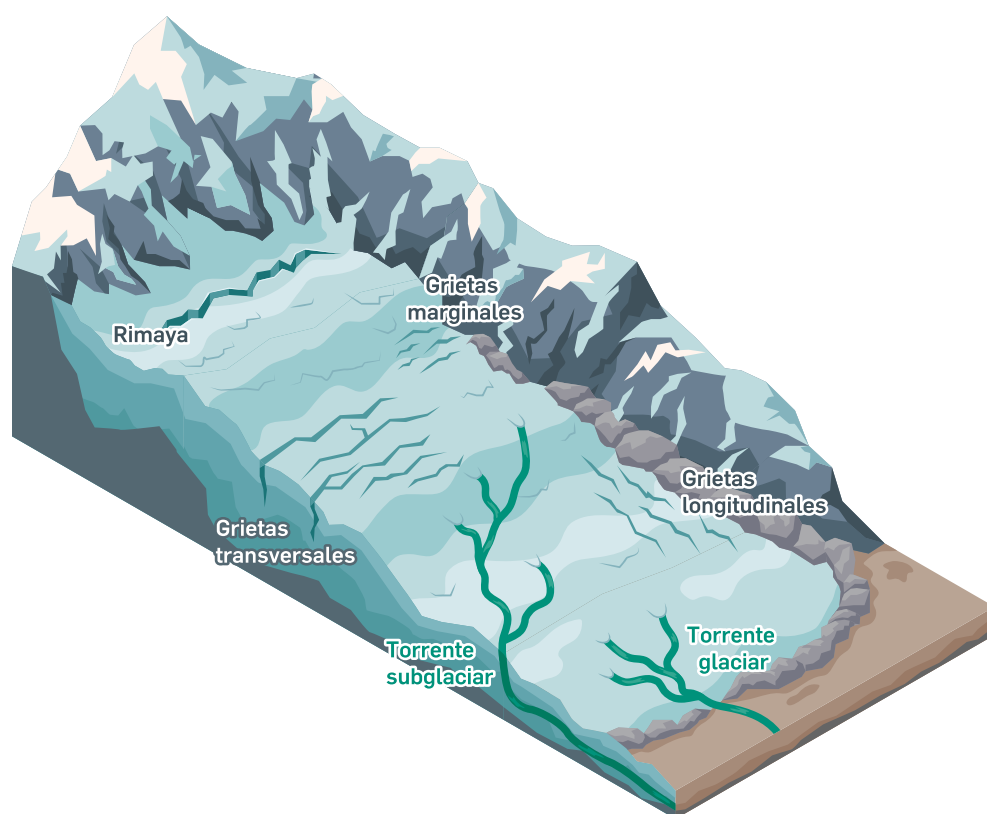


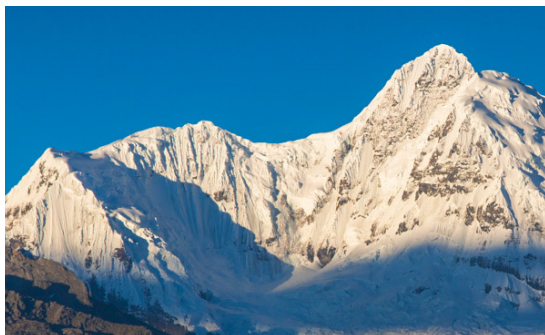
Figura 6. Tipos de grietas

## 1.6. FORMAS DEL RELIEVE POR EROSIÓN Y DEPOSICIÓN GLACIAR

El carácter dinámico de los glaciares, que actúan erosionando en unas zonas y transportando y abandonando materiales (sedimentos) en otras, los posicionan como importantes agentes modeladores del paisaje.

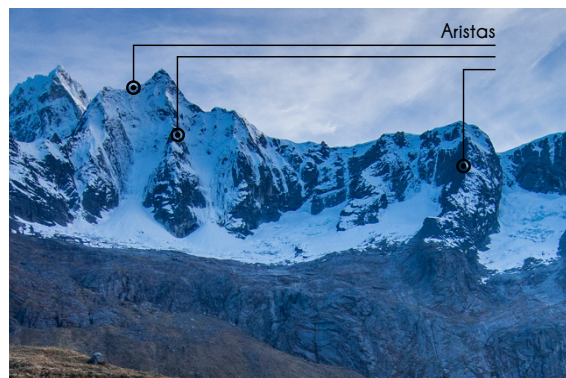
Algunas de las formas del relieve generadas por erosión glaciar más características son: el circo glaciar, las aristas, los horns o agujas, los valles glaciares y las lagunas (Figura 7).

Como producto de la erosión, el material detrítico de formas angulosas y tamaños variados, conocidos como till, es transportado y depositado conforme el glaciar se desplaza por gravedad (Ermolin et al., 2015). En ocasiones el till se presenta dando formas de relieve característico del inicio de la formación de morrenas (Aguilón et al., s.f.). De acuerdo con su posición, las morrenas se clasifican en frontales, laterales, centrales y de fondo (Figura 8):



**Circo glaciar:** depresión de montaña donde se acumula hielo, a veces decenas o cientos de metros de grosor. Suelen tener forma de cubetas circulares.

**Aristas:** crestas de bordes puntiagudos formados en la divisoria de dos circos.



**Horns o agujas:** picos que se forman en la confluencia de varios circos glaciares.

**Valle glaciar:** producido por el desplazamiento de la lengua glaciar. Al retirarse el hielo dejan los típicos valles en U.



**Lagunas:** depresión de origen glaciar ocupada por el agua del deshielo y represada por morrenas.

Figura 7. Formas de erosión glaciar

**Morrena frontal o terminal:** se forma al final del glaciar cuando el hielo empieza a fundirse, sublimarse y/o evaporarse. Las morrenas terminales marcan la máxima extensión del glaciar, y las secuencias en su formación indican el retroceso del glaciar, por lo que también son conocidas como morrenas de retroceso (Tarbuck & Lutgens, 2005). En algunos casos, son las que soportan la presión del agua de lagunas formadas por el derretimiento del hielo y donde, por lo general, se encuentra el dique o brecha (figura 3).

**Morrena lateral:** se forma a ambos lados de la lengua glaciar cuando el hielo erosiona las laderas del valle en el que está confinado. Los sedimentos se acumulan en forma paralela a los laterales del valle. A estos se añaden materiales externos provenientes de los desprendimientos rocosos de los muros de valle que caen desde lo alto (Tarbuck & Lutgens, 2005; IDEAM, 2012). Las morrenas laterales marcan la altura máxima a la que se encontraba el hielo.

**Morrena central:** se forma cuando dos lenguas glaciares se unen para formar parte de una única corriente de hielo. En este caso, las morrenas laterales se unen para formar una franja central oscura. Este tipo de morrenas pone en evidencia el movimiento de un glaciar (Tarbuck & Lutgens, 2005).

**Morrenas de fondo:** se forman en el fondo de la lengua glaciar debido al arranque de los materiales del lecho, los cuales se depositan como una capa de till suavemente ondulada conforme retrocede el frente glaciar (Tarbuck & Lutgens, 2005).

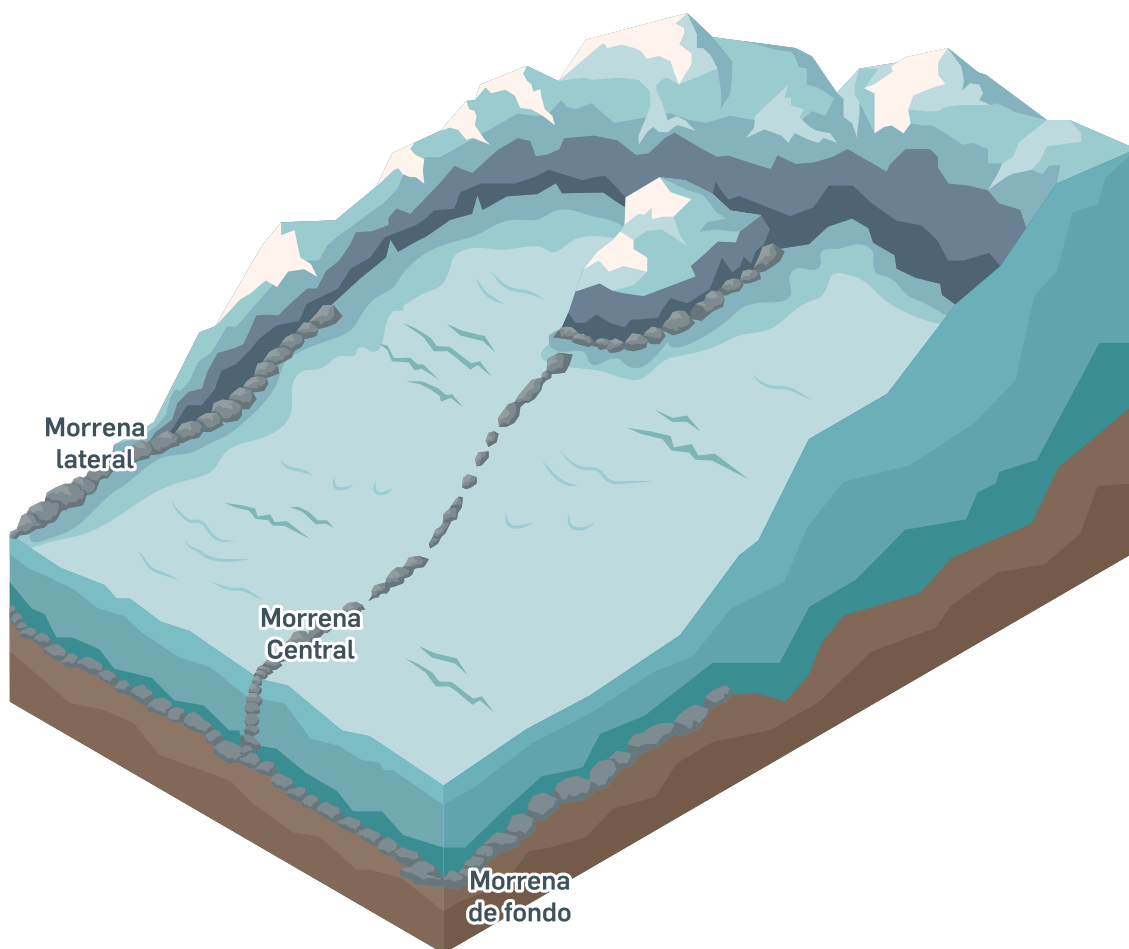


Figura 8. Tipos de morrenas según su ubicación

## 1.7. TIPOS DE GLACIARES

Como resultado del estudio sobre las características de los glaciares y su entorno, tales como la morfología, temperatura, dinámica, localización, tipos de superficie, entre otras, los glaciólogos han planteado diferentes formas de clasificar a los glaciares en el mundo. El Cuadro 1 presenta una síntesis de los principales tipos de clasificación (Rivera et al., 2017).

**Cuadro 1. Tipologías más comunes para clasificación de los glaciares**

| Parámetro de clasificación | Tipo   | Descripción  |  |
|----------------------------|--|--|--|
| Temperatura                | Templados  | Glaciares cuya temperatura del hielo es de 0 °C. Se desplazan sobre los flujos de agua líquida en la base, lo que facilita un rápido desplazamiento.                         |  |
|                            | Fríos o polares  | Glaciares por debajo del punto de fusión. No presentan agua basal por lo que su movimiento es lento y está asociado a grandes masas de hielo polar.                          |  |
|                            | Politermales o Intermedios   | Presentan condiciones mixtas. Durante el invierno se comportan de manera similar a los glaciares fríos, y en verano como glaciares templados.                                |  |
| Dinámica                   | Activos  | Poseen un movimiento rápido que favorece el desplazamiento de rocas hacia la zona de acumulación.  |  |
|                            | Pasivos  | Fluyen lentamente, lo cual dificulta el desplazamiento de rocas y la formación de morrenas. Están asociadas a masas de hielo en retroceso.                                   |  |
|                            | Estáticos o inactivos  | No presentan zona de alimentación. Son considerados relictos y se encuentran en fase de retroceso final.   |  |
| Localización               | Polares  | Ubicados en latitudes altas o zonas polares.   |  |
|                            | Templados  | Ubicados en latitudes medias.  |  |
|                            | Tropicales   | Ubicados entre los trópicos (próximos a la línea ecuatorial).  |  |
| Morfología                 | De casquete  | Grandes masas de hielo continental continuas, con escaso o nulo control topográfico, por lo que se mueven en todas direcciones.  |  |
|                            | De meseta (Ice cap)  | Similares a los casquetes, pero de menor tamaño (inferiores a 50 000 km <sup>2</sup> ). Presentan forma de cúpula, condicionada al relieve o meseta sobre la cual se sitúan. |  |
|                            | De montaña:<br>Se originan en zonas altas de montaña y fluyen por valles en forma de lenguas | de valle   | Se caracterizan por tener una o más zonas de acumulación ubicadas en subcuencas o circos, las cuales confluyen en un valle más largo que ancho, el cual permite el flujo de hielo aguas abajo. |
|                            |  | de circo   | Masas de hielo pequeñas, limitadas por paredes rocosas y asentadas en depresiones de forma circular o semilunar.   |
| de pie de monte            |  | Glaciares de valle que se expanden formando abanicos de hielo al llegar a una llanura y perder su confinamiento.   |  |
| Contenido de impurezas     | Libre de detritos  | Con cobertura superficial característica de nieve y hielo.   |  |
|                            | Cubierto por detritos  | El hielo está cubierto por una capa de tierra y rocas de diferentes espesores.   |  |
|                            | Rocoso   | Glaciar compuesto por una mezcla de hielo y material rocoso.   |  |

Fuente: (Chile Sustentable, 2013), (Rico, 1982), (Leet & Judson, 1997), (Strahler, 1981), (Geoestudios LTDA, 2008), (Ahlmann, 1948), (Ermolin et al., 2015), (Pedraza, 1996), (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019) (CECS, 2009)

## 1.8. SISTEMAS GLACIARES Y NEVADOS

Los glaciares, en la mayoría de los casos, se encuentran interconectados, formando parte de sistemas más amplios y complejos.

Un sistema glaciar es un conjunto de glaciares o una combinación de formas de relieves glaciares que se encuentran interconectadas por su cima y/o sus márgenes, y que pueden compartir características geográficas, climáticas o morfológicas (Kotlyakov & Kunakhovich, 2007). En este sentido, el estudio de los glaciares a nivel de sistema puede proporcionar una visión integral sobre los cambios y procesos que ocurren en su ambiente glaciar.

Por otro lado, es importante precisar que un nevado se refiere a una montaña cuya cima se encuentra cubierta de nieve de forma permanente o durante gran parte del año (Kotlyakov & Kunakhovich, 2007). La principal característica de los nevados es la presencia de nieve, aunque también pueden presentar glaciares en su cima y/o en sus laderas.

A menudo escuchamos los términos glaciar y nevado de manera indistinta, pero en realidad son conceptos diferentes. La principal diferencia radica en el carácter dinámico del glaciar y la influencia activa que este ejerce sobre el paisaje (Aguilón et al., s.f.). Mientras que un nevado simplemente permanece en su lugar, formando una capa de nieve temporal o permanente que puede variar de grosor dependiendo de las estaciones.



**Figura 9. a) sistema glaciar, b) nevado, c) glaciar**  
Fotografía: Alexander Santiago, Wilmer Sánchez

## 1.9. PERÍODOS GLACIALES E INTERGLACIALES Y LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO

A lo largo de la historia del planeta, se han producido avances y retrocesos significativos de las masas de hielo glaciar (Ermolin et al., 2015). Con base en el estudio de diferentes factores globales (geológicos, químicos y paleontológicos), existe evidencia de que, durante los últimos millones de años, se han producido períodos glaciales (periodos fríos) y períodos interglaciales (periodos cálidos) de manera alternada (Ermolin et al., 2015).

Los registros encontrados indican que los periodos cálidos han predominado sobre los periodos fríos (Aguilón et al., s.f.) La alternancia entre períodos glaciales e interglaciales se puede explicar a partir de diferentes procesos que forman parte de la dinámica interna (Figura 12) y externa del planeta (Figura 10) (IDEAM, 2012; Tarbuck & Lutgens, 2005).

### FACTORES EXTERNOS

#### Ciclo de Milankovich

La modificación de la órbita de la tierra, la inclinación de su eje y la precesión de los equinoccios, generan variaciones en la temperatura media del planeta por efecto de la cantidad de radiación que llega del sol.

#### Ciclos solares

En promedio cada 11 años el sol cumple ciclos de emisiones máximas y mínimas de energía asociadas a la aparición y desaparición de manchas solares en su superficie. Las temporadas con alto número de manchas solares se relacionan con periodos cálidos, mientras que la ausencia o bajo número de manchas se asocia con periodos mas fríos.

Figura 10. Causas de las glaciaciones y otros periodos fríos: factores externos

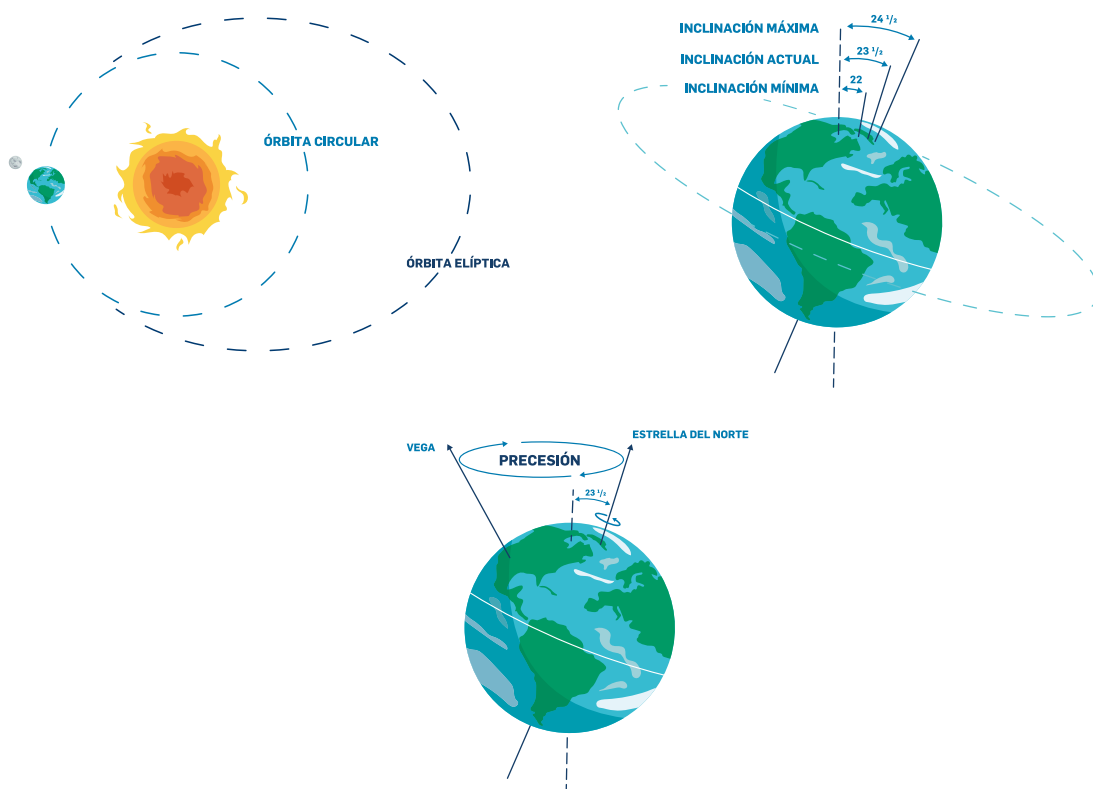
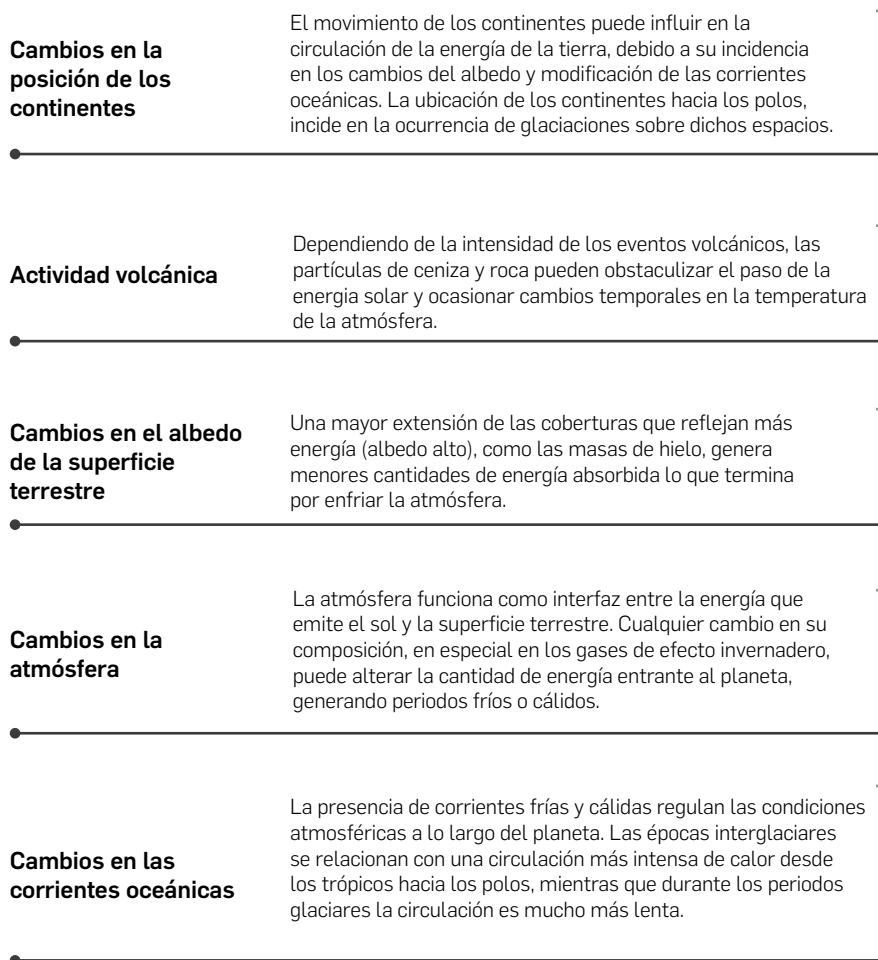


Figura 11. Variaciones orbitales de la Tierra

**FACTORES INTERNOS**



**Figura 12. Causas de las glaciaciones y otros periodos fríos: factores internos**

A lo largo de la historia del planeta han sucedido cinco grandes períodos glaciales clasificados según se muestra en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Grandes periodos glaciales**

| Periodo glaciar      | Inicio              | Fin                 |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| Cuaternario          | 2 500 000 a. C.     | 10 000 a. C.        |
| Karoo                | 360 000 000 a. C.   | 260 000 000 a. C.   |
| Andino - Sahariano   | 450 000 000 a. C.   | 420 000 000 a. C.   |
| Sturtian - Varangian | 850 000 000 a. C.   | 635 000 000 a. C.   |
| Huroniano            | 2 400 000 000 a. C. | 2 100 000 000 a. C. |

a. C.: antes de Cristo.  
Fuente: (Ermolin et al., 2015)

Parte del Cuaternario recibe el nombre de **Edad de Hielo** por ser una etapa caracterizada por el enfriamiento generalizado de la Tierra, debido a variaciones en la órbita terrestre. Esta etapa fría terminó hace aproximadamente 10 000 años, dando inicio a una etapa más cálida que recibe el nombre de **Holoceno** (IDEAM, 2012). El Holoceno es la época actual de la historia geológica del planeta. También se le conoce como época postglacial debido al marcado aumento de la temperatura global y la tendencia hacia el derretimiento de las masas glaciares. Sin embargo, dentro de este periodo cálido han ocurrido eventualmente tiempos relativamente cortos en los cuales las temperaturas

descendieron, provocando un incremento en la masa y superficie de los glaciares del planeta. El más notable de esos tiempos es conocido como la **Pequeña Edad de Hielo** (PEH) (IDEAM, 2012).

La Pequeña Edad de Hielo (PEH) fue un corto periodo frío responsable del avance glaciar más reciente a nivel mundial. Esto ocurrió, aproximadamente, a fines de la Edad Media (siglo XIV) y se prolongó hasta la segunda mitad del siglo XIX (IDEAM, 2012). Se caracterizó por un notable descenso de la temperatura y mayores niveles de precipitación invernal (Comunidad Andina, 2007), coincidiendo con una fase de poca actividad de las manchas solares (IDEAM, 2012). Diferentes estimaciones calculan que la temperatura media en este periodo fue entre 1 °C y 2 °C más baja que el promedio actual (Malone et al., 2016; Iparraguirre et al., 2022; Comunidad Andina, 2007; Jomelli et al., 2009).



**Figura 13. Pequeña Edad de Hielo en Amberes (Bélgica) en un óleo de Lucas van Valckenborch, en 1593**

Fuente: Städel Museum, 2024

A finales de la PEH, los glaciares alcanzaron su mayor extensión (Jomelli et al., 2009), siendo el punto de partida del proceso de deglaciación que observamos actualmente (Bravo, 2019; Francou et al., 2014).

Los efectos de la Pequeña Edad de Hielo fueron observados directamente por muchos habitantes de Europa (Figura 13). Diversas crónicas relatan las penurias que enfrentaron los agricultores noruegos y suizos debido al avance de los glaciares sobre sus campos de cultivo (Aguilón et al., s.f.). No obstante, el impacto de la PEH también se evidenció en el hemisferio sur y en los trópicos (Oxman et al., 2013).

En el sur del Perú, el análisis de testigos de hielo extraídos de la cima del nevado Quelccaya, sugiere que, en los Andes tropicales, la PEH tuvo lugar entre los años 1500 y 1890 (Thompson et al., 1986; Vásquez et al., 2018; Ames & Francou, 1995). Las fechas de ocurrencia en las diferentes cordilleras del Perú varían ligeramente una de otra (Rabatel et al., 2013; Bravo, 2019). La constante retirada de los glaciares tras la extensión máxima de la PEH y la ausencia de un nuevo avance importante en el siglo XIX en toda la franja tropical son las principales diferencias en la evolución de los glaciares en latitudes templadas y polares (Rabatel et al., 2013).

La PEH es un claro ejemplo de la variabilidad climática natural y constituye una base importante para analizar los efectos de la acción humana sobre el planeta. Además, este periodo es igual de importante para analizar las tendencias climáticas futuras, ya que algunas estimaciones pronostican cambios de temperatura similares a los ocurridos durante la PEH, para finales del siglo XXI (Comunidad Andina, 2007). Ahora que se han presentado los aspectos básicos que definen a un glaciar, resulta pertinente conocer cómo estos se distribuyen alrededor del planeta.

SECCIÓN 2

# GLACIARES PERUANOS EN EL CONTEXTO GLOBAL



## 2. GLACIARES PERUANOS EN EL CONTEXTO GLOBAL

### 2.1. DISTRIBUCIÓN DE GLACIARES EN EL MUNDO

Los glaciares constituyen importantes suministros de agua dulce distribuidos en diferentes partes del planeta. Se estima que aproximadamente dos tercios de toda el agua dulce del mundo se encuentran en los glaciares de las regiones montañosas, así como en las regiones árticas y antárticas, donde predominan los grandes e imponentes casquetes de hielo (United Nations, 2003). Se calcula que el 97 % de la superficie total de los glaciares de la Tierra está almacenada en la Antártida y Groenlandia. Sin embargo, el 3 % restante, ubicado principalmente en zonas de montaña, destaca por la importancia directa que tiene como suministro de agua vital para las poblaciones y para el desarrollo de sus principales actividades (UNESCO & IASH, 1970).

Según el Inventario de Glaciares Randolph, versión 7.0 (RGI v7.0), que presenta información sobre las superficies glaciares a nivel mundial, aproximadamente 274 000 glaciares están distribuidos en las regiones de alta montaña de todo el mundo (RGI Consortium, 2023). En el Cuadro 3 se presenta la cantidad y extensión de la cobertura glaciar en las diferentes regiones glaciares del planeta.

**Cuadro 3. Cantidad y superficie de glaciares en el mundo**

| Número de región | Nombre de región                 | Cantidad | Superficie (km <sup>2</sup> ) |
|------------------|----------------------------------|----------|-------------------------------|
| 01               | Alaska                           | 27 509   | 86 708                        |
| 02               | Oeste de Canadá y Estados Unidos | 18 730   | 14 521                        |
| 03               | Ártico Norte de Canadá           | 5216     | 105 370                       |
| 04               | Ártico Sur de Canadá             | 11 009   | 40 538                        |
| 05               | Periferia de Groenlandia*        | 19 994   | 90 482                        |
| 06               | Islandia                         | 568      | 11 060                        |
| 07               | Svalbard y Jan Mayen             | 1666     | 33 959                        |
| 08               | Escandinavia                     | 3410     | 2948                          |
| 09               | Ártico ruso                      | 1069     | 51 595                        |
| 10               | Asia del Norte                   | 7155     | 2643                          |
| 11               | Europa Central                   | 4079     | 2124                          |
| 12               | Cáucaso y Medio Oriente          | 2275     | 1407                          |
| 13               | Asia Central                     | 75 613   | 50 344                        |
| 14               | Asia del Sur Oeste               | 37 562   | 33 075                        |
| 15               | Asia del Sur Este                | 18 587   | 16 049                        |
| 16               | Latitudes bajas                  | 3695     | 1929                          |
| 17               | Andes del Sur                    | 30 634   | 27 674                        |
| 18               | Nueva Zelanda                    | 3018     | 886                           |
| 19               | Islas subantárticas y antárticas | 2742     | 133 432                       |
| 20               | Antártida continental*           | -        | -                             |
| Global           |                                  | 274 531  | 706 744                       |

Fuente: RGI Consortium 2023

\* La fuente no considera los datos de los grandes casquetes de hielo continental de Groenlandia y la Antártida. Se calcula un área de 1.8 millones de km<sup>2</sup> de superficie de hielo en Groenlandia y 12.4 millones de km<sup>2</sup> en la Antártida (Francou et al., 2014).

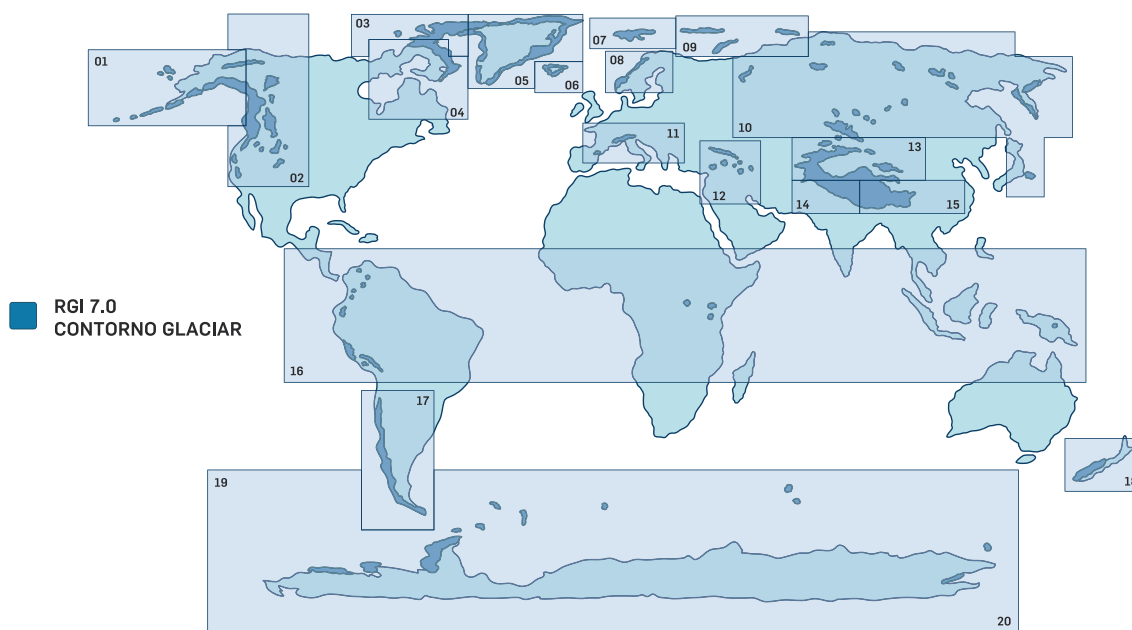


Figura 14. Regiones glaciares y ubicación de glaciares del mundo

Como se observa en la Figura 14, los glaciares del continente sudamericano se localizan en las regiones de latitudes bajas (zona 16 de la Figura 14) y en los Andes del sur (zona 17 de la Figura 14). La superficie glaciar en Sudamérica se ha estimado en aproximadamente 29 593 km<sup>2</sup> (RGI Consortium, 2023).

## 2.2. DISTRIBUCIÓN LATITUDINAL DE LOS GLACIARES

La latitud, definida como la distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado de la Tierra, es responsable de la variación en los niveles de radiación solar diaria y estacional que llegan a la superficie terrestre, lo que determina en gran medida las condiciones climáticas (Figura 15).

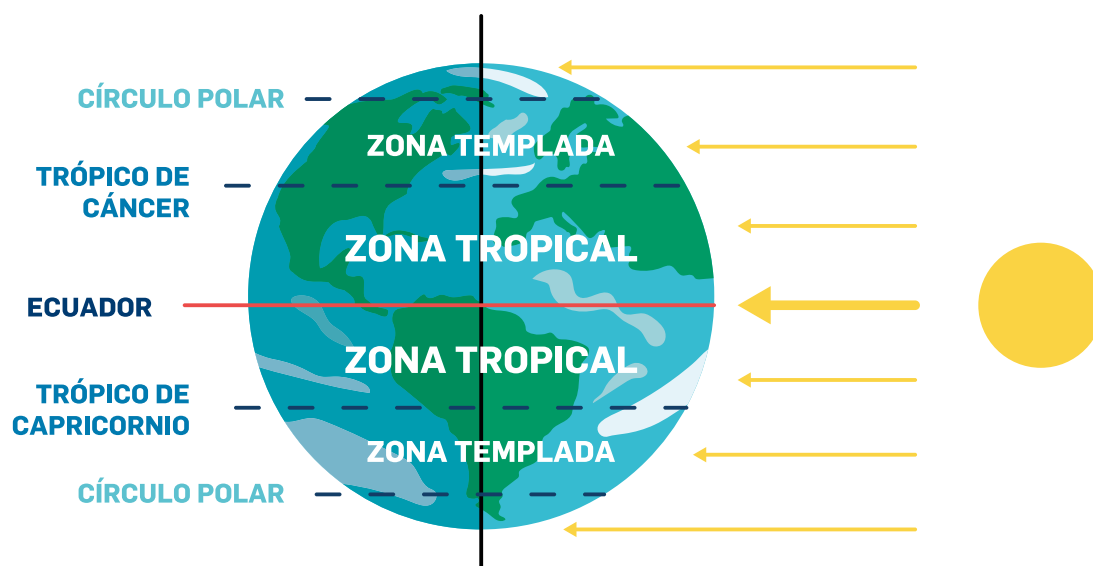


Figura 15. Incidencia de la radiación solar de acuerdo con la ubicación latitudinal

En función de su ubicación latitudinal, los glaciares pueden considerarse como glaciares de latitudes altas, medias o bajas (IDEAM, 2012; Di Mauro et al., 2021; Thompson et al., 2021).

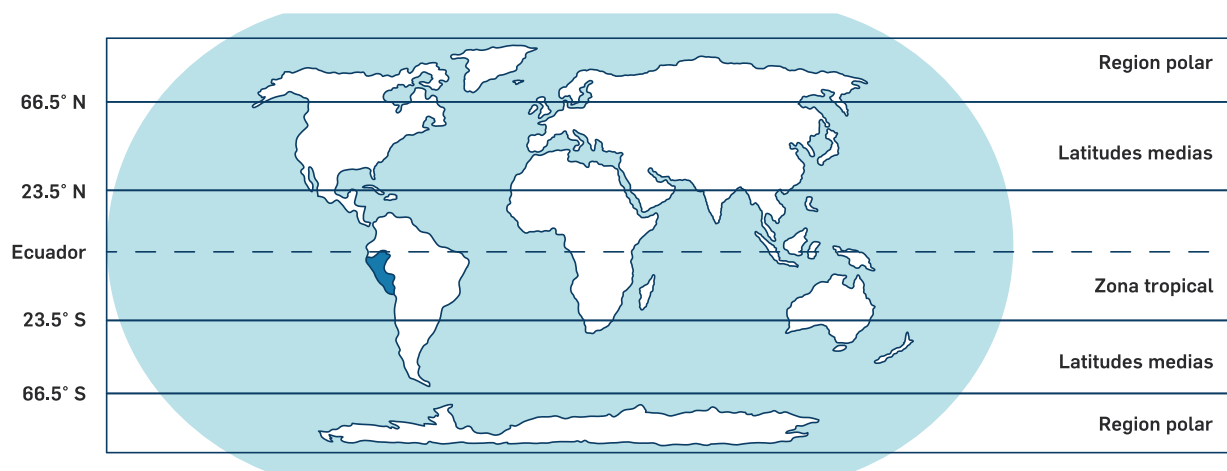


Figura 16. Distribución latitudinal de los glaciares (Fuente: Di Mauro, et al., 2021)

**Los glaciares de latitudes altas** o también llamados glaciares de regiones polares se ubican entre los 66,5° a 90° tanto en el hemisferio norte como en el sur (Figura 16). Los casquetes de hielo continentales, como los de la Antártica y Groenlandia, así como los grandes bloques de hielo flotantes del Ártico, se encuentran en estas latitudes (Di Mauro et al., 2021); IDEAM, 2012).

**Los glaciares de latitudes medias** o también llamados glaciares de regiones templadas se ubican a 23,5° de latitud norte y sur (Figura 16). En esta categoría se encuentran principalmente los glaciares del oeste de Estados Unidos y Canadá, Asia central y sur, Islandia, Europa central, el Cáucaso, los Andes del sur y Nueva Zelanda (Di Mauro et al., 2021; IDEAM, 2012; RGI Consortium, 2023).

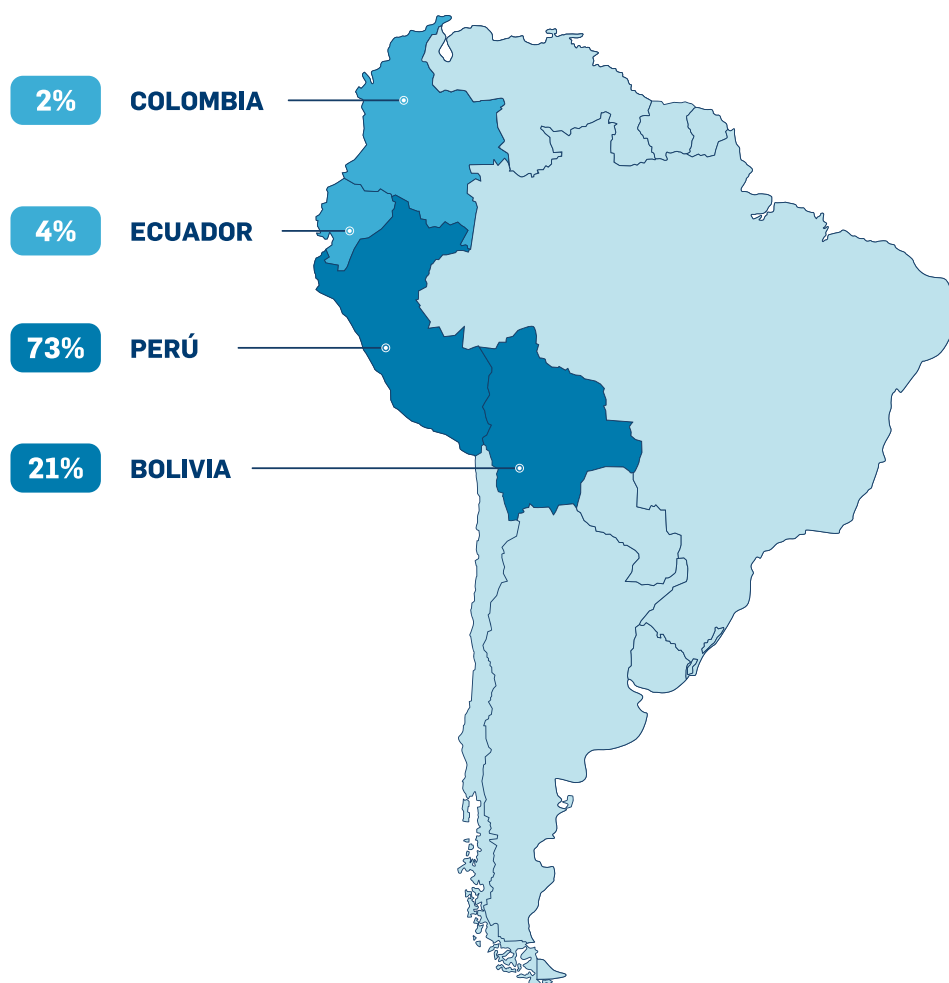
**Los glaciares de latitudes bajas** o también denominados glaciares de los trópicos se ubican entre los 23,5° norte y 23,5° sur (Figura 16). En esta zona se encuentran los glaciares tropicales de México, este de África, Nueva Guinea y de la cordillera de los Andes (Di Mauro et al., 2021; RGI Consortium, 2023).

## 2.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS GLACIARES TROPICALES

Una característica particular de la zona tropical es que los glaciares están presentes únicamente a gran altitud, generalmente por encima de los 5000 m s. n. m. y suelen ser más pequeños en comparación con los glaciares de regiones polares y templadas. Estas particularidades y la presencia simultánea de los periodos de máxima acumulación y ablación constituyen la principal originalidad de los glaciares tropicales (Francou et al., 2014).

Considerando las características de precipitación y la ubicación geográfica, la zona tropical de Sudamérica se puede dividir en trópicos interiores y exteriores. Los trópicos interiores abarcan las zonas más próximas a la línea ecuatorial (Venezuela, Colombia y Ecuador) (Veettil et al., 2014). Mientras que los trópicos exteriores abarcan zonas un tanto más alejadas (Perú, Bolivia y el norte de Chile) (Veettil et al., 2015; Veettil et al., 2016; Jomelli et al. 2009).

En los trópicos interiores, los procesos de ablación y acumulación glaciar ocurren de manera simultánea a lo largo del año (Veettil et al., 2014), es decir, se presentan condiciones de precipitación más o menos continuas (Caceres, 2010). En cambio, en los trópicos exteriores se distinguen dos estaciones: una seca y otra húmeda. Los mayores niveles de ablación tienen lugar durante la estación seca (mayo a septiembre), mientras que el proceso de acumulación o ganancia de masa del glaciar ocurre principalmente en la estación lluviosa (octubre a marzo) (Veettil et al., 2015; Veettil et al., 2016; Jomelli et al. 2009).



**Figura 17. Distribución de los glaciares tropicales en Sudamérica**

Los glaciares tropicales están presentes en los Andes de América del Sur, África Oriental e Indonesia. El Inventario Glaciar Randolph, versión 7.0, estima el área total de los glaciares tropicales (bajas latitudes) en 1929 km<sup>2</sup> (Cuadro 3) (Veettil & Kamp, 2019; RGI Consortium, 2023). Asimismo, se estima que el 99 % de los glaciares tropicales del mundo se encuentran distribuidos en los Andes sudamericanos (Kaser & Osmaston, 2002; López & Ramírez, 2010). Del total de estos, el 73 % se localiza en los Andes peruanos, 21 % en Bolivia, 4 % en Ecuador y 2 % en Colombia (Figura 17) (Turpo et al., 2022).

## 2.4. CORDILLERAS GLACIARES EN PERÚ

Los glaciares del Perú se distribuyen en 20 cordilleras glaciares (Blanca, Huallanca, Huayhuash, Raura, Huagoruncho, La Viuda, Central, Huaytapallana, Chonta, Ampato, Chila, Vilcabamba, Urubamba, Huanzo, La Raya, Vilcanota, Carabaya, Apolobamba, Volcánica y Barroso)(Figura 18). La Cordillera Blanca, ubicada en el ramal occidental de los Andes del norte del Perú, en el departamento de Áncash, es la cordillera glaciar tropical más elevada y con mayor extensión de glaciares del Perú y del mundo (Zapata et al., 2008; López & Ramírez, 2010; Veettil & Kamp, 2019). En la actualidad, las cordilleras Volcánica y Barroso, presentan únicamente glaciares de tipo rocoso (Cuadro 1).

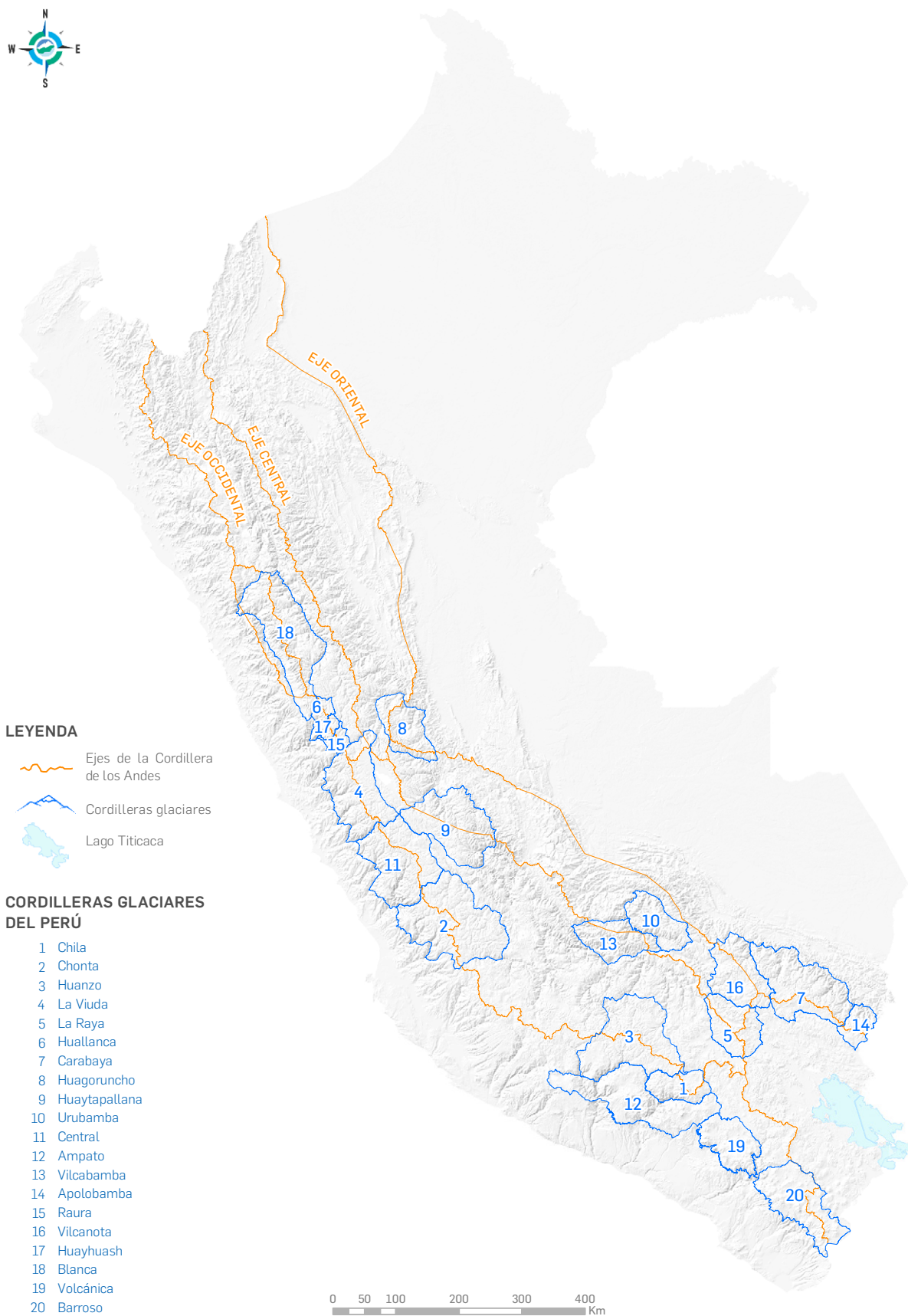


Figura 18. Mapa de ubicación de las cordilleras glaciares en los Andes peruanos



SECCIÓN 3

# IMPORTANCIA DE LOS GLACIARES TROPICALES

## 3. IMPORTANCIA DE LOS GLACIARES TROPICALES

---

Los glaciares proporcionan servicios vitales a los ecosistemas y poblaciones situadas en su entorno más próximo, así como también a aquellas ubicadas a escala regional, nacional y global. Entre los beneficios que brindan los glaciares destacan los servicios de aprovisionamiento del recurso hídrico, la regulación de caudales y del clima, además de sus valores culturales (Boyano, 2016). Asimismo, los glaciares son considerados indicadores del cambio climático debido a su gran sensibilidad (UNESCO & UICN, 2022). A continuación, se describen las principales razones que evidencian la importancia de los glaciares.

### 3.1. FUENTE DE AGUA DULCE

En los trópicos, más del 80 % del suministro de agua dulce se origina en las regiones montañosas (Messerli, 2001). Gran parte de esta agua se almacena inicialmente como hielo en los glaciares de montaña y luego se libera gradualmente (Vuille et al., 2008). Los glaciares andinos desempeñan un rol fundamental en la hidrología de las cuencas, actuando como almacenes de agua y reguladores del régimen hidrológico, particularmente en zonas sometidas a largos periodos de estación seca. También proveen de agua a regiones donde las lluvias son escasas, como el desierto costero del Perú donde se asienta la mayor parte de la población (IDEAM, 2012; Comunidad Andina, 2007).

En los años con déficit de lluvias, el derretimiento del hielo glaciar permite mantener un caudal mínimo de agua, abasteciendo sistemas de riego, plantas hidroeléctricas, centros urbanos, poblaciones rurales, acuíferos subterráneos y ecosistemas que dependen de estas fuentes (Comunidad Andina, 2007).

### 3.2. REGULADORES DEL CLIMA

Los glaciares actúan como reguladores del clima global y local. Las capas de hielo más grandes del planeta, la Antártida y Groenlandia, desempeñan un papel crucial en el sistema climático global, al actuar como un «termostato» que regula la circulación de los océanos. Además, su capa de hielo blanco contribuye al enfriamiento de la atmósfera al reflejar la luz solar (efecto albedo) (Figura 25) (UNESCO & UICN, 2022). De esta manera, una mayor cobertura de nieve y hielo reduce la cantidad de radiación solar absorbida, reduciendo el calentamiento (Segovia, 2014).

De manera similar, los glaciares modifican las condiciones atmosféricas locales. Las montañas nevadas enfrían las masas de aire, aumentan la humedad relativa y favorecen la precipitación (Geoestudios LTDA, 2008). Estas masas de aire circulan por los valles glaciares y demás espacios circundantes en sentido valle-montaña durante el día y montaña-valle durante la noche. Así, la existencia de un glaciar genera un enfriamiento de las zonas circundantes y un aumento de la precipitación, creando condiciones ambientales favorables para las distintas especies de plantas y animales que habitan cerca de las altas cumbres (IDEAM, 2012).

### 3.3. SUSTENTO DE LA BIODIVERSIDAD

Los glaciares son cruciales para el sustento de la biodiversidad del planeta, ya que proporcionan el recurso hídrico vital y regulan la temperatura del entorno, creando condiciones favorables para su desarrollo. Se estima que alrededor del 50 % de los hotspots de biodiversidad global (regiones con gran

riqueza de especies de plantas y animales), se encuentran en cuencas drenadas por glaciares, que albergan hasta un tercio de toda la diversidad de especies terrestres del planeta. Además, los glaciares constituyen hábitats para muchas especies terrestres y acuáticas (UNESCO & UICN, 2022).

Se ha reportado la presencia de varios organismos que habitan en los glaciares, como microorganismos fotosintéticos, algas y cianobacterias que crecen en la superficie de los glaciares y sostienen organismos heterótrofos, como insectos, gusanos de hielo, rotíferos, tardígrados, hongos y bacterias (Vijay et al., 2011; Segovia, 2014). Un ejemplo destacado es el Pinzón glaciar (*Idiopsar speculifer*), la única ave que anida en los glaciares tropicales, y cuya supervivencia depende de ellos.

Los glaciares también aportan agua a los caudales ecológicos mínimos, lo que permite mantener la estructura, función y salud de los ecosistemas asociados a cursos de agua, como lagos y humedales altoandinos. Estos ecosistemas proveen hábitats esenciales para una gran variedad de especies acuáticas, anfibios, aves y mamíferos (Segovia, 2014). Sin embargo, los bofedales, por ejemplo, dada su estrecha relación con el agua (Loza et al., 2015), serían uno de los ecosistemas más afectados por el retroceso glaciar, causando su paulatina reducción por desecamiento (Chimner & Karberg, 2008) a medida que los glaciares vayan disminuyendo sus niveles de aporte hídrico. Asimismo, la variación en la disponibilidad de agua en los bofedales podría afectar la diversidad y dominancia de su vegetación típica. Mientras que, en un escenario de sequías más pronunciadas (en el contexto de retroceso glaciar), podrían llegar a prosperar especies invasoras con menor capacidad de almacenamiento de agua y formación de materia orgánica, alterando drásticamente la estructura y funcionalidad del bofedal (Loza et al., 2015).

### 3.4. INDICADORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El retroceso y desaparición de los glaciares en todo el mundo constituye una de las evidencias más dramáticas del calentamiento global (UNESCO & UICN, 2022). Por eso, el estudio de los glaciares como indicadores del cambio climático global y regional ha ganado relevancia en los últimos años (Veettil & Kamp, 2019), llegando a ser considerados «testigos de los cambios climáticos desde épocas muy remotas hasta la actualidad» (López & Ramírez, 2010; Mölg et al., 2008).

En este contexto, en los glaciares, las zonas de acumulación y ablación, junto con la línea de equilibrio (ELA), son los mejores indicadores de la variabilidad climática y la magnitud de esta, debido a su rápida respuesta a los cambios de temperatura y precipitaciones (CECS, 2009; Fernández, 2020).

La altitud de la línea de equilibrio (ELA), es el parámetro que mejor expresa la relación de los glaciares con el clima (De la calle, 2014; Escobedo, 2018). Cuando el clima se torna más frío y/o aumenta la precipitación en forma de nieve, la zona de acumulación se expande ladera abajo, lo que provoca un descenso en la altitud de la línea de equilibrio y un crecimiento longitudinal del glaciar en dirección cuesta abajo. Por el contrario, cuando la temperatura regional aumenta y/o disminuye la precipitación sólida, la línea de equilibrio asciende en altitud y el glaciar se retrae hacia niveles cada vez más altos. Este fenómeno es conocido como retroceso glaciar (Martínez & Fernández, 2004).

Asimismo, si la ELA se eleva por encima de un glaciar, la zona de acumulación desaparece, quedando únicamente la zona de ablación, la cual terminará extinguiéndose con el paso del tiempo (Ubeda, 2010). Por ello, la ELA es un valioso parámetro para interpretar de qué manera se desarrollará un glaciar en los próximos años (De la calle, 2014; Escobedo, 2018).

En general, los glaciares son muy buenos indicadores del cambio climático,

no obstante, es importante considerar el tamaño de los glaciares, puesto que los glaciares pequeños responden rápidamente a los cambios (en pocos años), mientras que los más grandes lo hacen a largo plazo (incluso siglos) (Geoestudios LTDA, 2008).

La respuesta de los glaciares al cambio climático es un indicador temprano del destino del recurso hídrico, los ecosistemas y la biodiversidad, no solo en las zonas de montaña, sino también en las regiones aguas abajo, donde reside el 40 % de la población mundial (Thompson et al., 2011). Por ello, el estudio de los glaciares es esencial para desarrollar respuestas de adaptación efectivas (UNESCO & UICN, 2022).

### 3.5. VALOR CULTURAL

Los glaciares andinos también poseen una importancia sociocultural para muchas comunidades locales, que muy pocas veces reciben la atención necesaria (Plasencia, 2011). Actualmente, los glaciares aún guardan un importante significado cultural y espiritual para muchos pueblos indígenas y comunidades locales (UNESCO & UICN, 2022). Los mitos y leyendas de los apus (espíritus tutelares de las montañas y protectores) Huascarán, Salkantay, Ausangate y Pariacaca, junto con los rituales y ofrendas que perduran hasta nuestros días, son ejemplos de la relevancia que el hombre andino prehispánico otorgó a los glaciares y lagunas (MINAM, 2014; Plasencia, 2011).

En la época incaica, los nevados y montañas eran considerados lugares sagrados donde se realizaban ceremonias y cultos religiosos para vivir en armonía con el cosmos (Bolívar & Dueñas, 2013). En este sentido, eran considerados la fuerza vital controladora del clima y proveedores del agua para el ganado y las cosechas (Reinhard, 1983), como premio o castigo al comportamiento ritual de las comunidades (Ceruti, 2014).

La altura de una montaña se asocia proporcionalmente con el poder del espíritu que la habita debido a la amplitud del panorama que abarca desde la cima (Morote Best, 1956; Ceruti, 2014). Para los Quechuas, los apus más poderosos siguen siendo aquellas montañas cubiertas de nieve y hielo. Además, para el poblador andino, el agua es mucho más poderosa en forma de hielo, ya que se la considera una fuente de energía (Ceruti, 2014).

Durante la conquista española obligaron a la población indígena a convertirse al cristianismo, al tiempo que colocaban símbolos cristianos en los sitios sagrados andinos. Como resultado del sincretismo religioso en muchas regiones del país, las comunidades andinas todavía veneran a las montañas locales (Paerreggard, 2014) bajo la figura de símbolos cristianos (Albro et al., 2019).

Un caso a resaltar es el de la nación Q'ero, considerada como la última comunidad inca, conformada por varias comunidades que habitan cerca al nevado Ausangate, el más alto del Cusco. Para ellos, el Ausangate, es el nevado o apu tutelar al que deben respeto porque decide sobre la vida y muerte de las personas. Aquí persiste una importante festividad relacionada con el entorno glaciar, el Festival de las Estrellas de Nieve o fiesta del Qoyllur Riti, en la que decenas de miles de personas se unen en peregrinación al pie del nevado y apu Qulqipunku, donde se vincula el poder milagroso del Cristo con el hielo glaciar. Esta festividad fue declarada Patrimonio Cultural de la Nación en 2004 e incluida en la lista de Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad de la UNESCO en 2011 (Albro et al., 2019; UNESCO & UICN, 2022).

En la Cordillera Blanca, los nevados Huascarán, Huandoy, Alpamayo y Champará ocupan un lugar importante en las creencias de la población local. Considerados, por un lado, ancestros vivos, por ser abastecedores de agua y de vida; pero, por otro, se revelan como caníbales, habiendo provocado numerosas

catástrofes naturales a lo largo de los siglos. Así, en la actualidad, al Huascarán se le sigue llamando «Tayta Huascarán» (Padre Huascarán), en señal de respeto (Walter, 2017). Sin embargo, los rituales relacionados con glaciares en la Cordillera Blanca se practican con menor frecuencia y ya no tienen la misma convicción (Walter, 2017).

Los apus constituyen la base de las creencias, la identidad cultural y espiritual, así como de las formas de entender el mundo. Además, sostienen el tejido social de los pueblos, su historia, memoria y subjetividad. Por estas razones, es importante tomar conciencia sobre el rol de los nevados y glaciares en el desarrollo de los pueblos andinos (Aranda, 2017).

### 3.6. ATRACTIVO TURÍSTICO

El valor escénico y recreativo de los glaciares es otro de los importantes servicios ambientales que estos proporcionan. Su gran belleza y singularidad paisajística constituyen un enorme atractivo para el turismo (Iza & Rovere, 2006). Los glaciares son escenarios que inspiran tranquilidad, animan el espíritu y conducen a la contemplación, el disfrute y bienestar tanto de la población local como de los turistas. (Boyano, 2016). Asimismo, los glaciares sustentan el denominado turismo de aventura, que incluye actividades como la escalada en hielo, caminatas y travesías, entre otros (Segovia, 2014).

El turismo en zonas glaciares representa una importante fuente de ingresos económicos y empleo para las comunidades locales cercanas a sitios turísticos (Pozada et al., 2023). En la Cordillera Blanca, la cadena montañosa más alta de los Andes peruanos, el turismo genera ingresos considerables en la región. Sin embargo, aunque se reconocen los beneficios que trae el turismo para las comunidades, es necesario considerar los posibles impactos ambientales que puede acarrear.

El turismo no planificado de manera sostenible puede afectar negativamente a los ecosistemas frágiles y ocasionar impactos sociales y culturales adversos. Una de las consecuencias directas más significativas es el deterioro de los recursos naturales y atractivos turísticos, especialmente en áreas sometidas a un alto flujo de visitantes. En este sentido, transformar la actividad turística tradicional y comercial en un turismo sostenible ofrece una oportunidad para conservar los recursos naturales y beneficiar a las comunidades anfitrionas (Cano, 2018).

### 3.7. LABORATORIO CIENTÍFICO

Por sus características dinámicas y su interacción con variables meteorológicas, topográficas, latitudinales, etc., los glaciares se constituyen como laboratorios naturales para el desarrollo de la ciencia, ofreciendo múltiples posibilidades de estudio (Iza & Rovere, 2006). Sin embargo, el rápido y progresivo retroceso glaciar pone en evidencia su gran vulnerabilidad. En la actualidad, el derretimiento de los glaciares se ve acelerado por los efectos del cambio climático, que constituye la principal amenaza para su supervivencia. Con el fin de determinar la dimensión del calentamiento global, los glaciares están siendo ampliamente estudiados por los científicos en distintas regiones del mundo (Iza & Rovere, 2006).

Entre las investigaciones que más se desarrollan en los glaciares se encuentran aquellas relacionadas con el clima pasado, las cuales se realizan mediante el estudio de columnas o testigos de hielo extraídos de los glaciares (Figura 19). Estas columnas conservan atrapadas pequeñas burbujas de aire entre los cristales de hielo, que son remanentes del pasado de la atmósfera en el momento de la precipitación de la nieve que luego se transformó en hielo. El análisis de estas burbujas de aire, junto con las partículas de polen atrapadas

en el hielo, permite reconstruir características climáticas como la temperatura de varios miles de años atrás (Geoestudios LTDA, 2008; Segovia, 2014).

Perú es el país con mayor cantidad y superficie de glaciares tropicales en el mundo, lo que ha atraído el interés de científicos extranjeros y nacionales desde comienzos del siglo XX (Ames & Francou, 1995). Desde las primeras expediciones glaciológicas realizadas en 1932 en la Cordillera Blanca hasta la actualidad, se han desarrollado estudios en distintas áreas relacionadas a los ambientes glaciares, contribuyendo significativamente a afianzar el conocimiento sobre los glaciares de los Andes peruanos (Ames & Francou, 1995). Sin embargo, aún existen importantes vacíos de información que deben ser abordados, en particular, respecto a la valoración del recurso hídrico proveniente de los glaciares, su efecto en el clima y los peligros asociados a su dinámica.

Con el propósito de fomentar y expandir la investigación científica y tecnológica en el ámbito de los glaciares y los ecosistemas de montaña, que promueva la gestión sostenible de estos recursos en beneficio de la población, se creó el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña – INAIGEM. Este organismo técnico especializado, adscrito al MINAM, fue creado el 12 de diciembre de 2014, mediante la Ley N° 30286.

Entre las diversas montañas y glaciares estudiados por el INAIGEM, el Quelccaya destaca como uno de los más estudiados del Perú. Este glaciar ha perdido su masa de hielo de manera significativa en los últimos 58 años, lo que evidencia su rol como indicador de los impactos del cambio climático en los glaciares tropicales del mundo (INAIGEM, 2022).



**Figura 19. Expedición Huascarán: extracción de testigos de hielo**

Fuente: INAIGEM, 2019

**1 Valor cultural:** para muchas comunidades, especialmente las que viven en zonas cercanas a los glaciares, tienen un significado especial porque forman parte de su cultura, tradiciones, creencias y rituales. En algunos casos son considerados sagrados.

**2 Reguladores del clima:** en las montañas, los glaciares ayudan a enfriar el aire y aumentan la humedad, lo que favorece las lluvias y crea condiciones únicas para la vida. Además, son hogar de muchas especies que dependen de estos ecosistemas fríos.

**3 Indicadores del cambio climático:** al estudiar cómo cambian los glaciares, podemos conocer qué tan rápido se está calentando el planeta y cómo esto afecta a los ríos, la vida silvestre y el agua que consumimos.

**4 Laboratorio Científico:** los glaciares son espacios naturales de gran valor científico. Su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático, ha intensificado el estudio de glaciares a nivel mundial. Perú al ser el país con mayor cantidad y superficie de glaciares tropicales en el mundo, ha atraído el interés de los científicos que con sus investigaciones buscan reconstruir el clima pasado y proyectar cambios a futuro.

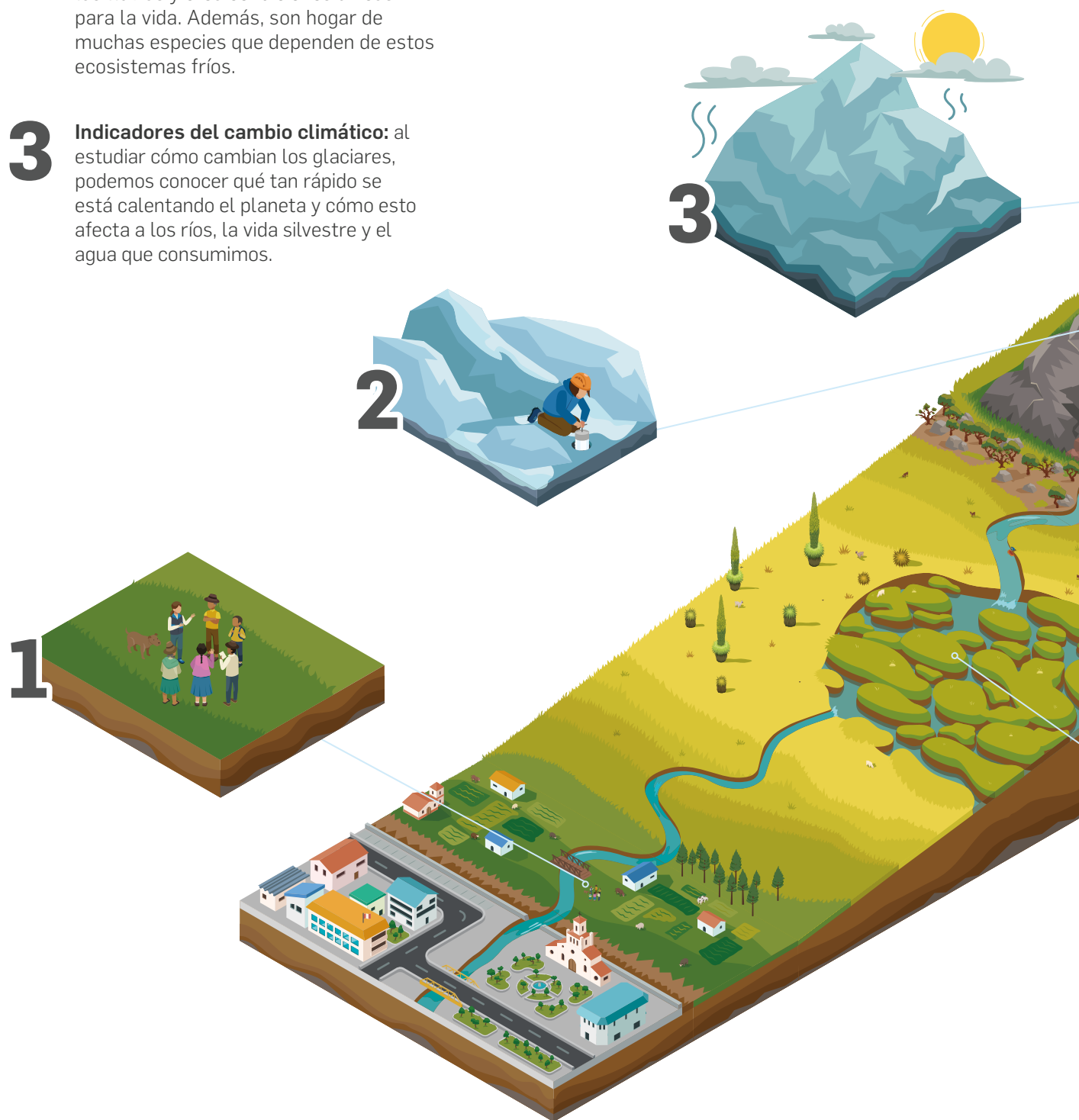


Figura 20. Importancia de los glaciares

**5 Reservas de agua dulce:** los glaciares son gigantes depósitos de agua congelada y constituyen una fuente crucial de agua en regiones áridas. Cuando se derriten poco a poco, liberan agua que alimenta ríos y lagos, incluso en épocas de sequía. Esto es vital para actividades como la agricultura, la producción de energía hidroeléctrica y el consumo humano.

**6 Atractivo turístico:** los glaciares atraen a miles de visitantes cada año. Su belleza natural invita a realizar actividades como el senderismo y la escalada, lo que genera ingresos y empleos para la población local.



**7 Sustento de la biodiversidad:** los glaciares desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la vida en la Tierra. Se calcula que aproximadamente el 50% de las regiones del mundo con una alta concentración de especies de flora y fauna se ubican en las cuencas hidrográficas alimentadas por glaciares, las que a su vez albergan hasta un tercio de la diversidad total de especies terrestres del planeta.

SECCIÓN 4

# EL RETROCESO GLACIAR Y SUS CAUSAS



## 4. EL RETROCESO GLACIAR Y SUS CAUSAS

### 4.1. RETROCESO GLACIAR

Se denomina retroceso glaciar a la pérdida de cobertura glaciar debido a la fusión del hielo. Se puede medir en cuanto a perímetro, área, espesor y volumen de la masa glaciar. Algunos científicos estiman el retroceso en función del ascenso de la línea de nieve permanente (nivel por encima del cual la nieve se mantiene a lo largo de todo el año) a altitudes cada vez mayores, hasta desaparecer por completo (Figura 21) (Gil, 2012).

El retroceso glaciar depende de muchas variables, siendo las climáticas las más relevantes. Otros factores, como el sustrato rocoso, la topografía y la ubicación geográfica y altitudinal, actúan de manera complementaria (Ceballos & Tobon, 2007).



**Figura 21. Evidencia del retroceso en el glaciar Yanamarey**

Fuente: UGRH - ANA, 2018

El estudio de la dinámica de cambio en el volumen y el área de cobertura de la masa glaciar se realiza mediante el monitoreo glaciar, que puede realizarse de forma directa (mediciones en campo) o indirecta (mediante el uso de imágenes satelitales o de dron) (Figuras 22 y 23). El monitoreo directo se realiza a través del levantamiento topográfico y la instalación de una red de balizas o estacas de medición insertadas en diferentes puntos del glaciar. En la zona de acumulación, se excavan pozos donde se mide la cantidad de nieve acumulada entre el inicio y el fin del año hidrológico.

Por su parte, el monitoreo indirecto mediante imágenes satelitales o de dron permite abarcar una mayor superficie de áreas glaciares, además de facilitar el monitoreo en zonas de difícil acceso.

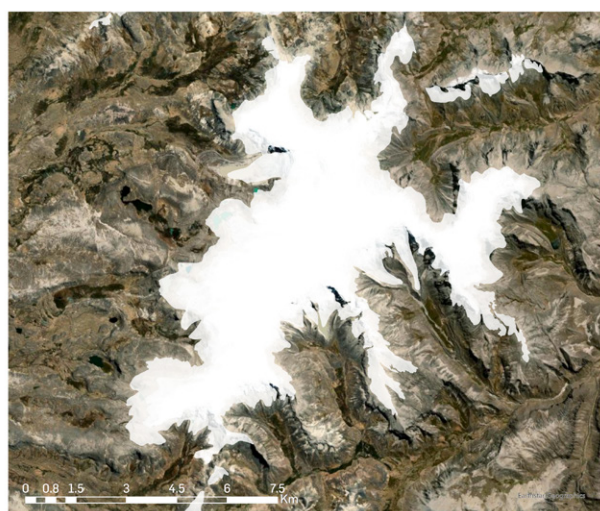


Figura 22. Monitoreo directo: a) perforación para instalación de baliza b) baliza instalada, c) excavación de pozo de acumulación, d) medición de densidad de nieve en calicata

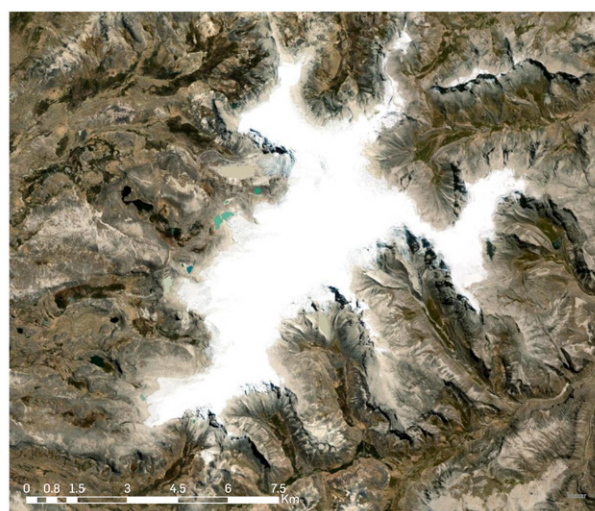
Fotografías a, b y c: Luzmila Dávila

Fotografía d: Andrés Rivera

Fuente: Rivera et al., 2017



1988



2023

Figura 23. Monitoreo indirecto: uso de imágenes satelitales del sistema glaciar Quelccaya

## 4.2. FACTORES DEL RETROCESO EN GLACIARES TROPICALES

Los glaciares tropicales están desapareciendo rápidamente a nivel mundial por el cambio climático. En Venezuela han desaparecido en su totalidad en los últimos años. En África, Nueva Guinea y México están al borde de la extinción (Veettil & Kamp, 2019).

Los glaciares tropicales son especialmente sensibles por varias razones. En primer lugar, la región tropical es una de las más calurosas del planeta por lo que el derretimiento glaciar ocurre durante todo el año (Rabatel et al., 2013). Además, las nevadas son escasas, dificultando la acumulación de nieve en los glaciares. Asimismo, debido a su ubicación geográfica, están sometidos a mayores niveles de radiación que los hace más susceptibles a un acelerado derretimiento (Figura 15) (Chevallier et al., 2011; Kaser & Osmaston, 2002).

La altitud es otro factor importante que condiciona la sensibilidad de los glaciares tropicales al cambio climático. Dado que la altitud de la línea de equilibrio (ELA) se encuentra generalmente por encima de los 5000 m s. n. m., los glaciares que no posean grandes áreas por encima de este nivel se encuentran fuertemente desbalanceados y en peligro de extinción en un futuro cercano (Comunidad Andina, 2007). La mayoría de los glaciares tropicales son bastante pequeños y se encuentran a menor altitud, por lo que parecen estar irreversiblemente en camino a desaparecer en las próximas décadas (Rabatel et al., 2013).

Estas condiciones incrementan la sensibilidad de los glaciares frente a perturbaciones en las precipitaciones, la temperatura y humedad atmosférica (Veettil & Kamp, 2019; Thompson et al., 2021). De este modo, si las precipitaciones sólidas y la nubosidad disminuyen, el derretimiento glaciar se incrementará (Francou et al., 2014).

## 4.3. CAMBIO CLIMÁTICO Y EL DESHIELO DE LOS GLACIARES

El cambio climático se define como la alteración en el estado del clima, evidenciada por un cambio en el valor promedio de sus propiedades y/o en la variabilidad de estas, que persiste durante un período prolongado, generalmente por décadas o por períodos más largos (IPCC, 2013). Asimismo, el cambio climático es responsable del incremento en la intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos a nivel global (INAIGEM, 2023a).

Los efectos más notables del cambio climático sobre los glaciares se manifiestan en el rápido retroceso de sus márgenes, el adelgazamiento del espesor del hielo y la elevación de la línea de equilibrio (Rabassa, 2011). Como se mencionó anteriormente, los glaciares tropicales son extremadamente sensibles a pequeñas modificaciones en variables climáticas, tales como la precipitación, la temperatura, la humedad relativa, la nubosidad, la intensidad de la radiación solar y la ocurrencia de eventos climáticos importantes, como los fenómenos El Niño/La Niña (Ramírez, 2008).

En los Andes, el retroceso de los glaciares empezó al final de la Pequeña Edad de Hielo (Francou et al., 2003; Arroyo et al., 2015). Sin embargo, fue a partir de mediados de los años setenta e inicios de los ochenta cuando los glaciares andinos comenzaron a derretirse a velocidades fuera de lo normal, especialmente en altitudes más bajas (UNESCO, 2009; Ramírez, 2008; IPCC, 2001; Veettil & Kamp, 2019).

Se estima que, entre 1939 a 2006, la temperatura aumentó alrededor de 0,7 °C, con una tasa de incremento cercana a 0,10 - 0,11 °C por década (Vuille et al., 2008). Paralelamente, en este mismo periodo, el retroceso glaciar se aceleró, evidenciándose en una disminución de más de la mitad, tanto en superficie como en volumen (UNESCO, 2009). Algunas proyecciones para finales de este siglo indican un aumento global promedio de temperatura entre 1,4 °C y 5,8 °C. Se considera que un incremento de temperatura de 4 °C podría eliminar prácticamente todos los glaciares de la Tierra (UNESCO, 2009; IPCC, 2001).

El retroceso glaciar, intensificado por el cambio climático, traerá repercusiones negativas en las siguientes décadas. La escasez hídrica y el incremento del riesgo de desastres son algunas de las más preocupantes. En muchas zonas de alta montaña, se prevé que la pérdida de la criósfera, que incluye los glaciares, reducirá aún más la estabilidad de las laderas, mientras que el número y la superficie de lagunas glaciares continuará en aumento. Asimismo, se estima que, para finales del año 2100, la escorrentía de las cuencas podría verse reducida en un 10 % o más durante las temporadas secas en zonas de montaña (IPCC, 2019).

## 4.4. ANOMALÍAS CLIMÁTICAS

Una de las características del clima de la región Andina es la presencia de anomalías climáticas derivadas de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) (UNESCO, 2009). El ENSO repercute de manera determinante en las ganancias y pérdidas de masa glaciar a lo largo del tiempo. Los años con presencia de El Niño se relacionan con la pérdida de masa glaciar, en la que se evidencia una reducción en la acumulación de nieve (Vuille et al., 2008; Francou et al., 2014; Bustamante, 2018). Mientras que, durante los eventos de La Niña, no se evidencian pérdidas e incluso puede registrarse un ligero incremento en la masa glaciar (Wagnon, et al., 2001; Ramirez et al., 2001; Vuille et al., 2008; Arroyo et al., 2015).

Los eventos de La Niña se caracterizan por temperaturas más frías, mayores cantidades de nieve, mayor nubosidad y vientos más constantes. Estos factores aumentan el albedo y, por lo tanto, reducen el derretimiento en la superficie del glaciar (Vuille et al., 2008; Rabatel et al., 2013). Eventos fríos como el de La Niña pueden restaurar parte de la masa de hielo, pero solo en glaciares con grandes áreas de acumulación ubicadas por encima de los 5400 m s. n. m. Los glaciares pequeños no recuperan masa, solo reducen su déficit durante estos eventos fríos (Comunidad Andina, 2007).

Por otro lado, el impacto de El Niño se debe principalmente al aumento de la temperatura del aire en el Pacífico Occidental en ciertos años, lo que favorece las lluvias antes que las nevadas (UNESCO, 2009). Durante la ocurrencia de El Niño, las precipitaciones en las zonas glaciares disminuyen, lo que se traduce en nevadas débiles, esporádicas e insuficientes para mantener un alto albedo de los glaciares. Además, las velocidades del viento son bajas y la cobertura de nubes disminuye (Vuille et al., 2008). Estas condiciones intensifican la pérdida de masa glaciar (SENAMHI, 2005).

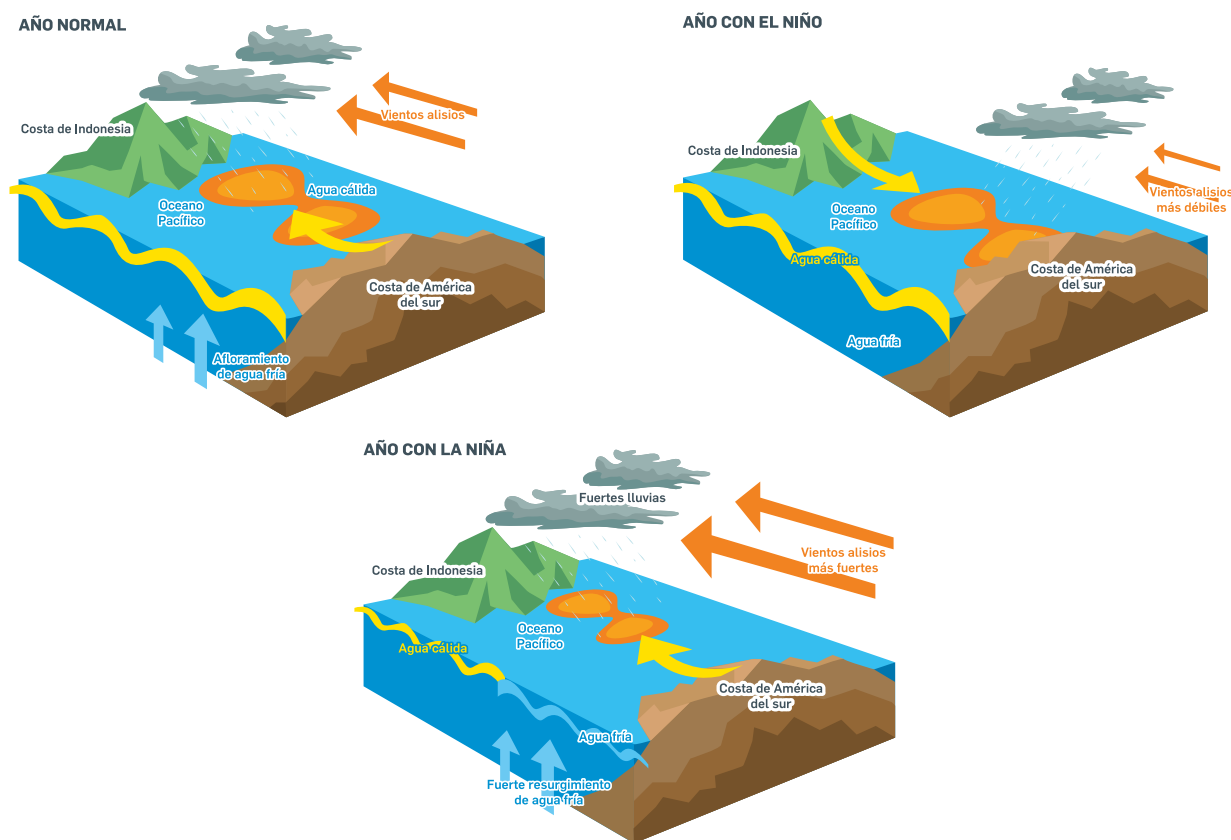


Figura 24. a) año normal, b) año Niño, c) año Niña

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), en los últimos cinco siglos se han registrado alrededor de 120 episodios de El Niño. Durante el siglo XX, hasta El Niño de 1997/1998, se observaron alrededor de 25 eventos de diferente intensidad (SENAMHI, 2014). De acuerdo con el Índice del Niño Oceánico de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA), en lo que va del siglo XXI se han identificado cuatro episodios de El Niño de diferente intensidad en el Pacífico central, en los años 2003, 2005, 2007 y 2010. Mientras tanto, un evento menos intenso, denominado Niño Costero, se manifestó durante el año 2017 (Bustamante, 2018).

Se ha observado que el retroceso acelerado de los glaciares tropicales comenzó al mismo tiempo que un aumento drástico en la temperatura global después de 1976 (Trenberth et al., 2007). Este fenómeno produjo un calentamiento en el Pacífico y otras regiones tropicales. Por lo tanto, se puede suponer que la mayor frecuencia y el cambio en la ocurrencia espacial y temporal de El Niño desde finales de los años setenta, junto con un calentamiento de la atmósfera sobre los Andes tropicales, explican gran parte de la reciente y dramática reducción de los glaciares en esta parte del mundo (Rabatel et al., 2013).

## 4.5. CARBONO NEGRO

Otro factor que contribuye a la pérdida de glaciares es el aumento de las partículas absorbentes de luz (PAL), que según su naturaleza pueden ser carbonosas (carbono negro, carbono marrón, algas de nieve y crioconita) y no carbonosas (polvo mineral) (Di Mauro, et al. 2021). Las PAL pueden provenir de fuentes naturales (erupciones volcánicas) o antrópicas (combustión incompleta) (Sánchez & Schmitt, 2018). Estas partículas, transportadas por el viento desde su fuente de origen, terminan depositándose en la superficie de los glaciares (Bond et al., 2013). Al oscurecerse, la superficie del glaciar experimenta un mayor derretimiento de nieve y hielo debido a la disminución del albedo (Figura 25 y 26).

### EL ALBEDO

Es la fracción de la radiación solar que es reflejada por una superficie o un objeto, a menudo se expresa como un porcentaje. Superficies de color claro (como los cubiertos por la nieve y el hielo) tienen un alto albedo; superficies oscuras (como suelos oscuros, la vegetación y los océanos) tienen un albedo bajo.

Fuente: USEPA, 2012; INAIGEM, 2018a

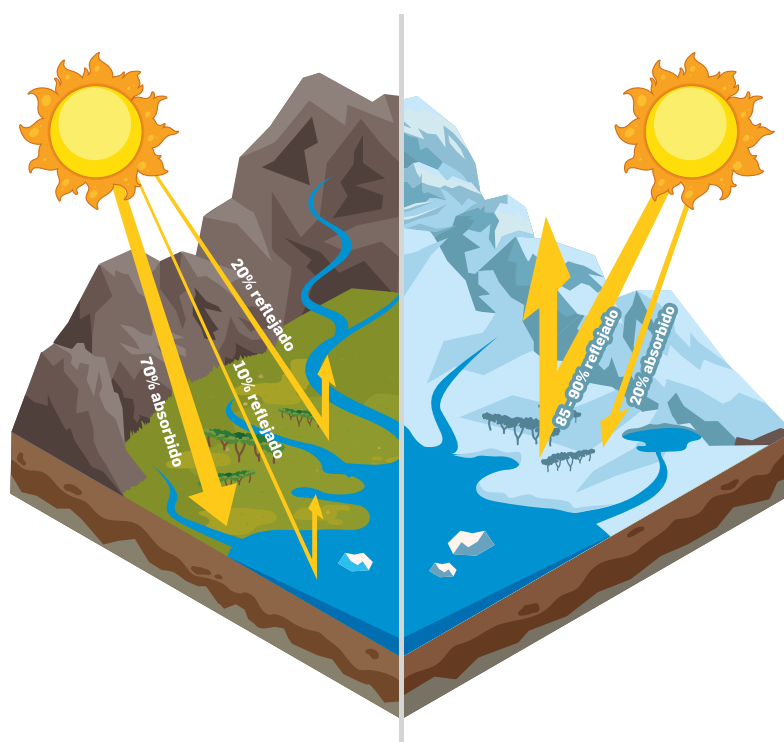


Figura 25. Albedo de las superficies con nieve y sin nieve

La mayor parte del polvo de la atmósfera proviene de los desiertos (Bond et al., 2013), mientras que cantidades más pequeñas se originan en áreas urbanas y rurales, principalmente del tráfico vehicular, la minería y la agricultura, además del aporte por la resuspensión de partículas del suelo adyacente (Di Mauro, et al. 2021; Bond et al., 2013; Gilardoni et al., 2022). Aunque el polvo absorbe menos energía que el carbono negro, su impacto es significativo debido a su abundancia (Bond et al., 2013). Estudios recientes han demostrado que la cantidad de polvo en la atmósfera se ha duplicado durante el siglo XX (Mahowald, 2010), probablemente como consecuencia de la sequía inducida por el cambio climático, el manejo antropogénico del suelo y el aumento de la actividad minera en zonas de montaña (Cisternas, 2023).

Respecto a las partículas carbonosas, las crioconitas son perforaciones de color oscuro y distintos tamaños que se forman en determinados puntos de la superficie glaciar debido a la acumulación de PALs, lo que favorece el derretimiento de la nieve (INAIGEM, 2023b). De manera similar, las algas de nieve, al producir diferentes pigmentos que las protegen de la luz (de color púrpura o marrón), contribuyen a la absorción de la luz solar (Di Mauro, et al. 2021). Por su parte, el carbono marrón, al igual que el carbono negro, se produce durante la quema de biomasa, aunque también puede formarse en la atmósfera mediante reacciones químicas (Bond et al., 2013).



**Figura 26. Presencia de partículas absorbentes de luz sobre la superficie glaciar**

Fotografía: Luzmila Dávila

El componente más importante de este conjunto de partículas absorbentes de luz es el carbono negro, que, al depositarse sobre la superficie de los glaciares, impacta directamente en el albedo de la nieve (Gilardoni et al., 2022; INAIGEM, 2023a). Se sabe que las superficies glaciares sin contaminación reflejan aproximadamente el 86 % de la energía solar hacia el espacio. Sin embargo, las partículas de carbono negro absorben una fracción importante de esa energía y la convierten en calor.

El efecto del carbono negro sobre el albedo de la nieve es tan importante que se presume que podría ser el responsable de una cuarta parte del calentamiento global que se observa en la actualidad (INAIGEM, 2018a), debido a la pérdida de las superficies reflectantes de los glaciares. De hecho, un aumento en la deposición de carbono negro después de la Revolución Industrial se ha relacionado con la reducción de la criósfera global y los consecuentes impactos climáticos (IPCC, 2013; Qian et al., 2015; Bolaño, 2019). Por este motivo, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático considera al carbono negro como el segundo mayor contribuyente al calentamiento global, después del dióxido de carbono (IPCC, 2007; INAIGEM, 2018a).

El carbono negro se genera durante la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa, y se emite directamente a la atmósfera en forma de partículas finas, cuya permanencia en esta es de días o semanas (INAIGEM, 2018a). Gran parte de las concentraciones de carbono negro en la atmósfera se deben a las actividades humanas, destacando el uso de motores diésel, la industria, combustibles sólidos domiciliarios, incendios forestales y la quema a cielo abierto de residuos agrícolas (Figura 27) (Bond et al., 2013; INAIGEM, 2018a).

Presencia de carbono negro en los glaciares, asociado a los incendios forestales y fuentes antropogénicas en los Andes del Perú

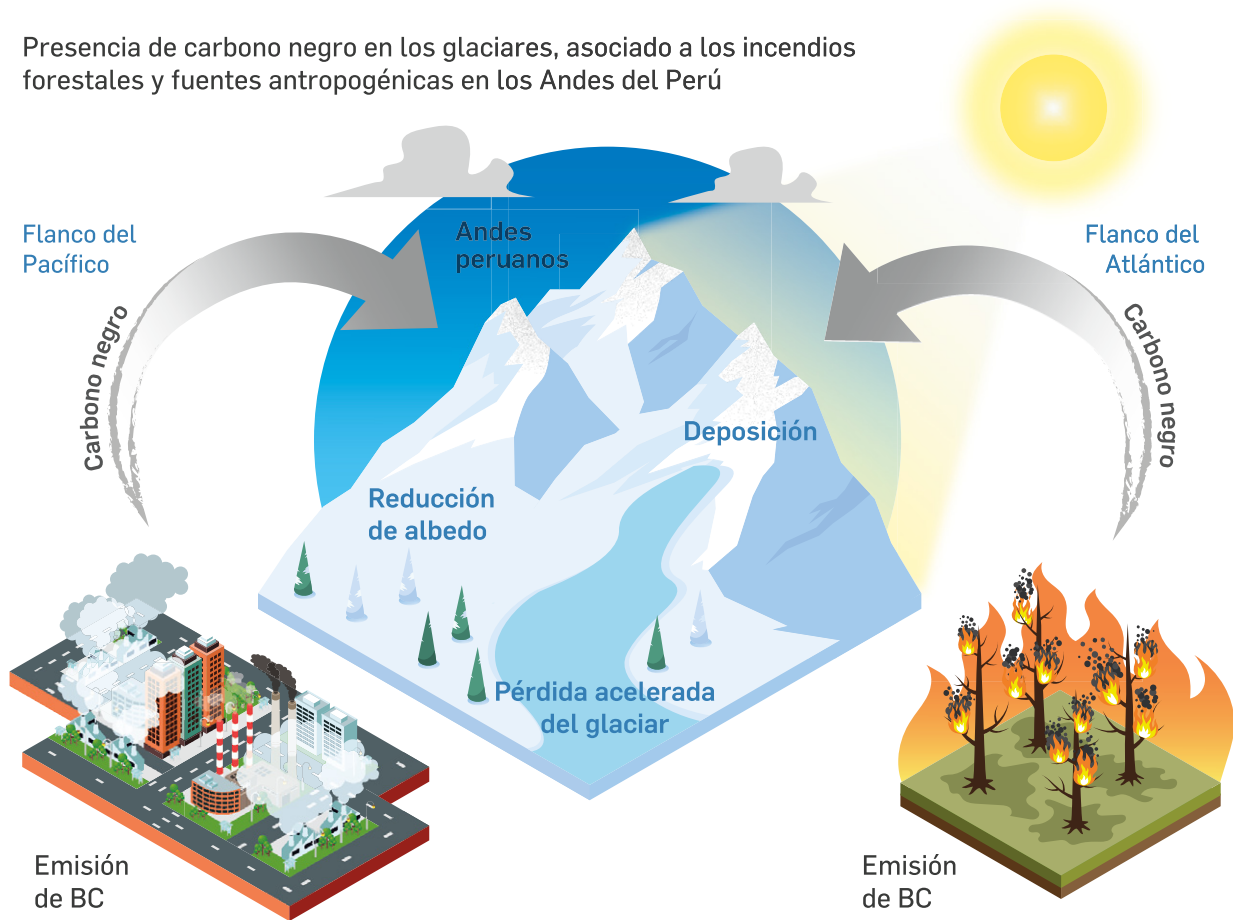


Figura 27. Principales fuentes de emisión de carbono negro e incidencia sobre los glaciares en el contexto regional

Fuente: INAIGEM, 2023b

En los trópicos, las fuentes de carbono negro pueden ser locales o transportados desde largas distancias por acción de los vientos predominantes e influenciados por la estación del año (INAIGEM, 2018a). En la Cordillera Blanca se ha encontrado que las altas concentraciones de partículas absorbentes de luz sobre los glaciares están asociadas con la proximidad de las zonas urbanas (Schmitt et al., 2015; INAIGEM, 2023b). Estas concentraciones ocurren principalmente durante el periodo de invierno y primavera, correspondiente a la época de estiaje (Schmitt et al., 2015; INAIGEM, 2018a; Torres et al., 2018; Soto Carrión et al., 2021).

A escala regional, los glaciares de los Andes peruanos reciben PAL transportadas desde ambos flancos de la cordillera: el flanco del Pacífico, asociado con industrias y actividades antropogénicas desarrolladas en las ciudades costeras, y el flanco del Atlántico, relacionado con incendios forestales que se producen en la cuenca Amazónica y que emiten grandes cantidades de aerosoles carbónicos (Molina et al., 2015; INAIGEM, 2023b).



SECCIÓN 5

**RETROCESO GLACIAR EN  
LOS ANDES PERUANOS  
EN 58 AÑOS**

## 5. RETROCESO GLACIAR EN LOS ANDES PERUANOS EN 58 AÑOS

Hace varios miles de años, un tercio de la superficie de la Tierra estaba cubierta por extensos glaciares. En la actualidad solo quedan relictos distribuidos alrededor del mundo. Los glaciares que persisten se encuentran bajo condiciones naturales y antrópicas adversas que han provocado un calentamiento progresivo del planeta, reduciendo su cantidad y superficie (IDEAM, 2012).

Los glaciares tropicales han experimentado un retroceso acelerado en las últimas décadas. Esta pérdida se ha intensificado considerablemente en la segunda mitad del siglo XX, especialmente después de 1976. Se puede decir que a finales de la década del setenta se produjo un punto de inflexión, a partir del cual los glaciares comenzaron a disminuir notoriamente. Muchos de ellos, los más vulnerables, han desaparecido (Cisternas, 2023; Francou et al., 2014). El monitoreo continuo de los glaciares peruanos ha permitido documentar la drástica reducción de su superficie en las últimas seis décadas. Si bien este estudio presenta un análisis detallado de la evolución histórica del retroceso glaciar, es fundamental considerar la información más reciente del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar 2023 (INAIGEM, 2023), el cual proporciona una actualización del estado de los glaciares peruanos.

### 5.1. INVENTARIOS DE GLACIARES A NIVEL NACIONAL

En Perú, los diversos inventarios de glaciares desarrollados muestran una disminución general de la superficie glaciar. El primer Inventario Nacional de Glaciares, elaborado a partir de fotografías aéreas tomadas entre 1955 y 1962, fue publicado en 1989 por Hidrandina S. A., y reportó una extensión glaciar total de 2 041,9 km<sup>2</sup> para el ámbito de 18 cordilleras nevadas. Sin embargo, debido a la presencia de nubes, algunas áreas glaciares no pudieron ser analizadas. Ante esta limitación, en 2016, el INAIGEM, empleando imágenes satelitales Landsat principalmente del año 1975, logró identificar un área adicional de 357,2 km<sup>2</sup> en las zonas de incertidumbre. De esta forma, se estimó que la superficie glaciar total en el año 1962 era de 2399,1 km<sup>2</sup>.

Entre 1997 y 1998, el Instituto Andino de Glaciología y Geoambiente (INAGGA), por encargo del Consejo Nacional del Ambiente, realizó el segundo Inventario de Glaciares del Perú, estimando un área aproximada de 1595,6 km<sup>2</sup> (INAGGA, 1997). En 2006, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) inició el tercer Inventario Nacional de Glaciares, tomando como base imágenes de satélite Spot5, Aster, LISS III y Landsat, recopiladas entre el 2001 y 2010. Los resultados de este inventario determinaron una extensión glaciar de 1298,6 km<sup>2</sup> (INAIGEM, 2018b).

En 2020, el INAIGEM publicó el cuarto Inventario Nacional de Glaciares, empleando para su elaboración imágenes satelitales Sentinel-2 del año 2016. Los resultados indicaron una extensión glaciar de 1118,1 km<sup>2</sup> en 18 cordilleras del país para ese año.

En 2023, el INAIGEM presentó la última actualización del Inventario Nacional de Glaciares, en la que se reportó una extensión glaciar de 1050,3 km<sup>2</sup>. Este inventario evidenció una reducción de 1348,8 km<sup>2</sup> de superficie glaciar en comparación con el primer inventario publicado en 1989; es decir, el Perú ha perdido, en aproximadamente 58 años, el 56,2 % de su área glaciar (INAIGEM, 2023a). Esta pérdida de superficie glaciar se ha estimado a nivel de cordillera, cuenca y departamento, utilizando como base los datos del inventario de glaciares de Hidrandina y el más reciente inventario del INAIGEM.



Figura 28. Inventarios de glaciares realizados a nivel nacional

## 5.2. RETROCESO GLACIAR POR CORDILLERAS

Las cordilleras glaciares de los Andes peruanos han retrocedido significativamente en las últimas seis décadas. Cordilleras como Blanca, Vilcanota y Vilcabamba han experimentado una pérdida considerable de superficie glaciar. En conjunto, la reducción en estas cordilleras (720,6 km²) representa más de la mitad de la superficie glaciar perdida a nivel nacional en 58 años (Cuadro 4). Por otro lado, en cordilleras como Chila, Chonta, La Raya, Huanzo, La Viuda, Huagoruncho y Huallanca, las pérdidas menores a 40 km² han significado una reducción de más del 75 % de su superficie glaciar (Figura 29 y Cuadro 4). Este hecho coloca a los glaciares de estas cordilleras en una situación de alta vulnerabilidad frente al cambio climático debido a su escasa cobertura.

En la Figura 29 se observan los porcentajes de retroceso de cada cordillera. En ella se evidencia que cinco cordilleras: Chila, Chonta, La Viuda, Huanzo y La Raya, han perdido más del 85 % de su cobertura reportada en el inventario de Hidrandina. La pérdida glaciar en estas cordilleras ha sido tan considerable que, al año 2020, ninguna supera los 4 km² de extensión, y en conjunto no alcanzan siquiera los 8 km² (Figura 69). En este contexto, y con base en los datos reportados durante las últimas décadas, es importante identificar cuáles cordilleras, con áreas glaciares reducidas (Figura 29), podrían perder la totalidad de su cobertura glaciar durante las siguientes décadas. Esto ya ha ocurrido con los glaciares libres y cubiertos de detritos de las cordilleras Volcánica y Barroso, que han desaparecido.

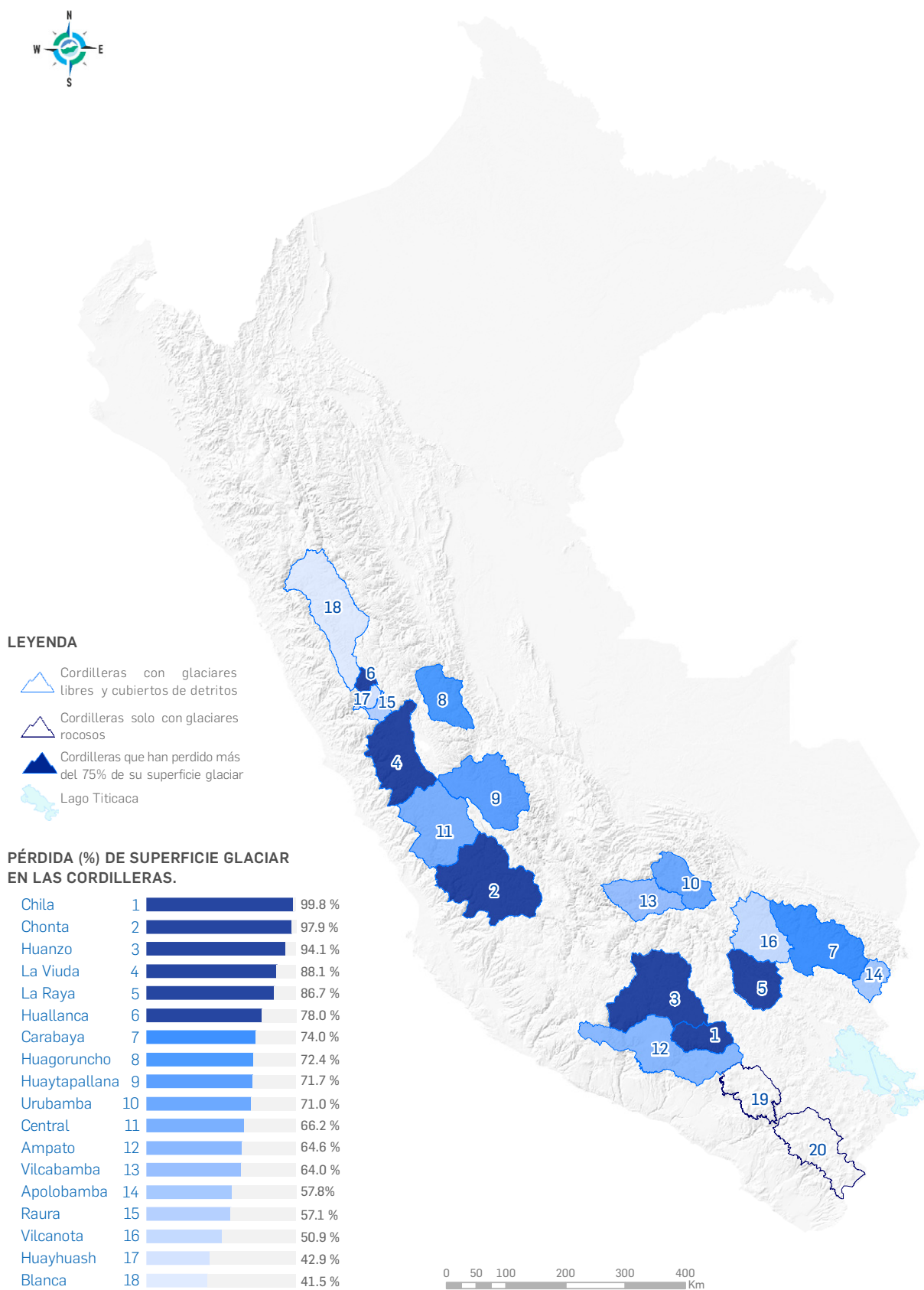


Figura 29. Porcentaje de reducción de la superficie glaciar en las cordilleras del Perú (1962-2020)

Mediante un cálculo sencillo del retroceso total entre el número de años transcurridos desde el año base del inventario de Hidrandina, se estima que las cordilleras glaciares pierden entre 0,7 % a 1,7 % de su área glaciar por año. En el caso de las cordilleras con extensa cobertura glaciar, como Blanca y Vilcanota, estas pierden en promedio cerca de 5 km<sup>2</sup> por año (Cuadro 4). Si bien la estimación del retroceso glaciar es muy compleja, ya que implica el análisis de muchos factores que intervienen en la dinámica glaciar, datos como los presentados en el Cuadro 4 pueden darnos un indicio de cómo podrían evolucionar las coberturas glaciares de las cordilleras en un corto plazo.

**Cuadro 4. Retroceso anual promedio de la superficie glaciar**

| Cordillera    | Año base         | Área en 1962 (km <sup>2</sup> ) | Área perdida al 2020 (km <sup>2</sup> ) | Pérdida anual promedio (km <sup>2</sup> ) | Pérdida anual en porcentaje (%) |
|---------------|------------------|---------------------------------|---|---|---------------------------------|
| Blanca        | 1962             | 726,3                           | 301,4                                   | 5,2                                       | 0,7                             |
| Huallanca     | 1962             | 21,1                            | 16,4                                    | 0,3                                       | 1,3                             |
| Huayhuash     | 1962             | 86,9                            | 37,3                                    | 0,6                                       | 0,7                             |
| Raura         | 1962             | 55,3                            | 31,6                                    | 0,5                                       | 1                               |
| Huagoruncho   | 1962             | 23,7                            | 17,2                                    | 0,3                                       | 1,2                             |
| La Viuda      | 1962             | 28,6                            | 25,2                                    | 0,4                                       | 1,5                             |
| Central       | 1962             | 117,2                           | 77,6                                    | 1,3                                       | 1,1                             |
| Huaytapallana | 1962             | 68,1                            | 48,8                                    | 0,8                                       | 1,2                             |
| Chonta        | 1962             | 17,9                            | 17,5                                    | 0,3                                       | 1,7                             |
| Ampato        | 1955             | 146,7                           | 94,8                                    | 1,5                                       | 1                               |
| Vilcabamba    | 1962             | 261,5                           | 167,4                                   | 2,9                                       | 1,1                             |
| Urubamba      | 1962             | 76,2                            | 54,1                                    | 0,9                                       | 1,2                             |
| Huanzo        | 1955             | 39,3                            | 37,0                                    | 0,6                                       | 1,4                             |
| Chila         | 1955             | 33,9                            | 33,8                                    | 0,5                                       | 1,5                             |
| La Raya       | 1962             | 11,3                            | 9,8                                     | 0,2                                       | 1,5                             |
| Vilcanota     | 1962             | 495,1                           | 251,8                                   | 4,3                                       | 0,9                             |
| Carabaya      | 1962             | 107,2                           | 79,3                                    | 1,4                                       | 1,3                             |
| Apolobamba    | 1962             | 83,1                            | 48,0                                    | 0,8                                       | 1                               |
| <b>Total</b>  | <b>1955/1962</b> | <b>2399,1</b>                   | <b>1348,8</b>                           | <b>23,3</b>                               | <b>1</b>                        |

Considerando los datos de altitud mínima de los glaciares (cota más baja que alcanza el glaciar) inventariados por Hidrandina y el INAIGEM, se calculó el cambio promedio de elevación para cada una de las 18 cordilleras (Figura 30). De estos cálculos se desprende que el retroceso altitudinal más drástico se ha registrado en las cordilleras Ampato (403 m) y Chila (247 m), que representan alrededor de 6 m y 4 m de elevación por año, respectivamente. Mientras que, en cordilleras como Huanzo (84 m) y Blanca (89 m), la cota mínima se ha elevado a una tasa menor, cercana a 1,5 m por año.

La elevación de la altitud mínima de los glaciares genera cambios tanto en su topografía como en su accesibilidad. A medida que los glaciares se retraen hacia altitudes más elevadas, su acceso se tornará cada vez más difícil y peligroso, lo que impacta en las actividades turísticas y científicas.

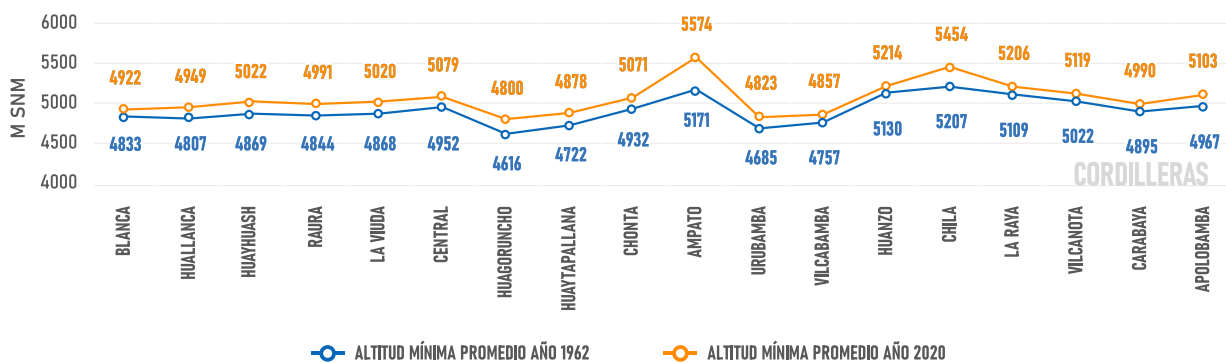


Figura 30. Cambio de altitud mínima de la superficie glaciar en las cordilleras del Perú

La orientación de los glaciares se refiere a la dirección hacia la que apuntan las laderas con presencia de glaciar, lo cual está estrechamente relacionado con la cantidad de radiación solar que reciben. En este sentido, la orientación de un glaciar desempeña un papel determinante en su dinámica y retroceso. Así lo demuestra el análisis de los cambios de orientación predominante realizado, según el cual las superficies glaciares cuya orientación predominante era hacia el noroeste (13 %), norte (9 %) y noreste (14,4 %) en 1962, han desaparecido prácticamente en la actualidad. Esto se debe a que las laderas orientadas hacia el norte en el hemisferio sur reciben mayor radiación solar, lo que hace que su superficie glaciar sea más propensa a derretirse. Por el contrario, los glaciares con orientación predominante al sur, en el hemisferio sur, reciben menos radiación solar, lo que les permite mantener su masa por más tiempo.

Además, las condiciones climáticas locales, como la temperatura y la nubosidad, que varían entre la mañana y la tarde, generan diferencias entre las laderas orientadas al este y al oeste. La Figura 31 muestra esta tendencia, en la que, al año 2020, la superficie glaciar predominante es aquella con orientación suroeste y sur.

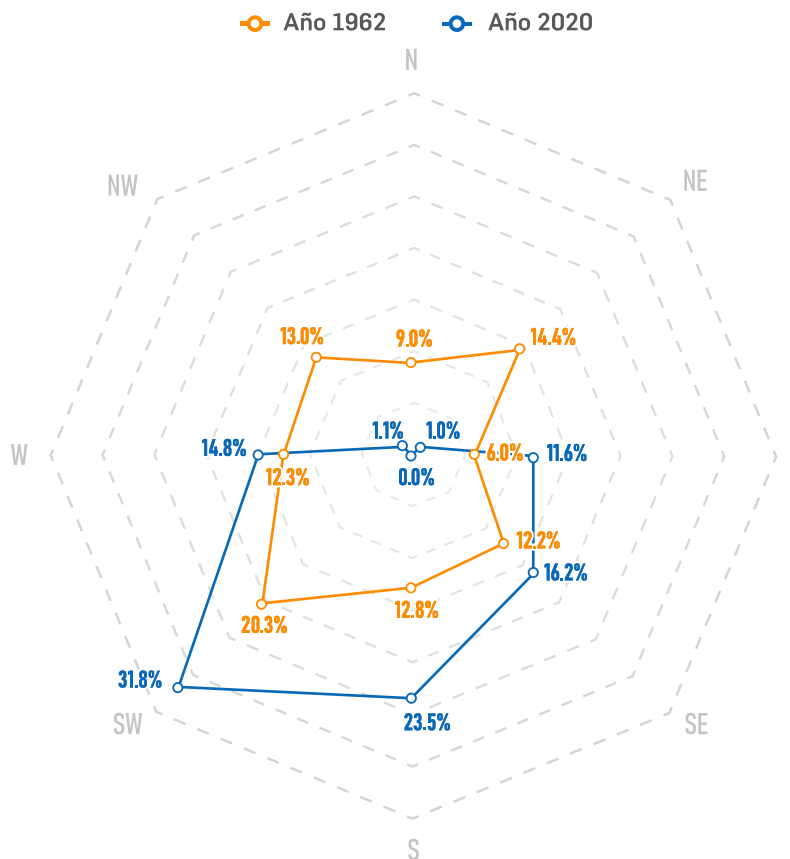


Figura 31. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar a nivel nacional

En cuanto a la pérdida de los glaciares libres y cubiertos con detritos en las cordilleras Volcánica y Barroso, se ha identificado que no había presencia de cobertura glaciar alrededor del año 1980 en la cordillera Volcánica ni en 1988 en la cordillera Barroso. En este sentido, la extinción de los glaciares en estas cordilleras podría remontarse a años anteriores a los mencionados (INAIGEM, 2018b).

Aunque ya no existen glaciares en estas cordilleras, se evidencian importantes eventos nivales que suelen confundirse con masas glaciares. Las fuertes nevadas que aún persisten en estas zonas constituyen una fuente importante de recurso hídrico que, aunque se mantiene solo durante un corto periodo de tiempo, regulan y proveen agua en estos ámbitos (INAIGEM, 2018b).

Asimismo, es importante destacar que, en la última actualización del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar, se ha reportado la existencia de glaciares de tipo rocosos (Cuadro 1), los que también representan importantes reservas hídricas en estas zonas del país.

### 5.3. RETROCESO GLACIAR POR CUENCA Y VERTIENTE

La cuenca del río Amazonas es la cuenca hidrográfica más grande del mundo; representa más de un tercio de la superficie del continente sudamericano y proporciona casi el 20 % de la descarga de agua dulce al océano (Calléde et al., 2010; Schoolmeester et al., 2018). Los glaciares de la cordillera oriental del Perú y Bolivia aportan su agua a la vertiente del Amazonas. Sin embargo, este aporte se viene reduciendo con rapidez a causa del retroceso glaciar. Tan solo en Perú, el aporte glaciar hacia la Amazonia se ha reducido en aproximadamente un 58 %.

Un caso similar se presenta en la vertiente del Pacífico, en la que se asienta la mayor parte de la población peruana, donde la superficie glaciar aportante ha disminuido un 52 %. Por otro lado, la pérdida de superficie glaciar más notable se evidencia en los glaciares que aportan a la vertiente del Titicaca, cuya superficie se ha reducido hasta en tres cuartas partes (Figura 32).

En 1962, los glaciares estaban presentes en 28 cuencas: 11 en la vertiente del Amazonas, 14 en la vertiente del Pacífico y tres en la vertiente del Titicaca. De acuerdo con el último inventario del INAIGEM, cuatro de estas cuencas: Pampas, Lurín, Pisco y San Juan- han perdido la totalidad de su superficie glaciar. En tanto, cuencas como Pachitea, Perené, Camaná, Chillón, Chilca-Vitor-Chilli, Rímac, Azángaro y Pucará perdieron más del 75 % de su superficie (Figura 33).

En la misma línea, la Figura 33 muestra las pérdidas en kilómetros cuadrados de superficie glaciar, en comparación con la superficie glaciar existente en el año 1962, en ella destacan las cuencas del Santa (vertiente del Pacífico) y Urubamba (vertiente del Atlántico)(cuencas con mayor superficie glaciar en el año 1962), que han sufrido pérdidas cercanas a los 200 km<sup>2</sup> y 300 km<sup>2</sup> de superficie, respectivamente. Por otro lado, varias de las cuencas que contaban con áreas menores a 10 km<sup>2</sup>, se encuentran actualmente en condición vulnerable o incluso ya han desaparecido.

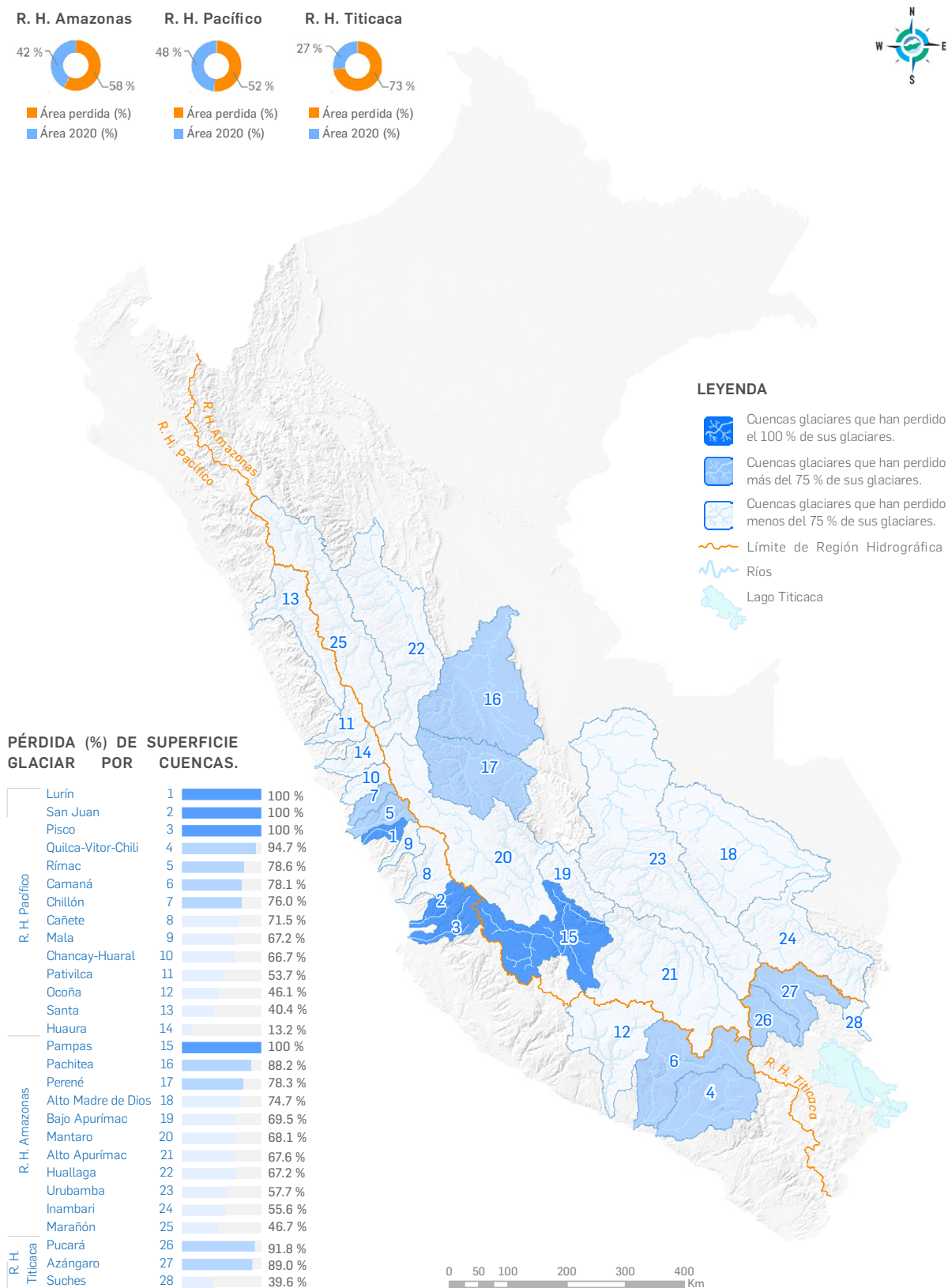


Figura 32. Porcentaje de reducción de la superficie glaciar por vertiente y cuenca (1962-2020)

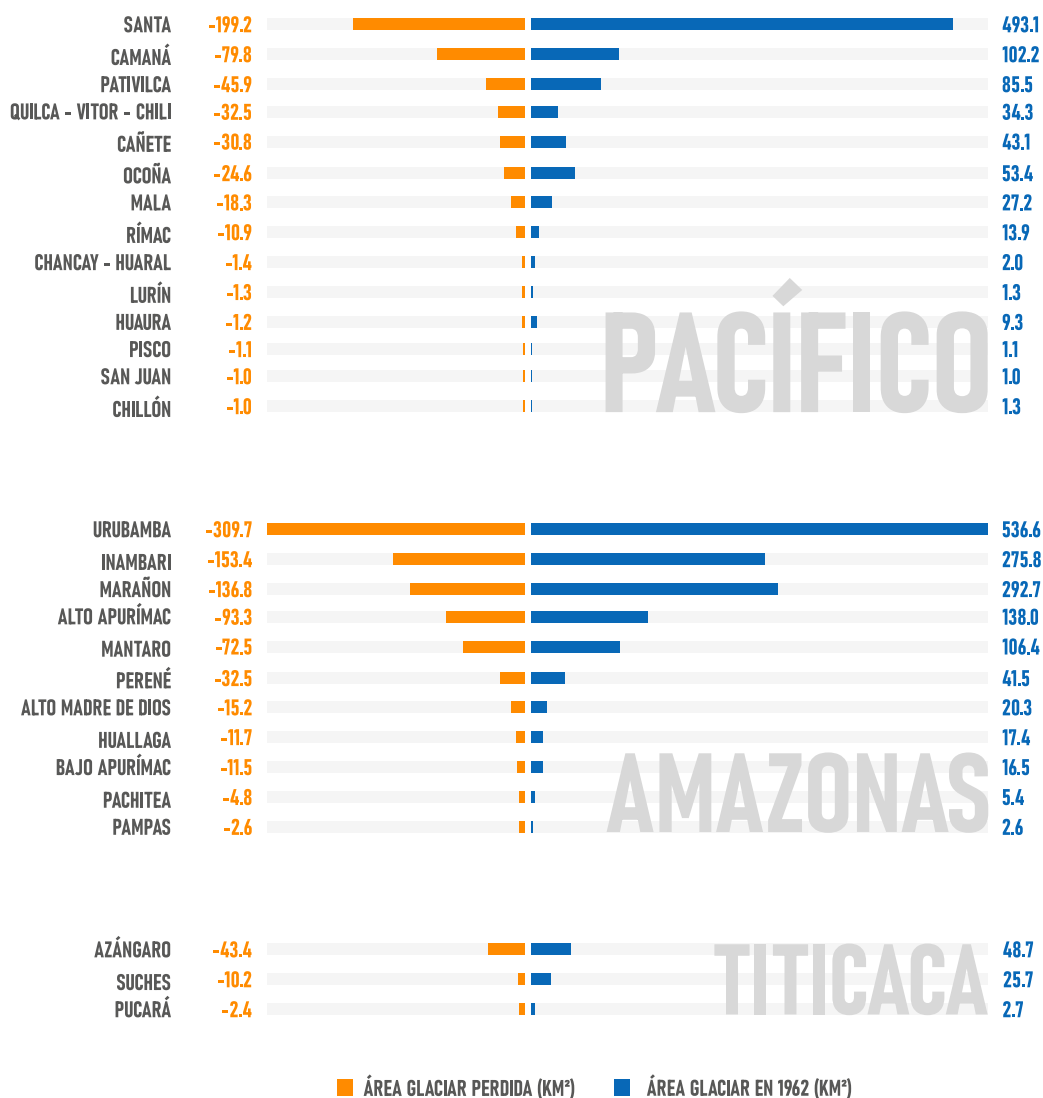


Figura 33. Reducción de la superficie glaciar por vertiente y cuenca (1962-2020)

### 5.4. RETROCESO GLACIAR POR DEPARTAMENTO

A nivel de departamentos, los resultados indican que, entre 1962 y 2020, Ayacucho fue el primero en quedarse sin cobertura glaciar. En 2010, se reportó la existencia de siete glaciares con una superficie total de 0,8 km² dentro de los límites del departamento de Ayacucho, específicamente en las provincias de Parinacochas y Paúcar del Sara Sara (ANA, 2014). Sin embargo, en 2016, de acuerdo con el análisis realizado por el INAIGEM, dicha cobertura glaciar había desaparecido en su totalidad.

Otros dos departamentos que han registrado pérdidas considerables de superficie glaciar son Huancavelica y Apurímac, con un 99 % y 91 %, respectivamente (Figura 34). Este dato, sumado a la reducida superficie glaciar actual de estos departamentos (Cuadro 7), indica que serían los próximos en quedarse sin cobertura glaciar en un corto plazo.

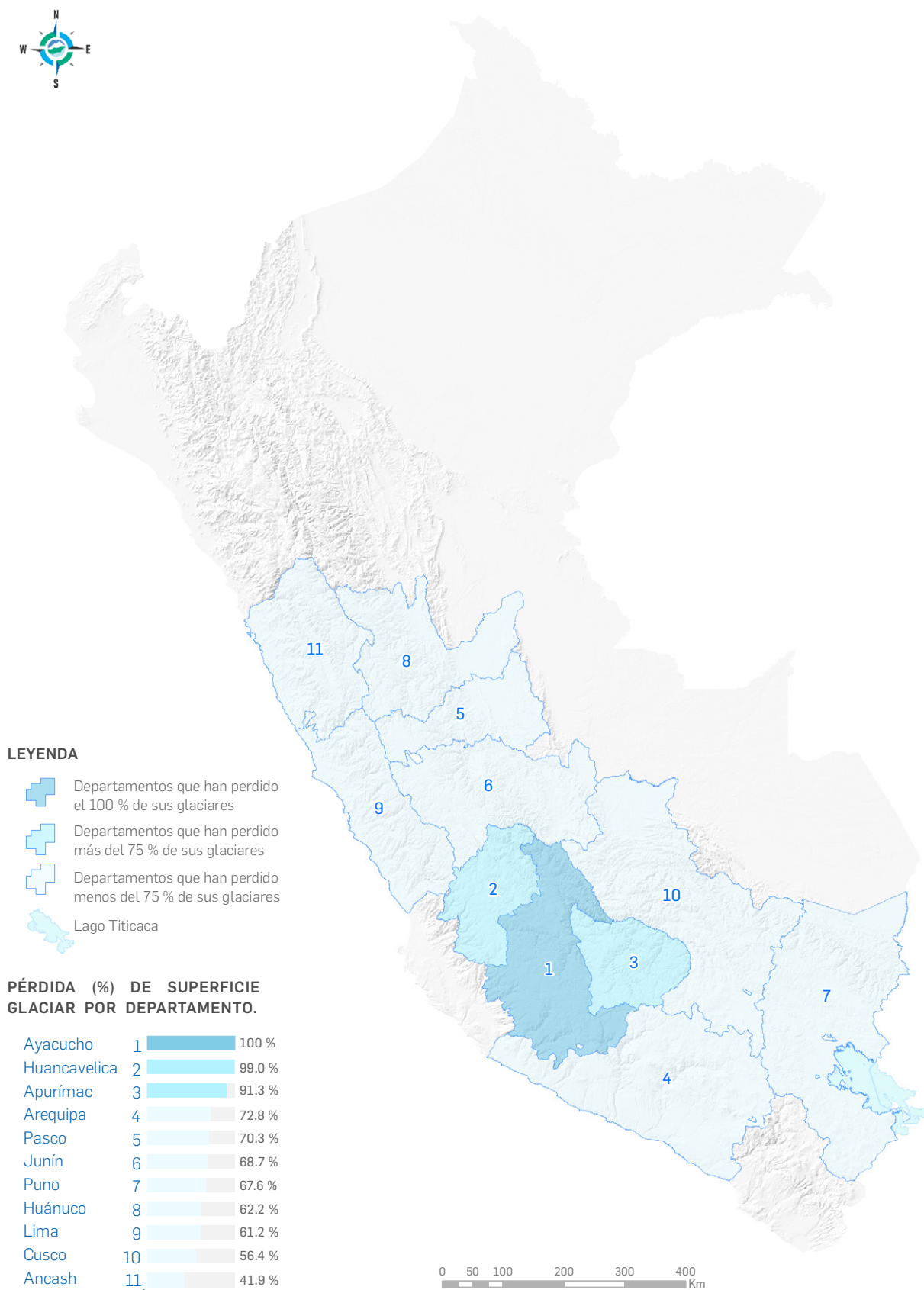


Figura 34. Porcentaje de reducción de la superficie glaciar por departamento (1962-2020)

Por otro lado, si bien el porcentaje de superficie glaciar perdido en algunos departamentos, como Áncash y Cusco, se percibe como menor en comparación a otros, resulta igual de preocupante mencionar que Áncash y Cusco han perdido 441,6 km<sup>2</sup> y 318,3 km<sup>2</sup> de su superficie glaciar, respectivamente (Figuras 34 y 35). En la misma línea, la Figura 35 muestra la superficie glaciar perdida en cada departamento, en comparación con la superficie existente en el año 1962. Estas pérdidas evidencian la dramática situación que atraviesan los glaciares en nuestro país.

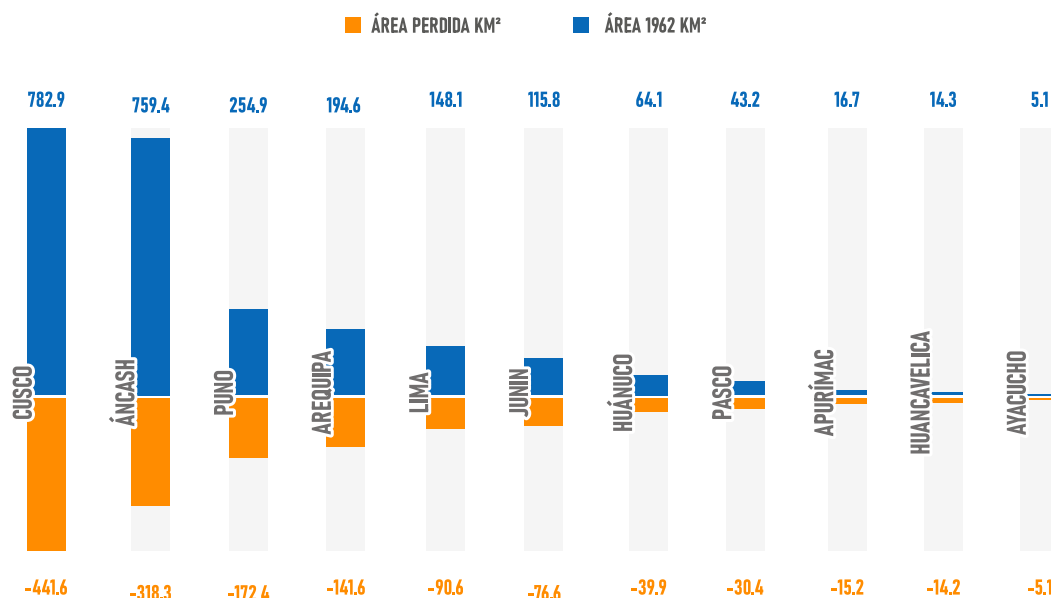
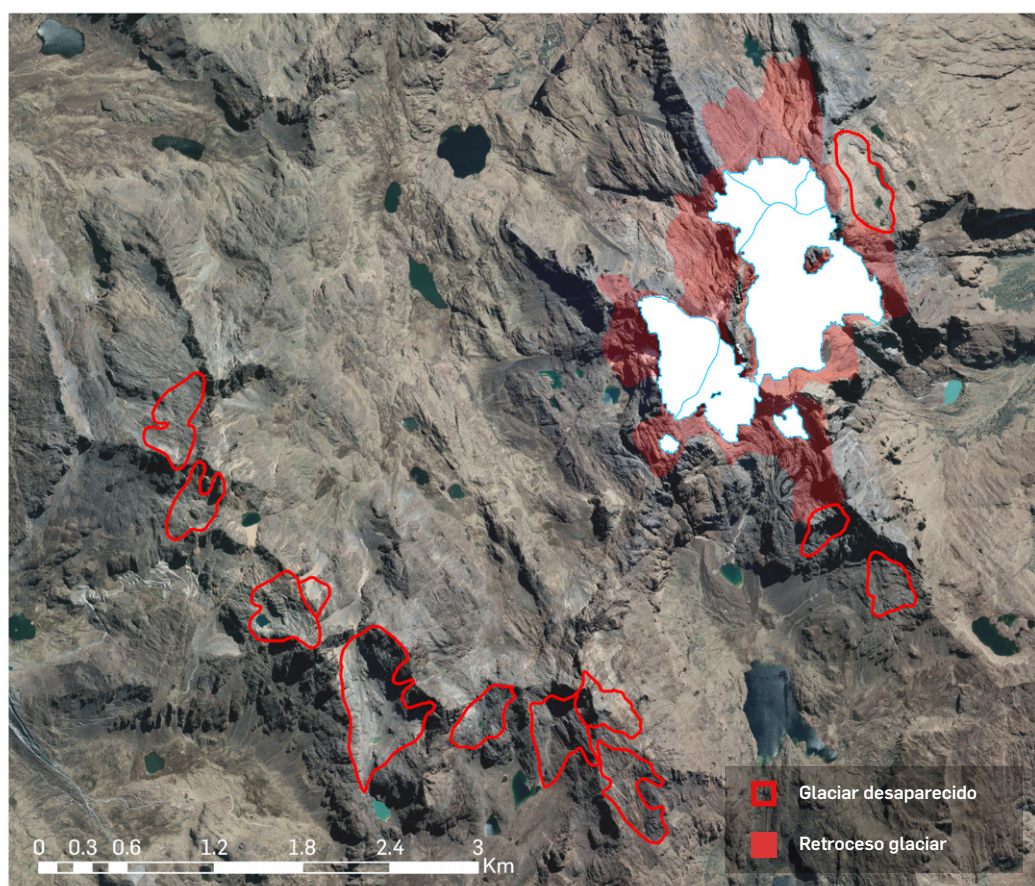


Figura 35. Reducción de la superficie glaciar por departamentos (1962-2020)

## 5.5. DESAPARICIÓN DE GLACIARES POR CORDILLERA

El aumento de la temperatura terrestre ha sido, sin duda, la causa principal del derretimiento de los glaciares. Este incremento, sumado a la disminución de la precipitación sólida necesaria para mantener las masas de hielo, ha generado la pérdida irreparable de numerosos glaciares en las cordilleras de nuestro país.

Por tratarse de desapariciones recientes, en algunas ocasiones, la nieve depositada sobre las montañas durante las épocas lluviosas del año suele confundirse con la presencia de glaciares. Sin embargo, se trata únicamente de una superficie de nieve no consolidada que no puede catalogarse como glaciar, ya que no cumple con el proceso de acumulación y compactación suficiente para convertirse en hielo (IDEAM, 2012). Estas superficies permanecen durante cortos periodos -de algunos meses, días o incluso horas- y luego desaparecen. Por ello, un seguimiento permanente del estado de los glaciares, como el que se realiza por medio de los inventarios nacionales, resulta fundamental para darnos la certeza de la permanencia o desaparición de los glaciares.



**Figura 36. Ejemplo de glaciares desaparecidos mediante imagen satelital Google Earth del año 2019 - cordillera Huaytapallana**

Los resultados del inventario de 1962, incluidos los correspondientes reanálisis realizados por el INAIGEM (Figura 28), indican que en el Perú existieron 3487 glaciares hace casi seis décadas. Una revisión detallada de estos datos, en comparación con los reportados en el reciente inventario también elaborado por el INAIGEM, ha permitido identificar la cantidad total de glaciares que han desaparecido hasta el año 2020, cifra que asciende a 1514. Es decir, hemos perdido 1514 glaciares que ya no contribuyen al aporte hídrico de las cuencas ni a la regulación de caudales.

**Cuadro 5. Tamaños máximo y promedio de los glaciares desaparecidos por cordillera**

| Cordillera    | Tamaño máximo (km <sup>2</sup> ) | Tamaño promedio (km <sup>2</sup> ) | Cordillera  | Tamaño máximo (km <sup>2</sup> ) | Tamaño promedio (km <sup>2</sup> ) |
|---------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Blanca        | 0,9                              | 0,1                                | Vilcabamba  | 1,2                              | 0,2                                |
| Vilcanota     | 1,0                              | 0,4                                | Ampato      | 3,3                              | 0,6                                |
| Carabaya      | 1,0                              | 0,2                                | Apolobamba  | 0,8                              | 0,2                                |
| Central       | 1,2                              | 0,2                                | Huagoruncho | 0,5                              | 0,1                                |
| Huanzo        | 1,0                              | 0,3                                | Huayhuash   | 0,6                              | 0,1                                |
| Huaytapallana | 0,6                              | 0,1                                | Urubamba    | 0,5                              | 0,2                                |
| Chonta        | 0,7                              | 0,2                                | Raura       | 0,8                              | 0,1                                |
| La Viuda      | 0,7                              | 0,1                                | Huallanca   | 0,6                              | 0,1                                |
| Chila         | 1,9                              | 0,4                                | La Raya     | 0,4                              | 0,1                                |

En la Figura 37 se observa que la Cordillera Blanca ha perdido la mayor cantidad de glaciares, todos ellos de pequeña magnitud (menores a 1 km<sup>2</sup>). Esta tendencia también se presenta en la mayoría de las cordilleras. No obstante, las cordilleras Ampato y Chila han perdido glaciares de tamaños superiores a un kilómetro (Cuadro 5). Ambas cordilleras se ubican en los trópicos exteriores secos, caracterizados por poseer un clima predominantemente seco y frío, donde los glaciares son altamente sensibles a las variaciones en la precipitación (Sagredo & Lowell, 2012).

En suma, los glaciares desaparecidos a lo largo de los Andes peruanos abarcan una superficie total de 336 km<sup>2</sup>, lo que representa casi el 25 % de la pérdida total de superficie glaciar a nivel nacional.

De continuar la tendencia de elevación de la temperatura, se estima que las cifras de pérdida en superficie, cantidad y volumen de glaciares seguirán en aumento, lo que traerá consigo una serie de consecuencias.

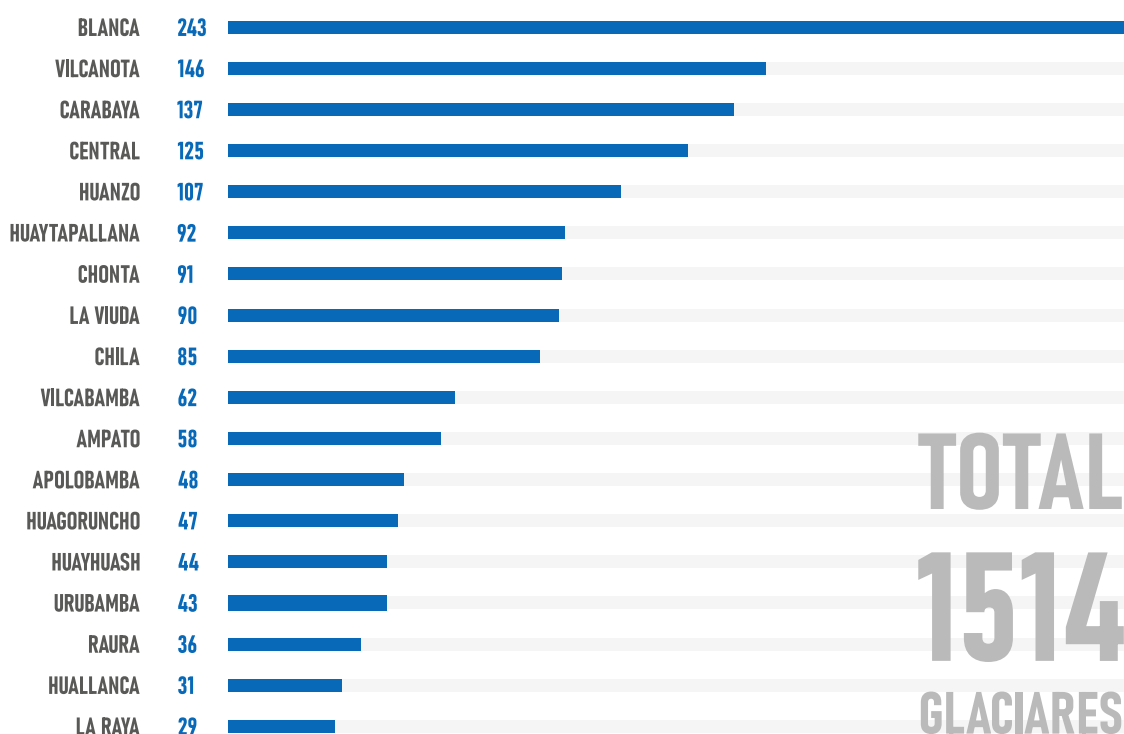


Figura 37. Número de glaciares desaparecidos por cordillera (1962-2020)

## 5.6. RETROCESO GLACIAR EN CASOS REPRESENTATIVOS DEL PERÚ

Esta sección presenta el retroceso glaciar en algunos de los nevados más representativos del Perú, seleccionados según criterios como tamaño, altitud máxima, antecedentes de desastre o riesgo de desastre, nivel de afectación por impacto antrópico, representatividad como icono cultural o religioso, entre otros aspectos particulares por los que destacan.

Se seleccionaron dos casos representativos para la zona norte (Huascarán y Queullaraju), dos para la zona centro (Huaytapallana y Pariacaca) y dos para la zona sur del país (Queelccaya y Coropuna).

El análisis se ha realizado a nivel de los sistemas glaciares existentes en 1962, debido a la interconexión que existe entre picos nevados, muchos de los cuales, en sus laderas y cotas más bajas suelen tener extensiones de masa glaciar en común. Por ello, suelen responder de manera similar a los factores condicionantes del entorno. Cada sistema glaciar lleva el nombre del nevado de mayor elevación.

### 5.6.1. Sistema glaciar Huascarán, Cordillera Blanca, Áncash

El sistema glaciar Huascarán se encuentra en la Cordillera Blanca, políticamente se ubica en el departamento de Áncash, provincias de Carhuaz y Yungay, y los distritos de Shilla, Mancos, Yanama y Yungay. Hidrográficamente, aporta a la cuenca del Marañón por medio de la subcuenca Yanamayo y a la cuenca del Santa a través de las subcuencas Buín, Mancos y Ranrahirca. Al 2020, este sistema poseía una superficie de 44,9 km<sup>2</sup>. El glaciar más grande es el Raimondi 1, con una superficie de 5,4 km<sup>2</sup>. De acuerdo con la carta nacional, presenta dos picos nevados: el Chopicalqui y Huascarán.

En 1962, se reportó una superficie glaciar de 65,6 km<sup>2</sup>, la cual, al año 2020 se ha reducido en un 31,6 %, lo que representa una pérdida de 20,7 km<sup>2</sup> de su superficie (Figura 38). Según el inventario de glaciares realizado en 1962, se perdieron cuatro glaciares y la altitud mínima pasó de 4201 m s. n. m. a 4231 m s. n. m. en 2020, lo que implica un ascenso de la altitud mínima de 30 metros en 58 años. Mientras que el retroceso lineal promedio en este sistema glaciar fue de 2,7 m/año, con un mínimo de 1,6 m/año y un máximo de 15,6 m/año.

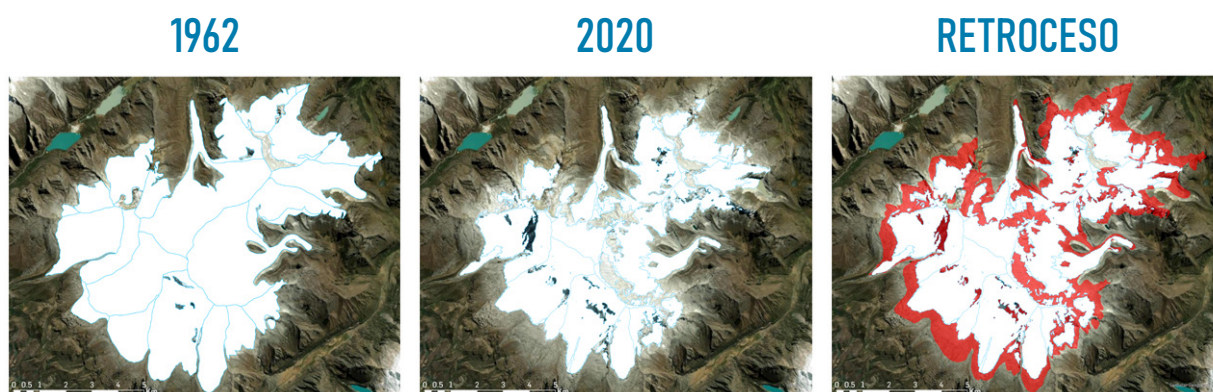


Figura 38. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Huascarán

Por otro lado, este sistema ha experimentado un cambio en las pendientes de la superficie de los glaciares que lo conforman: las pendientes muy escarpadas se incrementaron en un 26,6 %, lo cual evidencia que la cantidad de glaciares que podrían generar desprendimiento de hielo y avalanchas en este sistema glaciar, se han incrementado en las últimas seis décadas; mientras que las pendientes suavemente inclinadas disminuyeron en un 2,6 %, lo que indica que el acceso hacia estos glaciares se ha tornado más compleja (Figura 39). Asimismo, la orientación predominante pasó de suroeste en 1962 a sureste en 2020 (Figura 40), este cambio de orientaciones podría estar relacionado a factores particulares tales como cambios en la topografía, cambio en los patrones de acumulación de la nieve, entre otros factores que deben ser abordados en profundidad.

### HUASCARÁN

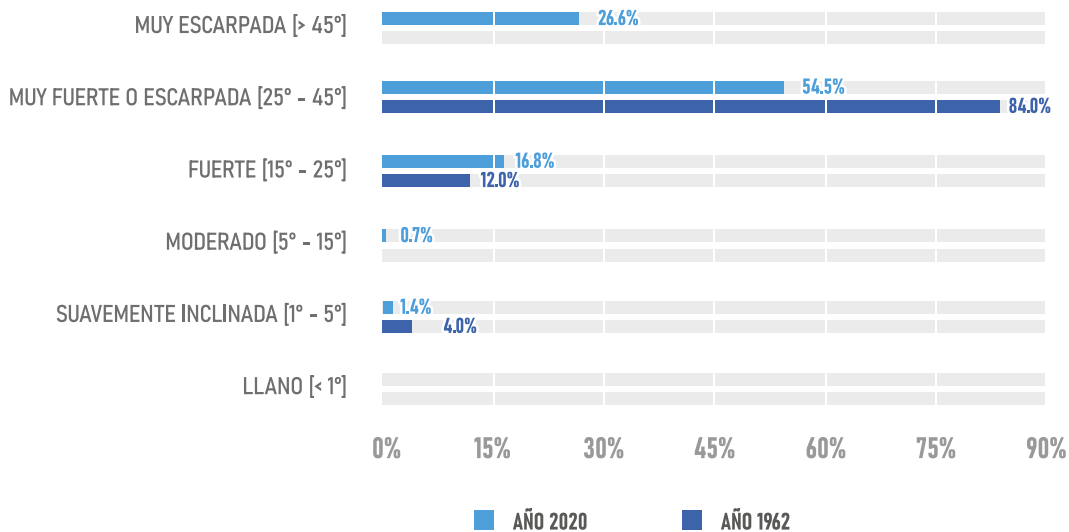


Figura 39. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar

# HUASCARÁN

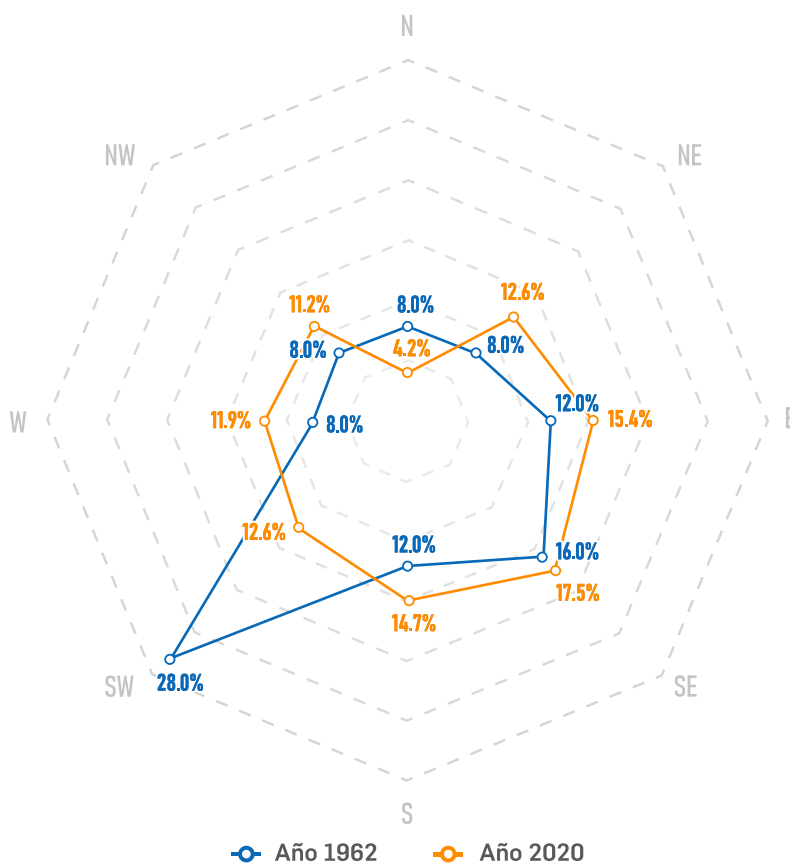


Figura 40. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar

El pico nevado más representativo es el Huascarán (Figura 41), con una altitud máxima de 6768 m s. n. m. en su pico Sur (GMT: 77° 36' 14.4" W 9° 07' 12" S). Es considerada la de mayor altitud de todas las cordilleras del Perú y de toda la zona tropical a nivel mundial.

El 31 de mayo de 1970, el pico norte del nevado Huascarán se vio afectado por un sismo que originó un movimiento de masa de gran escala y complejidad, arrastrando hielo y material morrénico hacia la parte baja del río Shacsha. Debido a la velocidad del transporte de material, la población de Yungay fue arrasada. (Evans, 2007).

Este evento marcó un hito en la gestión de emergencias en el Perú. Asimismo, el Huascarán ha sido escenario de avalanchas de considerable magnitud. Además del evento ocurrido en 1970, se han registrado otros en los años 1917 y 1962, en Ranrahirca (INAIGEM, 2018b).

A pesar de los eventos acontecidos, estas zonas, identificadas como altamente vulnerables, son aún utilizadas como asentamientos de población local. Esto podría estar asociado a que la percepción de peligro ha disminuido, ya que la mayor parte de la población actual no ha vivido la ocurrencia de un evento similar. A ello se suma la falta de planificación y regulación por parte de las autoridades, así como la necesidad de contar con un espacio cuyas demandas de inversión son bajas por tratarse de zonas altamente expuestas (Haller, 2010).



**Figura 41. Fotografía nevado Huascarán**  
Fotografía: Dickens Rondán

# SISTEMA GLACIAR HUASCARÁN

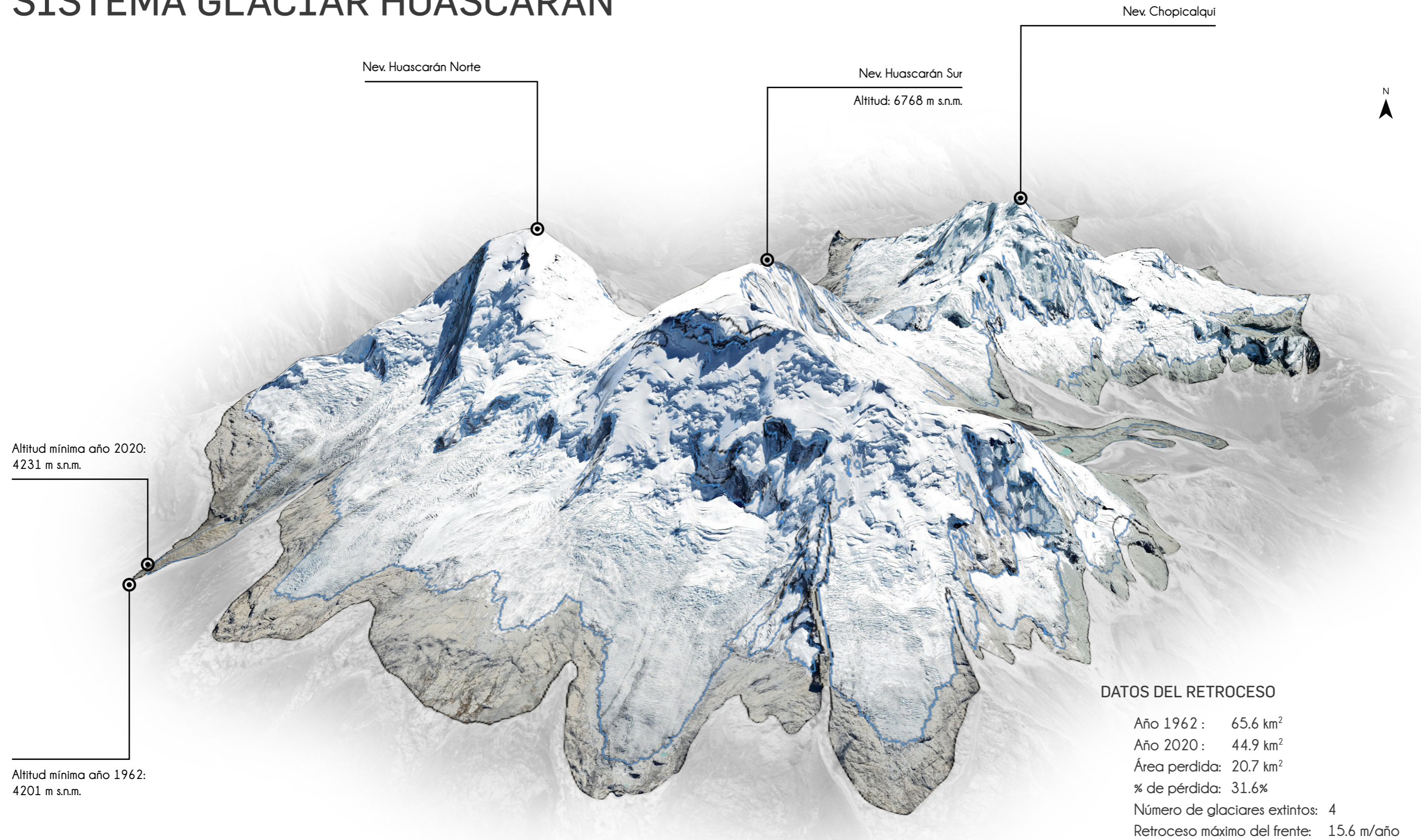


Figura 42. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Huascarán

## 5.6.2. Sistema glaciar Queullaraju, Cordillera Blanca, Áncash

El sistema glaciar Queullaraju se encuentra en la Cordillera Blanca. Políticamente, se ubica en el departamento de Áncash, en las provincias de Bolognesi y Recuay, y los distritos de Aquia y Cátac. Hidrográficamente, aporta a las cuencas Pativilca y Santa.

Al 2020, este sistema poseía una superficie de 11,0 km<sup>2</sup>. El glaciar más grande es el Queullaraju, con una superficie de 1,2 km<sup>2</sup>. De acuerdo con la carta nacional, este sistema presenta los siguientes picos nevados: Pastoruri, Jachahuina, Tucu, Santón, Huicsu, Condorjitanca, Minapata, Queullaraju, Jenhuaracra y Rajucutac.

En 1962, se reportó una superficie glaciar de 32,3 km<sup>2</sup>, la cual, para el año 2020 se redujo en un 68,9 %, lo que representa una pérdida de 21,3 km<sup>2</sup> (Figura 43). Según el inventario de glaciares realizado en 1962, se perdieron 25 glaciares y la altitud mínima pasó de 4601 m s. n. m. a 4628 m s. n. m. en el año 2020, lo que implica un ascenso de la altitud mínima de 27 metros en 58 años. Mientras que el retroceso lineal promedio en este sistema glaciar fue de 3,4 m/año, con un mínimo de 0,4 m/año y un máximo de 17,0 m/año.

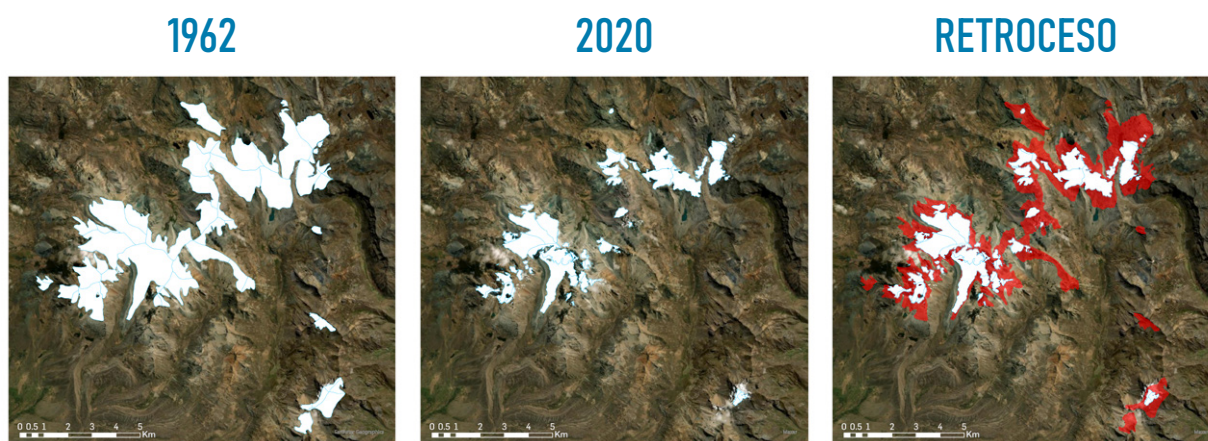


Figura 43. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Queullaraju

Este sistema ha experimentado un cambio en las pendientes de la superficie de los glaciares que lo conforman. Las pendientes muy escarpadas se incrementaron en un 8,2 %, mientras que las pendientes suavemente inclinadas disminuyeron en un 9,5 % (Figura 44). Estos cambios reflejan un incremento progresivo de las superficies glaciares con mayor susceptibilidad a generar desprendimientos o avalanchas, además de cambios en la accesibilidad de estos glaciares. Asimismo, la orientación predominante pasó de oeste en 1962 a suroeste en 2020 (Figura 45), este cambio de orientación podría estar relacionado a factores particulares tales como cambios en la topografía, cambio en los patrones de acumulación de la nieve, entre otros factores que deben ser abordados en profundidad.

El nevado más representativo es el Pastoruri, con una altitud de 5240 m s. n. m. (GTM: 77°11' 20.4"W 9° 55' 48"S) (Figura 47). Es considerado uno de los picos nevados más impactados por el cambio climático y probablemente influenciado por actividades turísticas no planificadas (Tarazona, 2013). En el año 1962, el nevado Pastoruri tenía una superficie de 20 km<sup>2</sup>, donde los turistas practicaban deportes extremos, llegando a atraer alrededor de 100 mil turistas al año (Infobae, 2022). Desde aquella época hasta la actualidad, la superficie glaciar se ha reducido en aproximadamente un 80 % (Figura 46).

### QUEULLARAJU

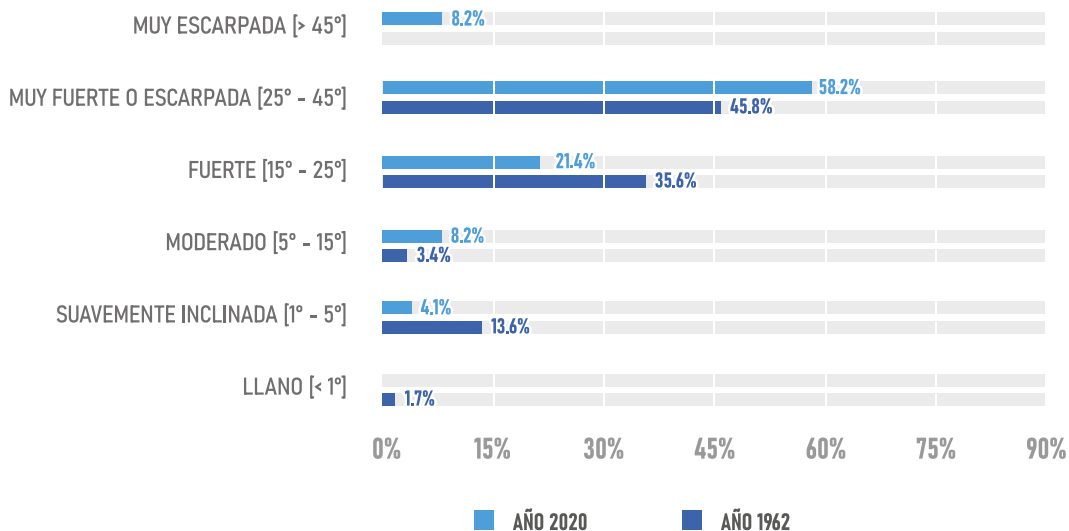


Figura 44. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar

# QUEULLARAJU

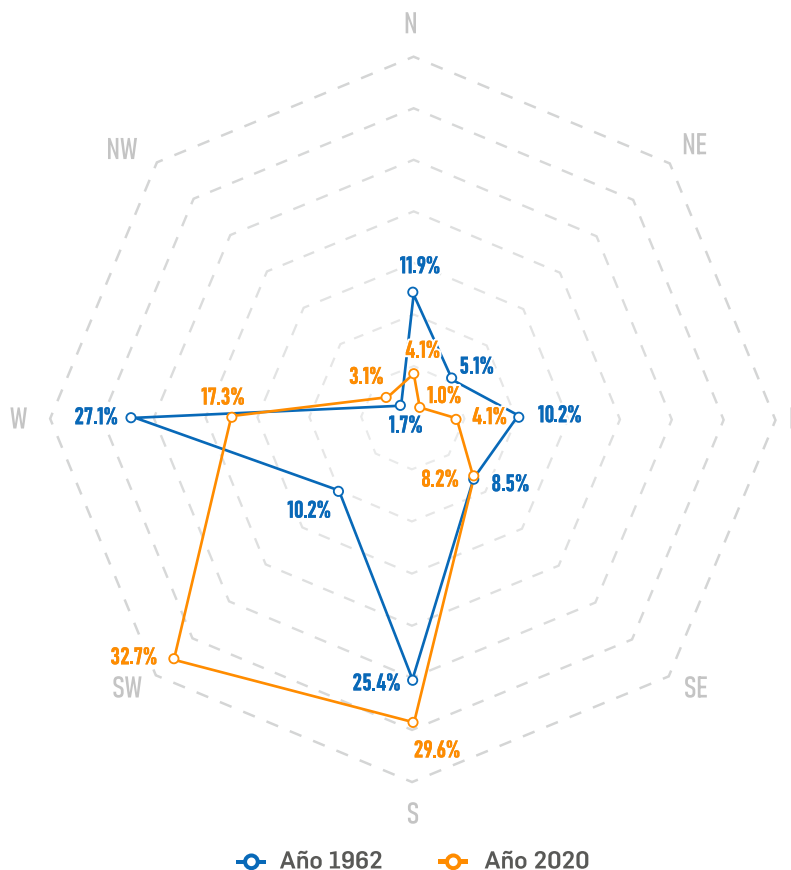


Figura 45. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar

Las visitas al nevado Pastoruri representan aproximadamente el 20 % de las recaudaciones del Parque Nacional Huascarán. Ante las evidencias del retroceso glaciar y los impactos del cambio climático, se estableció la iniciativa denominada Pastoruri, La Ruta del Cambio Climático, cuyo objetivo es promover la conservación y gestión de este espacio bajo un enfoque que integra la belleza natural y los desafíos frente al cambio climático. Esta iniciativa también busca promover el turismo sostenible (Escate & Talaverano, 2021).

## NEVADO PASTORURI

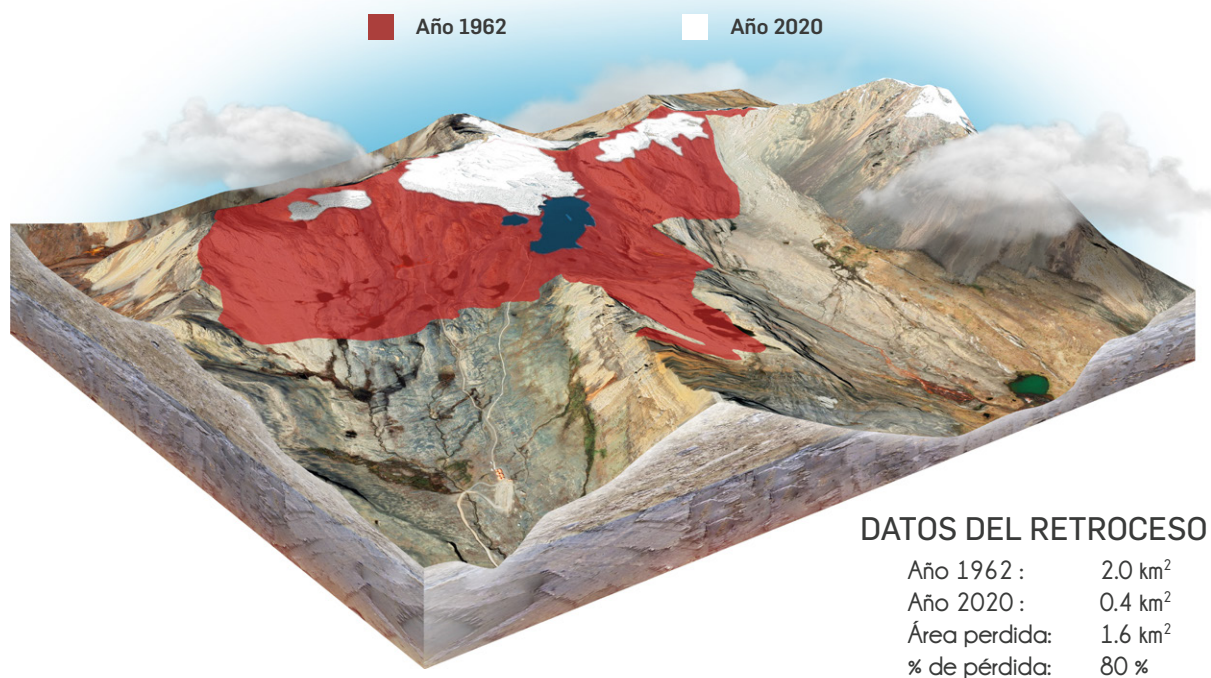
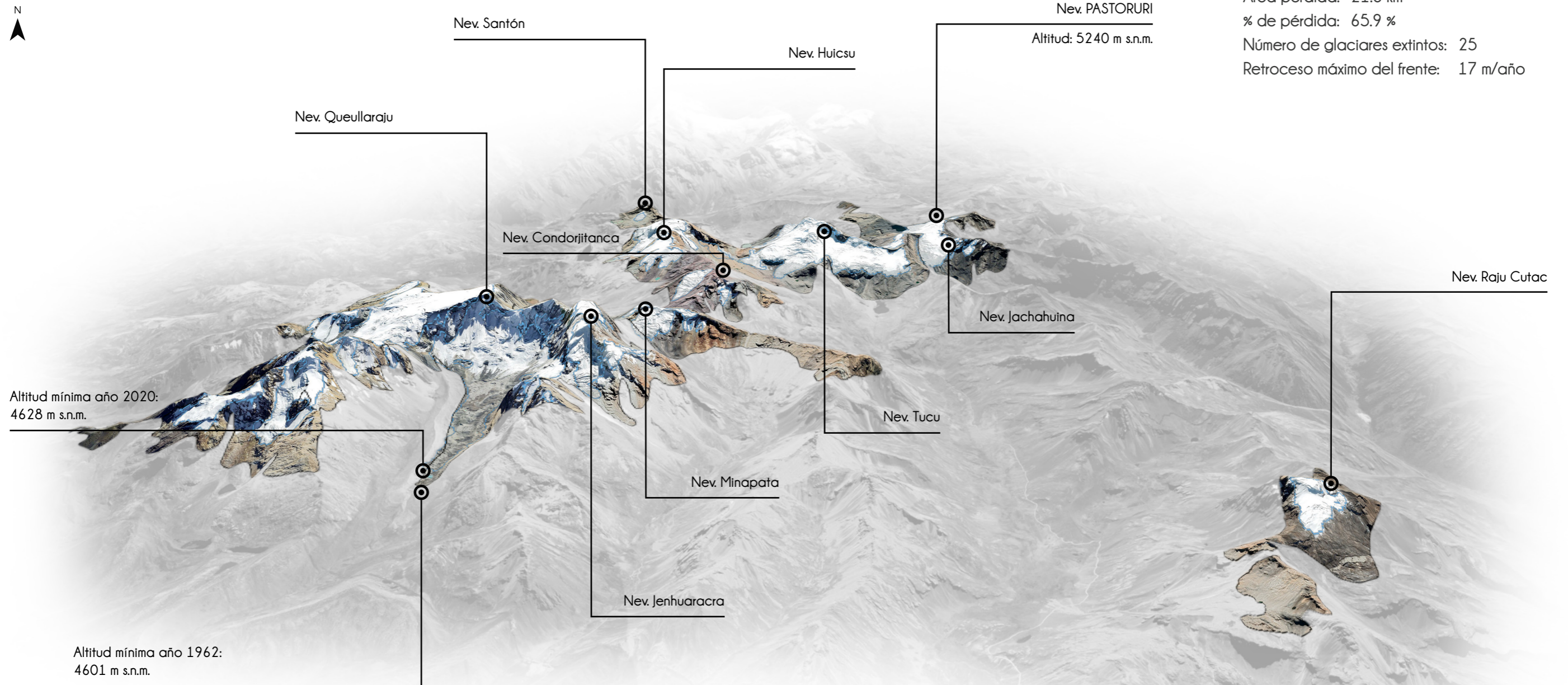


Figura 46. Pérdida de cobertura: nevado Pastoruri



Figura 47. Nevado Pastoruri  
Fotografía: Alexzander Santiago

# SISTEMA GLACIAR QUEULLARAJU



## DATOS DEL RETROCESO

Año 1962 : 32.3 km<sup>2</sup>  
Año 2020 : 11.02 km<sup>2</sup>  
Área perdida: 21.3 km<sup>2</sup>  
% de pérdida: 65.9 %  
Número de glaciares extintos: 25  
Retroceso máximo del frente: 17 m/año

Figura 48. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Queullaraju

### 5.6.3. Sistema glaciar Huaytapallana, cordillera Huaytapallana, Junín

El sistema glaciar Huaytapallana se encuentra en la cordillera del mismo nombre. Políticamente se ubica en el departamento de Junín, abarca las provincias de Huancayo y Concepción, y los distritos de Comas, El Tambo, Pariahuanca, Huancayo y Quilcas. Hidrográficamente, aporta a las cuencas Mantaro y Perené.

Al año 2020, este sistema poseía una superficie de 13,5 km<sup>2</sup> y su glaciar más grande una superficie de 2,2 km<sup>2</sup>. Según la carta nacional, este sistema incluye los siguientes picos nevados: Pacaco, Tello, Chuspi, Ventanilla, Anchigrande, Talves, Huaytapallana y Cochás, además de registrar la desaparición de la cobertura glaciar del nevado Putcacocha.

En 1962, se reportó una superficie glaciar de 57,6 km<sup>2</sup>, la cual para el año 2020, se redujo en un 76,6 %, lo que representa una pérdida de 44,2 km<sup>2</sup>. Según el inventario de glaciares realizado en 1962, se perdieron 23 glaciares y la altitud mínima pasó de 4559 m s. n. m. a 4654 m s. n. m., para el año 2020, lo que implica un ascenso de la altitud mínima de 95 metros en 58 años. Mientras que el retroceso lineal promedio en este sistema glaciar fue de 6,2 m/año, con un mínimo de 3,3 m/año y un máximo de 17,9 m/año.

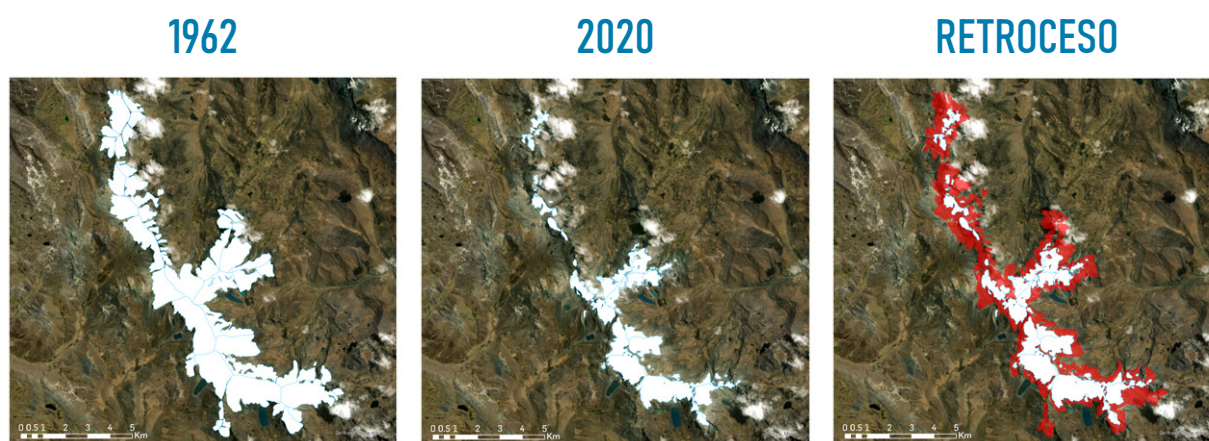


Figura 49. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Huaytapallana

Este sistema glaciar ha experimentado un cambio en las pendientes de la superficie de los glaciares que lo conforman: las pendientes muy escarpadas se incrementaron en un 12,1 %, mientras que las pendientes suavemente inclinadas disminuyeron en un 9,1 % (Figura 50). Estos cambios reflejan un incremento progresivo de las superficies glaciares con mayor susceptibilidad a generar desprendimientos o avalanchas, además de cambios en la accesibilidad de estos glaciares. Asimismo, la orientación predominante pasó de este en 1962 a suroeste en 2020 (Figura 51), este cambio de orientaciones podría estar relacionado a factores particulares tales como cambios en la topografía, cambio en los patrones de acumulación de la nieve, entre otros factores que deben ser abordados en profundidad.

### HUAYTAPALLANA

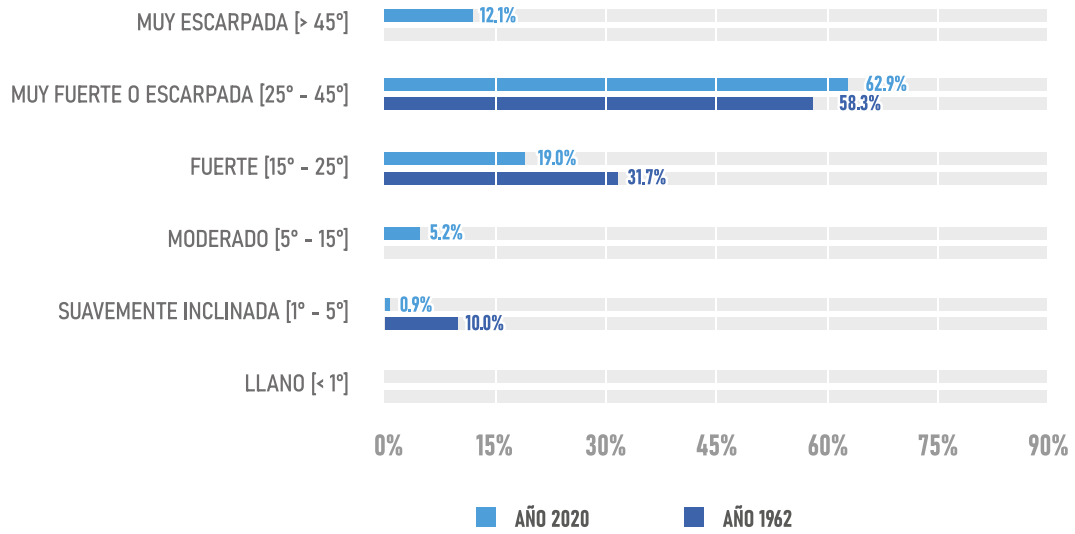


Figura 50. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar

# HUAYTAPALLANA

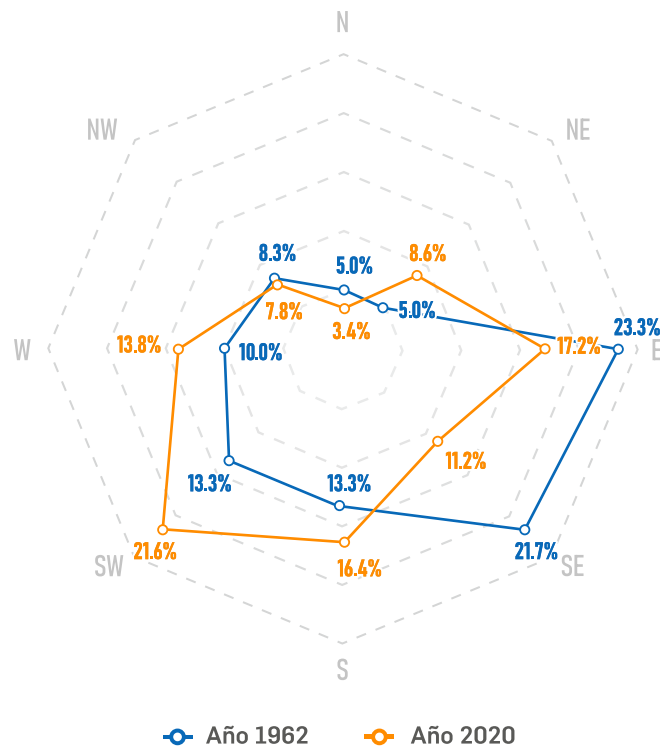


Figura 51. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar

El pico nevado más representativo es el Huaytapallana, con una altitud de 5557 m s. n. m. (GTM: 75°3'14.4"W 11°54'32.4"S) (Figura 52). Este nevado posee un alto valor turístico y religioso. A nivel turístico destaca por sus hermosas lagunas que atraen la atención de personas interesadas en el turismo de aventura. Como parte de las costumbres y ritos ancestrales, los turistas que ingresan a este espacio deben realizar un pago a la tierra como muestra de respeto a los apus, lo que augura protección durante el recorrido en el nevado (Sanchez, 2019).

Es importante resaltar que la principal fuente de agua para la ciudad de Huancayo proviene del nevado Huaytapallana. Por ello, resulta primordial conocer la relación entre el retroceso glaciar y el rendimiento hídrico de la subcuenca Shullcas. Este conocimiento permite comprender la importancia del aporte glaciar para cubrir la demanda de agua de las poblaciones de la zona baja durante todo el año (Peña & Tineo, 2013).

Respecto al turismo, diversos estudios señalan que esta actividad realizada en varios sectores del nevado Huaytapallana, es uno de los principales factores que está generando impactos negativos en el sistema glaciar, al acelerar la pérdida de masa de nieve acumulada durante un ciclo hidrológico (Arroyo et al., 2012).

El nevado Huaytapallana se encuentra dentro del Área de Conservación Regional (ACR) del mismo nombre, el cual incluye diferentes ecosistemas con una amplia diversidad de flora y fauna, y un alto potencial para el ecoturismo. Sin embargo, las actividades relacionadas a actos rituales tienen un impacto negativo en el medio natural. Entre las principales consecuencias se observa el deterioro de la belleza paisajística debido a la erosión, la destrucción de la vegetación y la contaminación de las fuentes de agua por los residuos generados durante las visitas. Además, la vida silvestre y su hábitat se ven afectados negativamente por el ruido de visitantes y los vehículos (Maldonado-Oré & Custodio, 2020).



**Figura 52. Nevado Huaytapallana**  
Fotografía: Alexander Santiago

# SISTEMA GLACIAR HUAYTAPALLANA

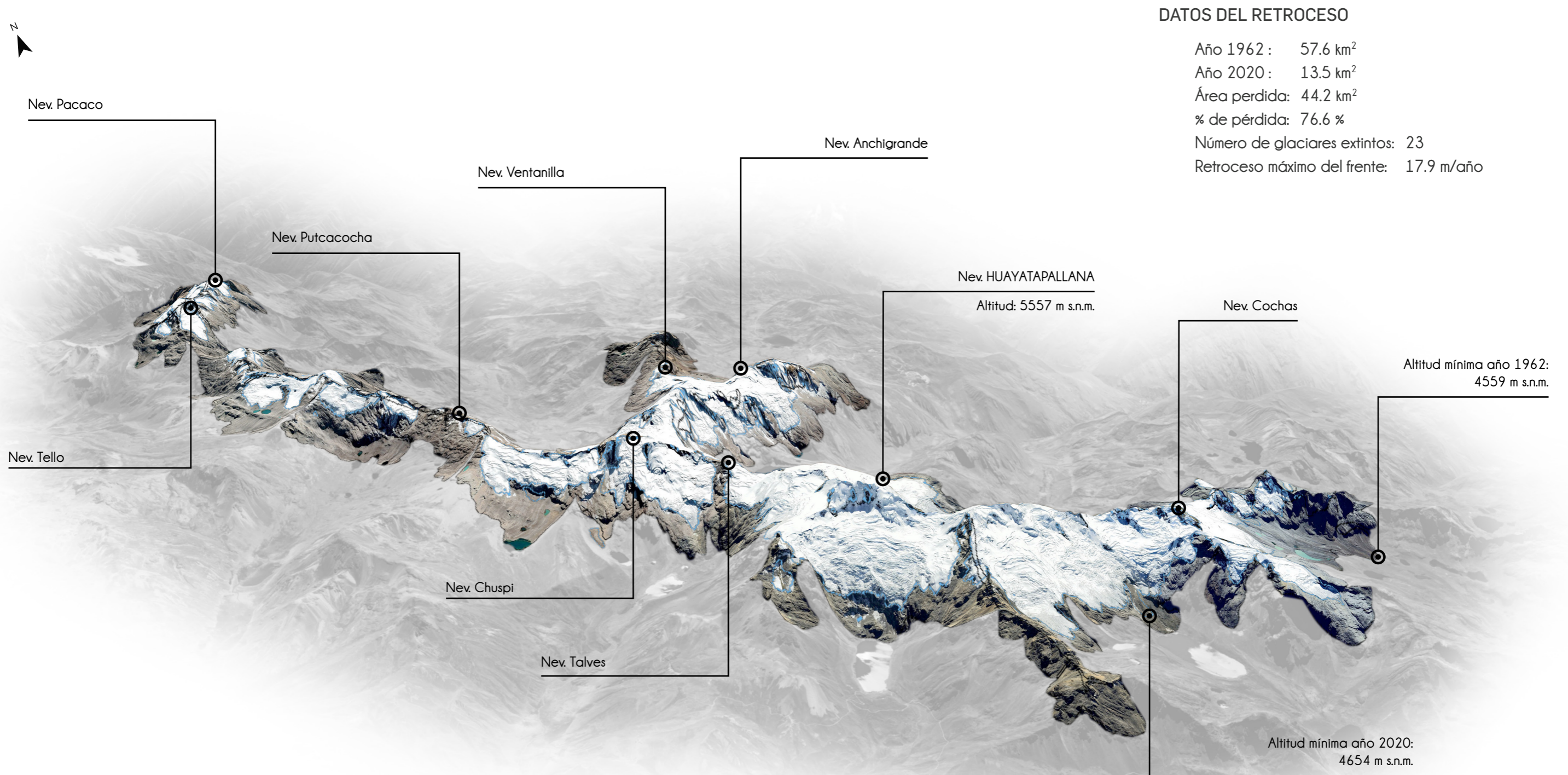


Figura 53. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Huaytapallana

#### 5.6.4. Sistema glaciar Pariacaca, cordillera Central, Lima y Junín

El sistema glaciar Pariacaca se encuentra en la cordillera Central. Políticamente está ubicado en los departamentos de Lima y Junín, en las provincias de Huarochirí, Yauyos, Yauli y Jauja, y los distritos de Cachaylo, San Lorenzo de Quinti, San Mateo, Suitucancho y Tanta. Hidrográficamente, aporta a las cuencas Cañete, Mala, Mantaro y Rímac, mediante las subcuencas Huachipampa y Mullucocha, San Lorenzo, Pachacayoy Blanco, respectivamente.

Al 2020, este sistema poseía una superficie de 15,5 km<sup>2</sup>. El glaciar más grande es el Corihuasi 1, con una superficie de 1,8 km<sup>2</sup>. De acuerdo con la carta nacional, este sistema incluye los siguientes picos nevados: Paccha, Vicuña, Norma, Suiricocha, Collquepuco y Pariaccaca.

En 1962, se reportó una superficie de 60,1 km<sup>2</sup>, la cual, para el año 2020, se redujo en un 74,2 %, lo que representa una pérdida de 44,6 km<sup>2</sup> (Figura 54). Según el inventario de glaciares realizado en 1962, se perdieron 11 glaciares y la altitud mínima pasó de 4626 m s. n. m. a 4718 m s. n. m., para el año 2020, lo que implica un ascenso de la altitud mínima de 92 metros en 58 años. Mientras que el retroceso lineal promedio en este sistema glaciar fue de 7,1 m/año, con un mínimo de 0,7 m/año y máximo de 16,2 m/año.



Figura 54. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Pariacaca

Por otro lado, este sistema ha experimentado cambios en las pendientes de la superficie de los glaciares que lo conforman: las pendientes muy fuertes o escarpadas se incrementaron en un 32,3 %, mientras que las pendientes suavemente inclinadas y llanas, disminuyeron en un 15,0 % y 2,5 % respectivamente (Figura 55). Estos cambios reflejan un incremento progresivo de las superficies glaciares con mayor susceptibilidad a generar desprendimientos o avalanchas, además de cambios en la accesibilidad de estos glaciares. Asimismo, la orientación predominante se mantuvo al suroeste en 1962 y 2020 (Figura 56).

### PARIACACA

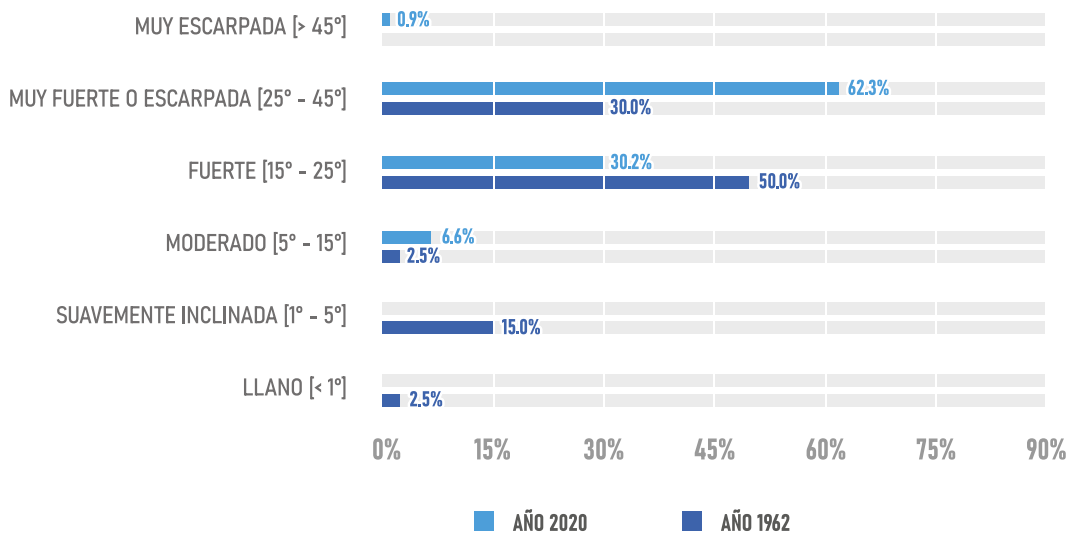


Figura 55. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar

# PARIACACA

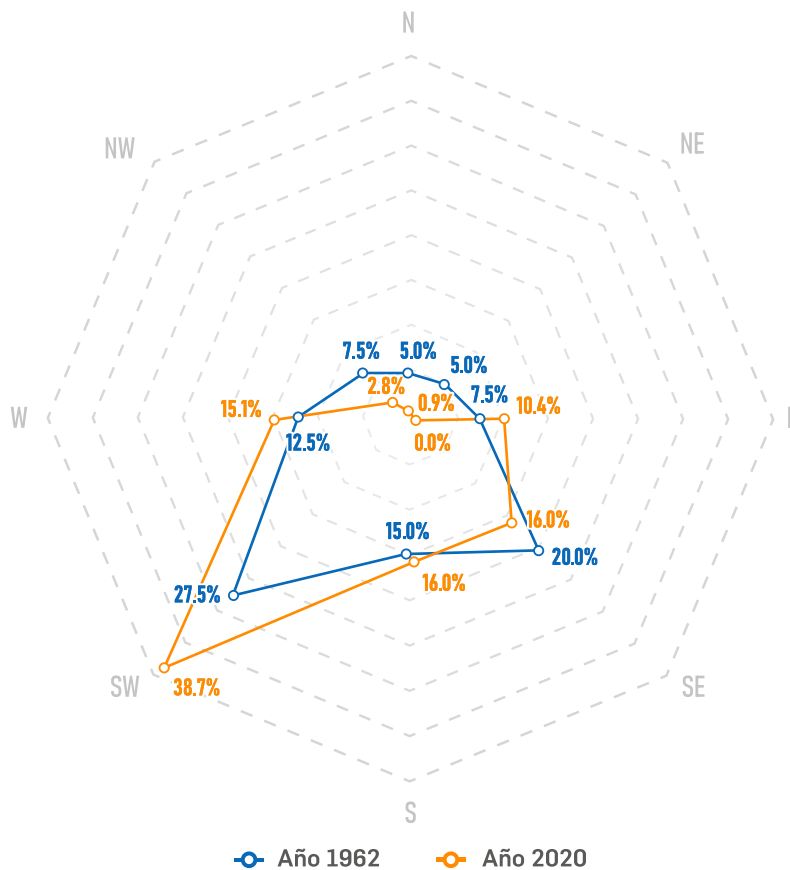


Figura 56. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar

El pico nevado más representativo es el Pariacaca, con una altitud máxima de 5750 m s. n. m. o 5658 m s. n. m. (GTM: 75°59'34.8"W 11°59'38.4"S) (Figura 57). El nevado Pariacaca desempeñó un rol religioso y cultural esencial en la época incaica, ya que conectaba centros religiosos y administrativos entre la costa y la sierra central del Perú, por lo que ejemplifica la importancia que tenían los caminos a lo largo del Tahuantinsuyo (Matayoshi, 2018).

Dada su importancia cultural, las comunidades presentes en la zona mantienen vivas sus costumbres, en las cuales ofrecen culto mediante ceremonias de pago a la Pachamama y al apu.

Desde la perspectiva ecológica, este pico nevado y otros de menor altitud forman parte de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabambas, la misma que de acuerdo con su zonificación se encuentra en la zona de protección estricta. Esta área presenta glaciares de elevada pendiente y acelerada deglaciación, lo que podría poner en peligro infraestructuras y poblaciones cercanas. Asimismo, provee agua a gran parte de la cuenca del río Cañete y al río Cochabambas, convirtiéndose en la principal fuente hídrica para las comunidades que habitan en esta reserva.

En resumen, las prácticas culturales y la existencia de la reserva promueven la conservación de este espacio estratégico desde la perspectiva social e hidrológica (Magagna, 2022).



**Figura 57. Nevado Pariacaca**  
Fotografía: Manuel Rojas Calderón  
Licencia creative common

# SISTEMA GLACIAR PARIACACA

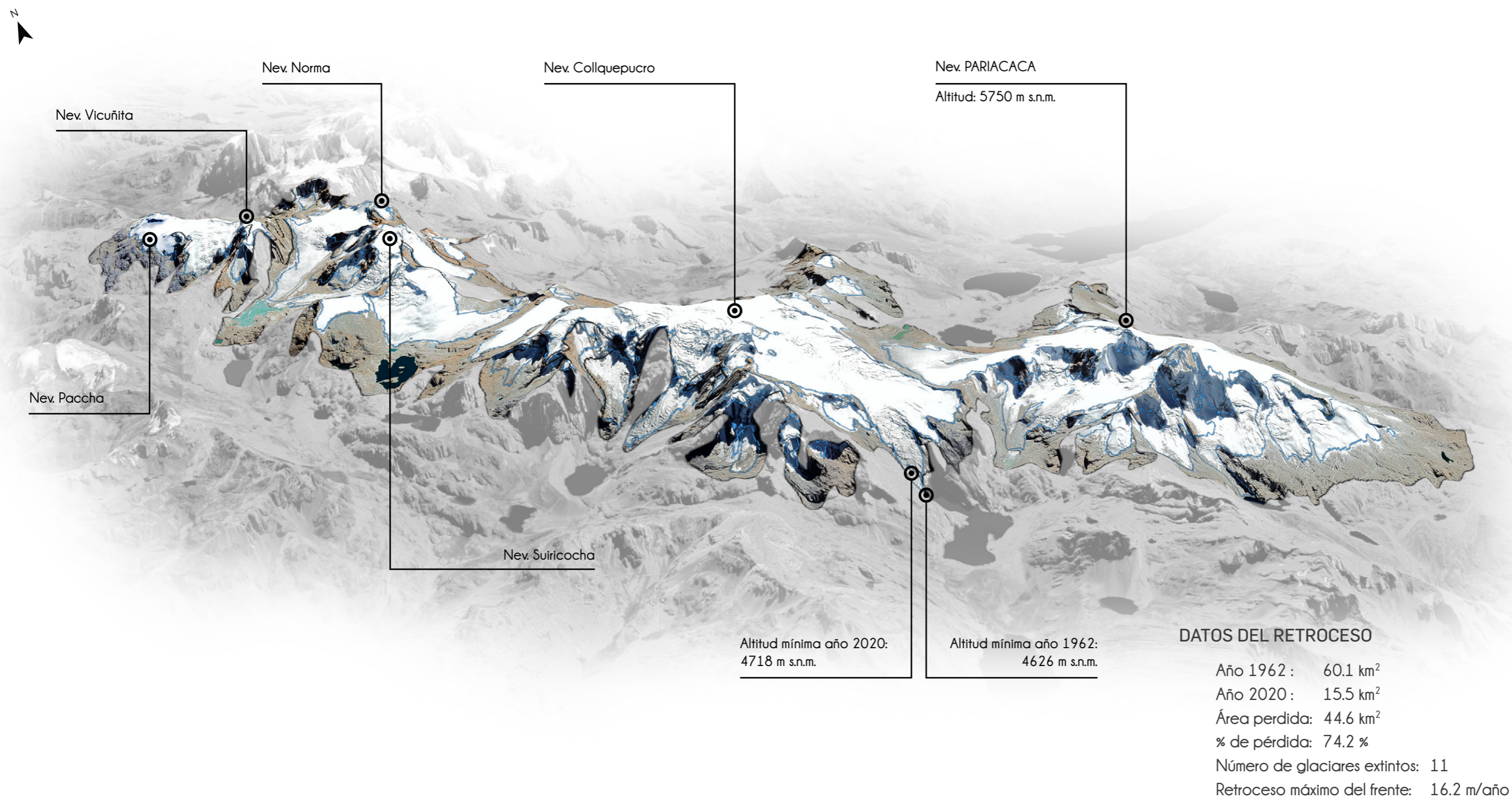


Figura 58. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Pariacaca

### 5.6.5. Sistema glaciar Quelccaya, cordillera Vilcanota, Cusco y Puno

El sistema glaciar Quelccaya se encuentra en la cordillera Vilcanota. Políticamente está ubicado en los departamentos de Cusco y Puno, abarca las provincias de Canchis y Carabaya, y los distritos de Checacupe y Corani. Hidrográficamente, aporta a las cuencas de Inambari y Urubamba, mediante las subcuencas San Gabán y Vilcanota, respectivamente.

Al año 2020, este sistema poseía una superficie de 39,3 km<sup>2</sup>. El glaciar más grande es el Qori Kalis, con una superficie de 4,9 m<sup>2</sup>. De acuerdo con la carta nacional, este sistema incluye los siguientes picos nevados: Paco Loma, Qoyllor Puñuna, Jatun Quenamari, Ananta, Cuncunani y Jejarani.

En 1962, se reportó una superficie glaciar de 77,1 km<sup>2</sup>, la cual, para al año 2020, se redujo en un 49 %, lo que representa una pérdida de 37,7 km<sup>2</sup> (Figura 59). Según el inventario de glaciares realizado en 1962, se han perdido 18 glaciares y la altitud mínima pasó de 4911 m s. n. m. a 4925 m s. n. m., para el año 2020, lo que implica un ascenso de la altitud mínima de 14 metros en 58 años. Mientras que el retroceso lineal promedio en este sistema glaciar fue de 5,8 m/año, con un mínimo de 0,3 m/año y un máximo de 17,2 m/año.

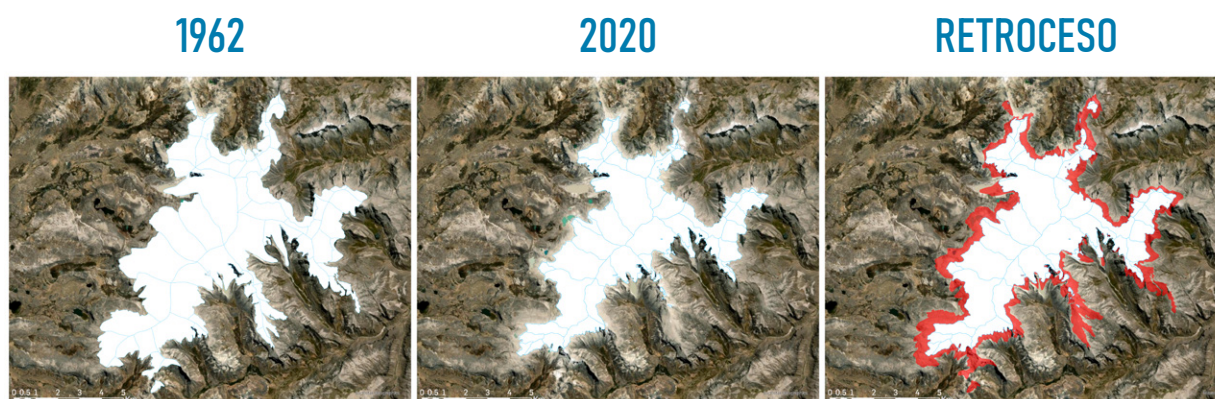


Figura 59. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Quelccaya

Por otro lado, este sistema ha experimentado cambios en las pendientes de la superficie de los glaciares que lo conforman: las pendientes muy escarpadas se incrementaron en un 1,4 %, mientras que el glaciar en pendientes suavemente inclinadas se redujo en 7,3 % (Figura 60). Estos cambios reflejan un incremento progresivo de las superficies glaciares con mayor susceptibilidad a generar desprendimientos o avalanchas, además de cambios en la accesibilidad de estos glaciares. Asimismo, la orientación predominante cambió de oeste en 1962 a suroeste en 2020 (Figura 61), este cambio de orientación podría estar relacionado a factores particulares tales como cambios en la topografía, cambio en los patrones de acumulación de la nieve, entre otros factores que deben ser abordados en profundidad.

### QUELCCAYA

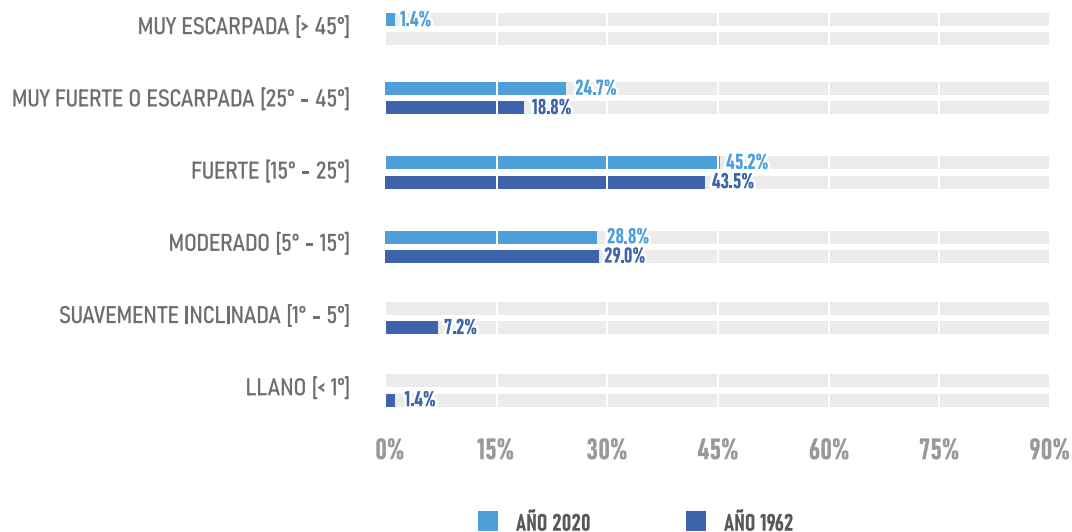


Figura 60. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar

# QUELLCAYA

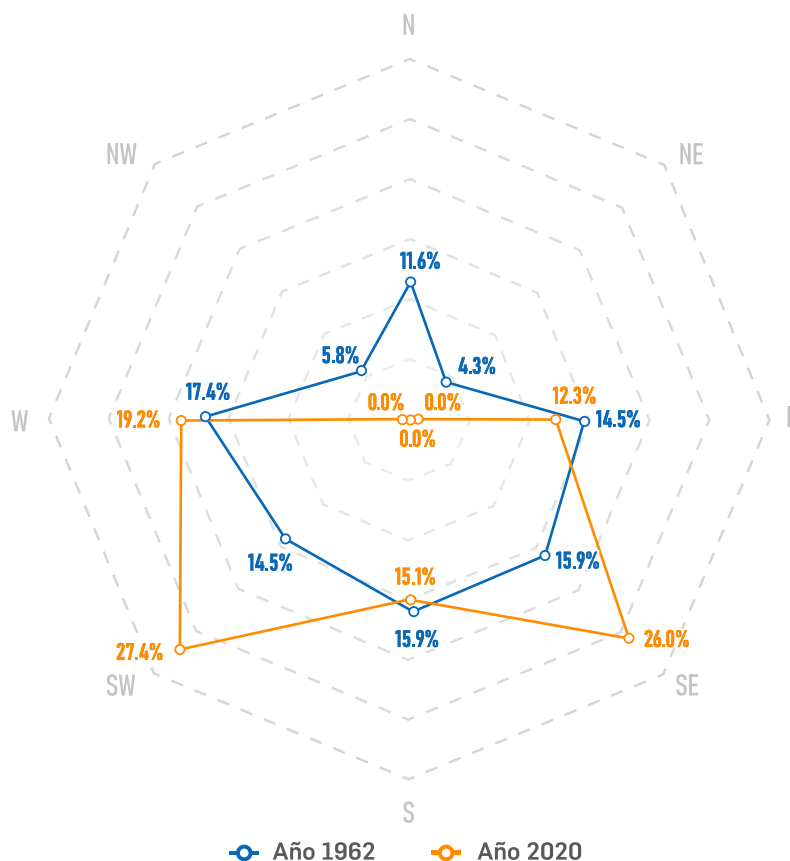


Figura 61. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar

El nevado más representativo es el Quelccaya, también conocido como Qoyllor Puñuna, cuya altitud es de 5743 m s. n. m. (GTM: 70°49' 22.8"W 13°55' 48"S) (Figura 62). Este casquete glaciar se ubica en la parte más oriental de la cordillera de los Andes en Perú y representa una importante fuente de agua para miles de personas, a través del río Vilcanota y la laguna Sibinacocha.

El Quelccaya forma parte de la cordillera Vilcanota y, debido a su importancia, el 12 de diciembre de 2019 se creó el Área de Conservación Regional Ausangate, a solicitud del Gobierno Regional del Cusco y la población local. Esta área protegida abarca 66 mil hectáreas y protege, además de los nevados, una variedad de animales y plantas, algunas clasificadas con distintos grados de amenaza (Actualidad Ambiental, 2023).

En los alrededores de esta capa de hielo, a casi 5000 metros de altitud, las comunidades quechuas de la zona se han unido para mitigar el impacto de su retroceso. La falta de lluvias ha provocado que cientos de hectáreas de pastizales se estén secando, afectando medios de vida como la generación de electricidad y la agricultura. En este sentido, la comunidad cusqueña de Pinaya, de manera particular, suma esfuerzos para proteger uno de los glaciares tropicales más importantes del mundo. (Ponce & Liendo, 2023).



**Figura 62. Sistema glaciar Quelccaya**  
Fotografía: Renny Diaz

# SISTEMA GLACIAR QUELLCAYA

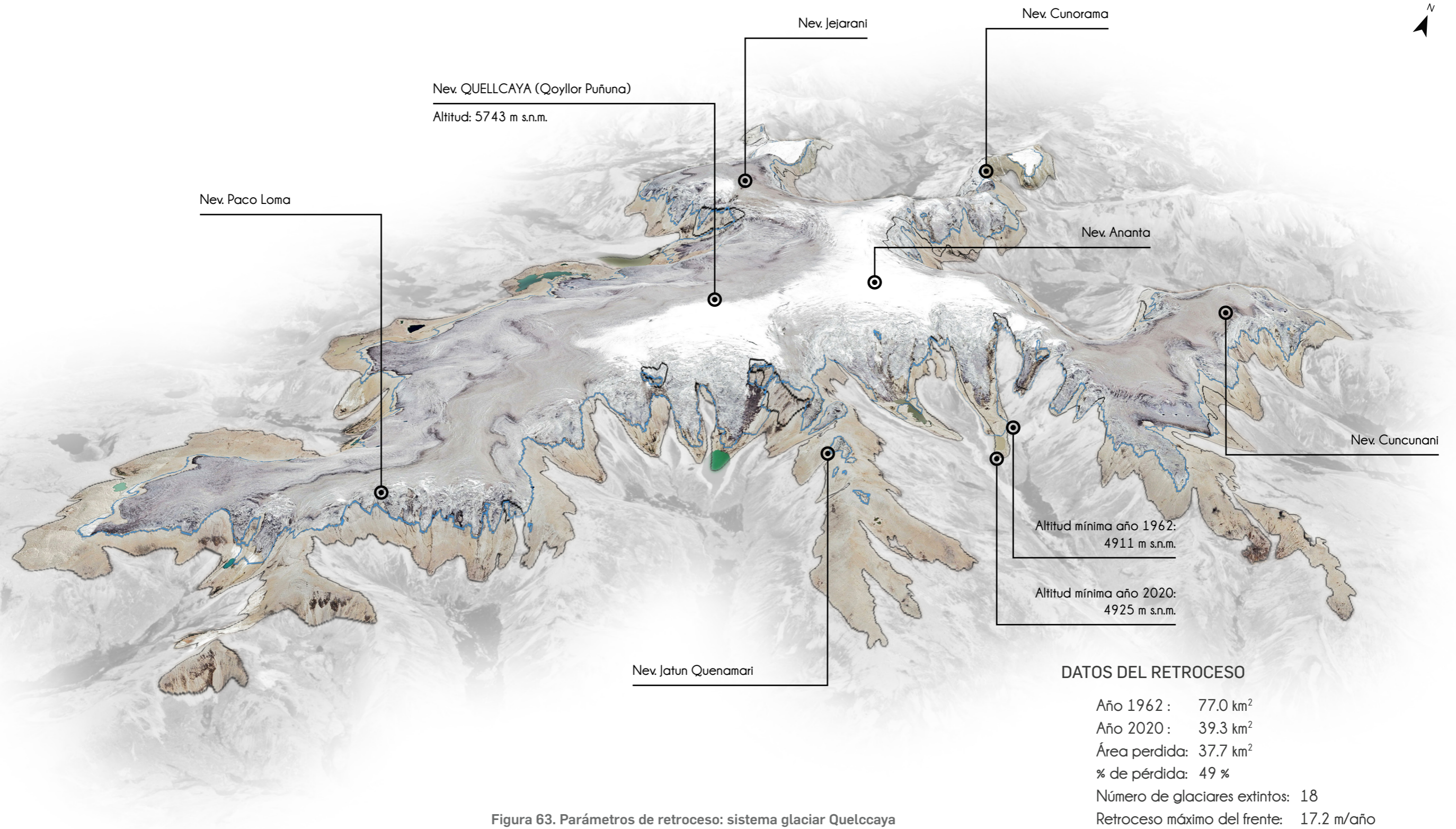


Figura 63. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Quelccaya

### 5.6.6. Sistema glaciar Coropuna, cordillera Ampato, Arequipa

El sistema glaciar Coropuna se encuentra en la cordillera Ampato. Políticamente, se ubica en el departamento de Arequipa, en las provincias de Castilla y Condesuyos, y los distritos de Andaray, Salamanca, Pampacolca y Viraco. Hidrográficamente, aporta a las cuencas de Camaná y Ocoña a través de las subcuencas Capiza y Huario, y Chichas y Chorunga, respectivamente.

Al año 2020, este sistema poseía una superficie de 45,8 km<sup>2</sup>. El glaciar más grande es el Coropuna, con una superficie de 13,8 km<sup>2</sup>. De acuerdo con la carta nacional, este sistema presenta el pico nevado Coropuna.

Para 1955, se reportó una superficie glaciar de 111,6 km<sup>2</sup>, la cual, para el año 2020 se redujo en un 59 %, lo que representa una pérdida de 68,8 km<sup>2</sup> (Figura 64). Según el inventario de glaciares de Hidrandina, no se ha perdido ningún glaciar; sin embargo, la altitud mínima pasó de 4836 m s. n. m. a 5023 m s. n. m. para el año 2020, lo que implica un ascenso de la altitud mínima de 187 metros en 65 años. Mientras que el retroceso lineal promedio en este sistema glaciar fue de 8,4 m/año, con un mínimo de 2,1 m/año y máximo de 21,9 m/año.



Figura 64. Pérdida de cobertura: sistema glaciar Coropuna

Por otro lado, este sistema ha experimentado cambios en las pendientes de la superficie de los glaciares que lo conforman: las pendientes muy fuertes o escarpadas se incrementaron en un 18,1 % (Figura 65). Estos cambios reflejan un incremento progresivo de las superficies glaciares con mayor susceptibilidad a generar desprendimientos o avalanchas. Asimismo, la orientación predominante se mantuvo en dirección sur tanto en 1955 como en 2020 (Figura 66).

### COROPUNA

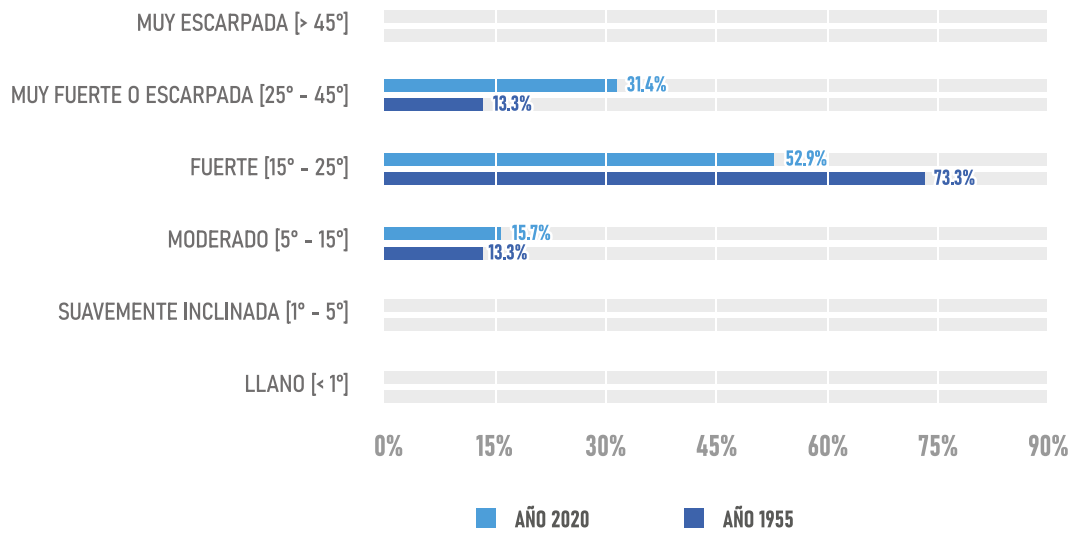


Figura 65. Cambio de pendiente predominante de la superficie glaciar

# COROPUNA

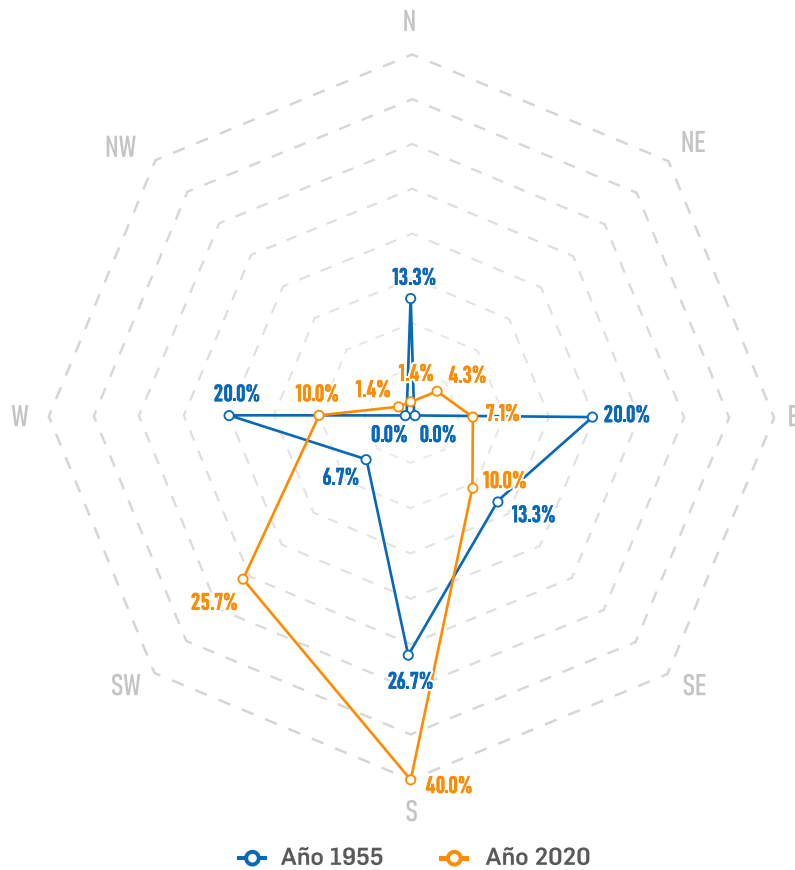


Figura 66. Cambio de orientación predominante de la superficie glaciar

El pico nevado más representativo es el Coropuna, con una altitud de 6425 m s. n. m. (GTM: 72° 39' 39.6"W 15° 32' 45.6"S) (Figura 67). Este nevado representa una fuente esencial de agua para la región Arequipa, utilizada principalmente en la agricultura, la ganadería y el consumo humano.

La disminución de la superficie de los glaciares del Coropuna está directamente relacionada con el volumen de hielo presente, lo que se traduce en un menor aporte de agua a las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná. Según una estimación realizada en 2018, el aporte hídrico es de 616,2 y 365,5 litros por segundo, respectivamente para cada cuenca, pero experimenta una tendencia decreciente, afectando por consiguiente actividades como la agricultura (Ramos, 2018).

Es importante considerar que las condiciones climáticas y del suelo evidencian que los flujos de agua provenientes del nevado Coropuna son de tipo subterráneo, y que una gran cantidad del flujo superficial existente se pierde por sublimación y evaporación, por lo que los flujos de agua superficiales observados son mínimos (Herreros et al., 2009).

Desde 1955, el retroceso glaciar ha sido significativo debido a los efectos del cambio climático. De no implementarse una gestión adecuada de los recursos hídricos en la zona, la escasez resultaría en un desabastecimiento de agua, generando brechas socioeconómicas que impactarán negativamente en las condiciones de vida de las poblaciones rurales y urbanas (Silverio, 2018).



**Figura 67. Nevado Coropuna**  
Fotografía: Edubucher (Licencia Creative Commons)

# SISTEMA GLACIAR COROPUNA



Nev. COROPUNA  
Altitud: 6425 m s.n.m.

## DATOS DEL RETROCESO

Año 1955 : 111.6 km<sup>2</sup>  
Año 2020 : 45.8 km<sup>2</sup>  
Área perdida: 65.8 km<sup>2</sup>  
% de pérdida: 59 %  
Número de glaciares extintos: 0  
Retroceso máximo del frente: 21.9 m/año

Altitud mínima año 1955:  
4836 m s.n.m.

Altitud mínima año 2020:  
5023 m s.n.m.

Figura 68. Parámetros de retroceso: sistema glaciar Coropuna



SECCIÓN 6

# CONSECUENCIAS DEL RETROCESO GLACIAR

## 6. CONSECUENCIAS DEL RETROCESO GLACIAR

El continuo deterioro de los glaciares tiene consecuencias inevitables, que afectan no solo a las poblaciones, sino también los ecosistemas vinculados con estas masas de hielo se ven alterados (Francou et al., 2014). Las consecuencias, de acuerdo con el alcance espacial de su impacto, se pueden distinguir entre Impactos a nivel global y local.

A nivel global, una de las consecuencias directas de la fusión acelerada de los glaciares es el aumento del nivel de los mares en el mundo. El excedente de agua generado por el deshielo de los glaciares es captado por los grandes ríos, que finalmente desembocan en los océanos (IDEAM, 2012). Se estima que el ascenso promedio del nivel del mar durante los últimos 19 000 años ha sido de 10 mm/año (IPCC, 2010). En el Cuadro 6 se presentan las superficies y volúmenes estimados de los diferentes componentes de la criósfera mundial a finales del siglo XX, así como su equivalente contribución al incremento del nivel oceánico, donde se estima que el derretimiento de todos los glaciares tropicales ocasionaría un aumento del nivel de los océanos inferior a 0,3 mm. (Francou et al., 2014).

Mientras que, a nivel local se identifican efectos diversos en sistemas sociales y ecológicos, las principales consecuencias se detallan a continuación.

**Cuadro 6. Componentes de la criósfera y su equivalente en el nivel del océano**

| Componentes de la criósfera                       | Área en km <sup>2</sup> | Volumen en km <sup>3</sup> | Equivalente en el nivel oceánico |
|---|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Cobertura de nieve (excepto banquisa y glaciares) | 4-46 millones           | 500-5000                   | 0,1-1 cm                         |
| Banquisa (o hielo de mar)                         | 15-22 millones          | 19 000-25 000              | no cambia el nivel               |
| Permafrost  | 55 millones             | 0,4 millones               | 1,1 m                            |
| Antártida   | 12,4 millones           | 27 millones                | 65 m                             |
| Groenlandia                                       | 1,8 millones            | 2,7 millones               | 7 m                              |
| Glaciares de montaña                              | 0,43 millones           | 0,08 millones              | 0,24 m                           |
| Glaciares tropicales                              | 1900                    | menos de 100               | ~ 0,3 mm                         |

Superficie total del océano es de 361 millones de km<sup>2</sup>

Fuente: (Francou et al., 2014)

### 6.1. REDUCCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Los glaciares presentes en zonas montañosas desempeñan un rol fundamental en la regulación hídrica de las cuencas y constituyen una fuente importante de abastecimiento en regiones con alta densidad poblacional, especialmente en aquellas que frecuentemente se enfrentan a períodos de escasez hídrica. A medida que el volumen de los glaciares se reduce significativamente, el aporte de agua de deshielo glaciar a la escorrentía disminuye progresivamente (Cisternas, 2023).

En las fases iniciales de retroceso de un glaciar, se produce un aumento temporal de los caudales de deshielo, alcanzando un máximo denominado «pico hídrico»

(Baraer et al., 2012). Sin embargo, tras alcanzar este máximo, los caudales comienzan a disminuir debido a la reducción paulatina del hielo disponible para la fusión (Cisternas, 2023). En consecuencia, disminuye la disponibilidad de agua para actividades como el consumo humano, la agricultura, la ganadería, la minería, los procesos industriales y la generación de energía hidroeléctrica (Gil, 2012).

A nivel mundial, se calcula que 140 millones de personas viven en zonas donde el agua de deshielo glaciar aporta, de forma estacional, al menos el 25 % del caudal de los ríos (Schaner, 2012). La contribución de los glaciares a las poblaciones depende de una serie de factores, como la ubicación y distancia del glaciar, así como la presencia de otras fuentes de agua.

Muchas zonas rurales de montaña en los Andes son especialmente vulnerables a la escasez de agua, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas de cada país. Por ejemplo, los altiplanos de Perú y Bolivia son puntos críticos de estrés hídrico, debido a su clima semiárido y una marcada estacionalidad. En estas zonas, el agua de deshielo glaciar ha funcionado históricamente como amortiguador frente a la limitada capacidad de almacenamiento hidrológico de las pequeñas cuencas altoandinas. No obstante, la situación de vulnerabilidad al estrés hídrico se agrava aún más por la pobreza en estas comunidades rurales y su limitada capacidad de adaptación (Heikkinen, 2017; Schoolmeester et al., 2018). En este sentido, el retroceso glaciar puede agravar aún más la situación de vulnerabilidad de la población andina frente a fenómenos meteorológicos extremos y al cambio climático.

El rol amortiguador de los glaciares también se evidencia en el ámbito urbano más próximo. Por ejemplo, en Huaraz, durante un año normal, los glaciares aportan hasta el 67 % del suministro de agua disponible, cifra que puede aumentar al 91 % en un año de sequía (Buytaert et al., 2017). Estas cifras evidencian la fuerte dependencia de algunas ciudades del Perú respecto al agua de deshielo glaciar, especialmente en periodos secos (Naumenko & Kozyreva, 2023; Cisternas, 2023). Esto a su vez refleja las consecuencias que traería consigo el progresivo retroceso de los glaciares si no se adoptan medidas de adaptación frente a la escasez de agua.

## 6.2. REPERCUSIONES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Una de las mayores preocupaciones respecto al retroceso glaciar es el impacto negativo sobre la disponibilidad del agua (Montano et al., 2022). A medida que los glaciares retroceden, dejan expuestas áreas que estuvieron cubiertas con hielo durante miles de años (Martel et al., 2018). En este proceso, minerales de roca quedan expuestos a la intemperie, lo que favorece su oxidación y lixiviación (proceso en el que se extrae una sustancia de un material sólido). Como resultado se produce el drenaje ácido natural de roca (DAR) y la movilización de metales como aluminio, hierro, cromo, cadmio, manganeso, arsénico y otros hacia los cuerpos de agua (Loayza Muro et al., 2014; Zimmer et al., 2018). Este proceso se agrava cuando los minerales presentes contienen sulfuros, como la piritita ( $\text{FeS}_2$ ) (Martel et al., 2018) que tiene una función relevante en la generación de drenaje ácido debido a su concentración, tamaño de grano y distribución (Montano et al., 2022).

La presencia de DAR se manifiesta en la disminución del pH del agua (Jacobs et al., 2014), llegando a presentar valores ácidos de entre 1,5 a 5. En algunos casos, la presencia de iones (átomos con carga eléctrica) de hierro se refleja en la coloración café rojiza (ion férrico) o azul verdosa (ion ferroso) (Montano et al., 2022). Asimismo, cuando las corrientes de aguas ácidas se mezclan con corrientes no ácidas, los óxidos de hierro a menudo se precipitan, formando capas oxidadas de color café rojizo en el fondo de los arroyos (MINEM, 2002).

En el Perú, se han encontrado indicios de generación de DAR en algunas zonas altoandinas de los departamentos de Áncash, Lima, Junín, Cusco, Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno (Montano et al., 2022).

Esta problemática representa un riesgo constante debido a la biomagnificación de metales en la cadena trófica. Es decir, los metales se concentran en los tejidos de los organismos a medida que avanzan en la cadena alimentaria, lo que puede ocasionar toxicidad crónica y afectar a la vegetación, la vida silvestre (acuática y terrestre), el ganado e incluso a los seres humanos (Jacobs et al., 2014; Montano et al., 2022).

Aunque la contaminación natural es inevitable en cierta medida, la velocidad con la que ocurre en los Andes peruanos sobrepasa las tasas normales debido a los efectos de un cambio climático acelerado (Fortner et al., 2011; Zimmer et al., 2018). Las repercusiones negativas sobre los recursos hídricos, los suelos y el aire son una de las problemáticas más severas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública tanto a nivel global como local (Montano et al., 2022).

### 6.3. PÉRDIDA DE LA BIODIVERSIDAD

Los ecosistemas en los Andes tropicales son el hogar de una biodiversidad excepcional. Muchas de estas especies, tanto animales como vegetación, se encuentran únicamente en los Andes, constituyéndose como lugares con un alto endemismo. Además, estos ecosistemas son proveedores de servicios ambientales esenciales para el ser humano: regulan los recursos hídricos, estabilizan los suelos, suministran pasturas para el ganado y poseen una alta capacidad de retención de carbono orgánico.

La biodiversidad tropical es extremadamente sensible al cambio climático, lo que puede llevar a una rápida disminución de especies. Esta pérdida tiene consecuencias negativas tanto en el funcionamiento de los ecosistemas como en los servicios ambientales que generan (Francou et al., 2014).

En un contexto de retroceso glaciar acelerado, como el que acontece en los Andes tropicales, muchas especies de invertebrados acuáticos se encuentran en peligro de extinción, ya que dependen en gran medida de las aguas de origen glaciar (Jacobsen & Dangles, 2012). Una reducción en la diversidad de estas comunidades acuáticas podría tener importantes repercusiones funcionales en el entorno en el que se desarrollan, principalmente en términos del reciclaje de materia orgánica (Francou et al., 2014).

Por otro lado, la reducción de los glaciares está resultando en la colonización de flora y fauna en zonas de deglaciación (Jones & Henry, 2003; CECS, 2009). Al respecto, un estudio realizado en el glaciar Antisana, en Ecuador, determinó que una mayoría de especies se ven obligadas a migrar a zonas altas para evitar desaparecer debido a una mayor competencia con las especies de zonas más bajas. Sin embargo, el calentamiento en los Andes tropicales ocurre a un ritmo tan acelerado que solo una minoría de especies logra colonizar las zonas de deglaciación reciente. La mayoría de las especies que no cuentan con estrategias sofisticadas de colonización enfrentan un alto riesgo de extinción (Francou et al., 2014).

### 6.4. RIESGO ASOCIADO A GLACIARES

El derretimiento del hielo y permafrost en zonas de montaña incrementa la inestabilidad del hielo glaciar y de las laderas, con ello aumenta el peligro de avalanchas de hielo, desestabilización de paredes rocosas, desbordes repentinos desde lagunas glaciares y fenómenos en cadena que combinan varios de estos eventos (IPCC, 2019; CECS, 2009). En el escenario actual y previsto de cambio climático, se espera que tanto la frecuencia como la magnitud de los riesgos de origen glaciar aumenten (Reynolds Geo-Sciences Ltd., 2003). Los peligros

asociados a los glaciares y a las lagunas glaciares amenazan a comunidades y actividades económicas en muchas cordilleras del mundo (Quincey et al., 2005), incluyendo a los Andes (Carey, 2005).

El retroceso de los glaciares está generando un aumento en la formación de lagunas glaciares y el incremento del tamaño de las lagunas periglaciares, que pueden desencadenar un Glacial Lake Outburst Floods (GLOF por sus siglas en inglés) (CECS, 2009). Los GLOF son el término usado para describir las inundaciones repentinas ocasionadas por la salida violenta de una gran cantidad de agua desde una laguna glaciar (Richardson & Reynolds, 2000). El Perú es el tercer país con mayor riesgo de GLOF y la cuenca del río Santa es la segunda con mayor riesgo de GLOF a nivel mundial (Taylor et al., 2023).

Las morrenas glaciares que funcionan como diques de estas lagunas son estructuralmente débiles e inestables (Carey, 2005; Kääh et al., 2005). Además, son muy susceptibles a los impactos de olas ocasionadas por una avalancha (de roca, nieve o hielo) así como a la desintegración de núcleos de hielo en su interior (Richardson & Reynolds, 2000; Huggel et al., 2004; CECS, 2009). Esta inestabilidad con el tiempo podría contribuir a su colapso y provocar el desborde repentino de la laguna.

En su mayoría, este tipo de eventos se han producido por el desprendimiento de grandes bloques de hielo que caen sobre una laguna. La más destructora se produjo en diciembre de 1941, con el desborde repentino de la laguna Palcacocha en la Cordillera Blanca. Como resultado, la mitad de la ciudad de Huaraz fue arrasada y alrededor de 4000 personas perdieron la vida (Comunidad Andina, 2007; Schoolmeester et al., 2018).

Los glaciares también pueden generar avalanchas por el desplazamiento de grandes masas de hielo en pendientes escarpadas. Un ejemplo devastador es el desastre ocurrido el 31 de mayo de 1970, cuando un terremoto de magnitud de 7,8 grados en la escala de Richter afectó la cornisa ya inestable del pico norte del nevado Huascarán. Esto provocó el desprendimiento de aproximadamente 40 millones de metros cúbicos de rocas, hielo y lodo. La avalancha, de un kilómetro y medio de ancho, se desplazó a una velocidad de 200 a 550 km por hora, arrasando todo a su paso y alcanzando a las localidades de Yungay y Ranrahirca en un tiempo aproximado de tres minutos. El alud cobró la vida de 18 000 personas (Carey, 2005). Estudios del INAIGEM evidencian que el riesgo de avalancha en Ranrahirca aún persiste, así como otros riesgos glaciares en diferentes cordilleras del Perú.

## 6.5. IMPACTOS EN LA ECONOMÍA

El agua de deshielo de los glaciares desempeña un papel fundamental para las sociedades y economías de los países andinos. La deglaciación tiene diversos efectos que repercuten en la calidad y cantidad de agua, la agricultura, la salud de los ecosistemas, la diversidad biológica y los servicios ambientales. Estos impactos se traducen en la disminución del PBI, lo que afecta directamente la economía, y por ende, repercute en los niveles de desarrollo y bienestar de las poblaciones afectadas (Gil, 2012).

La agricultura andina también depende del agua de deshielo de los glaciares, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas de algunos países andinos como Perú y Bolivia. Un descenso de la escorrentía glaciar podría provocar estrés hídrico, afectando la producción agrícola y, por ende, la seguridad alimentaria en determinadas zonas (Young & Lipton, 2006; Schoolmeester et al., 2018; Gil, 2012). El Perú tiene alrededor de 79,3 mil hectáreas agrícolas cuyo abastecimiento hídrico depende en un 45 % a 80 % de los glaciares, mientras que 18,1 mil hectáreas son dependientes en un 80 % a 100 % (Schoolmeester et al., 2018). Lo que demuestra la alta dependencia del sector agrícola peruano

de los glaciares (Naumenko & Kozyreva, 2023).

Otro sector con una alta dependencia del agua es la generación de energía hidroeléctrica. Según estimaciones de la planta de energía hidroeléctrica del Cañón del Pato, en el río Santa, si la escorrentía glaciar desaparece por completo, la producción caería hasta 970 GWh (Vergara et al., 2007). El impacto económico a nivel nacional sería entre 106 y 212 millones de dólares y la energía generada no sería suficiente para abastecer a las ciudades y la industria (Gil, 2012).

El sector turístico también se ve afectado por la disminución del tamaño de los glaciares, puesto que muchos de ellos son importantes atractivos turísticos. La reducción de los glaciares ya está ocasionando la pérdida de rutas de escalada en hielo en los Andes (Schwörer, 1997). La Cordillera Blanca es el principal destino de turismo de montaña en Perú, por lo que la pérdida glaciar reduce la belleza paisajística y afecta significativamente esta actividad económica.

La competencia por el agua con la disminución en la disponibilidad de este recurso puede generar conflictos. En la región Andina existen varios ejemplos serios de conflictos por el uso del agua, en muchos casos incrementados, donde los ciudadanos perciben un riesgo de reducción en el suministro de agua (Schoolmeester et al., 2018; Gil, 2012).

## 6.6. PÉRDIDA DEL VALOR CULTURAL

Los glaciares guardan un importante significado cultural y espiritual para muchos pueblos originarios y comunidades locales. Además, brindan una serie de beneficios relacionados con la recreación y el turismo (UNESCO & UICN, 2022). Muchas comunidades andinas han tenido un fuerte vínculo con los glaciares por medio de creencias, percepciones y valores sociales. La desaparición de los glaciares y los cambios en el paisaje natural tradicional tienen un significado simbólico que puede asociarse con las comunidades locales y las amenazas para sus medios de vida futuros (Kaenzing, 2015; Schoolmeester et al., 2018; Gil, 2012).

El retroceso glaciar en los Andes tropicales podría tener un impacto negativo mayor en las sociedades de pequeña escala, como los pueblos indígenas, ya que no solo afecta sus actividades económicas como la agricultura y la ganadería, sino que además puede generar la pérdida de tradiciones locales y regionales que afectan su identidad cultural (Veettil & Kamp, 2019). Organizaciones como la UNESCO reconocen que la identidad cultural es un derecho inalienable. En el caso particular de los glaciares, su significado cultural es amplio y dota a los pueblos andinos de una identidad única y formas específicas de entender el mundo (Plasencia, 2011).

Los pobladores del Ande suelen manifestar que la causa directa de la pérdida glaciar está asociada con la pérdida de respeto hacia las montañas, tanto por parte de algunos lugareños como de turistas y foráneos que ingresan sin permiso a las montañas, consideradas zonas sagradas. Así también, algunos pobladores atribuyen la pérdida de los glaciares a la actividad minera y a la instalación de infraestructuras como las obras de seguridad en lagunas (Chuctaya & López, 2016).

Con relación al nevado Qulqipunku, donde se realiza la peregrinación del Qoyllur Riti, se ha generado una creciente preocupación entre los peregrinos, activistas y autoridades locales sobre el impacto físico de su presencia en la montaña. En este contexto, el cambio ambiental ha llevado a cuestionar las prácticas y creencias tradicionales de los peregrinos, al tiempo que fomenta nuevas formas de prácticas religiosas preocupadas por el ambiente en esta parte del Perú (Albro et al., 2019). Los ukukus (líderes espirituales) quienes solían cortar bloques de hielo del glaciar para compartílos con los demás peregrinos con el objetivo de curar alguna dolencia, suspendieron su actividad en 2004 tras notar una disminución significativa en el tamaño del glaciar (UNESCO & UICN, 2022; Albro et al., 2019).

SECCIÓN 7

# CUÁNTO NOS QUEDA: ESTADO DE LOS **GLACIARES** DEL PERÚ AL 2020



## 7. CUÁNTO NOS QUEDA: ESTADO DE LOS GLACIARES DEL PERÚ AL 2020

---

Los últimos reportes sobre el estado de los glaciares en el Perú evidencian las pérdidas de superficie glaciar ocurridas durante las últimas décadas, lo que tendría consecuencias negativas sobre la disponibilidad de los recursos hídricos. Considerando que una gran parte de los ríos se abastece de las aguas del deshielo, es importante conocer no solo cuánto se ha perdido, sino también cuánta superficie glaciar permanece, dónde se encuentra y qué acciones de adaptación pueden implementarse en el escenario actual.

### 7.1. CANTIDAD DE GLACIARES EN EL PERÚ Y SU EXTENSIÓN

Hasta el año 2020, en el Perú se han inventariado 2084 glaciares libres y cubiertos de detritos, con una superficie total de 1050,3 km<sup>2</sup> de hielo. Además, se estima la existencia de 107,5 km<sup>2</sup> de glaciares rocosos. Sin embargo, los resultados relacionados con este último no se incluyen en esta publicación, ya que merecen ser abordados de manera diferenciada, debido a las características particulares que presentan.

A continuación, se presenta información relevante sobre los glaciares y su distribución, de acuerdo con el último inventario realizado por el INAIGEM (INAIGEM, 2023a).

#### 7.1.1. Distribución de los glaciares por cordilleras

Actualmente los glaciares libres y cubiertos de detritos en el Perú se encuentran distribuidos en 18 cordilleras. Las más importantes, tanto en cantidad como en superficie, son las cordilleras Blanca y Vilcanota (Figura 69), que en conjunto representan el 63,6 % de la superficie glaciar a nivel nacional. Este dato es particularmente relevante, considerando el rol de amortiguadores hídricos que desempeñan estos glaciares, sobre todo en las zonas de influencia directa (Naumenko & Kozyreva, 2023).

Pese a que los diferentes reportes sobre el retroceso glaciar han evidenciado pérdidas considerables de superficie glaciar en las 18 cordilleras del Perú, al año 2020 se observa que ninguna ha perdido la totalidad de su superficie glaciar durante las últimas seis décadas. Sin embargo, cordilleras como Huallanca, Huagoruncho, La Viuda, Chonta, Huanzo, Chila y La Raya han disminuido significativamente su superficie de hielo considerablemente (Figura 29), y hasta la presente evaluación cuentan con menos de 10 km<sup>2</sup> de superficie glaciar (Figura 69). De este grupo, las cordilleras Chila y Chonta generan mayor preocupación, ya que cuentan con una superficie glaciar menor a 1 km<sup>2</sup>, lo que las convierte en las más susceptibles a extinguirse en los próximos años.

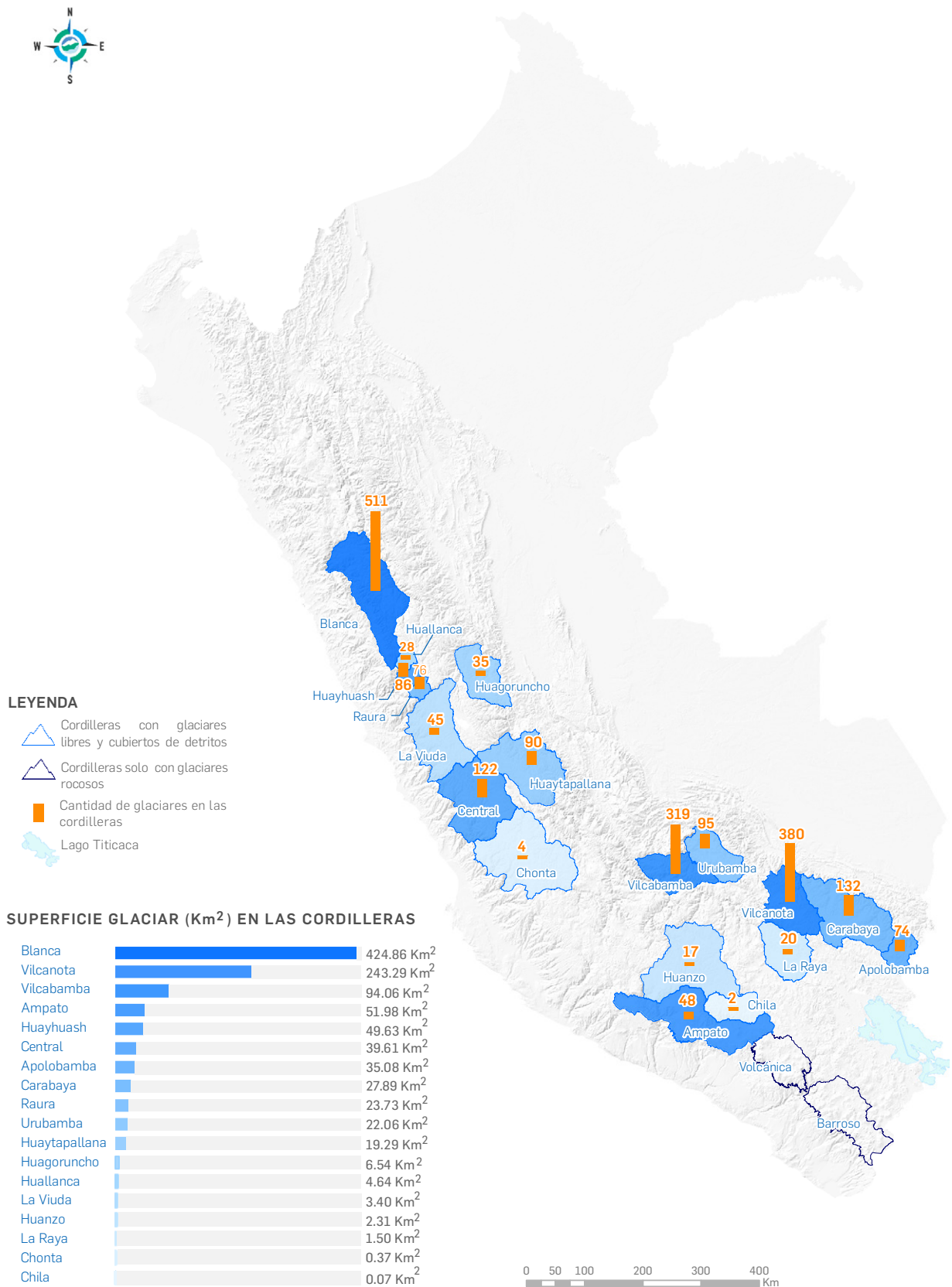


Figura 69. Distribución de la cantidad y superficie glaciar en las cordilleras del Perú

### 7.1.2. Distribución de los glaciares por vertientes y cuencas

Respecto a la distribución de los glaciares por regiones hidrográficas, la vertiente del Atlántico, que drena sus aguas al lado oriental de la cordillera de los Andes, concentra el 58,2 % del total de la superficie glaciar existente (Figura 70). Estos glaciares alimentan principalmente a las cuencas de Urubamba, Inambari y Marañón (Figura 71).

La vertiente del Pacífico, que drena sus aguas hacia el lado occidental de la cordillera de los Andes, es la segunda con mayor porcentaje de superficie glaciar, representando el 39,83 % del total (Figura 70). En esta vertiente, el mayor aporte hídrico se da hacia la cuenca del Santa (Figura 71), alimentada principalmente por el deshielo de los glaciares de la Cordillera Blanca.

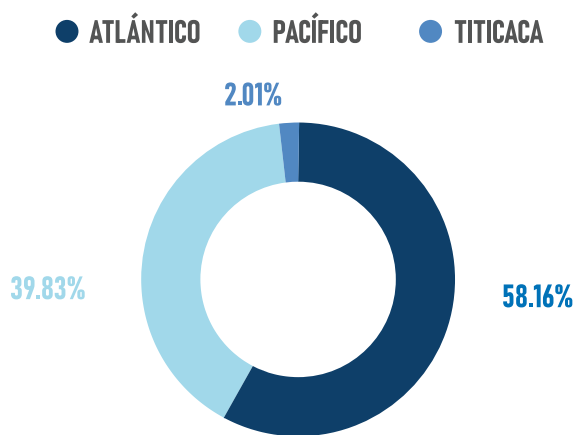


Figura 70. Porcentaje de superficie glaciar por vertiente

Finalmente, los glaciares de la vertiente del Titicaca, que representan el 2,01 % del total de la superficie glaciar, proveen de recurso hídrico en mayor medida a la cuenca Suches (Figuras 70 y 71).

Es importante destacar aquellas cuencas que presentan superficies glaciares reducidas (menores a 10 km<sup>2</sup>), ya que la evaluación y monitoreo de sus glaciares deben ser prioritarios debido a las consecuencias que conlleva su rápido retroceso.

En la vertiente del Pacífico, entre las cuencas con superficies glaciares reducidas se encuentran Quilca-Vitor-Chili, Mala, Rímac, Chancay-Huaral, Huaura y Chillón. De este grupo, las cuencas Chancay-Huaral y Chillón generan mayor preocupación por poseer una superficie glaciar menor a 1 km<sup>2</sup>.

En la misma línea, en la vertiente del Atlántico, las cuencas de Perené, Alto Madre de Dios, Huallaga, Bajo Apurímac y Pachitea presentan superficies glaciares reducidas. Pachitea es la cuenca que menor superficie glaciar presenta (menor a 1 km<sup>2</sup>).

Mientras que, en la vertiente del Titicaca, entre las cuencas con menor superficie glaciar (Figura 71), Pucará es la más susceptible de quedarse próximamente sin superficie glaciar, lo que resultará en una notable disminución de los recursos hídricos.

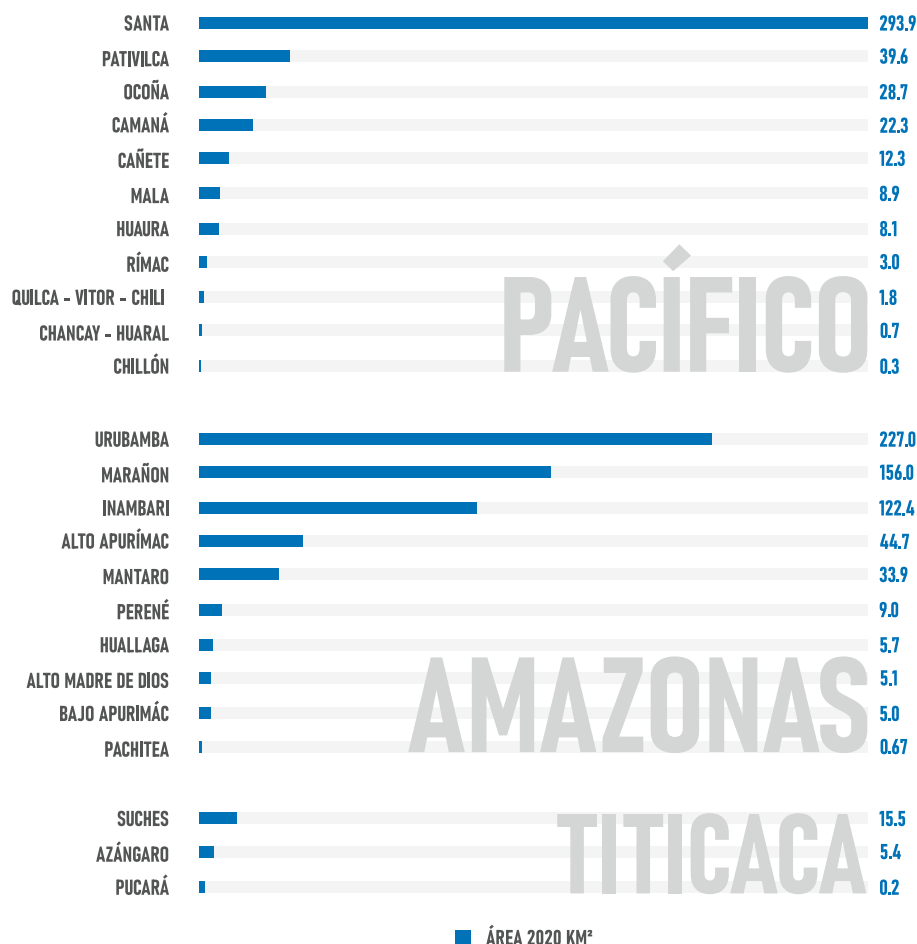


Figura 71. Superficie glaciar por vertiente y cuenca

### 7.1.3. Distribución de los glaciares por departamentos

En cuanto a la ubicación política de los glaciares en el Perú, estos se encuentran distribuidos en 13 departamentos (Cuadro 7). Los departamentos de Áncash y Cusco, debido a las cordilleras en las que se ubican, concentran en conjunto el 74,5 % de la superficie glaciar total a nivel nacional. Asimismo, estos departamentos albergan la mayor cantidad de glaciares del país.

Es importante señalar que muchos otros departamentos, que no poseen glaciares dentro de su límite territorial, son también beneficiarios del agua que proveen los glaciares, gracias al aporte hídrico hacia las cuencas hidrográficas de influencia.

Por otra parte, los departamentos de Huancavelica y Apurímac, con extensiones glaciares muy por debajo de los 10 km<sup>2</sup> (Cuadro 7), están propensos a perder la totalidad de su superficie glaciar en un corto plazo. Por ello es importante considerarlos en la gestión de los recursos hídricos, para aprovechar de manera eficiente el agua glaciar que aún se tiene.

**Cuadro 7. Cantidad y superficie glaciar por departamentos**

| Departamento | Cantidad | Superficie (km <sup>2</sup> ) |
|--------------|----------|-------------------------------|
| Áncash       | 549      | 441,1                         |
| Huánuco      | 56       | 24,2                          |
| Lima         | 183      | 57,5                          |
| Pasco        | 54       | 12,8                          |
| Junín        | 152      | 36,2                          |
| Huancavelica | 3        | 0,1                           |
| Apurímac     | 12       | 1,5                           |
| Arequipa     | 56       | 53,0                          |
| Cusco        | 765      | 341,4                         |
| Puno         | 254      | 82,5                          |
| TOTAL        | 2084     | 1050,3                        |

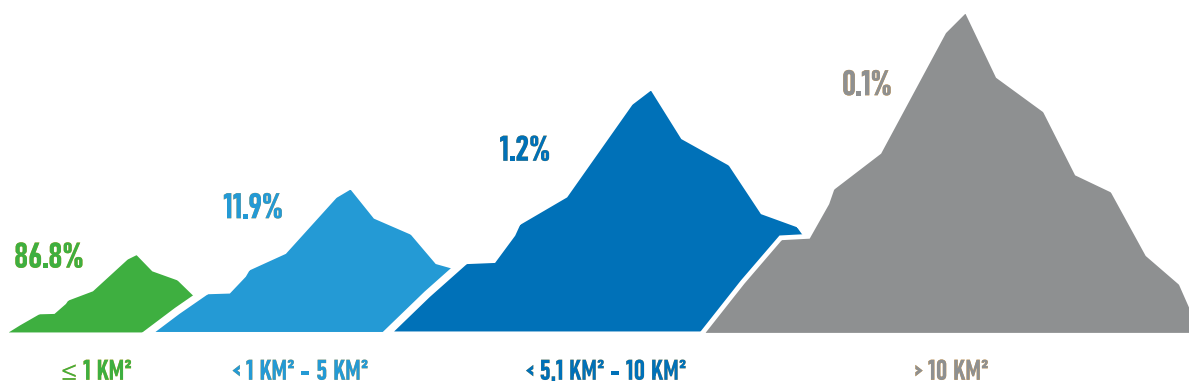
Fuente: INAIGEM, 2023a

### 7.1.4. Distribución de los glaciares respecto a las características topográficas

Considerando las características de tamaño, pendiente y ubicación altitudinal de los glaciares, a continuación, se describe la cantidad y la superficie glaciar distribuidas por rangos representativos.

#### A) Cantidad y superficie glaciar por tamaño

Los glaciares tropicales del Perú, al año 2020, no sobrepasan los 14 km<sup>2</sup>. Con base en este dato, se clasificaron los glaciares en cuatro rangos de tamaño representativos (Figuras 72 y 73), encontrando que el 86,8 % de los glaciares (1808) tiene una extensión menor o igual a 1 km<sup>2</sup>. Es decir, más de las cuatro quintas partes de los glaciares de los Andes peruanos poseen superficies muy reducidas.



**Figura 72. Porcentaje de glaciares por rangos de tamaño**

Por otra parte, las grandes superficies glaciares han disminuido significativamente, y en la actualidad solo el 0,1 % (dos glaciares: Jankapampa 1 y Copac en la Cordillera Blanca) supera los 10 km<sup>2</sup> (Figuras 72 y 73). En este sentido, se observa que la mayor cantidad de los glaciares tienen tamaños menores. Esta tendencia indica que, en las próximas décadas, a medida que los glaciares continúen reduciendo su tamaño, se distanciarán unos de otros, dando lugar a su rápida fragmentación. Estas nuevas superficies más pequeñas se extinguirán rápidamente, al no contar con zonas permanentes de acumulación.

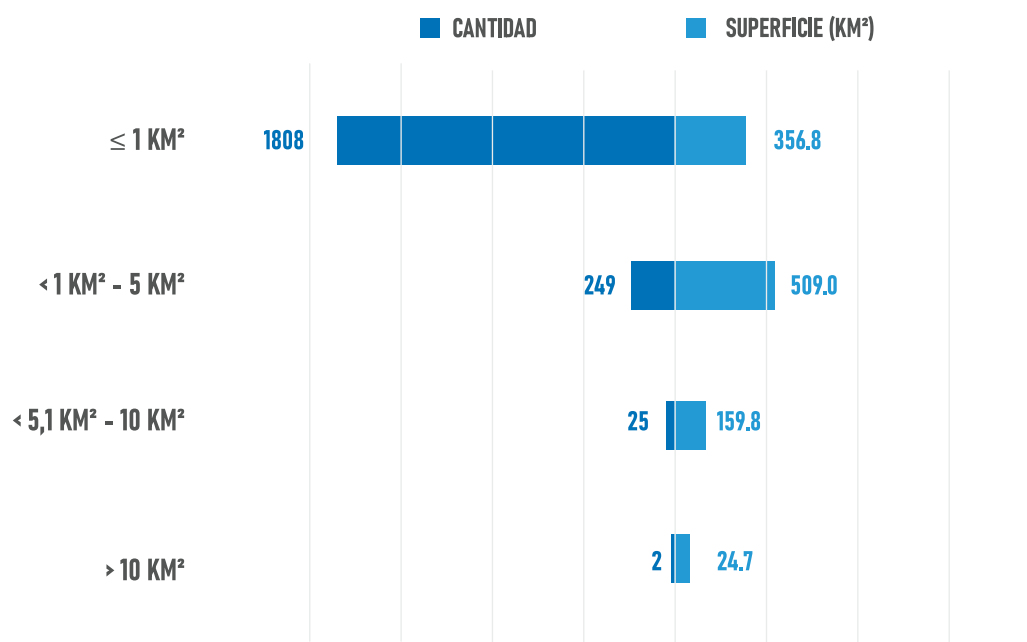


Figura 73. Cantidad y superficie de glaciares por rangos de tamaño

### B) Cantidad de glaciares por altitud mínima

De acuerdo con la altitud mínima (en metros sobre el nivel del mar) a la que se ubican los glaciares, estos se agruparon en rangos de 500 metros, obteniendo los siguientes resultados:

- El 1,6 % de los glaciares presenta su cota mínima desde los 4000 hasta los 4500 m s. n. m., siendo este el grupo de glaciares más accesible desde el punto de vista altitudinal.
- En un rango altitudinal superior se encuentra la mayor cantidad de glaciares (52,2 %), cuyas altitudes mínimas se ubican entre los 4501 y los 5000 m s. n. m.
- Un porcentaje un tanto menor de glaciares (44,6 %) se localiza entre los 5001 a 5500 m s. n. m. A partir de este rango altitudinal, se considera importante evaluar la superficie de glaciares, ya que la altitud de la línea de equilibrio (ELA) generalmente se encuentra por encima de los 5000 m s. n. m. Es decir, los glaciares que no poseen grandes áreas por encima de este nivel están fuertemente desbalanceados y en peligro de extinción en el futuro cercano (Comunidad Andina, 2007).

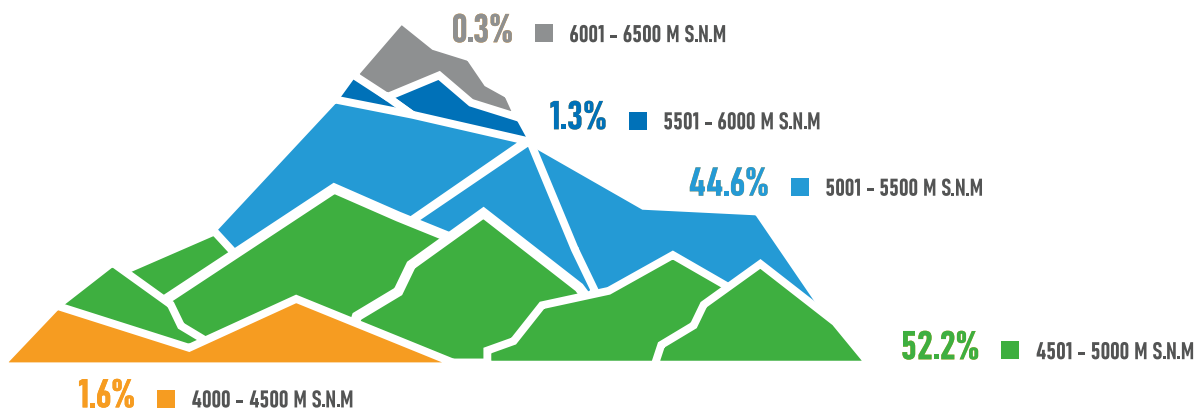


Figura 74. Porcentaje de glaciares por rangos de altitud mínima

Por otra parte, 28 glaciares (1,3 %) extienden su cota mínima entre los 5501 y 6000 m s. n. m. Estos glaciares, al encontrarse sobre los 5000 m s. n. m., conservan mejor su superficie glaciar debido a su ubicación por encima de la línea de equilibrio. Finalmente, solo seis glaciares (0,3 %) presentan su cota mínima por encima de los 6000 m s. n. m., sin embargo, su superficie es muy reducida (Figura 75).

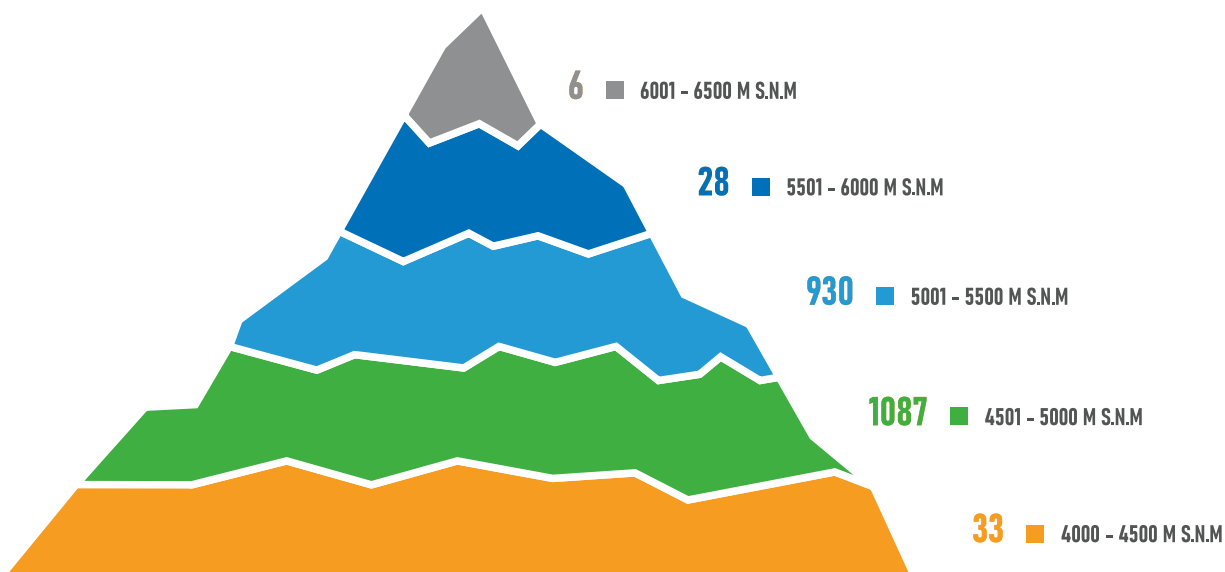


Figura 75. Cantidad de glaciares por rangos de altitud mínima

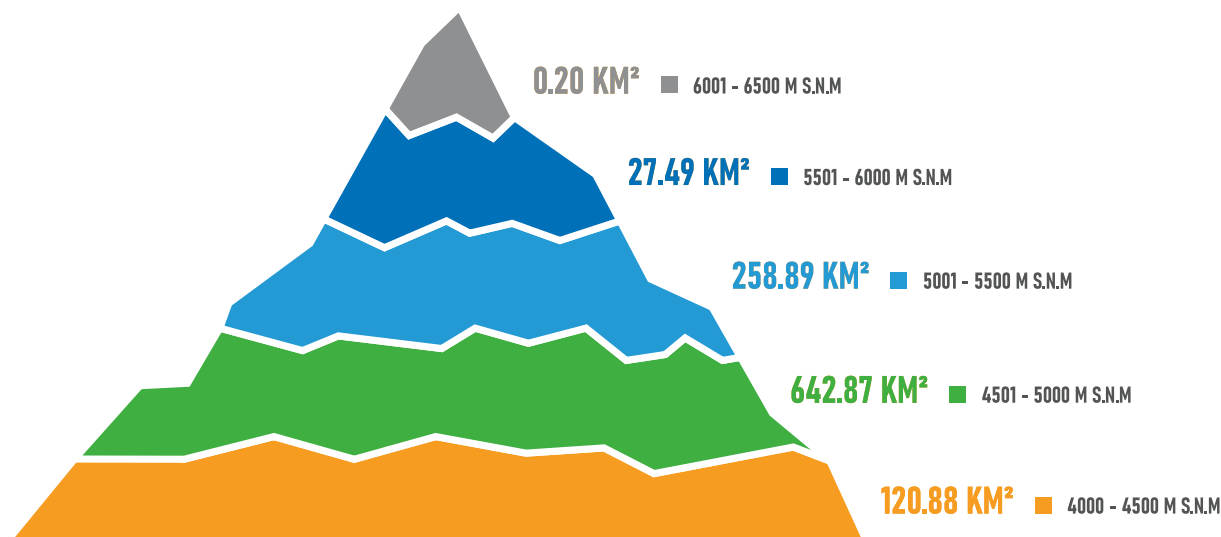


Figura 76. Superficie de glaciares por rangos de altitud mínima

### C) Cantidad y superficie glaciar de acuerdo con la pendiente

La pendiente es el parámetro que permite determinar qué tan empinado se encuentra el terreno en el que se emplazan los glaciares (INAIGEM, 2023a). Cuando los glaciares se ubican en pendientes superiores a 25° (equivalente a 46,6 % de inclinación), pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), ya que son susceptibles a generar desplomes o avalanchas (INAIGEM, 2023a).

Para evaluar la superficie glaciar de acuerdo con la pendiente, se emplearon los rangos propuestos por el INGEMMET (2021), encontrando los siguientes resultados:

- El 63,6 % de la superficie glaciar se ubica en pendiente muy fuerte o escarpada (25° - 45°). Esto significa que gran parte de la extensión glaciar se encuentra en condiciones poco accesibles debido a la complejidad del terreno.
- Un 1,9 % de la superficie glaciar se ubica en pendientes muy escarpadas (>45°) (Figura 77).

De acuerdo con lo mencionado, encontramos que la mayoría de los glaciares del Perú se ubican por encima de los 25° de pendiente (Figuras 77 y 78). Esto los hace propensos a generar avalanchas de hielo, que, dependiendo de su magnitud, podrían ocasionar eventos catastróficos o contribuir a disminuir la superficie glaciar gradualmente por desprendimiento del hielo en zonas externas al glaciar.

Respecto a esto último, las pendientes pronunciadas desfavorecen la acumulación de nieve y hielo, debido a las características abruptas e inclinadas del terreno.

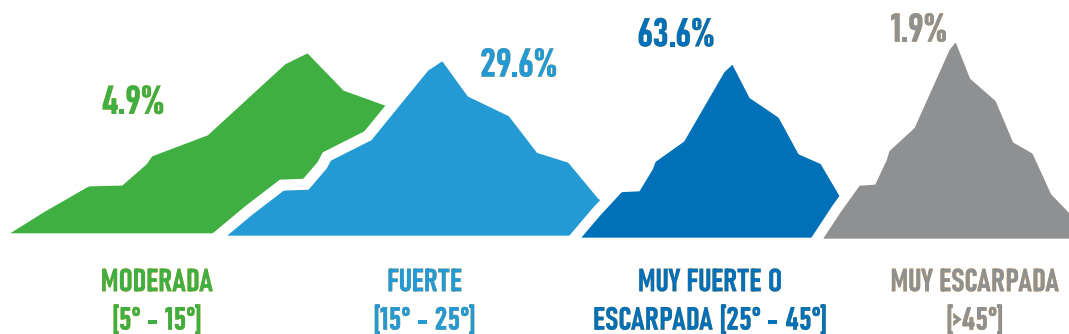


Figura 77. Porcentaje de superficie glaciar por rangos de pendiente

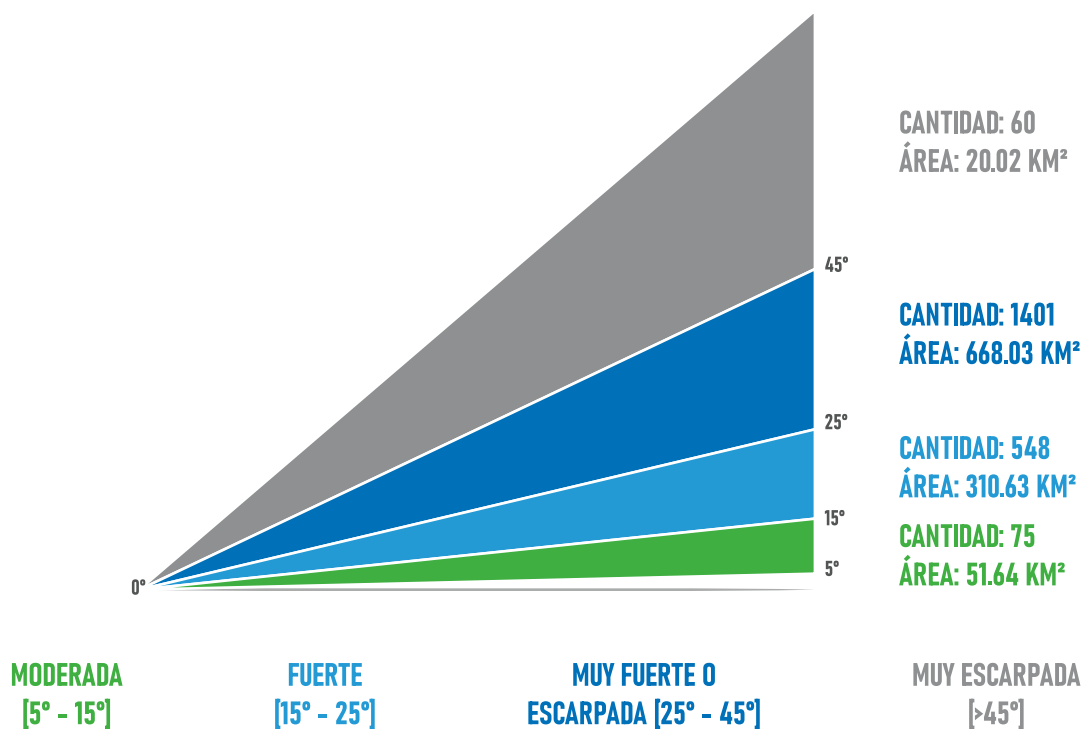


Figura 78. Cantidad y superficie de glaciares por rangos de pendiente

## 7.2. GLACIARES DENTRO DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

El Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE) está conformado por las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de nivel nacional y complementarias. Las ANP de nivel nacional se clasifican en diez categorías, de las cuales cinco albergan glaciares: Parques Nacionales, Santuarios Nacionales, Santuarios Históricos, Reservas Paisajísticas y Zonas Reservadas. Estas categorías son gestionadas y administradas por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) (SERNANP, 2024). Además, existen glaciares en Áreas de Conservación Regional (ACR) y Áreas de Conservación Privada (ACP). Estos mecanismos de conservación favorecen la protección de los glaciares frente a diversas actividades que pueden degradarlos.

El SINANPE tiene bajo su jurisdicción el 46,6 % de los glaciares y el 60 % de la cobertura glaciar del país (Figuras 79 y 80), lo que representa un avance importante en la conservación de estas masas de hielo. No obstante, un considerable porcentaje de glaciares aún no cuenta con ningún tipo de administración que vele por su protección y conservación. Al ser los glaciares una fuente vital de recurso hídrico que sostiene a las poblaciones, la biodiversidad y las actividades económicas del país, es necesario tomar acciones para incluir la totalidad de glaciares tropicales peruanos al SINANPE, ya sea como áreas definitivas o complementarias.

A continuación, se detallan las cantidades y superficies de glaciares según cada categoría de ANP.

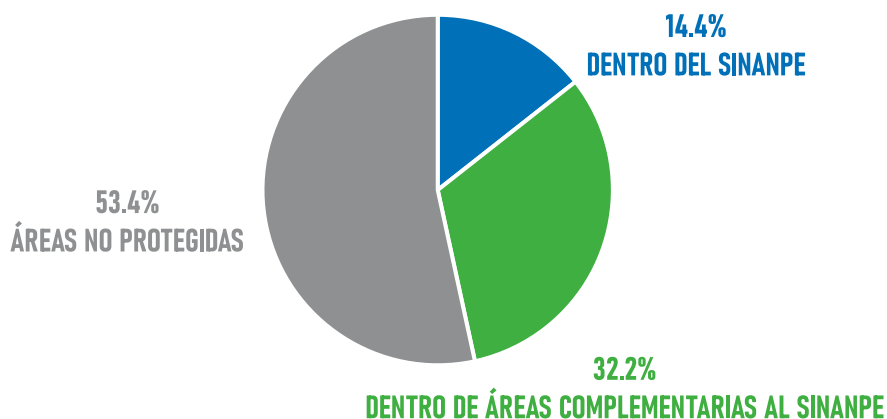


Figura 79. Porcentaje de glaciares en áreas naturales protegidas

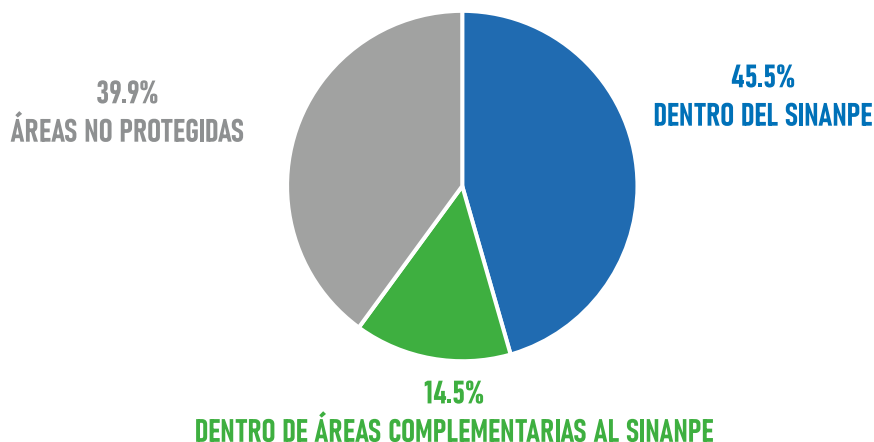


Figura 80. Porcentaje de superficie glaciar en áreas naturales protegidas

### **7.2.1. Glaciares dentro de los Parques Nacionales (PN)**

Los Parques Nacionales (PN) constituyen muestras representativas de la diversidad natural del país. En ellos se protege, con carácter intangible, la flora y fauna silvestre, ecosistemas presentes, así como otras características paisajísticas y culturales asociadas (Secretaría de Gobierno digital PCM, 2022a).

De los 15 Parques Nacionales que integran el SINANPE, solo el Parque Nacional Huascarán (PNH), en Áncash, presenta glaciares dentro de sus límites. Los 492 glaciares presentes en el PNH, ubicados en la Cordillera Blanca, suman una superficie de hielo que alcanza los 418,6 km<sup>2</sup>, lo que representa el 0,4 % del total de la superficie del Parque Nacional (Figura 81).

### **7.2.2. Glaciares dentro de los Santuarios Nacionales (SN)**

En los Santuarios Nacionales (SN) se protege, con carácter intangible, el hábitat de una especie o una comunidad de la flora y fauna, así como formaciones naturales de interés científico y paisajístico (Secretaría de Gobierno digital PCM, 2022a).

De los nueve Santuarios Nacionales que integran el SINANPE, solo presenta glaciares el Santuario Nacional de Ampay (SNA), en Apurímac. Los cuatro glaciares presentes en el SNA, ubicados en la cordillera Vilcabamba, suman una superficie de hielo de 0,7 km<sup>2</sup>, lo que representa el 0,02 % del total de la superficie del Santuario Nacional (Figura 81).

### **7.2.3. Glaciares dentro de los Santuarios Históricos (SH)**

Los Santuarios Históricos (SH) conservan espacios de gran valor natural y constituyen el entorno de muestras del patrimonio monumental y arqueológico del país. También son lugares donde se desarrollaron hechos sobresalientes de la historia nacional. (Secretaría de Gobierno digital PCM, 2022a).

De los cuatro Santuarios Históricos que integran el SINANPE, solo el Santuario Histórico Machupicchu (SHM), en Cusco, presenta glaciares dentro de sus límites. Los 28 glaciares presentes en el SHM, ubicados en las cordilleras Urubamba y Vilcabamba, suman una superficie de hielo de 6,6 km<sup>2</sup>, lo que representa el 1,4 % del total de la superficie del santuario (Figura 81).

Asimismo, un glaciar de la cordillera Vilcabamba, comparte una superficie de 0,3 km<sup>2</sup> entre el Santuario Histórico Machupicchu y el Área de Conservación Regional Choquequirao.

### **7.2.4. Glaciares dentro de las Reservas Paisajísticas (RP)**

Las Reservas Paisajísticas (RP) conservan ambientes cuya integridad geográfica muestra una relación armoniosa entre el ser humano y la naturaleza, por ello albergan importantes valores naturales y culturales (Secretaría de Gobierno digital PCM, 2022a).

Las dos Reservas Paisajísticas que integran el SINANPE, la Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas y la Subcuenca del Cotahuasi, presentan glaciares dentro de sus límites. Los 75 glaciares presentes en estas RP, ubicados en

las cordilleras Ampato, Central y Huanzo, suman una superficie de hielo de 21,7 km<sup>2</sup>, lo que representa el 0,3 % del total de la superficie de las Reservas Paisajísticas (Figura 81).

### 7.2.5. Glaciares dentro de las Zonas Reservadas (ZR)

Las Zonas Reservadas (ZR) son áreas que, al reunir las condiciones para ser consideradas como Áreas Naturales Protegidas, requieren estudios complementarios para determinar características como su extensión, categoría y viabilidad de su gestión. (SERNANP, 2024).

De las ocho Zonas Reservadas que integran el SINANPE, solo la Zona Reservada Cordillera Huayhuash presenta glaciares dentro de sus límites. Los 125 glaciares presentes en la ZRCH, ubicados en las cordilleras Huayhuash y Raura, suman una superficie de hielo de 62,4 km<sup>2</sup>, lo que representa el 1,1 % del total de la superficie de las Zonas Reservadas (Figura 81).

Asimismo, 52 glaciares de la cordillera Huayhuash comparten superficie entre la Zona Reservada Cordillera Huayhuash y el Área de Conservación Privada Huayllapa, Pacllón y Jirishanca, con un total de 31,2 km<sup>2</sup> (Figura 81).

### 7.2.6. Glaciares dentro de las Áreas de Conservación Regional (ACR)

Las Áreas de Conservación Regional (ACR) son áreas naturales protegidas que desempeñan un papel importante en el ordenamiento territorial y son administradas directamente por los gobiernos regionales.

De las 32 ACR existentes, tres presentan glaciares dentro de sus límites: Ausangate, Choquequirao y Huaytapallana. Los 244 glaciares presentes en estas ACR, ubicados en las cordilleras Huaytapallana, Vilcabamba y Vilcanota, suman una superficie de hielo de 121 km<sup>2</sup>, lo que representa el 0,3 % del total de la superficie de las ACR (Figura 81).

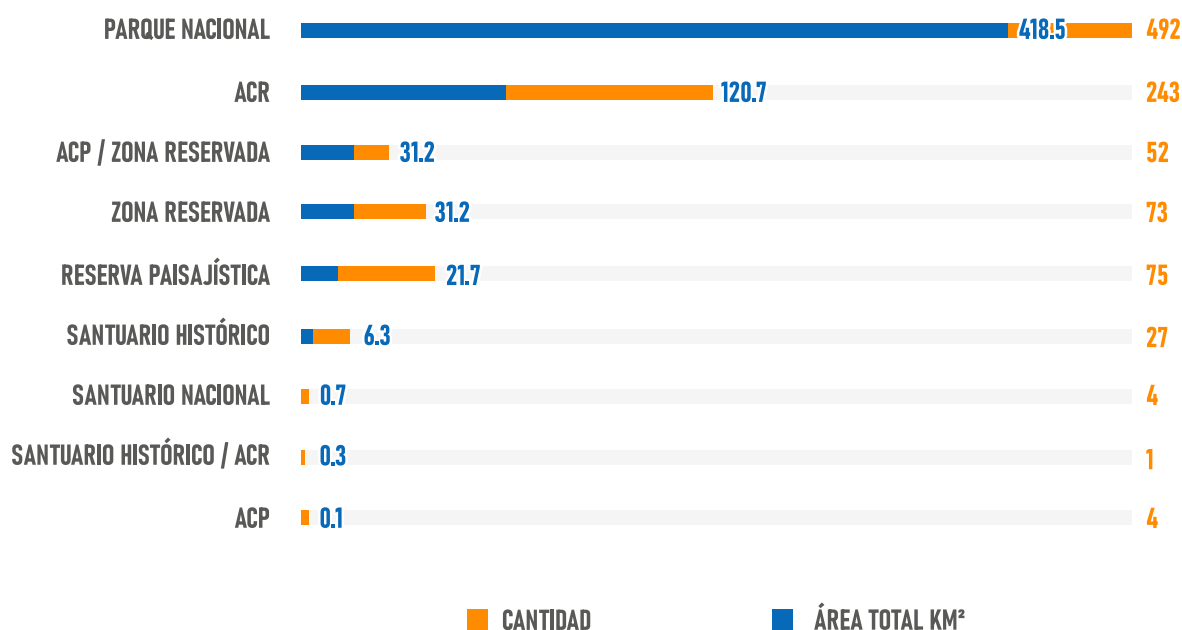


Figura 81. Cantidad y superficie de glaciares por área natural protegida

### 7.2.7. Glaciares dentro de las ANP de Conservación Privada (ACP)

Las Áreas de Conservación Privada (ACP) son predios de propiedad privada, pertenecientes a personas naturales o jurídicas, en cuyo ámbito se encuentran muestras representativas del ecosistema natural característico del entorno. Estas áreas son conservadas por iniciativa propia y de forma voluntaria por sus propietarios y cuentan con el reconocimiento del Estado peruano. (Secretaría de Gobierno Digital PCM, 2022b).

De las 138 ACP existentes, solo el Área de Conservación Privada Suttoc y Pacchac presenta glaciares dentro de sus límites. Los 56 glaciares presentes en esta ACP, ubicados en la cordillera Urubamba, suman una superficie de hielo de 31,4 km<sup>2</sup>, lo que representa el 0,8 % del total de la superficie del ACP (Figura 81).

## 7.3. TENDENCIAS HACIA UN FUTURO SIN GLACIARES

Determinar cómo evolucionarán los glaciares en las próximas décadas es una labor compleja. La variabilidad climática y su relación con los glaciares requieren de un estudio detallado y a la vez integral de cada uno de sus componentes, especialmente en el contexto de cambio global.

En el caso peruano, además, nos enfrentamos ante la escasez de series de datos históricos relacionados con la dinámica de los glaciares. Asimismo, el equipamiento necesario para recopilar datos en series de tiempo continuo sobre los glaciares es aún muy limitado. Si bien la teledetección y las técnicas de percepción remota constituyen hoy en día herramientas poderosas para el estudio y seguimiento de las superficies glaciares, el monitoreo en campo sigue siendo imprescindible para brindar proyecciones confiables.

No obstante, si las tendencias actuales de incremento de temperatura persisten, es altamente probable que muchos de los glaciares peruanos continúen desapareciendo. Cordilleras como Chila y Chonta, cuencas como Pachitea, Chancay-Huaral, Chillón y Pucará, así mismo, departamentos como Huancavelica, podrían perder la totalidad de sus glaciares en el transcurso de unas pocas décadas, o incluso años.

Ante esta situación, es imprescindible generar conocimiento y desarrollar medidas viables para enfrentar la pérdida de los glaciares.

SECCIÓN 8

# RECOMENDACIONES DE ACCIÓN



## 8. RECOMENDACIONES DE ACCIÓN

---

A continuación, se presentan las medidas necesarias para reducir la velocidad de pérdida glaciar y aumentar la resiliencia y adaptación frente a las consecuencias del retroceso glaciar.

**Mejorar la comprensión de la evolución de los glaciares y su respuesta al cambio climático.** Es fundamental incrementar la investigación y el monitoreo de glaciares tropicales, así como el análisis de su interacción con el clima. Además, resulta prioritario el estudio de las repercusiones del retroceso glaciar en la cantidad y calidad del agua, y otros impactos sociales y económicos. Todo ello con el fin de que sirvan de soporte para la toma de decisiones basadas en evidencia.

**Reducir las emisiones contaminantes a escala local que afecten a los glaciares,** como el carbono negro. Esto se puede lograr mediante instrumentos de gestión ambiental, como ordenanzas municipales para regular las emisiones producidas por combustión, y la fiscalización de las potenciales fuentes de contaminación.

**Implementar medidas de mitigación del cambio climático** que contribuyan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional y global, tales como la medición y compensación de la huella de carbono, el uso de fuentes de energía renovables, un mayor uso del transporte público o de bicicletas, el incremento de áreas forestales, entre otras acciones.

**Incrementar la protección de glaciares** bajo modalidades de conservación en áreas naturales protegidas o con la implementación de normas que aseguren su intangibilidad y regulen las actividades o usos del suelo que puedan degradarlos.

**Fortalecer la gestión de los recursos hídricos en un contexto cambiante.** Es necesario fortalecer las organizaciones encargadas de la gestión del agua, integrando a los diversos actores involucrados. Además, se debe incorporar información de escenarios futuros, como la disminución del aporte de agua derivada del derretimiento glaciar, y los cambios en la demanda y usos de agua, con la finalidad de prever y afrontar la posible escasez hídrica. Todo ello debe incluirse en los planes de gestión de recursos hídricos y gestión de cuencas hidrográficas. Asimismo, se debe evaluar el aprovechamiento actual del recurso hídrico mediante proyectos multipropósito.

**Reducir el riesgo de origen glaciar.** Frente a la ocurrencia de aluviones o avalanchas asociadas a glaciares, es urgente implementar medidas preventivas, tales como la elaboración de evaluaciones y mapas del peligro y riesgo, la señalización de rutas de evacuación y zonas seguras, la creación de sistemas de monitoreo y alerta temprana, y evitar la ocupación de zonas de muy alto peligro mediante instrumentos de zonificación y gestión urbano-territorial. También se debe fortalecer las capacidades de las instituciones y comunidades expuestas al peligro.

**Implementar proyectos de infraestructura natural.** Es importante evaluar y plantear proyectos de infraestructura basados en la naturaleza que ayuden a minimizar el impacto del retroceso glaciar, principalmente aquellos que contribuyan al almacenamiento o retención de agua en zonas altas. Un ejemplo de ello es la conservación y ampliación de bofedales, que funcionan como esponjas naturales al retener agua durante los periodos de lluvia y liberarla lentamente durante la época seca.

**Financiar medidas de adaptación a las consecuencias del retroceso glaciar.** Es indispensable asegurar el financiamiento necesario para mejorar la capacidad de adaptación de todas las partes involucradas, fomentar el desarrollo y la aplicación de tecnología, y la creación de infraestructura de apoyo. Se debe invertir en sistemas de almacenamiento, distribución y en métodos de retención natural del agua, para compensar la reducción en la cantidad de agua disponible, que antes se almacenaba en forma de nieve y hielo (Schoolmeester et al., 2018).

**Fomentar programas educativos y de capacitación.** Se deben fomentar programas educativos para las comunidades locales, promoviendo la comprensión de los impactos del cambio climático y del derretimiento acelerado de glaciares en la disponibilidad de agua, así como la importancia de gestionar los recursos de manera sostenible. Además, se debe capacitar a las autoridades locales y regionales en la incorporación de temas de adaptación y en la planificación para la gestión. Es especialmente necesario considerar los conocimientos locales e indígenas como una valiosa fuente de información para la gestión sostenible de los frágiles ecosistemas de montaña (Huggel et al. 2015; Schoolmeester et al., 2018).

# CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

---

A lo largo de este documento se han descrito los principales aspectos que ayudan al lector a conocer la dinámica de los glaciares tropicales, su distribución en el planeta y su importancia para la vida. Esto constituye la base para comprender las repercusiones de un acelerado proceso de deglaciación, como el que actualmente se evidencia en los Andes peruanos.

El Perú destaca por poseer el 68 % de los glaciares tropicales del mundo, siendo una de las fuentes de agua más importantes para el país. Sin embargo, su susceptibilidad al constante incremento de la temperatura global coloca a la población que dependen del agua del deshielo en una situación de vulnerabilidad. La principal causa del retroceso de los glaciares es el cambio climático, que comprende el aumento de la temperatura global y cambios en la distribución de las precipitaciones. Sin embargo, factores como los incendios forestales y la contaminación por combustión también contribuyen, en una escala local, al acelerado deterioro de los glaciares mediante la emisión de partículas absorbentes de luz, principalmente de carbono negro, lo que provoca que los glaciares absorban más calor y se derritan más rápido.

El estudio de los glaciares es esencial para comprender el impacto del cambio climático, particularmente en las regiones tropicales como los Andes peruanos. Su rol como indicadores sensibles a la variabilidad y al cambio climático exige un monitoreo permanente que permita prever los desafíos futuros en la gestión del agua y los ecosistemas asociados.

El retroceso glaciar en los Andes peruanos durante las últimas seis décadas ha sido alarmante. La información que brindan los inventarios elaborados a nivel nacional evidencia una disminución del 56,2 % de la cobertura glaciar en 58 años. Llevando a cordilleras como Chila y Chonta al borde de la extinción debido a su escasa cobertura glaciar (menor a 0,5 km<sup>2</sup>). Asimismo, la pérdida de 1514 glaciares de pequeña magnitud en 58 años debería ser una llamada de alerta sobre la grave crisis actual que enfrentan los glaciares en la actualidad.

El retroceso glaciar trae consigo una serie de consecuencias graves, como la reducción del caudal de los ríos, la alteración de los ecosistemas y el aumento del riesgo de desastres por avalanchas y desbordes de lagunas. Además, la disminución de las reservas de agua afecta la seguridad alimentaria y la salud de las poblaciones dependientes de estos recursos.

En 2020, la situación de los glaciares peruanos mostró una marcada reducción en cantidad y superficie. El estado de los glaciares en cuencas como Pachitea, Chancay-Huaral, Chillón y Pucará son motivo de mayor preocupación debido a su escasa cobertura (menor a 1 km<sup>2</sup>). Asimismo, el departamento de Huancavelica, con únicamente tres glaciares y superficie total de 0,1 km<sup>2</sup>, se encuentra altamente propenso a perder la totalidad de su superficie glaciar en el corto tiempo.

Un considerable porcentaje de glaciares (53,4 %), no cuenta con administración alguna que vele por su protección y conservación. Es necesario tomar acciones para incluir a la totalidad de los glaciares tropicales peruanos al SINANPE. De no tomarse medidas efectivas para el cuidado y preservación de los glaciares tropicales, la gran mayoría podría desaparecer a finales del presente siglo, generando un impacto negativo que afectará sobre todo a las generaciones futuras.

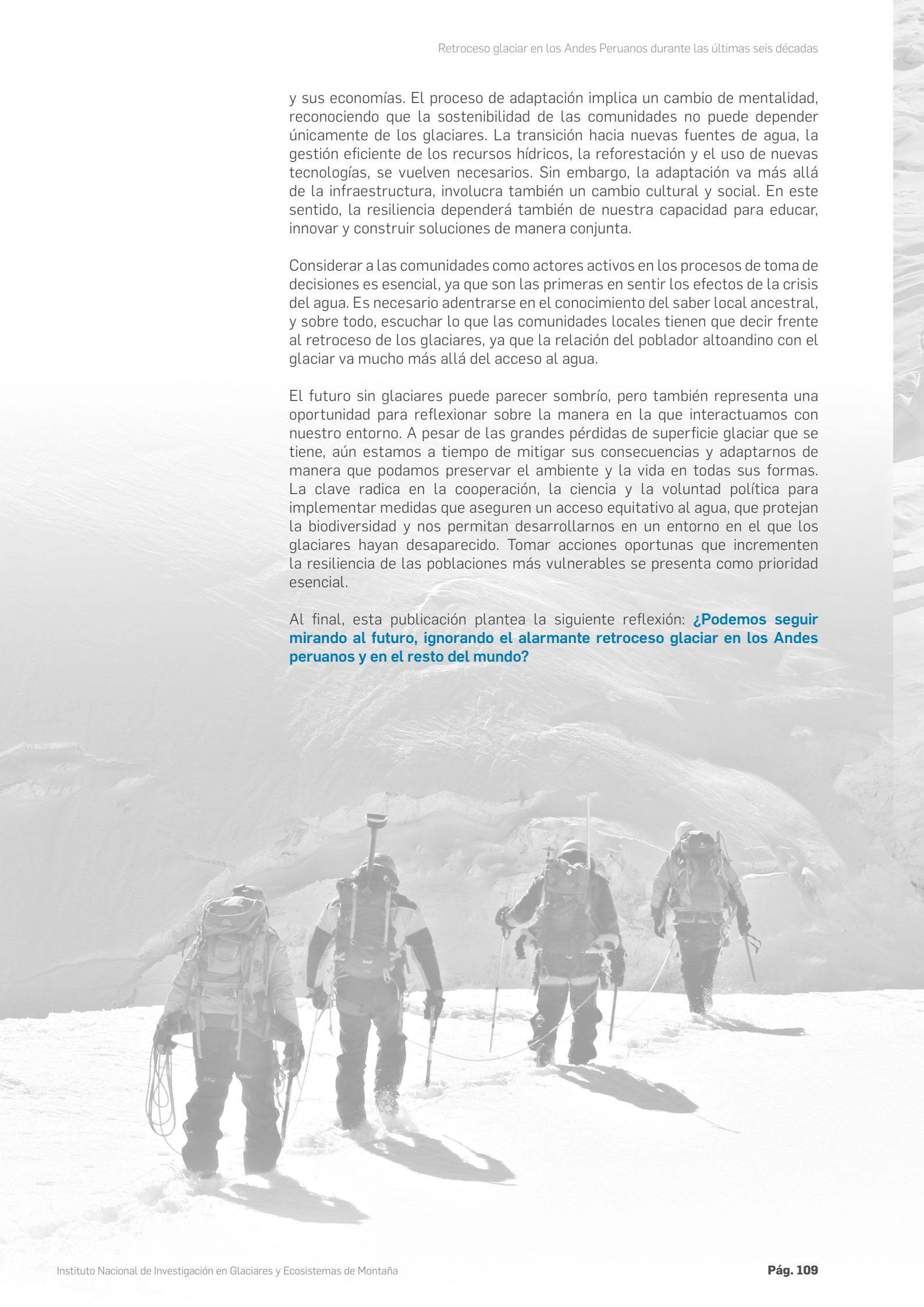
La desaparición de los glaciares no solo representa la pérdida de un recurso natural esencial, sino también un desafío para la adaptación de las poblaciones

y sus economías. El proceso de adaptación implica un cambio de mentalidad, reconociendo que la sostenibilidad de las comunidades no puede depender únicamente de los glaciares. La transición hacia nuevas fuentes de agua, la gestión eficiente de los recursos hídricos, la reforestación y el uso de nuevas tecnologías, se vuelven necesarios. Sin embargo, la adaptación va más allá de la infraestructura, involucra también un cambio cultural y social. En este sentido, la resiliencia dependerá también de nuestra capacidad para educar, innovar y construir soluciones de manera conjunta.

Considerar a las comunidades como actores activos en los procesos de toma de decisiones es esencial, ya que son las primeras en sentir los efectos de la crisis del agua. Es necesario adentrarse en el conocimiento del saber local ancestral, y sobre todo, escuchar lo que las comunidades locales tienen que decir frente al retroceso de los glaciares, ya que la relación del poblador altoandino con el glaciar va mucho más allá del acceso al agua.

El futuro sin glaciares puede parecer sombrío, pero también representa una oportunidad para reflexionar sobre la manera en la que interactuamos con nuestro entorno. A pesar de las grandes pérdidas de superficie glaciar que se tiene, aún estamos a tiempo de mitigar sus consecuencias y adaptarnos de manera que podamos preservar el ambiente y la vida en todas sus formas. La clave radica en la cooperación, la ciencia y la voluntad política para implementar medidas que aseguren un acceso equitativo al agua, que protejan la biodiversidad y nos permitan desarrollarnos en un entorno en el que los glaciares hayan desaparecido. Tomar acciones oportunas que incrementen la resiliencia de las poblaciones más vulnerables se presenta como prioridad esencial.

Al final, esta publicación plantea la siguiente reflexión: **¿Podemos seguir mirando al futuro, ignorando el alarmante retroceso glaciar en los Andes peruanos y en el resto del mundo?**



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Actualidad Ambiental. (2023, diciembre 12). *Nevado Quelccaya perdió cerca de 20 km<sup>2</sup> de hielo en los últimos 35 años, según la NASA*. SPDA Actualidad Ambiental. Retrieved 12 8, 2024, from <https://www.actualidadambiental.pe/nevado-quelccaya-perdio-cerca-de-20-km2-de-hielo-en-los-ultimos-35-anos-segun-la-nasa/>

Ahlmann, H. W. (1948). *Glaciological research on the North Atlantic coast* (R.G.S. Research Ser ed., Vol. 83).

Alberto, J., & Gómez, C. (2013). *Sistema de modelado glaciar. Parte 2 - Dinámica glaciar: agentes, procesos y formas resultantes*. Revista Geográfica Digital - UNNE.

Albro, R., Bacigalupo, A. M., Carreño, G. S., Paerregaard, K., Drew, G., Gagné, K., & Gergan, M. (2019). *Montañas y paisajes sagrados: mundos religiosos, cambio climático y las implicaciones del retiro de los glaciares* (Joel Anicama Díaz ed.). Universidad Antonio Ruiz de Montoya. ISBN: 978-612-4102-43-1

Ames, A., & Francou, B. (1995). *Cordillera Blanca Glaciares en la Historia* (ORSTOM, CP).

Aranda, M. P. (2017). *Valoración económica de la función ecosistémica de producción de agua que presta el nevado tuni condoriri y sus glaciares para la población de las ciudades de el alto y la paz* (Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Ciencias Económicas y Financieras Carrera de Economía ed.).

Arroyo, J., Gurmendi, P., & Machuca, E. (2015). Efectos de las anomalías climáticas en la cobertura de nieve de los glaciares centrales del Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 5 (1). <https://doi.org/10.18259/acs.2015022>

Arroyo, J., Schulz, N., & Gurmendi, P. (2012). Impactos de las actividades antrópicas en el nevado Huaytapallana. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 02(01), 3-14. <https://doi.org/10.18259/acs.2012002>

Baraer, M., Mark, B. G., McKENZIE, J. M., Condom, T., Bury, J., Huh, K. I., & Rathay, S. (2012). Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. *Journal of Glaciology*, 58(207), 134-150.

Bolaño, T. R. (2019). *Evaluación de los aerosoles absorbentes en la reducción del albedo en nieve en la primavera austral de los Andes centrales* [Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza].

Bolívar, W., & Dueñas, Y. (2013). La Montaña Sagrada de Salkantay su Paisaje, Poder y Ancestros. *Arqueología y Sociedad*, (Ministerio de Cultura, Dirección Desconcentrada de Cultura - Cusco), 229 - 248.

Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M. G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., ... Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380-5552. doi:10.1002/jgrd.50171

Boyano, P. D. (2016). Servicios ecosistémicos de la criósfera y los páramos de la cordillera Blanca, Perú. In *Boletín 3* (Colegio de Geógrafos del Perú). ISSN 2411-6890

Bravo, K. C. (2019). *Análisis del registro glaciar del cambio climático desde la pequeña edad del hielo en el nevado Tunshu (11° S) cordillera Occidental de los Andes Centrales* (Universidad Nacional Mayor de San Marcos Universidad del Perú. Decana de América Facultad de Ciencias Sociales Escuela Profesional de Geografía ed.).

Bustamante, R. (2018). *Impacts of climate change on tropical glaciers, the Andes cordillera of Peru*.

Buytaert, W., Moulds, S., Acosta, L., De Bievre, B., Olmos, C., Villacis, M., Tovar, C., & Verbist K, M. J. (2017). Glacial Melt Content of Water Use in the Tropical Andes. *Environmental Research Letters*, 12, 1-8.

Calléde, J., Cochonneau, G., Ronchail, J., Vieira, F., Guyot, J.-L., Santos, V., & De Oliveira, E. (2010). Les apports en eau de l'Amazonie à l'océan Atlantique. *Revue Des Sciences De L'eau*. 23(3), 247-273. 10.7202/044688

- Cano, T. J. (2018). *Turismo sostenible ante retroceso glaciar, caso Huaytapallana, Junín* (Nat. soc. (Lima) ed., Vol. 1(1)). <http://dx.doi.org/10.18259/nys.2018004>
- Carey, M. (2005). Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. *Global and Planetary Change*, 47, 122-134.
- Ceballos, J., & Tobon, E. (2007). GLACIARES COLOMBIANOS: EVOLUCIÓN RECIENTE Y ESTADO ACTUAL. *Boletín de Geología*, 29 (2).
- CECS. (2009). *Estrategia nacional de glaciares - Fundamentos*. Centro de Estudios Científicos.
- Ceruti, C. (2014, cuatrimestral). Las fuentes etnohistóricas y la arqueología de montaña en el estudio de los escenarios incaicos en altas cumbres. *Revista Hacuaypata, investigaciones arqueológicas del Tahuantinsuyo*, 8. ISSN: 2221-0369
- Chevallier, P., Pouyaud, B., Suarez, W., & Condom, T. (2011). Climate change threats to environment in the tropical Andes: glaciers and water resources. *Regional Environmental Change*, 11, 179 - 187.
- Chile Sustentable. (2013). *Glaciares y minería, continúa la destrucción de los glaciares*. Fundación Chile Sustentable.
- Chimner, R. A., & Karberg, J. M. (2008). Long-term carbon accumulation in two tropical mountain peatlands, Andes Mountains, Ecuador. *Mires and Peat*, 3(4), 1-10.
- Chuctaya, A., & López, S. M. (2016). *La percepción por parte de las poblaciones campesinas andinas del cambio climático* (Issue Instituto de Estudios de la Ciencia y la Tecnología (Universidad de Salamanca) y Instituto de Estudios de la Ciencia y la Tecnología (Universidad de Salamanca)). ISSN: 1647-3582
- Cisternas, R. (2023). *Glaciares de la Cordillera de Los Andes. Impactos de la industria minera*. Greenpeace.
- Comunidad Andina. (2007). *¿El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina*. Typographics E.I.R.L.
- De la calle, M. (2014). *Evolución reciente de los Glaciares de la vertiente sur del Nevado Salcantay (Perú)* (Universidad Complutense de Madrid ed.).
- Di Mauro, B., Garzonio, R., Baccolo, G., Gilardoni, S., Rossini, M., & Colombo, R. (2021). Light-Absorbing Particles in Snow and Ice: A Brief Journey Across Latitudes. *Springer Nature Switzerland*, 29. 10.1007/978-3-030-87683-8\_1
- Ermolin, E., Silva, A., & Glazovskiy, A. (2015). *Ambientes glaciares y periglaciares: formación y desarrollo* (1a ed.). Green Cross Argentina.
- Escate, I., & Talaverano, N. (2021). *EL DESCENSO DEL PASTORURI Y SU RELACIÓN CON EL TURISMO ¿PODEMOS OBTENER ALGO BUENO DE ELLO?*
- Escobedo, F. (2018). *Evaluación del retroceso de los glaciares Llamawasi, Yawarmaki, Q'elwaq'ocha y Ch'akilq'asa y su relación con la disponibilidad hídrica de las cuencas de los ríos lechería y colorado limatambo-cusco* (Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco Escuela de Postgrado Maestría en Ingeniería Civil Mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente).
- Evans, S. G. (2007). Los movimientos en masa de 1962 y 1970 en el nevado de Huascarán, valle del río Santa, Cordillera Blanca, Perú. In *En Movimientos en masa en la región andina* (pp. 386-404). Servicio Nacional de Geología y Minería. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2836>
- Fortner, S. K., Mark, B. G., McKenzie, J. M., Bury, J., Trierweiler, A., Baraër, M., & Munk, L. (2011). Elevated stream trace and minor element concentrations in the foreland of receding tropical glaciers. *Applied Geochemistry*, 26(11), 1792-1801.
- Francou, B., Rabatel, A., Soruco, A., Sicart, J. E., Silvestre, E. E., Ginot, P., Caceres, B., Condom, T., Villacís, M., Ceballos, J. L., Lehmann, B., Anthelme, F., Dangles, O., Gomez, J., Favier, V., Maisincho, L., Jomelli, V., Vuille, M., Wagnon, P., ... Mendoza, J. (2014). *Glaciares de los Andes Tropicales víctimas del Cambio Climático* (ADMINISTRACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PRAA - SECRETARÍA GENERAL DE LA COMUNIDAD ANDINA ed.).

Franco, B., Vuille, M., Wagnon, P., Mendoza, J., & Sicart, J. (2003). Tropical Climate Change Recorded by a Glacier of the Central Andes During the Last Decades of the 20th century: Chacaltaya Bolivia, 16°S. *Journal of Geophysical Research*.

GAPHAZ. (2017). *Evaluación de peligros por glaciares y permafrost en regiones de montaña – Documento técnico de orientación* [Elaborado por El Grupo de Trabajo Permanente sobre Peligros Glaciares y Permafrost en Alta Montaña (GAPHAZ) de la Asociación Internacional de Ciencias de la Criósfera (IACS) y la Asociación Internacional de Permafrost (IPA)].

Geoestudios LTDA. (2008). *MANUAL DE GLACIOLOGÍA* (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS ed.). Marangunic.

Gil, J. E. (2012). *Retroceso glaciar y cambio climático en los Andes peruanos: Principales impactos*.

Gilardoni, G., Di Mauro, B., & Bonasoni, P. (2022). Black carbon, organic carbon, and mineral dust in South American tropical glaciers. *A review. Global and Planetary Change*, 213. 10.1016/j.gloplacha.2022.103837.

Haller, A. (2010). Yungay: Recent tendencies and spatial perceptions in an andean risk zone. *Espacio y Desarrollo*, 1(22).

Heikkinen, A. (2017). Climate Change in the Peruvian Andes: A case study on small-scale farmers vulnerability in the Quilcay River Basin. *Iberoamericana Nordic Journal of Latin American and Caribbean Studies*, 46(1), 77-88.

Herreros, J., Moreno, I., Taupin, J. D., Ginot, P., Patris, N., De Angelis, M., Ledru, M. P., Delachaux, F., & Schotterer, U. (2009). Environmental records from temperate glacier ice on Nevado Coropuna saddle, southern Peru. *Advances in Geosciences*, 22, 27-34. <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-27-2009>

Huggel, C., Haeberli, W., Kääh, A., Bieri, D., & Richardson, S. (2004). An assessment procedures for glacial hazards in the Swiss Alps. *Canadian Geotechnical Journal*, 41(6), 1068-1083.

Huggel, C., Scheel, M., Albrecht, F., Andres, N., Calanca, P., Jurt, C., Khabarov, N., Mira-Salama, D., Rohrer, M., Salzmann, N., Silva, Y., Silvestre, E., Vicuña, L., & Zappa, M. (2015). A framework for the science contribution in climate adaptation: Experiences from science-policy processes in the Andes. *Environmental science & policy*, 47, 80-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2014.11.007>

IDEAM. (2012). *Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo*. EXPRECARDS C.I. SAS.

INAGGA. (1997). *Programa de investigaciones glaciológicas y geoambientales de la cordillera de los Andes*. Instituto Andino de Glaciología y Geoambiente.

INAIGEM. (2018a). *Muestreo para Determinar la Cantidad de Carbono Negro y su Impacto en la Fusión, Densidad, pH y Granulometría de la Nieve en los Glaciares Shallap y Yanapaccha de la Cordillera Blanca* (Informe n.º 01 ed.).

INAIGEM. (2018b). *Inventario Nacional de Glaciares: Las Cordilleras Glaciares del Perú*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

INAIGEM. (2022). *RUTAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y GEOPARQUE DEL GLACIAR QUELCCAYA*. Diaz R, Barros P, Bustinza V.

INAIGEM. (2023a). *Memoria Descriptiva del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar 2023*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

INAIGEM. (2023b). *Carbono Negro. Partículas atmosféricas contaminantes que amenazan a los Glaciares del Perú*. Villalobos, E.

Infobae. (2022, agosto 4). *¿Qué es la 'Ruta del Cambio Climático' y en qué parte del Perú se encuentra?* Infobae. Retrieved December 13, 2024, from <https://www.infobae.com/america/peru/2022/08/04/que-es-la-ruta-del-cambio-climatico-y-en-que-parte-del-peru-se-encuentra/>

INGEMMET. (2021). *Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en la Comunidad Campesina de Pampamarca (sector de Marjuni), distrito Cotaruse, provincia Aymaraes, departamento Apurímac*. [Informe Técnico N° A7102].

Iparraguirre, J., Úbeda, J., Concha, R., Pellitero, R., Barreto, C., Caballero, R., & Virú-Vásquez, P. (2022). Glacial evolution and paleoclimatic reconstruction since the Little Ice Age in the Llanganuco basin, Cordillera Blanca (Peru). *SSRN*.

IPCC. (2001). *Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001 La base científica* [Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico].

IPCC. (2007). *Climate change 2007 the physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. y Miller, H. L.

IPCC. (2010). *Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Sea Level Rise and Ice Sheet Instabilities*. IPCC, Grupo de Trabajo I, Universidad de Berna. Berna, Suiza.

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. (2019). *El océano y la criosfera en un clima cambiante. Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) [Resumen para responsables de políticas. Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo II,].

Iza, A. O., & Rovere, M. B. (2006). *Aspectos jurídicos de la conservación de los glaciares*. UICN. ISBN: 978-2-8317-0921-5

Jacobs, J. A., Lehr, J. A., & Testa, S. M. (2014). *Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Soils*. In *Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Soils*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. <https://doi.org/10.1002/9781118749197>

Jacobsen, D., & Dangles, O. (2012). Environmental harshness and global richness patterns in glacier-fed streams. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 647-656.

Jomelli, V., Favier, V., Rabatel, A., Brunstein, D., Hoffmann, G., & Francou, B. (2009). Fluctuations of glaciers in the tropical Andes over the last millennium and palaeoclimatic implications: A review, *Palaeogeograph. Palaeoclimatol., Palaeoecol*, 281, 269-282. 10.1016/j.palaeo.2008.10.033, 2009.

Jones, G. A., & Henry, G. H. (2003). Primary plant succession on recently deglaciated terrain in the Canadian High Arctic. *Journal of Biogeography*, 30, 277-296.

Kääb, A., Reynolds, J., & Haeberli, W. (2005). Glacier and Permafrost Hazards in High Mountains. En: Global Change and Mountain Regions – A State of Knowledge Overview. *The Mountain Research Initiative*, 23, 225 - 234.

Kaenzing, R. (2015). Can glacial retreat lead to migration? A critical discussion on the impact of glacier shrinkage upon population mobility in the Bolivian Andes. *Population and Environment*, 36, 480-496.

Kargel, J. S., Leonard, G. J., Bishop, M. P., Kääb, A., & Raup, B. H. (2014). *Global Land Ice Measurements from Space*. Springer-Praxis Books.

Kaser, G., & Osmaston, H. (2002). *Tropical Glaciers* (Cambridge University Press and UNESCO, , Cambridge ed.).

Kotlyakov, V., & Kunakhovich, M. (2007). *Elsevier's dictionary of geography* (1st ed.). Elsevier.

Leet, L., & Judson, S. (1997). *Fundamentos de geología física* (Limusa ed.) [México].

Loayza Muro, R. A., Duivenvoorden, J. F., Kraak, M. H., & Admiraal, W. (2014). Metal leaching, acidity, and altitude confine benthic macroinvertebrate community composition in Andean streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(2), 404-411. 10.1002/etc.2436

López, C. D., & Ramírez, J. (2010). *Glaciares, nieves y hielos de América Latina. Cambio climático y amenazas*. Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia.

Loza, S., Meneses, R. I., & Anthelme, F. (2015). Comunidades vegetales de los bofedales de la Cordillera Real (Bolivia) bajo el calentamiento global. *Ecología en Bolivia*, 50, 39-56. ISSN 1605-2528

Magagna, A. (2022). *Diseño de programa en gestión turística para los pobladores del área natural protegida nor yauyos cochabambino, para generar una adecuada cultura de recepción al turista* [Tesis de pregrado]. Universidad San Ignacio de Loyola. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/zoo/article/view/1634>

Mahowald, N. M. (2010). Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry. *Atmos. Chem. Phys.*, *10*, 10875–10893.

Maldonado-Oré, E. M., & Custodio, M. (2020). Visitor environmental impact on protected natural areas: An evaluation of the Huaytapallana Regional Conservation Area in Peru. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, *31*. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100298>

Malone, A., Pierrehumbert, R., Lowell, T., Kelly, M., & Stroup, J. (2016). Constraints on southern hemisphere tropical climate change during the Little Ice Age and Younger Dryas based on glacier modeling of the Quelccaya Ice Cap, Peru. *Quaternary Science Reviews*, *125*, 106-116.

Martel, G., Torres, J. C., & Jara, W. H. (2018). Variación del pH en Aguas Superficiales Debido a Drenajes Ácidos de Roca en la Subcuenca Quillcay, Huaraz, Ancash. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, *5*, 57-68.

Martínez, J., & Fernández, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. Ediciones Mundi-Prensa.

Matayoshi, N. (2018). Huaytapallana y Pariacaca, los dioses vivos. *Perspectivas latinoamericanas*, *1(12)*, 26.

Messerli, B. (2001). The International Year of Mountains (IYM), the Mountain Research Initiative (MRI) and PAGES. *Pages News*, *9(3)*.

MINAM. (2014). *Perú país de montaña los desafíos frente al cambio climático*.

MINEM. (2002). *Guía metodológica sobre Drenaje Ácido en la Industria Minera*.

Mölg, T., Hardy, D. R., Cullen, N. J., & Kaser, G. (2008). Tropical Glaciers, Climate Change, and Society: Focus on Kilimanjaro (East Africa). *The Darkening Peaks: Glacial Retreat in Scientific and Social Context*, *15*. 10.1525/9780520934245-013

Molina, L. T., Gallardo, L., Andrade, M., Baumgardner, D., Borbor-Córdova, M., Bórquez, R., Casassa, G., Cereceda-Balic, F., Dawldowski, L., Garreaud, R., Huneeus, N., Lambert, F., McCarty, J. L., McPhee, J., Mena-Carrasco, M., Raga, G. B., Schmitt, C., & Schwarz, J. P. (2015). Pollution and its Impacts on the South American Cryosphere. *Earth's Future*, *3*, 345-369. 10.1002/2015EF000311

Montano, Y., Tapia, P. M., Quispe, C., & Fuentealba, B. (2022). *El drenaje ácido de roca y sus potenciales impactos ambientales (Folleto)*. Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña – Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM).

Morote Best, E. (1956). *Espíritus de Montes* (Letras. Nro. 56/57. Lima ed.).

Naumenko, T. V., & Kozyreva, M. S. (2023). THE ANDEAN GLACIERS ABLATION AS A THREAT TO WATER SECURITY OF PERU. *Iberoamérica*, *3*, 29-46.

Oxman, B. I., Yacobaccio, H. D., Lupo, L. C., & Tchilinguirian, P. (2013). Primeros estudios paleoambientales en Lapao 2 (puna seca) y la señal de la "Pequeña edad de hielo". *Anuario de Arqueología*, *5*, 375-390. ISSN 1852-8554

Paerreggard, K. (2014). *Broken Cosmologies: Climate, Water, and State in the Peruvian Andes* (K., Hastrup ed., Issue Anthropology and Nature).

Paterson, W. (2001). *The Physics of Glaciers*. Butterworth-Heinemann.

Pedraza, J. d. (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Rueda.

Peña, R., & Tineo, L. (2013). *Efecto de la desglaciación del nevado Huaytapallana sobre el rendimiento hídrico subcuenca río Shullcas influenciado por la variación climática, 1985-2011* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Centro del Perú.

Plasencia, E. (2011). GLACIARES, CAMBIO CLIMÁTICO Y ACTIVIDADES PRODUCTIVAS: EL CASO DE PERÚ. In *Glaciares andinos, recursos hídricos y cambio climático: desafíos para la justicia climática en el Cono Sur* (Programa Chile Sustentable ed.). Aedo y Montecinos. I.S.B.N.: 978-956-7889-46-4

Ponce, Á., & Liendo, I. (2023, July 16). *El pacto milenario de los guardianes del hielo en el Cusco*. Ojo Público. Retrieved December 8, 2024, from <https://ojo-publico.com/4494/el-pacto-milenario-los-guardianes-del-hielo-el-cusco>

Pozada, R., Bravo, L., & Iparraguirre, J. (2023). Retroceso glaciar y el valor de los servicios ecosistémicos asociados con el recurso hídrico en la cuenca Parón-Parque Nacional Huascarán (Cordillera Blanca), 2009-2018. *Tecnología y ciencias del agua*, 14(6), 76 - 121. 10.24850/j-tyca-14-06-03

Qian, Y., Yasunari, T. J., Doherty, S. J., Flanner, M. G., Lau, W. K., Ming, J., & Zhang, R. (2015). Light-absorbing particles in snow and ice: Measurement and modeling of climatic and hydrological impact. *Advances in Atmospheric Sciences*, 32(1). <https://doi.org/10.1007/s00376-014-0010-0>

Quincey, D., Lucas, R., Richardson, S., Glasser, N., Hambrey, M., & Reynolds, J. (2005). Optical remote sensing techniques in high-mountain environments: application to glacial hazards. *Progress in Physical Geography*, 29(4), 475-505.

Rabassa, J. (2011). *Impacto del cambio climático global sobre los glaciares y el permafrost en américa del sur, con énfasis en patagonia, tierra del fuego y la península antártica* [Resumen de congreso, III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE]. Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Caceres, B., Ceballos, J. L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J. E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galarraga, R., ... Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, 7, 81-102. 10.5194/tc-7-81-2013

Ramírez, E. (2008). Impactos del cambio climático y gestión del agua sobre la disponibilidad de recursos hídricos para las ciudades de La Paz y El Alto. *Revista Virtual REDESMA*, 2(3).

Ramirez, E., Francou, B., Ribstein, P., Descloitres, M., Guerin, R., Mendoza, J., Gallaire, R., Pouyau, B., & Jordan, E. (2001). Small glaciers disappearing in the tropical Andes: a case study in Bolivia: Glaciar Chacaltaya (16°S). *Journal of Glaciology*, 47, 187-194.

Ramos, R. (2018). *Evolución de la cobertura glaciar del nevado Coropuna y su relación con el entorno climático* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Reinhard, J. (1983). Las Montañas Sagradas: Un Estudio Etnoarqueológico de Ruinas en las Altas Cumbres Andinas. *Cuadernos de Historia*, 3, 27 - 62.

Reynolds Geo-Sciences Ltd. (2003). *Development of glacial hazard and risk management protocols in rural environments – Guidelines for the management of glacial hazards and risks* (Mold, United Kingdom ed.).

RGI Consortium. (2023). Randolph Glacier Inventory - A Dataset of Global Glacier Outlines. *NSIDC: National Snow and Ice Data Center, Version 7.0*. 10.5067/f6jmovy5navz

Richardson, S. D., & Reynolds, J. M. (2000). An overview of glacial hazards in the Himalayas. *Quatern. Int.*, 65/66, 31-47.

Rico, R. J. (1982). *Fundamentos de geomorfología* (Paraninfo ed.) [Traducido por Guillermo Meléndez Hevia. Madrid].

Rivera, A. (2024). *Movimiento glaciar – Glaciología*. Laboratorio de Glaciología. Retrieved Diciembre 9, 2024, from <https://glaciologia.cl/glosario/glosario-pag-3/movimiento-glaciar/>

Rivera, A., Bown, F., Napoleoni, F., Muñoz, C., & Vuille, M. (2017). *Manual Balance de masa glaciar*. Ediciones CECs.

Sagredo, E. A., & Lowell, T. V. (2012). Climatology of Andean glaciers: A framework to understand glacier response to climate change. *Global and Planetary Change*, 86-87, 101-109.

- Sanchez, K. (2019). *Percepción del turista ante el cambio climático que afecta el Nevado Huaytapallana provincia de Huancayo–Junín, 2019* [Tesis de pregrado]. Universidad Cesar Vallejo.
- Sánchez, W., & Schmitt, C. (2018). Partículas Absorbentes de Luz durante El Niño y El Niño Costero en los Glaciares de la Cordillera Blanca, Perú. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 4, 9-22. 10.36580/rgem.i4.9-22
- Schaner, N. (2012). The contribution of glacier melt to streamflow. *Environmental Research Letters*, 7(3). 10.1088/1748-9326/7/3/034029
- Schmitt, C. G., All, J. D., Schwarz, J. P., Arnott, W. P., Cole, R. J., Lapham, E., & Celestian, A. (2015). *Measurements of light-absorbing particles on the glaciers in the Cordillera Blanca, Peru*. The Cryosphere.
- Schoolmeester, T., Johansen, K. S., Alfthan, B., Baker, E., Hespings, M., & Verbist, K. (2018). *Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos*. UNESCO y GRID-Arendal.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2019). *Glaciares, agua del futuro*. CONICET.
- Secretaria de Gobierno digital PCM. (2022a, diciembre 28). *Áreas Naturales Protegidas (ANP) de Administración Nacional Definitiva*. Plataforma Nacional de Datos Abiertos. Retrieved diciembre 1, 2024, from <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/%C3%A1reas-naturales-protegidas-anp-de-administraci%C3%B3n-nacional-definitiva>
- Secretaría de Gobierno Digital PCM. (2022b, diciembre 28). *Áreas de Conservación Privada (ACP)*. Plataforma Nacional de Datos Abiertos. Retrieved diciembre 1, 2024, from <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/%C3%A1reas-de-conservaci%C3%B3n-privada-acp>
- Segovia, A. A. (2014). *Caracterización glaciológica de Chile y valoración de servicios ecosistémicos de glaciares en base a mercados reales (estudio de caso del monumento natural el Morado)* (Universidad de Chile Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza ed.).
- SENAMHI. (2005). *Escenarios Climáticos Futuros y Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Santa* (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología ed.). Consejo Nacional del Ambiente - CONAM. ISBN: 9972-824-19-5
- SENAMHI. (2014). *Registro Historico del Niño* (MINAM ed.).
- SERNANP. (2024, noviembre 18). *Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado*. Retrieved noviembre 25, 2024, from <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/campa%C3%B1as/4340-sistema-nacional-de-areas-naturales-protegidas-por-el-estado>
- Serrano, E. (2005). *Glaciares, permafrost y cambio climático*. Sociedad Meteorológica de Cuba.
- Silverio, W. (2018). Impacto del Cambio Climático en el Nevado Coropuna (Cordillera Ampato, Arequipa, Perú) y en el Recurso Hídrico. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 1(4), 43-56. <https://doi.org/10.36580/rgem.i4.43-56>
- Soto Carrión, C., Schmitt, C. G., Zúñiga Negrón, J. J., Jiménez Mendoza, W., Arbieta Mamani, O., Pozo Enciso, R. S., Guevara Sarmiento, S. J., & Rado Cuchills, M. S. (2021). Quantitative Estimation of Black Carbon in the Glacier Ampay-Apurimac. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 9(1). 10.13044/j.sdewes.d8.0342
- Städel Museum. (2024). Lucas van Valckenborch, View of Antwerp with Frozen Schelde, 1593, [staedelmuseum.de/go/ds/668](https://www.staedelmuseum.de/go/ds/668)
- Strahler, A. (1981). *Geografía física* (Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. ed.).
- Tarazona, T. (2013). *Aplicación de la teledetección para el análisis multitemporal del retroceso glaciar en el nevado Pastoruri* [(Reporte No. 1)].
- Tarbut, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra* (8va ed.) [Glaciares y glaciaciones]. Pearson.
- Taylor, C., Robinson, T. R., Dunning, S., Rachel Carr, J., & Westoby, M. (2023). Glacial lake outburst floods threaten millions globally. *Nature Communications*, 14(1), 487. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36033-x>

Thompson, L. G., Davis, M. E., Mosley-Thompson, E., Porter, S. E., Valdivia, G., Shuman, C. A., & Tucker, C. J. (2021). The impacts of warming on rapidly retreating high-altitude, low-latitude glaciers and ice core-derived climate records. *Global and Planetary Change*, 203, 17. 10.1016/j.gloplacha.2021.103538

Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E. E., Dansgaard, W., & Grootes, P. M. (1986). The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap. *Science*, 234, 361-364.

Torres, C., Suárez, L., Schmitt, C., Estevan, R., & Helmig, D. (2018). Medición de las partículas absorbentes de luz en la nieve del glaciar Huaytapallana en los Andes centrales de Perú y su efecto sobre el albedo y el forzamiento radiativo. *Óptica Pura y Aplicada*, 51(4), 14. 10.7149/OPA.51.4.51004

Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J. A., Rusticucci, M., Soden, B., & Zhai, P. (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change, in: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA).

Turpo, E. Y., Borja, M. O., Espinoza-Villar, R., Moreno, N., Camargo, R., Almeida, C., Hopfgartner, K., Yarleque, C., & Souza, C. M. (2022). Mapping Three Decades of Changes in the Tropical Andean Glaciers Using Landsat Data Processed in the Earth Engine. *Remote sensing*, 14. <https://doi.org/10.3390/rs14091974>

Ubeda, P. J. (2010). *El impacto del cambio climático en los glaciares del complejo volcánico de Coropuna (Cordillera occidental de los andes centrales)* (Universidad Complutense Madrid ed.).

UGRH - ANA. (2018, octubre 26). *Glaciares, Lagunas y Recursos Hídricos del Perú*. FACEBOOK. Retrieved diciembre 9, 2024, from Glaciares, Lagunas y Recursos Hídricos del Perú

UNESCO. (2009). *¿hacia dónde vamos? Cambio climático* (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 7, place de Fontenoy 75352 París, Francia ed., Vol. 10). ISSN 1993-8616

UNESCO & IASH. (1970). *Perennial and snow masses*. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNESCO & IUCN. (2022). *World Heritage Glaciers: Sentinels of climate change*. París, UNESCO; Gland, IUCN.

United Nations. (2003). *Water for People, Water for Life*. World Water Assessment Programme.

Vásquez, P., Luna, G., Iparraguirre, J., Úbeda, J., Concha, R., & Pellitero, R. (2018). Ensayo de métodos para reconstruir el volumen de los glaciares, en 2016, 1962 y la pequeña edad del hielo, en el valle Suiricocha, Cordillera Pariacaca, Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 14(Resúmenes ampliados del XIX Congreso Peruano de Geología (2018)).

Veettil, B. K., Bremer, U. F., Souza, S. F., Maier, E. L.B., & Simoes, J. C. (2015). Influence of ENSO and PDO on mountain glaciers in the outer tropics: case studies in Bolivia. *Theoretical and Applied Climatology*. doi: 10.1007/s00704-015-1545-4

Veettil, B. K., & Kamp, U. (2019). Global Disappearance of Tropical Mountain Glaciers: Observations, Causes, and Challenges. *Geosciences*, 25. 10.3390/geosciences9050196

Veettil, B. K., Maier, E. L.B., Bremer, U. F., & Souza, S. F. (2014). Combined influence of PDO and ENSO on northern Andean glaciers: a case study on the Cotopaxi ice-covered volcano, Ecuador. *Climate Dynamics*, 43, 3439-3448.

Veettil, B. K., Ruiz, S. F., Wang, S., Teixeira, P., Bica, A. E., Becerra, A. C., Rekowsky, I., de Souza, S. F., Bianchini, N., Bremer, U. F., & Cardia, J. (2016). Un análisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes tropicales usando teledetección. *Investigaciones Geográficas*, 51, 3-36.

Vergara, W., Deeb, A. M., Valencia, A. M., Bradley, R. S., Francou, B., Zarzar, A., Grunwaldt, A., & Haeussling, S. M. (2007). Economic Impacts of Rapid Glacial Retreat in the Andes. *EOS*, 88(25).

Vijay, P., Pratap, S., & Umesh, K. (2011). *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*.

Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G., & Bradley, R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89, 79-96.

Wagon, P., Ribstein, P., Francou, B., & Sicart, J. (2001). Anomalous heat and mass budget of Glaciar Zongo, Bolivia, during the 1997–98 El Niño year. *Journal of Glaciology*, 47, 21–28.

Walder, J. S., LaHusen, R. G., Vallance, J. W., & Schilling, S. P. (2007, october). Emplacement of a silicic lava dome through a crater glacier: Mount St Helens, 2004–06. *Annals of Glaciology*, 45 (1), 14 - 20. 10.3189/172756407782282426

Walter, D. (2017). Percepciones Tradicionales del Cambio Climático en Comunidades Rurales Altoandinas en la Cordillera Blanca, Ancash. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 3, 9 - 24.

Young, K. R., & Lipton, J. K. (2006). Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of Western South America. *Climatic Change*, 78(1), 63-102.

Zapata, M., Arnaud, Y., & Gallaire, R. (2008, september 1-4). *Inventario de glaciares de la cordillera Blanca* [13th IWRA World Water Congress Montpellier, France.].

Zimmer, A., Brito, K., Alegre, C., Sánchez, J. W., & Recharte, J. (2018). Implementación de Dos Sistemas de Biorremediación como Estrategia para la Prevención y Mitigación de los Efectos del Drenaje Ácido de Roca en la Cordillera Blanca, Perú. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 4, 57-76.

