

MEMORIA DESCRIPTIVA DEL INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR 2023



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

MEMORIA DESCRIPTIVA
DEL INVENTARIO NACIONAL
DE GLACIARES Y LAGUNAS
DE ORIGEN GLACIAR **2023**



Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM)

Av. Centenario 2656, Independencia,
Huaraz, Áncash

www.gob.pe/inaigem

Autores:

Yadira A. Curo Rosales
Gladis T. Celmi Henostroza
Mayra D. Mejía Camones
Juan de Dios Fernández Vega

Colaboradores:

Alberto Castañeda Barreto
Alexzander Santiago Martel
Giovanna A. Egas Tapia
Brandon Fajardo Dioses
Danny E. Robles Sanchez
Jesús Pozo Trelles
Romel E. Príncipe Aguirre
Lucas N. Torres Amado
Joshua Castro Camacho
Eduardo E. Villavicencio Guillén

Elaboración de mapas:

Alberto Castañeda Barreto
Yadira A. Curo Rosales

Revisión:

Beatriz Fuentealba Durand
Ricardo J. Gómez López
Tatiana E. Boza Espinoza
Maria G. Bustamante Rosell

Corrección de estilo:

Víctor Liza Jaramillo

Diseño y diagramación:

Joan Ramírez Romero
Sabí Torbisco Cervantes

Fotografías

Renny Díaz Aguilar
Oscar Vilca Gomez
Alexzander Santiago Martel
Luzmila Dávila Roller
Ricardo Vila Garrafa
Edwin Loarte Cadenas
Edwin Badillo Rivera
Wilmer Sánchez Rodríguez

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares
y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM)

Alta dirección:

Dra. Beatriz Fuentealba Durand

Presidenta Ejecutiva

Ing. Milagros Vilchez Cáceres

Gerenta General

Directores y jefes:

Ing. Jesús Gómez López

Director de Investigación en Glaciares (DIG)

Blgo. Francisco Medina Castro

Director de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM)

MSc. Jessenia Cárdenas Campana

Director de Información y Gestión del Conocimiento (DIGC)

Ing. Víctor Bustinza Urviola

Jefe de la Oficina Desconcentrada Macrorregión Sur - Cusco (ODMRS)

PhD. Pedro Tapia Ormeño

Jefe de la Oficina Desconcentrada Macrorregión Centro - Lima (ODMRC)

ÍNDICE

ÍNDICE

	Pág
PRESENTACIÓN	19
RESUMEN EJECUTIVO	21
AGRADECIMIENTOS	24
SIGLAS Y ABREVIATURAS	26
1. MARCO CONCEPTUAL	
1.1. GLACIARES TROPICALES EN EL PERÚ	29
1.1.1 Clasificación de los glaciares tropicales	
1.2. LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR DEL PERÚ	36
1.2.1 Clasificación de lagunas de origen glaciar	
1.3 RETROCESO GLACIAR EN EL PERÚ	39
1.3.1 Principales causas del retroceso glaciar	
1.3.2 Principales efectos del retroceso glaciar	
1.4 HISTORIA DE LOS INVENTARIOS DE GLACIARES Y LAGUNAS EN EL PERÚ	45

2. OBJETIVO GENERAL	47
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
3. ALCANCE	49
4. METODOLOGÍA	
4.1 CRITERIOS TÉCNICOS	52
4.2 PRINCIPALES INSUMOS	54
4.3 ELABORACIÓN DEL INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR	55
5. RESULTADOS	
5.1 RESULTADOS A NIVEL NACIONAL	64
5.2 RESULTADOS POR DEPARTAMENTO	82
BIBLIOGRAFÍA	168
ANEXOS	179

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Pág

Tabla 1. Imágen satelital, escala y unidad mínima cartografiada	52
Tabla 2. Puntos de validación por cordillera	61
Tabla 3. Matriz de confusión general de la cobertura de glaciares	62
Tabla 4. Matriz de confusión general de la cobertura de lagunas	62
Tabla 5. Cantidad y superficie de los glaciares por cordillera	66
Tabla 6. Cantidad y superficie de los glaciares por departamento	68
Tabla 7. Resultados del retroceso glaciar por departamento al 2020	73
Tabla 8. Cantidad y superficie de lagunas de origen glaciar por cordillera	75
Tabla 9. Cantidad y superficie de lagunas de origen glaciar por departamento	77
Tabla 10. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Áncash	84
Tabla 11. Lagunas de origen glaciar por cordillera del departamento de Áncash	87
Tabla 12. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordilleras del departamento de Apurímac	91
Tabla 13. Glaciares rocosos por cordillera del departamento de Apurímac	93
Tabla 14. Lagunas de origen glaciar por cordillera del departamento de Apurímac	94
Tabla 15. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Arequipa	97
Tabla 16. Glaciares rocosos por cordillera del departamento de Arequipa	100
Tabla 17. Lagunas de origen glaciar por cordillera del departamento de Arequipa	101
Tabla 18. Glaciares rocosos por cordillera del departamento de Ayacucho	105
Tabla 19. Lagunas de origen glaciar por cordillera del departamento de Ayacucho	106
Tabla 20. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Cusco	110
Tabla 21. Glaciares rocosos por cordillera del departamento de Cusco	112
Tabla 22. Lagunas de origen glaciar por cordillera del departamento de Cusco	113
Tabla 23. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Huancavelica	117
Tabla 24. Glaciares rocosos por cordillera del departamento de Huancavelica	119

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Pág

Tabla 25. Lagunas de origen glaciar por cordillera del departamento de Huancavelica	120
Tabla 26. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Huánuco	123
Tabla 27. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Huánuco	125
Tabla 28. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Huánuco	126
Tabla 29. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Ica	129
Tabla 30. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Junín	131
Tabla 31. Glaciares rocosos del departamento de Junín	133
Tabla 32. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Junín	134
Tabla 33. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordilleras del departamento de Lima	138
Tabla 34. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Lima	141
Tabla 35. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Lima	143
Tabla 36. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Moquegua	147
Tabla 37. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Moquegua	148
Tabla 38. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Pasco	150
Tabla 39. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Pasco	153
Tabla 40. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Puno	156
Tabla 41. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Puno	160
Tabla 42. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Puno	161
Tabla 43. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Tacna	165
Tabla 44. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Tacna	166

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 1. Partes de un glaciar y zonas circundantes	29
Figura 2. Partes de un glaciar	30
Figura 3. Regímenes de los glaciares tropicales	31
Figura 4. Ubicación de las cordilleras glaciares en el Perú	32
Figura 5. Nevado Allin Ccapac, cordillera Carabaya	33
Figura 6. Glaciar Jatunraju, cordillera Blanca	34
Figura 7. Glaciar rocoso San Felix, cordillera Chila	35
Figura 8. Laguna Cáscara, cordillera Vilcanota	37
Figura 9. Laguna Vizcachani, cordillera Apolobamba	37
Figura 10. Laguna en formación en el glaciar Shallap, cordillera Blanca	38
Figura 11. Retroceso glaciar en el Artesonraju, cordillera Blanca	40
Figura 12. Monitoreo de carbono negro en el glaciar Yanapaccha, cordillera Blanca	41
Figura 13. Retroceso glaciar y formación de lagunas de origen glaciar en el Quelccaya, cordillera Vilcanota.	42
Figura 14. Cadena de procesos GLOF	43
Figura 15. Drenaje ácido de roca en la quebrada de Quilcayhuanca	44
Figura 16. Flujograma metodológico del INGLOG II	56
Figura 17. Implementación del NDSI mínimo	58
Figura 18. Depuración de glaciares	59
Figura 19. Depuración de lagunas de origen glaciar	59
Figura 20. Tipos de glaciares en el Perú	65
Figura 21. Distribución de glaciares en el Perú	67
Figura 22. Evolución de la cobertura glaciar a nivel nacional desde 1962 al 2020	69
Figura 23. Reducción de la cobertura glaciar a nivel nacional	69
Figura 24. Representación porcentual del retroceso glaciar en 58 años (1962 - 2020)	70
Figura 25. Pérdida del área glaciar por cordillera durante el periodo 1962 - 2020	71

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 26. Reducción glaciario por departamento durante el periodo 2016 - 2020	72
Figura 27. Tipos de lagunas de origen glaciario a nivel nacional	74
Figura 28. Distribución de lagunas de origen glaciario en el Perú	76
Figura 29. Variación de cantidad de lagunas a nivel nacional	78
Figura 30. Tipo de lagunas nuevas a nivel nacional al año 2020	79
Figura 31. Número de lagunas nuevas por cordillera	80
Figura 32. Número de lagunas nuevas por departamento	81
Figura 33. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciario en el departamento de Áncash	83
Figura 34. Tipo de superficie glaciario del departamento de Áncash	84
Figura 35. Superficie glaciario según vertiente del departamento de Áncash	85
Figura 36. Distribución de glaciares según cuenca del departamento de Áncash	85
Figura 37. Superficie glaciario según rango de pendiente del departamento de Áncash	86
Figura 38. Orientación de la superficie glaciario del departamento de Áncash	86
Figura 39. Tipo de lagunas de origen glaciario del departamento de Áncash	87
Figura 40. Superficie de lagunas de origen glaciario según vertiente del departamento de Áncash	88
Figura 41. Distribución de lagunas de origen glaciario según cuenca del departamento de Áncash	88
Figura 42. Distribución de lagunas de origen glaciario según rango altitudinal del departamento de Áncash	89
Figura 43. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciario en el departamento de Apurímac	90
Figura 44. Tipo de superficie glaciario del departamento de Apurímac	91
Figura 45. Superficie glaciario según rango de pendiente del departamento de Apurímac	92
Figura 46. Orientación de la superficie glaciario del departamento de Apurímac	93
Figura 47. Tipo de lagunas de origen glaciario del departamento de Apurímac	94
Figura 48. Distribución de lagunas de origen glaciario según rango altitudinal del departamento de Apurímac	95

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 49. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Arequipa	96
Figura 50. Tipo de superficie glaciar del departamento de Arequipa	97
Figura 51. Superficie glaciar según vertiente en el departamento de Arequipa	98
Figura 52. Distribución de glaciares según cuenca del departamento de Arequipa	98
Figura 53. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Arequipa	99
Figura 54. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Arequipa	99
Figura 55. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Arequipa	100
Figura 56. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Arequipa	101
Figura 57. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Arequipa	102
Figura 58. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Arequipa	102
Figura 59. Distribución altitudinal de lagunas de origen glaciar del departamento de Arequipa	103
Figura 60. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Ayacucho	104
Figura 61. Distribución superficial de glaciares rocosos según vertiente del departamento de Ayacucho	105
Figura 62. Distribución de glaciares rocosos según cuenca en el departamento de Ayacucho	106
Figura 63. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Ayacucho	107
Figura 64. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Ayacucho	107
Figura 65. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal del departamento de Ayacucho	108
Figura 66. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Cusco	109
Figura 67. Tipo de superficie glaciar del departamento de Cusco	110
Figura 68. Distribución de glaciares según cuenca en el departamento de Cusco	111

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 69. Superficie del glaciar según rango de pendiente del departamento de Cusco	111
Figura 70. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Cusco	112
Figura 71. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Cusco	113
Figura 72. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Cusco	114
Figura 73. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Cusco	114
Figura 74. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Cusco	115
Figura 75. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal de lagunas del departamento de Cusco	115
Figura 76. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Huancavelica	116
Figura 77. Tipo de superficie glaciar del departamento de Huancavelica	117
Figura 78. Superficie del glaciar según rango de pendiente del departamento de Huancavelica	118
Figura 79. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Huancavelica	119
Figura 80. Distribución de los glaciares rocosos según cuencas del departamento de Huancavelica	119
Figura 81. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Huancavelica	120
Figura 82. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Huancavelica	121
Figura 83. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal de lagunas del departamento de Huancavelica	121
Figura 84. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Huánuco	122
Figura 85. Tipo de superficie glaciar del departamento de Huánuco	123
Figura 86. Distribución de glaciares según cuenca en el departamento de Huánuco	124
Figura 87. Superficie del glaciar según rango de pendiente del departamento de Huánuco	124
Figura 88. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Huánuco	125

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 89. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Huánuco	126
Figura 90. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Huánuco	127
Figura 91. Distribución de lagunas de origen glaciar, según rango altitudinal de lagunas del departamento de Huánuco	127
Figura 92. Distribución de lagunas de origen glaciar en el departamento de Ica	128
Figura 93. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Junín	130
Figura 94. Tipo de superficie glaciar del departamento de Junín	131
Figura 95. Distribución de glaciares según cuenca del departamento de Junín	132
Figura 96. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Junín	132
Figura 97. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Junín	133
Figura 98. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Junín	134
Figura 99. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Junín	135
Figura 100. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Junín	135
Figura 101. Distribución altitudinal de lagunas de origen glaciar del departamento de Junín	136
Figura 102. Distribución de glaciares y lagunas en el departamento de Lima	137
Figura 103. Tipo de superficie glaciar del departamento de Lima	138
Figura 104. Superficie glaciar según vertiente del departamento de de Lima	139
Figura 105. Distribución de glaciares según cuenca del departamento de Lima	139
Figura 106. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Lima	140
Figura 107. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Lima	141
Figura 108. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Lima	142
Figura 109. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Lima	143
Figura 110. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Lima	144

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 111. Distribución de las lagunas de origen glaciar según cuenca en el departamento de Lima	144
Figura 112. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal del departamento de Lima	145
Figura 113. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Moquegua	146
Figura 114. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Moquegua	147
Figura 115. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Moquegua	148
Figura 116. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal de lagunas del departamento de Moquegua	148
Figura 117. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Pasco	149
Figura 118. Tipo de superficie glaciar del departamento de Pasco	150
Figura 119. Distribución de glaciares según cuenca en el departamento de Pasco	151
Figura 120. Superficie del glaciar según rango de pendiente del departamento de Pasco	151
Figura 121. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Pasco	152
Figura 122. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Pasco	153
Figura 123. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Pasco	154
Figura 124. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal de lagunas del departamento de Pasco	154
Figura 125. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Puno	155
Figura 126. Tipo de superficie glaciar del departamento de Puno	156
Figura 127. Superficie glaciar según vertiente del departamento de Puno	157
Figura 128. Distribución de glaciares según cuenca del departamento de Puno	157
Figura 129. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Puno	158
Figura 130. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Puno	159

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura 131. Distribución de los glaciares rocosos según cuencas del departamento de Puno	160
Figura 132. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Puno	161
Figura 133. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Puno	162
Figura 134. Distribución de las lagunas de origen glaciar según cuenca en el departamento de Puno	162
Figura 135. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal del departamento de Puno	163
Figura 136. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Tacna	164
Figura 137. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Tacna	165
Figura 138. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Tacna	166
Figura 139. Distribución de las lagunas de origen glaciar según cuenca en el departamento de Tacna	167
Figura 140. Distribución altitudinal de lagunas de origen glaciar del departamento de Tacna	167

PRESENTACIÓN

El Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar del Perú (INGLOG II) es un documento en el que podremos encontrar información relevante sobre las características principales de los glaciares y lagunas de todas las cordilleras glaciares del país. Este documento proporciona datos detallados sobre su tamaño, ubicación, orientación, entre otros parámetros de análisis. En cuanto a las cordilleras, que forman paisajes impresionantes de alta montaña, juegan un rol relevante en la regulación del agua para las poblaciones que viven por debajo de ellas. Sin embargo, estos ecosistemas están transformándose drásticamente en el tiempo a causa del cambio climático, por lo que urge tomar medidas de adaptación y prevención frente a una probable desaparición de los mismos.

El INGLOG II nos proporciona un conjunto de parámetros, que en su conjunto nos provee de información sobre cómo el cambio climático contribuye al retroceso acelerado de los glaciares; y cómo este retroceso impacta en la oferta de agua, en los cambios del paisaje y sostenibilidad de otros ecosistemas de montaña. Esta publicación busca ser un documento de consulta para los tomadores de decisión, la academia y público en general. También pretende concientizar al lector sobre la importancia de estos ecosistemas frágiles de montaña, y promover acciones para una mejor gestión del entorno con diversos fines.

Este documento es producto de un trabajo minucioso, realizado por profesionales del INAIGEM. Significa también un esfuerzo por poner al alcance información valiosa para comprender la dinámica de estos ecosistemas de montaña vitales en el Perú, que alberga a más del 60 % de los glaciares tropicales del mundo. Con esta documentación del estado situacional de los glaciares y lagunas de origen glaciar en todas las cordilleras glaciares del Perú, se contribuye significativamente en la gestión sostenible del agua y en la prevención de los riesgos asociados a los glaciares.

Ing. Jesús Gomez López
Director de Investigación en Glaciares

Instituto Nacional de Investigación en
Glaciares y Ecosistemas de Montaña
INAIGEM

RESUMEN EJECUTIVO

RESUMEN EJECUTIVO

En los Andes peruanos, además de otros ecosistemas importantes, los glaciares y lagunas de origen glaciar desempeñan un rol fundamental al ser proveedores de agua, directa o indirectamente, para el 62 % de la población, que se ubica en ciudades tanto andinas como costeras. Actúan asimismo como reguladores del régimen hidrológico en casi todas las regiones andinas, particularmente en aquellas que están sometidas a largas estaciones secas, donde la fusión glaciar permite mantener un caudal mínimo de agua, y así abastecer a los diferentes ecosistemas y las diversas actividades de subsistencia y productivas que se desarrollan cuenca abajo. Por ello, conocer la cantidad, distribución y ubicación de estos recursos es de gran importancia para una adecuada gestión del territorio.

El Perú reúne el 68 % de glaciares tropicales del mundo. En las últimas seis décadas, ha sufrido una pérdida de aproximadamente 56 % de su superficie. Este proceso, en algunos casos, origina la formación de nuevas lagunas, que deben ser constantemente monitoreadas. Cada cinco años, el INAIGEM actualiza el Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar (INGLOG), con la finalidad de proporcionar información relevante del estado de los glaciares y lagunas de origen glaciar. Esto permite conocer la cantidad, superficie, ubicación y principales características físicas y morfológicas de los glaciares y lagunas a nivel nacional y por departamento. El presente inventario constituye el segundo inventario de glaciares y lagunas de origen glaciar realizado por el INAIGEM (INGLOG II)

El ámbito de intervención del INGLOG II son las 20 cordilleras glaciares del Perú, que políticamente se distribuyen en 14 departamentos. El presente inventario fue elaborado en base a imágenes satelitales Sentinel 2A del año 2020, a una escala de interpretación de 1:25 000 y un área mínima cartografiada de 5000 m². Para ello, se empleó una rigurosa metodología científica dividida en ocho etapas, la mayoría de las cuales consideran las pautas establecidas en el Manual Metodológico del Inventario Nacional de Glaciares (INAIGEM, 2017). Además, se ha considerado, como un eje transversal, la optimización de procesos centrada en el uso de la plataforma del cloud computing, el uso de herramientas como el Google Earth Engine y lenguajes de programación Python y JavaScript.

La primera parte de la memoria descriptiva resume el estado del conocimiento de los glaciares tropicales y lagunas de origen glaciar en el Perú, donde se describen los tipos de glaciares (libres de detritos, cubiertos por detritos y rocosos) y lagunas (periglaciares, proglaciares y supraglaciares) identificados. Este apartado también muestra información de las principales causas y efectos del retroceso glaciar.

Los resultados del inventario a nivel nacional revelan un total de 2084 glaciares libres y cubiertos por detritos, que ocupan una superficie de 1050.32 km². Asimismo, se han registrado 8466 lagunas de origen glaciar, que representa una superficie total de 1081.31 km². Entre las novedades del presente inventario destaca la identificación y caracterización de 2147 glaciares rocosos, cuya extensión comprende 107.49 km². Esta información constituye la primera línea base para la evaluación de este tipo de glaciares, que a la fecha son escasamente conocidos y estudiados.

A nivel departamental se destaca la presencia de glaciares libres y cubiertos por detritos en 10 departamentos del Perú, en el que, Áncash y Cusco poseen el 42 % y 33 % del total de superficie glaciar respectivamente. En relación a los glaciares rocosos, estos se localizan en 11 departamentos, siendo Arequipa el que posee la mayor cantidad (1097), seguido de Tacna (400) y Moquegua (308). Por otra parte, las lagunas de origen glaciar se distribuyen en 14 departamentos, de los cuales Puno y Junín poseen la mayor cantidad, con 1532 y 1435, respectivamente.

Teniendo como referencia al primer Inventario Nacional de Glaciares, publicado por Hidrandina en el año 1989, se ha estimado una pérdida de 1348.75 km² de superficie glaciar en 58 años, siendo 56.22 % el porcentaje total de pérdida. Asimismo, es importante mencionar que en el período 2016-2020, se ha registrado una reducción glaciar de 67.80 km² a nivel nacional.

Como parte del presente documento, se han evaluado variables de análisis que se asocian a los riesgos de origen glaciar. Tal es el caso de la pendiente, cuyos resultados indican que el 59 % de los glaciares a nivel nacional se encuentran en pendientes superiores a los 25°, haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas que podrían afectar a las poblaciones y ecosistemas situados cuenca abajo.

Los resultados del INGLOG II constituyen una valiosa herramienta para la gestión del recurso hídrico a nivel nacional. Asimismo, permitirá identificar zonas estratégicas para desarrollar estudios detallados sobre los peligros de origen glaciar. Esta información será de utilidad a las autoridades, comunidades y sociedad en general, respecto a la prevención de riesgos asociados a glaciares y lagunas de origen glaciar, la mitigación y adaptación al cambio climático y el manejo eficiente de los recursos.

An aerial photograph of a high-altitude mountain range. The upper portion shows jagged, snow-capped peaks under a blue sky with scattered white clouds. A large glacier is visible in the center, flowing down a valley. The lower portion shows a rocky, greyish-brown valley floor with patches of green moss or lichen. A dark, narrow stream or path winds through the rocks. A semi-transparent blue horizontal band is overlaid across the middle of the image, containing the word 'AGRADECIMIENTOS' in white, bold, uppercase letters.

AGRADECIMIENTOS

Laguna Upiscocha
Foto: Ricardo Vila

Al proyecto "Evaluación y estimación de la distribución espacio temporal de permafrost a nivel nacional como potencial de reserva hídrica (Permafrost)", que fue liderado por la Mg. Katy Medina Marcos, en especial al tesista Edwin Badillo Rivera cuya investigación contribuyó en la identificación de glaciares rocosos, resultados que han sido considerados en el presente Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar.

A Enver Melgarejo Romero, Hilbert Villafane Gómez, Helder Mallqui Meza, Susan Coaguila Agurto, Renny Diaz Aguilar, Stephany Callañaupa Gutierrez, Rodrigo Puga Calderon y Luzmila Dávila Roller, que contribuyeron brindando sus aportes, opiniones y experiencia en diversas etapas o procesos durante el desarrollo del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar.

A high-altitude mountain landscape under a clear blue sky. In the background, several snow-capped mountain peaks are visible. A large glacier flows down the slopes. In the foreground, there are several turquoise lakes nestled in a rocky, brownish landscape. The text "SIGLAS Y ABREVIATURAS" is overlaid in white on a dark blue semi-transparent rectangular background in the center of the image.

SIGLAS Y **ABREVIATURAS**

ALOS: Advanced Land Observation Satellite (Satélite avanzado de observación de la tierra)

ANA: Autoridad Nacional del Agua

ASPRS: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (Sociedad Estadounidense de Fotogrametría y Teledetección)

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Radiómetro espacial avanzado de emisión y reflexión térmica)

CONAM: Consejo Nacional del Ambiente.

DEM: Digital Elevation Model (Modelo de Elevación Digital)

DML: Delimitación Mínima Legible

DOL: Delimitación Óptima Legible

ESA: European Space Agency (Agencia Espacial Europea)

EOS: Earth Observing System (Sistema de observación de la tierra)

NSSDA: National Standard for Spatial Data Accuracy (Estándar Nacional para la Precisión de los Datos Espaciales)

GCP: Ground Control Points (Puntos de control de tierra o suelo)

GEE: Google Earth Engine

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space (Mediciones Globales del Hielo Terrestre desde el Espacio)

INAGGA: Instituto Andino de Glaciología y Geoambiente

INAIGEM: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

INGLOG: Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar

LANDSAT: Land Satellite (Satélite para la observación de recursos naturales en la tierra)

LISS III: Linear Imaging Self-Scanning Sensor (Sensor de autoescaneado lineal de imagen)

NDSI: Normalized Difference Snow Index (Índice de Nieve de Diferencia Normalizado)

NDWI: Normalized Difference Water Index (Índice de Agua de Diferencia Normalizado)

NIR: Near Infrared (Infrarrojo Cercano)

PALSAR: The Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (Radar de Apertura Sintética de Banda L de tipo Phased Array)

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SPOT: Satellite Pour l'Observation de la Terre (Satélite para la Observación de la Tierra)

SWIR: Short-wave infrared (Infrarrojo de Onda Corta)

UMC: Unidad Mínima Cartografiable

UTM: Universal Transversal de Mercator

An aerial photograph of a mountain valley. The landscape is dominated by steep, rocky slopes in shades of brown and grey. Several bright turquoise lakes are scattered throughout the valley, some appearing to be remnants of glacial meltwater. A white road winds through the lower part of the valley. The sky is a clear, pale blue. A large white outline, resembling a stylized letter 'L', is overlaid on the image, framing the central part of the scene.

CAPÍTULO 1 **MARCO CONCEPTUAL**

Lagunas periglaciares en la
quebrada Llanganuco
Foto: Wilmer Sanchez

1.1. GLACIARES TROPICALES EN EL PERÚ

Un glaciar se define como una masa de hielo, firn¹ y nieve, que se origina en la superficie de la tierra como resultado del proceso de acumulación, posterior compactación y la recristalización de nieve u otras formas de precipitación sólida, que muestran evidencia de flujo pasado o presente (Cogley et al., 2011). También permanecen al final de la temporada de deshielo o en el caso de los glaciares tropicales, después del derretimiento de la nieve temporal (Kargel et al., 2014).

Los glaciares tienen un carácter dinámico, pues sus componentes y funcionamiento cambian con el tiempo. Con base en esto, se distinguen tres partes principales de un glaciar. La primera corresponde al área en la que el glaciar gana masa, conocida como Zona de Acumulación. En contraposición, todo glaciar tiene un espacio en el cual se pierde

masa; dicha parte se conoce como Zona de Ablación, y es el lugar donde el agua sólida cambia de estado, originando pequeños drenajes o escorrentías superficiales que alimentan los ríos. Estas dos zonas se encuentran separadas por la Línea de Equilibrio Altitudinal, que corresponde teóricamente al lugar donde el glaciar no presenta ganancia ni pérdida. Estos tres componentes cambian su localización dentro del glaciar con el paso del tiempo, como respuesta a los cambios en el clima (Menzies, 1995; Francou y Pouyaud, 2004; IDEAM, 2012) (figura 1 y 2).

Se denominan glaciares tropicales a aquellos glaciares localizados en latitudes cercanas a la línea ecuatorial, entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. Casi el 99 % de los glaciares tropicales en el mundo se concentran en la cordillera de los Andes, en los territorios de

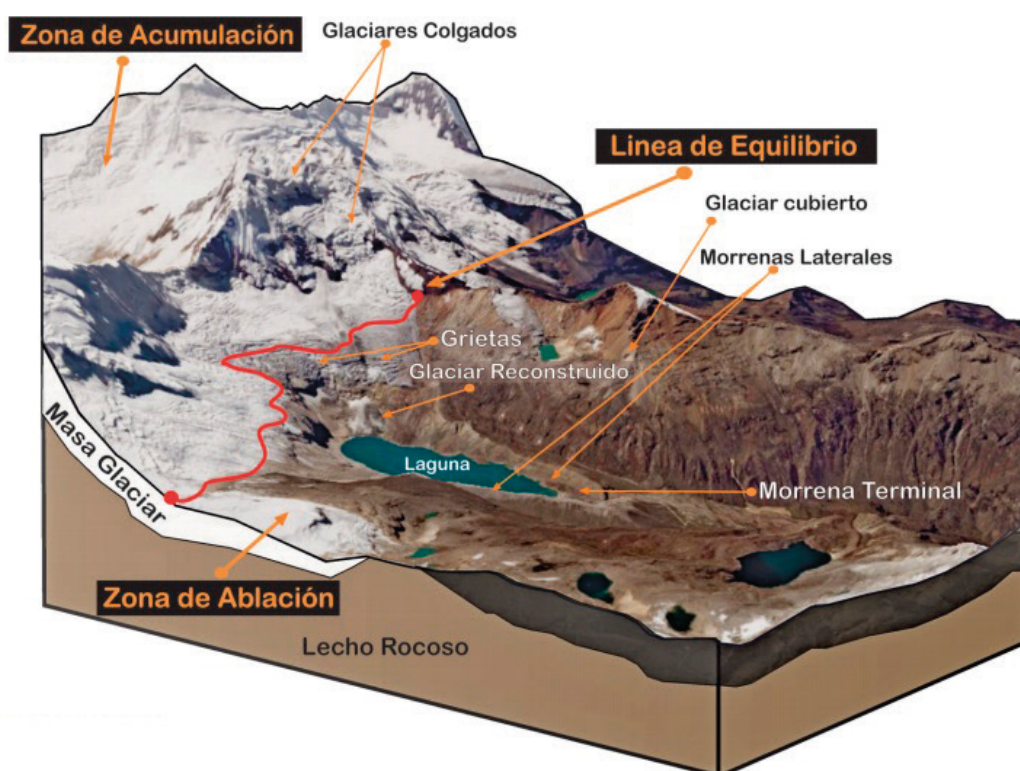


Figura 1. Partes de un glaciar y zonas circundantes (Fuente: INAIGEM, 2017)

¹ Estadio intermedio entre hielo y nieve (Keegan, 2022).

Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina.

En los glaciares tropicales existen dos regímenes relacionados al ciclo estacional de las precipitaciones, que se pueden diferenciar (figura 3). El primero es el régimen de permanente humedad, conocido también como régimen de los trópicos internos, donde las precipitaciones ocurren durante todo el año y el proceso de acumulación y ablación de un glaciar se desarrolla todo el año (por ejemplo, los glaciares de Ecuador). En segundo lugar, está el régimen de los trópicos externos, que se caracterizan por tener un período de precipitación y un período seco. En este régimen, la acumulación ocurre en la época de pre-

cipitaciones, mientras que la ablación ocurre durante todo el año. Aunque las proporciones de su impacto varían, la ablación será mayor durante la época de precipitaciones, debido a la humedad e incremento de temperatura; y será menor en la época seca. Este último es el caso de los glaciares en el Perú (Kaser y Osmaston, 2002).

El Perú reúne el 68 % de los glaciares tropicales del mundo (Veettil y Kamp, 2019), los cuales se encuentran distribuidos en 20 cordilleras glaciares que cubren el sector norte, centro y sur del país (figura 4). Los glaciares tropicales poseen gran importancia e interés por cuanto son excelentes y muy sensibles indicadores del cambio climático (Fran-



Figura 2. Partes de un glaciar

cou et al., 2013). Asimismo, desempeñan un rol importante en el manejo del recurso hídrico, siendo proveedores de agua en regiones de lluvias escasas, tal como sucede en nuestra desértica y árida costa. Actúan como reguladores del régimen hidrológico en casi todas las regiones andinas, particularmente en aquellas que están sometidas a largas

estaciones secas. En los años en los que las lluvias son escasas, la fusión glaciaria permite mantener un caudal mínimo de agua y abastece los ecosistemas que dependen de estas fuentes y las diversas actividades de subsistencia y producción que se desarrollan cuenca abajo (Zapata, 2010).

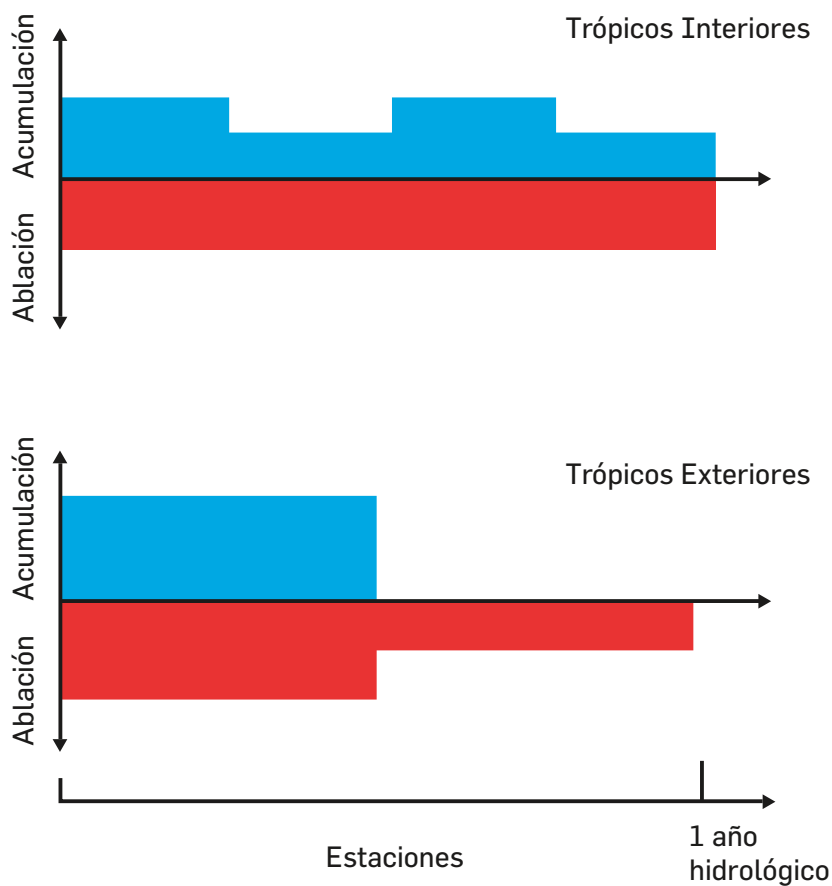


Figura 3. Regímenes de los glaciares tropicales (Kaser y Osmaston, 2002)

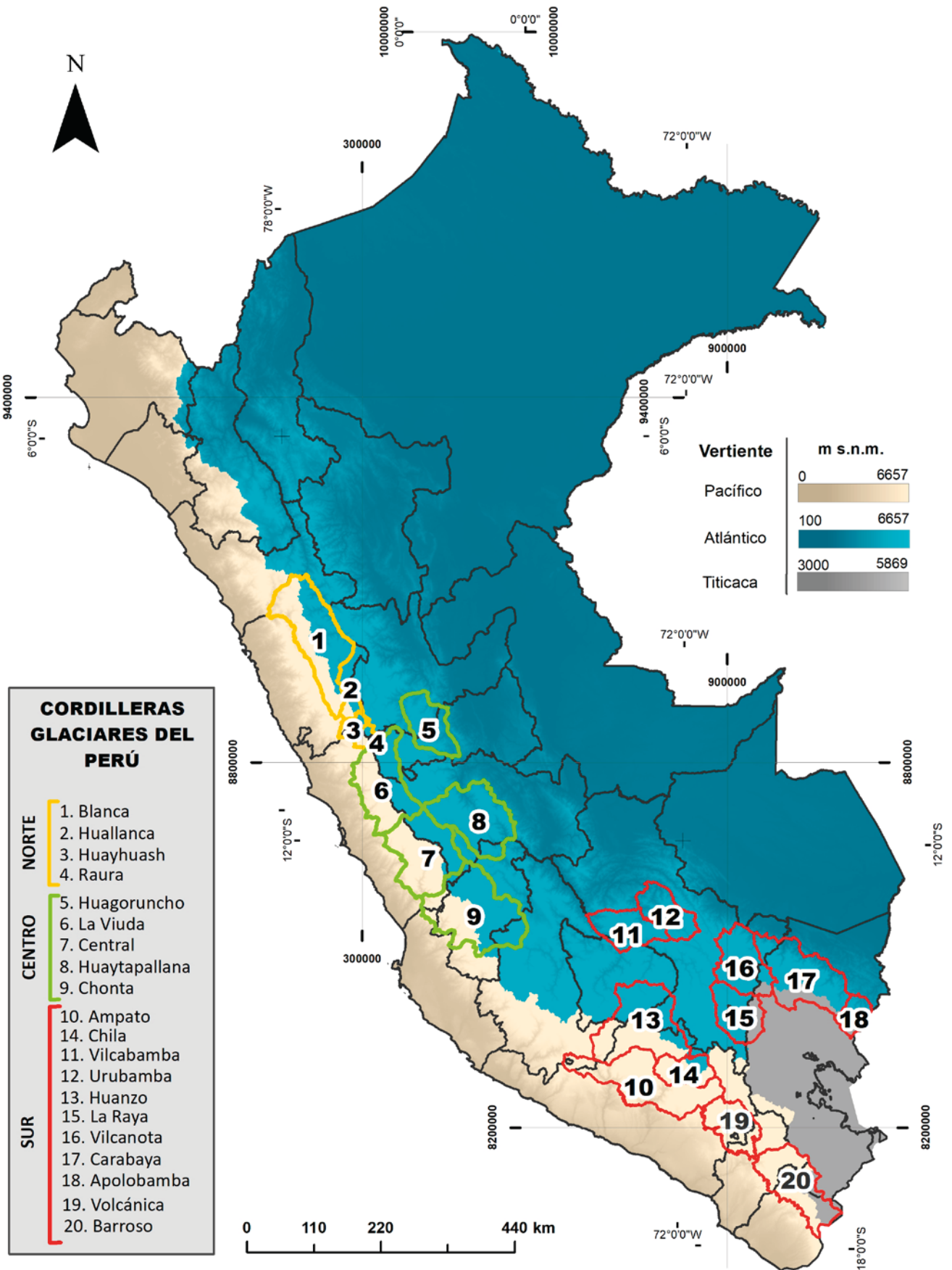


Figura 4. Ubicación de las cordilleras glaciares en el Perú

1.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS GLACIARES TROPICALES

Por su forma, dinámica y localización, cada glaciar posee características particulares. En las últimas décadas, los glaciólogos han tratado de clasificar a los glaciares en el mundo, considerando distintos parámetros como la morfología, temperatura, dinámica y tipos de superficie, los cuales no son mutuamente excluyentes (Rivera et al., 2017). Al ser las imágenes satelitales la principal fuente de información para el inventario de glaciares desarrollado por el INAIGEM, se ha decidido emplear la clasificación por tipo de superficie: glaciar libre de detritos, glaciar cubierto por detritos y glaciar rocoso.

A) GLACIAR LIBRE DE DETRITOS

Son glaciares que no presentan un alto grado de impurezas o material particulado en su superficie. Poseen una zona de acumulación y una zona de ablación bien delimitada. En algunos casos, pueden presentar una pequeña proporción de material detrítico², cenizas o impurezas (Lliboutry, 1956). Este material se acumula en la superficie glaciar, debido a la acción del viento o al desprendimiento de laderas cercanas, morrenas laterales o frontales, entre otros factores (figura 5).



Foto: Oscar Vilca, 2023

Figura 5. Nevado Allin Ccapac, cordillera Carabaya

² Partículas o fragmentos desagregados de otras rocas (INGEMMET, 2011).



Foto: Alexander Santiago, 2018

Figura 6. Glaciar Jatunraju, cordillera Blanca

B) GLACIAR CUBIERTO POR DETRITOS

Un glaciar cubierto (figura 6) posee como característica principal el hecho de encontrarse parcial o totalmente cubierto por una capa de detritos supraglaciares³ (Rivera et al., 2017). A diferencia de los glaciares libres de detritos, el material detrítico proviene principalmente de la fragmentación de rocas por procesos de la meteorización, dando origen a diversos tamaños desde finas partículas que son transportadas por el viento, hasta grandes bloques rocosos producto de avalanchas de rocas (Kirkbride, 2011; Anderson y Anderson, 2016).

Este tipo de glaciar puede tener su origen en un glaciar libre de detritos, que luego de un proceso de retroceso y adelgazamiento progresivo de la capa de hielo,

comienza a quedar cubierto por un manto detrítico, el cual se incrementa cada vez más en espesor y área. También es importante agregar que en algunos casos, los glaciares cubiertos y rocosos representan dos etapas del mismo proceso, por lo que el primero puede evolucionar hacia el segundo con el tiempo en respuesta a factores climáticos, topográficos y geomorfológicos particulares (Janke et al., 2015).

C) GLACIARES ROCOSOS

Los glaciares rocosos (figura 7), también conocidos como glaciares de escombros o de roca, son unidades geomorfológicas en forma de lengua o lóbulo constituidas principalmente por detritos, roca y hielo que se desplazan, por gravedad, pendiente abajo (Capps, 1910). Su rasgo más distintivo es la presencia de surcos

³ Detritos que se transportan sobre la superficie de un glaciar.

y lóbulos sobre su superficie, además de un frente empinado en la parte delantera. Por lo general, no se observan afloramientos de hielo en la superficie de los glaciares rocosos, ya que estos se encuentran ocupando los espacios internos entre los escombros y/o confinados, formando un núcleo de hielo en el interior (Potter, 1972). Se localizan en zonas de alta montaña y polares (Berthling; 2011; Rangecroft, 2015), pudiendo haberse formado en ambiente glaciar (glaciar rocoso glaciogénico) (Whalley y Martin, 1992), o como producto del permafrost⁴ en ambiente periglacial (glaciar rocoso criogénico) (Haeberli, 1985). Pese a que

los glaciares rocosos contienen mucho menos hielo que los glaciares libre de detritos o cubiertos, se considera que este tipo de glaciares constituyen reservas fundamentales de agua congelada, especialmente en zonas áridas (Francou et al., 1999; Brenning, 2005; Azócar y Brenning, 2010; Rangecroft et al., 2013).



Foto: Edwin Badillo, 2020

Figura 7. Glaciar rocoso San Felix, cordillera Chila

⁴ Suelo, sedimento o roca que se ha mantenido congelado durante al menos dos años consecutivos (García et al., 2017).

1.2. LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR DEL PERÚ

Estas lagunas son depósitos de agua formados como resultado de la deglaciación reciente o antigua (Lesi et al., 2022), alimentados principalmente por el flujo generado durante el derretimiento glaciar. Se forman próximas al borde de los glaciares o en depresiones descubiertas de hielo (Guardamino y Drenkhan, 2016). Son ecosistemas importantes que se encuentran en las montañas, considerados

reservorios naturales, porque almacenan agua proveniente de los glaciares y/o de las precipitaciones en la época de lluvia. Actúan como reguladores del régimen hídrico durante la estación seca, abasteciendo a los ecosistemas que dependen de estas fuentes y a las diversas actividades de subsistencia y productivas que se desarrollan en la cuenca.

1.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

Por su ubicación respecto a la masa glaciar, las lagunas de origen glaciar pueden ser clasificadas en englaciares⁵, subglaciares⁶, supraglaciares, proglaciares y periglaciares (Haeberli et al., 2010). En el Perú, el ámbito de estudio de las lagunas de origen glaciar está definido por los límites de las 20 cordilleras glaciares. Estas son lagunas cuya formación se ha originado debido al deshielo o procesos de deglaciación de los glaciares tropicales (Tweed y Carrivick, 2015). El presente inventario sólo ha considerado las lagunas supraglaciares, proglaciares y periglaciares, ya que los otros dos tipos de lagunas son de difícil identificación a través de técnicas de teledetección.

A) LAGUNAS PERIGLACIARES

Son depósitos de agua que se encuentran ubicados en espacios antiguamente ocupados por glaciares y que actualmente ya no se encuentran en contacto con el glaciar (Haeberli et al., 2010). Son alimentadas principalmente por el aporte pluvial, pero muchas de ellas lo son por el flujo glaciar. Sus características dependen de su entorno y el tipo de dique.

Su vaso está conformado por materiales morrénicos o lecho rocoso (figura 8).

B) LAGUNAS PROGLACIARES

Son masas de agua embalsadas al margen o al borde de un glaciar (Tweed y Carrivick, 2015). Mantienen contacto con el glaciar, y pueden estar rodeadas de morrenas⁷ laterales y/o terminales (Kumar y Narayan, 2017) (figura 9). Estas lagunas pueden estar represadas por el glaciar, lecho rocoso, morrena, detritos y escombros provenientes de deslizamientos de tierra o una combinación de estos materiales. La configuración y comportamiento de estas lagunas dependen en gran medida de la naturaleza circundante, en particular el tipo de presa y los materiales que la componen, puesto que influyen fuertemente en las características de la laguna proglaciar, la evolución y el drenaje de la laguna. Las fallas o el desbordamiento de las presas naturales con frecuencia conducen a inundaciones repentinas de lagunas de origen glaciar (GLOFS, por sus siglas en inglés) (Tweed y Carrivick, 2015).

⁵ Las estructuras del hielo producidas por la tensión, como las grietas, permiten que el agua penetre en el hielo formando lagunas dentro del glaciar, hay algunos ejemplos de esto en Groenlandia, donde los lagos pueden desembocar abruptamente en la capa de hielo (Davies, 2020).

⁶ El agua de deshielo puede acumularse en depresiones debajo del hielo de los glaciares. El agua de deshielo superficial puede llegar al lecho a través de moulins (grietas), o fusión basal debido a la energía geotérmica o fusión por presión formando lagunas debajo de los glaciares (Davies, 2020).

⁷ Son acumulaciones de detritos que el glaciar tritura en su recorrido pendiente abajo y que los acumula en el frente glaciar y en sus flancos, denominándose morrena frontal, morrena lateral, morrena de fondo o morrena media (INAIGEM, 2017).



Foto: Renny Díaz, 2022

Figura 8. Laguna Cáscara, cordillera Vilcanota



Foto: Oscar Vilca, 2021

Figura 9. Laguna Vizcachani, cordillera Apolobamba

C) LAGUNAS SUPRAGLACIARES

Son cuerpos de agua que se forman cuando la lluvia o el agua de deshielo se acumulan en las depresiones existentes sobre la superficie del glaciar libre o cubierto por detritos (INAIGEM, 2018; Wendleder et al., 2021). Estas lagunas se forman en las áreas donde el glaciar tiende a retroceder más rápido, principalmente en la parte terminal o frente glaciar (figura 10).

Estas lagunas en algunos casos desaparecen, pues al estar sobre el glaciar son cubiertas y rellenadas por la nieve. Las precipitaciones tienden a intensificar tanto el llenado como el drenaje de la laguna,

pues provocan un incremento en la velocidad de movimiento del glaciar, que conduce al desarrollo de grietas (si el agua llega al lecho del glaciar). Por lo tanto, aumentan las vías para el drenaje del agua de la laguna (Wendleder et al., 2018).

Las lagunas supraglaciares y proglaciares son denominadas “lagunas en formación”, las más pequeñas (menores a 5000 m²) están en una fase inicial, y en muchos casos van a crecer aceleradamente por el retroceso glaciar (Vuille et al., 2015), hasta que el dique y el material circundante lo permita. Algunas de estas lagunas pueden convertirse en lagunas potencialmente peligrosas.



Foto: Edwin Loarte, 2021

Figura 10. Laguna en formación en el glaciar Shallap, cordillera Blanca

1.3. RETROCESO GLACIAR EN EL PERÚ

1.3.1. PRINCIPALES CAUSAS DEL RETROCESO GLACIAR

A) CAMBIO CLIMÁTICO

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), define al cambio climático como la alteración en el estado del clima que evidencia un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos más largos (Jori, 2009). En este sentido, el cambio climático repercute en las variaciones de temperatura, los cambios en los patrones de precipitación e incrementa la intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos a nivel global.

Asimismo, en su reporte técnico sobre el océano y la criosfera, el IPCC advierte de un cambio masivo y acelerado en los glaciares de todas las regiones, incluidos los andes tropicales (figura 11). En general, los estudios apuntan a una tendencia decreciente de la cobertura glaciar durante los dos últimos decenios, que está vinculada a la subida de las temperaturas (IPCC, 2019).

El grado de retroceso varía de acuerdo a las características del glaciar, siendo los glaciares más pequeños y a menor altitud los más vulnerables; de hecho, muchos glaciares de los andes tropicales ya han desaparecido (Johansen et al., 2019). No obstante, entender la relación entre el retroceso glaciar y el cambio climático es complejo, ya que la dinámica glaciar se encuentra asociada a las características locales específicas, como la pendiente y orientación del glaciar, pero también de las características regionales del clima (Batka et al., 2020).

Se estima que en las siguientes décadas, en un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero, los cambios de

la criosfera se incrementarán aún más. En muchas zonas de alta montaña, se prevé que el retroceso de los glaciares y el deshielo del permafrost reducirán aún más la estabilidad de las laderas, mientras que el número y 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).

B) CONTAMINACIÓN ANTRÓPICA POR PARTÍCULAS ABSORBENTES DE LUZ

Además del cambio climático, los glaciares están siendo afectados por las llamadas "partículas absorbentes de luz", compuestas principalmente de carbono negro, carbono orgánico y polvo mineral. Al ser transportadas por el viento desde su fuente de origen, terminan depositándose en la superficie de los glaciares (Bond et al., 2013; Gertler et al., 2016). Las partículas oscuras sobre la superficie glaciar impactan directamente al albedo⁸ de la nieve, haciendo que más energía solar sea absorbida, lo que incrementa el calor y acelera el derretimiento del glaciar (Gillardoni et al., 2022).

El componente más importante de este conjunto de partículas absorbentes de luz es el carbono negro (figura 12), que afecta de manera sustancial a los glaciares, ya que, inclusive en pocas cantidades, puede alterar el balance de energía en la superficie de nieve (Flanner et al., 2007). Las partículas de carbono negro se producen a partir de la combustión incompleta de combustibles fósiles y biomasa, lo que ocurre por ejemplo en las emisiones generadas por los automóviles e industrias, en los incendios forestales y quemaduras de residuos (Bond et al., 2013).

⁸ Parte de la radiación solar que es reflejada al entrar en contacto con cualquier superficie.



Figura 11. Retroceso glaciar en el Artesonraju, cordillera Blanca

En la cordillera Blanca se ha encontrado que las altas concentraciones de las partículas absorbentes de luz están asociadas a la proximidad de las ciudades urbanas (Schmitt et al., 2015). Asimismo, algunos estudios realizados en las cordilleras Blanca, Huaytapallana y Vilcanota

evidencian que la mayor deposición de partículas absorbentes de luz sobre los glaciares se da entre el periodo de invierno y primavera correspondiente a la época de estiaje (Schmitt et al., 2015; Rodríguez y Schmitt, 2018; Torres et al., 2018; Carrión et al., 2021).



Figura 12. Monitoreo de carbono negro en el glaciar Yanapaccha, cordillera Blanca

1.3.1. PRINCIPALES CONSECUENCIAS DEL RETROCESO GLACIAR

A) EN LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA

El acelerado derretimiento de los glaciares tropicales generó que se perdiera el 56 % de la masa glaciar en 58 años. Esta pérdida afecta el almacenamiento en las lagunas de origen glaciar, el aporte a los ríos, y otros ecosistemas que tienen como fuente de agua principal el flujo proveniente del derretimiento de los glaciares. La mayor contribución relativa del derretimiento de los glaciares en la zona seca se debe al papel de los glaciares como "amortiguadores" de la hidrología regional (Mark y Seltzer, 2017). El derretimiento de estos glaciares es fuertemente moderado por la estacionalidad del régimen de las precipitaciones, donde los glaciares almacenan la precipitación (en forma de nieve) y compensan el flujo de las corrientes en períodos secos proporcionando agua de deshielo (Fountain y Tangborn, 1985), actuando como reguladores del régimen hidrológico en las regiones andinas (Comunidad Andina, 2007).

A medida que retroceden los glaciares aumenta la descarga hídrica, hasta que esta última alcanza el pico hídrico (au-

mento temporal de la escorrentía por deshielo). Este pico se alcanza antes en glaciares con menor superficie de hielo y cubierta más fina. La mayoría de los estudios sugieren que el pico hídrico de los glaciares andinos ya se ha producido o se producirá en los próximos 20 años (Huss et al., 2017; Huss y Hock, 2018). La reducción de la escorrentía glaciar, producto del alcance del pico hídrico, impacta en las cuencas con glaciares como el río Santa, donde el aporte glaciar representa de 10 a 20 % del escurrimiento total anual y excede el 40 % en época seca (Mark et al., 2005). Por lo explicado, a mayor retracción glaciar aumentaría la variabilidad en las descargas de los arroyos (Vignon, 2002; Mark y Seltzer, 2017).

Además, la ocurrencia de eventos climáticos extremos con mayor intensidad y frecuencia (lluvias intensas y sequías) alteran el régimen hidrológico de la precipitación y variación de la temperatura. Estos eventos afectan principalmente a los glaciares de menor tamaño (menores a 1 km²), que son los más vulnerables a desaparecer; mientras los glaciares más grandes pueden tardar entre cinco y diez



Foto: Renny Díaz, 2022

Figura 13. Retroceso glaciar y formación de lagunas de origen glaciar en el Quelccaya, cordillera Vilcanota

años en responder a cambios del entorno (Comunidad Andina, 2007).

Por lo mencionado, el retroceso glaciar afecta su rol regulador del glaciar en el régimen hidrológico. Con ello disminuye la cantidad de agua disponible para las diferentes actividades humanas, principalmente en épocas secas, ya que influyen en el almacenamiento del volumen de agua en las lagunas de origen glaciar, en el caudal de los ríos y alteran la calidad del agua.

B) INUNDACIÓN POR DESBORDE SÚBITO DE LAGUNA DE ORIGEN GLACIAR (GLOF)

El retroceso glaciar en el Perú ha dado lugar a la formación de nuevas lagunas que pueden provocar inundaciones repentinas causadas por su desbordamiento. Son fenómenos conocidos en inglés como Glacier Lake Outburst Floods (GLOF) (Bařka et al., 2020; Wood et al., 2021). Los GLOF son desbordes violentos de lagunas glaciares, independientemente del dique o tipo de laguna (Emmer et al., 2020). Estos desbordes pueden ser ocasionados por flujos de hielo y rocas que golpean una laguna, terremotos o la degradación del dique de morrena (figura 14). Entre los factores condicionantes que afectan la magnitud y ocurrencia del evento se puede

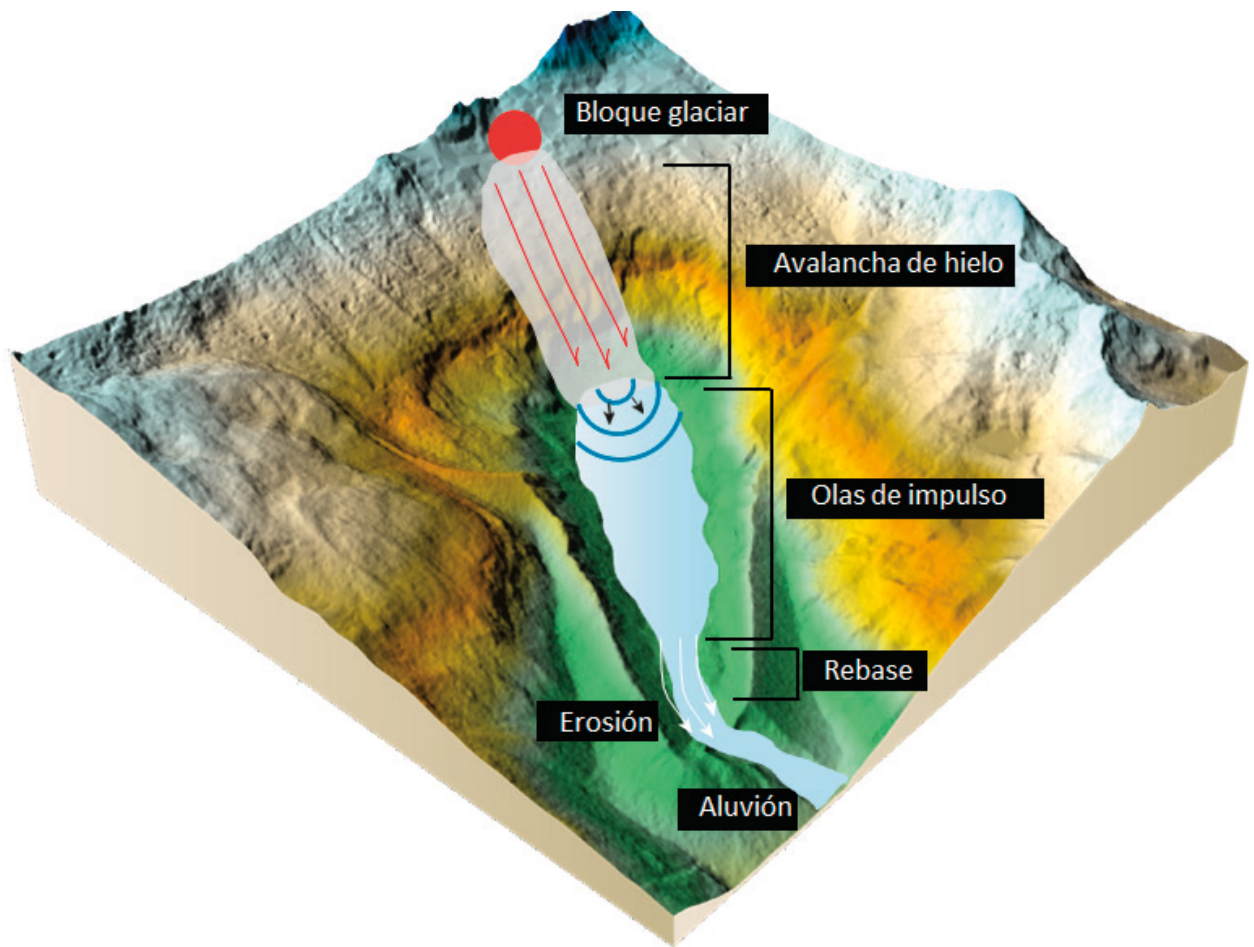


Figura 14. Cadena de procesos GLOF(Villafane, 2020)

destacar: (a) volumen de la laguna, (b) material y volumen del dique, (c) régimen hidrológico y (d) la dinámica glaciar (avalanchas en la zona de contacto glaciar/laguna) (Hauser, 1993; Carey et al., 2012; Emmer y Vilímek, 2013). En esa línea, el presente inventario provee de información útil que ayuda a identificar lagunas proglaciares en contacto con glaciares que presentan desprendimiento⁹, sugiriendo zonas de evaluación para la identificación de peligros. Asimismo, se ha evaluado la pendiente glaciar, que da cuenta de cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares. Cuando los glaciares se ubican en pendientes que superan los 25° ó 46.6 % de inclinación, podrían constituir una amenaza, haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas (GAPHAZ, 2017). Los GLOFs son procesos que representan un peligro considerable para las poblaciones y centros poblados que se ubican aguas abajo, más aún si consideramos que el Perú ocupa el ter-

cer puesto a nivel mundial en exposición a estos peligros (Taylor et al., 2023).

C) GENERACIÓN DE DRENAJES ÁCIDO DE ROCA

Uno de los efectos del retroceso glaciar es el drenaje ácido de roca (DAR), que consiste en la exposición de rocas que, si bien estuvieron cubiertas con hielo durante miles de años, ahora están expuestas al aire y a la erosión del agua. Esta exposición favorece los procesos de oxidación y lixiviación de los minerales, que acidifican el agua y liberan metales como aluminio, magnesio, hierro, cadmio, cromo, arsénico y dióxido de azufre, generando contaminación del agua proveniente de los glaciares (Loayza et al., 2014; Valverde, 2018).

La presencia de contaminantes generados por drenaje ácido de roca genera preocupación por la disponibilidad hídrica en el país, debido a que buena parte del



Foto: Joan Ramírez, 2020

Figura 15. Drenaje ácido de roca en la quebrada de Quilcayhuanca

⁹ Glaciares que debido a su fuerte pendiente, presentan continuos desprendimientos de hielo y nieve.

caudal de los ríos en la época seca (mayo - agosto) depende del escurrimiento por infiltración de las zonas altas y la fusión de los glaciares (Mark et al., 2005; Reyes, 2018; Montano et al., 2022).

Asimismo, los contaminantes generados por el drenaje ácido de roca pueden convertirse en un gran riesgo para los ecosistemas y los seres humanos, ya que pueden transferirse del agua a otros medios naturales a través de procesos de lixiviación, disolución y erosión; pudiendo acumularse en plantas y animales (Loayza et al., 2014; Huamán, 2018), que al ser

consumidos por el ser humano, pueden afectar su salud. De igual manera, estos contaminantes repercuten sobre la vida silvestre acuática y terrestre, el ganado, la productividad de pastos y cultivos, además de la alteración del escenario paisajístico por la coloración amarillenta de agua y suelo; y enrojecimiento de las rocas en los ríos (Jacobs et al., 2014; Zimmer et al., 2018) (figura 15). En la actualidad, la generación de drenaje ácido de roca se va intensificando como consecuencia del acelerado retroceso glaciar (Rabatel, 2005).

1.4. HISTORIA DE LOS INVENTARIOS DE GLACIARES Y LAGUNAS EN EL PERÚ

En el Perú, el primer inventario nacional de glaciares fue elaborado por la Unidad de Glaciología e Hidrología (oficina que inicialmente perteneció a la Corporación Peruana del Santa y fue transferida secuencialmente a ElectroPerú, INGEOMIN, INGEMMET e Hidrandina), reportando una extensión de 2041.85 km² de glaciares a nivel nacional¹⁰. Dicho trabajo se centró en el análisis de fotografías aéreas de 18 cordilleras glaciares de los años 1955 y 1962. Sin embargo, la presencia de nubes limitó el mapeo completo de la cobertura glaciar a nivel nacional. Este documento fue publicado en 1989 por Hidrandina S.A. bajo el título "Inventario de glaciares del Perú".

Entre los años 1997 y 1998, el Instituto Andino de Glaciología y Geoambiente (INAGGA), por encargo del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), efectuó el segundo Inventario de Glaciares del Perú. Dicho estudio se realizó en cuencas seleccionadas de cinco cordilleras, a partir del cual se realizó una proyección

para 18 cordilleras a nivel nacional. El material de trabajo fueron las imágenes satelitales Landsat del periodo 1995 - 1997. El resultado estimó un área glaciar de 1595.59 km². Los resultados fueron publicados en el año 2001, en la Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CONAM, 2001).

En el año 2006, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) dio inicio al Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas en el que, además de las dieciocho cordilleras glaciares, se incluyó la cordillera Volcánica (pues se identificaron lagunas de origen glaciar). En este inventario, se hizo uso de las imágenes satelitales Spot5, Aster, LISS III y Landsat, recopiladas desde el año 2001 al 2010, determinado la presencia de una superficie glaciar de 1298.59 km². Los estudios liderados por la ANA incluyeron también los resultados del Inventario de Lagunas de Origen Glaciar, reportando 8355 lagunas que

¹⁰ Para completar las áreas glaciares que quedaron fuera de este primer mapeo, en el 2016, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) realizó un trabajo complementario empleando imágenes Landsat de los periodos 1975 - 1982, reportando un área glaciar de 2 399.06 km² (INAIGEM, 2018).

cubrían 916.64 km². Ambos resultados fueron publicados por la ANA en el 2014.

Durante el 2017, el INAIGEM inició la elaboración del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar (INGLOG I). Para ello, se emplearon imágenes satelitales Sentinel 2 del año 2016, con una resolución espacial de 10 m, permitiendo discriminar adecuadamente las superficies de glaciares y lagunas de origen glaciar en el ámbito de 20 cordilleras glaciares, entre los que se incluyó la cordillera Barroso. Los resultados mostraron 2259 glaciares, con una extensión glaciar de 1118.11 km² y 8577 lagunas de origen glaciar, cuya extensión fue 1022.3 km². Asimismo, revelaron una

reducción glaciar del 54 % respecto al primer inventario publicado por Hidrandina, lo que equivalía a una pérdida de 1284.95 km² de superficie glaciar (INAIGEM, 2018).

Para la elaboración del actual Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar (INGLOG II), se emplearon imágenes satelitales Sentinel 2 del año 2020, incorporando además la utilización de lenguaje de programación Python y JavaScript, lo cual permitió optimizar la identificación y el cálculo de algunos parámetros de caracterización de los glaciares y lagunas de origen glaciar. El ámbito de estudio corresponde a las 20 cordilleras glaciares del Perú.



Laguna en contacto con el glaciar Salluyo
Foto: Renny Diaz



CAPÍTULO 2
OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proporcionar información relevante sobre la situación de los glaciares y lagunas de origen glaciar del Perú, que contribuya a la toma de decisiones relacionadas a su gestión.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Brindar información a escala nacional y regional sobre la distribución espacial en términos de cantidad y extensión de los glaciares y lagunas de origen glaciar.
- Proporcionar información de las características de los glaciares, tales como altitud, pendiente, orientación, entre otros atributos propios de los glaciares y lagunas de origen glaciar del Perú.
- Dar a conocer los tipos de glaciares y lagunas de origen glaciar identificados en el ámbito de estudio de las 20 cordilleras glaciares y 14 departamentos del Perú.
- Establecer la línea base cartográfica para la actualización del inventario de glaciares rocosos del país.
- Poner a disposición del público general la información cartográfica georreferenciada a escala 1:25 000 para los fines de consulta geoespacial.



CAPÍTULO 3
ALCANCE



Laguna Ausangate Chaqui
Foto: Ricardo Vila

El presente documento constituye una herramienta de alcance nacional, orientado principalmente hacia los tomadores de decisión, quienes como parte de sus funciones requieren definir intervenciones que permitan mejorar la gestión y manejo en materia de glaciares y lagunas de origen glaciar, para el beneficio de la población.

El Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen glaciar II (INGLOG II) se centra en el análisis de glaciares y lagunas de origen glaciar que poseen superficies iguales o superiores a 5000 m² (Unidad Mínima Cartografiable - UMC) y que se encuentran dentro del ámbito de las 20 cordilleras glaciares. La superficie glaciar y de lagunas de origen glaciar inventariadas representan el 0.09 % y 0.08 % de la superficie total del territorio na-

cional, respectivamente, las mismas que políticamente, se encuentran distribuidas en 14 departamentos del Perú, y que se encuentran dentro del ámbito de las 20 cordilleras glaciares.

Considerando los métodos empleados para el actual inventario, se hace una distinción del período de evaluación entre glaciares y lagunas. Por un lado, los resultados del inventario de glaciares se fundamentan en la información obtenida de la colección de imágenes satelitales Sentinel 2, disponibles en la plataforma Google Earth Engine (GEE) para todo el año 2020. En el inventario de lagunas se emplearon imágenes Sentinel 2 del año 2020, correspondientes a los meses con menor precipitación y mínima presencia de nubes (meses secos).



CAPÍTULO 4 **METODOLOGÍA**



Vuelo Drone en el
Glaciar Shallap
Foto: Edwin Loarte

4.1. CRITERIOS TÉCNICOS

4.1.1. ESCALA DE TRABAJO

Para determinar la escala de fotointerpretación a emplear en las imágenes satelitales, se debe considerar la resolución espacial, es decir, el potencial de detalle que ofrece una imagen satelital (tamaño del píxel) y considerar que áreas menores no son registradas (Jensen, 2005). Otro concepto a tener en cuenta es la precisión planimétrica, con la cual los datos fuente son transferidos para ser visualizados en los programas SIG. Como valor de referencia, dicha precisión debe corresponder a 0.5 mm para el 90 % de los puntos del mapa (GCP)¹¹.

Según los conceptos antes expresados, la escala cartográfica puede expresarse en:



$$\text{Escala Cartográfica máxima} = \text{Precisión Planimétrica del raster (m)} \times 2 \times 1000$$

A partir de estos conceptos y de la fórmula, se obtiene la tabla 1 para las imágenes satelitales que empleamos en el INGLOG II:

La escala de interpretación máxima, según las características de las imágenes satelitales Sentinel 2 y los conceptos antes definidos, es de 1:15 000. Sin em-

bargo, se ha elegido una escala de fotointerpretación de $\geq 1:25\ 000$, con el fin de estandarizar y compatibilizar la información con los mapas de vegetación y otros recursos en el país que hayan sido elaborados bajo las mismas condiciones, como lo como lo sugiere la Guía de Inventario de flora y vegetación (MINAM, 2015b).

Tabla 1. Imagen satelital, escala y unidad mínima cartografiable

Datos satelitales	Resolución espacial	Precisión planimétrica 0.5mm (90%)	Escala cartográfica máxima	Unidad mínima cartografiable (DOL = 25 mm ²)
Sentinel -2	10 m 20 m	7.5 m 12.5 m	1:15 000 1:25 000	0.5 ha 1.5 ha

¹¹ Ground Control Points (Puntos de control).

4.1.2. UNIDAD MÍNIMA CARTOGRAFIABLE

Entre los fundamentos básicos para entender la relación escala cartográfica y la unidad mínima cartografiable, debemos considerar la delimitación óptima legible (DOL), que es convencionalmente cuatro veces la delimitación mínima legible (DML), que es el valor conforme al límite de percepción visual humana de diferenciar objetos como área, si sus dimensiones superan 0.20 mm a la escala de mapa (Forbes et al., 1987; Rossiter, 2004; Büttner et al., 2004). Hoy en día, la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), National Standard for Spatial Data Accuracy (FGDC) y la Comisión Europea recomiendan usar un DOL de 25mm².



Batimetría en la laguna Qori Kalis
Foto: Ricardo Vila

$$UMC (m^2) = DOL (mm^2) * 10^{-6} m^2 * mm^{-2} * (Escala cartográfica máxima)^2$$

Donde:

UMC = unidad mínima cartografiable

DOL = delimitación óptima legible

En el Perú, instituciones como el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2021) y el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) recomiendan trabajar con la unidad mínima cartografiable de 1.5 ha cuando la escala de trabajo es 1:25 000, a excepción de casos particulares donde existan áreas de interés que amerite disminuir el área o unidad mínima cartografiable.

Por ello, en base a las características de los glaciares tropicales y lagunas de origen glaciar, y los datos de los últimos inventarios desarrollados en el Perú que muestran que aproximadamente el 7 % de los glaciares y el 26 % de las lagunas a nivel nacional poseen un área menor a 1 ha, se ha considerado 5000 m² (0.5 ha) como unidad mínima cartografiable.

4.2. PRINCIPALES INSUMOS

Actualmente, los productos satelitales son una fuente importante de información para el estudio de los glaciares y lagunas, pues nos permiten cartografiar la evolución de la cubierta glaciaria debido a su repetibilidad, carácter sinóptico y fácil integración en los sistemas de información geográfica. Estos datos cada vez son de mayor resolución, permitiéndonos obser-

var muchos detalles que incluyen grietas, líneas de nieve, entre otras características (Vornberger y Bindschadler, 1992; Jacobel et al., 1994; Wessels et al., 2002; Paul, 2003; Veettil et al., 2017). Sin embargo, es necesario considerar adecuadamente la elección de los insumos y su disponibilidad para obtener productos de calidad (Veettil y Kamp, 2017).

4.2.1. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM)

El sensor PALSAR (radar de apertura sintética de banda L de tipo Phased Array) se lanzó a bordo del satélite ALOS (Satélite Avanzado de Observación de la Tierra). Posee un sensor de microondas activo que utiliza una frecuencia de banda L para lograr una observación terrestre libre de nubes, de día y de noche. Los DEM ALOS PALSAR provienen de un DEM ya existente, que fue modificado y luego utilizado para el proceso de

corrección radiométrica del terreno con una resolución de 12.5 m. Está disponible a nivel mundial y gratuitamente. Fue utilizado como insumo base para la caracterización de glaciares y lagunas durante el desarrollo de este inventario.

4.2.2. IMÁGENES SATELITALES

La misión Sentinel 2 es el resultado de una estrecha colaboración entre la Agencia Espacial Europea (ESA con sus siglas en inglés) y la Comisión Europea. Se basa en una constelación de dos satélites idénticos en la misma órbita, separados por 180 grados, que poseen una cámara multispectral de alta resolución, con 13 bandas; así como un campo de visión que abarca 290 kilómetros de anchura y sobrevuelos frecuentes. La resolución

espacial de 10 m (mejor resolución para imágenes de libre acceso hasta el momento), nivel de corrección (geométrica y atmosférica) y la disponibilidad temporal (cada 5 días) de las imágenes satelitales Sentinel 2A, han hecho que el INAIGEM las elija para realizar la última actualización del inventario.

4.3. ELABORACIÓN DEL INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES Y LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El INGLOG II fue desarrollado a través de ocho etapas, la mayoría de las cuales consideran las pautas establecidas en el Manual Metodológico del Inventario Nacional de Glaciares (INAIGEM, 2017). Asimismo, se ha considerado como un eje transversal para todas las actividades los proce-

sos de optimización centrados en el uso de la plataforma del cloud computing, el uso de herramientas como el GEE y los lenguajes de programación Python y JavaScript. En la figura 16 se muestran las etapas, procesos, insumos y conexiones que se desarrollaron en el INGLOG II.



Trabajo de GPR en el Nev. Coropuna
Foto: Ricardo Vila

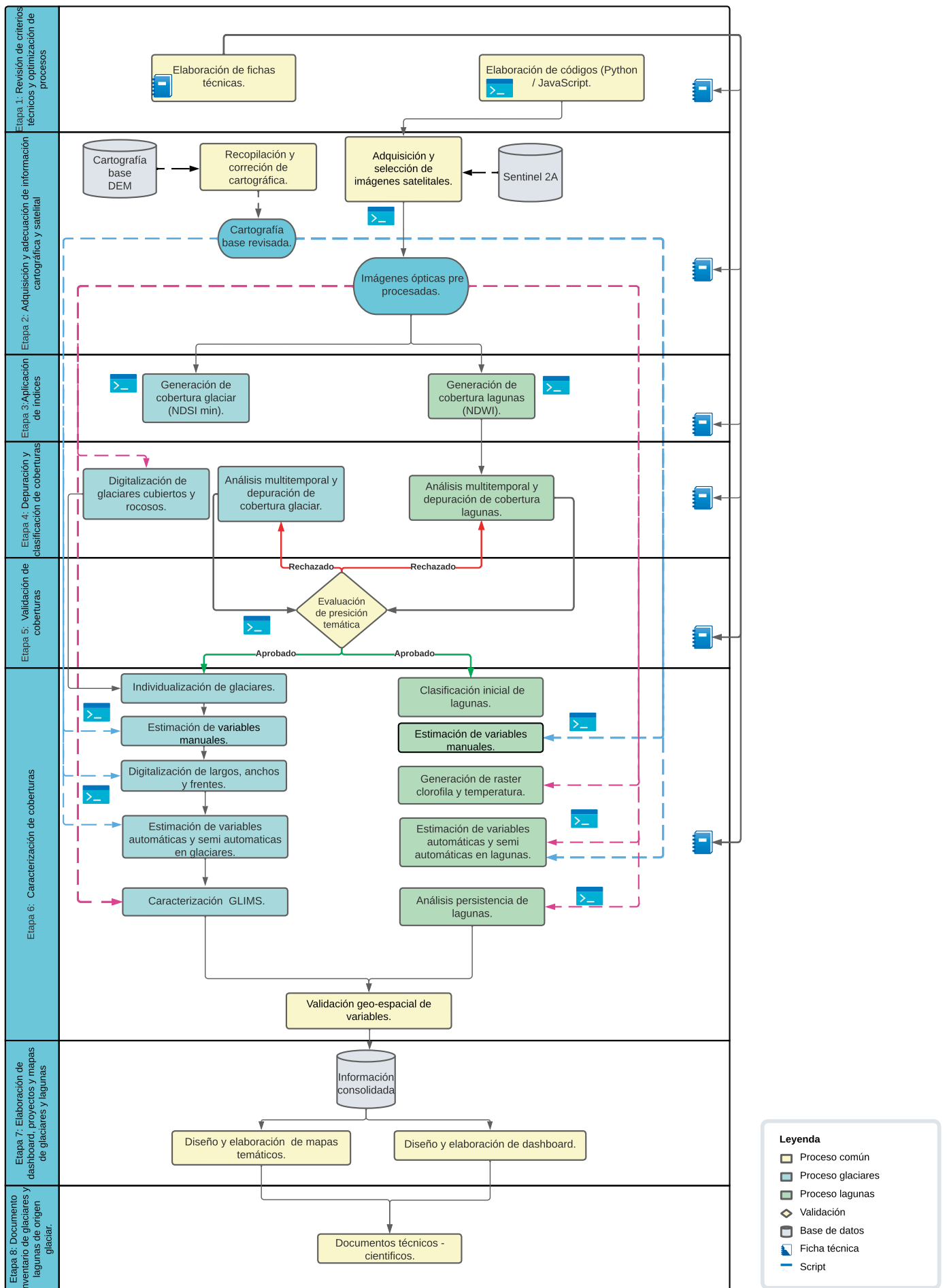


Figura 16. Flujograma metodológico del INGLOG II

4.3.1. ETAPA 1: REVISIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS)

En la etapa inicial, se revisaron y evaluaron los principales procesos, criterios, herramientas e insumos empleados para la elaboración del INGLOG. Se logró identificar y establecer una serie de acciones de mejora y optimización en cada etapa. Es así que dentro de esta etapa se elaboraron las fichas técnicas que orientan los procedimientos y criterios a emplear para cada actividad. Asimismo, se desarrollaron nuevas herramientas (Scripts), haciendo uso de lenguajes de programación como Python y JavaScript, sistemas de información geográfica (SIG), sensora-

miento remoto y la plataforma GEE, que permite acceder a datos de imágenes satelitales como las Sentinel 2A, y aplicar un conjunto de algoritmos en lenguajes de programación, con los que se optimizó procesos y permitió el ahorro de recursos informáticos. Finalmente, para cada implementación se elaboraron reportes técnicos que incluyen un análisis basado en evidencia científica que justifica las herramientas y procesos seleccionados para la obtención de cada producto.

4.3.2. ETAPA 2: ADQUISICIÓN Y ADECUACIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y SATELITAL

Esta etapa comprendió la recopilación, revisión y tratamiento de los principales insumos que se requirieron para el desarrollo del INGLOG II (cartografía base, DEMs e imágenes satelitales). El trabajo se dividió en dos sub etapas: la primera, en la que se realizó la adecuación de la información cartográfica proporcionada por las diferentes instituciones a la escala de trabajo (1:25 000); y la segunda,

que comprendió la adquisición, selección y pre-tratamientos de imágenes satelitales (eliminación de sombras y nubes, corrección topográfica) mediante el uso de algoritmos dentro de la plataforma de GEE.

4.3.3. ETAPA 3: APLICACIÓN DE ÍNDICES

En esta etapa se generaron las coberturas de glaciares y de lagunas, con base en la aplicación de índices, implementando scripts en Python en la plataforma GEE. Para los glaciares se aplicó el Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI), que nos permitió medir la magnitud relativa de la diferencia de reflectancia entre el espectro visible verde y el infrarrojo de

onda corta (Hall et al., 1995). Al emplear imágenes Sentinel 2A, se trabajó con las bandas 3 (10 m de resolución espacial) y 11 (reducida a 10 m de resolución espacial), y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{NDSI} = \frac{\text{Banda 3}_{(\text{verde})} - \text{Banda 11}_{(\text{SWIR})}}{\text{Banda 3}_{(\text{verde})} + \text{Banda 11}_{(\text{SWIR})}}$$

Sin embargo, se identificó la presencia y persistencia de nieve temporal en las cordilleras, ocasionando la sobreestimación de áreas glaciares para el año 2020. Por ello, se trabajó el proceso de obtención del NDSI - mínimo, algoritmo que nos permitió calcular el NDSI para toda la colección de imágenes Sentinel

2A del 2020, y posteriormente aplicar una reducción del mínimo valor anual. Finalmente, se determinó el umbral de NDSI (mínimo) ≥ 0.1 como indicador de la presencia de cobertura glaciar (figura 17). Similares aplicaciones fueron implementadas por Turpo et al. (2022).

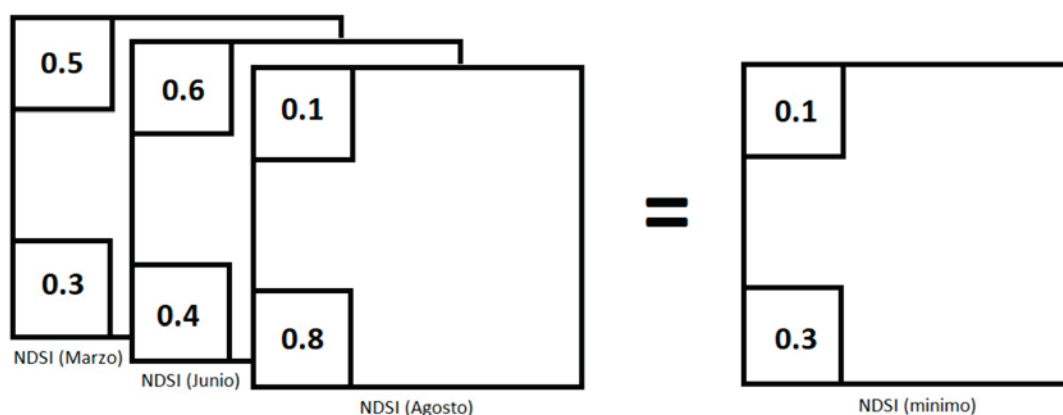


Figura 17. Implementación del NDSI mínimo

Por otra parte, para las lagunas se empleó el Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI), medida de la magnitud relativa de la diferencia de reflectancia entre el espectro visible del verde y el infrarrojo cercano (MacFeeters, 1996). Para ello, se emplearon las bandas 3 y

8 de la imagen Sentinel 2A y se aplicó la siguiente fórmula:

Los valores de $NDWI \geq -0.1$ fueron seleccionados como indicadores de presencia de cuerpos de agua.

$$NDWI = \frac{Banda\ 3_{(verde)} - Banda\ 8_{(NIR)}}{Banda\ 3_{(verde)} + Banda\ 8_{(NIR)}}$$

4.3.4. ETAPA 4: DEPURACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS

La aplicación de los índices NDSI mínimo y NDWI así como la selección de umbrales ayudó a mejorar la identificación de las coberturas en las distintas zonas y/o sistemas glaciares de una cordillera. Sin embargo, pese a que se redujo el error por identificación de nieve temporal, se observó que en algunos casos los índices continuaron considerando sombras, nubes, lagunas en contacto glaciar y humedales que fueron identificados y discriminados como entidades ajenas a la cobertura glaciar y/o lagunas, a través de análisis multitemporal. Ello implicó la corrección del perímetro glaciar y/o de

lagunas y relleno de vacíos internos no detectados por el índice. El proceso de depuración implicó una exhaustiva revisión y corrección manual de las coberturas de glaciares y lagunas con apoyo de imágenes de alta resolución (figuras 18 y 19). Este paso permitió reducir los márgenes de error y obtener información más precisa y confiable. Posterior al proceso de depuración, se aplicó el criterio de restricción de acuerdo al valor del área mínima cartografiable (5000 m²).

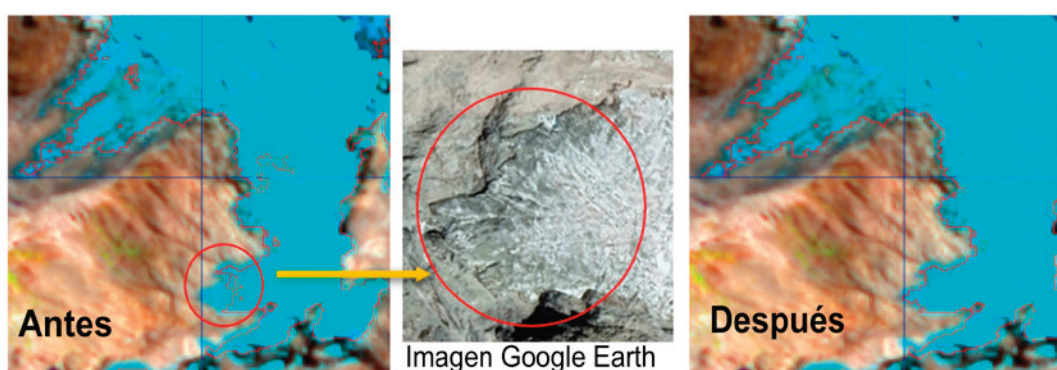


Figura 18. Depuración de glaciares

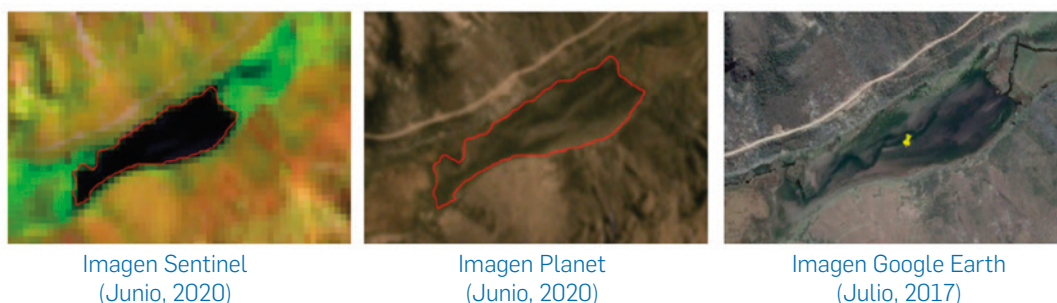


Figura 19. Depuración de lagunas

4.3.5. ETAPA 5: VALIDACIÓN DE COBERTURAS

En esta etapa se realizó la evaluación de la calidad de los productos generados tras la implementación de los índices NDSI y NDWI, así como los umbrales aplicados para la identificación de la cobertura de glaciares y lagunas. El proceso de validación consistió en la selección de una muestra de puntos, que fue distribuida estratificada y aleatoriamente en cada cordillera (tabla 2) con el objetivo de comparar la clase a la que pertenecen según cada cobertura obtenida (glaciar o lagunas). La evaluación temática fue apoyada por imágenes satelitales de alta resolución como referencia, que permitieron analizar cada punto muestral. A partir de esta comparación, se obtuvo una matriz de confusión para cada cordillera, obteniendo las siguientes métricas estadísticas: precisión general, precisión de usuario, precisión de productor e Índice Kappa. Estas métricas determinaron el

nivel de precisión o exactitud del método aplicado. La evaluación de los resultados se realizó en base a una revisión bibliográfica (benchmarking), y determinó que valores superiores al 0.85 presentan buena confiabilidad para los estadísticos de precisión general, precisión de usuario y del productor. Respecto al índice Kappa, se consideró la interpretación de tabla propuesta por Landis y Koch (1977). Para facilitar este proceso, se implementó una serie de procedimientos en la plataforma QGIS, la que contiene los plugins (AcA-TaMa) necesarios para automatizar esta etapa y obtener los resultados para cada cordillera de manera eficiente.

Los resultados de evaluación temática de la cobertura de glaciares limpios en las 18 cordilleras presentaron una precisión general "Buena" (0.98), así como también el índice de Kappa presentó una concordancia



Trabajo de GPR en el Nev. Coropuna
Foto: Ricardo Vila

Tabla 2. Puntos de validación por cordillera

N°	Cordillera	Glaciares		Lagunas		Total
		Glaciar	No glaciar	Laguna	No laguna	
1	Blanca	203	203	230	230	866
2	Huallanca	203	203	230	230	866
3	Huayhuash	203	203	226	234	866
4	Raura	203	203	228	232	866
5	Huagoruncho	203	203	230	230	866
6	La viuda	203	203	226	234	866
7	Central	203	203	230	230	866
8	Huaytapallana	203	203	230	230	866
9	Chonta	203	203	230	230	866
10	Ampato	203	203	230	230	866
11	Vilcabamba	203	203	230	230	866
12	Urubamba	203	203	230	230	866
13	Huanzo	203	203	229	230	865
14	Chila	203	203	230	230	866
15	La Raya	203	203	230	230	866
16	Vilcanota	202	203	227	233	865
17	Carabaya	203	203	230	230	866
18	Apolobamba	203	203	230	230	866
19	Volcánica	-	-	230	230	460
20	Barroso	-	-	229	231	460
Total		3653	3654	4585	4614	16 506

cia "casi perfecta" de 0.96. El análisis de la puntuación F1, score donde se evaluó si los resultados guardaron igual relación entre precisión y recuperación (recall), o en otros términos si la relación entre la precisión del usuario y del productor indicó un valor de 0.97 (siendo 1 el mejor resultado).

La matriz de confusión estimó que el usuario ha identificado adecuadamente 98.38 % de los píxeles que pertenecen

a la categoría "glaciar", mientras que la exactitud del productor identificó adecuadamente el 97.85 %. El error de comisión (sobreestimación) fue de 1.62 %. Respecto a la subestimación (error de omisión) podemos mencionar que fue de 2.15 % (tabla 3).

Mientras que los resultados de evaluación temática de la cobertura de lagunas en las 20 cordilleras estimaron una precisión general del 0.99 considerada "buena", el

Tabla 3. Matriz de confusión general de la cobertura de glaciares

Glaciares a nivel general						
Realidad						
Clasificación	Clase	Glaciar	No glaciar	Total	Exactitud usuario	Error de Comisión
	Glaciar	3594	59	3653	0.9838	0.0162
	No Glaciar	79	3575	3654	0.9784	0.0216
	Total	3673	3634	7307		
	Exactitud Productor	0.9785	0.9838	Kappa	Score-F1	Precisión General
	Error de Omisión	0.0215	0.0162	0.162	0.9812	0.9811

índice de Kappa presentó una concordancia “casi perfecta” de 0.98. El análisis de la puntuación F1, score que evalúa la relación entre la precisión del usuario y del productor, indicó resultados superiores al 0.98.

A nivel general, la matriz de confusión para la cobertura de lagunas estimó que el usuario ha identificado adecuadamente 98.39 % de los píxeles que pertenecen a la categoría “laguna”, mientras que el modelo ha identificado el 99.45 %. El error de comisión (sobrestimación) fue de 1.61 % y el error de omisión (subestimación) en la clase lagunas fue de 0.5 % (tabla 4).

Tabla 4. Matriz de confusión general de la cobertura de lagunas

Glaciares a nivel general						
Realidad						
Clasificación	Clase	Laguna	No laguna	Total	Exactitud usuario	Error de Comisión
	Laguna	4511	74	4585	0.9839	0.0161
	No laguna	25	4589	4614	0.9784	0.0054
	Total	4536	4663	9199		
	Exactitud Productor	0.9945	0.9841	Kappa	Score-F1	Precisión General
	Error de Omisión	0.0055	0.0159	0.9785	0.9891	0.9892

4.3.6. ETAPA 6: CARACTERIZACIÓN DE COBERTURAS

La etapa de caracterización de glaciares y lagunas consistió en la asignación de atributos como ubicación geográfica, política e hidrográfica, incluyendo características físicas como área, largo y ancho, pendiente, orientación, entre otros. Esta asignación de atributos se realizó a cada unidad glaciar y a cada laguna, y se distinguió dos sub etapas de trabajo. (1) En la caracterización de glaciares, como paso previo, se realizó la individualización de la cobertura glaciar, proceso mediante el cual se obtuvieron las unidades glaciares en función a la unidad hidrográfica que los albergan y delimitan. En esta fase se asignó la numeración correspondiente, en función a la ubicación de cada glaciar. (2) En el caso de las lagunas, una vez definido el crite-

rio de restricción, se asignó un número a las lagunas permanentes, consideradas también como lagunas inventariables. En ambas subetapas, se priorizó las variables de evaluación que, según el tipo de procesamiento, se clasificaron en: manuales, semiautomáticas y automáticas.

Para el caso del inventario de lagunas, adicionalmente se implementó el análisis de persistencia. Este algoritmo calculó el NDWI para el periodo 2000 - 2020. A través de un análisis estadístico zonal se evaluó si una laguna es temporal o permanente.

4.3.7. ETAPA 7: ELABORACIÓN DE DASHBOARD, PROYECTOS Y MAPAS DE GLACIARES Y LAGUNAS

En esta etapa se realizó la integración y sistematización de las bases de datos de las coberturas de glaciares y lagunas, representadas a través de figuras, tablas, integración de variables, y consultas interactivas (Dashboard), que serán puestas a disposición del público en general. Asimismo, se realizó la elaboración de mapas temáticos a nivel de departamentos.

4.3.8. ETAPA 8: MEMORIA DESCRIPTIVA DEL INGLOG II

Finalmente, se elaboró la memoria técnica que sintetiza los resultados del inventario nacional de glaciares y lagunas de origen glaciar. Este documento incluye información a nivel de cordillera y departamentos, mostrando la situación actual de los glaciares y lagunas de origen glaciar del Perú.



CAPÍTULO 5
RESULTADOS

5.1. RESULTADOS A NIVEL NACIONAL

5.1.1. GLACIARES

En el presente inventario se han clasificado tres tipos de superficie glaciaria: libre de detritos, cubierto de detritos y rocosos. Estos glaciares están distribuidos en 13 departamentos y tres zonas (norte, centro y sur) (figura 21). Los resultados de este trabajo muestran que, al 2020, los glaciares libres de detritos son

los predominantes con una superficie de 993.36 km²; seguido de los glaciares rocosos con 107.49 km² y los glaciares cubiertos con 56.96 km² a nivel nacional (figura 20).

En relación al número de glaciares libres y cubiertos de detritos, los datos revelan

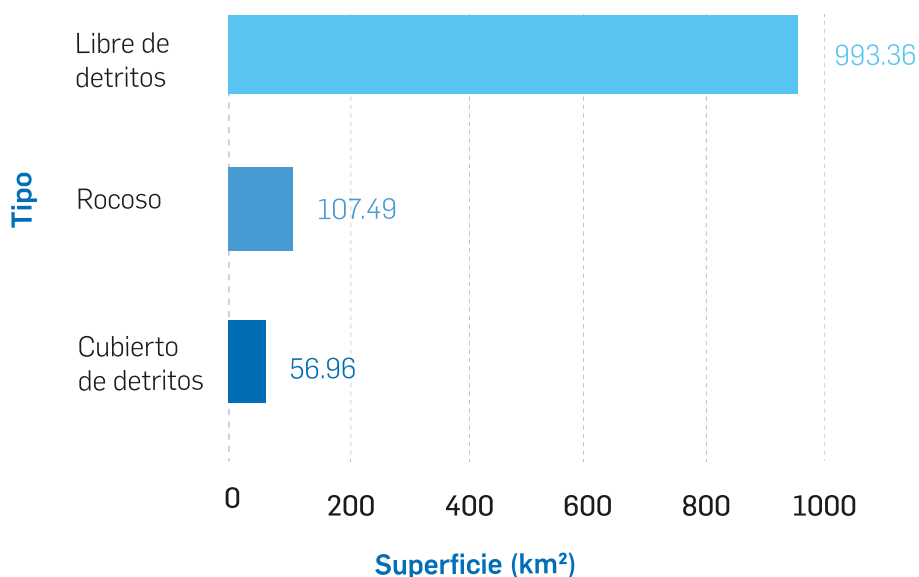


Figura 20. Tipos de glaciares en el Perú

un total de 2084 glaciares, estos glaciares ocupan una superficie de 1050.32 km², los que se encuentran distribuidos en 18 cordilleras que aún cuentan con estos tipos de glaciares (tabla 5).

En cuanto al tercer tipo de glaciares, este es el primer inventario que brinda información sobre la cantidad y distribución de los glaciares rocosos en el Perú, lo que contribuye a disminuir la brecha del conocimiento sobre los glaciares ro-

cosos en los andes peruanos. Producto de este trabajo se han identificado 2147 glaciares rocosos, con una superficie de 107.49 km², distribuidos en 15 cordilleras glaciares. Destacan la cordillera Barroso con 718 glaciares rocosos y 38.78 km²; y la cordillera Volcánica con 211 glaciares rocosos y 9.92 km², que hasta hace muy poco eran consideradas cordilleras glaciares extintas, al haber perdido toda superficie de glaciares libres y cubiertos por detritos (tabla 5).

Tabla 5. Cantidad y superficie de los glaciares por cordillera

N°	Cordillera	Glaciares libre y cubierto por detritos		Glaciares rocosos	
		N° de Glaciares	Superficie (km ²)	N° de Glaciares	Superficie (km ²)
1	Blanca	511	424.86	-	-
2	Huallanca	28	4.64	-	-
3	Huayhuash	86	49.63	10	1.31
4	Raura	76	23.73	2	0.09
5	Huagoruncho	35	6.54	-	-
6	La Viuda	45	3.40	19	0.67
7	Central	122	39.61	18	0.68
8	Huaytapallana	90	19.29	-	-
9	Chonta	4	0.37	6	0.15
10	Ampato	48	51.98	186	15.51
11	Vilcabamba	319	94.06	1	0.18
12	Urubamba	95	22.06	2	0.16
13	Huanzo	17	2.31	474	22.11
14	Chila	2	0.07	429	15.76
15	La Raya	20	1.50	9	0.33
16	Vilcanota	380	243.29	58	1.71
17	Carabaya	132	27.89	-	-
18	Apolobamba	74	35.08	4	0.12
19	Barroso	-	-	718	38.78
20	Volcánica	-	-	211	9.92
Total		2084	1050.32	2147	107.49

De los datos a nivel nacional, podemos mencionar que las cordilleras del sur son las que presentan la mayor cantidad de glaciares libres y cubiertos por detritos (1087), como de glaciares rocosos (2092), en tanto que las cordilleras del

centro presentan la menor cantidad de glaciares libres y cubiertos por detritos (296), mientras que las cordilleras del Norte poseen la menor cantidad de glaciares rocosos (12) (figura 21).

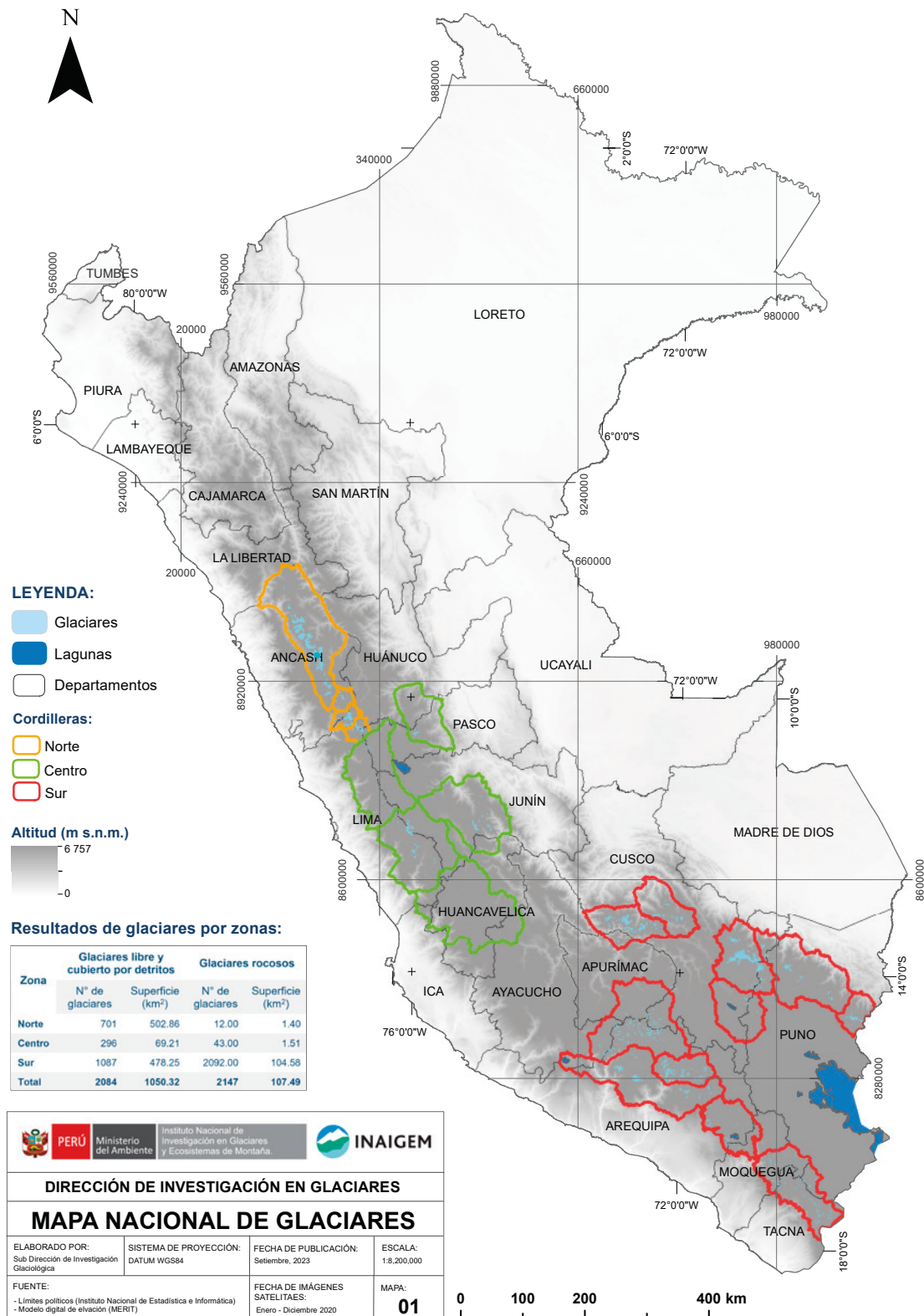


Figura 21. Distribución de glaciares en el Perú

A nivel departamental, considerando exclusivamente glaciares libres y cubiertos por detritos, se puede mencionar que están presentes en 10 departamentos.

En términos de cantidad, el departamento de Cusco posee el mayor número de glaciares (765), seguido de Áncash, que cuenta con 549. Por otro lado, se observa que Áncash alberga la mayor superficie (441.13 km²), mientras que Cusco ocupa el segundo lugar con 341 km². En contraposición, los departamentos con menor cantidad y superficie son Apurímac (12 glaciares con superficie total de 1.45

km²) y Huancavelica (tres glaciares, con superficie total de 0.14 km²).

En cuanto a los glaciares rocosos, se ha identificado su presencia en 11 departamentos, siendo Arequipa el que alberga la mayor cantidad y superficie (1097 glaciares y 55.72 km²), seguido de Tacna (400 glaciares y 22.81 km²) y Moquegua (308 glaciares y 15.52 km²). Huánuco es el departamento con menor cantidad y superficie de glaciares rocosos, pues apenas posee un glaciar cuya superficie es 0.02 km² (tabla 6).

Tabla 6. Cantidad y superficie de los glaciares por departamento

N°	Departamento	Glaciares libre y cubierto por detritos		Glaciares rocosos	
		N° de Glaciares	Superficie (km ²)	N° de Glaciares	Superficie (km ²)
1	Áncash	549	441.13	-	-
2	Huánuco	56	24.23	1	0.02
3	Lima	183	57.53	45	2.63
4	Pasco	54	12.84	-	-
5	Junín	152	36.19	4	0.14
6	Huancavelica	3	0.14	3	0.10
7	Ayacucho	-	-	76	2.74
8	Apurímac	12	1.45	22	0.42
9	Arequipa	56	52.96	1097	55.72
10	Cusco	765	341.38	84	3.37
11	Puno	254	82.46	107	4.02
12	Moquegua	-	-	308	15.52
13	Tacna	-	-	400	22.81
Total		2084	1050.32	2147	107.49

5.1.2. RETROCESO GLACIAR

Desde el primer Inventario Nacional de Glaciares publicado por Hidrandina en el año 1989, hasta los últimos realizados por el INAIGEM, se han reportado resultados que dan como tendencia un continuo retroceso de la superficie glaciar en el Perú (figura 22). De acuerdo a los resultados del presente inventario, des-

de 1962 los andes peruanos han perdido 1348.75 km² de superficie glaciar, lo que representa el 56 % de pérdida en 58 años. Tomando como base el inventario del año 2016, en los últimos cuatro años se produjo una reducción de superficie glaciar de 67.80 km² a nivel nacional (figura 23).

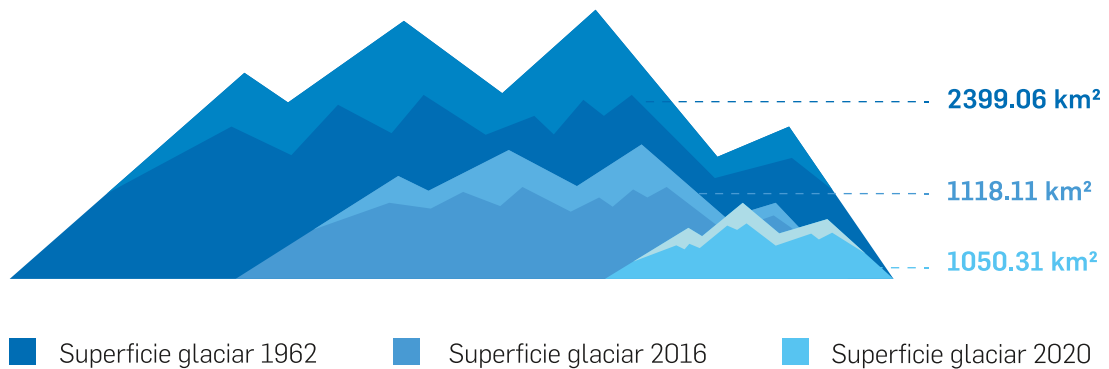
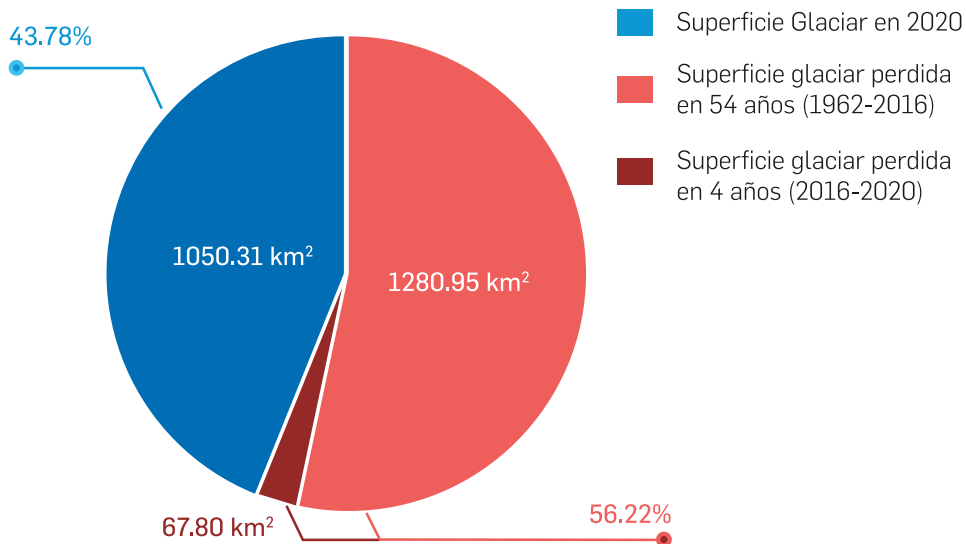


Figura 22. Evolución de la cobertura glaciar a nivel nacional desde 1962 al 2020



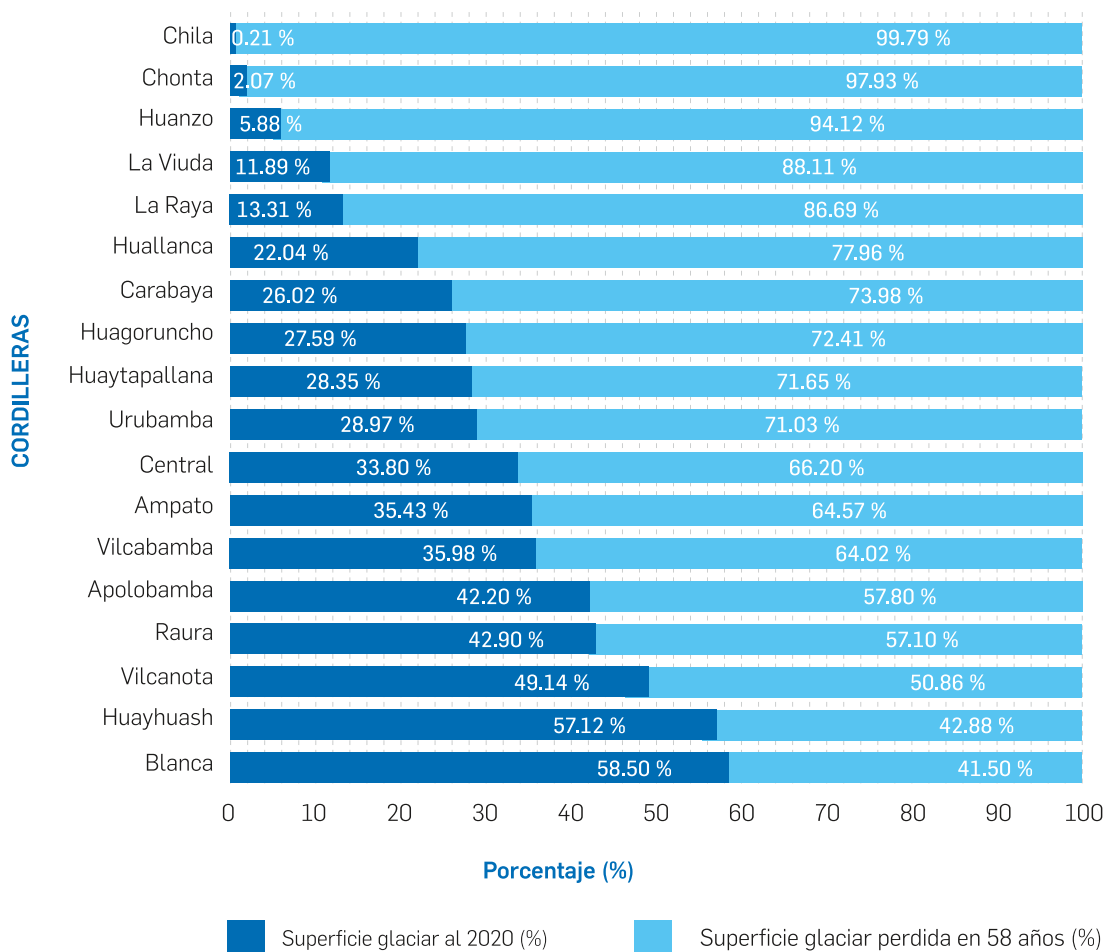
*Los resultados presentados, consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubierto de detritos.

Figura 23. Reducción de la cobertura glaciar a nivel nacional

A) RETROCESO GLACIAR POR CORDILLERA

En el territorio peruano los factores geológicos, geomorfológicos y climáticos dieron origen a la formación de veinte cordilleras glaciares, dieciocho de las cuales aún presentan cobertura de glaciares libres y cubiertos de detritos. Estos glaciares han ido perdiendo gran parte de su cobertura durante las últimas seis décadas, periodo desde el cual se tiene registro. Los resultados por cordillera (figura 24) revelan que en 58 años:

- Las cordilleras Chila, Chonta, Huanzo, La Viuda y La Raya tuvieron pérdidas superiores al 85 % de su superficie, muy cercana al 100 % en el caso de la cordillera Chila.
- Huallanca, Carabaya, Huagoruncho, Huaytapallana, Urubamba, Central, Ampato, Vilcabamba, Apolobamba y Raura sufrieron pérdidas entre 80 % y 55 %.
- Vilcanota ha perdido un poco más del 50 % de su superficie, mientras que Blanca y Huayhuash reportaron pérdidas menores a 50 %.



*Los resultados presentados, sólo consideran los datos de glaciares libre y cubierto de detritos.

Figura 24. Representación porcentual del retroceso glaciar en 58 años (1962 - 2020)

Durante el periodo 2016 - 2020, a nivel de cordillera, Chila ha sido la más afectada, puesto que ha perdido el 63 % de su escasa cobertura glaciar; quedando únicamente dos glaciares que en conjunto presentan una superficie de 0.07 km² (tabla 5). Otras cordilleras que tuvieron pérdidas considerables en este periodo son La Raya (22 %) y Huanzo (21 %), mientras que las cordilleras restantes reportaron pérdidas por debajo del 15 % de su cobertura (anexo 1).

Considerando la pérdida de superficie en kilómetros cuadrados, el Perú perdió un total de 1348.75 km² en 58 años, más de la mitad de esta pérdida se ha dado en las cordilleras Blanca (301.40 km²),

Vilcanota (251.76 km²) y Vilcabamba (167.39 km²), las tres cordilleras con mayor cobertura glaciar en nuestro país (figura 20). En general encontramos que las cordilleras con mayor cobertura glaciar son las que tienden a perder mayor superficie, como es el caso de las cordilleras Blanca y Vilcanota. Entre tanto, las cordilleras con menor cobertura glaciar pierden más en términos porcentuales; tal es el caso de Chila, Chonta, La Raya, Huanzo y La Viuda (figura 25). Esta tendencia constante a la pérdida conlleva a la desaparición de los glaciares libres y cubiertos por detritos en las cordilleras que tienen menor cobertura glaciar.

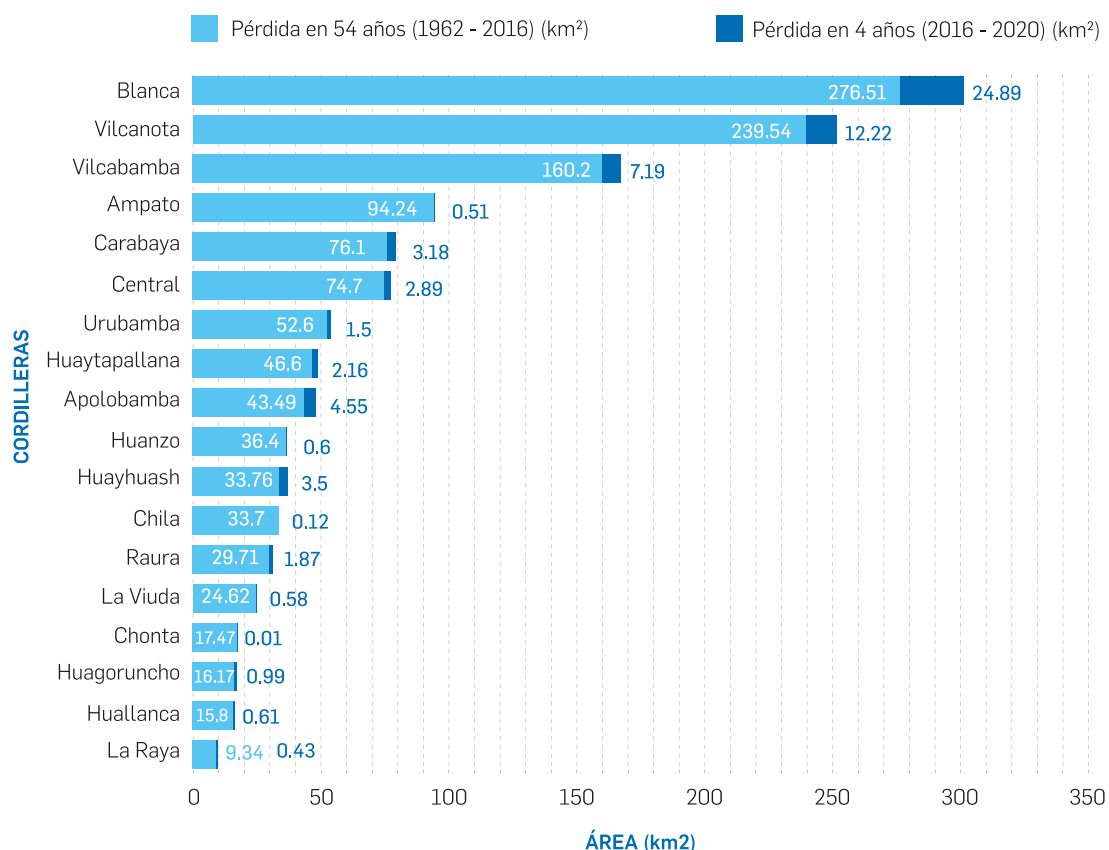


Figura 25. Pérdida del área glaciar por cordillera durante el periodo 1962 - 2020

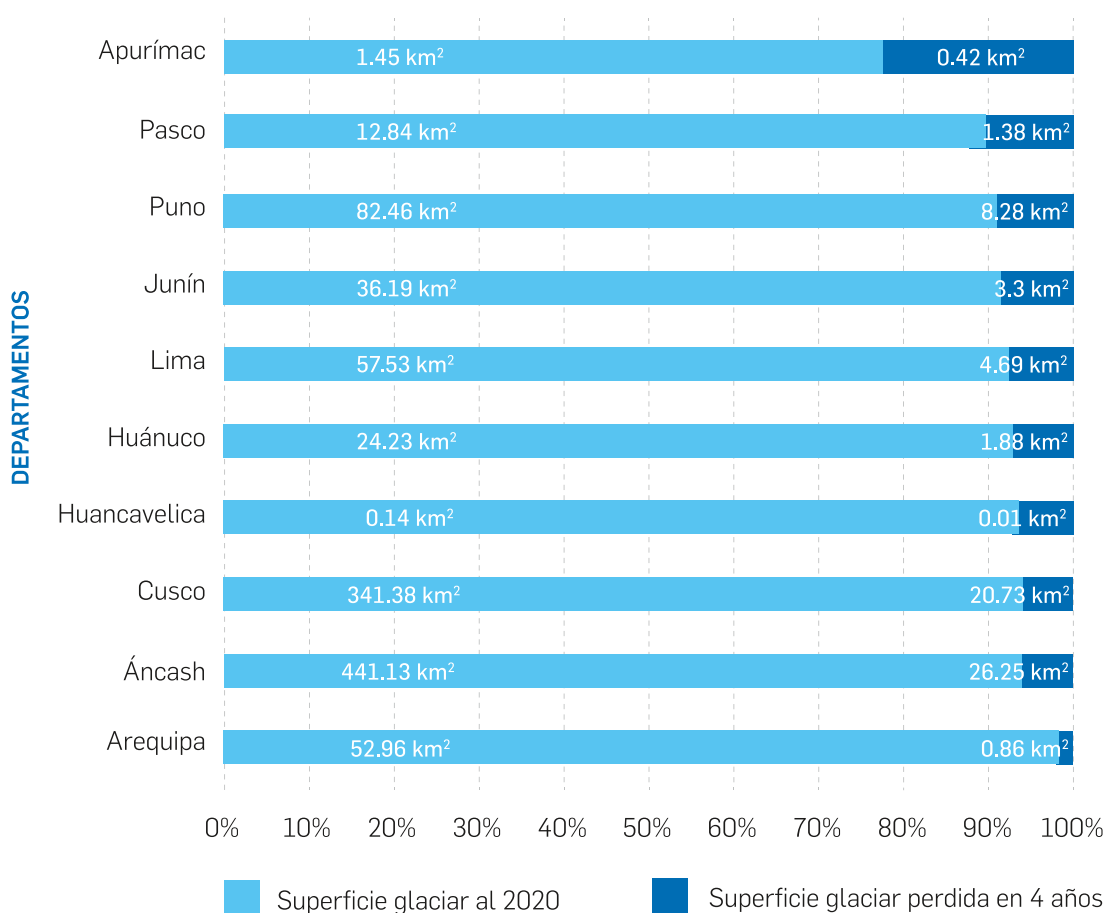
B) RETROCESO GLACIAR POR DEPARTAMENTO

Para el análisis del retroceso glaciar por departamento, se tomó como referencia los datos del inventario del año 2016 (INGLOG I). No se pudo hacer comparaciones con inventarios anteriores, debido a que los datos se encuentran a una escala de trabajo diferente. Por ello, a continuación se presentarán datos de la superficie glaciar en el 2020 y los datos de retroceso glaciar en cuatro años.

En el período mencionado, se ha registrado la desaparición de 175 glaciares a nivel nacional, 62 de los cuales corresponden a los glaciares del departamento de Cusco, que es el que más ha perdido en términos de cantidad.

Asimismo, Áncash registra 45 glaciares menos respecto a los registrados en el año 2016. Del mismo modo, los resultados evidencian que Áncash y Cusco son los departamentos que mayor extensión glaciar han perdido (26.25 km² y 20.73 km² respectivamente) (tabla 7 y figura 26). No obstante, son los departamentos que actualmente presentan la mayor reserva hídrica en estado sólido del país.

Respecto al porcentaje de superficie glaciar perdida en cuatro años, el departamento de Apurímac es el que ha registrado el mayor detrimento con 22 % menos. En comparación a la superficie reportada en 2016, este valor representa una superficie perdida de 0.42 km² (tabla 10 y figura 26).



*Los resultados presentados, sólo consideran los datos de glaciares libres y cubierto de detritos.

Figura 26. Reducción glaciar por departamento durante el periodo 2016 - 2020

Tabla 7. Resultados del retroceso glaciar por departamento al 2020

N°	DEPARTAMENTO	INAIGEM - INGLOG - I		INAIGEM - INGLOG - II		RETROCESO GLACIAR EN 4 AÑOS		
		N° de glaciares	Área glaciar (Km ²)	N° de glaciares	Área glaciar (Km ²)	N° de glaciares perdidos	Área perdida en 4 años (Km ²)	Reducción del área glaciar (%)
1	Áncash	594	467.38	549	441.13	45	26.25	5.62
2	Cusco	827	362.11	765	341.38	62	20.73	5.72
3	Puno	274	90.74	254	82.46	20	8.28	9.12
4	Lima	203	62.22	183	57.53	20	4.69	7.54
5	Arequipa	56	53.82	56	52.96	0	0.86	1.6
6	Junín	167	39.49	152	36.19	15	3.3	8.36
7	Huánuco	62	26.11	56	24.23	6	1.88	7.2
8	Pasco	60	14.22	54	12.84	6	1.38	9.7
9	Apurímac	13	1.87	12	1.45	1	0.42	22.46
10	Huancavelica	3	0.15	3	0.14	0	0.01	6.67
TOTAL		2259	1118.11	2084	1050.32	175	67.8	6.06

*Los resultados presentados, sólo consideran los datos de glaciares libre y cubierto de detritos.

5.1.3. LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

En el presente inventario se han registrado 8466 lagunas de origen glaciar, cuya superficie total corresponde a 1082 km². Estas lagunas están distribuidas en las 20 cordilleras glaciares y 14 departamentos del país (figura 28).

En el presente inventario se identificaron tres tipos de lagunas de origen glaciar: periglaciares (lagunas sin contacto glaciar), proglaciares (lagunas que se encuentran en contacto con los glaciares) y supraglaciares (lagunas que se encuentran o sobre los glaciares). Predominan las lagunas periglaciares con un total de 8363 seguido de las proglaciares, con un total de 99 lagunas; y cuatro lagunas supraglaciares a nivel nacional. Los dos últimos tipos se pueden considerar lagunas en proceso de formación (figura 27).

La mayor cantidad de lagunas periglaciares se encuentra en la cordillera de Carabaya (1339 lagunas). Las cordilleras Vilcanota y Blanca presentan el mayor número de lagunas proglaciares (26 y 23, respectivamente). Entre tanto, las lagunas supraglaciares se encuentran en Vilcabamba, Blanca y Vilcanota (tabla 8).

Se han identificado 14 departamentos que poseen lagunas de origen glaciar (figura 26). Entre ellas se encuentra Ica, que presenta una laguna periglacial.



Laguna Upisocha
Foto: Ricardo Vila

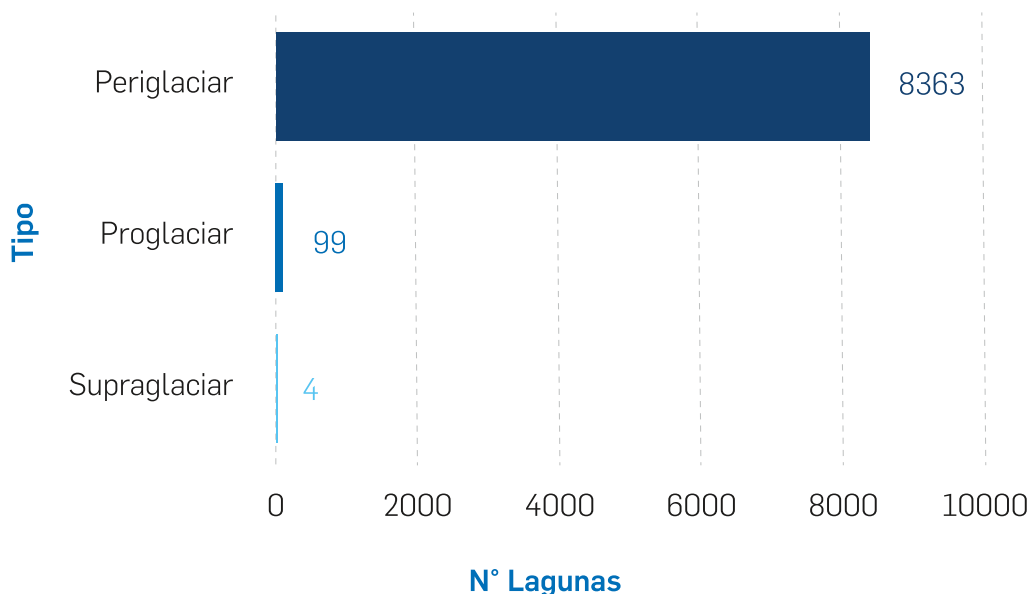


Figura 27. Tipos de lagunas de origen glaciar a nivel nacional

Tabla 8. Cantidad y superficie de lagunas de origen glaciar por cordillera

Nº	Cordillera	Periglaciar		Proglaciar		Supraglaciar	
		Nº de Lagunas	Superficie (km²)	Nº de Lagunas	Superficie (km²)	Nº de Lagunas	Superficie (km²)
1	Blanca	826	53.7	23	1.76	1	0.01
2	Huallanca	70	3.18	1	0.01	-	-
3	Huayhuash	97	6.21	4	0.21	-	-
4	Raura	179	23.75	4	0.06	-	-
5	Huagoruncho	615	41.99	1	0.04	-	-
6	La Viuda	744	149.48	1	0.04	-	-
7	Central	785	81.28	12	0.52	-	-
8	Huaytapallana	950	51.17	3	0.04	-	-
9	Chonta	626	110.86	-	-	-	-
10	Ampato	105	77.58	-	-	-	-
11	Vilcabamba	152	4.41	6	0.25	2	0.02
12	Urubamba	308	18.06	1	0.09	-	-
13	Huanzo	510	62.5	2	0.02	-	-
14	Chila	56	7.35	1	0.01	-	-
15	La Raya	165	76.05	-	-	-	-
16	Vilcanota	551	62.48	26	1.99	1	0.01
17	Carabaya	1339	102.26	8	0.36	-	-
18	Apolobamba	201	35.87	6	0.28	-	-
19	Barroso	61	106.02	-	-	-	-
20	Volcánica	23	1.38	-	-	-	-
Total		8363	1076	99	6	4	0

*Los resultados presentados sólo consideran las lagunas que superan los 5000 m².

Asimismo, se ha identificado 13 lagunas periglaciares que se encuentran compartidas entre dos departamentos¹², es decir el límite político atraviesa la laguna. Estas lagunas cubren un área de 2.61 km², que representa el 0.25 % de la superficie total de las lagunas de origen glaciar a nivel nacional (tabla 9).

De los datos a nivel nacional, las cordilleras del centro son las que presentan la mayor cantidad de lagunas de origen glaciar (3737). Sin embargo, la mayor superficie se encuentra en el sur (556.99 km²) (Figura 28).

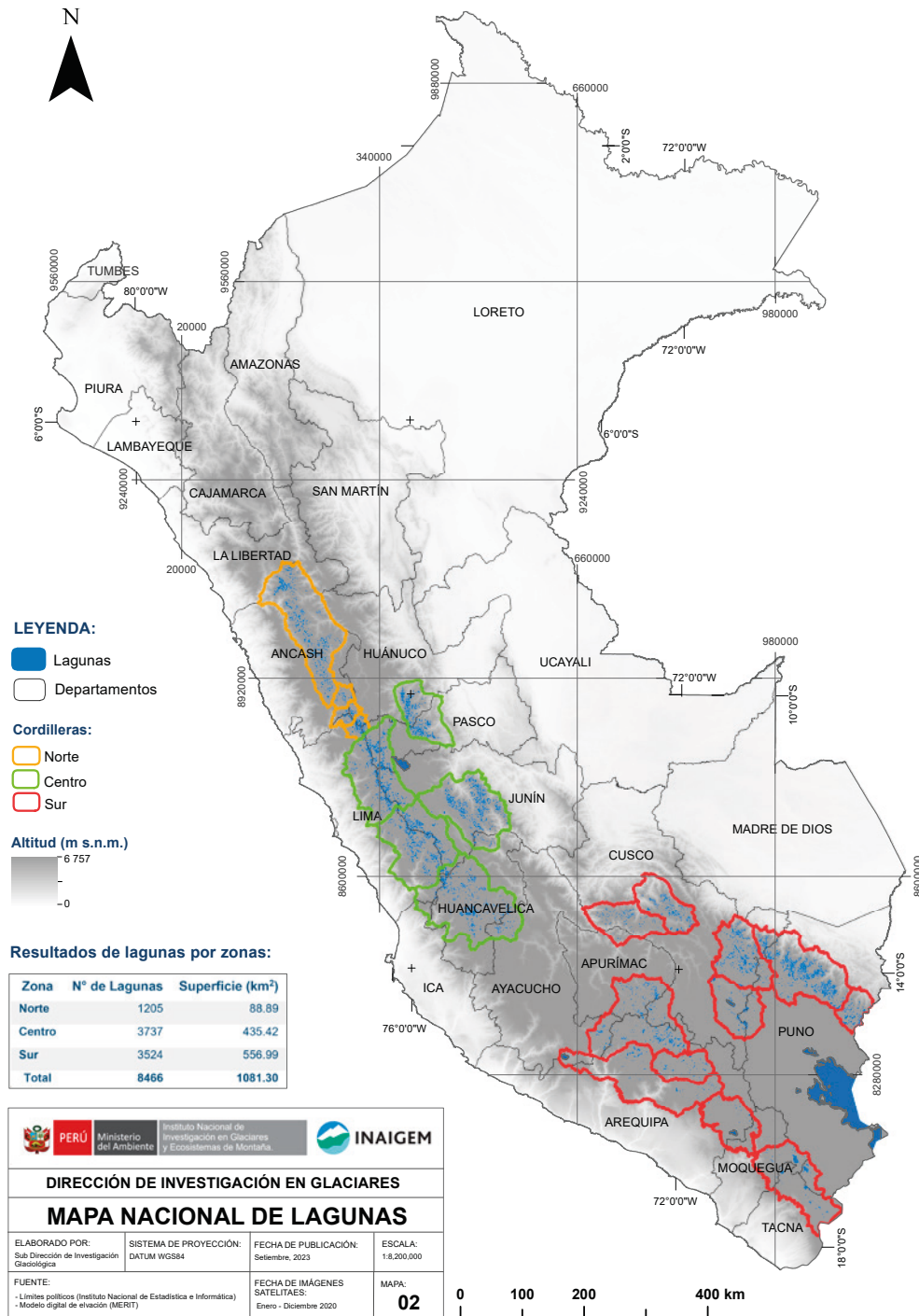


Figura 28. Distribución de lagunas de origen glaciar en el Perú

¹² Es importante mencionar que para los inventarios se tuvo en cuenta el carácter referencial de la delimitación política de los departamentos, las provincias y los distritos de acuerdo a la quinta disposición transitoria de la Ley N° 27795, Ley de demarcación y organización territorial (2002).

Las lagunas periglaciares predominan en todos los departamentos. Sin embargo, Puno, Junín y Cusco concentran la mayor cantidad con 1518, 1428 y 1253 lagunas, respectivamente. Entre tanto, la mayoría

de las lagunas proglaciares se encuentran en los departamentos de Cusco (32), Áncash (25), Puno (14) y Lima (14); y las lagunas supraglaciares se encuentran en Cusco y Áncash (tabla 9).

Tabla 9. Cantidad y superficie de lagunas de origen glaciar por departamento

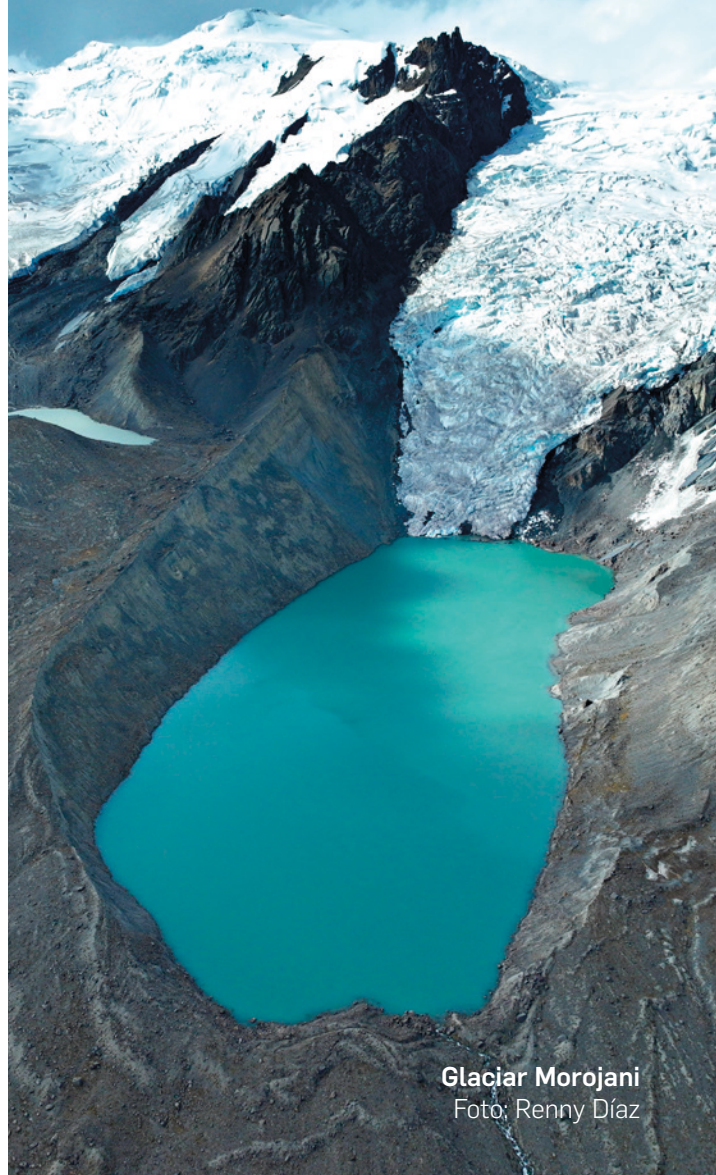
Nº	Departamento	Periglaciar		Proglaciar		Supraglaciar	
		N.º de Lagunas	Superficie (km ²)	N.º de Lagunas	Superficie (km ²)	N.º de Lagunas	Superficie (km ²)
1	Áncash	911	58.07	25	1.8	1	0.01
2	Apurímac	206	8.96	1	0.01	-	-
3	Arequipa	372	66.62	3	0.03	-	-
4	Ayacucho	127	72.94	-	-	-	-
5	Cusco	1253	164.66	32	2.26	3	0.03
6	Huancavelica	547	95.48	-	-	-	-
7	Huánuco	447	41.82	1	0.01	-	-
8	Junín	1428	143.09	7	0.17	-	-
9	Lima	939	82.38	14	0.64	-	-
10	Moquegua	32	49.94	-	-	-	-
11	Pasco	543	96.82	1	0.04	-	-
12	Puno	1518	165.6	14	0.7	-	-
13	Tacna	26	26.53	-	-	-	-
14	Ica	1	0.04	-	-	-	-
15	Áncash / Huánuco	1	0.11	-	-	-	-
16	Apurímac / Cusco	1	0.19	-	-	-	-
17	Huancavelica / Junín	2	0.14	-	-	-	-
18	Huánuco / lima	-	-	1	0.04	-	-
19	Junín / Lima	8	1.68	-	-	-	-
20	Puno / Tacna	1	0.49	-	-	-	-
Total		8363	1 076	99	6	4	0

* Las lagunas que se muestran con el símbolo "/", son las que están en el límite de dos departamentos.

5.1.4. VARIACIÓN DE LA CANTIDAD DE LAGUNAS

Para el análisis de la variación de la cantidad de lagunas se ha tomado como base el inventario del año 2016 elaborado por el INAIGEM. Si bien la ANA desarrolló el primer inventario de lagunas de origen glaciar del Perú, no se puede hacer una comparación con el presente inventario, debido a las diferencias de escalas y ámbitos de estudio.

En el inventario del año 2016, se registró 8577 lagunas de origen glaciar, mientras que en el actual se registró 8466, encontrando una diferencia de 111 lagunas menos, debido a la implementación del análisis de persistencia de lagunas del periodo 2000 a 2020. Luego de identificar 8302 lagunas permanentes y 275 temporales¹³ (estos cuerpos de agua identificados como "temporales", se excluyen del inventario por no representar una fuente de agua permanente), adicionalmente se registraron otras 164 lagunas consideradas nuevas inventariadas en este inventario (figura 29).



Glaciar Morojani
Foto: Renny Díaz

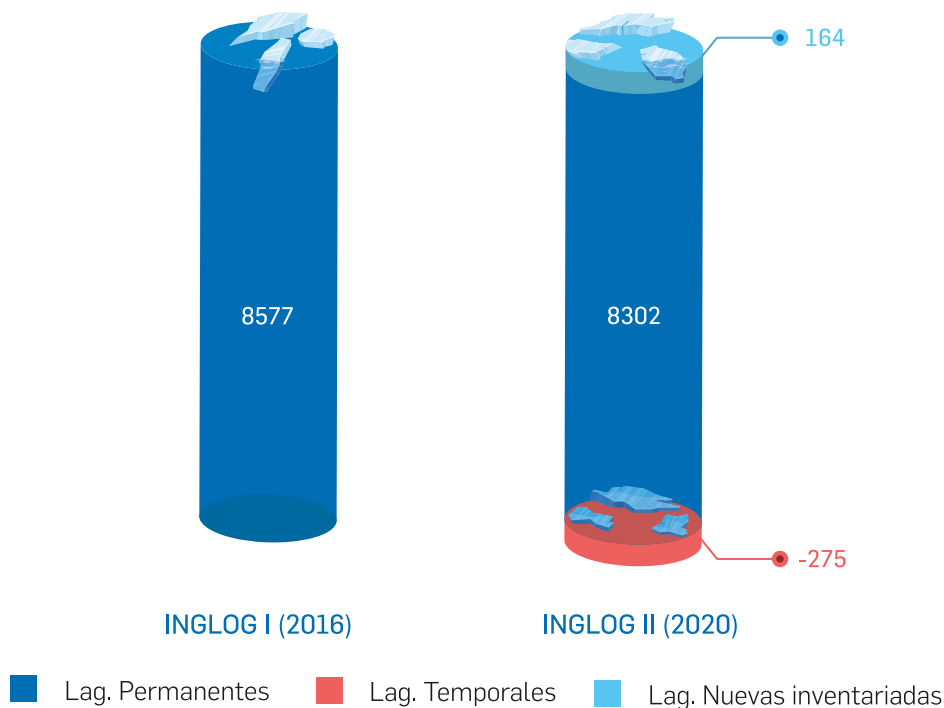


Figura 29. Variación de cantidad de lagunas de origen glaciar a nivel nacional

¹³ Son consideradas lagunas temporales, aquellas lagunas que cambian su área drásticamente por debajo del 5000 m² y/o se secan en un periodo o época del año a causa de la variación estacional, eventos climáticos y/o uso antrópico.

A) LAGUNAS NUEVAS POR CORDILLERA

En el presente inventario se identificaron 164 lagunas nuevas, predominando las periglaciares, seguidas de las proglaciares y sólo una laguna supraglaciaria (figura 30). Respecto a las 131 lagunas periglaciares nuevas, es importante mencionar que la gran mayoría de estas ya existían anteriormente; sin embargo, no se habían inventariado debido a las limitaciones con las imágenes satelitales o por su reducido tamaño. Asimismo, las lagunas

proglaciares y supraglaciares, al estar en proceso de formación, han incrementado su superficie, llegando a superar la mínima requerida para ser consideradas en el inventario. Estas podrían seguir incrementando su superficie por influencia del retroceso glaciar.

Con excepción de Chila y La Raya, en las demás cordilleras se presentan "lagunas nuevas", siendo la cordillera Blanca la que registra la mayor cantidad, seguida de Vilcanota y Carabaya (figura 31).

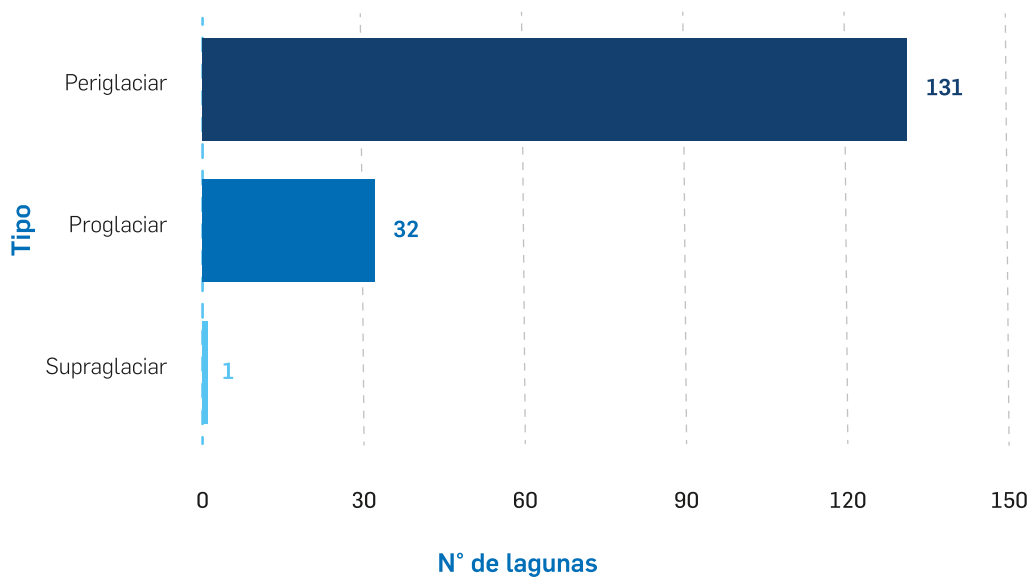


Figura 30. Tipo de lagunas nuevas a nivel nacional al año 2020



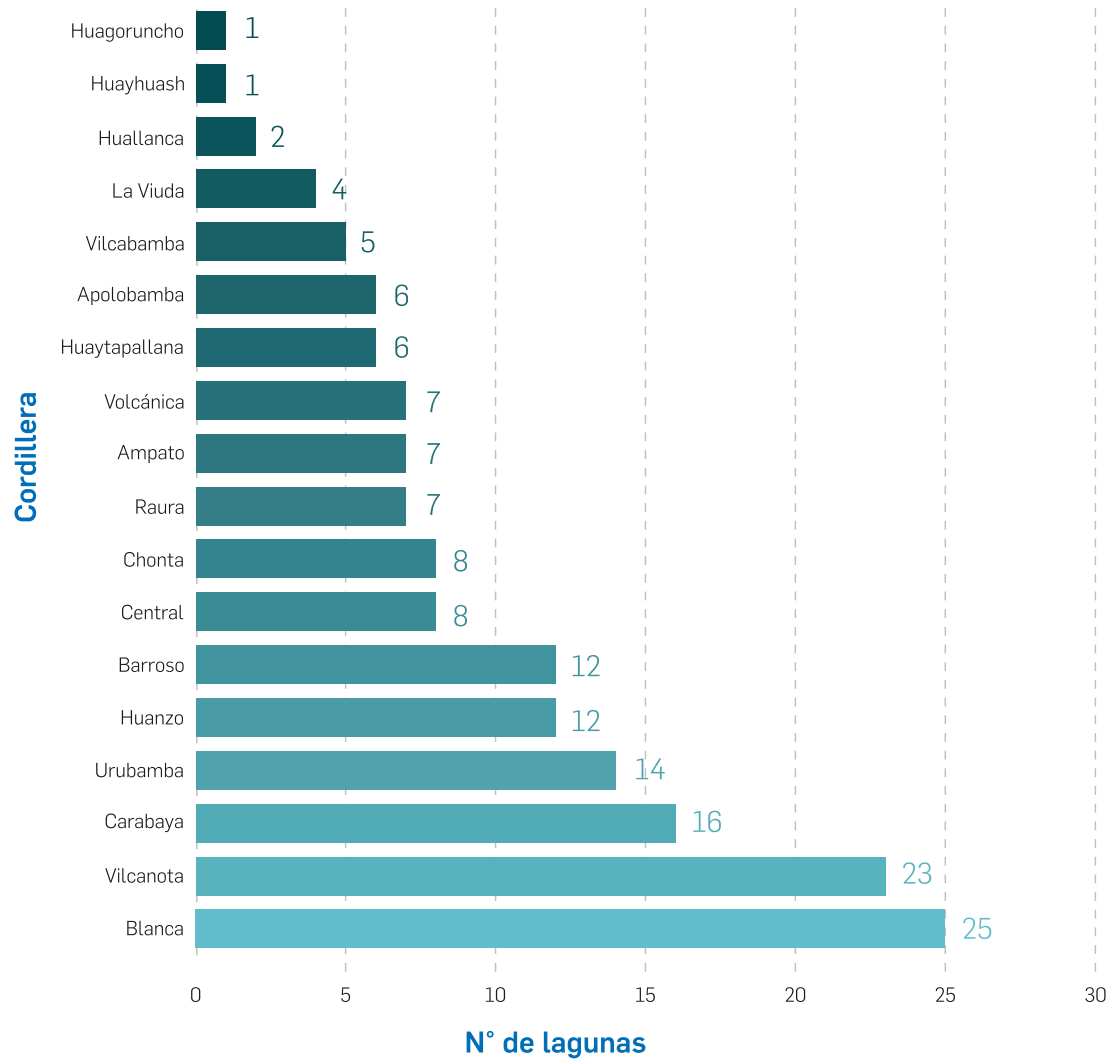


Figura 31. Número de lagunas nuevas por cordillera



Lag. Duraznillo y Glac. Chuspi
Foto: Alexzander Santiago



Lag. Carhuacocha y Glac. Yerupaja
Foto: Alexander Santiago

B) LAGUNAS NUEVAS POR DEPARTAMENTO

Los departamentos con mayor cantidad de lagunas nuevas son Cusco con 45; Áncash,

con 27 y Puno y Arequipa con 21 lagunas cada uno (figura 32). En Pasco, Huánuco y Apurímac, se identificó la menor cantidad de lagunas nuevas.

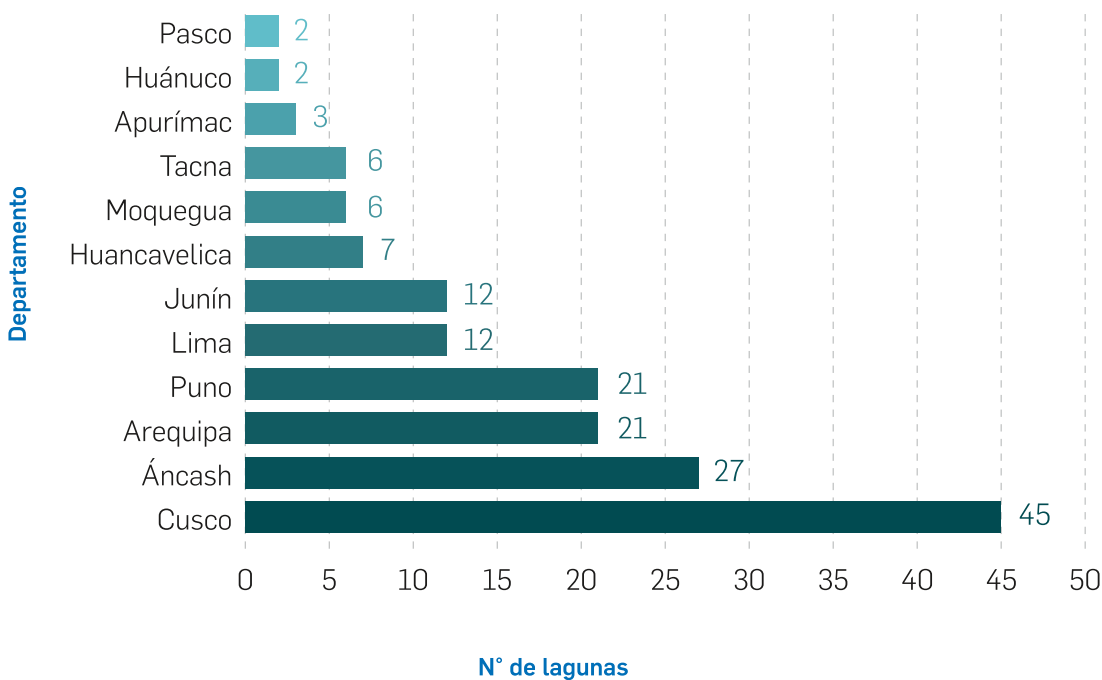


Figura 32. Número de lagunas nuevas por departamento



CAPÍTULO 5.2

RESULTADOS POR DEPARTAMENTO

5.2.1. DEPARTAMENTO DE ÁNCASH

El departamento de Áncash se localiza al norte del Perú. Su territorio comprende un sector de la llanura costera y zonas de montaña, donde se puede encontrar, además de otros ecosistemas importantes, a los glaciares y lagunas de origen glaciar distribuidas en las cordilleras Blanca, Huallanca y parte de Huayhuash. Políticamente, está conformado por 20

provincias que concentran una población de 1 083 519 habitantes (INEI, 2018). Sin embargo, las provincias de Antonio Raymondi, Asunción, Bolognesi, Carhuaz, Carlos Fermín Fitzcarrald, Corongo, Huaraz, Huari, Huaylas, Mariscal Luzuriaga, Pallasca, Pomabamba, Recuay, Sihuas y Yungay presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 33).

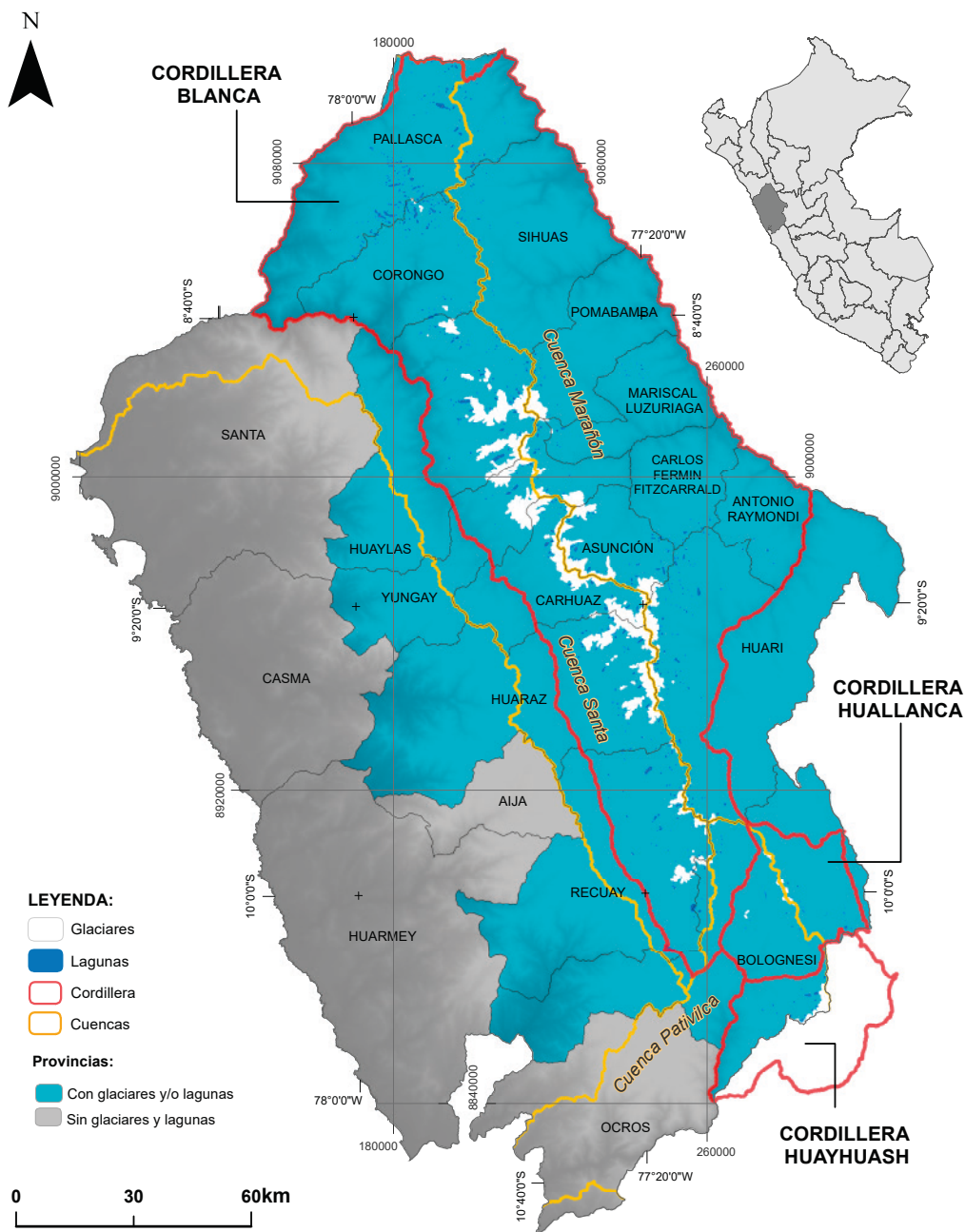


Figura 33. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Áncash

A) GLACIARES

En el departamento de Áncash se han identificado dos tipos de superficie glaciar: libre de detritos y cubierto de detritos, siendo predominantes los primeros, con una superficie de 417.61 km².

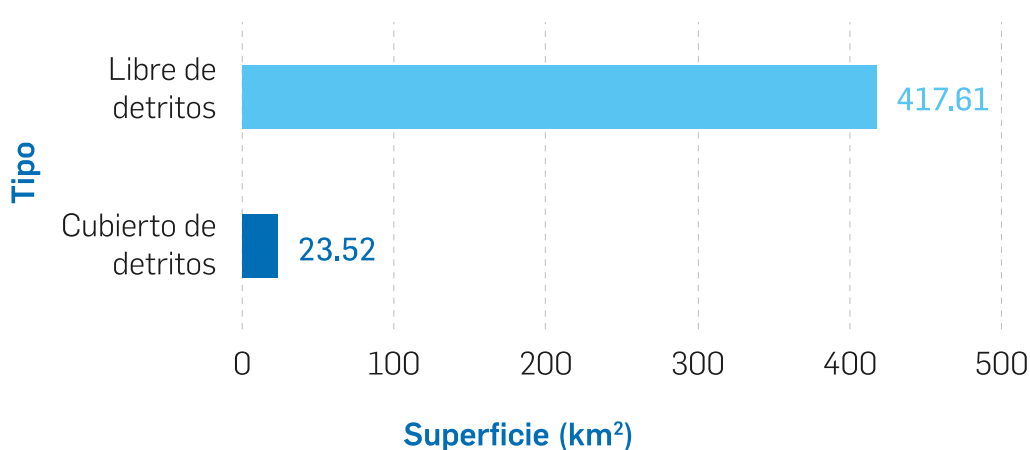


Figura 34. Tipo de superficie glaciar del departamento de Áncash

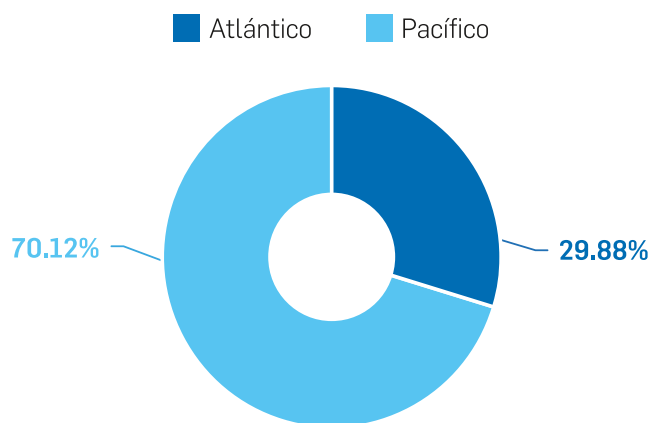
De acuerdo a los resultados del presente inventario, en el departamento de Áncash existen 549 glaciares libres y cubiertos por detritos, con una superficie de 441.13 km² (tabla 10). La pérdida de superficie glaciar en los últimos cuatro años fue de 26.25 km² (anexo 1).

Tabla 10. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Áncash

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Blanca	511	424.86
Huallanca	28	4.64
Huayhuash	10	11.63
Total	549	441.13

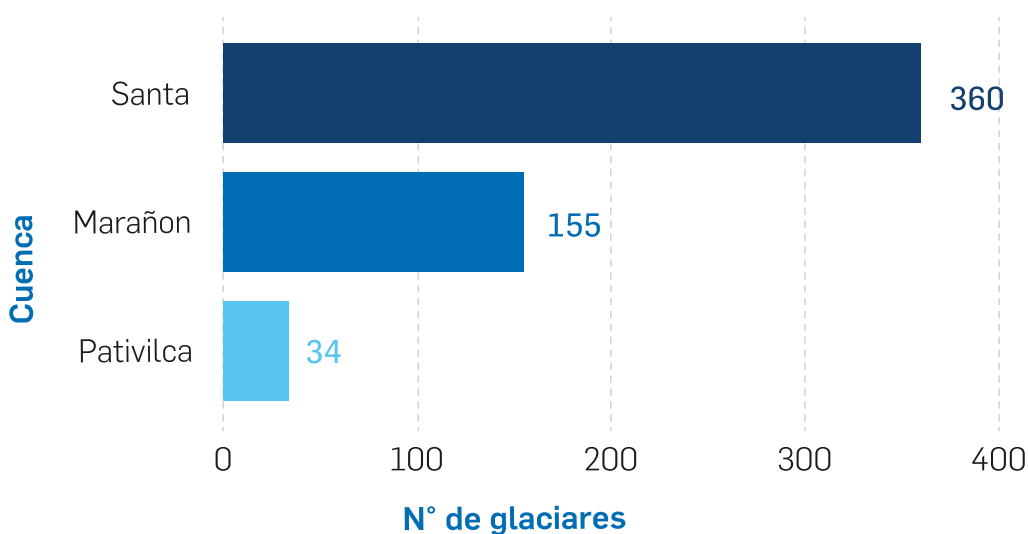
*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubiertos de detritos

En Áncash la mayoría de los glaciares libres y cubiertos de detritos tributa a la vertiente hidrográfica del Pacífico (cuencas del Santa y Pativilca), mientras que el 30 % restante vierte al Atlántico (cuenca del Marañón) (figura 35). De las cuencas mencionadas, el Santa presenta una mayor concentración de glaciares (360) (figura 36).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 35. Superficie glaciar según vertiente del departamento de Áncash

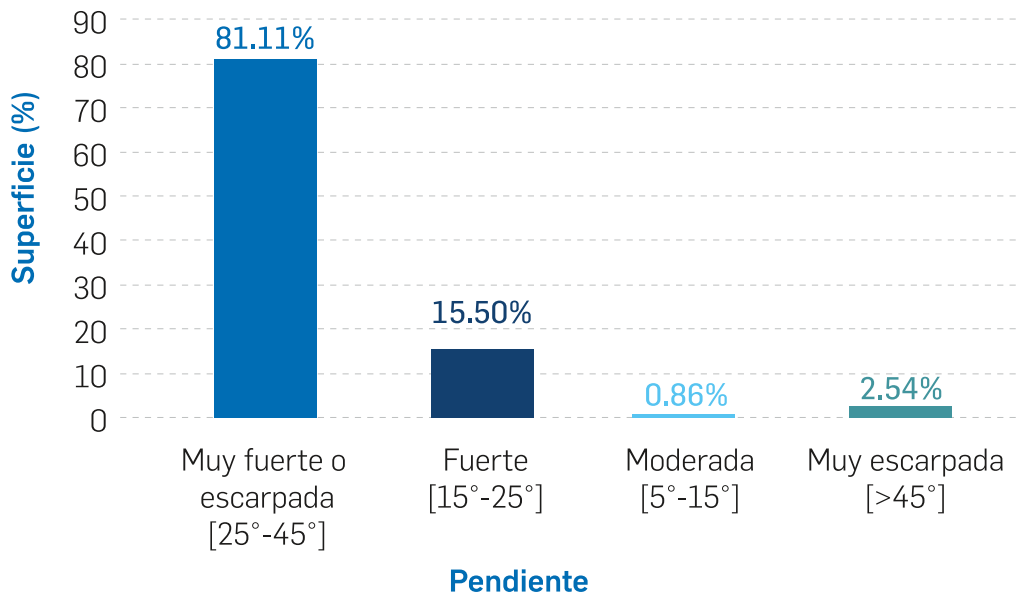


*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 36. Distribución de glaciares según cuenca del departamento de Áncash

La mayoría de los glaciares libres y cubiertos por detritos en el departamento de Áncash poseen pendientes¹⁴ superiores a los 25°, encontrándose en la clasificación "muy fuerte o escarpada" y "muy escarpada".

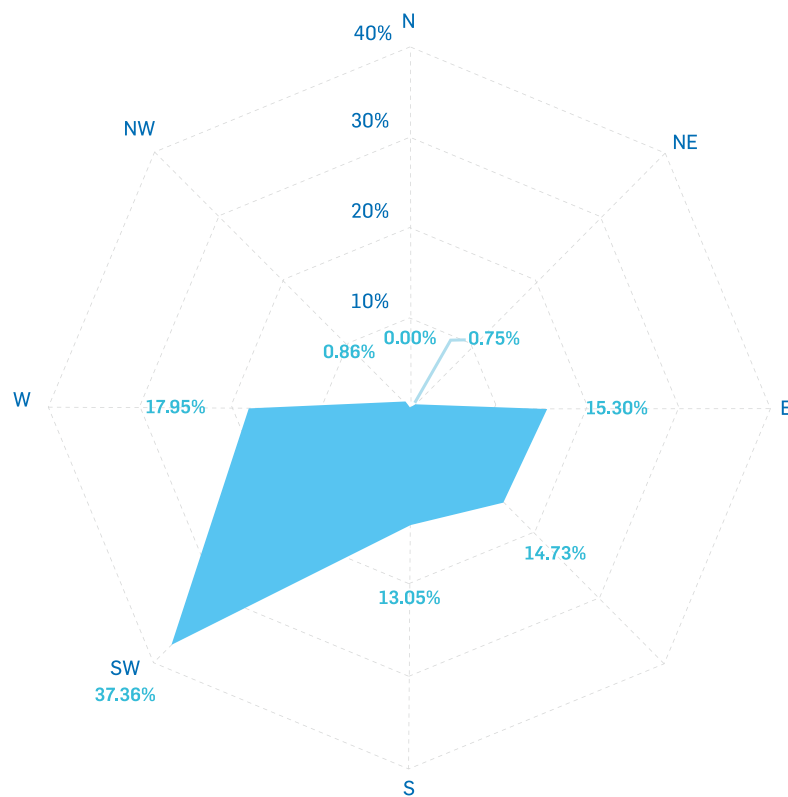
¹⁴ Parámetro que permite determinar cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares, cuando se ubican en pendientes que superan los 25° (46.6 %) de inclinación pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

Figura 37. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Ancash

En cuanto a la orientación¹⁵ de los glaciares libres y cubiertos por detritos, en el departamento de Ancash, estos se encuentran orientados predominantemente hacia el suroeste (37 %), este (15 %) y sureste (15 %) (figura 38), siendo estas orientaciones las que reciben menos horas de radiación solar en el hemisferio sur.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 38. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Ancash

¹⁵ Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que reciben mayor radiación solar en el hemisferio sur.

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Áncash posee 937 lagunas de origen glaciar que cubren un área de 59.88 km² (equivalente al 6 % del total nacional) (tabla 11).

Tabla 11. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Áncash

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Blanca	850	55.47
Huallanca	70	3.08
Huayhuash	17	1.32
Total	937	59.88

Del total de lagunas del departamento de Áncash, 911 son lagunas periglaciares, 25 proglaciares que cubre una superficie de 1.8 km², y una es supraglaciar (que se ha formado sobre el glaciar cubierto Schneider del sistema glaciar Huascarán - Chopicalqui), que cubre una superficie de 0.01 km². Los dos últimos tipos de lagunas presentan un potencial para seguir creciendo y podrían representar peligro (figura 39).

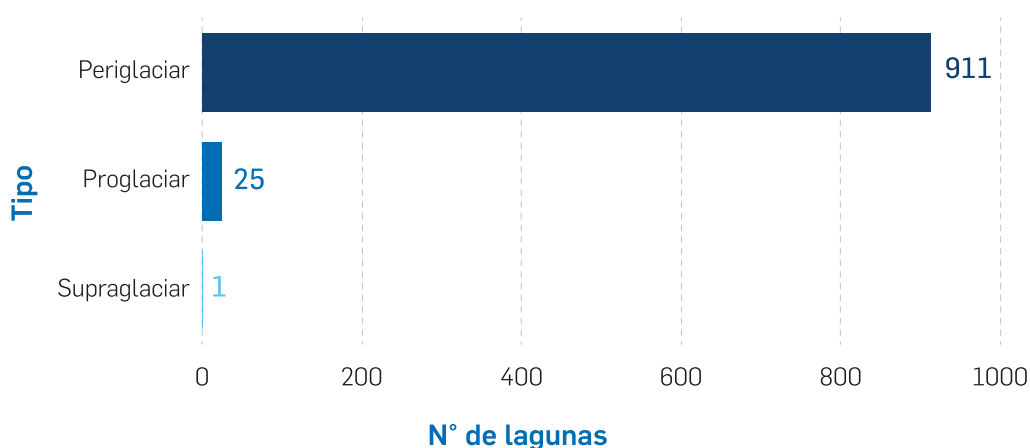


Figura 39. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Áncash

ANCASH POSEE EL 42 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

La mayoría de las lagunas del departamento de Áncash aportan a la vertiente hidrográfica del Pacífico (cuena del Santa y Pativilca) y el 25 % al Atlántico (cuena del Marañón). Asimismo, cabe señalar que la cuena del Santa es la que posee la mayor cantidad de lagunas de origen glaciar con 549 (figuras 40 y 41).

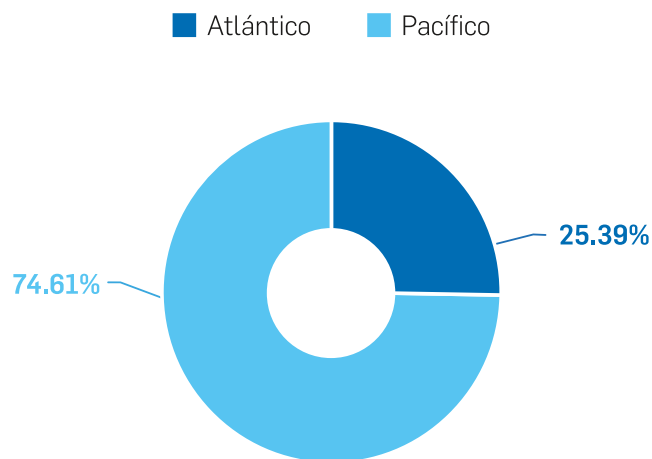


Figura 40. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Áncash

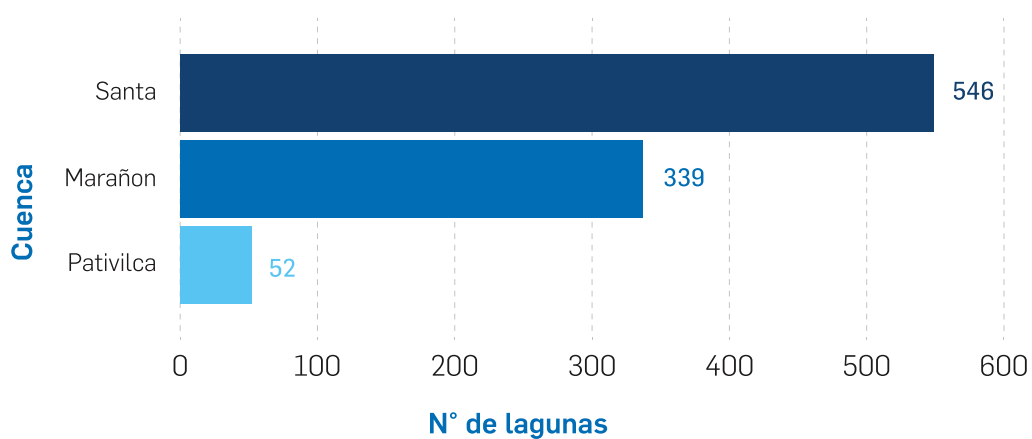


Figura 41. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuena del departamento de Áncash

Finalmente, podemos mencionar que la mayor cantidad de lagunas del departamento de Áncash se concentran entre las altitudes de 4000 y 4500 m s.n.m. Asimismo, se han identificado lagunas proglaciares y supraglaciares en altitudes superiores a los 4000 m s.n.m.

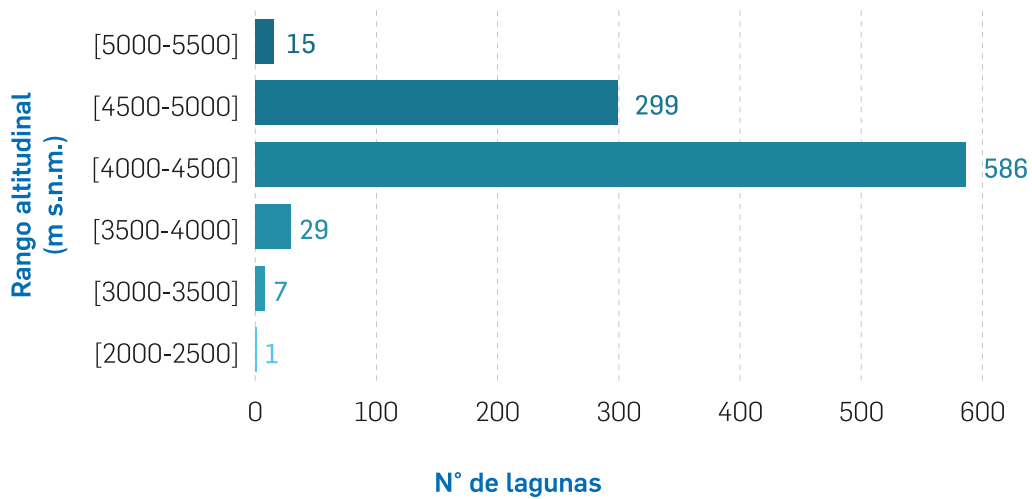


Figura 42. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal del departamento de Áncash



Nev. Huascarán desde el Nev Hualcán
Foto: Wilmer Sanchez

5.2.2. DEPARTAMENTO DE APURÍMAC

El departamento de Apurímac se encuentra en el sur del Perú. En su territorio se puede encontrar, además de otros ecosistemas importantes, a los glaciares y lagunas de origen glaciar distribuidas entre las cordilleras Huanzo y Vilcabamba. Políticamente, Apurímac está confor-

mado por siete provincias que concentran una población de 405 759 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de Abancay, Antabamba, Cotabambas y Grau presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 43).

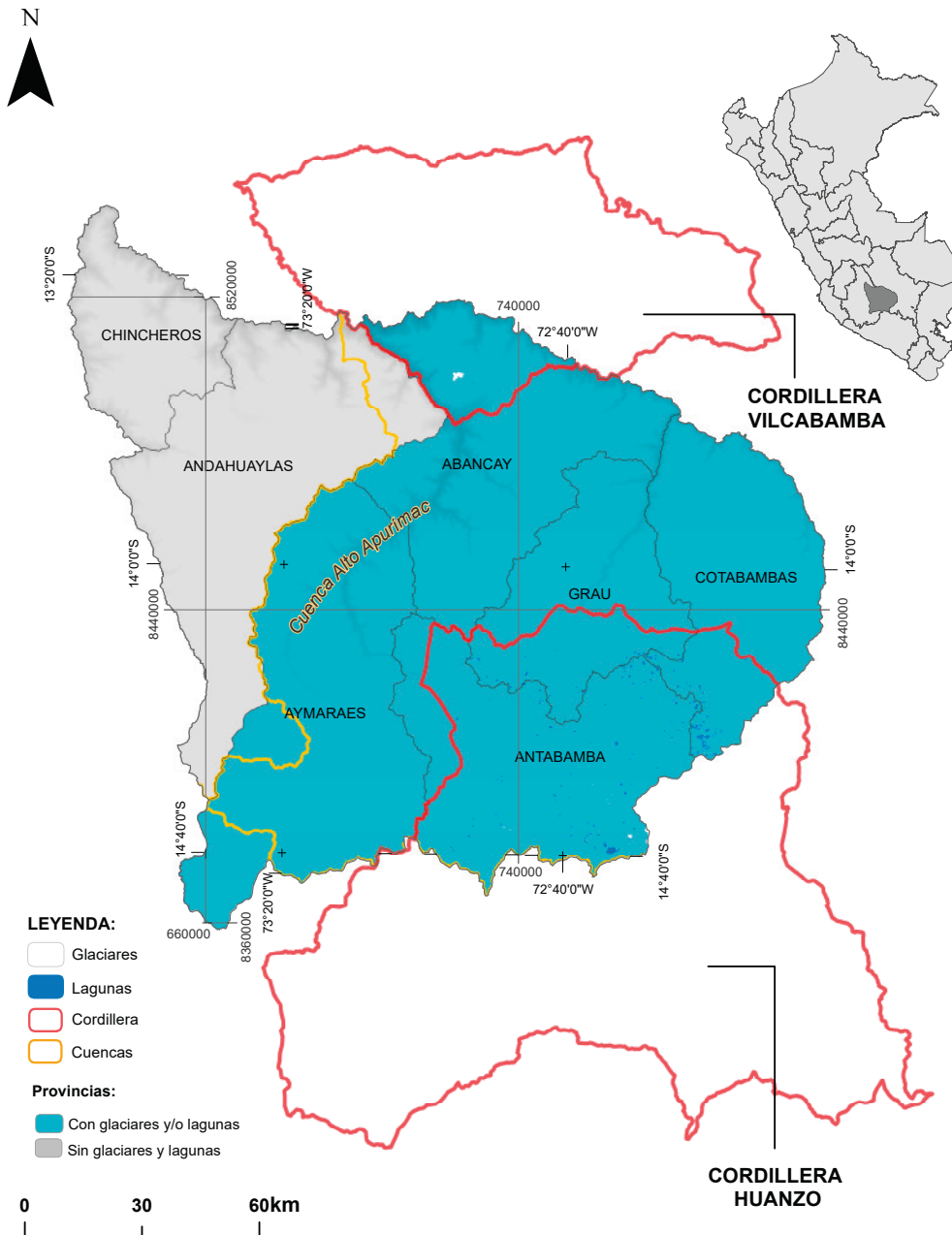


Figura 43. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Apurímac

A) GLACIARES

En el departamento de Apurímac se identificaron tres tipos de superficie glaciar: libre de detritos, cubierto de detritos y rocosos. Predominan los primeros con una superficie de 1.37 km² (figura 44).

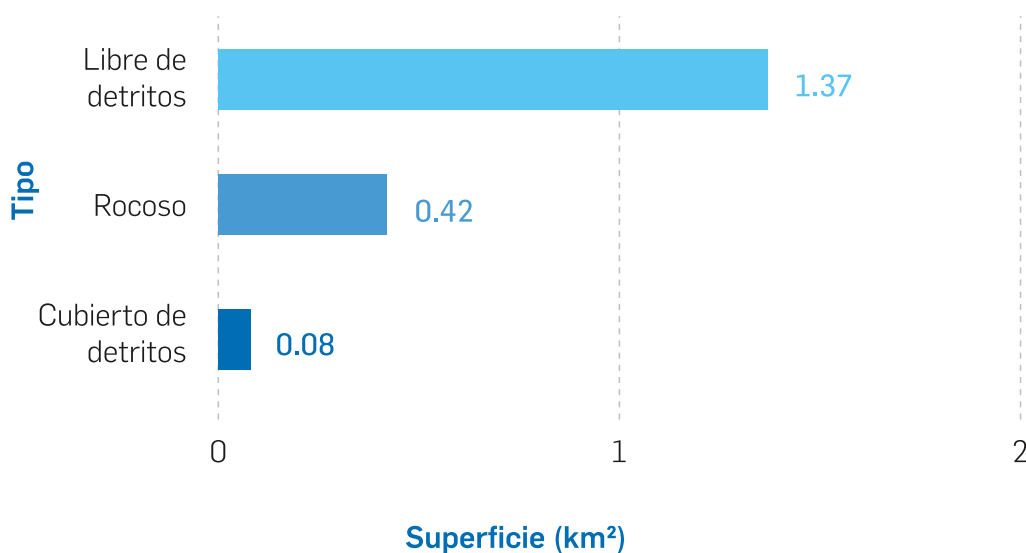


Figura 44. Tipo de superficie glaciar del departamento de Apurímac

De acuerdo a los resultados del presente inventario, en el departamento de Apurímac se registró 12 glaciares libres y cubiertos por detritos, con una superficie de 1.45 km² (tabla 12). La pérdida de superficie glaciar en los últimos cuatro años fue de 0.42 km² (anexo 1).

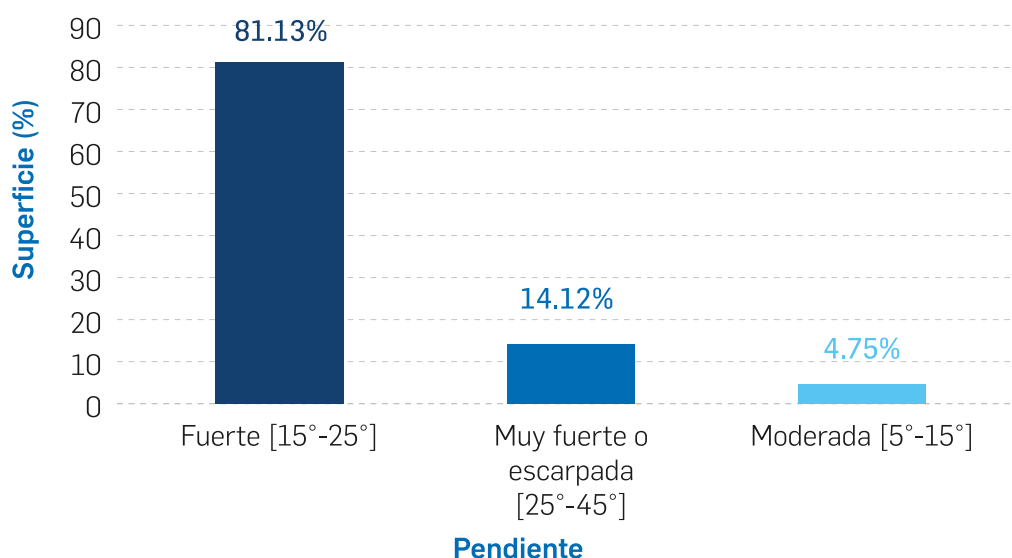
Tabla 12. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordilleras del departamento de Apurímac

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Huanzo	5	0.68
Vilcabamba	7	0.78
Total	12	1.45

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Todos los glaciares libres y cubiertos por detritos del departamento de Apurímac tributan a la vertiente hidrográfica del Atlántico, y se encuentran distribuidos en la cuenca del Alto Apurímac.

En el departamento de Apurímac, el 14 % de los glaciares se ubican por encima de los 25° de pendiente¹⁶, encontrándose en la clasificación "muy fuerte o escarpada" (figura 45).



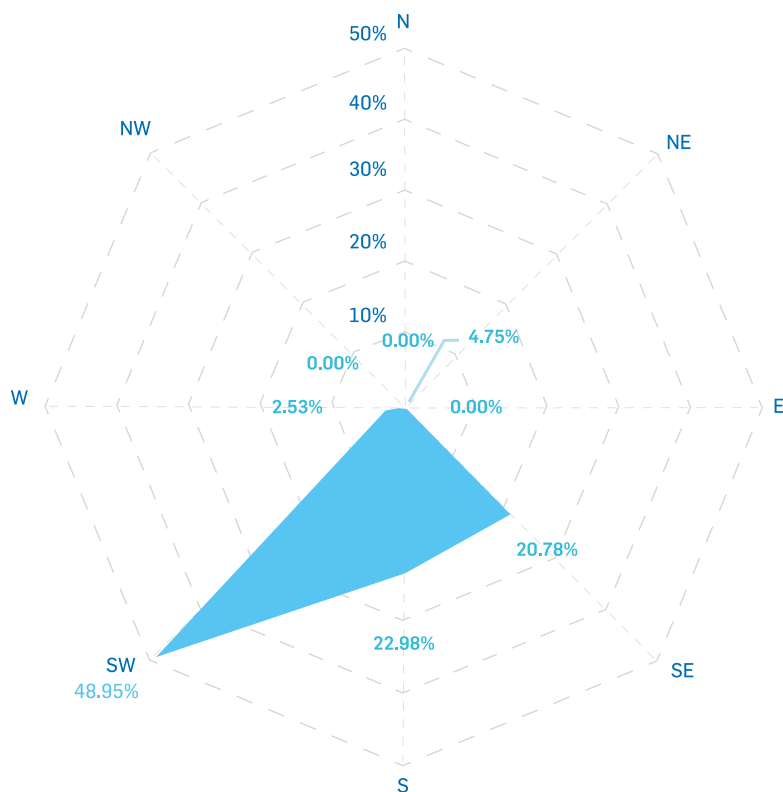
*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

Figura 45. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Apurímac

APURÍMAC SOLO POSEE EL 0.14 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

¹⁶ Parámetro que permite determinar cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares, cuando se ubican en pendientes que superan los 25° (46.6 %) de inclinación pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas.

En cuanto a la orientación¹⁷, los glaciares libres y cubiertos por detritos en el departamento de Apurímac se encuentran orientados predominantemente hacia el suroeste con el 49 %, y al sur con el 23 % (figura 46), siendo estas orientaciones las que reciben menos radiación solar en el hemisferio sur.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 46. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Apurímac

Con respecto a los glaciares rocosos, en el departamento de Apurímac se han identificado 22 glaciares (tabla 13) que se encuentran distribuidos en la cordillera Huanzo, dentro de la cuenca del Alto Apurímac.

Tabla 13. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Apurímac

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Huanzo	22	0.42
Total	22	0.42

¹⁷ Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que reciben mayor radiación solar en el hemisferio sur.



Laguna Uspacocha
Foto: Oscar Vilca

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Apurímac posee 207 lagunas de origen glaciar, que cubren un área de 8.97 km² (que equivalen al 1 % del total nacional) (tabla 14).

Tabla 14. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Apurímac

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Huanzo	201	8.86
Vilcabamba	6	0.11
Total	207	8.97

Del total de lagunas del departamento de Apurímac, 206 son periglaciares y una es proglaciar. Esta última se encuentra en contacto con el glaciar Ampay, en la cordillera Vilcabamba, y cuenta con una superficie de 0.01 km². En general, las lagunas proglaciares son lagunas que van a seguir creciendo y podrían representar un potencial peligro (figura 47).

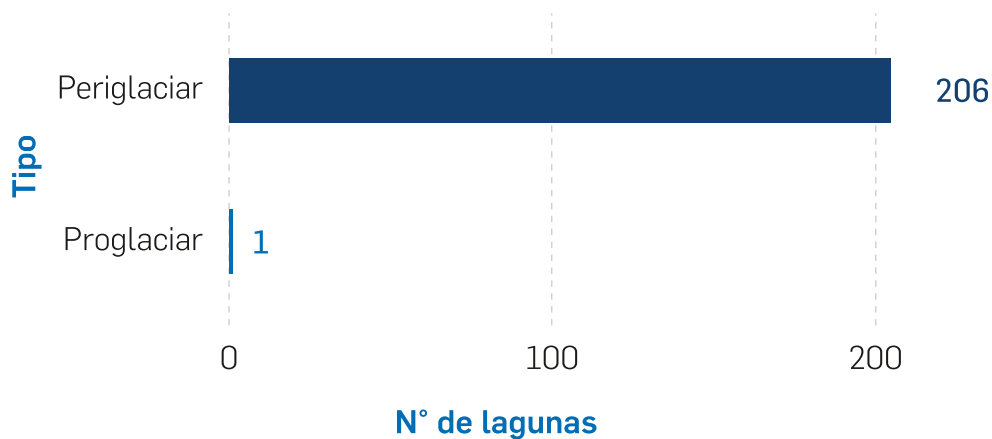


Figura 47. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Apurímac

Las lagunas de origen glaciar del departamento de Apurímac tributan a la vertiente hidrográfica del Atlántico, y se encuentran distribuidas en la cuenca del Alto Apurímac.

Finalmente, se observa que la mayor cantidad de lagunas de origen glaciar en el departamento de Apurímac se concentran entre las altitudes de 4500 a 5000 m s.n.m. Asimismo, se puede mencionar que la única laguna proglaciar de este departamento se encuentra sobre los 4500 m s.n.m. (figura 48).

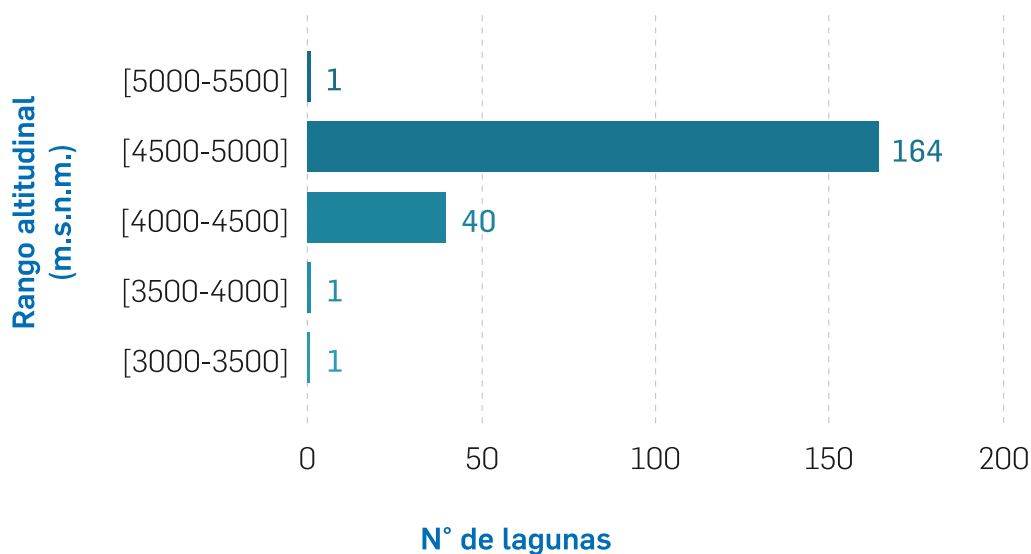


Figura 48. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal del departamento de Apurímac



Vista desde el glaciar Atashira
Foto: Oscar Vilca

5.2.3. DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

El departamento de Arequipa se localiza en el sur del Perú. Su territorio comprende un sector de la árida llanura costera y zonas de montaña. Sus glaciares y lagunas de origen glaciar se encuentran distribuidas en la cordillera Chila y parte de Huanzo, Ampato y Volcánica. Po-

líticamente, Arequipa está conformada por ocho provincias que concentran una población de 1 382 730 habitantes (INEI, 2018). De estas, las provincias de Arequipa, Caraveli, Castilla, Caylloma, Condesuyos y La Unión presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 49).

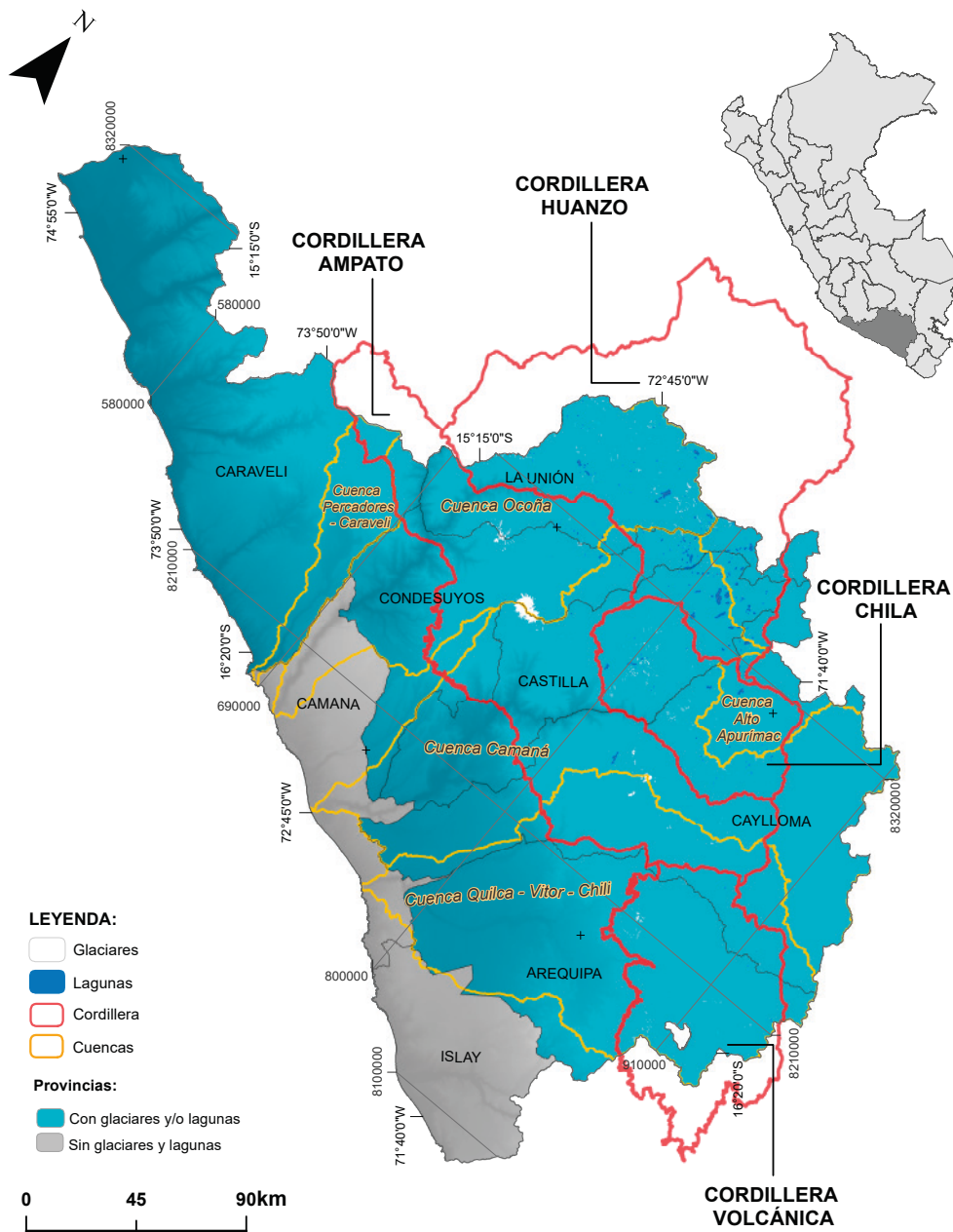


Figura 49. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Arequipa

A) GLACIARES

En el departamento de Arequipa se han identificado tres tipos de superficie glaciar: libre de detritos, cubierto de detritos y rocosos, siendo estos últimos los predominantes, seguidos de los glaciares libres de detritos (figura 50).

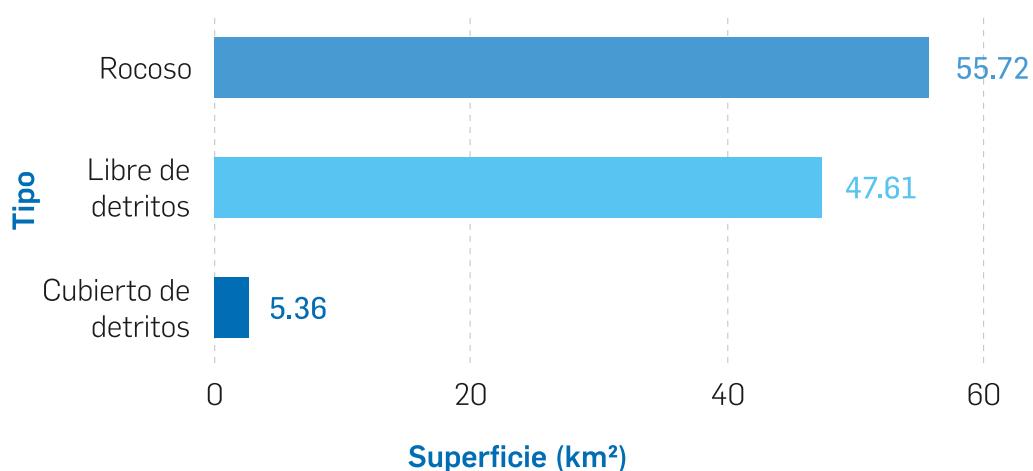


Figura 50. Tipo de superficie glaciar del departamento de Arequipa

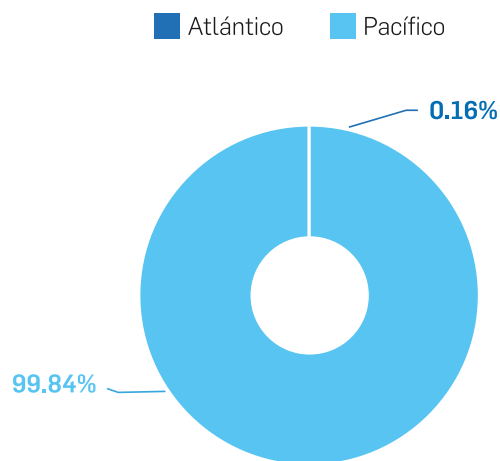
Según los resultados del presente inventario, en el departamento de Arequipa existen 56 glaciares libres y cubiertos de detritos, que ocupan una superficie de 52.96 km² (tabla 15). En cuatro años, su pérdida estimada de superficie glaciar fue de 0.86 km² (anexo 1).

Tabla 15. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Arequipa

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Ampato	48	51.98
Chila	2	0.07
Huanzo	6	0.91
Total	56	52.96

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

La mayoría de los glaciares libres y cubiertos por detritos del departamento de Arequipa aportan a las vertientes hidrográficas del Pacífico (Camaná, Quilca - Vitor - Chili y Ocoña) y tan sólo el 0.16 % al Atlántico (cuenca Alto Apurímac) (figura 51). La cuenca de Ocoña es la que presenta mayor concentración de glaciares (figura 52).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

Figura 51. Superficie glaciar según vertiente en el departamento de Arequipa

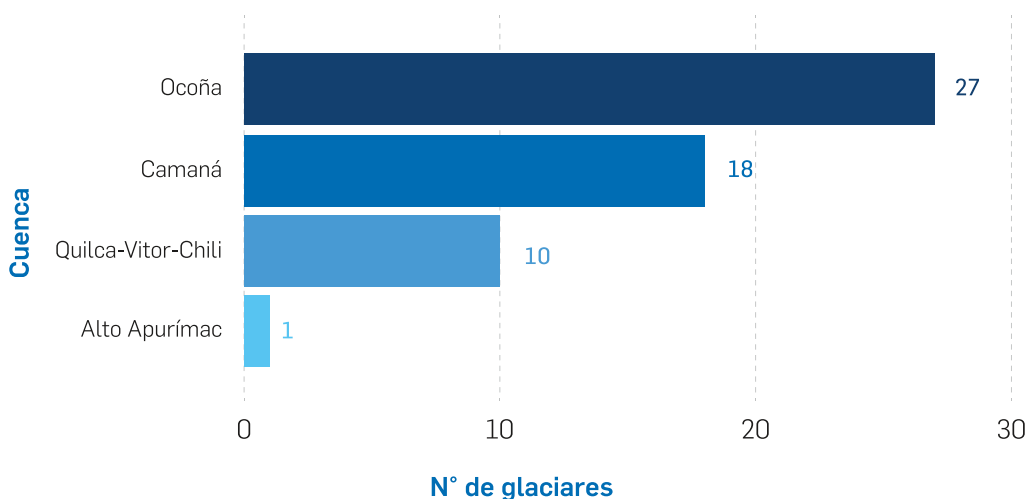
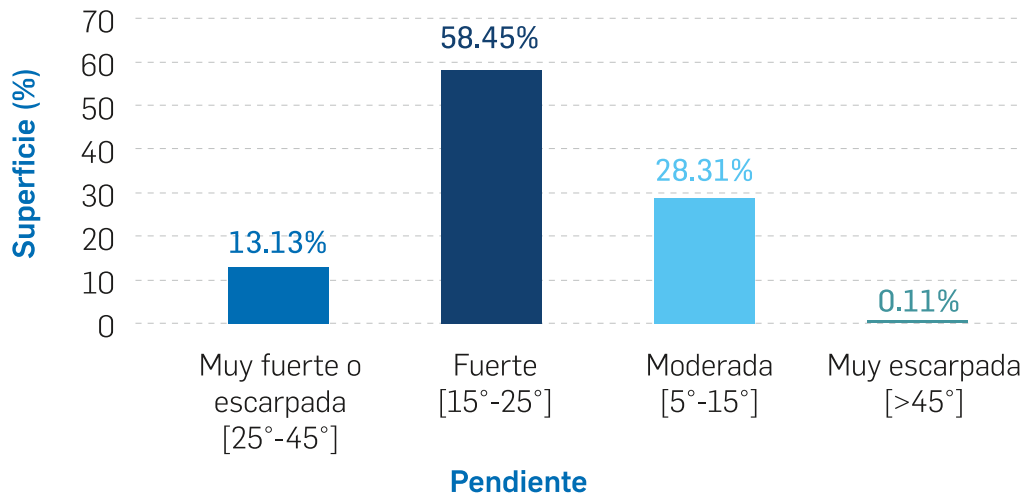


Figura 52. Distribución de glaciares según cuenca del Departamento de Arequipa

Sólo el 13 % de los glaciares libres y cubiertos por detritos en el departamento de Arequipa poseen pendientes¹⁸ superiores a los 25°, encontrándose en la clasificación "muy fuerte o escarpada" y "muy escarpada" (figura 53)

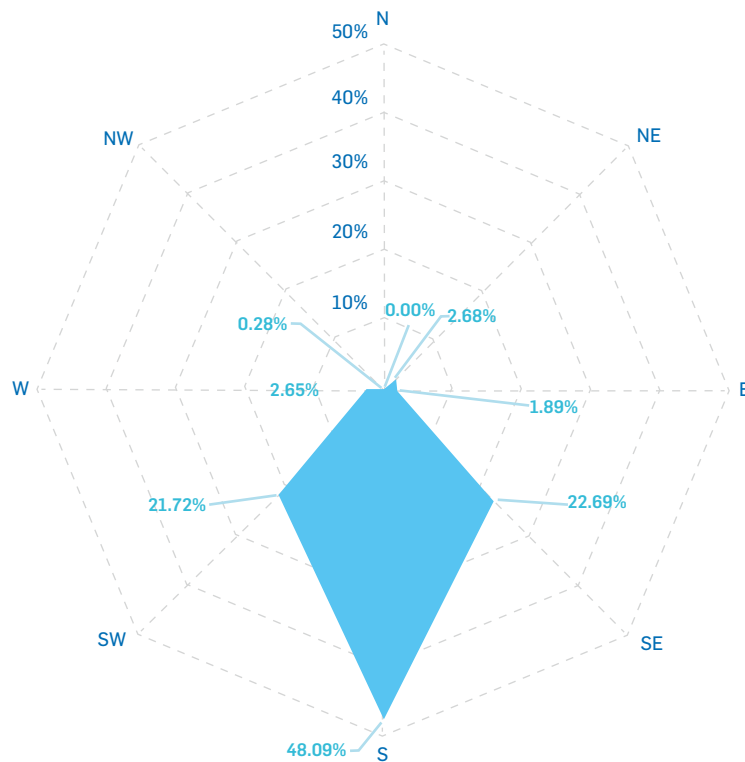
¹⁸ Parámetro que permite determinar cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares, cuando se ubican en pendientes que superan los 25° (46.6 %) de inclinación pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 53. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Arequipa

En cuanto a la orientación¹⁹ de los glaciares limpios y cubiertos de detritos, en el departamento de Arequipa se encuentran orientados predominantemente hacia el sur (48 %), y luego hacia el sureste (23 %) y suroeste (22 %) (figura 54).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

Figura 54. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Arequipa

¹⁹ Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que reciben mayor radiación solar en el hemisferio sur.

Respecto a los glaciares rocosos, en el departamento de Arequipa se han identificado 1097 glaciares, cuya superficie es de 55.72 km² (tabla 16), distribuidos principalmente en las cordilleras Chila y Huanzo, y en menor cantidad en las cordilleras Ampato y Volcánica. Asimismo, la cuenca de Camaná es la que alberga la mayor cantidad de glaciares rocosos en el departamento (figura 55).

Tabla 16. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Arequipa

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Ampato	175	14.83
Chila	429	15.76
Huanzo	345	17.61
Volcánica	148	7.52
Total	1097	55.72

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

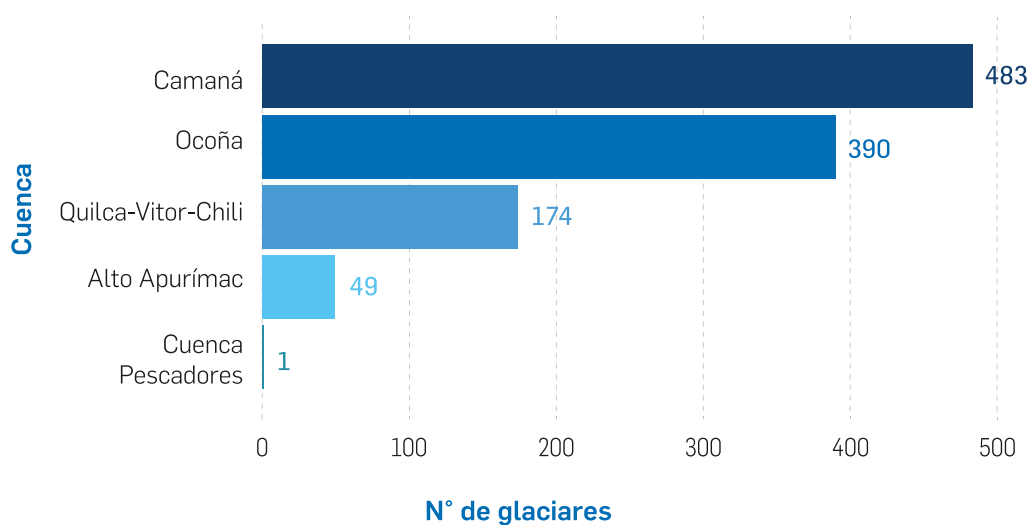


Figura 55. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Arequipa

AREQUIPA POSEE EL 5.04 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Arequipa posee 375 lagunas de origen glaciar, que cubren un área de 66.65 km² (equivalente al 6 % del total nacional)(tabla 17).

Tabla 17. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Arequipa

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Ampato	104	11.42
Chila	57	7.36
Huanzo	197	46.66
Volcánica	17	1.22
Total	375	66.65

Del total de lagunas del departamento de Arequipa, 372 son lagunas periglaciares, y tres proglaciares que cubren una superficie de 0.03 km². Estas lagunas presentan potencial para seguir creciendo y podrían representar peligro (figura 56).

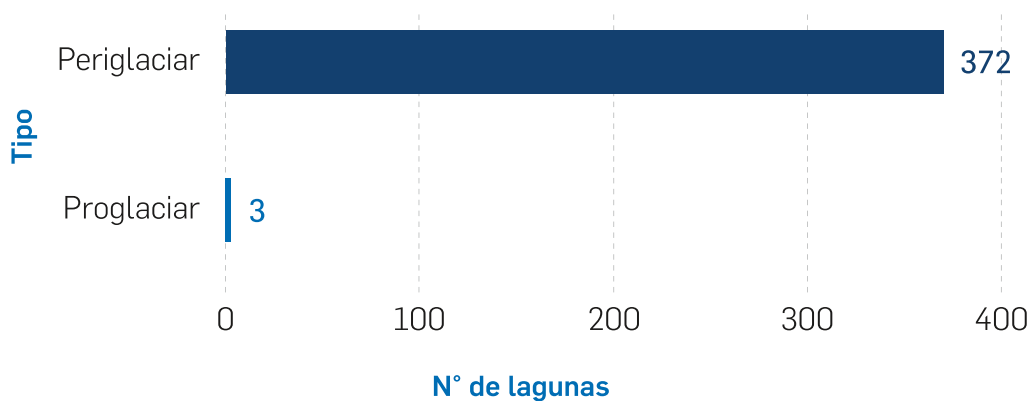


Figura 56. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Arequipa

La mayoría de las lagunas del departamento de Arequipa aportan a la vertiente hidrográfica del Pacífico (cuenca de Camaná, Quilca - Vitor - Chili y Ocoña) y sólo el 15 % al Atlántico (cuenca de Alto Apurímac) (figura 57), siendo la cuenca de Camaná la que posee mayor cantidad lagunas de origen glaciar, con 144 (figura 58).

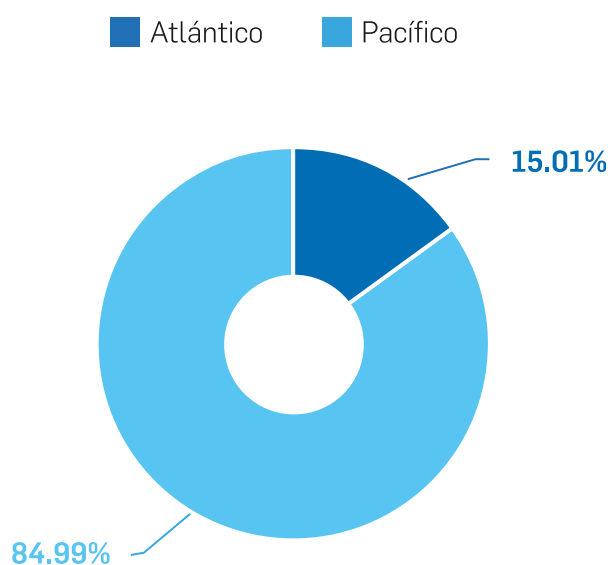


Figura 57. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Arequipa

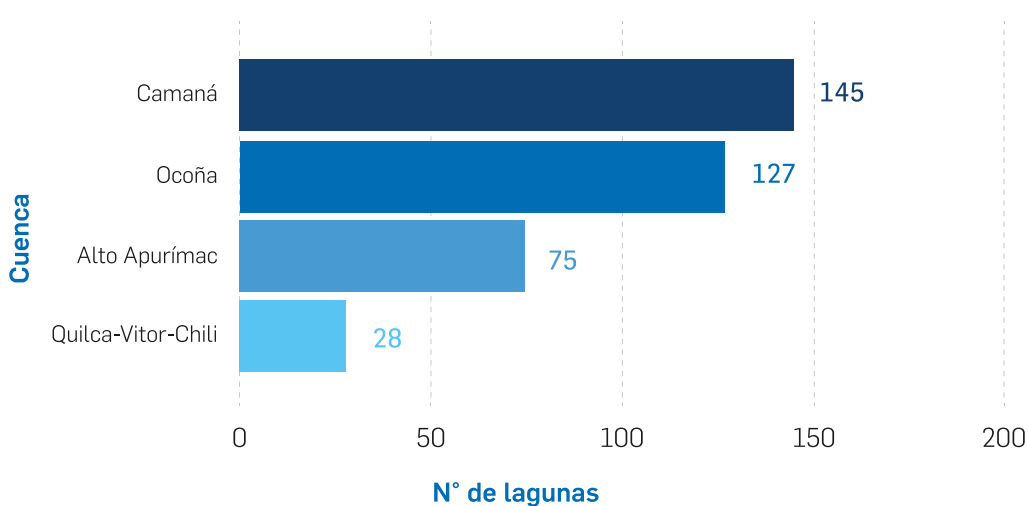


Figura 58. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Arequipa



Volcán Misti, nieve temporal
Foto: Rómulo Aroni

Finalmente, la mayor cantidad de lagunas en el departamento de Arequipa se concentran entre las altitudes de 4500 y 5000 m s.n.m. Asimismo, se puede mencionar que las lagunas proglaciares se encuentran a partir de altitudes superiores a los 5000 m s.n.m. (figura 59).

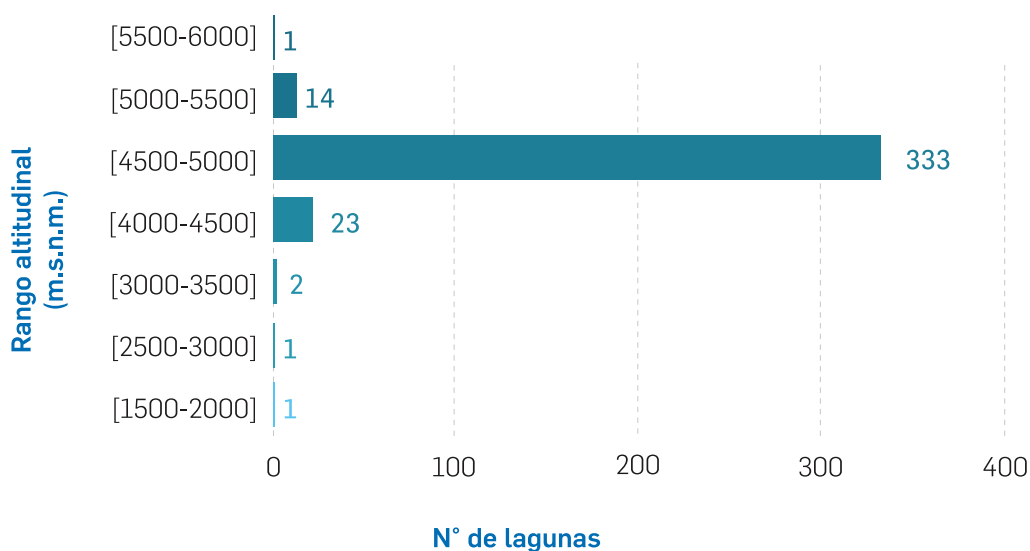


Figura 59. Distribución altitudinal de lagunas de origen glaciar del departamento de Arequipa

5.2.4. DEPARTAMENTO DE AYACUCHO

El departamento de Ayacucho se localiza en el sur central del Perú. En su territorio se puede encontrar, además de otros ecosistemas importantes, a los glaciares y lagunas de origen glaciar, distribuidas entre las cordilleras Ampato, Chonta y Huanzo. Políticamente, Ayacucho está

conformado por 11 provincias que concentran una población de 616 176 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de Parinacochas, Paucar del Sara Sara, Huamanga y Cangallo son las que presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 60).

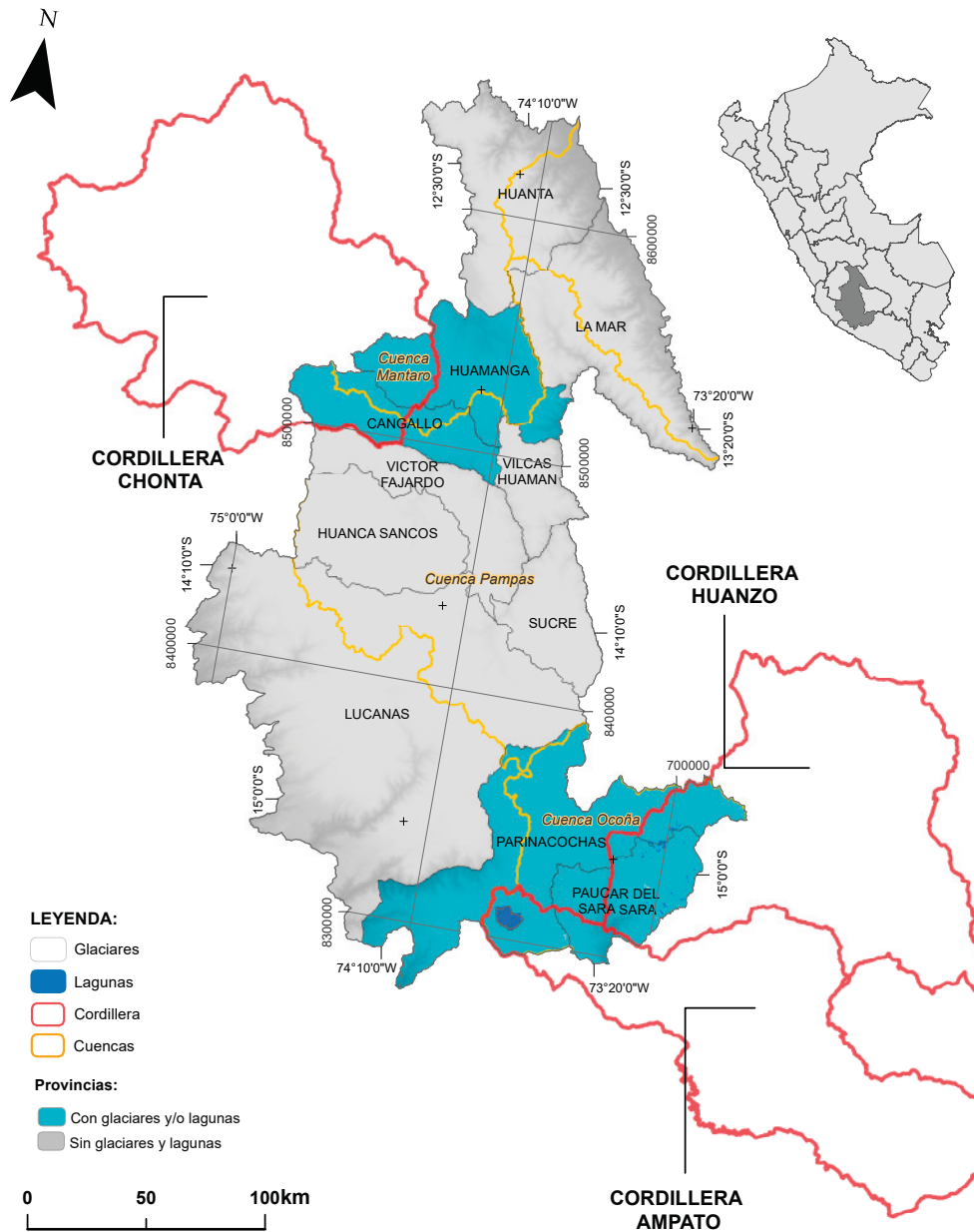


Figura 60. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Ayacucho

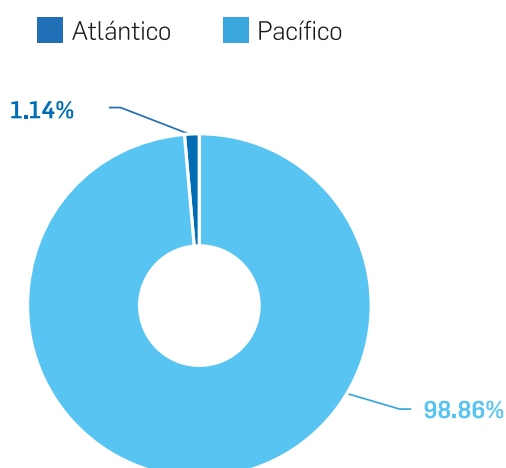
A) GLACIARES

De acuerdo a los últimos inventarios desarrollados por el INAIGEM (2016 y 2020), en el departamento de Ayacucho no se reportan glaciares libres y cubiertos de detritos; sin embargo se han identificado 76 glaciares rocosos (tabla 18), que se encuentran distribuidos en las cordilleras Huanzo, Ampato y Chonta, con mayor superficie en la primera.

Tabla 18. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Ayacucho

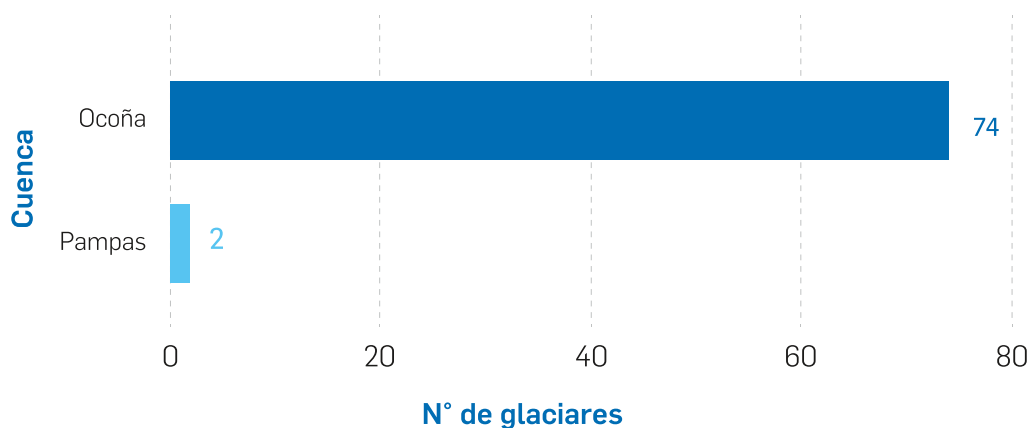
Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Ampato	11	0.68
Chonta	2	0.03
Huanzo	63	2.03
Total	76	2.74

La mayor superficie de los glaciares rocosos se encuentran en la vertiente del Pacífico (99 %), concentrados principalmente en la cuenca de Ocoña, donde se identificaron 74 glaciares (figuras 61 y 62).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 61. Distribución superficial de glaciares rocosos según vertiente del departamento de Ayacucho



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

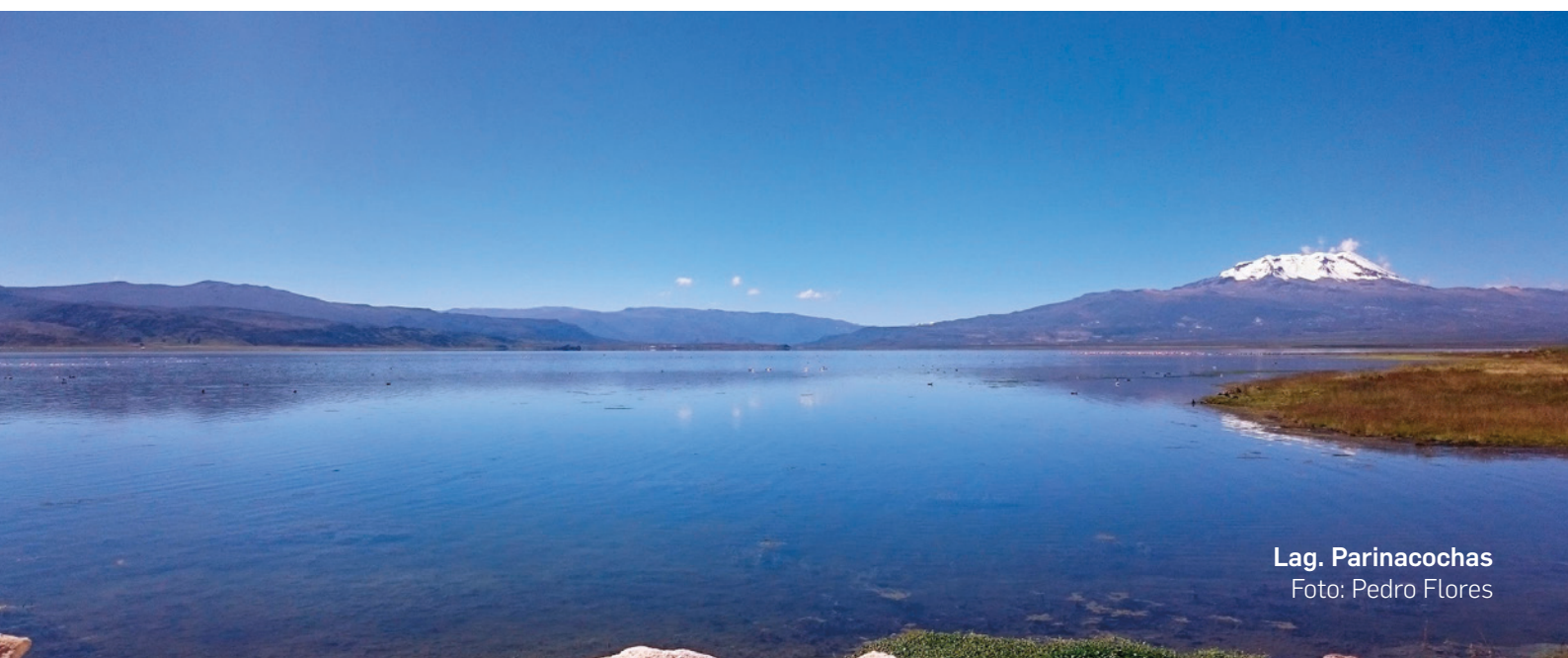
Figura 62. Distribución de glaciares rocosos según cuenca en el departamento de Ayacucho

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Ayacucho posee 127 lagunas de origen glaciar, todas periglaciares, que cubren un área de 72.94 km² (equivalente al 7 % del total nacional)(tabla 19).

Tabla 19. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Ayacucho

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Ampato	1	66.16
Chonta	65	1.99
Huanzo	61	4.79
Total	127	72.94



Lag. Parinacochas
Foto: Pedro Flores

El 97 % de superficie de las lagunas de origen glaciar tributan a la vertiente hidrográfica del Pacífico (cuenca Ocoña) y el 3 % a la vertiente del Atlántico (cuenca Mantaro y Pampas) (figuras 63 y 64).

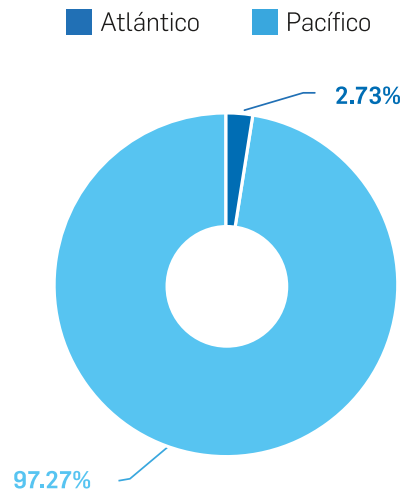


Figura 63. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Ayacucho

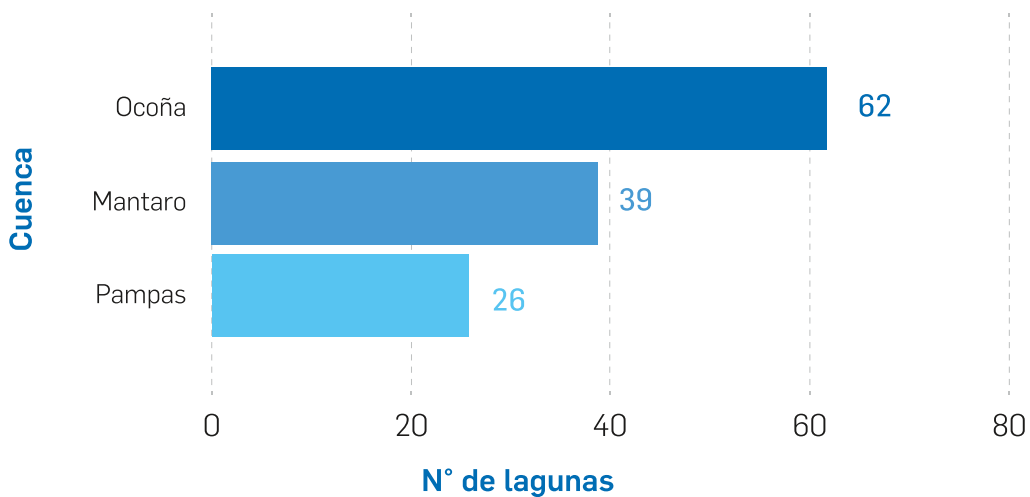


Figura 64. Distribución de las lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Ayacucho

Finalmente, se observa que la mayor cantidad de lagunas del departamento de Ayacucho se encuentran entre las altitudes de 4500 a 5000 m s.n.m (figura 65).

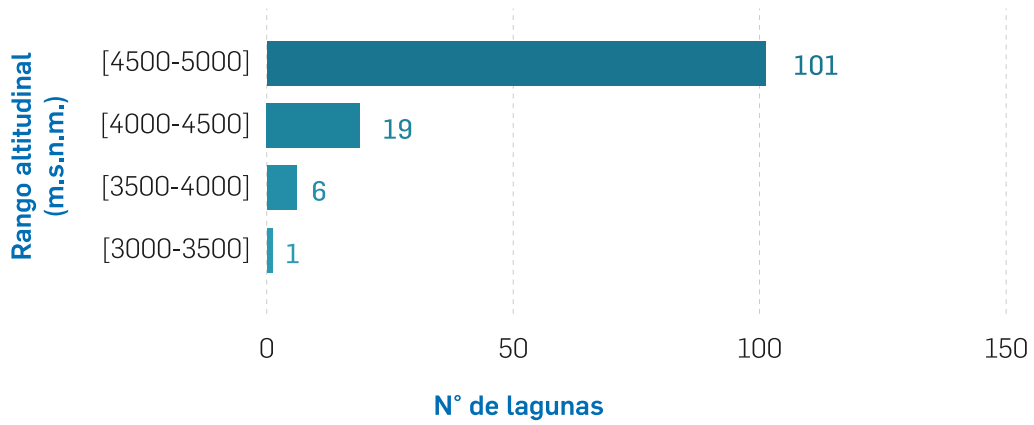


Figura 65. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal del departamento de Ayacucho



Lag. Azulcocha
Foto: Najarro Cerrón

5.2.5. DEPARTAMENTO DE CUSCO

El departamento de Cusco se ubica en el sureste del Perú, su territorio comprende un sector de la región andina y zonas bajas cubiertas por la selva amazónica. En este departamento se encuentran parte de las cordilleras Huanzo, Vilcabamba, La Raya, Carabaya, Urubamba y Vilcanota, ámbito en el que se distribuyen los glaciares y lagunas de origen glaciar. Asimismo, las unidades hidrográficas en las que se sitúan los glaciares y lagunas corresponden a las cuencas de Urubam-

ba, Inambari, Alto Apurímac, Alto Madre de Dios, Bajo Apurímac, Azángaro y Pucará. Políticamente, Cusco está constituido por 13 provincias que concentran una población de 1 205 527 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de Anta, Calca, Canas, Canchis, Chumbivilcas, Cusco, Espinar, La Convención, Paucartambo, Quispicanchi y Urubamba presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 66).

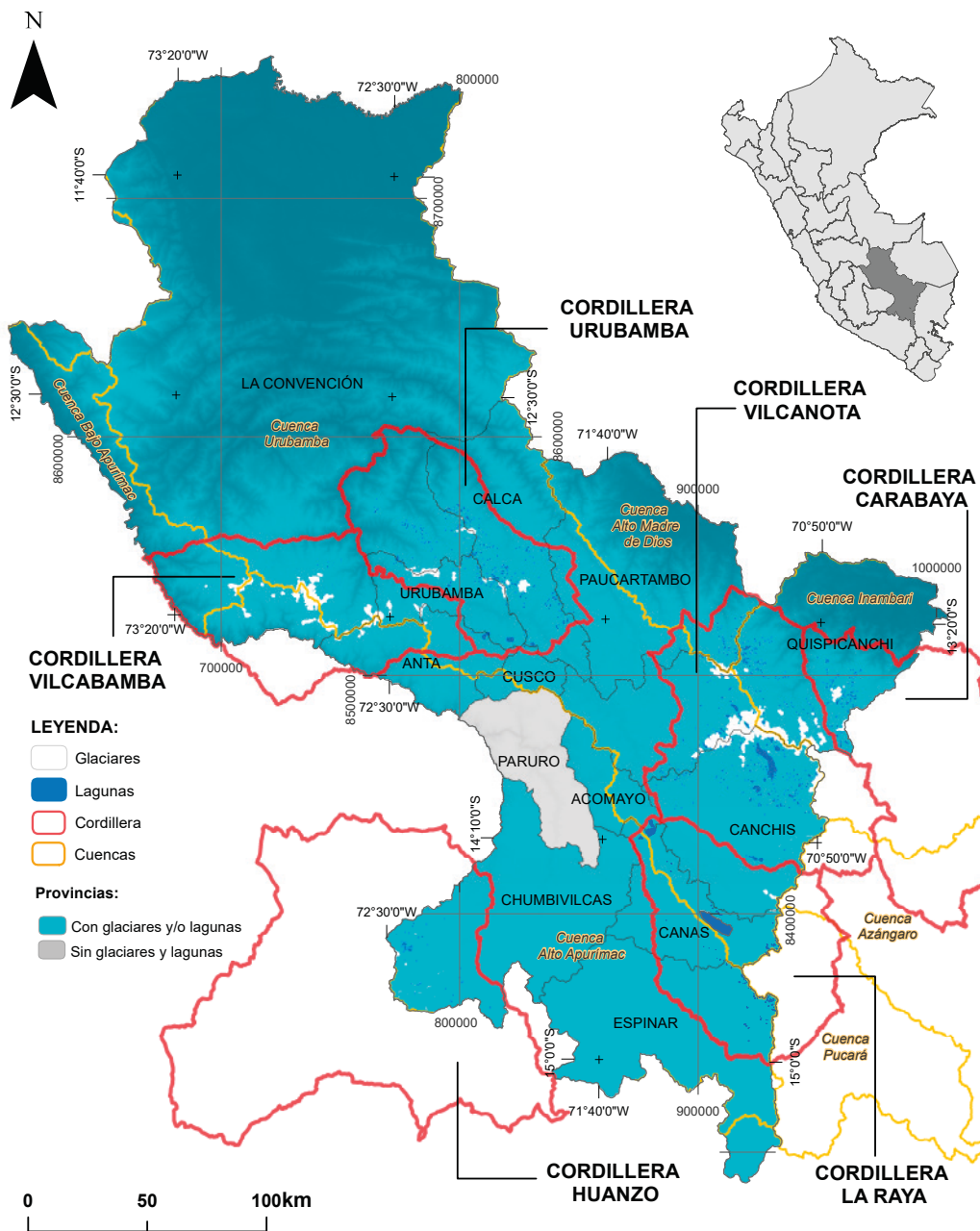


Figura 66. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Cusco

A) GLACIARES

En el presente inventario los glaciares se han clasificado en glaciares libres de detritos, cubiertos de detritos y glaciares rocosos. Los resultados para el departamento de Cusco muestran que los glaciares libres de detritos son los predominantes (figura 67).

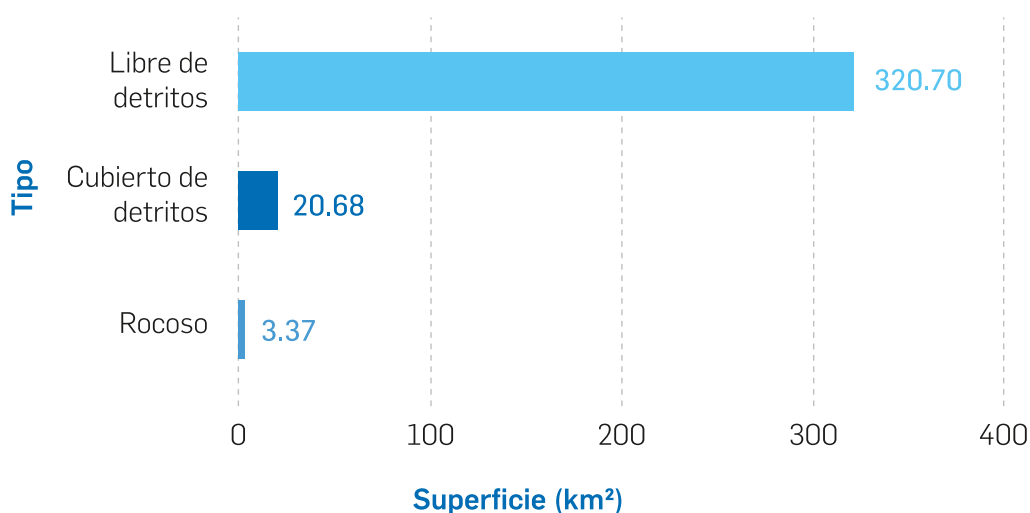


Figura 67. Tipo de superficie glaciar del departamento de Cusco

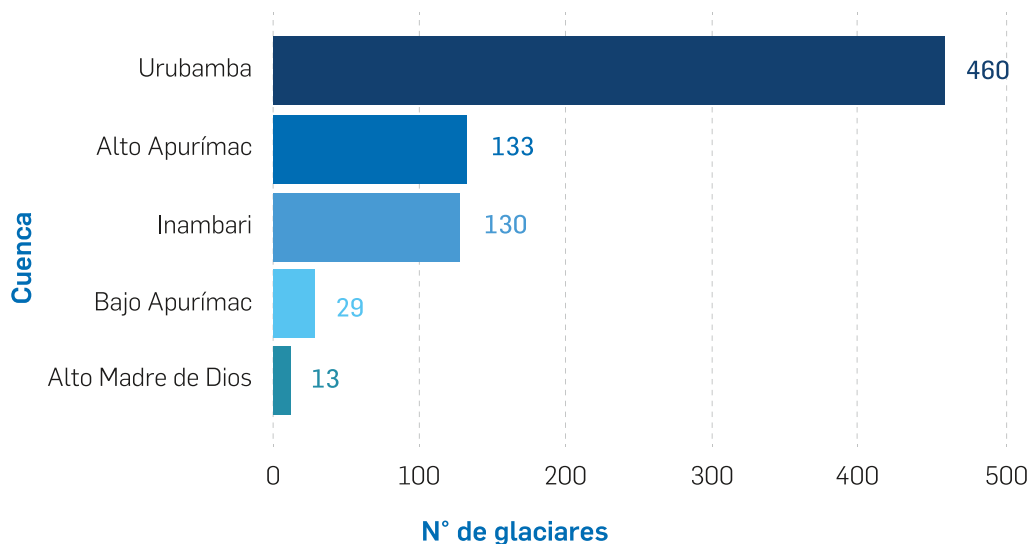
De acuerdo a los resultados del presente inventario, en el departamento de Cusco existen 765 glaciares libres y cubiertos de detritos, que representan una superficie total de 341.38 km² (tabla 20). La pérdida de superficie de estos glaciares en los últimos cuatro años fue de 20.73 km² (anexo 1).

Tabla 20. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Cusco

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Carabaya	28	7.76
Huanzo	6	0.72
La Raya	15	1.28
Urubamba	95	22.06
Vilcabamba	312	93.29
Vilcanota	309	216.27
Total	765	341.38

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

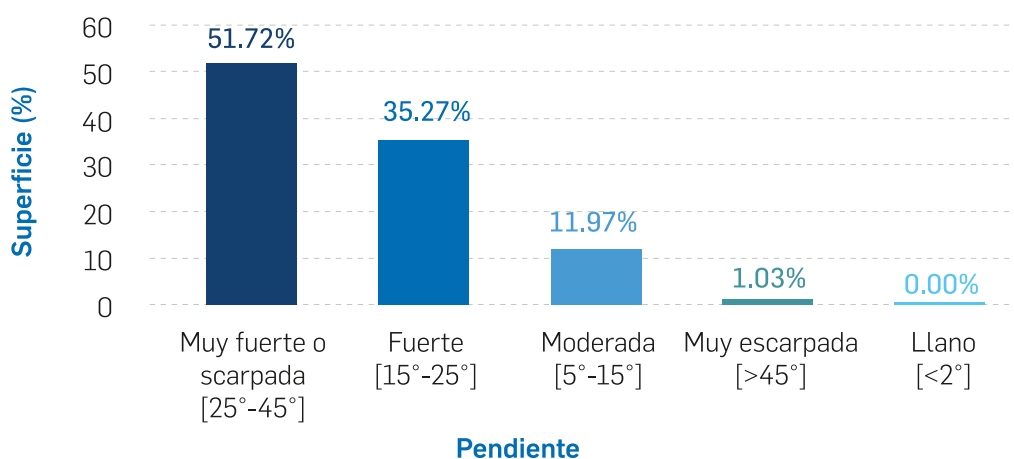
La cordillera Vilcanota presenta la mayor cantidad y superficie de glaciares libres y cubiertos de detritos en el departamento de Cusco (tabla 20). Asimismo, los glaciares limpios y cubiertos de detritos de este departamento aportan sus aguas únicamente a la vertiente hidrográfica del Atlántico, siendo la cuenca del Urubamba la que presenta una mayor cantidad de estos glaciares (figura 68).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 68. Distribución de glaciares según cuenca en el departamento de Cusco

En el departamento de Cusco, la mayoría de glaciares libres y cubiertos de detritos se ubican por encima de los 25° de pendiente²⁰, encontrándose en las categorías de "escarpada" y "muy escarpada" (figura 69).

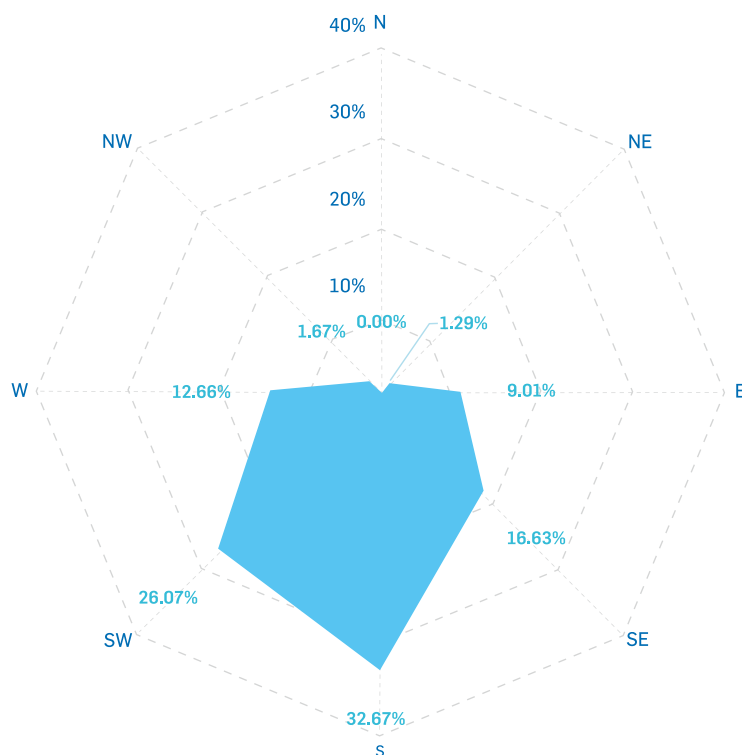


*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 69. Superficie del glaciar según rango de pendiente del departamento de Cusco

²⁰ Parámetro que permite determinar cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares, cuando se ubican en pendientes que superan los 25° (46.6 %) de inclinación pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas.

En cuanto a la orientación²¹ de los glaciares libres y cubiertos de detritos del departamento de Cusco, estos se encuentran orientados predominantemente hacia el sur (33 %) y suroeste (26 %) (figura 70). Estos reciben menos horas de radiación solar en el hemisferio sur.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 70. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Cusco

Respecto a los glaciares rocosos, en el departamento de Cusco se han identificado 84, cuya extensión total equivale a 3.37 km² (tabla 21). Este tipo de glaciares se encuentran distribuidos principalmente en las cordilleras Huanzo y Vilcanota, pudiendo encontrarlos también, aunque en menores cantidades, en las cordilleras Vilcabamba, Urubamba y La Raya (tabla 21). En su mayoría, estos glaciares se encuentran en la cuenca de Alto Apurímac (figura 71).

Tabla 21. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Cusco

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Huanzo	44	2.06
La Raya	2	0.02
Urubamba	2	0.16
Vilcabamba	1	0.18
Vilcanota	35	0.96
Total	84	3.37

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubiertos de detritos.

²¹ Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que reciben mayor radiación solar en el hemisferio sur.

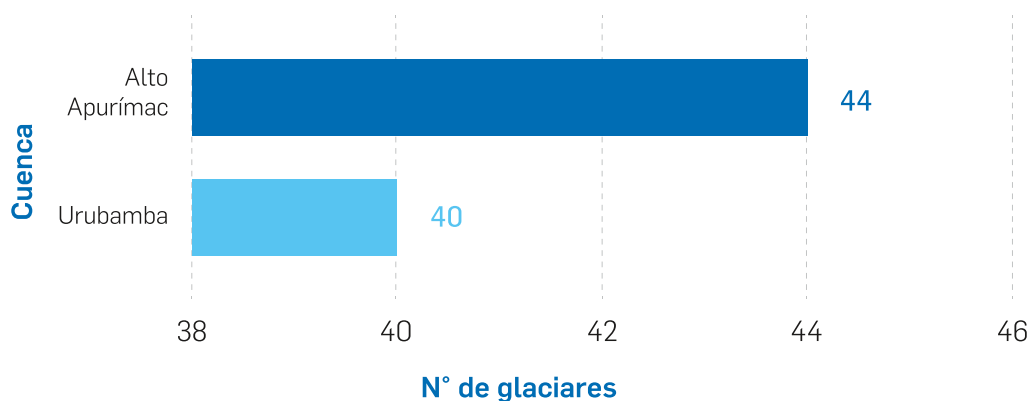


Figura 71. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Cusco

CUSCO POSEE EL 33.5 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Cusco posee 1288 lagunas de origen glaciar. Estas cubren un área de 166.96 km², equivalente al 15 % del total nacional (tabla 22).

Tabla 22. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Cusco

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Carabaya	110	4.41
Huanzo	52	2.03
La Raya	111	74.14
Urubamba	309	18.15
Vilcabamba	154	4.58
Vilcanota	552	63.66
Total	1288	166.96

Del total de lagunas del departamento de Cusco, la mayoría son lagunas periglaciares, 32 son lagunas proglaciares que cubren una superficie de 2.26 km², y tres son lagunas supraglaciares con una superficie de 0.03 km². Estos dos últimos tipos presentan potencial de seguir creciendo y podrían representar peligro (figura 72).

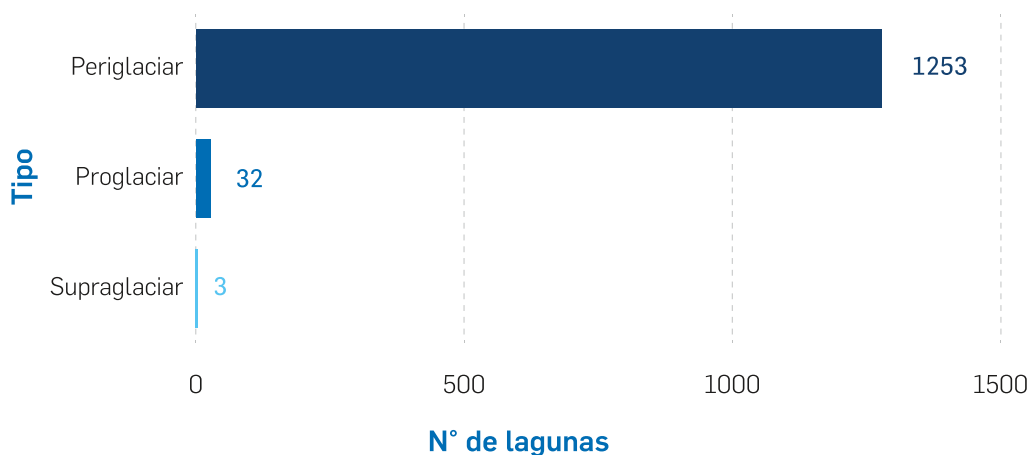
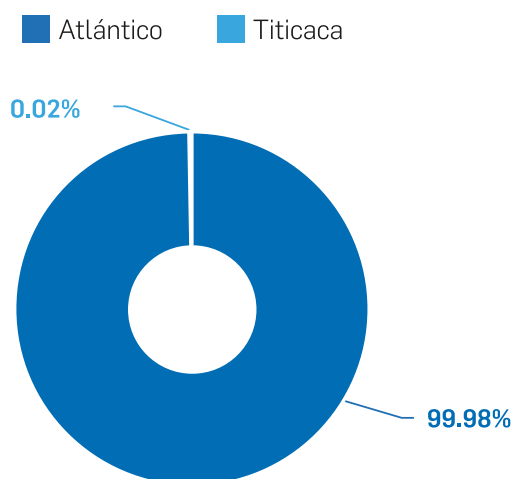


Figura 72. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Cusco

La mayoría de las lagunas del departamento de Cusco, aportan sus aguas a las vertientes del Atlántico (cuencas del Urubamba, Inambari, Alto Apurímac, Alto Madre de Dios, Bajo Apurímac) (figura 73). Asimismo, la mayor cantidad de lagunas se encuentran en la cuenca del Urubamba (figura 74).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 73. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Cusco

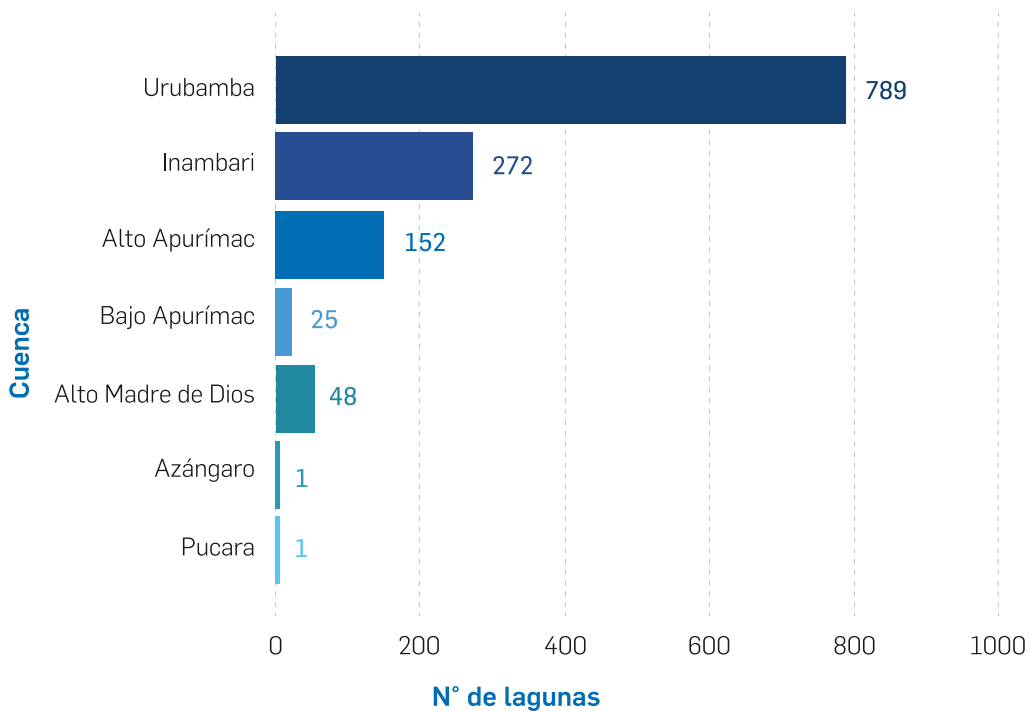


Figura 74. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Cusco

Finalmente, podemos mencionar que en el departamento de Cusco la mayor cantidad de lagunas de origen glaciar se concentran entre las altitudes de 4500 y 5000 m s.n.m. (figura 75). Asimismo, en Cusco podemos encontrar lagunas proglaciares y supraglaciares a partir de los 4000 m s.n.m.

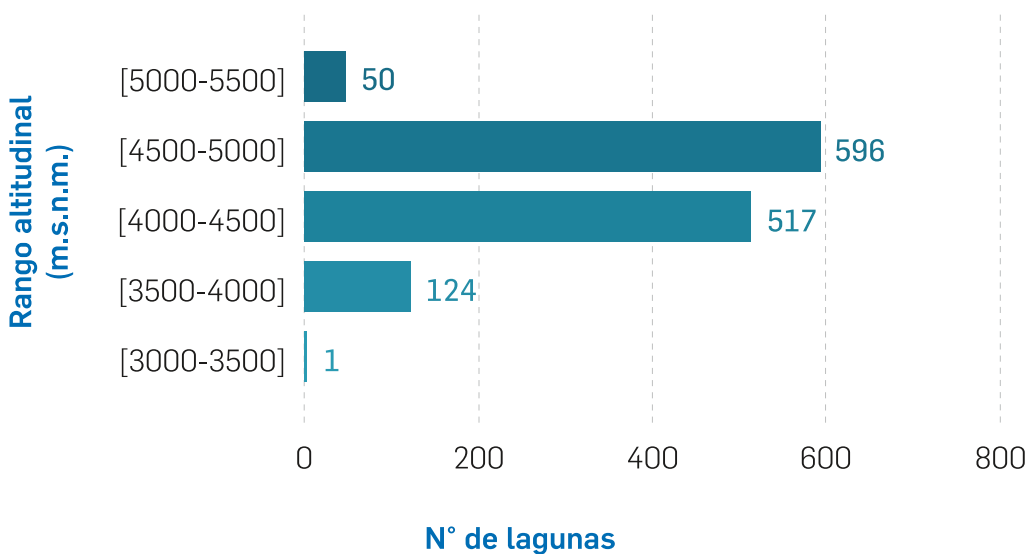


Figura 75. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal de lagunas del departamento de Cusco

5.2.6. DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA

El departamento de Huancavelica se ubica en el centro sur del Perú. Su territorio presenta topografía escarpada y regiones predominantemente andinas, y algunas zonas cubiertas por la selva amazónica. En este departamento se encuentran parte de las cordilleras Huaytapallana y Chonta, ámbito en el que se distribuyen los glaciares y lagunas de origen glaciar. Asimismo, las unidades hidrográficas en las que se sitúan los glaciares y lagunas

corresponden a las cuencas del Mantaro, Pampas, Pisco, San Juan e Ica. Políticamente, Huancavelica está constituido por siete provincias, que concentran una población de 347 639 habitantes (INEI, 2018); de estas, las provincias de Angaraes, Castrovirreyna, Huancavelica, Huaytará y Tayacaja presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 76).



Figura 76. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Huancavelica

A) GLACIARES

En el presente inventario los glaciares se han clasificado en tres tipos: glaciares libres de detritos, cubiertos de detritos y glaciares rocosos. Los resultados para el departamento de Huancavelica muestran que los glaciares libres de detritos son los predominantes (figura 77).

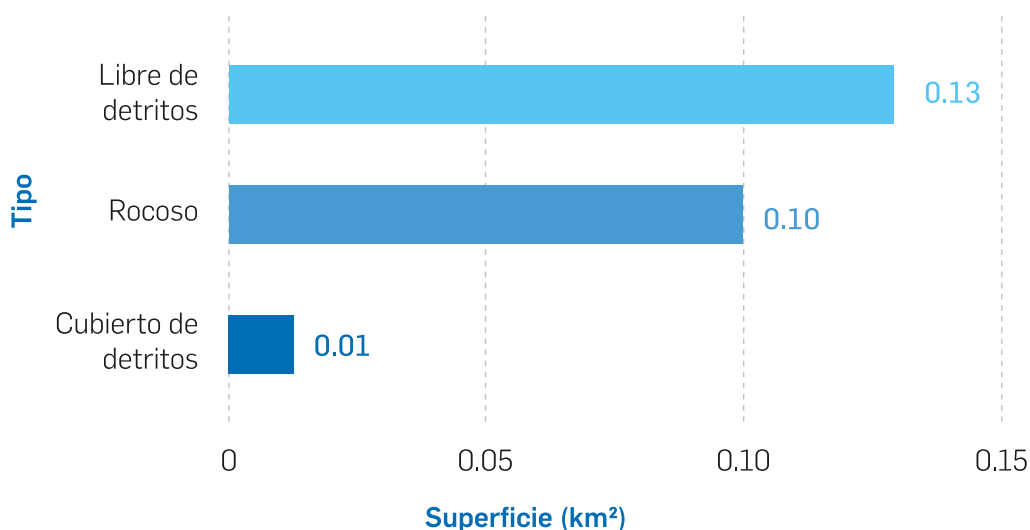


Figura 77. Tipo de superficie glaciar del departamento de Huancavelica

De acuerdo a los resultados del presente inventario, en el departamento de Huancavelica existen tres glaciares limpios y cubiertos de detritos, cuya superficie total es de 0.14 km² (tabla 23). Por otro lado, la pérdida de superficie glaciar en los últimos cuatro años fue de 0.01 km² (anexo 1).

La superficie de glaciares limpios y cubiertos de detritos en el departamento de Huancavelica equivale al 0.01 % de la superficie glaciar del Perú, siendo el departamento que posee la menor cobertura glaciar. Chonta es la única cordillera en la que se evidencia la existencia de cobertura glaciar dentro de Huancavelica (tabla 23).

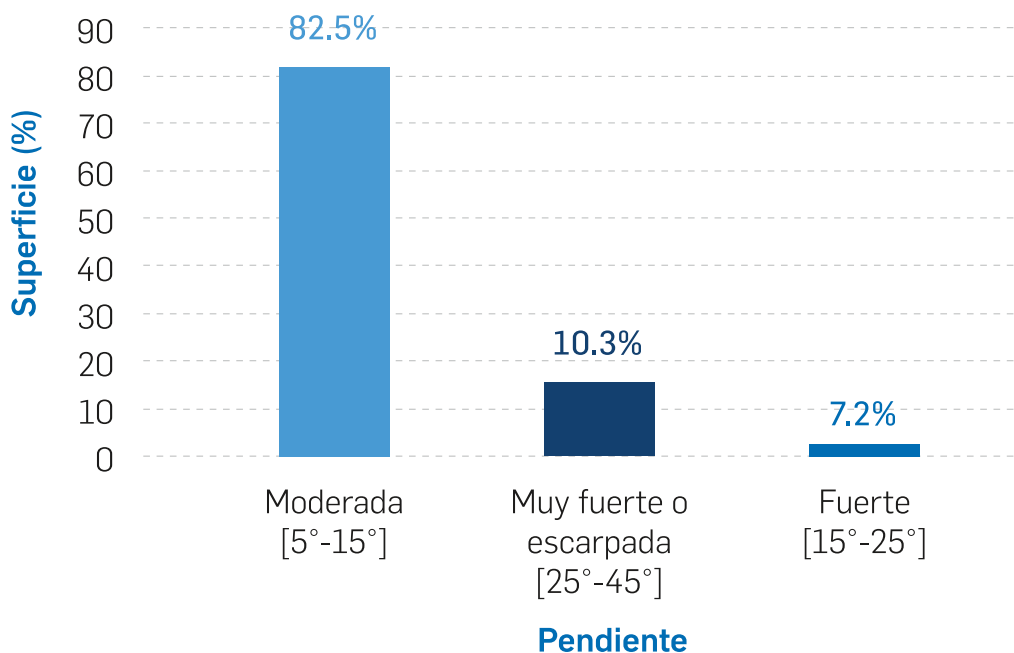
Tabla 23. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Huancavelica

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Chonta	3	0.14
Total	3	0.14

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

Los glaciares limpios y cubiertos de detritos del departamento de Huancavelica aportan sus aguas únicamente a la vertiente hidrográfica del Atlántico. Asimismo, estos glaciares se encuentran distribuidos en la cuenca del Mantaro.

En el departamento de Huancavelica, la mayor superficie glaciar se encuentra en pendiente "moderada", mientras que el 10 % se ubica por encima de los 25° de pendiente, encontrándose en la categoría de "muy fuerte o escarpada" (figura 78).



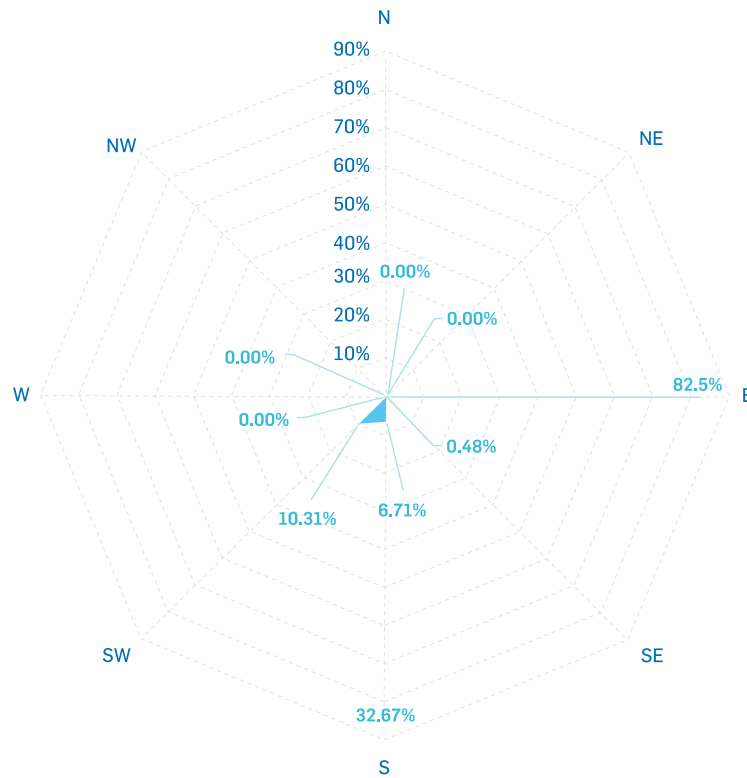
*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 78. Superficie del glaciar según rango de pendiente del departamento de Huancavelica

HUANCAVELICA SOLO POSEE EL 0.01 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

En cuanto a la orientación²² de los glaciares limpios y cubiertos de detritos en el departamento de Huancavelica, la orientación predominante es hacia el este (83 %) (figura 79), siendo estos los glaciares que reciben mayor radiación solar en horas de la mañana.

²² Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que más horas de radiación solar reciben en el hemisferio sur.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos.

Figura 79. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Huancavelica

Respecto a los glaciares rocosos, en el departamento de Huancavelica se han identificado tres, cuya extensión total equivale a 0.10 km² (tabla 24). Estos glaciares se ubican en la cordillera Chonta y están distribuidos en las cuencas de San Juan y Pisco (figura 80).

Tabla 24. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Huancavelica

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Chonta	3	0.10
Total	3	0.10

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubiertos de detritos.

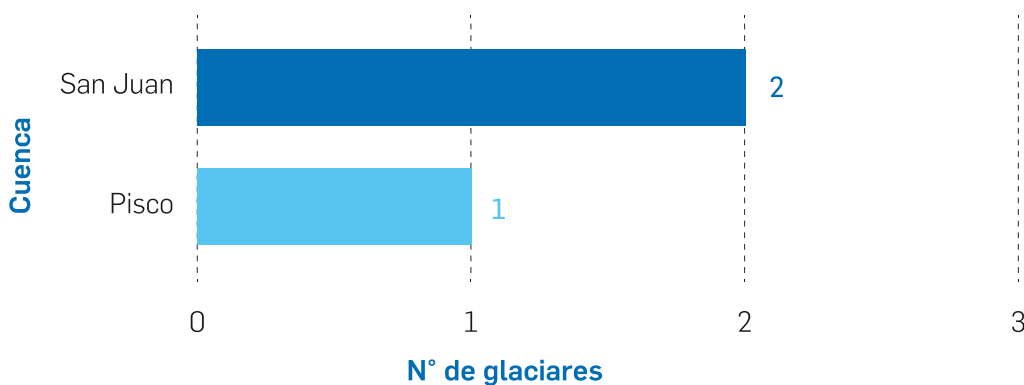


Figura 80. Distribución de los glaciares rocosos según cuencas del departamento de Huancavelica

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Huancavelica posee 547 lagunas de origen glaciar, que cubren un área de 95.48 km², equivalente al 9 % del total nacional (tabla 25).

Tabla 25. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Huancavelica

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Chonta	509	94.22
Huaytapallana	38	1.26
Total	547	95.48

En Huancavelica no se han identificado lagunas proglaciares, ni supraglaciares, siendo la totalidad de lagunas del tipo periglaciar.

Las lagunas del departamento de Huancavelica aportan sus aguas a las vertientes del Atlántico (Mantaro y Pampas) y Pacífico (Pisco, San Juan e Ica), siendo su mayor contribución en superficie hacia la vertiente del Atlántico (figura 81). La mayor cantidad de lagunas se ubican en la cuenca del Mantaro (figura 82).

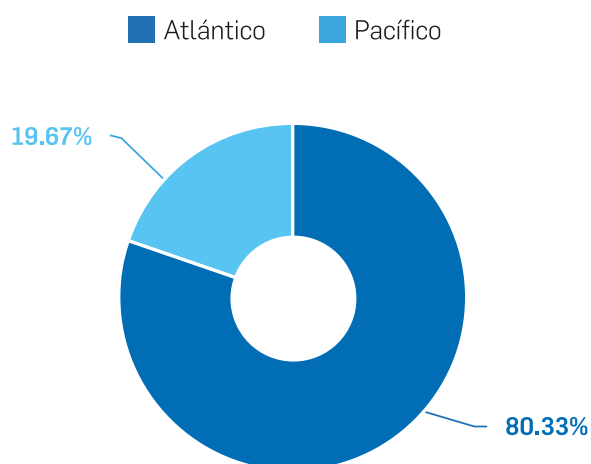


Figura 81. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Huancavelica

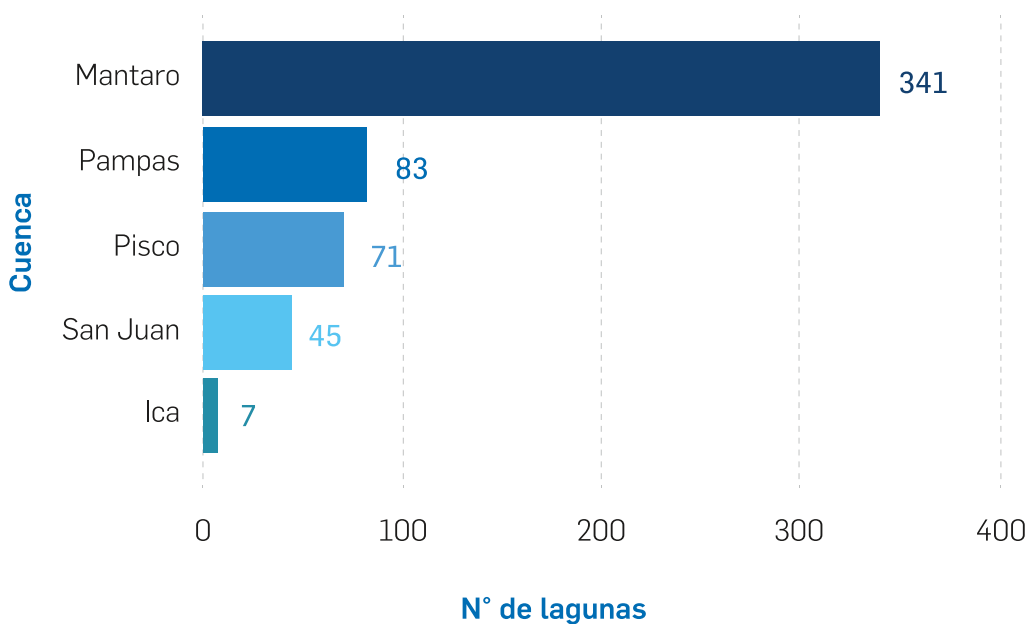


Figura 82. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Huancavelica

Finalmente, podemos mencionar que en el departamento de Huancavelica la mayor cantidad de lagunas se concentran en el rango altitudinal de 4500 a 5000 m s.n.m. (figura 83).

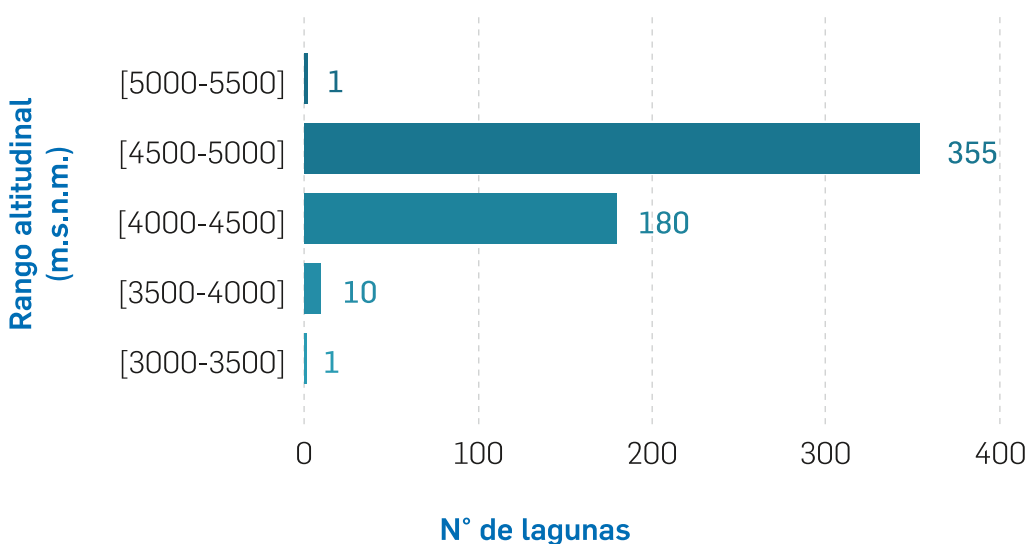


Figura 83. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal de lagunas del departamento de Huancavelica

5.2.7. DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO

El departamento de Huánuco se encuentra ubicado en el centro norte del Perú. Su territorio presenta topografía accidentada, regiones andinas y de selva amazónica. En este departamento convergen parte de las cordilleras Huayhuash, Raura, Huagoruncho y La Viuda, ámbito en el que se distribuyen los glaciares y lagunas de origen glaciar. Las unidades hidrográficas en las que se sitúan los glaciares y lagunas corresponden a las cuencas del Marañón, Huallaga y Pachitea. Políticamente, Huánuco está constituido por 11 provincias, que concentran una población de 72 047 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de Ambo, Huánuco, Lauricocha y Pachitea presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 84).

Políticamente, Huánuco está constituido por 11 provincias, que concentran una población de 72 047 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de Ambo, Huánuco, Lauricocha y Pachitea presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 84).

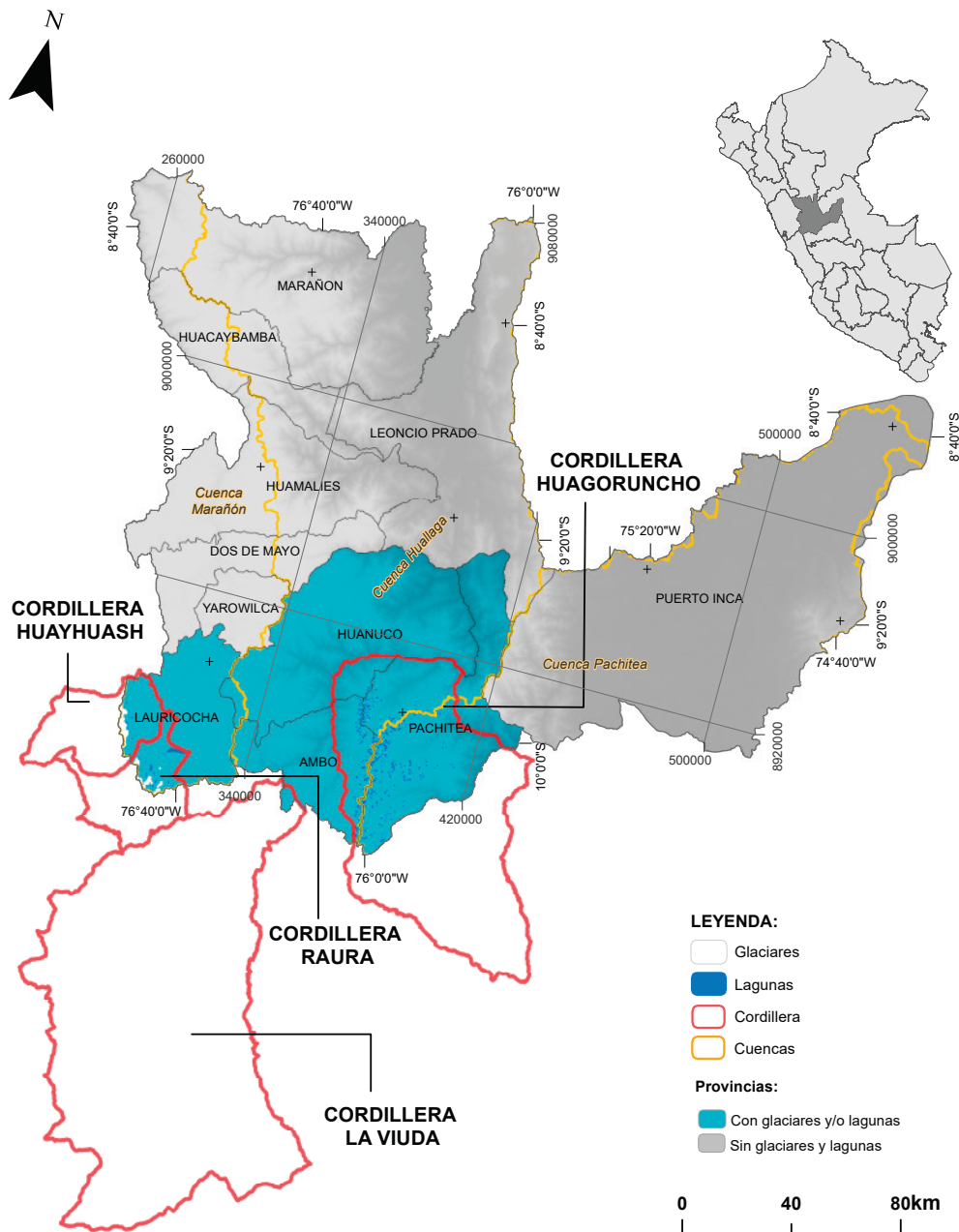


Figura 84. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Huánuco

A) GLACIARES

En el presente inventario, los glaciares se han clasificado en libres de detritos, cubiertos de detritos y glaciares rocosos. Los resultados para el departamento de Huánuco muestran que los glaciares libres de detritos son los predominantes (figura 85).

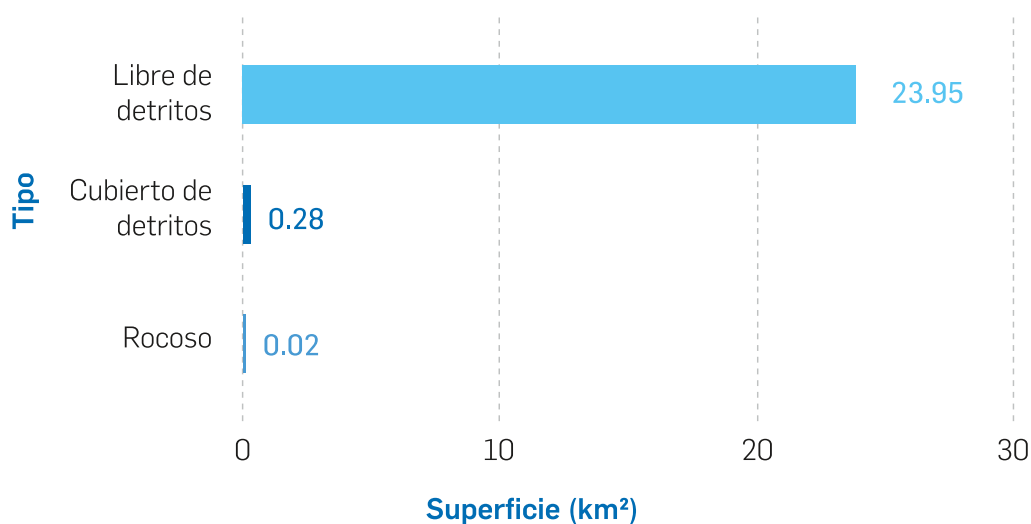


Figura 85. Tipo de superficie glaciar del departamento de Huánuco

De acuerdo a los resultados del presente inventario, en el departamento de Huánuco existen 56 glaciares, que en conjunto suman una superficie de 24.23 km² (tabla 26). La pérdida de superficie glaciar en los últimos cuatro años fue de 1.88 km² (anexo 1).

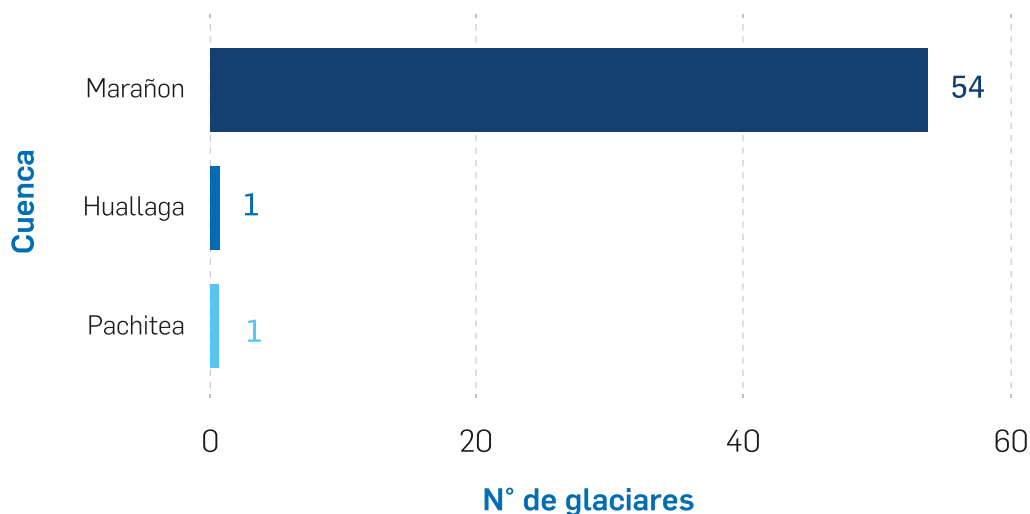
Tabla 26. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Huánuco

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Huagoruncho	2	0.07
Huayhuash	19	16.58
Raura	35	7.58
Total	56	24.23

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

La cordillera Huayhuash presenta la mayor superficie de glaciares libres y cubiertos de detritos, mientras que la cordillera Raura posee la mayor cantidad de estos glaciares (tabla 26).

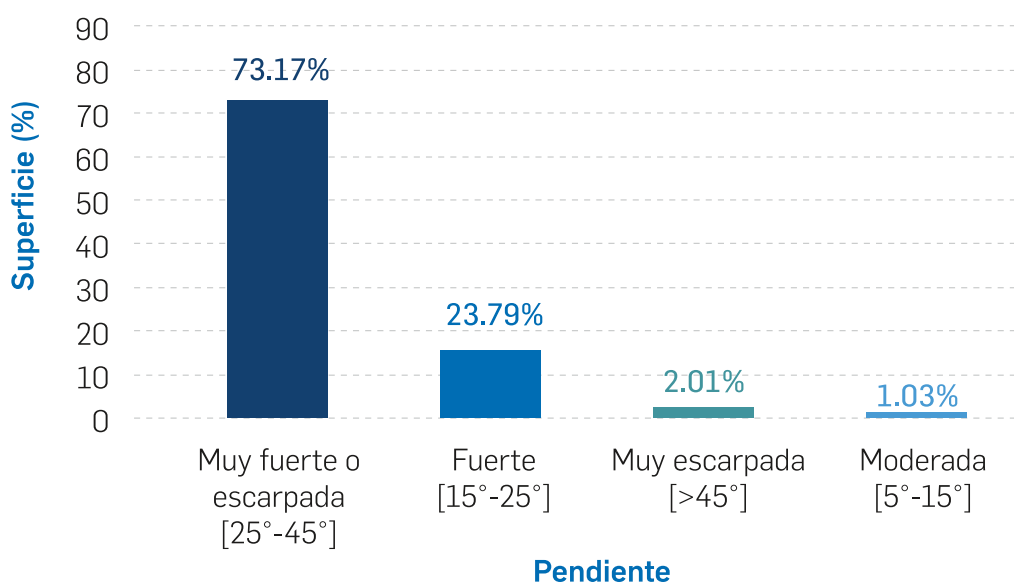
La totalidad de glaciares del departamento de Huánuco aportan sus aguas a la vertiente hidrográfica del Atlántico, encontrándose la mayor cantidad de glaciares en la cuenca del Marañon (figura 86).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

Figura 86. Distribución de glaciares según cuenca en el departamento de Huánuco

En el departamento de Huánuco, la mayoría de glaciares libres y cubiertos de detritos se ubican por encima de los 25° de pendiente²³, encontrándose en las categorías de "muy fuerte o escarpada" (figura 87).

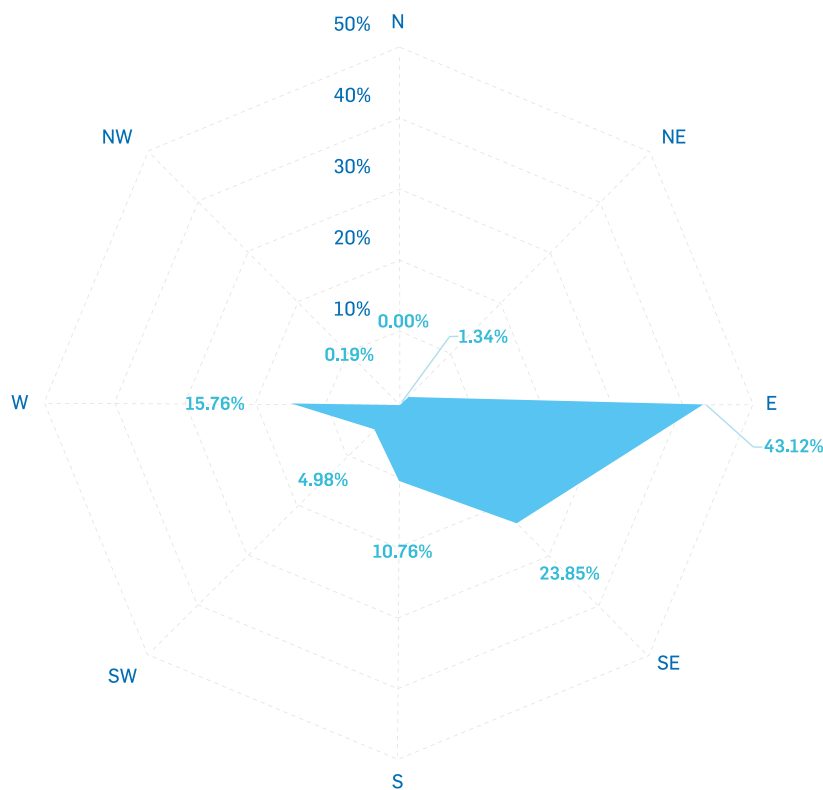


*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

Figura 87. Superficie del glaciar según rango de pendiente del departamento de Huánuco.

²³ Parámetro que permite determinar cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares, cuando se ubican en pendientes que superan los 25° (46.6 %) de inclinación pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas.

En cuanto a la orientación²⁴ de los glaciares limpios y cubiertos de detritos del departamento de Huánuco, estos se orientan predominantemente hacia el este (43 %), recibiendo mayor radiación solar en horas de la mañana. Asimismo, los glaciares con orientación sureste (24 %) y sur (11 %) tienden a recibir menos horas de radiación solar (figura 88).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos

Figura 88. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Huánuco

Respecto a los glaciares rocosos, en el departamento de Huánuco se ha identificado la presencia de uno, cuya extensión es de 0.02 km² (tabla 27). Se encuentra ubicado aguas abajo del glaciar Huaccanan, en la cuenca del Marañón, perteneciente a la cordillera Raura.

Tabla 27. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Huánuco

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Raura	1	0.02
Total	1	0.02

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubiertos de detritos.

²⁴ Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que reciben mayor radiación solar en el hemisferio sur.

HUÁNUCO POSEE EL 2.31 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Huánuco posee 448 lagunas de origen glaciar. Estas cubren un área de 41.83 km², equivalente al 4 % del total nacional (tabla 28).

Tabla 28. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Huánuco

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Huagoruncho	342	24.31
Huayhuash	44	3.45
La Viuda	2	0.13
Raura	60	13.94
Total	448	41.83

La mayoría de las lagunas del departamento de Huánuco son periglaciares. Sin embargo, se evidencia la existencia de una laguna proglaciar con una superficie de 0.01 km², que se encuentra en contacto con el glaciar "Matador 2" (cuenca del Marañón), y tiene potencial de seguir creciendo, lo cual podría representar peligro (figura 89).

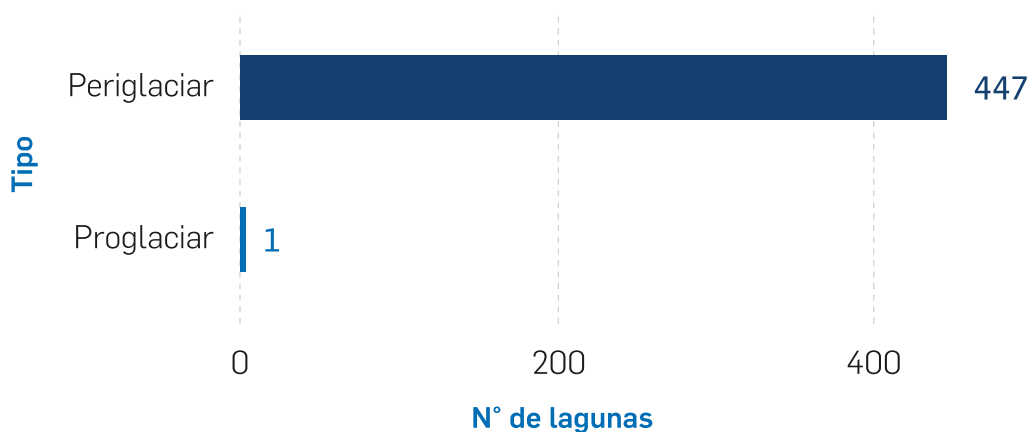


Figura 89. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Huánuco

Las lagunas de origen glaciar del departamento de Huánuco aportan sus aguas a la vertiente del Atlántico, siendo la cuenca del Pachitea la que mayor cantidad de lagunas presenta (figura 90).

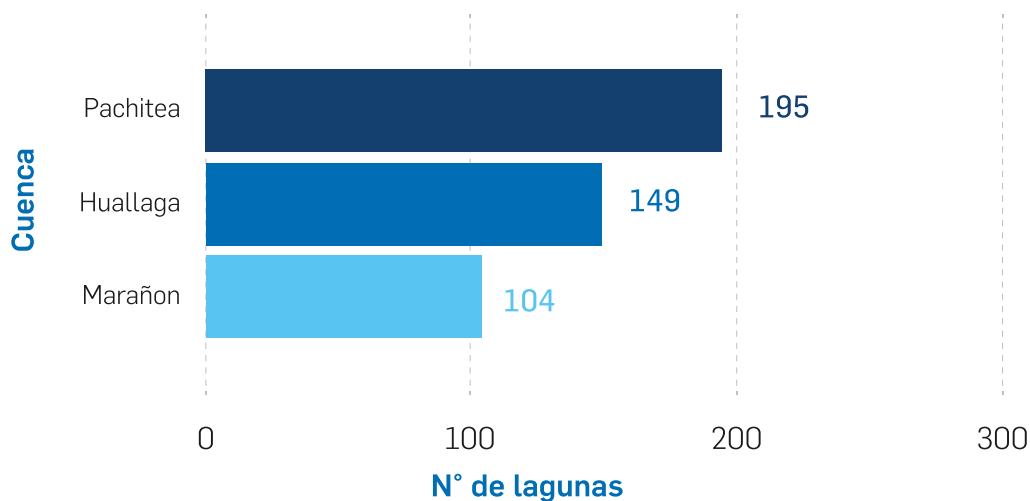


Figura 90. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Huánuco

Finalmente, podemos mencionar que en el departamento de Huánuco, la mayor cantidad de lagunas de origen glaciar se concentran entre las altitudes de 3500 a 4000 m s.n.m. (figura 91). Asimismo, la única laguna proglaciar se encuentra en el rango altitudinal de 4500 a 5000 m s.n.m.

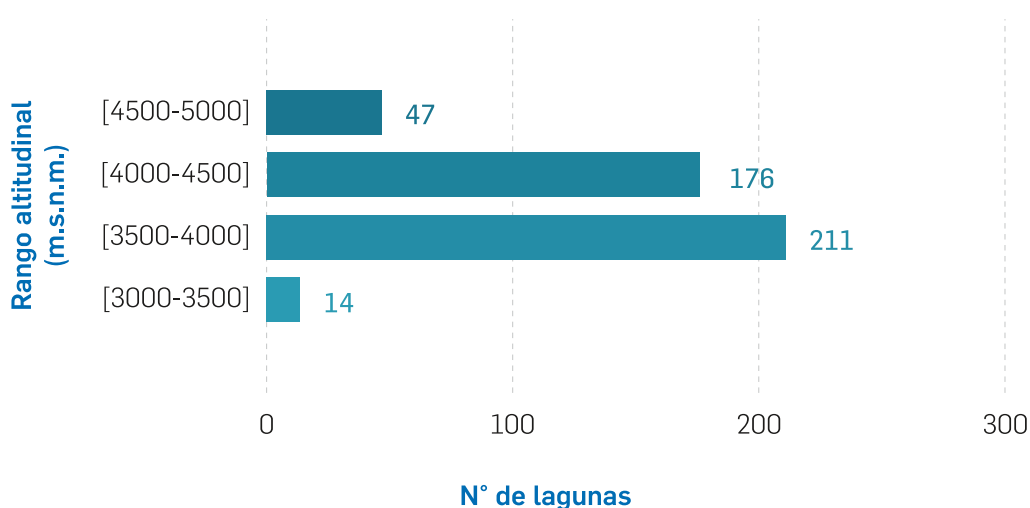


Figura 91. Distribución de lagunas de origen glaciar, según rango altitudinal de lagunas del departamento de Huánuco

5.2.8. DEPARTAMENTO DE ICA

El departamento de Ica se ubica al sur de Lima. Su territorio comprende regiones de costa (predominante) y de sierra. Está conformado por cinco provincias que concentran una población de 850 765 habitantes. Sólo la provincia de Chíncha, en la cordillera Chonta, presenta una laguna de origen glaciar inventariable (tabla 29), con una superficie de 0.04 km².

Su fuente principal de agua son aguas superficiales y subterráneas. Sus ríos son irregulares porque presentan únicamente caudal en verano, durante los meses de enero, febrero, marzo y abril, que se originan en los departamentos de Huancavelica y Ayacucho (ANA, 2012).

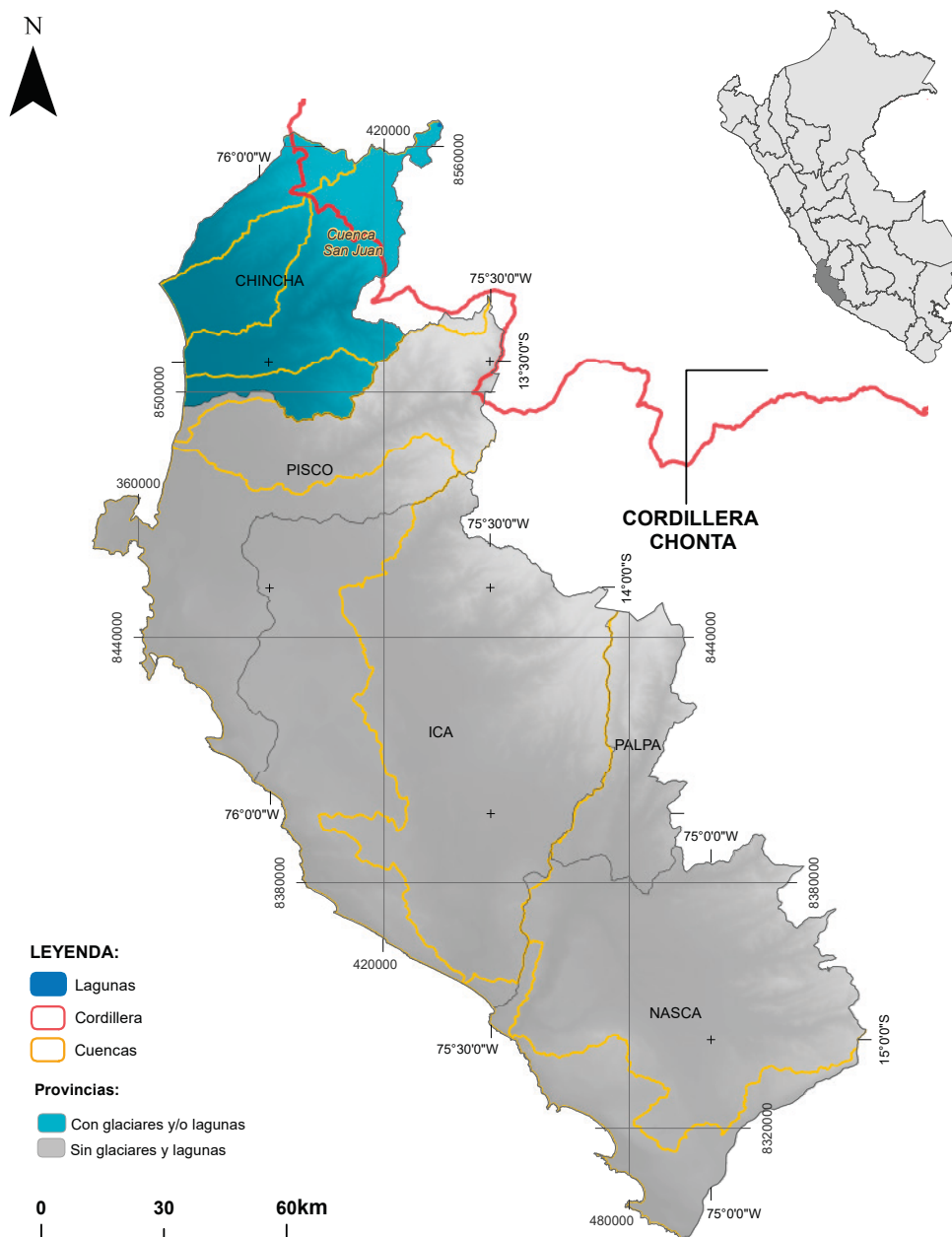


Figura 92. Distribución de lagunas de origen glaciar en el departamento de Ica

Tabla 29. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Ica

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Chonta	1	0.04
Total	1	0.04



Nevado Chopicalqui
Foto: Alexzander Santiago

5.2.9. DEPARTAMENTO DE JUNÍN

El departamento de Junín se localiza en el centro del Perú. Su territorio comprende una zona de selva amazónica y la región andina, en donde podemos encontrar a los glaciares y lagunas de origen glaciar distribuidas en parte de las cordilleras La Viuda, Central, Chonta y Huaytapallana. Políticamente, Junín

está conformado por nueve provincias que concentran una población de 1 246 038 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de Concepción, Chanchamayo, Chupaca, Huancayo, Jauja, Satipo, Tarma y Yauli presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 93).

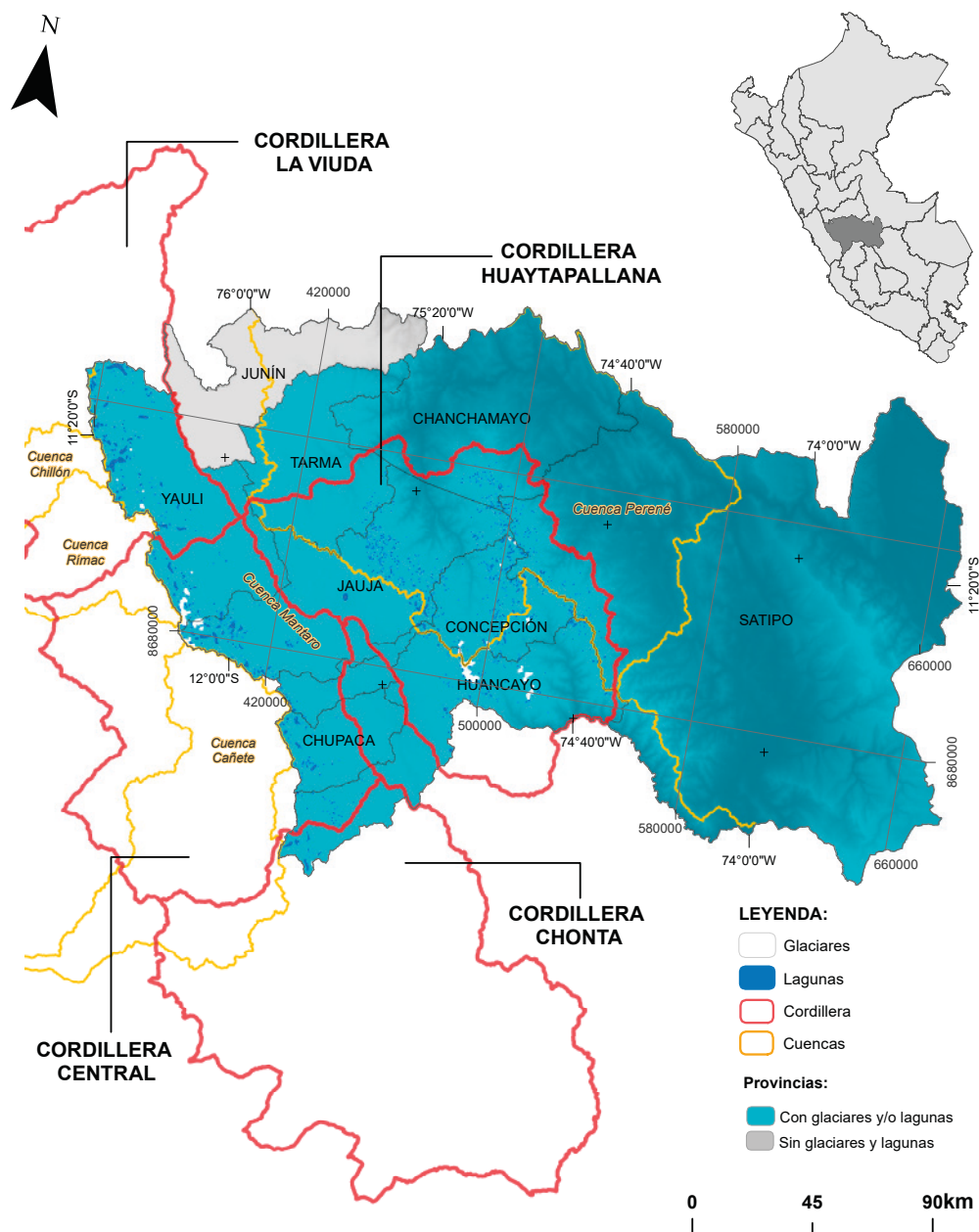


Figura 93. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Junín

A) GLACIARES

En el departamento de Junín se han identificado tres tipos de superficie glaciar: libre de detritos, cubierto de detritos y rocosos, siendo los predominantes los glaciares libre de detritos con una superficie de 35.29 km² (figura 94).

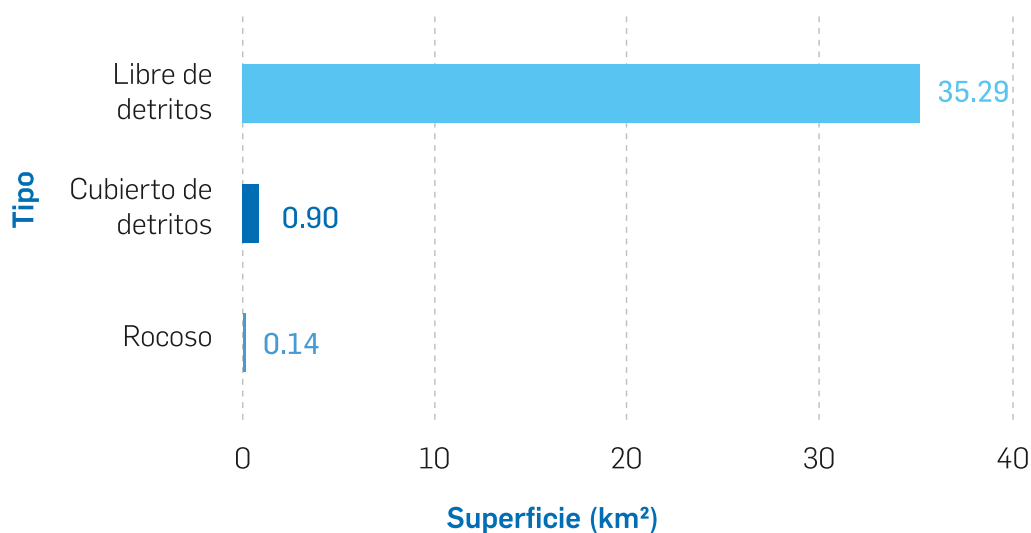


Figura 94. Tipo de superficie glaciar del departamento de Junín

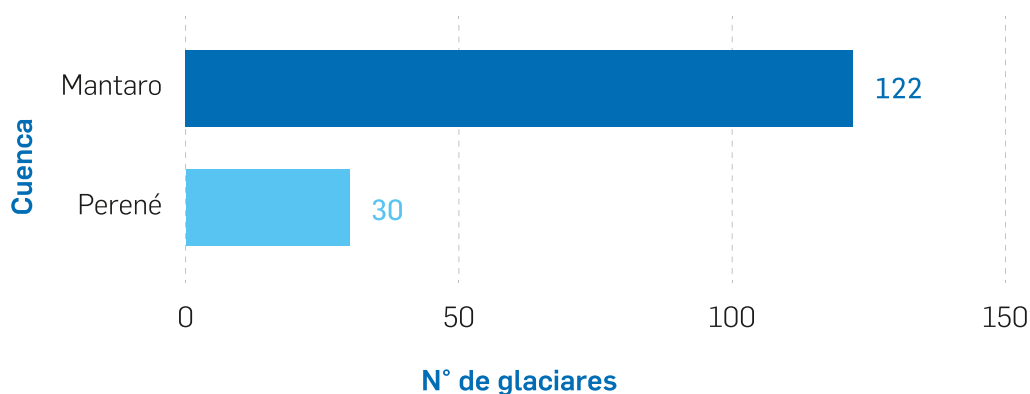
Según los resultados del presente inventario en el departamento de Junín existen 152 glaciares libres y cubiertos por detritos, con una superficie de 36.19 km² (tabla 30). La pérdida de superficie glaciar en los últimos cuatro años fue de 3.30 km² (anexo 1).

Tabla 30. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Junín

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Central	49	15.62
Chonta	1	0.23
Huaytapallana	90	19.29
La Viuda	12	1.04
Total	152	36.19

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

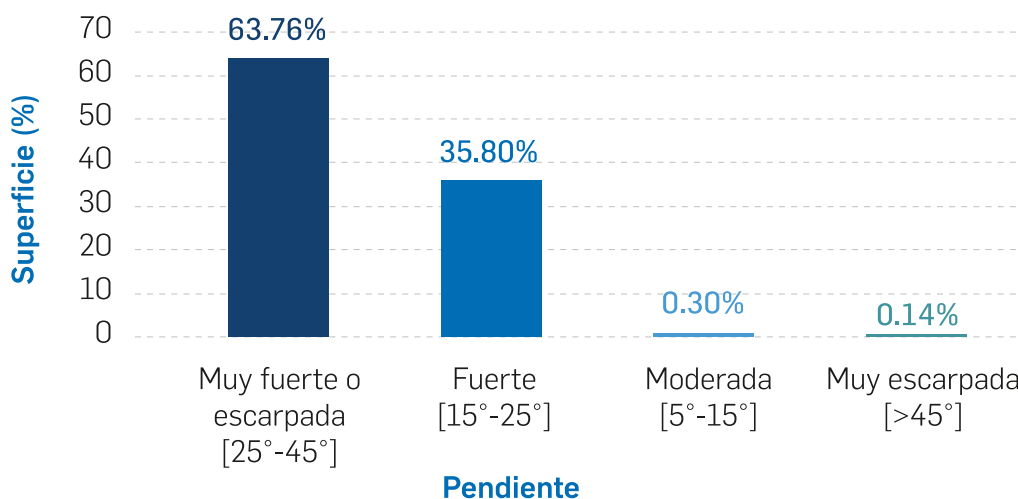
Todos los glaciares libres y cubiertos por detritos del departamento de Junín aportan a la vertiente hidrográfica del Atlántico, y se encuentran distribuidos en las cuencas del Mantaro y Perené. La cuenca del Mantaro es la que presenta mayor concentración, con 122 glaciares (figura 95).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos

Figura 95. Distribución de glaciares según cuenca del departamento de Junín

Más del 60 % de los glaciares libres y cubiertos por detritos en el departamento de Junín poseen pendientes²⁵ superiores a los 25°, encontrándose en la clasificación "muy fuerte o escarpada" y "muy escarpada" (figura 96).

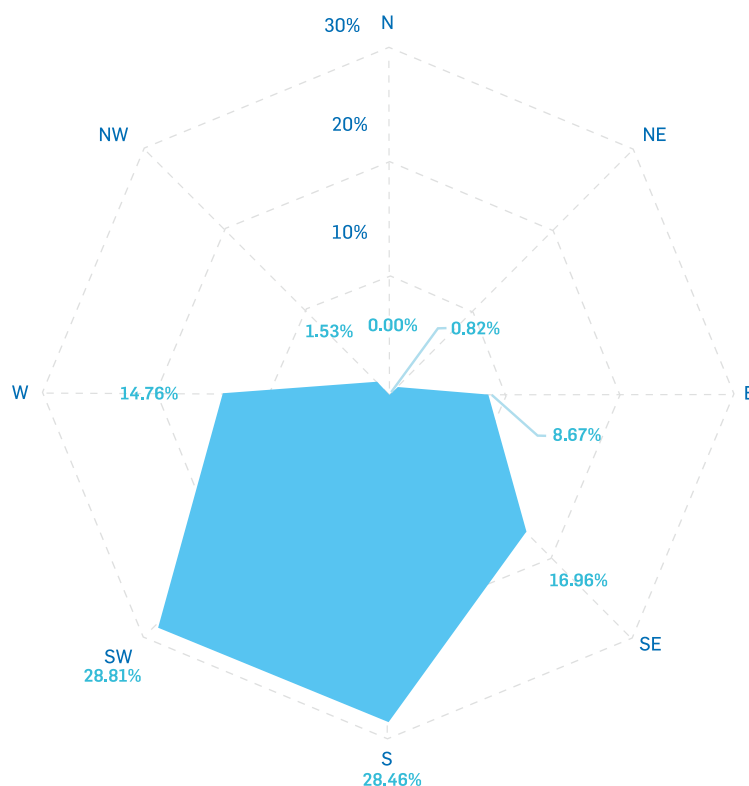


*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos

Figura 96. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Junín

²⁵ Parámetro que permite determinar cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares, cuando se ubican en pendientes que superan los 25° (46.6 %) de inclinación pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas.

Actualmente, las orientaciones²⁶ predominantes de los glaciares libres y cubiertos por detritos del departamento de Junín son suroeste (29 %), sur (28 %) y sureste (17 %) (figura 97), siendo estas orientaciones reciben menos horas de sol en el hemisferio sur.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos

Figura 97. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Junín

Si nos referimos a los glaciares rocosos, podemos mencionar que en el departamento de Junín se han identificado cuatro, cuya extensión es de 0.14 km² (tabla 31) y se encuentran ubicados en las cordilleras La Viuda, Central y Chonta. Estos glaciares se encuentran en la cuenca del Mantaro.

Tabla 31. Glaciares rocosos del departamento de Junín

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Central	1	0.05
Chonta	1	0.02
La Viuda	2	0.06
Total	4	0.14

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubiertos de detritos.

²⁶ Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que reciben mayor radiación solar en el hemisferio sur.

JUNÍN POSEE EL 3.45 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Junín posee 1435 lagunas de origen glaciar, que cubren un área de 143.26 km² (tabla 32). La superficie de lagunas que encontramos actualmente en el departamento de Junín equivale al 13 % del total nacional.

Tabla 32. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Junín

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Central	306	37.84
Chonta	29	13.85
Huaytapallana	914	49.82
La Viuda	186	41.75
Total	1435	143.26

Del total de lagunas del departamento de Junín, 1428 son lagunas periglaciares, y siete son lagunas proglaciares que cubren una superficie de 0.17 km², las que presentan el potencial de seguir creciendo y podrían representar peligro (figura 98).

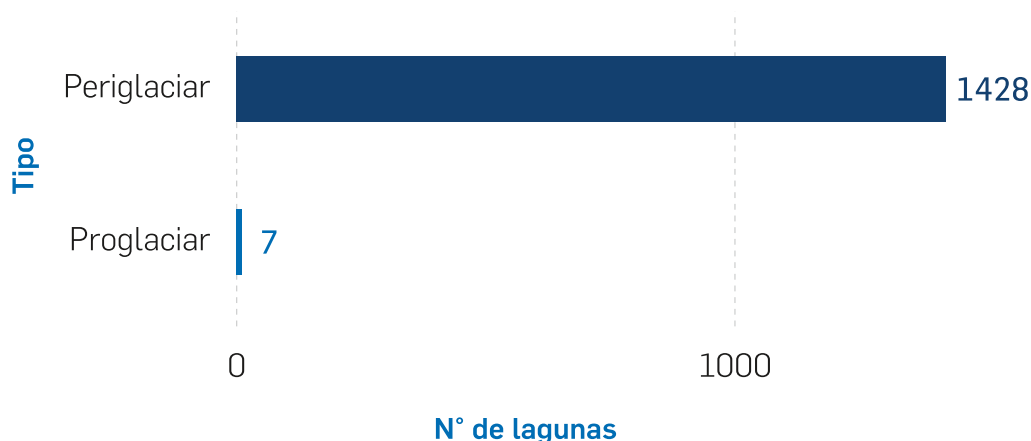


Figura 98. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Junín

La mayoría de las lagunas del departamento de Junín aportan a la vertiente hidrográfica del Atlántico (cuencas del Mantaro y Perené) y tan sólo el 0.24 % al Pacífico (Rímac, Cañete y Chillón), siendo las cuencas del Mantaro y Perené las que poseen la mayor cantidad de lagunas de origen glaciar (figura 99 y 100).

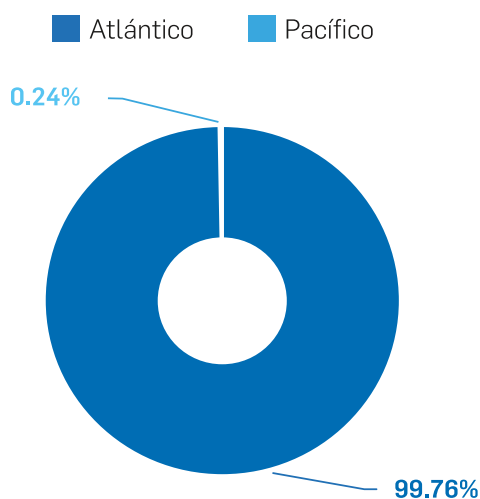


Figura 99. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Junín

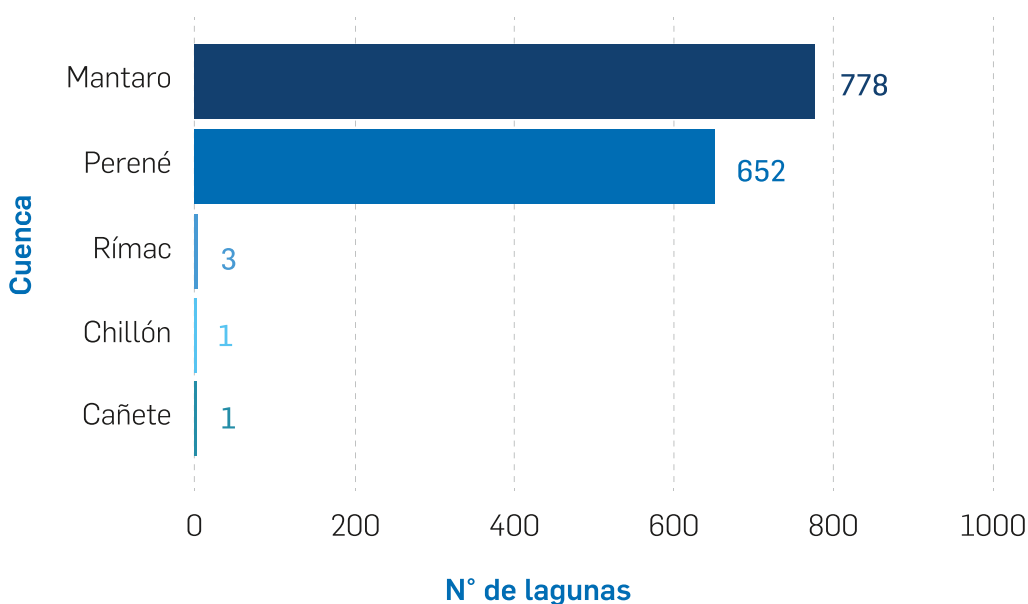


Figura 100. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Junín

Por otro lado, la mayor cantidad de lagunas del departamento de Junín se concentran entre las altitudes de 4000 a 4500 m s.n.m. Asimismo, se ha identificado que las lagunas proglaciares y supraglaciares se encuentran a partir de altitudes superiores a los 4500 m s.n.m (figura 101).

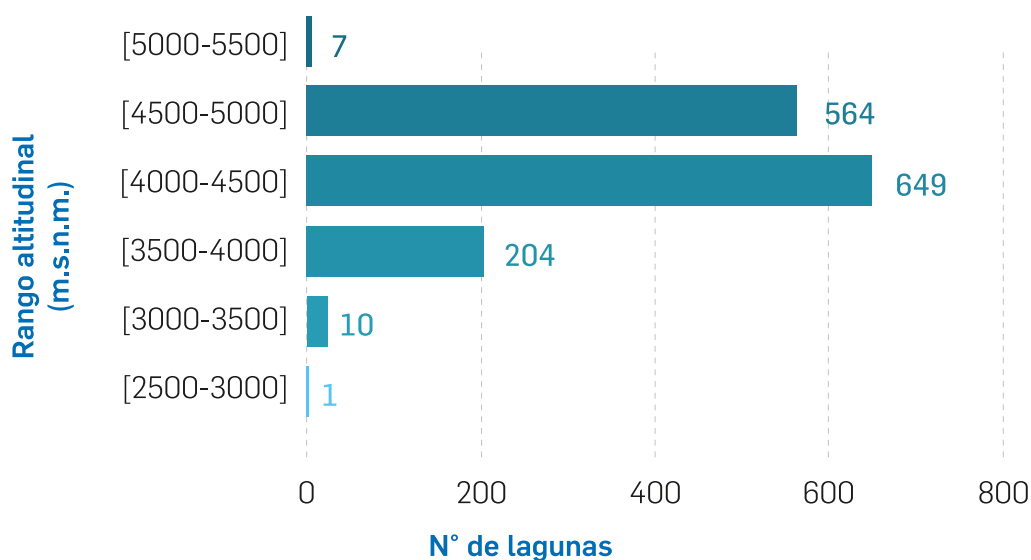


Figura 101. Distribución altitudinal de lagunas de origen glaciar del departamento de Junín



5.2.10. DEPARTAMENTO DE LIMA

El departamento de Lima se encuentra en la costa central del Perú, donde se encuentra la capital del Perú, siendo el departamento con mayor población. Cuenta con 10 provincias y una población de 9 485 405 habitantes (INEI, 2018). En él se encuentran las cordilleras glaciares

de Raura, La Viuda, Huayhuash, Chonta y Central, que cubren las provincias de Cajatambo, Canta, Huaral, Huarochirí, Huaura, Oyón y Yauyos, las que a su vez cuentan con glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 102).

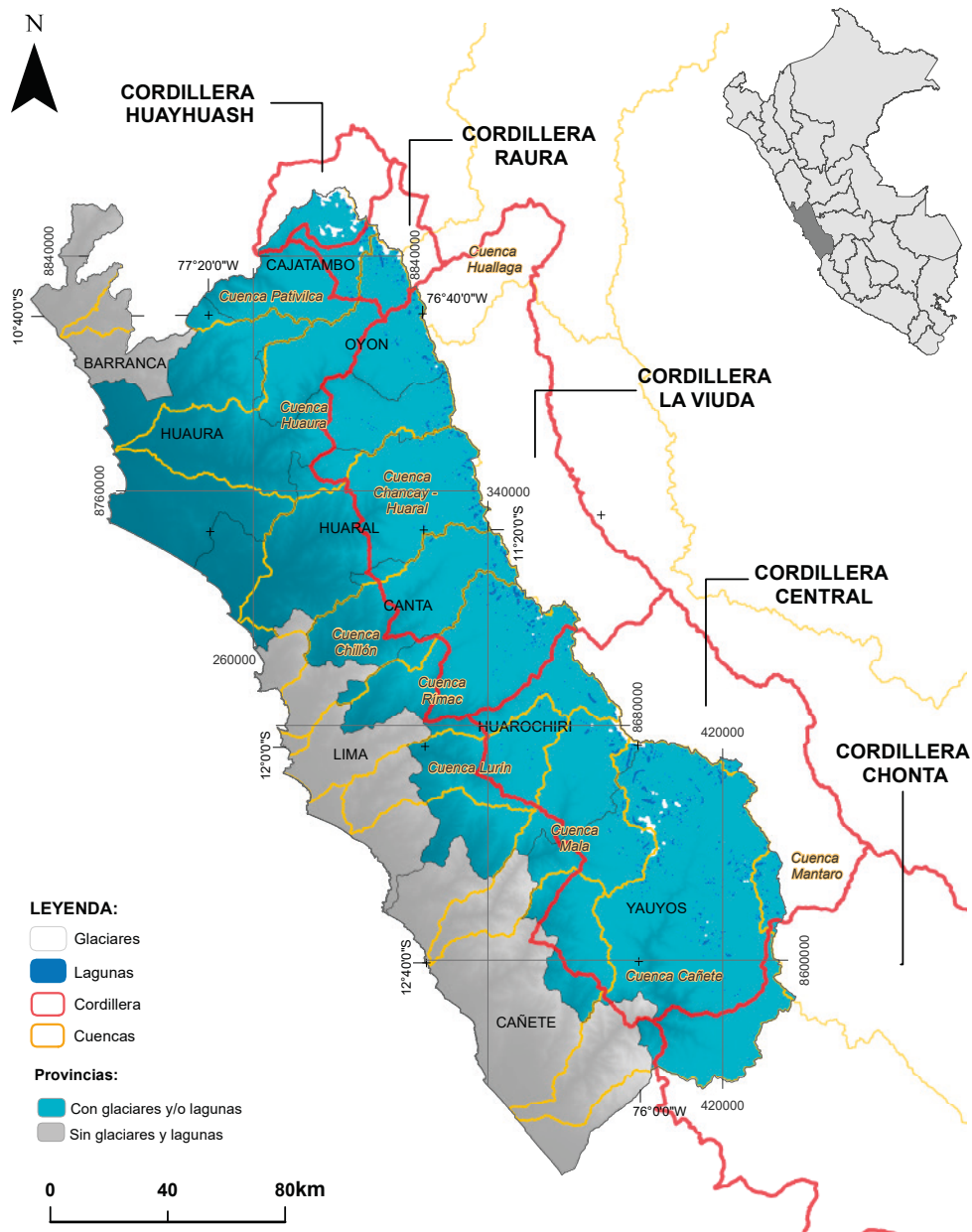


Figura 102. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Lima

A) GLACIARES

En el departamento de Lima se han identificado tres tipos de superficie de glaciar: libres de detritos, cubierto de detritos y rocosos. Predominan los glaciares libres de detritos, con una superficie de 53.7 km² (figura 103).

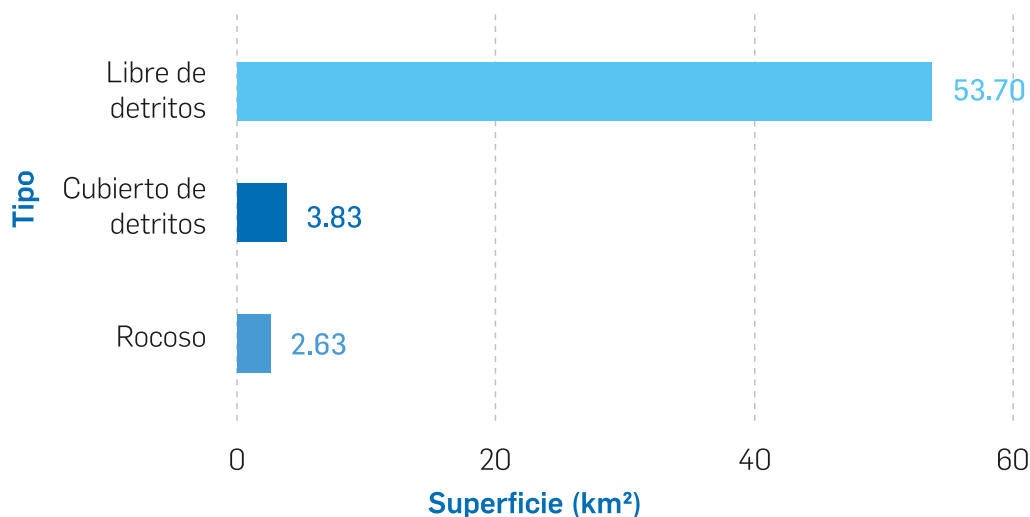


Figura 103. Tipo de superficie glaciar del departamento de Lima

Los resultados del presente inventario muestran que en el departamento de Lima existen 183 glaciares libres y cubiertos por detritos, con una superficie de 57.53 km² (tabla 33). La pérdida de superficie glaciar en los últimos cuatro años fue de 4.69 km² (anexo 1).

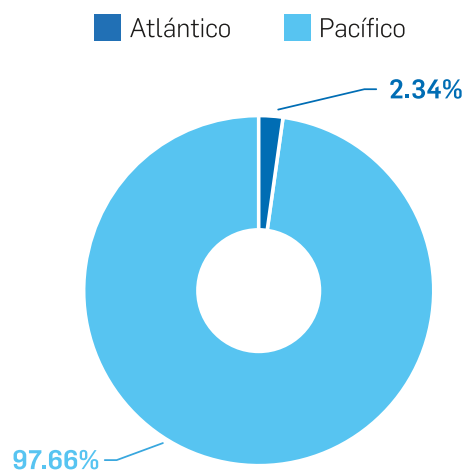
Tabla 33. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Lima

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Central	73	23.98
Huayhuash	57	21.42
La Viuda	22	1.51
Raura	31	10.62
Total	183	57.53

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

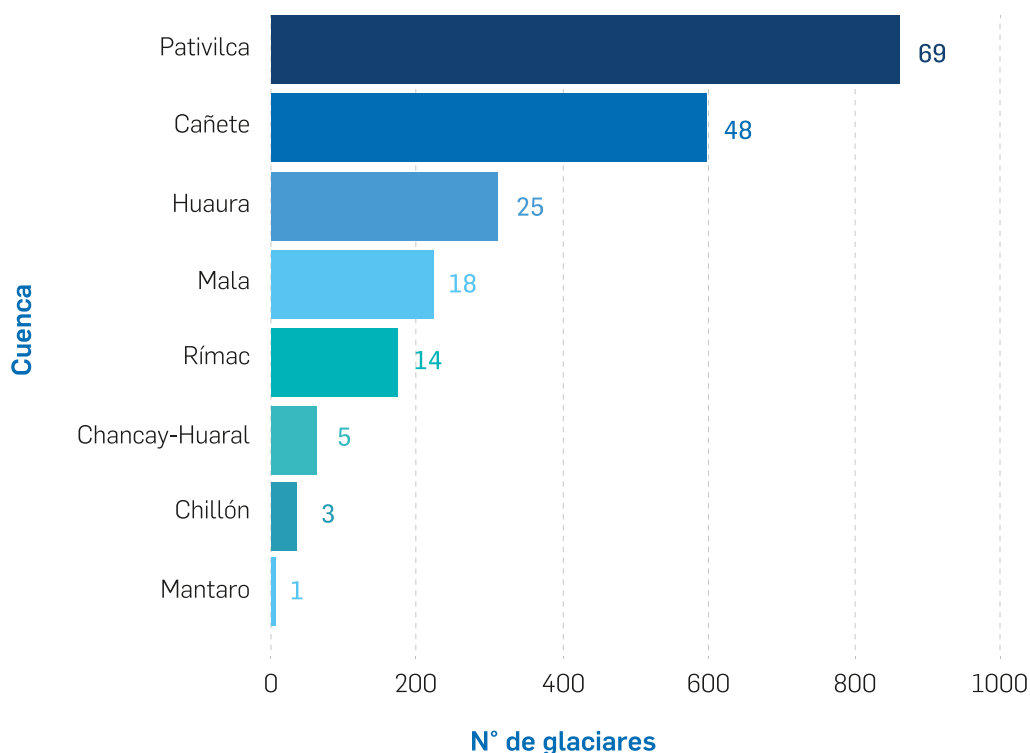
LIMA POSEE EL 5.48 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

La mayoría de los glaciares libres y cubiertos por detritos del departamento de Lima aportan a la vertiente hidrográfica del Pacífico (cuencas de Pativilca, Cañete, Huaura, Mala, Rímac, Chancay - Huaral y Chillón) y el 2 % vierte sus aguas al Atlántico (cuenca del Mantaro). La cuenca de Pativilca es la que presenta mayor concentración con 69 glaciares (figura 104 y 105).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

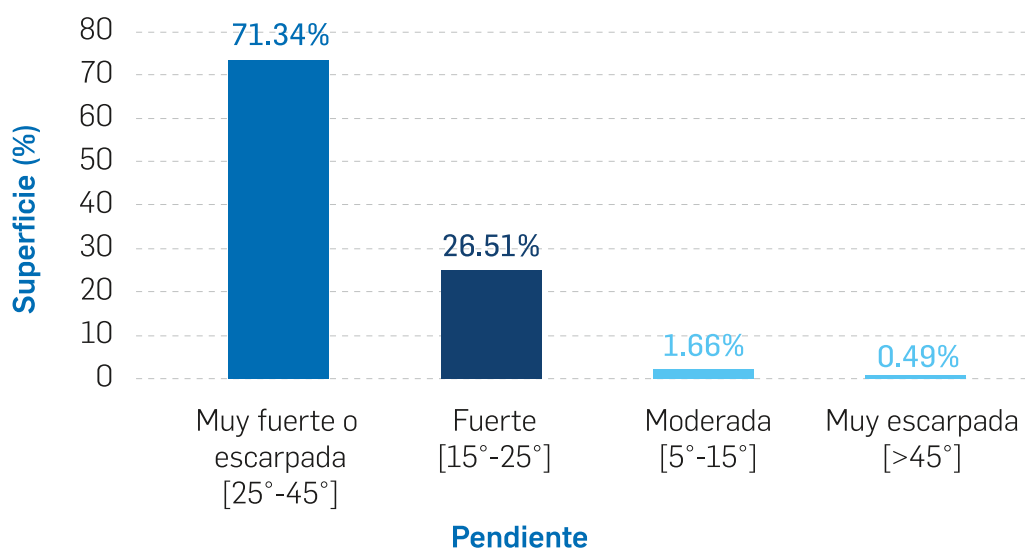
Figura 104. Superficie glaciar según vertiente del departamento de de Lima



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 105. Distribución de glaciares según cuenca del departamento de Lima

En el departamento de Lima, el 72 % de los glaciares libres y cubiertos por detritos se ubican por encima de los 25° de pendiente²⁷, encontrándose en la clasificación “muy fuerte o escarpada” (71 %) y “muy escarpada” (1 %) (figura 106).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

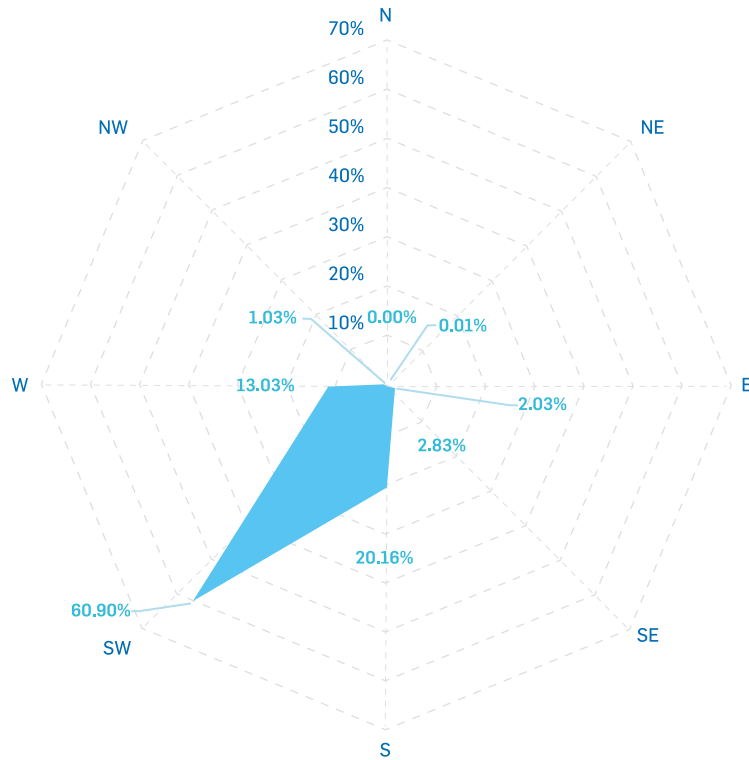
Figura 106. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Lima

En cuanto a la orientación²⁸, los glaciares libres y cubiertos por detritos del departamento de Lima se encuentran orientados predominantemente hacia el suroeste con el 61 % y al sur con 20 % (figura 107), siendo estas orientaciones las que reciben menos radiación solar en el hemisferio sur.

EL 72 % DE LOS GLACIARES DE LIMA, PRESENTAN PENDIENTES SUPERIORES A LOS 25°, HACIÉNDOLOS SUSCEPTIBLES A OCASIONAR PELIGROS DE ORIGEN GLACIAR

²⁷ Parámetro que permite determinar cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares, cuando se ubican en pendientes que superan los 25° (46.6 %) de inclinación pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas.

²⁸ Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que reciben mayor radiación solar en el hemisferio sur.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos.

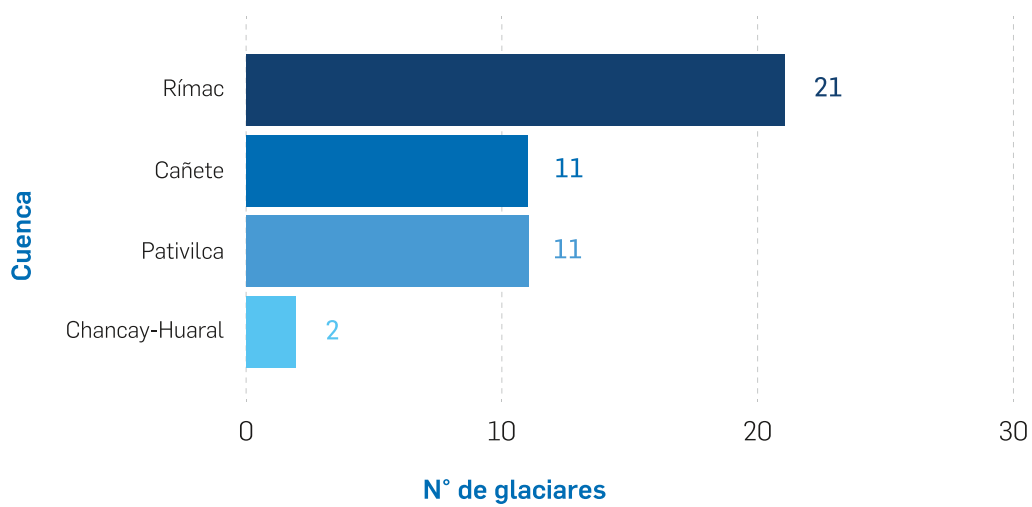
Figura 107. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Lima

Respecto a los glaciares rocosos, en el departamento de Lima se han identificado 45 glaciares (tabla 34), con mayor concentración en las cordilleras Central y La Viuda; y en la cuenca del Rímac (figura 108)

Tabla 34. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Lima

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Central	17	0.63
Huayhuash	10	1.31
La Viuda	17	0.61
Raura	1	0.07
Total	45	2.63

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubiertos de detritos.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 108. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Lima



Camino al glaciar Sullcon
Foto: Edwin Loarte

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Lima posee 953 lagunas de origen glaciar, que cubren un área de 83.02 km² (equivalente al 8 % del total nacional) (tabla 35). Las cordilleras Central y La Viuda son las que contienen mayor concentración de dichas lagunas.

Tabla 35. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Lima

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Central	487	43.93
Chonta	21	0.75
Huayhuash	40	1.64
La Viuda	317	29.13
Raura	88	7.57
Total	953	83.02

En el departamento de Lima, 939 son lagunas periglaciares y 14 son proglaciares; estas últimas cubren una superficie de 0.64 km² y presentan potencial de seguir creciendo y representar peligro (figura 109).

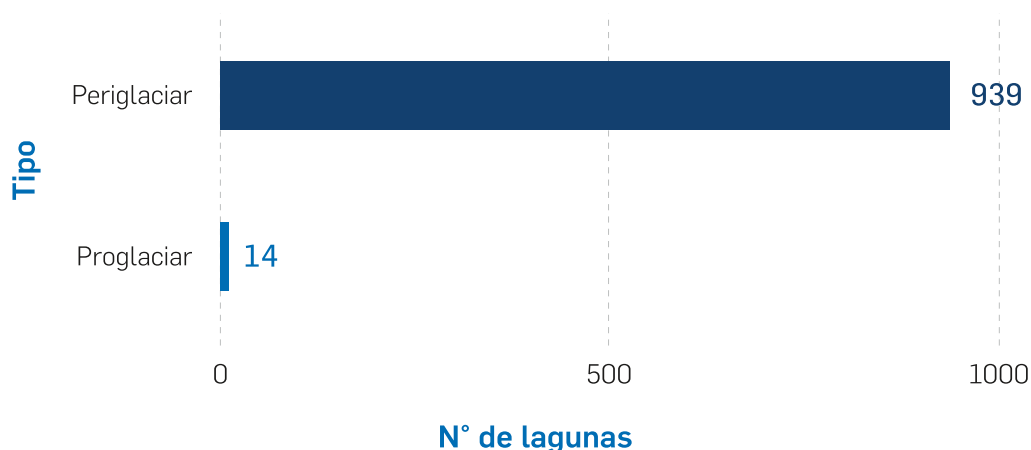


Figura 109. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Lima

La mayoría de las lagunas de origen glaciar del departamento de Lima tributan a la vertiente hidrográfica del Pacífico (cuencas Cañete, Huaura, Rimac, Mala, Pativilca, Chancay - Huaral, Chillón y Lurín) y el 4.08 % a la vertiente del Atlántico (cuencas Mantaro y Huallaga). Hay una mayor concentración en las cuencas de Cañete, Huaura y Rímac (figuras 110 y 111).

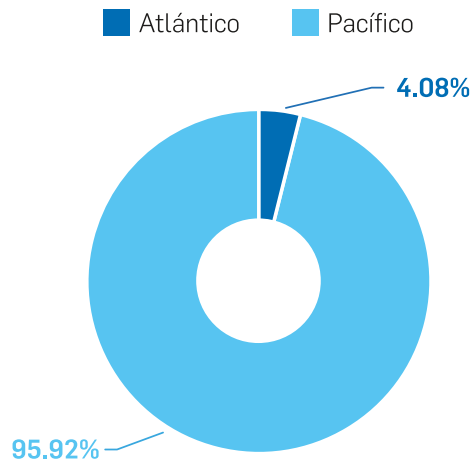


Figura 110. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Lima

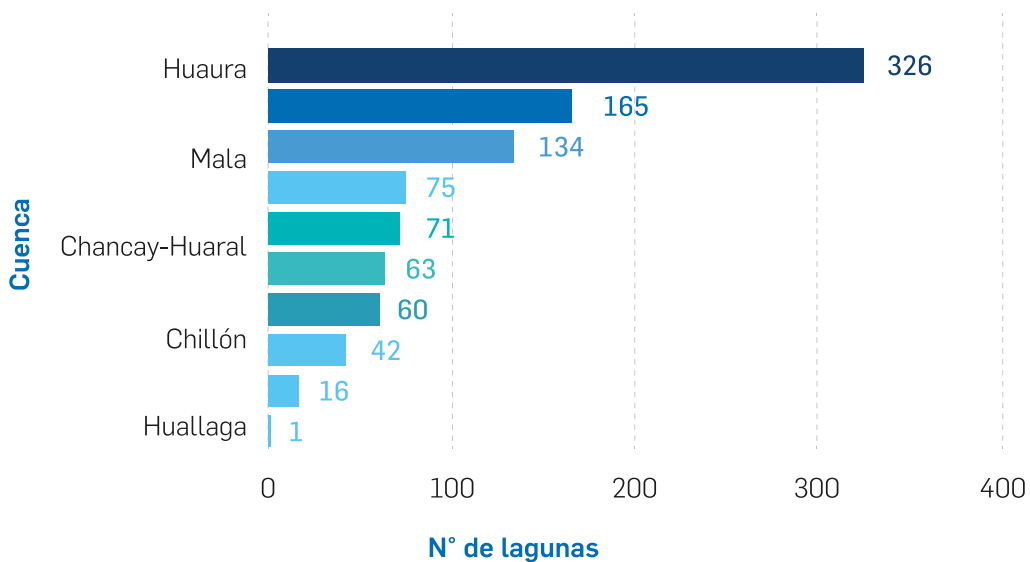


Figura 111. Distribución de las lagunas de origen glaciar según cuenca en el departamento de Lima

Finalmente, se observa mayor cantidad de lagunas del departamento de Lima entre las altitudes de 4500 a 5000 m s.n.m. Asimismo, las lagunas proglaciares se encuentran a partir de los 4500 m s.n.m (figura 112).

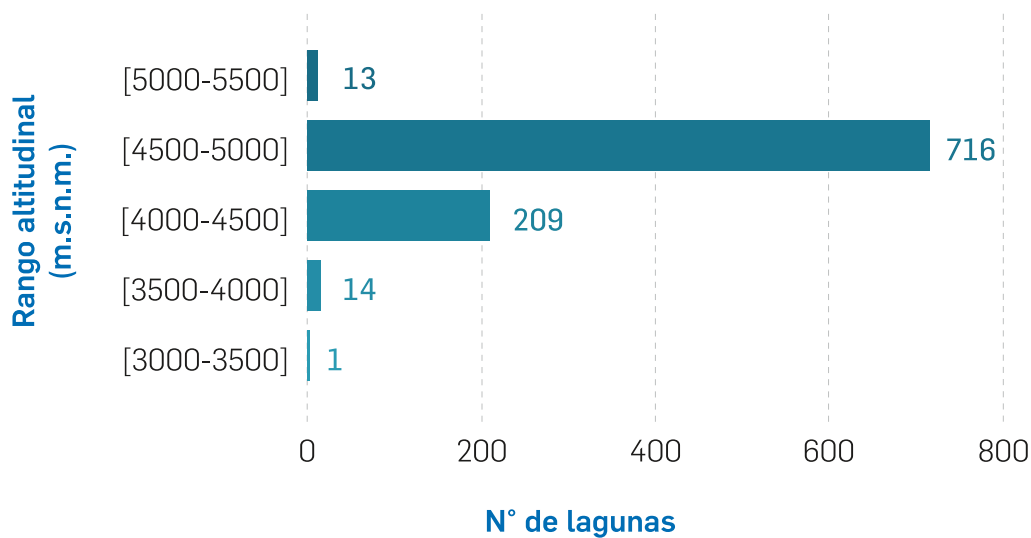


Figura 112. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal del departamento de Lima



5.2.11. DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA

El departamento de Moquegua se ubica al suroeste del Perú. Su territorio presenta costa y región andina, asociada a una topografía accidentada y constituida por conos volcánicos (INGEMMET, 1979). En este departamento se encuentran parte de las cordilleras Barroso y Volcánica, ámbito en el que se distribuyen los glaciares rocosos y lagunas de origen glaciar. Asimismo, las unidades hidrográficas

en las que se sitúan los glaciares y lagunas corresponden a las cuencas de Tambo, Ilo-Moquegua, Locumba, y Quilca-Vitor-Chili. Políticamente, Moquegua está constituido por tres provincias, que concentran una población de 174 863 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de General Sánchez Cerro y Mariscal Nieto presentan glaciares rocosos y/o lagunas de origen glaciar (figura 113).

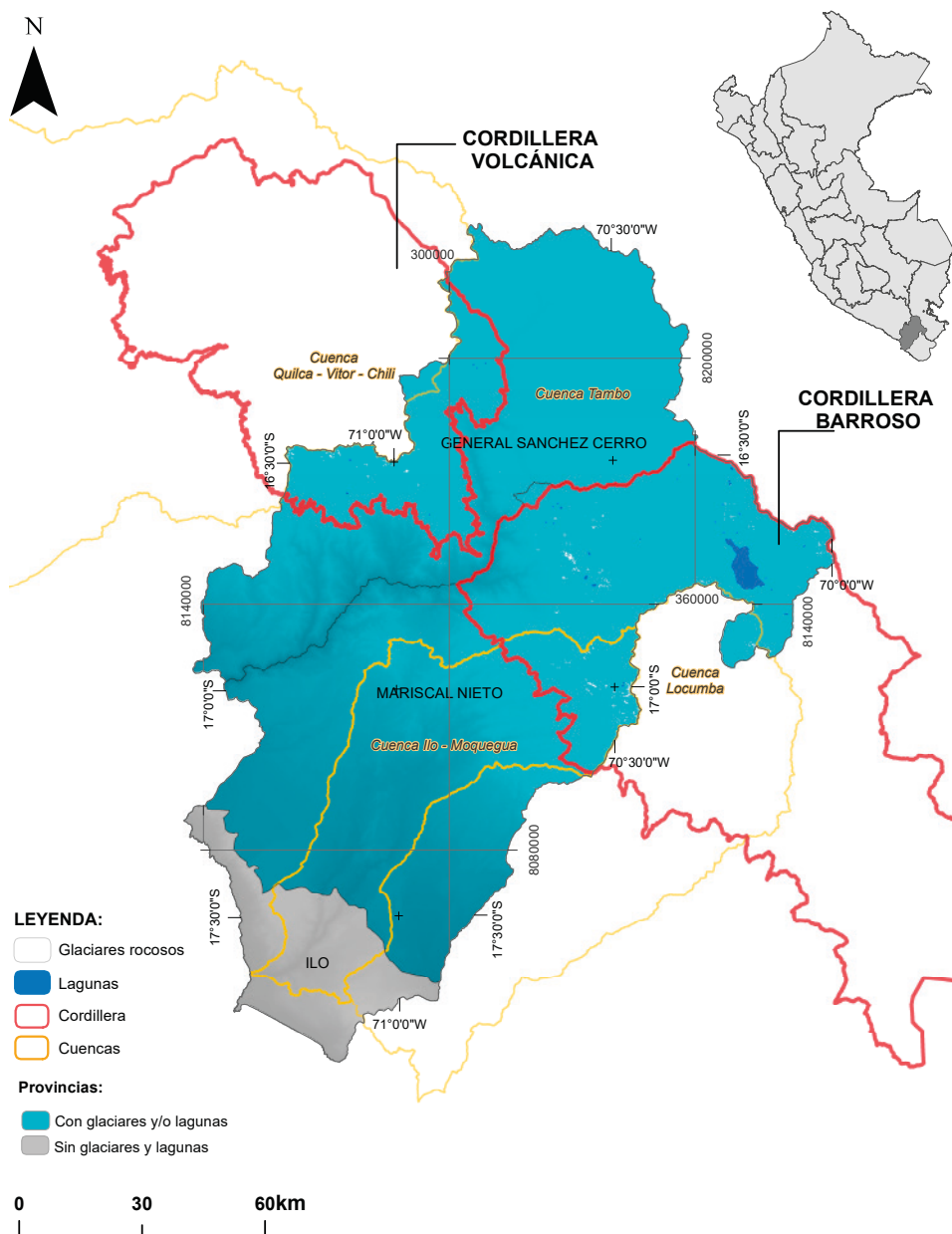


Figura 113. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Moquegua

A) GLACIARES

Según el inventario del 2016, en el departamento de Moquegua no se reportaron glaciares libres y cubiertos de detritos. No obstante, en este inventario se ha identificado la presencia de glaciares rocosos. Los resultados para el departamento de Moquegua indican la existencia de 308 glaciares rocosos, cuya extensión es de 15.52 km² (tabla 36). Estos glaciares se encuentran distribuidos en las cordilleras Barroso y Volcánica, ubicándose en su mayoría en la cuenca de Tambo (figura 114 y tabla 36).

Tabla 36. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Moquegua

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Barroso	245	13.13
Volcánica	63	2.39
Total	308	15.52

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubiertos de detritos.

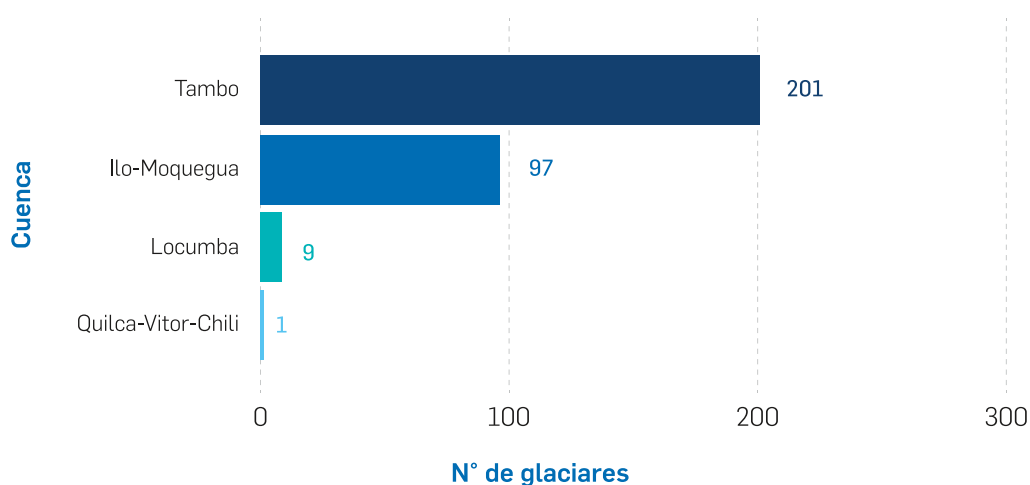


Figura 114. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Moquegua

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Moquegua posee 32 lagunas de origen glaciar. Estas cubren un área de 49.94 km², equivalente al 5 % del total nacional (tabla 37).

Tabla 37. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Moquegua

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Barroso	26	49.78
Volcánica	6	0.16
Total	32	49.94

En Moquegua, la totalidad de lagunas son del tipo periglaciar. La fuente principal de alimentación de estas lagunas proceden de la lluvia, granizo y nieve estacional, principalmente durante los meses de diciembre a marzo (INGEMMET, 1979).

Las lagunas del departamento de Moquegua aportan sus aguas a la vertiente del Pacífico. Dichas lagunas se ubican en su mayoría en la cuenca del Tambo (figura 115).

Finalmente, podemos mencionar que en el departamento de Moquegua la mayor cantidad de lagunas se concentran entre las altitudes de 4500 a 5000 m s.n.m. (figura 116).

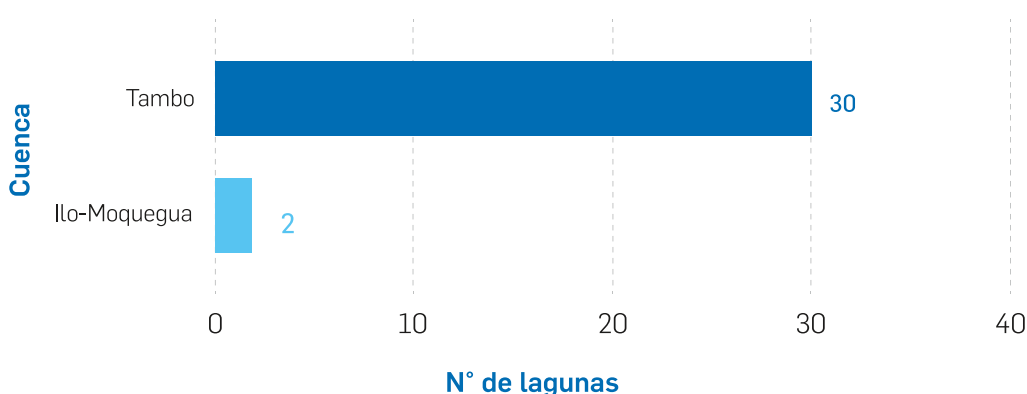


Figura 115. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Moquegua

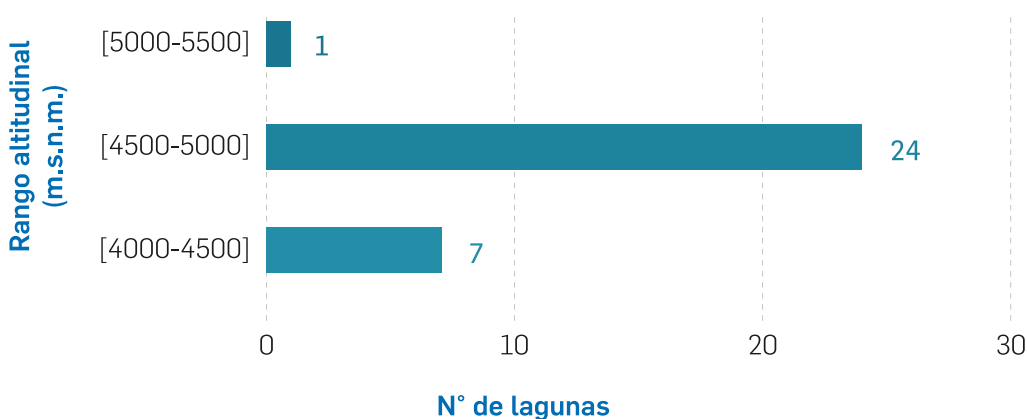


Figura 116. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal de lagunas del departamento de Moquegua

5.2.12. DEPARTAMENTO DE PASCO

El departamento de Pasco se ubica en el centro del Perú. Su territorio presenta topografía accidentada, con regiones andinas y de selva amazónica. En este departamento se encuentran parte de las cordilleras Raura, Huagoruncho y La Viuda, ámbito en el que se distribuyen los glaciares y lagunas de origen glaciar. Asimismo, las unidades hidrográficas en

las que se sitúan los glaciares y lagunas corresponden a las cuencas de Mantaro, Pachitea, Perené y Huallaga. Políticamente, Pasco está constituido por tres provincias, que concentran una población de 254 065 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de Oxapampa, Pasco y Daniel Alcides Carrión presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 117).

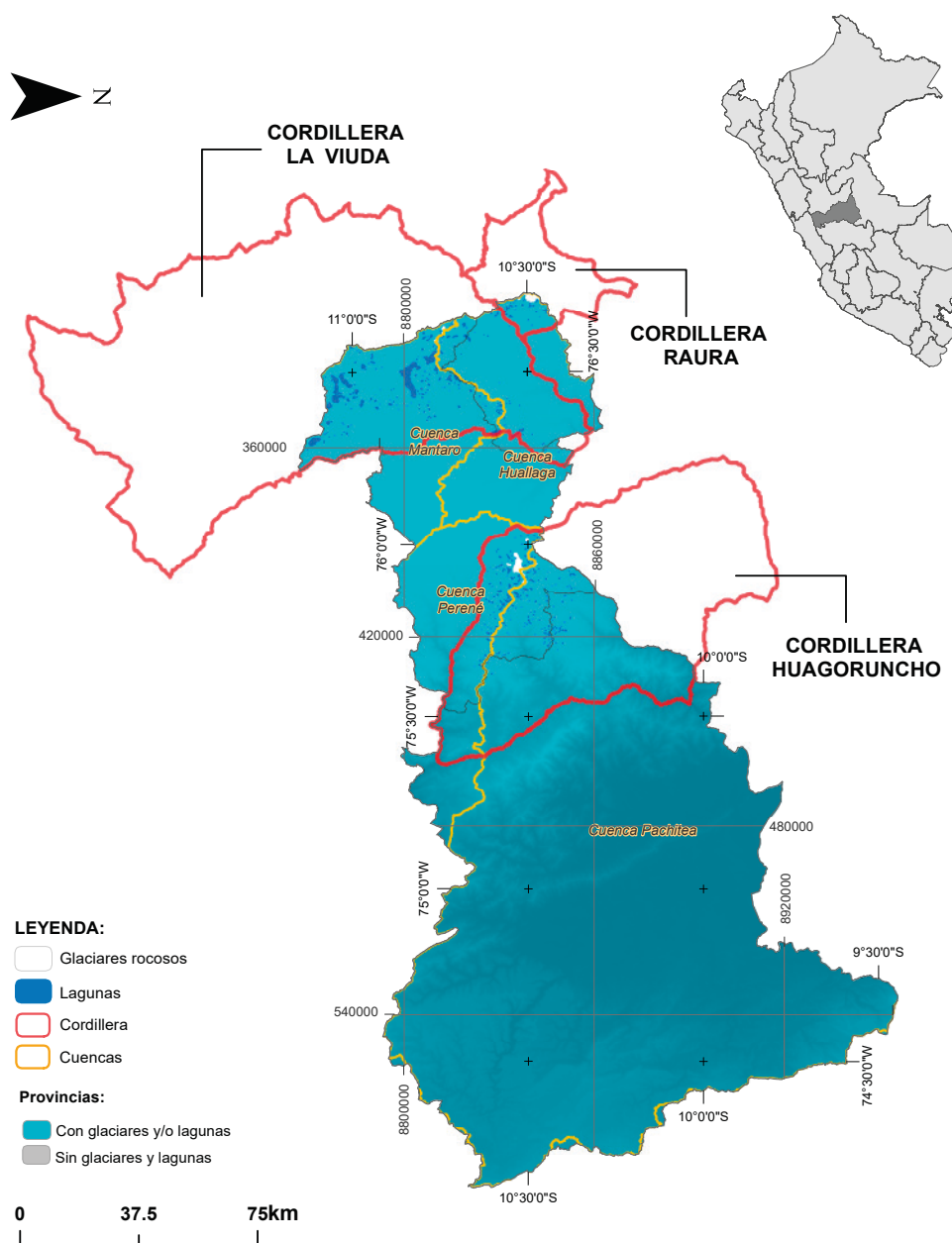


Figura 117. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Pasco

A) GLACIARES

En el presente inventario, los glaciares se han clasificado en libres de detritos, cubiertos de detritos y glaciares rocosos, no habiéndose identificado glaciares de tipo rocoso en el departamento de Pasco. Los resultados para este departamento muestran que los glaciares libres de detritos son los predominantes (figura 118).

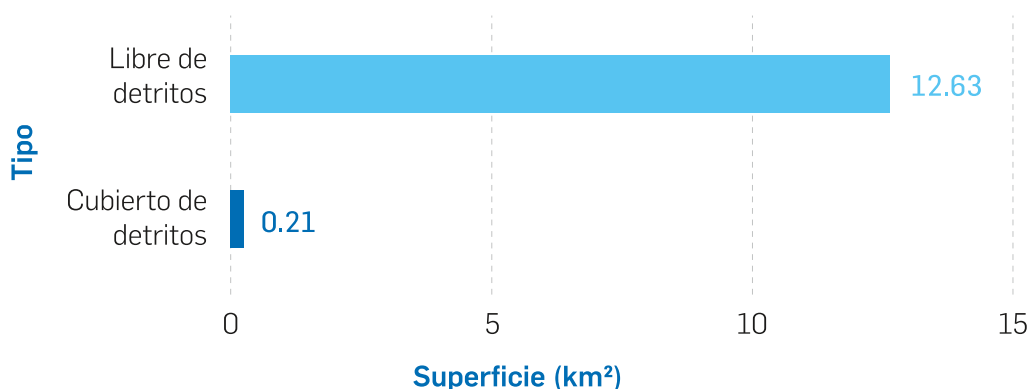


Figura 118. Tipo de superficie glaciar del departamento de Pasco

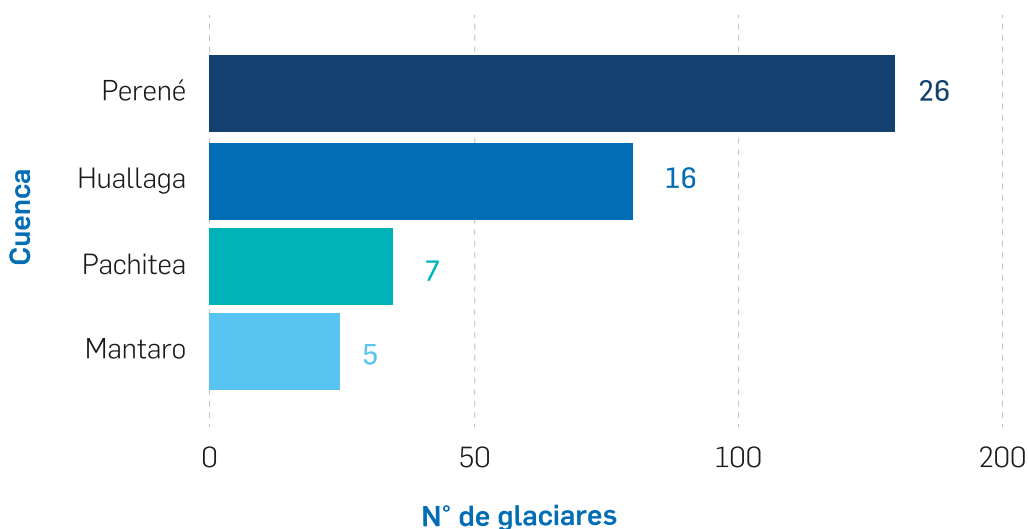
Al año 2020, en el departamento de Pasco existen 54 glaciares, que en su conjunto equivalen a una superficie de 12.84 km² (tabla 38). La pérdida de superficie glaciar en los últimos cuatro años fue de 1.38 km² (anexo 2).

Tabla 38. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Pasco

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Huagoruncho	33	6.48
La Viuda	11	0.84
Raura	10	5.52
Total	54	12.84

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

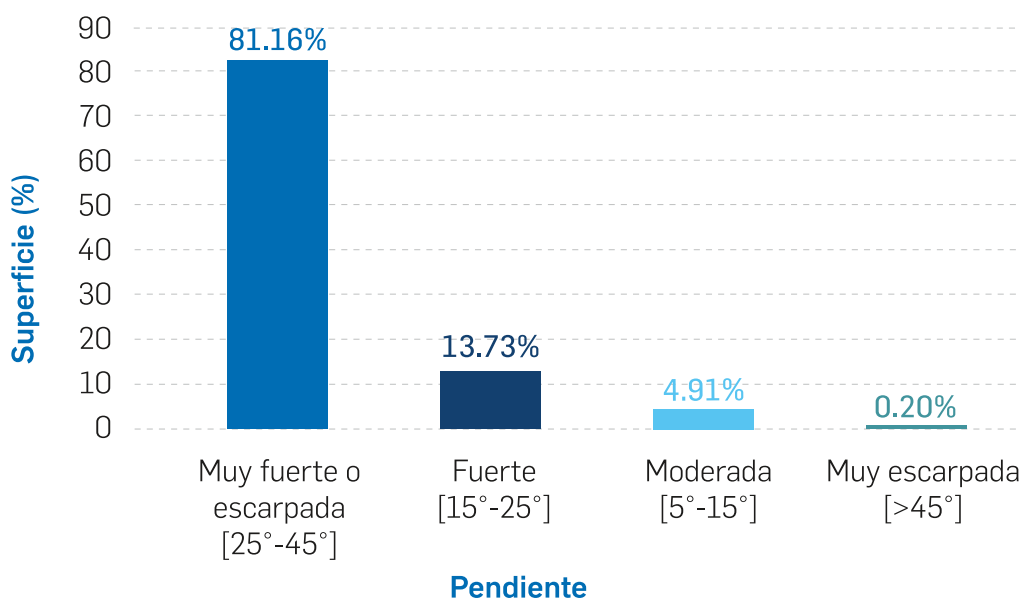
La cordillera Huagoruncho presenta la mayor superficie y cantidad de glaciares libres y cubiertos de detritos dentro de este departamento (tabla 38). Asimismo, estos glaciares aportan sus aguas únicamente a la vertiente hidrográfica del Atlántico, encontrándose mayor cantidad de glaciares en la cuenca del Perené (figura 119).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 119. Distribución de glaciares según cuenca en el departamento de Pasco

En el departamento de Pasco, la mayoría de glaciares libres y cubiertos de detritos se ubican por encima de los 25° de pendiente²⁹, encontrándose en las categorías de “escarpada” y “muy escarpada” (figura 120).

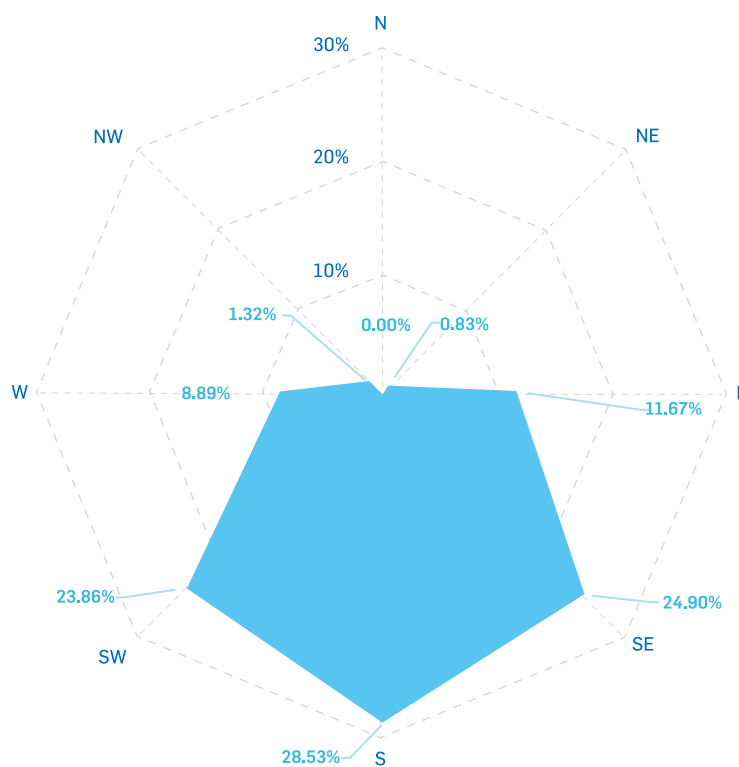


*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 120. Superficie del glaciar según rango de pendiente del departamento de Pasco

²⁹ Parámetro que permite determinar cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares, cuando se ubican en pendientes que superan los 25° (46.6 %) de inclinación pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas.

En cuanto a la orientación³⁰ de los glaciares limpios y cubiertos de detritos, en el departamento de Pasco estos se encuentran predominantemente hacia el sur (29 %), sureste (25 %) y suroeste (24 %) (figura 121), siendo estas orientaciones las que reciben menos horas de radiación solar en el hemisferio sur



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos.

Figura 121. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Pasco

PASCO SOLO POSEE EL 1.22 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

³⁰ Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que más horas de radiación solar reciben en el hemisferio sur.

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Pasco posee 544 lagunas de origen glaciar. Estas cubren un área de 96.86 km², equivalente al 9 % del total nacional (tabla 39).

Tabla 39. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Pasco

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Huagoruncho	274	17.73
La Viuda	236	76.86
Raura	34	2.27
Total	544	96.86

Del total de lagunas del departamento de Pasco, la mayoría son periglaciares, y sólo una es del tipo proglaciar que cubre una superficie de 0.04 km², la cual se encuentra en contacto con glaciar de código "4995449_30" (cuenca del Perené). Esta laguna presenta potencial de seguir creciendo y podría representar peligro (figura 122).

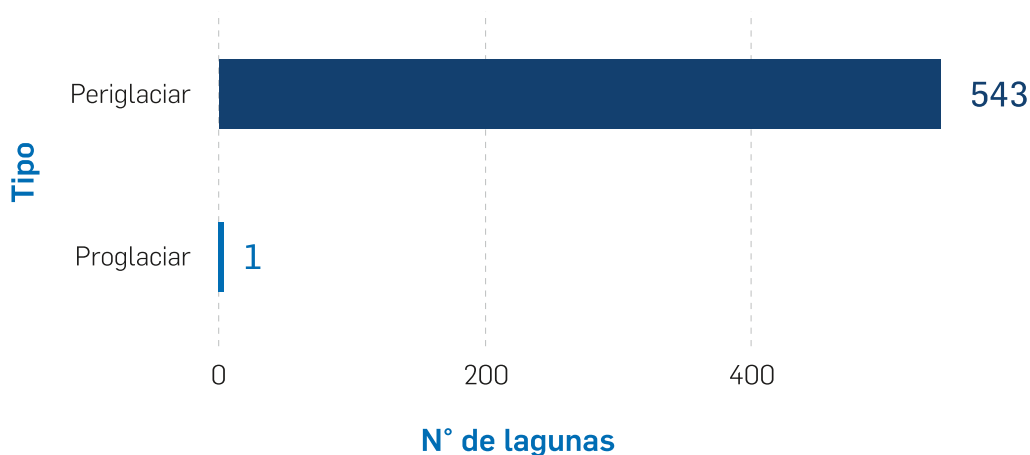


Figura 122. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Pasco

Las lagunas de origen glaciar del departamento de Pasco aportan sus aguas a la vertiente del Atlántico, siendo la cuenca del Mantaro la que mayor cantidad de lagunas presenta (figura 123).

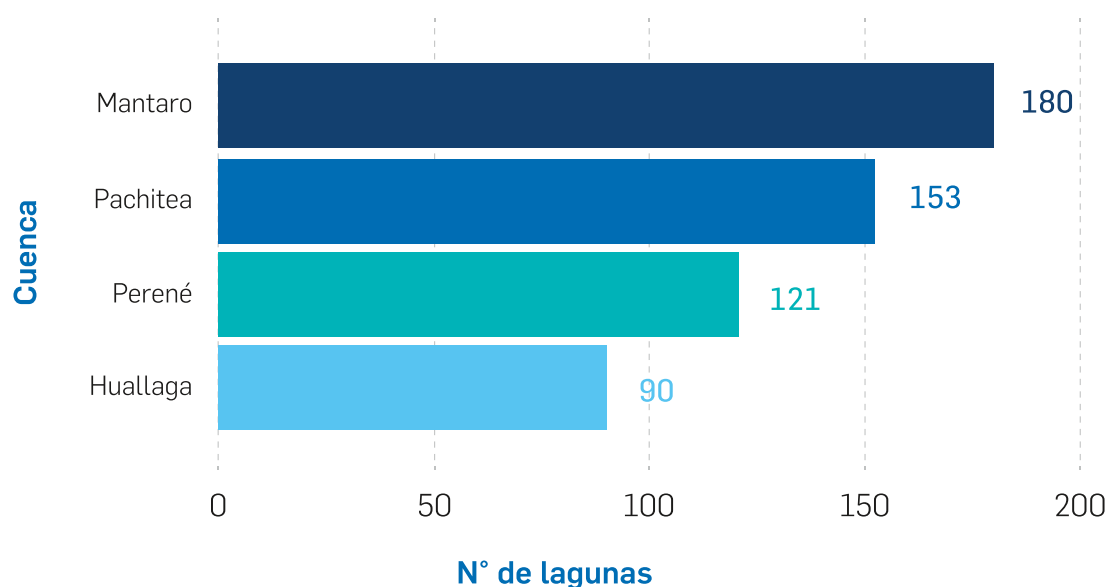


Figura 123. Distribución de lagunas de origen glaciar según cuenca del departamento de Pasco

Finalmente, podemos mencionar que en el departamento de Pasco la mayor cantidad de lagunas de origen glaciar se concentran entre las altitudes de 4000 a 4500 m s.n.m. (figura 124). Asimismo, la única laguna proglaciar se encuentra en el rango altitudinal de 4500 a 5000 m. s.n.m.

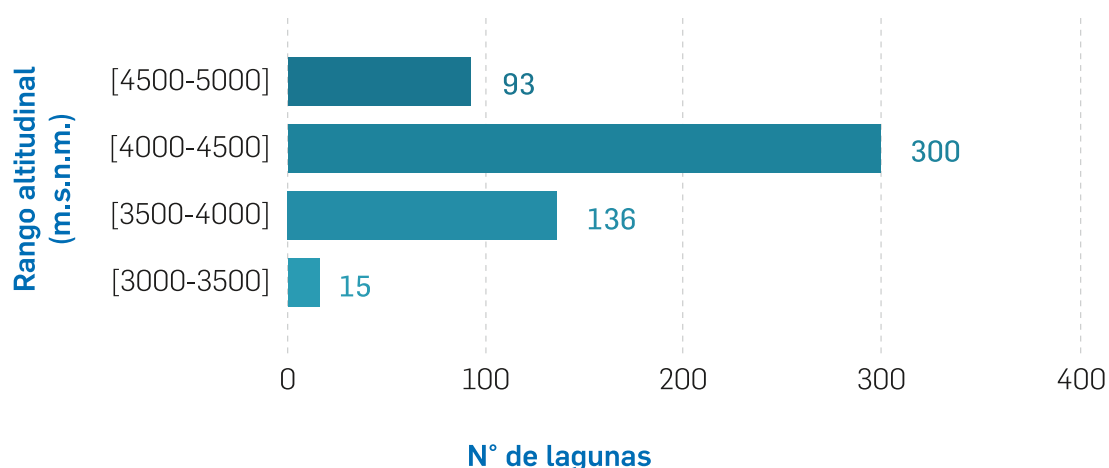


Figura 124. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal de lagunas del departamento de Pasco

5.2.13. DEPARTAMENTO DE PUNO

El departamento de Puno se localiza al sureste del Perú, en la zona limítrofe con Bolivia. En su territorio se puede encontrar, además de otros ecosistemas importantes, a los glaciares y lagunas de origen glaciar distribuidas en las cordilleras glaciares Vilcanota, Apolobamba, La Raya, Carabaya y Barroso. Políticamente, Puno

está conformado por 13 provincias, que concentran una población de 1 172 697 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de Carabaya, Melgar, San Antonio de Putina, Sandia, El Collao y Huanacán son las que presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 125).

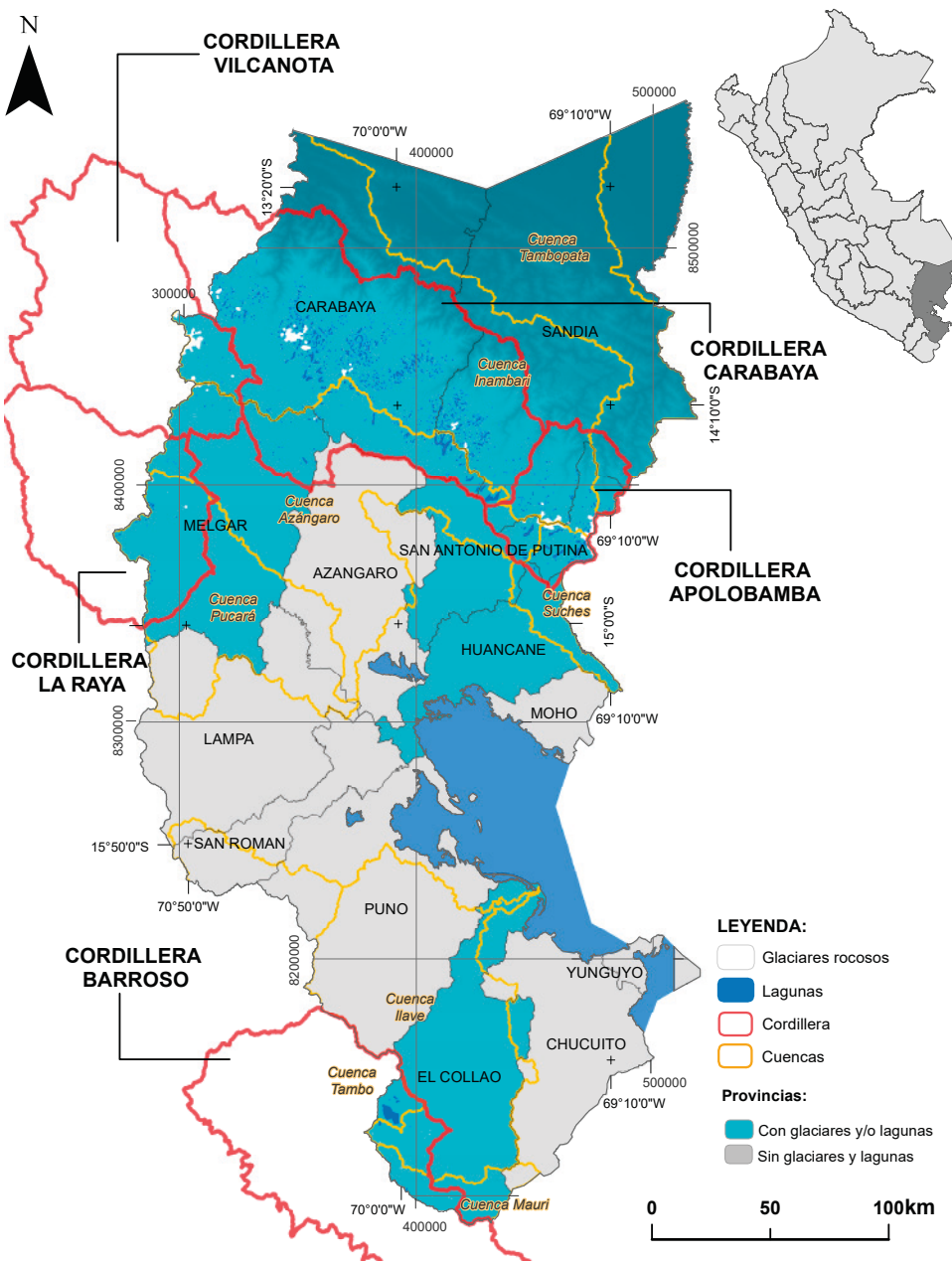


Figura 125. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Puno

A) GLACIARES

En el departamento de Puno se identificaron tres tipos de superficie glaciar: libre de detritos, cubierto de detritos y rocosos. Los glaciares libres de detritos son los que predominan, con una superficie de 80.37 km² (figura 126).

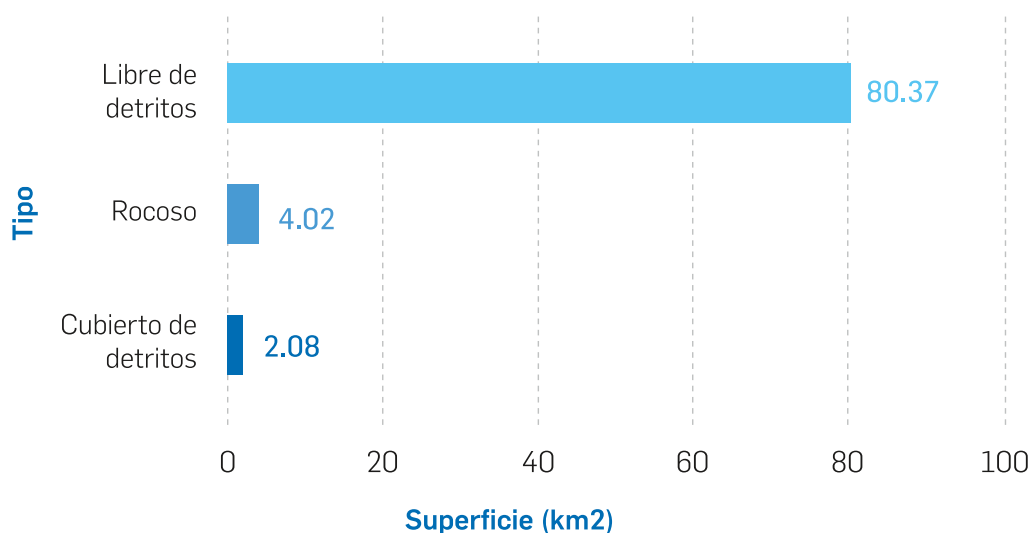


Figura 126. Tipo de superficie glaciar del departamento de Puno

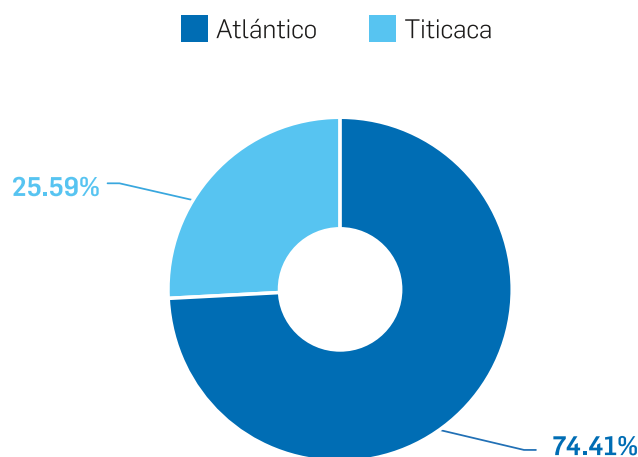
Los resultados muestran que el departamento de Puno presenta 254 glaciares libres y cubiertos por detritos, con una superficie de 82.46 km² (tabla 40). La pérdida de la superficie glaciar en los últimos cuatro años fue de 8.28 km² (anexo 1).

Tabla 40. Glaciares libres y cubiertos por detritos según cordillera del departamento de Puno

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Apolobamba	74	35.08
Carabaya	104	20.13
La Raya	5	0.22
Vilcanota	71	27.02
Total	254	82.46

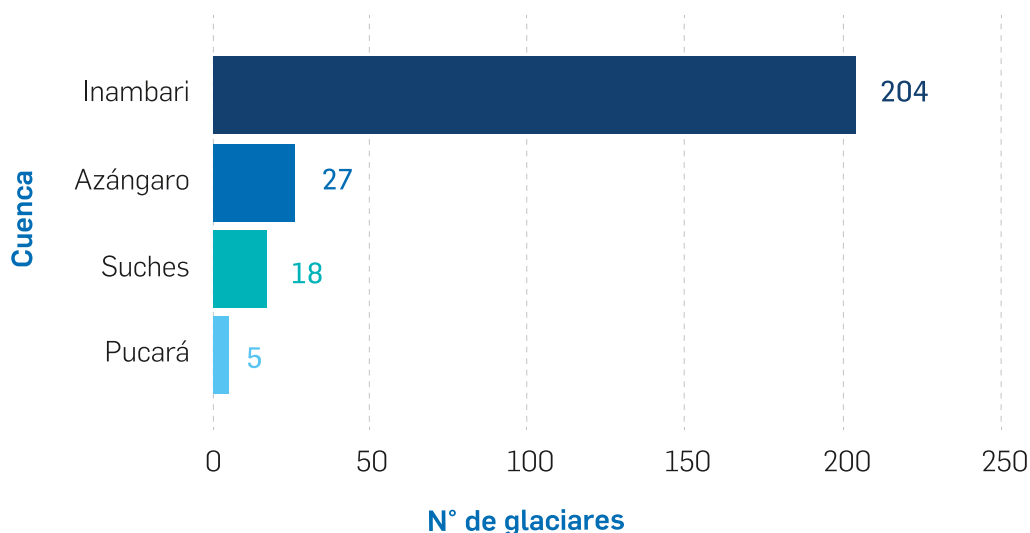
*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

En el departamento de Puno, el 74 % de los glaciares libres y cubiertos por detritos tributan sus aguas a la vertiente hidrográfica del Atlántico (cuenca Inambari), y el 26 % vierten sus aguas al lago Titicaca (cuencas Azángaro, Suches y Pucará) (figura 127). La cuenca de Inambari es la que presenta mayor concentración, con 204 glaciares (figura 128).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

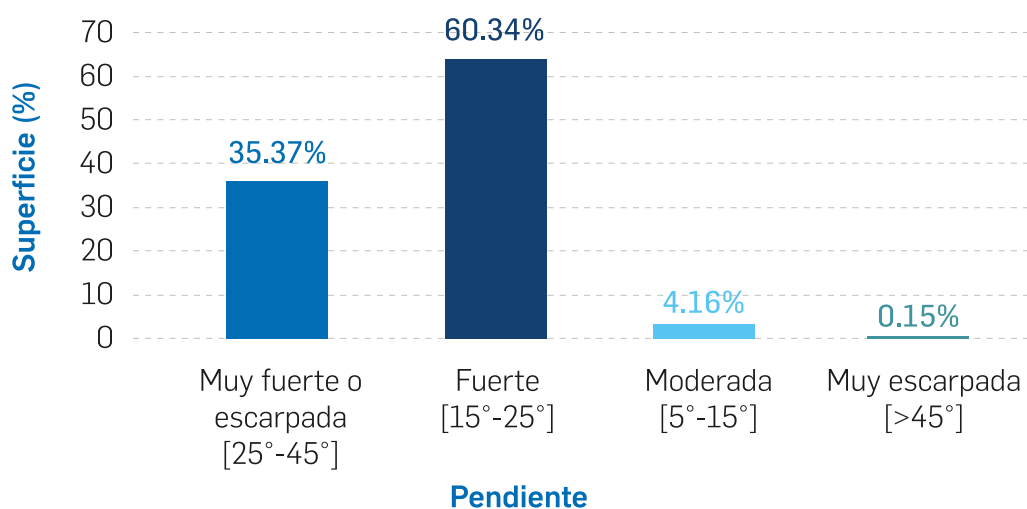
Figura 127. Superficie glaciar según vertiente del departamento de Puno



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos.

Figura 128. Distribución de glaciares según cuenca del departamento de Puno

En el departamento de Puno, la mayoría de los glaciares libres y cubiertos se ubican en pendiente fuerte. Entre tanto, el 36 % de los glaciares se ubican por encima de los 25° de pendiente³¹, encontrándose en la clasificación "muy fuerte o escarpada" (35 %) y "muy escarpada" (0.15 %) (figura 129).



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos de detritos

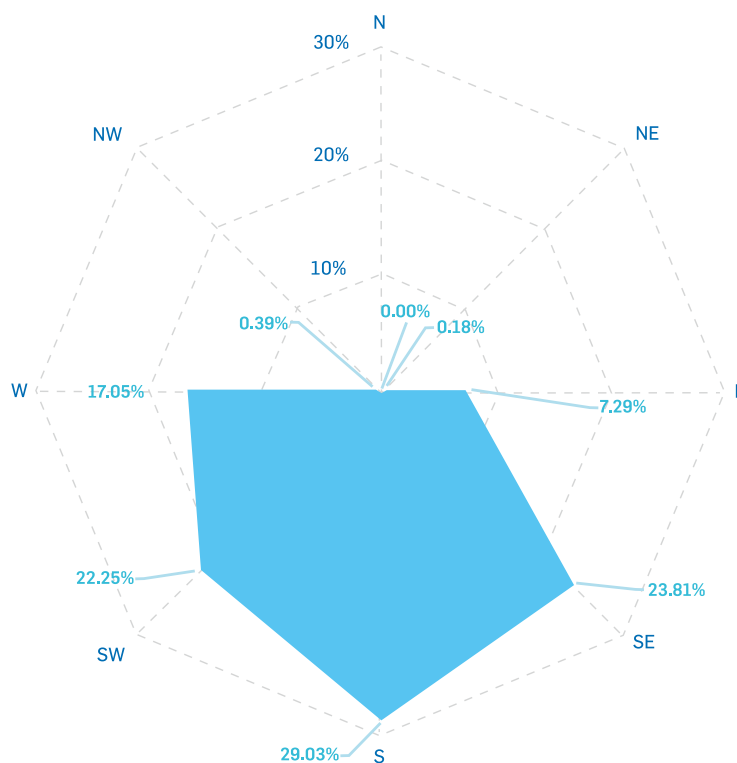
Figura 129. Superficie glaciar según rango de pendiente del departamento de Puno



Quellcaya, Límite entre Cusco y Puno
Foto: Renny Díaz

³¹ Parámetro que permite determinar cuán empinado se encuentra el terreno donde se emplazan los glaciares, cuando se ubican en pendientes que superan los 25° (46.6 %) de inclinación pueden constituir una amenaza (GAPHAZ, 2017), haciéndolos susceptibles a generar desplomes o avalanchas.

En cuanto a la orientación³², los glaciares libres y cubiertos por detritos en el departamento de Puno se encuentran orientados predominantemente hacia el sur (29%), sureste (24 %) y suroeste (22 %) (figura 130), siendo estas orientaciones las que reciben menos horas de radiación solar en el hemisferio sur.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos

Figura 130. Orientación de la superficie glaciar del departamento de Puno

Respecto a los glaciares rocosos, en el departamento de Puno se han identificado 107, cuya extensión es de 4.02 km² (tabla 41); con mayor concentración en la cordillera Barroso y la cuenca de Mauri (figura 131).

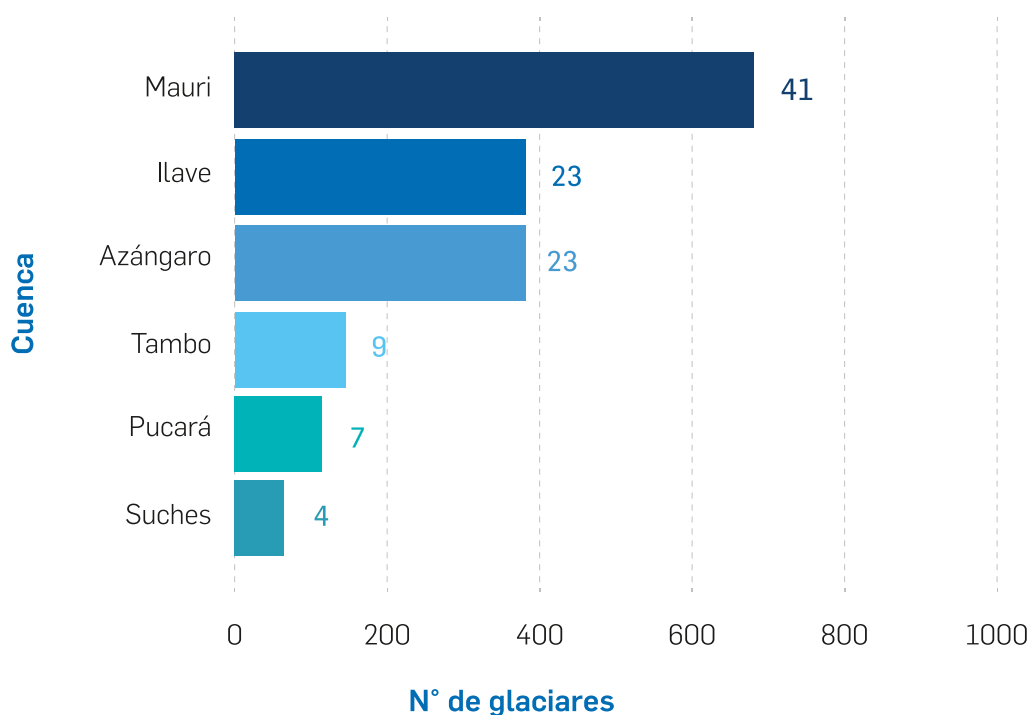
PUNO POSEE EL 7.85 % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE GLACIARES LIBRES Y CUBIERTOS POR DETRITOS EN EL PERÚ

³² Parámetro que permite identificar aquellas zonas glaciares que podrían estar expuestas a mayor o menor retroceso glaciar debido a su exposición a la radiación solar. Las orientaciones norte, noreste y noroeste son las que reciben mayor radiación solar en el hemisferio sur.

Tabla 41. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Puno

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Apolobamba	4	0.12
Barroso	73	2.85
La Raya	7	0.31
Vilcanota	23	0.75
Total	107	4.02

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubiertos de detritos.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos.

Figura 131. Distribución de los glaciares rocosos según cuencas del departamento de Puno

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Puno posee 1532 lagunas de origen glaciar, que cubren un área de 166.30 km² (equivalente al 15 % del total nacional) (tabla 42). La mayor concentración de lagunas se encuentra en la cordillera Carabaya, con 1237 lagunas.

Tabla 42. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Puno

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Apolobamba	207	36.15
Barroso	8	29.21
Carabaya	1237	98.22
La Raya	54	1.90
Vilcanota	26	0.82
Total	1532	166.30

Del total de lagunas del departamento de Puno, 1518 son periglaciares y 14 proglaciares. Estas últimas cubren una superficie de 0.7 km². Y tienen potencial de seguir creciendo y podrían representar peligro (figura 132).

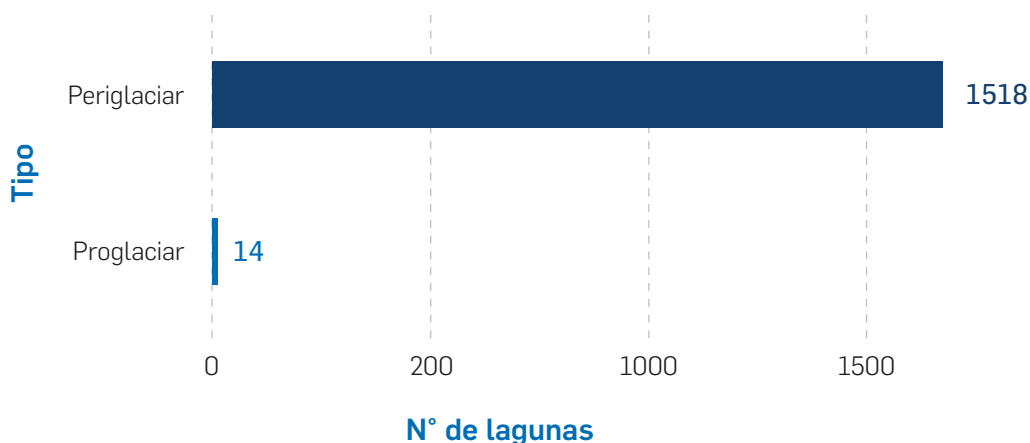


Figura 132. Tipo de lagunas de origen glaciar del departamento de Puno

En este departamento, el 42 % de superficie de lagunas de origen glaciar tributan hacia la vertiente hidrográfica del Atlántico (cuenca Inambari), el 40 % al Titicaca (cuencas Azángaro, Suches, Pucará) y 17 % al Pacífico (cuenca Tambo). Hay una mayor concentración en la cuenca de Inambari, con 1211 lagunas (figuras 133 y 134).

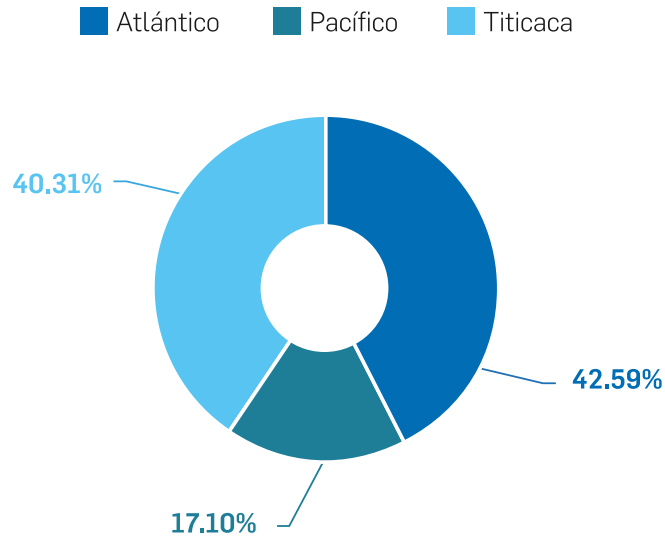


Figura 133. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Puno

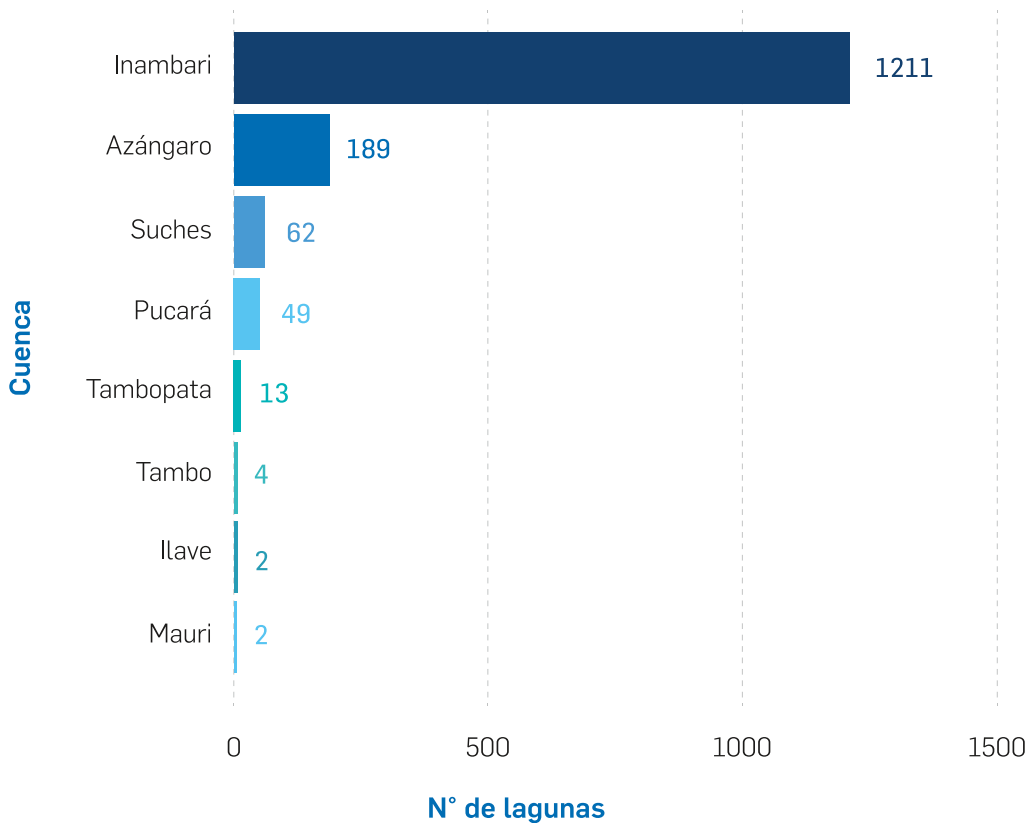


Figura 134. Distribución de las lagunas de origen glaciar según cuenca en el departamento de Puno

Finalmente, la mayor cantidad de lagunas del departamento de Puno se concentran entre las altitudes de 4500 a 5000 m s.n.m, donde se encuentran 763 lagunas de origen glaciar. Asimismo, se puede mencionar que las lagunas proglaciares se encuentran a partir de los 4500 m s.n.m. (figura 135).

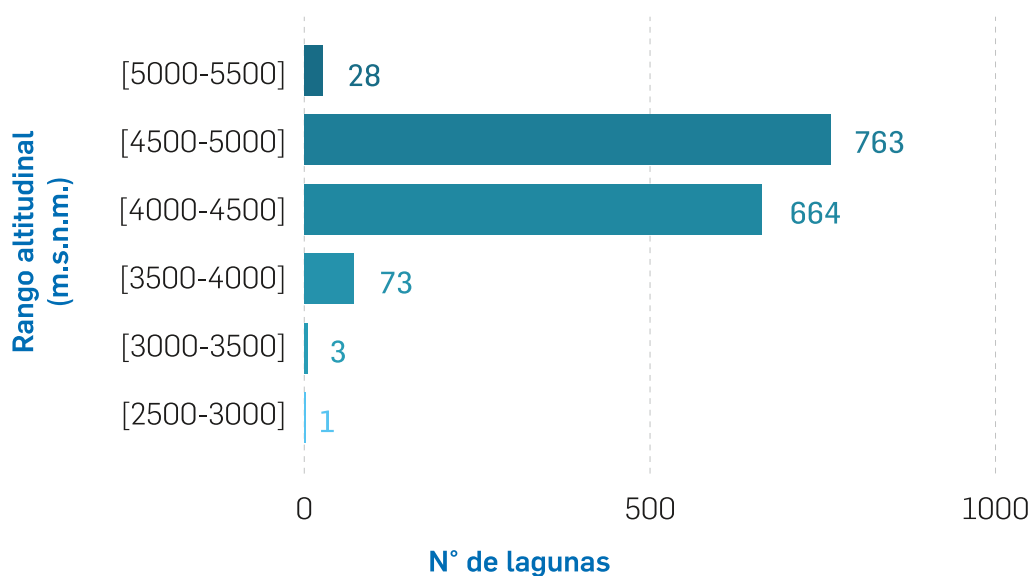


Figura 135. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal del departamento de Puno



Glaciar Riti Upmascca y laguna en formación
Foto: Ricardo Vila

5.2.14. DEPARTAMENTO DE TACNA

El departamento de Tacna se localiza en el sur del Perú. Su territorio comprende una zona de la árida llanura costera y un sector de puna andina, al sur de la meseta del Collao. Allí se ubican ecosistemas importantes, como los glaciares rocosos y lagunas de origen glaciar distribuidas

en la cordillera Barroso. Políticamente, Tacna está conformado por cuatro provincias, que concentran una población de 329 332 habitantes (INEI, 2018). Las provincias de Candarave, Tacna y Tarata presentan glaciares y/o lagunas de origen glaciar (figura 136).

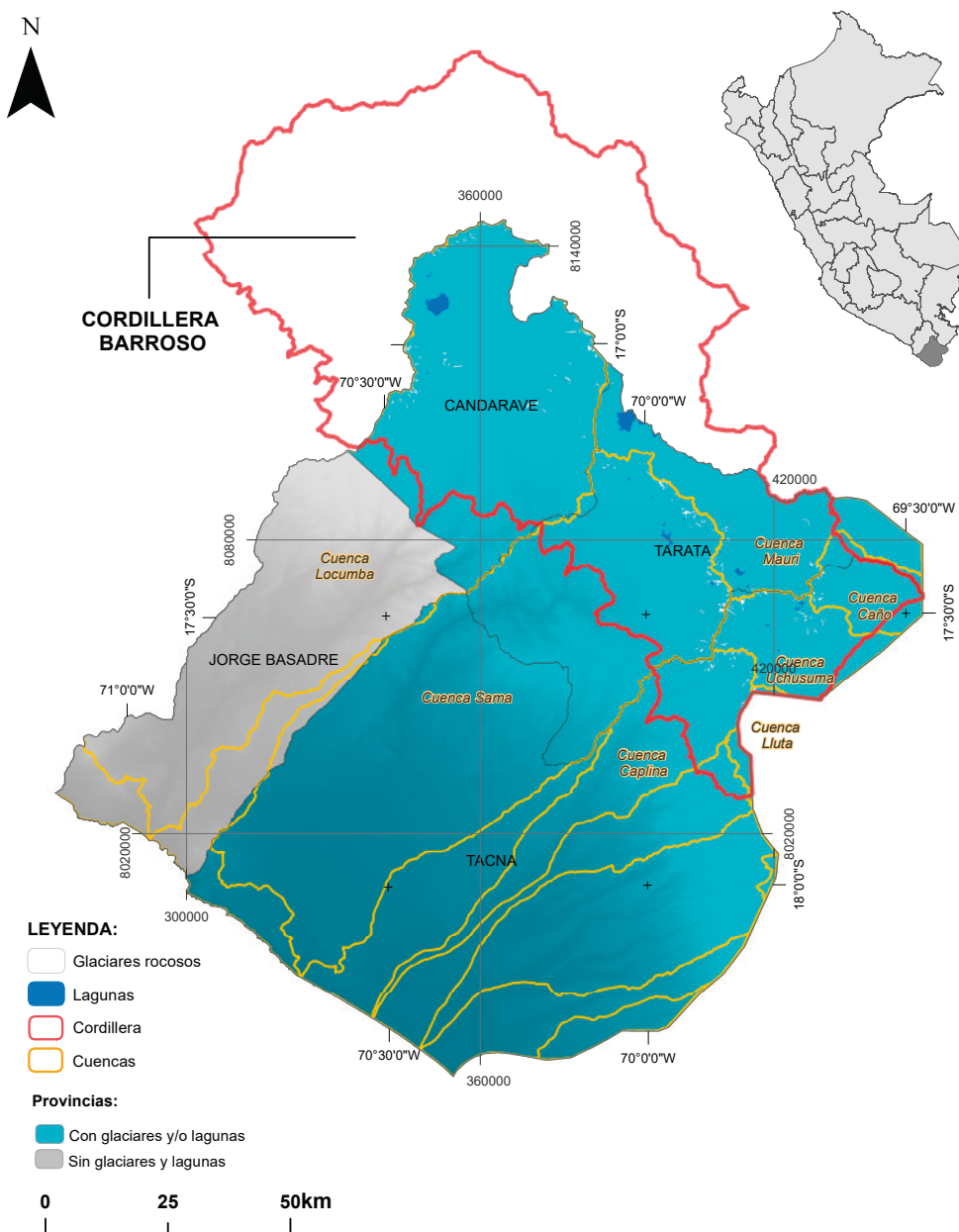


Figura 136. Distribución de glaciares y lagunas de origen glaciar en el departamento de Tacna

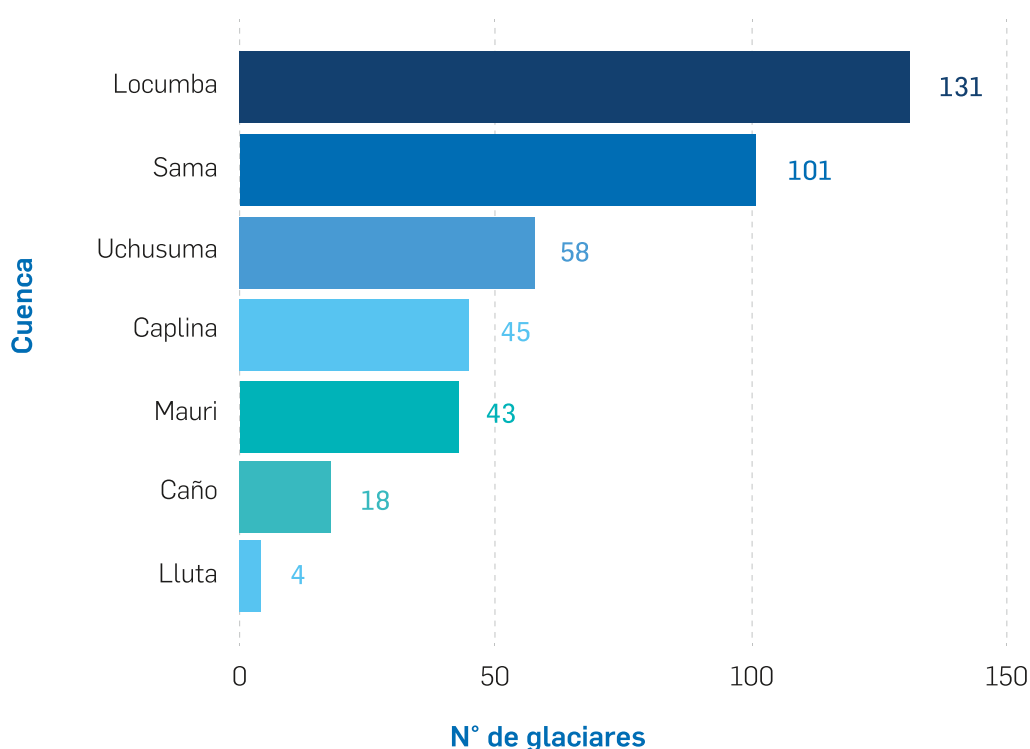
A) GLACIARES

El análisis multitemporal de una serie de imágenes satelitales (1985-2017) evidencian que, a partir de 1988, la cordillera Barroso no presenta glaciares libres ni cubiertos por detritos; la ocurrencia de nieve temporal puede confundirse con masa glaciar (INAIGEM, 2018). No obstante, en el presente inventario se han identificado 400 glaciares rocosos que ocupan una extensión de 22.81 km² (tabla 43). Este tipo de glaciares se encuentran en las cuencas de Caño, Caplina, Lluta, Locumba, Mauri, Sama y Ushuma (figura 137).

Tabla 43. Glaciares rocosos según cordillera del departamento de Tacna

Cordillera	Cantidad de glaciares	Superficie (km ²)
Barroso	400	22.81
Total	400	22.81

*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libre y cubiertos de detritos.



*Los resultados presentados consideran únicamente los datos de glaciares libres y cubiertos.

Figura 137. Distribución de los glaciares rocosos según cuenca del departamento de Tacna

B) LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR

El departamento de Tacna posee 26 lagunas de origen glaciar, que cubren un área de 26.53 km² (que equivalen al 2 % del total nacional) (tabla 44).

Tabla 44. Lagunas de origen glaciar según cordillera del departamento de Tacna

Cordillera	Cantidad de lagunas	Superficie (km ²)
Barroso	26	26.53
Total	26	26.53

Todas las lagunas del departamento de Tacna son periglaciares. La mayoría de aportan a las vertientes hidrográficas del Pacífico (cuencas Locumba y Sama) y el 47 % al Titicaca (cuencas Uchusuma, Mauri y Caño), siendo la cuenca del Uchusuma la que posee mayor cantidad de lagunas de origen glaciar (figuras 138 y 139).

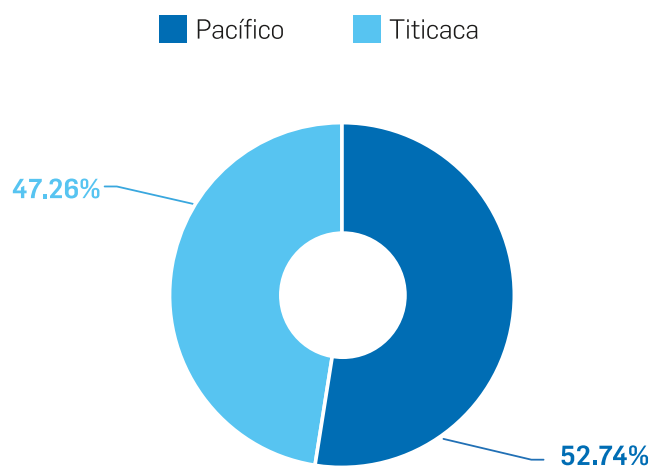


Figura 138. Superficie de lagunas de origen glaciar según vertiente del departamento de Tacna

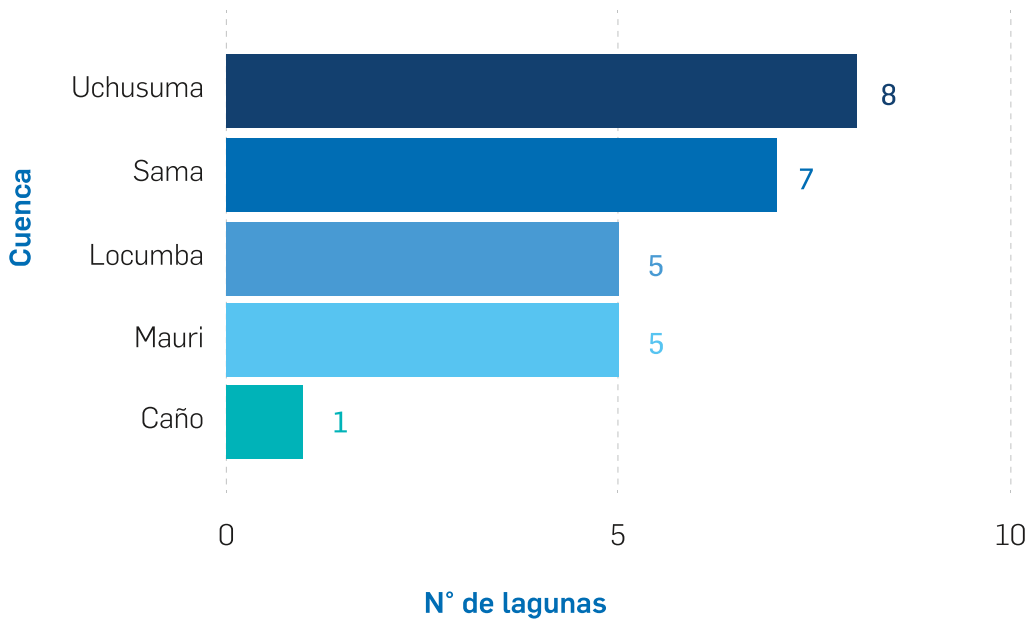


Figura 139. Distribución de las lagunas de origen glaciar según cuenca en el departamento de Tacna

Finalmente, podemos mencionar que la mayor cantidad de lagunas en el departamento de Tacna se concentran entre las altitudes de 4500 a 5000 m s.n.m, donde se encuentran 17 lagunas de origen glaciar.

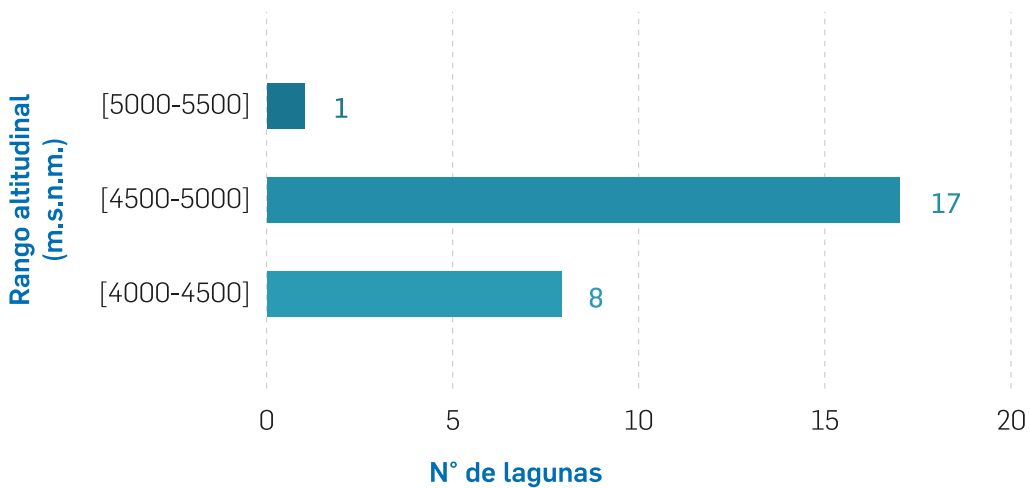


Figura 140. Distribución de lagunas de origen glaciar según rango altitudinal del departamento de Tacna

An aerial photograph of a vast glacier system, likely the Qori Kalis Glacier, flowing through a rugged mountain range. The glacier is a mix of white and blue ice, with dark rock and sediment visible. Below the glacier, a large, calm lake is nestled in a valley. The sky is a clear, deep blue, suggesting a high-altitude environment. The overall scene is majestic and serene.

BIBLIOGRAFÍA

Glaciar Qori Kalis
Foto: Renny Díaz

Anderson, L. S. y Anderson, R. S. (2016). Modeling debris-covered glaciers: response to steady debris deposition. *The Cryosphere*, 10(3), 1105-1124, doi: 10.5194/tc-10-1105-2016.

ANA (2012). Compendio de los recursos hídricos de Ica. Autoridad Nacional del Agua, Lima-Perú, 44 pp. Recuperado de: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/554/ANA0000340.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ANA (2014). Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas. Autoridad Nacional del Agua, Lima, Perú, 37 pp. Recuperado de: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/199>.

ANA (2020). "Glosario de Términos de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG". Autoridad Nacional del Agua, Lima- Perú. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-documento-denominado-glosario-terminos-ley-ndeg-29338-ley>.

Ayala Jesús, C. y Herrera Díaz, M.A. (2019). Monitoreo de la calidad del agua del lago Chinchaycocha, mediante técnicas de teledetección espacial. *Revista Iberoamericana Ambiente y Sustentabilidad*, 2(2), 23-31, doi: 10.46380/rias.v2i2.46.

Azócar, G. F. y Brenning, A. (2010). Hydrological and geomorphological significance of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21(1), 42-53, doi: 10.1002/ppp.669.

Bat'ka, J., Vilímek, V., Štefanová, E., Cook, S. J. y Emmer, A. (2020). Glacial Lake Outburst Floods (GLOFs) in the Cordillera Huayhuash, Perú: Historic Events and Current Susceptibility. *Water*, 12(10), 2664, 2-17, doi: 10.3390/w12102664.

Berthling, I. (2011). Beyond confusion: Rock glaciers as cryo-conditioned landforms. *Geomorphology*, 131 (34), 98-106, doi: 10.1016/j.geomorph.2011.05.002.

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., Bellouin, N., Guttikunda, S.K., Hopke, P.K., Jacobson, M.Z., Kaiser, J.W., Klimont, Z., Lohmann, U., Schwarz, J.P., Shindell, D., Storelvmo, T., Warren, S.G. y 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.

Brenning, A. (2005). Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of Central Chile (33-35°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 16(3), 231-240, doi: 10.1002/ppp.528.

Büttner, G., Feranec, J., Jaffrain, G., Mari, L., Maucha, G. y Soukup, T. (2004). The CORINE Land Cover 2000 Project. *EARSeL eProceedings*, 3(3), 331-346.

Capps, S. (1910). Rock Glaciers in Alaska. *The Journal of Geology*, 18, 359-375.

Carey, M., Huggel, C., Bury, J., Portocarrero, C. y Haeberli, W. (2012). An integrated socio-environmental framework for glacier hazard management and climate change adaptation: lessons from Lake 513, Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change*, 112, 733-767, doi: 10.1007/s10584-011-0249-8.

Soto Carrión, C., Schmitt, C.G., Zúñiga Negrón, J.J., Jiménez Mendoza, W., Arbieta Mamani, O., Pozo Enciso, R.S., Guevara Sarmiento, S. J. y 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), 1080342, doi: 10.13044/j.sdewes.d8.0342.

Cogley, J.G., Hock, R., Rasmussen, L.A., Arendt, A.A., Bauder, A., Braithwaite, R.J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson L. y Zemp, M. (2011). Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris, 124 pp. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000192525>.

Comunidad Andina (2007). ¿EL FIN DE LAS CUMBRES NEVADAS? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina. Comunidad Andina, Secretaría General. Editor: Lima: Libélula Comunicación, Ambiente y Desarrollo. ISBN: 978-9972-787-28-7.

CONAM (2001). Comunicación Nacional del Perú a la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Primera comunicación. Lima. Consejo Nacional del Ambiente. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/comunicacion-nacional-peru-convencion-naciones-unidas-cambio>.

Davies, B. (2020). Subglacial lakes. Antarctic glaciers.org. Recuperado el 15 de marzo del año 2023 de <https://www.antarcticglaciers.org/glacier-processes/glacial-lakes/subglacial-lakes/>

Emmer, A., Harrison, S., Mergili, M., Allen, S., Frey, H. y Huggel, C. (2020). 70 years of lake evolution and glacial lake outburst floods in the Cordillera Blanca (Peru) and implications for the future. *Geomorphology*, 365, 107178, doi: 10.1016/j.geomorph.2020.107178.

Emmer, A. y Vilímek, V. (2013). Lake and breach hazard assessment for moraine-dammed lakes: an example from the Cordillera Blanca (Peru). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 1551-1565, doi: 10.5194/nhess-13-1551-2013.

Flanner, M.G., Zender, C.S., Randerson, J.T. y Rasch, P.J. (2007) Present-day climate forcing and response from black carbon in snow. *Journal of Geophysical Research*, 112, doi: 10.1029/2006JD008003.

Forbes, T., Rossiter, D. y Van Wambeke, A. (1987). Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories. (SMSS: Technical Monograph : Soil management support services; Vol. 4). Cornell University.

Fountain A.G. y Tangborn W.V. (1985). The Effect of Glaciers on Streamflow Variations. *Water Resources Research*, 21(4), 579-586. doi: 10.1029/WR021i004p00579.

Francou, B., Fabre, D., Pouyaud, B., Jomelli, V. y Arnaud, Y. (1999). Symptoms of degradation in a tropical rock glacier, Bolivian Andes. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10, 91–100.

Francou, B., Rabatel, A., Soruco, A., Sicart, J.E., Silvestre, E.E., Ginot, P., Cáceres, 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., Lejeune, Y., Ramallo, C. y Mendoza, J. (2013). Glaciares de los Andes tropicales víctimas del cambio climático. CAN, PRAA, IRD.

Francou, B. y Pouyaud, B. (2004). Métodos de observación de glaciares en los Andes tropicales: Mediciones de terreno y procesamiento de datos. *GREAT ICE*, IRD, 238 pp.

Frey, H., Machguth, H., Huss, M., Huggel, C., Bajracharya, S., Bolch, T., y Stoffel, M. (2014). Estimating the volume of glaciers in the Himalayan - Karakoram region using different methods. *The Cryosphere*, 8(6), 2313-2333, doi: 10.5194/tc-8-2313-2014.

García, A., Milana, J.P. y Ulloa, C. (2017). Validación de un modelo teórico de distribución del permafrost en zonas áridas, utilizando el inventario de geoformas periglaciales (región de Atacama, Chile). 20º Congreso Geológico Argentino, Actas S18: 37-43, San Miguel de Tucumán.

GAPHAZ (2017). Evaluación de peligros por glaciares y permafrost en regiones de montaña – Documento técnico de orientación. Elaborado por Allen, S., Frey, H., Huggel, C. et al. 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). Zurich, Suiza / Lima, Perú, 72 pp.

Gertler, C.G., Puppala, S.P., Panday, A., Stumm, D. y Shea, J. (2016). Black carbon and the Himalayan cryosphere: A review. *Atmospheric Environment*, 125, 404–417. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.078.

Gilardoni, S., Di Mauro, B. y Bonasoni, P. (2022). Black carbon, organic carbon, and mineral dust in South American tropical glaciers: A review. *Global and Planetary Change*, 213, 103837, doi: 10.1016/j.gloplacha.2022.103837.

Govindha Raj, K.B. y Kumar, K.V. (2016). Inventory of Glacial Lakes and its Evolution in Uttarakhand Himalaya Using Time Series Satellite Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 44, 959-976, doi: 10.1007/s12524-016-0560-y.

Guardamino, L. y Drenkhan, F. (2016). Evolución y potencial amenaza de lagunas glaciares en la cordillera de Vilcabamba (Cusco y Apurímac, Perú) entre 1991 y 2014. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 1(1), 21-36, doi: 10.36580/rgem.i1.21-36.

Haeberli, W. (1985). Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers: *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, 77, Zurich, 142 pp.

Haeberli, W., Clague, J. J., Huggel, C. y Kääb, A. (2010). Hazards from lakes in high-mountain

glacier and permafrost regions: climate change effects and process interactions. *Avances de La Geomorfología En España, 2008-2010*, doi: 10.5167/uzh-40465.

Haeberli, W., Hallet, B., Arenson, L., Elconin, R., Humlum, O., Kääb, A., Kaufmann, V., Ladanyi, B., Matsuoka, N., Springman, S. y Mühll, D.V. (2006). Permafrost creep and rock glacier dynamics. *Permafrost and Periglacial Processes*, 17(3), 189-214, doi: 10.1002/ppp.561.

Hall, D., Riggs, G. y Salomonson, V. (1995). Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing Environment*, 54(2), 127-140, doi: 10.1016/0034-4257(95)00137-P.

Hauser, A. (1993). Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín 45, Santiago de Chile, 75pp.

Huamán, G. (2018). Evaluación de las potencialidades de los microorganismos asociados a plantas altoandinas para procesos de biorremediación, Punta Olímpica - Parque Nacional Huascarán – 2016 (Tesis de titulación). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz -Peru, 93 pp. Recuperado de: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2449>.

Huggel, C., Cochachin, A., Drenkhan, F., Fluixá-Sanmartín, J., Frey, H., García Hernández, J., Frey, H., Jurt, C., Muñoz, R., Price, K. y Vicuña, L. (2020). El lago glaciar 513 (Perú). Lecciones para el desarrollo de un servicio de alerta temprana. *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial*, 69(1), 45-52, doi: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/12657>.

Huss, M., Bookhagen, B., Huggel, C., Jacobsen, D., Bradley, R. S., Clague, J. J., Vuille, M., Buytaert, W., Cayan, D.R., Greenwood, G., Mark, B.G., Milner, A., Weingartner, R. y Winder, M. (2017). Toward mountains without permanent snow and ice. *Earth's Future*, 5, 418-435, doi: 10.1002/2016EF000514.

Huss, M. y Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*, 8(2), 135-140.

IGN (2021). Manual Técnico para generación de ortoimágenes. Instituto Geográfico Nacional, Lima- Peru, 38 pp.

INAIGEM (2017). Manual Metodológico del Inventario Nacional de Glaciares. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Huaraz- Perú, 125 pp. Recuperado de <https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/88036211-5ecc-461f-8938-71895a8439e1/content>.

INAIGEM (2018). Inventario Nacional de Glaciares: Las cordilleras glaciares del Perú. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Huaraz- Perú, 198 pp.

INEI (2018). Perú: Perfil Sociodemográfico. Informe Nacional. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima -Perú, 2018, 641 pp. Recuperado de: <https://www.conadisperu.gob.pe/>

observatorio/wp-content/uploads/2018/12/Peru_Perfil_Sociodemografico_Censo_2017.pdf.

INGEMMET (1979). Geología del cuadrángulo de Moquegua, 15(A), hoja: 35-u. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima-Perú, doi: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/132>.

IDEAM (2012). Glaciares de Colombia: más que montañas con hielo. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, D.C., 344 pp.

Jacobel, R., Robinson, A. y Bindschadler, R. (1994). Studies on the grounding-line location on ice streams D and E, Antarctica. *Annals of Glaciology*, 20, 39-42.

Jacobs, J.A., Lehr, J. H. y Testa, S.M. (2014). Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Soils. Causes, Assessment, Prediction, Prevention, and Remediation. John Wiley and Sons, Inc., Nueva Jersey- Estados Unidos, 486 pp., doi: 10.1002/9781118749197.

Janke, J.R. Bellisario, A.C. y Ferrando, F.A. (2015). Classification of debris-covered glaciers and rock glaciers in the Andes of central Chile. *Geomorphology*, 241, 98-121, doi: 10.1016/j.geomorph.2015.03.034.

Jensen, R.J. (2005). *Introductory Digital Image Processing a Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, 3era Edición, 526 pp.

Johansen, K.S., Alfthan, B., Baker, E., Hesping, M., Schoolmeester, T. y Verbist, K. (2019). El Atlas de Glaciares y Aguas Andinas: el impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos. UNESCO y GRID-Aredal, 80 pp.

Jori, G. (2009). El cambio climático como problema y el diálogo social como solución. *Investigaciones Geográficas*, 48, 125-160.

Kargel, J.S., Leonard, G.J., Bishop, M.P., Kääh, A. y Raup, B.H. (2014). *Global Land Ice Measurements from Space*. Springer-Praxis Books, 875 pp, doi: 10.1007/978-3-540-79818-7.

Kaser, G. y Osmaston, H. (2002). *Tropical glaciers*. International Hydrology Series. Cambridge University Press, 230 pp.

Kirkbride, M.P. (2011). Debris-covered glaciers. In *Encyclopedia of snow, ice and glaciers* (pp. 190-192). Springer.

Kumar, R. y Narayan, M. (2017). Changes of glacier lakes using multi-temporal remote sensing data: A case study from India. *Geographica Pannonica*, 21(3), 132-141, doi: 10.5937/GeoPan1703132K.

Landis, J.R. y Koch, G.G. (1977). An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*, 33(2), 363-374.

Lesi, M., Nie, Y., Shugar, D.H., Wang, J., Deng, Q., Chen, H. y Fan, J. (2022). Landsat- and

Sentinel-derived glacial lake dataset in the China–Pakistan Economic Corridor from 1990 to 2020. *Earth System Science Data*, 14, 5489–5512, doi: 10.5194/essd-14-5489-2022.

"Ley N° 27795. Ley de Demarcación y Organización Territorial (24 de julio de 2002). Recuperado de: <https://spij.minjus.gob.pe/spij-ext-web/#/detallenorma/H829459>."

Linsbauer, A., Paul, F. y Haeberli, W. (2012). Modeling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlabTop: Application of a fast and robust approach. *Journal of Geophysical Research*, 117, F03007, doi: 10.1029/2011JF002313.

Lliboutry, L. (1956). *Nieves y glaciares de Chile: fundamentos de glaciología*. Universidad de Chile, Santiago de Chile, 471 pp. Disponible en <https://libros.uchile.cl/1339>.

Loayza, M. (2014). *Calidad de agua en cabeceras de cuencas altoandinas en el contexto del cambio climático: una aproximación para evaluar la calidad del agua y potencial remediación en la Subcuenca Quillcay*. Ministerio del Ambiente, Nota técnica 2, Huaraz - Peru. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/nota-tecnica-02-calidad-agua-cabeceras-cuencas-altoandinas-contexto>.

Luna, A.G., y Atete I. (2021). *Evidencias del Cambio Climático en los Andes Centrales Peruanos, derivados del Registro Geomorfológico - Cordillera Huaytapallana (Junín, Perú)*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco-Perú, 212 pp.

Mark, B.G., McKenzie, J.M. y Gomez, J. (2005). Hydrochemical evaluation of changing glacier meltwater contribution to stream discharge: Callejón de Huaylas, Perú. *Hydrological Sciences Journal*, 50(6), 975-987, doi: 10.1623/hysj.2005.50.6.975.

Mark, B.G. y Seltzer, G.O. (2017). Tropical glacier meltwater contribution to stream discharge: a case study in the Cordillera Blanca, Perú. *Journal of glaciology*, 49(165), 271-281, doi: 10.3189/172756503781830746.

McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432, doi: 10.1080/01431169608948714.

Menzies, J. (1995), *Modern Glacial Environments: Processes, Dynamics and Sediments: Glacial Environments*. Butterworth-Henemann, Oxford-UK, 621 pp.

MINAM (2015a). *Estrategia Nacional de Humedales*. Ministerio del Ambiente, Lima-Peru, 53 pp. Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N%C2%B0-004-2015-MINAM2.pdf>.

MINAM (2015b). *Mapa de cobertura vegetal del Perú. Memoria Descriptiva*. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural-Ministerio de Ambiente, Lima- Perú, 108 pp.

MINAM (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva*. Ministerio de Ambiente, Lima-Perú, 118 pp.

Mölg, T. y Kaser, G. (2021). Tropical Glaciers. En: Fowler, Andrew; Ng, Felix: Glaciers and Ice Sheets in the Climate System: The Karthaus Summer School Lecture Notes. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment book series (STEGE), 483-495, doi: 10.1007/978-3-030-42584-5_19.

Montano, Y., Tapia, P.M., Quispe, C. y 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).

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

Paul, F. (2003). The new Swiss glacier inventory (2000). Application of Remote Sensing and GIS (Tesis doctoral). Facultad de Matemáticas y Ciencias Naturales, Universidad de Zurich, 194 pp.

Potter, N. (1972). Ice-Cored Rock Glacier, Galena Creek, Northern Absaroka Mountains, Wyoming. Geological Society of American Bulletin, 83 (10), 3025-3058, doi: 10.1130/0016-7606(1972)83[3025:IRGGCN]2.0.CO;2.

Rabatel, A. (2005). Chronologie et interprétation paléoclimatique des fluctuations des glaciers dans les Andes de Bolivie (16°S) depuis le maximum du Petit Age Glaciaire (17ème siècle). (Tesis doctoral). Université Joseph Fourier / Grenoble I, 196 pp.

Rangecroft, S. (2015). Glaciares de roca y cambio climático en los Andes bolivianos: Cartografía de nuevos recursos hídricos. Informes de Investigación de OXFAM, Universidad de Exeter. Recuperado el 18 de Junio de 2021, de https://oi-files-d8-prod.s3.eu-west2.amazonaws.com/s3fs-public/file_attachments/rr-rock-glaciers-climatechange-bolivian-andes-280415-es.pdf.

Rangecroft, S., Harrison, S., Anderson, K., Magrath, J., Castel, A.P. y Pacheco, P. (2013). Climate change and water resources in arid mountains: An example from the Bolivian Andes. AMBIO, 42(7), 852–863, doi: 10.1007/s13280-013-0430-6.

Rangecroft, S., Harrison, S. y Anderson, K. (2015). Rock glaciers as water stores in the Bolivian Andes: An assessment of their hydrological importance. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 47(1), 89–98, doi: 10.1657/AAAR0014-029.

Reyes Nolasco, A.W. (2018). Contaminación por metales pesados de aguas y suelos en la microcuenca Quilcayhuanca; su relación con la litología y el contexto del cambio climático; Huaraz, Áncash, Perú 2014-2015. Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo-UNASAM, Huaraz - Perú, 180 pp. Recuperado de: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2381>.

Rivera, A., Bown F., Napoleoni F., Muñoz C. y Vuille M. (2017). Manual Balance de masa glaciar. Ediciones CECs, Valdivia, Chile, 203 pp.

Rodriguez, W.S. y 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*, Año 3, Núm. 4, 9-22.

Rossiter, D.G. (2004). Metodologías para el levantamiento del recurso Suelo. Soil Science Division- International Institute for Geo-information Science y Earth Observation (ITC). Texto traducido y adaptado a al español por la Division de Geoinformacion suelos y tierras- CLAS-UMSS, 145 pp.

Schmitt, C.G., All, J.D., Schwarz, J.P., Arnott, W.P., Cole, R.J., Lapham, E. y Celestian, A. (2015). Measurements of light-absorbing particles on the glaciers in the Cordillera Blanca, Peru. *The Cryosphere*, 9, 331–340, doi: 10.5194/tc-9-331-2015.

Taylor, C., Robinson, T.R., Dunning, S., Carr, J.R. y Westoby, M. (2023). Glacial lake outburst floods threaten millions globally. *Nature Communications*, 14(1), 487, doi: 10.1038/s41467-023-36033-x.

Torres, C., Suárez, L., Schmitt, C., Estevan, R. y Helmig, D. (2018). Measurement of light absorbing particles in the snow of the Huaytapallana glacier in the central Andes of Peru and their effect on albedo and radiative forcing. *Óptica Pura y Aplicada*, 51(4), 1–14, doi: 10.7149/OPA.51.4.51004.

Turpo Cayo, E.Y., Borja, M.O., Espinoza-Villar, R., Moreno, N., Camargo, R., Almeida, C., Hopfgartner, K., Yarleque, C. y Souza Jr, C.M. (2022). Mapping Three Decades of Changes in the Tropical Andean Glaciers Using Landsat Data Processed in the Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(9), doi: 10.3390/rs14091974.

Tweed, F.S. y Carrivick, J.L. (2015). Deglaciation and proglacial lakes. *Geology Today*, 31(3), 96–102, doi: 10.1111/gto.12094.

Martel Valverde, G., Torres Lázaro, J.C. y Jara Infantes, W.H. (2018). Variación del pH en aguas superficiales debido a drenajes ácidos de roca en la subcuenca Quillcay, Huaraz, Áncash. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, Año 3, Num. 5, 57-68.

Veettil, B.K. y Kamp, U. (2017). Remote sensing of glaciers in the tropical Andes: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 38(23), 7101-7137, doi: 10.1080/01431161.2017.1371868.

Veettil, B.K. y Kamp, U. (2019). Global Disappearance of Tropical Mountain Glaciers: Observations, Causes, and Challenges. *Geosciences*, 9(5), 196, doi: 10.3390/geosciences9050196.

Veettil, B.K., de Souza, S.F., Simões, J.C. y Ruiz Pereira, S.F. (2017). Decadal evolution of glaciers and glacial lakes in the Apolobamba–Carabaya región tropical Andes (Bolivia-Perú). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 193–206, doi: 10.1080/04353676.2017.1299577.

Vignon, F. (2002). Glaciares y recursos hídricos en el valle alto del río Santa. (Tesis doctoral), Universidad Paris VII - Denis Diderot, 62 pp.

Villafane, H. (2020). Modelamiento numérico para peligros de origen glaciar, caso de estudio Laguna Palcacocha (presentación Viernes científico). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. Disponible en: <https://www.inaigem.gob.pe/wp-content/uploads/2020/08/Hilbert-Villafane-Viernes-Cient%C3%ADficos.pdf>.

Vornberger, P.L. y Bindschadler, R.A. (1992). Multi-spectral analysis of ice sheets using coregistered SAR and TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 13(4), 637-645, doi: 10.1080/01431169208904142.

Vuille, M., Franquist, E., Garreaud, R., Lavado Casimiro, W.S. y Cáceres, B. (2015). Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(9), 3745-3757, doi: 10.1002/2015JD023126.

Wang, X., Guo, X., Yang, C., Liu, Q., Wei, J., Zhang, Y., Liu, S., Zhang, Y., Jiang, Z. y Tang, Z. (2020). Glacial lake inventory of high-mountain Asia in 1990 and 2018 derived from Landsat images. *Earth System Science Data*, 12(3), 2169-2182, doi: 10.5194/essd-12-2169-2020.

Wendleder, A., Friedl, P. y Mayer, C. (2018). Impacts of climate and supraglacial lakes on the surface velocity of Baltoro Glacier from 1992 to 2017. *Remote Sensing*, 10(11), 1681, doi:10.3390/rs10111681.

Wendleder, A., Schmitt, A., Erbertseder, T., D'Angelo, P., Mayer, C. y Braun, M.H. (2021). Seasonal evolution of supraglacial lakes on Baltoro Glacier from 2016 to 2020. *Frontiers in Earth Science*, 9, 725394, doi: 10.3389/feart.2021.725394.

Wessels, R., Kargel, J. y Kieffer, H. (2002). ASTER measurement of supraglacial lakes in the Mount Everest region of the Himalaya. *Annals of Glaciology*, 34, 399-408, doi: 10.3189/172756402781817545.

Whalley, W.B y Martin, H.E (1992). Rock glaciers: II models and mechanisms. *Progress in Physical Geography*, 16(2), 127-186, doi: 10.1177/030913339201600201.

Wood, J. L., Harrison, S., Wilson, R., Emmer, A., Yarleque, C., Glasser, N.F., Torres, J.C., Caballero, A., Araujo, J., Bennet, G.I., Diaz-Moreno, A., Garay, D., Jara, H., Poma, C., Reynolds, J.M., Riveros, C.A., Romero, E., Shannon, S., Tinoco, T., Turpo, E. y Villafane, H. (2021). Contemporary glacial lakes in the Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*, 204, 103574, doi: 10.1016/j.gloplacha.2021.103574.

Zapata Luyo, M. (2010). Cambio climático, deglaciación y peligros en áreas glaciares y periglaciares en el Perú y Áncash. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos, Cusco-Peru. Sociedad Geológica Del Perú, 9, 347-350.

Zhao, H., Chen, F. y Zhang M. (2018). A Systematic Extraction Approach for Mapping Glacial Lakes in High Mountain Regions of Asia. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(8), 2788-2799, doi: 10.1109/JSTARS.2018.2846551.

Zimmer, A., Brito Rodríguez, M.K., Alegre Oropeza, C.J., Sánchez-León, J.W. y Recharte Bullard, 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, doi: 10.36580/rgem.i4.57-76.

An aerial photograph of a massive glacier system, likely the Morojani Glacier, showing intricate patterns of ice and sediment. A semi-transparent blue rectangular box is overlaid in the center, containing the word "ANEXOS" in white, bold, uppercase letters. The background shows a wide expanse of white ice leading to a range of brown, rocky mountains under a clear blue sky.

ANEXOS

Glaciar Morojani
Foto: Renny Díaz

Anexo 1. Retroceso glaciar por cordillera durante el periodo 1962 - 2020

CORDILLERA	INVENTARIOS										RETROCESO GLACIAR EN 58 AÑOS				
	HIDRANDINA S.A., 1989		INAIGEM - INGLOG - I		INAIGEM - INGLOG - II		RETROCESO GLACIAR EN 54 AÑOS		RETROCESO GLACIAR EN 4 AÑOS			RETROCESO GLACIAR EN 58 AÑOS			
	CORPORACIÓN PERUANA DEL SANTA & ELECTROPERU	REANALIZADO POR INAIGEM, 2016	Año de imagen satelital	Área glaciar (km ²)	Año de imagen satelital	Área glaciar (km ²)	Año de imagen satelital	Área glaciar (km ²)	Área perdida (km ²)	Reducción del área glaciar (%)			Área perdida (km ²)	Reducción del área glaciar (%)	
N°	CORDILLERA	Año de la fotografía aérea	Área glaciar (km ²)	Año de imagen satelital	Área glaciar (km ²)	Año de imagen satelital	Área glaciar (km ²)	Año de imagen satelital	Área glaciar (km ²)	Área perdida (km ²)	Reducción del área glaciar (%)	Área perdida (km ²)	Reducción del área glaciar (%)		
1	Bianca	1962	723.37	1962/1975	726.26	2016	449.75	2020	424.86	276.51	38.07	24.89	5.53	301.4	41.50
2	Huallanca	1962	20.91	1962/1975	21.05	2016	5.25	2020	4.64	15.8	75.06	0.61	11.62	16.41	77.96
3	Huayhuash	1962	84.97	1962/1975	86.89	2016	53.13	2020	49.63	33.76	38.85	3.5	6.59	37.26	42.88
4	Raura	1962	55.2	1962/1975	55.31	2016	25.6	2020	23.73	29.71	53.72	1.87	7.30	31.58	57.10
5	Huagoruncho	1962	23.4	1962/1976	23.7	2016	7.53	2020	6.54	16.17	68.23	0.99	13.15	17.16	72.41
6	La Viuda	1962	28.6	1962	28.6	2016	3.98	2020	3.4	24.62	86.08	0.58	14.57	25.2	88.11
7	Central	1962	116.65	1962/1975-1978	117.2	2016	42.5	2020	39.61	74.7	63.74	2.89	6.80	77.59	66.20
8	Huaytapallana	1962	59.08	1962/1984	68.05	2016	21.45	2020	19.29	46.6	68.48	2.16	10.07	48.76	71.65
9	Chonta	1962	17.85	1962	17.85	2016	0.38	2020	0.37	17.47	97.87	0.01	2.63	17.48	97.93
10	Ampato	1955	146.73	1955	146.73	2016	52.49	2020	51.98	94.24	64.23	0.51	0.97	94.75	64.57
11	Vilcabamba	1962	37.74	1962/1975	261.45	2016	101.25	2020	94.06	160.2	61.27	7.19	7.10	167.39	64.02
12	Urubamba	1962	41.48	1962/1975	76.16	2016	23.56	2020	22.06	52.6	69.07	1.5	6.37	54.1	71.03
13	Huanzo	1955	36.93	1955/1975	39.31	2016	2.91	2020	2.31	36.4	92.60	0.6	20.62	37	94.12
14	Chila	1955	33.89	1955	33.89	2016	0.19	2020	0.07	33.7	99.44	0.12	63.16	33.82	99.79
15	La Raya	1962	11.27	1962	11.27	2016	1.93	2020	1.5	9.34	82.87	0.43	22.28	9.77	86.69
16	Vilcanota	1962	418.43	1962/1975	495.05	2016	255.51	2020	243.29	239.54	48.39	12.22	4.78	251.76	50.86
17	Carabaya	1962	104.23	1962/1975	107.17	2016	31.07	2020	27.89	76.1	71.01	3.18	10.23	79.28	73.98
18	Apolobamba	1962	81.12	1962/1975	83.12	2016	39.63	2020	35.08	43.49	52.32	4.55	11.48	48.04	57.80
19	Volcánica *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	Barroso *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			2041.85		2399.06		1118.11		1050.31	1280.95	53.39	67.80	6.06	1348.75	56.22

1. Información trabajada por la Corporación Peruana del Santa y Electroperú, publicada por Hidrandina S.A. en 1989. No se logró cubrir en su totalidad las 20 cordilleras glaciares del Perú.
2. Información realizada por INAIGEM con imágenes satelitales Landsat 2 MSS de los años 1975 - 1984, superficies no coberturadas en el primer inventario.
3. Información trabajada por la Dirección de Investigación en Glaciares del INAIGEM, con imágenes Sentinel -2 del 2016.
4. Información trabajada por la Dirección de Investigación en Glaciares del INAIGEM, con imágenes Sentinel -2 del 2020. Los datos presentados no consideran los glaciares rocosos.
5. *Cordilleras que actualmente no presentan glaciares libre de detritos y/o cubierto.

Anexo 2. Descripción de tabla de atributos del Inventario de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INI-GEM), a través de la Dirección de Investigación en Glaciares (DIG), desarrolla la actualización del “Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar”. El ámbito de intervención del inventario son las 20 cordilleras glaciares del Perú, que políticamente se distribuyen en 14 departamentos. Este inventario fue elaborado en base a imágenes satelitales Sentinel 2A del año 2020, a una escala de interpretación de 1:25 000 y un área mínima cartografiada de 5 000 m².

Es importante tener en cuenta que el uso de los datos implica referenciar al INAIGEM (institución que generó los datos) ya sea para investigación, estudios técnicos u otros usos. La información en formato shapefile (SHP) se encuentra disponible en la plataforma del INAIGEM, mediante el siguiente enlace: <https://visor.inaigem.gob.pe/>
En las siguientes tablas se detalla la información disponible, tanto para glaciares como para lagunas de origen glaciar.

Tabla 1. Parámetros de la tabla de atributos del shapefile de glaciares

N°	Parámetro	Descripción
1	Cod_glac	Código asignado al glaciar en base al código de Pfafstetter nivel 7 y la numeración en la cuenca. Sirve para su relación con el sistema nacional de clasificación de las cuencas.
2	Nombre	Nombre del glaciar.
3	Cordillera	Cordillera, donde se ubica el glaciar.
4	Depart	Departamento, donde se ubica el centroide del glaciar.
5	Prov	Provincia, donde se ubica el centroide del glaciar.
6	Distr	Distrito, donde se ubica el centroide del glaciar.
7	Vert	Vertiente, donde se ubica el glaciar.
8	Pf_n7	Codificación de nivel 7, de la unidad hidrográfica según el método Pfafstetter.
9	Nom_hid_pf	Nombre de la unidad hidrográfica según el método Pfafstetter, a la que pertenece el glaciar.
10	Cuenca	Nombre de cuenca según el método Strahler, donde se ubica el glaciar.
11	Scuenca	Nombre de subcuenca según el método Strahler, donde se ubica el glaciar.

N°	Parámetro	Descripción
12	Mcuenca	Nombre de microcuenca según el método Strahler, donde se ubica el glaciar.
13	ID_GLIMS	Identificador del glaciar de acuerdo a la metodología GLIMS.
14	X	Coordenada en el eje x (este) del glaciar, UTM zona 18S o 19S
15	Y	Coordenada en el eje y (norte) del glaciar, UTM zona 18S o 19S
16	Lat	Latitud en grados, minutos y segundos.
17	Long	Longitud en grados, minutos y segundos.
18	Alt_min	Altitud mínima del glaciar en m s.n.m.
19	Alt_max	Altitud máxima del glaciar en m s.n.m.
20	Área_m2	Superficie del glaciar en m ² .
21	Área_Km2	Superficie del glaciar en km ² .
22	Largomax	Longitud máxima del glaciar (en metros).
23	Anchomax	Ancho máximo del glaciar (en metros).
24	Pend_med	Pendiente media del glaciar (en porcentaje) .
25	Orientación	Orientación predominante del glaciar.
26	Dist_Retro	Retroceso lineal (en metros), medido desde el frente glaciar.
27	Tipo	Tipo de glaciar de acuerdo a su superficie. GLD= glaciar libre de detritos, GCD= glaciar cubierto de detritos y GR= glaciar rocoso.
28	Imagen	Imagen satelital empleada para la delimitación de cobertura.

Tabla 2. Parámetros de la tabla de atributos del shapefile de glaciares

N°	Parámetro	Descripción
1	Cod_lag	Código asignado a la laguna en base al código de Pfafstetter nivel 7 y la numeración en la cuenca. Sirve para su relación con el sistema nacional de clasificación de las cuencas.
2	Nombre	Nombre de la laguna.
3	Cordillera	Cordillera, donde se ubica la laguna.
4	Dep	Departamento, donde se ubica la laguna.
5	Prov	Provincia, donde se ubica la laguna.

N°	Parámetro	Descripción
6	Distr	Distrito, donde se ubica la laguna.
7	Vertiente	Vertiente, donde se ubica la laguna.
8	Pf_n7	Codificación de nivel 7, de la unidad hidrográfica según el método Pfasftetter.
9	Nom_hid_pf	Nombre de la unidad hidrográfica según el método Pfasftetter, a la que pertenece la laguna.
10	Cuenca	Nombre de la cuenca según el método Strahler, donde se ubica la laguna.
11	Scuenca	Nombre de la Subcuenca según el método Strahler, donde se ubica la laguna.
12	Mcuenca	Nombre de la microcuenca según el método Strahler, donde se ubica la laguna.
13	X	Coordenada en el eje x (este) de laguna, UTM zona 18S o 19S
14	Y	Coordenada en el eje y (norte) de la laguna, UTM zona 18S o 19S
15	Lat	Latitud en grados, minutos y segundos.
16	Long	Longitud en grados, minutos y segundos.
17	Altitud	Es la altitud media de superficie de la laguna.
18	Area_m2	Superficie de la laguna en m ² .
19	Area Km2	Superficie de la laguna en Km ² .
20	Largo	Longitud máxima de la laguna (en metros).
21	Ancho	Ancho máximo de la laguna (en metros).
22	Cond_lag	Condición de la laguna de acuerdo a su nivel de intervención; (1) natural y (2) regulada.
23	Tipo_lagun	Tipo de laguna de acuerdo a su cercanía al glaciar; (1) supraglaciar, (2) proglaciar y (3) periglaciar.
24	Clor_prom	Estimado de concentración de clorofila en mg/m ² en base a imágenes satelitales Sentinel 2 (Ayala y Herrera, 2019)
25	Imagen	Imagen satelital base empleada para la delimitación de cobertura.
26	ID_GLIMS	Identificador de la laguna de acuerdo a la metodología GLIMS



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA