

# EVALUACIÓN NACIONAL DE LAGUNAS GLACIARES CON RIESGO DE DESBORDE 2024



PERÚ


Ministerio  
del Ambiente



**INAIGEM**

INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA





EVALUACIÓN NACIONAL DE  
LAGUNAS GLACIARES CON  
RIESGO DE DESBORDE **2024**

L  
A  
G  
U  
N  
A  
S

G  
L  
A  
C  
I  
E  
R  
E  
S

M  
A  
S

2

0

2

4

# EVALUACIÓN NACIONAL DE LAGUNAS GLACIARES CON RIESGO DE DESBORDE 2024

Autores:

**Hilbert Villafane Gomez**  
**Paola Moschella Miloslavich**  
**Enver Melgarejo Romero**  
**Manuel Cosi Fajardo**  
**Angel Salas Colca**

Colaboradores:

**Adriana Caballero Bedriñana**  
**Hierald Palomino Gutiérrez**  
**Sara Cachay Villacorta**  
**Romyna Huamán Espinoza**

**Editado por:**

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

**Diseño y diagramación:**

Joan Ramírez Romero  
Leslie Arestegui Saldaña

**Fotografía de portada**

Archivo INAIGEM - Enver Melgarejo

1ra edición

Diciembre 2024

Tiraje 500 ejemplares

Depósito legal del libro N° 2024-12877

**Se terminó de imprimir en:**

Mas Print EIRL - RUC: 20601373468  
Cal.B Mza. C lote. 04 Urb. Condominio Fortaleza de Campoy - Lima

Citar la publicación de la siguiente manera:

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (2024). EVALUACIÓN NACIONAL DE LAGUNAS GLACIARES CON RIESGO DE DESBORDE 2024. INAIGEM. Huaraz, Perú.

# ÍNDICE

---

PRESENTACIÓN	4
RESUMEN	5
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	7
INTRODUCCIÓN	8
1. MARCO CONCEPTUAL	10
1.1. Lagunas de origen glaciar	11
1.2. Efectos del cambio climático en las lagunas de origen glaciar	13
1.3. Inundación por desborde violento de laguna glaciar (GLOF)	15
1.4. Conceptos básicos con relación al riesgo de desastre	20
2. ANTECEDENTES	22
2.1. Principales eventos de desborde violento de lagunas glaciares en el Perú	23
2.2. Antecedentes de medidas de mitigación del riesgo de desborde en lagunas de origen glaciar	26
3. METODOLOGÍA	27
3.1. Alcance del estudio	28
3.2. Revisión y selección de criterios de análisis	29
3.3. Principales insumos	29
3.4. Evaluación de la susceptibilidad de desborde	30
3.5. Estimación del riesgo potencial	34
4. RESULTADOS	36
4.1. Lagunas glaciares con riesgo de desborde a nivel nacional	37
4.2. Casos de lagunas con riesgo muy alto de desborde	41
4.3. Lagunas glaciares con riesgo de desborde por departamento	64
5. RECOMENDACIONES PARA LA TOMA DE DECISIONES	92
6. CONCLUSIONES	95
7. GLOSARIO	97
8. REFERENCIAS	101
9. ANEXOS	105

# PRESENTACIÓN

---

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) es la máxima autoridad en investigación científica de los glaciares y ecosistemas de montaña, y una de sus principales funciones es estudiar y monitorear el comportamiento y evolución de los glaciares, el efecto del cambio climático y otros factores de presión en los mismos, además, formular las medidas de prevención necesarias.

En el cumplimiento de estas funciones, el equipo de la Dirección de Investigación en Glaciares (DIG) ha elaborado esta primera «Evaluación Nacional de Lagunas Glaciares con Riesgo de Desborde», primer documento técnico que busca compartir los resultados de la primera estimación a nivel nacional del nivel de riesgo de desborde de las lagunas glaciares, y con ello, aportar a la discusión y priorización de áreas de intervención.

Este documento presenta un marco conceptual que permite aclarar muchos de los conceptos básicos relacionados a la gestión del riesgo de desastre y a los peligros de origen glaciar. Asimismo, se presentan los antecedentes más resaltantes vinculados a eventos de desborde de lagunas en el Perú y de las intervenciones para reducir estos riesgos. Luego, se presenta la metodología seguida para la estimación del nivel de peligrosidad y sus resultados. En la sección de resultados se presenta la cantidad y los niveles de peligrosidad de las lagunas glaciares por departamento, pero también se muestra una descripción de ocho de las lagunas con mayores niveles de peligrosidad a nivel nacional.

En este 2024, el INAIGEM cumple 10 años desde su creación. Durante este tiempo, hemos llevado a cabo inspecciones, evaluaciones y monitoreos en lagunas potencialmente peligrosas, con el fin de entender los factores que las convierten en peligrosas. Asimismo, se han modelado mapas de peligro y se han realizado evaluaciones de riesgo en lagunas que presentan altos niveles de riesgo de desborde a nivel nacional.

Esperamos que, con esta publicación de alcance nacional, se tome conciencia sobre el peligro latente en algunas cabeceras de cuenca y, con el apoyo de los gobiernos regionales, gobiernos locales y otras entidades competentes en la gestión del riesgo de desastres, podamos enfrentar este reto y promover la inversión e intervención para mitigar uno de los principales riesgos al que nos enfrentamos.

**Beatriz Fuentealba Durand**  
Presidenta Ejecutiva  
Instituto Nacional de Investigación en  
Glaciares y Ecosistemas de Montaña

INAIGEM

## RESUMEN

---

El presente estudio define, por primera vez, una clasificación nacional de lagunas glaciares por niveles de riesgo de desborde, realizado a partir del análisis de la susceptibilidad de desborde y la exposición al peligro. La finalidad es brindar información objetiva de las áreas prioritarias de intervención para la reducción del riesgo de desastres por peligros asociados a glaciares.

Al tratarse de un análisis de alcance nacional, se empleó información del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), el inventario de eventos pasados de inundación por desborde violento de lagunas glaciares (GLOF, por sus siglas en inglés), imágenes satelitales y otras fuentes secundarias. La metodología combina el análisis de susceptibilidad de desborde mediante árboles de decisión para cuatro escenarios, el proceso de análisis jerárquico, la estimación de viviendas expuestas al peligro; además de la consulta a expertos.

Se obtuvo como resultado la identificación de 528 lagunas que presentan riesgo de desborde, de las cuales, 58 se encuentran en un nivel de «muy alto riesgo». También, se presentan 8 casos de lagunas glaciares representativas del país con muy alto riesgo de desborde. A nivel departamental, Áncash, Lima, Cusco, Puno, Junín y Huánuco son los que presentan mayor cantidad de lagunas con riesgo de desborde.

Finalmente, este documento aspira a ser una herramienta que contribuya a la toma de decisiones y la implementación de medidas de mitigación frente a los riesgos asociados con las lagunas glaciares, para así evitar la pérdida de vidas humanas, la afectación a los medios de vida y a los ecosistemas de montaña. Asimismo, constituye un insumo útil para futuras investigaciones sobre riesgos asociados a glaciares.

## AGRADECIMIENTOS

---

A investigadores y especialistas en el estudio de los GLOF que brindaron sugerencias y aportes a este estudio: Adam Emmer, Ryan Wilson, Fabian Drenkhan, Randy Muñoz, Ronald Concha, Juan Torres, Roque Vargas, Oscar Vilca, Ricardo Vila, César Salazar, Christian Riveros, Jan Klimeš, Vít Vilímek y Efraín Turpo.

Al equipo del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar del INAIGEM, que aportó en la construcción de variables de análisis: Yadira Curo, Gladis Celmi y Mayra Mejía.

Al Banco Interamericano de Desarrollo por su apoyo para la difusión de esta publicación.

# SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

---

**ADD:** árbol de decisión

**AHP:** Proceso de Análisis Jerárquico

**ANA:** Autoridad Nacional del Agua

**CENEPRED:** Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres

**DA:** dique artificial

**DEM:** Digital Elevation Model o Modelo Digital de Elevación

**DIG:** Dirección de Investigación en Glaciares

**E:** este

**GAPHAZ:** Glacier and Permafrost Hazards in Mountains o Grupo de Trabajo Permanente sobre Peligros Glaciares y Permafrost en Alta Montaña

**GLOF:** Glacial Lake Outburst Flood o Inundación por desborde violento de laguna glaciar

**IGN:** Instituto Geográfico Nacional

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

**INDECI:** Instituto Nacional de Defensa Civil

**INEI:** Instituto Nacional de Estadística e Informática

**INGEMMET:** Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

**INGLOG:** Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar

**IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change o Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

**MINAM:** Ministerio del Ambiente

**MO:** dique de morrena

**N:** norte

**OMM:** Organización Meteorológica Mundial

**RO:** dique de roca

**SIG:** Sistema de Información Geográfica

**S/N:** sin nombre

**UTM:** Universal Transversal de Mercator

**WGS84:** World Geodetic System 1984



# INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN

---

En las últimas décadas, el calentamiento global ha acelerado el derretimiento de los glaciares y ha alterado los patrones de precipitación, lo que afecta significativamente a la formación y dinámica de las lagunas glaciares. En consecuencia, se incrementan los peligros de origen glaciar, como el desborde violento de lagunas glaciares (GLOF), que puede provocar un aluvión y afectar a las comunidades, sus medios de vida y los ecosistemas de montaña.

Es importante señalar que el Perú es considerado el tercer país con mayor riesgo por GLOF a nivel mundial (Taylor et al., 2023). Con relación a este riesgo, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) se encarga de realizar investigaciones científicas sobre peligros de origen glaciar, la evaluación del riesgo de aluvión en subcuencas priorizadas y el monitoreo de lagunas peligrosas.

En este contexto, el presente estudio define, por primera vez, una clasificación nacional de las lagunas glaciares según niveles de riesgo de desborde, realizado a partir del análisis de la susceptibilidad de desborde y la exposición al peligro. La finalidad es brindar información objetiva de áreas prioritarias de intervención para la reducción del riesgo de desastres por peligros de origen glaciar.

Al tratarse de un análisis de alcance nacional, se empleó información del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar del INAIGEM, el inventario de eventos GLOF del pasado (Emmer et al., 2022b), imágenes satelitales y otras fuentes secundarias. La metodología combina el análisis de susceptibilidad de desborde mediante árboles de decisión para cuatro escenarios, el proceso de análisis jerárquico, la consulta a expertos y la estimación de viviendas expuestas al peligro.

El estudio ha sido elaborado por la Dirección de Investigación en Glaciares del INAIGEM, gracias a la dedicación de su equipo de especialistas en evaluación y monitoreo de lagunas peligrosas. Además, ha contado con la orientación de expertos en el tema, tanto a nivel nacional como internacional.

Se espera que este documento brinde información oportuna sobre los riesgos de origen glaciar a los tomadores de decisiones de los diferentes niveles de gobierno y a la comunidad, para su conocimiento y la mejora de políticas públicas que contribuyan a la adecuada gestión y mitigación del riesgo. Asimismo, los resultados permitirán orientar la aplicación de estudios especializados de evaluación del riesgo en las lagunas priorizadas y promover estrategias de reducción del riesgo de desborde. De esta manera, se busca contribuir a la prevención y reducción del riesgo en beneficio de la población.

El presente documento ha sido estructurado en seis secciones: la primera, se enfoca en revisar el marco conceptual relacionado con las lagunas glaciares y su vínculo con la susceptibilidad de desborde; la segunda, presenta antecedentes, se hace una revisión de los eventos pasados de desborde de lagunas glaciares en el Perú y las medidas adoptadas ante este riesgo; la tercera, describe la metodología empleada para la clasificación de lagunas glaciares según riesgo de desborde; la cuarta, presenta los resultados obtenidos a nivel nacional y departamental, además, la descripción de 8 casos de lagunas glaciares con riesgo de desborde; y la quinta y la sexta, presentan recomendaciones para la toma de decisiones y conclusiones del estudio, respectivamente.



CAPÍTULO 1  
**MARCO  
CONCEPTUAL**

# 1. MARCO CONCEPTUAL

## 1.1. Lagunas de origen glaciar

Una laguna glaciar es un depósito de agua formado como resultado de la deglaciación reciente o antigua (Lesi et al., 2022) y se alimenta del agua de la fusión glaciar y las precipitaciones; además está delimitada, generalmente, por una morrena terminal. La mayoría de las lagunas glaciares se han formado después de la Pequeña Edad de Hielo en lugares que estuvieron cubiertos por glaciares (Frey et al. 2010).

Las lagunas glaciares se pueden clasificar según su ubicación con relación al glaciar en:

**a. Lagunas supraglaciares:** se encuentran sobre la superficie glaciar, por lo que pueden incrementar el derretimiento del hielo y la formación de grietas que facilitan el drenaje del agua. Suelen ser variables en el tiempo. Además, son poco comunes y tienden a presentar un tamaño reducido.

**b. Lagunas proglaciares:** son lagunas en contacto con el glaciar, de manera que pueden recibir la caída directa o desprendimiento de bloques de hielo, llamado «calving». Por ello, constituyen las de mayor peligro de desborde.

**c. Lagunas periglaciares:** se ubican en el entorno de un glaciar, pero ya no están en contacto con él. Son las más abundantes en el Perú.

Figura 1. Tipos de lagunas glaciares: a. supraglaciar, b. proglaciar y c. periglaciar



A. LAGUNA  
SUPRAGLACIAR

Edwin Loarte, 2021

B. LAGUNA  
PROGLACIAR

Oscar Vilca, 2023





## C. LAGUNA PERIGLACIAR

Renny Díaz, 2022

Es importante mencionar que las lagunas proglaciares evolucionan eventualmente en lagunas periglaciares como parte del retroceso glaciar.

También se pueden clasificar según el tipo de represamiento en:

**a. Lagunas represadas por roca:** son consideradas las más estables ante eventos GLOF (Emmer et al, 2016).

**b. Lagunas represadas por morrenas:** están contenidas por barreras o diques naturales conformados por depósitos de fragmentos de roca de tamaño diverso, que fueron transportados por el glaciar. Se trata de material no consolidado, por lo que son inestables.

**c. Lagunas represadas por hielo:** son consideradas las más inestables, debido a que el agua favorece el derretimiento del hielo y con ello su filtración.

**d. Lagunas represadas por deslizamiento:** son contenidas por un deslizamiento de roca, tierra o escombros.

**e. Lagunas represadas por diques mixtos:** se trata de la combinación de dos o más materiales en el dique.

En las lagunas estudiadas a nivel nacional se encuentra la combinación entre los diques de morrena/roca, morrena/dique artificial y roca/dique artificial.

Figura 2. Tipos de represamiento de laguna: a. roca, b. morrena, c. mixto (morrena/dique artificial)

## A. LAGUNA REPRESADA POR ROCA

Oscar Vilca, 2022





## B. LAGUNA REPRESADA POR MORRENAS

Yoshi Campos, 2024

## C. LAGUNA REPRESADA POR DIQUES MIXTOS

Paola Moschella, 2024

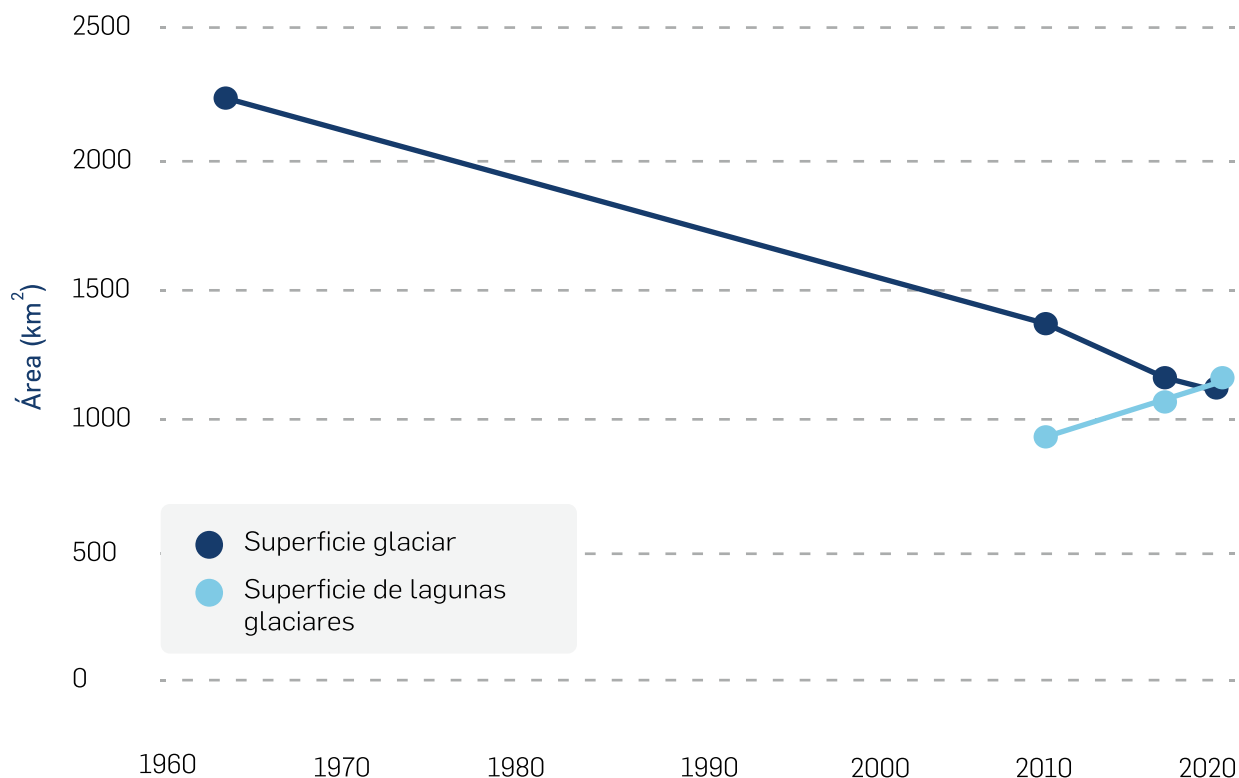


## 1.2. Efectos del cambio climático en las lagunas de origen glaciar

En las últimas décadas se ha incrementado la pérdida de glaciares en todo el mundo, con el consecuente aumento de lagunas glaciares en área y cantidad (IPCC, 2019). A nivel mundial, se ha registrado un aumento del 53 % de lagunas glaciares en dos décadas, alcanzando un total de 14 394 lagunas con más de 0,05 km<sup>2</sup> de área (Shugar et al. 2020).

Esta tendencia creciente, en el Perú se ha manifestado con la pérdida del 56 % de la superficie glaciar en 58 años; asimismo, los inventarios nacionales de lagunas de origen glaciar evidencian un incremento de la superficie total de estas lagunas (INAIGEM, 2023).

**Figura 3. Variación total de la superficie glaciaria y de las lagunas glaciares en el Perú**



Elaborado con base en **INAIGEM, 2023**

Nota. No se cuenta con datos de superficie de lagunas glaciares antes de 2010.

**Figura 4. Formación de laguna por retroceso glaciario: a. glaciar en 2016, b. laguna en 2023**



Imagen: **Google Earth 2024 CNES, Airbus**

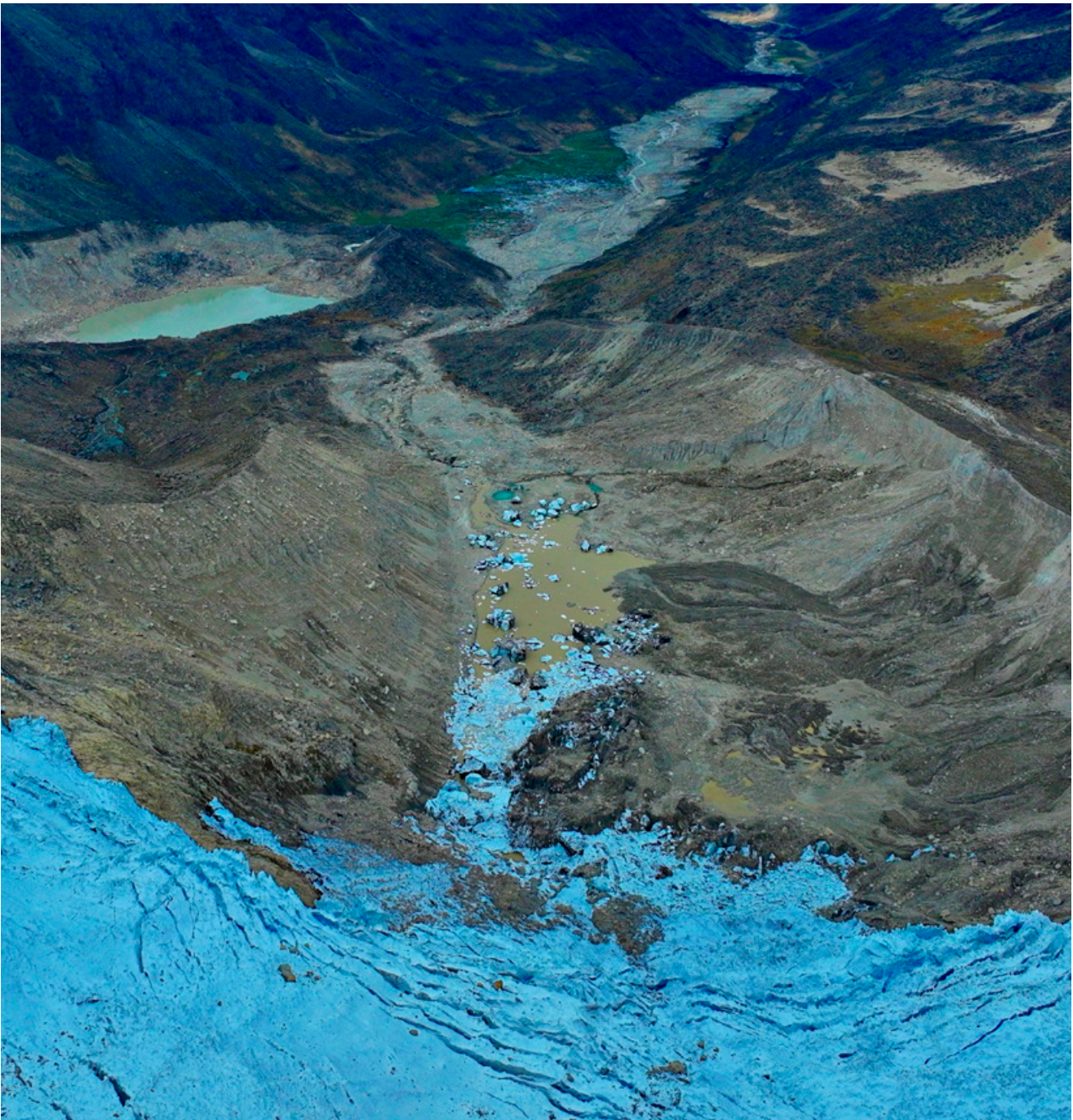
Al mismo tiempo, el cambio climático puede ocasionar la desaparición de lagunas por la extinción de los glaciares que las alimentan y la reducción del aporte de agua de lluvia. Entonces, el cambio climático en zonas de alta montaña puede promover la formación, la evolución y también la desaparición de lagunas, ya sea de forma lenta o catastrófica (Emmer et al., 2016).

### 1.3. Inundación por desborde violento de laguna glaciar (GLOF)

Es un fenómeno conocido en inglés como Glacial Lake Outburst Flood (GLOF), el cual consiste en una secuencia de procesos que puede ser iniciado por diferentes desencadenantes e implica la liberación súbita de agua de una laguna glaciar que genera un aluvión o flujo de lodo o detritos (Emmer y Vilímek, 2014).

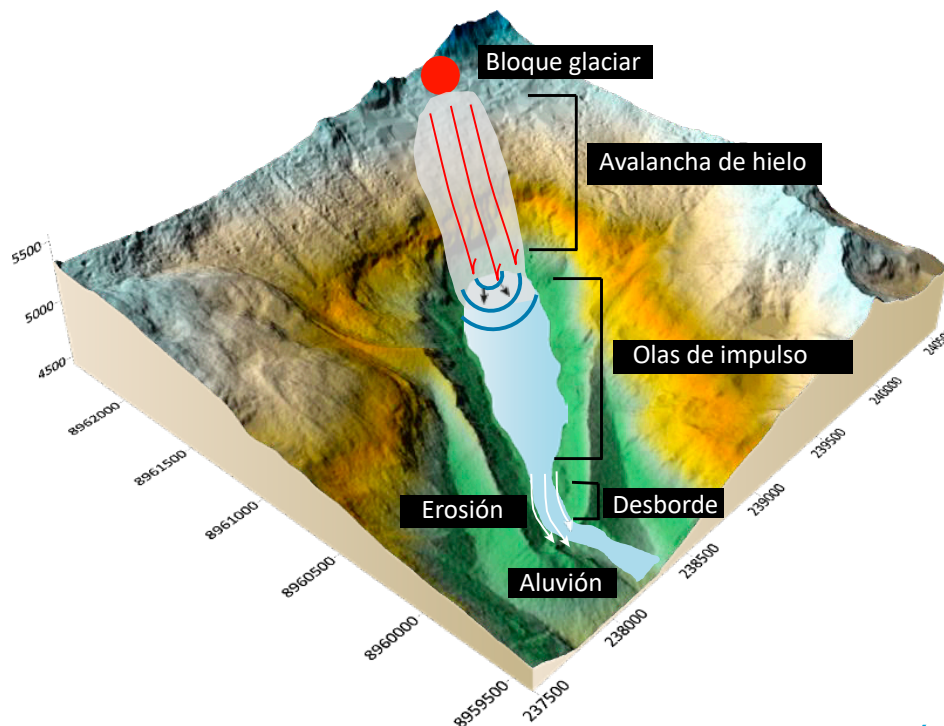
El aluvión se caracteriza por recorrer el cauce de un río o quebrada, hasta llegar a una zona de menor pendiente donde pierde fuerza y se abre formando un abanico aluvial. El desborde de la laguna puede ser ocasionado por diversos factores, como avalancha de hielo, caída de bloques de rocas o deslizamiento desde la morrena lateral, lo cual golpea la laguna y genera un fuerte oleaje que causa su desborde. También se puede originar por la elevación del nivel del agua por lluvias intensas o el deshielo acelerado. En el caso de lagunas con diques de morrena, el oleaje o elevación del nivel del agua puede ocasionar la degradación y ruptura parcial o total del dique, aumentando el volumen de agua que se libera.

**Figura 5. Desborde de la laguna Phacu Cucho y formación de aluvión aguas abajo**



Oscar Vilca, 2022

Figura 6. Representación de la cadena de procesos de un GLOF

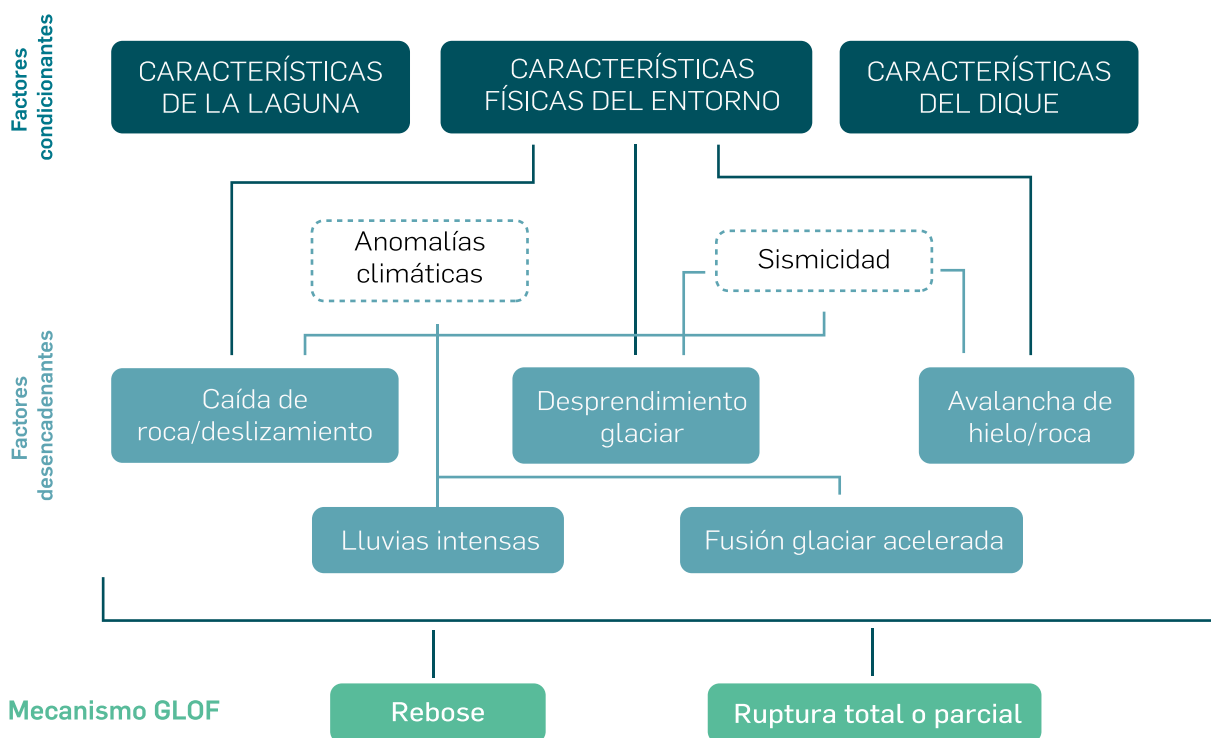


Elaboración: H. Villafane

A nivel global se tiene registro de la ocurrencia de 3151 GLOF, de los cuales, 140 ocurrieron en el Perú (Emmer et al. 2022a; Lutzow et al. 2023), una cifra que aumenta cada año. Este fenómeno es un peligro significativo, ya que puede afectar zonas pobladas, infraestructuras, medios de vida, ecosistemas y otras construcciones que se encuentren aguas abajo.

Diversas condiciones pueden favorecer la ocurrencia de un evento GLOF y definir su magnitud. Algunas de estas características van a determinar los desencadenantes o procesos que inician la transformación a una situación de inestabilidad (GAPHAZ, 2017) y otras definen el tipo de mecanismo que puede iniciar un GLOF, ya sea por rebose de la laguna o por ruptura del dique (ver Figura 7).

Figura 7. Diagrama de flujo de los factores condicionantes y desencadenantes del peligro por GLOF



A continuación, se describen los principales factores que se relacionan con la ocurrencia de un GLOF, agrupados por tipo.

### 1.3.1. Características de la laguna

Entre las características más importantes se encuentra el volumen de la laguna, el cual, determina la posible máxima descarga de agua en un GLOF (Zhang, T. et al., 2023); sin embargo, realizar estudios de batimetría para todas las lagunas demandaría un extenuante esfuerzo económico y humano, por este motivo, han surgido diversos métodos indirectos para calcular el volumen de la laguna a través del área (Fisher et al., 2021; Zhang, T. et al., 2023).

Otra de las características es la tasa de expansión de la laguna, un incremento de la superficie implicaría un aumento del volumen de esta (Bajracharya et al., 2020), lo que se refleja en una mayor susceptibilidad.

Figura 8. Laguna Qolque Punku



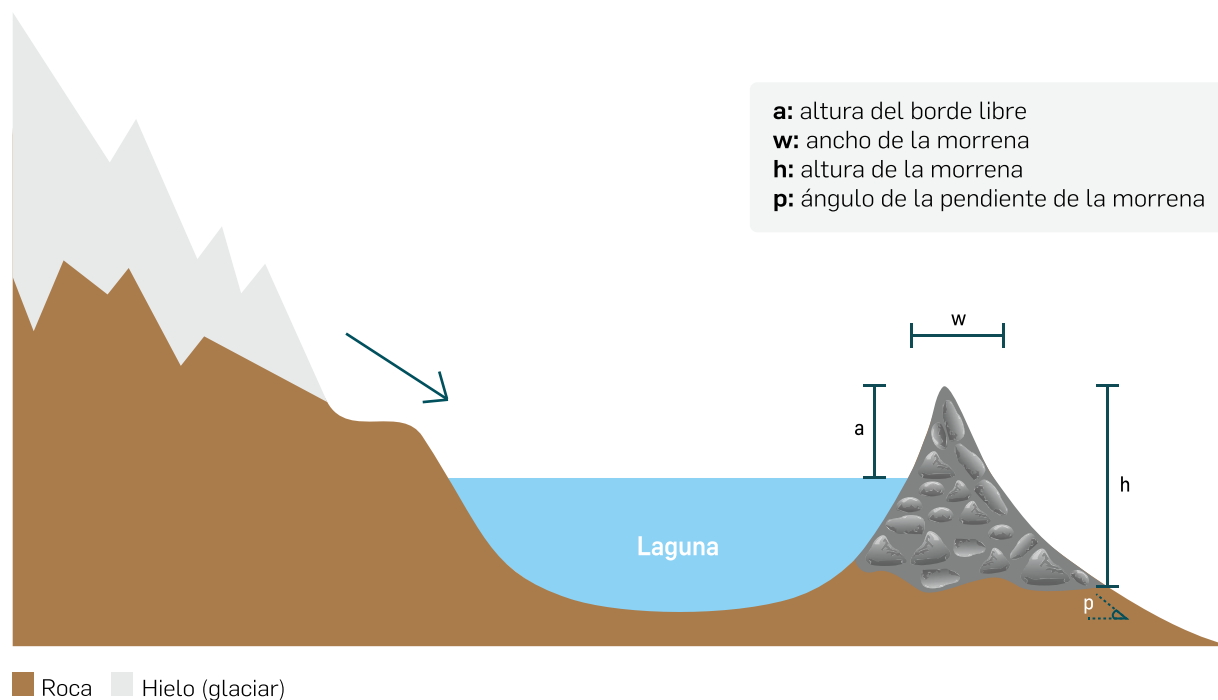
Oscar Vilca, 2022

### 1.3.2. Características del dique

Las características composicionales y geométricas del dique son un importante parámetro en la estabilidad de la laguna. De acuerdo con su composición estos pueden ser, de menos estable a más estable: de hielo, de morrena, de deslizamiento, de roca y mixto (Huggel et al. 2004; Emmer et al. 2022b). Por otro lado, la geometría del dique se basa en: (1) el ancho de la cresta, mientras más delgado es más susceptible; (2) la altura del dique, por lo general se considera el ratio ancho/alto; y, (3) la pendiente externa del dique, a mayor pendiente menor estabilidad (Huggel et al. 2004; Bajrachayra et al. 2020). Adicionalmente, aunque no es una característica geométrica del dique, se considera la altura del borde libre, el cual refleja si el oleaje sobrepasará el dique, lo que puede erosionarlo y, eventualmente, llevarlo a su ruptura parcial o completa (Worni et al. 2013).

Asimismo, existen características exclusivas de los diques morrénicos y mixtos, y son la presencia de drenaje a través del dique y la presencia de permafrost al interior de la morrena (Bajrachayra et al. 2020), que, al fundirse por el inherente aumento de la temperatura, genera inestabilidad.

**Figura 9. Sección transversal idealizada de una laguna periglacial, indicando las características geométricas del dique**



Elaboración: A. Salas

### 1.3.3. Características del entorno de la laguna

La cuenca de aporte o área de captación de la laguna se refiere a toda el área de las laderas cuyo flujo se dirige hacia la laguna; de modo que, las características de los glaciares, rocas y depósitos de suelo en esta zona determinan la posibilidad de caída de avalanchas o deslizamientos sobre la laguna. Las características del glaciar, como presencia de agrietamiento, fuerte pendiente y mayor proximidad a la laguna, elevan la probabilidad de caída de bloques o avalanchas, con la consecuente generación de oleajes que pueden desbordar la laguna.

Por otro lado, las características de la roca, como la pendiente, tipo de roca, presencia de fracturas y grado de meteorización, influyen en la posibilidad de caída de rocas o deslizamientos sobre la laguna que pueden generar su rebose.

En cuanto a las características del cauce aguas abajo de la laguna, resulta relevante la presencia de pendientes mayores a  $6^\circ$  para mantener el avance del aluvión y en los tramos de menor pendiente se genera la deposición de sedimentos (GAPHAZ, 2017).

**Figura 10. Zonas inestables en el entorno de lagunas glaciares: a. Deslizamientos en la laguna Upiscocha. b. Desprendimientos de hielo sobre laguna en la cordillera Apolobamba**



Oscar Vilca, 2023



Paola Moschella, 2024

#### 1.3.4. Anomalías climáticas

En las últimas décadas, las anomalías climáticas se han vuelto más frecuentes como consecuencia del cambio climático, entre ellas, el Fenómeno El Niño. Estas anomalías pueden dar lugar a periodos de elevadas temperaturas y lluvias intensas. En consecuencia, se acelera la fusión de glaciares y permafrost, y junto con las lluvias, puede incrementar la posibilidad de desborde. Cabe destacar que, el GLOF con mayores fatalidades registrado, ocurrió en Kedarnath en India, en junio de 2013, con más de 6000 víctimas y fue detonado por fuertes precipitaciones (Allen et al. 2016).

#### 1.3.5. Sismicidad

El Perú se sitúa en el Anillo de Fuego del Pacífico, el cual se caracteriza por una alta actividad sísmica; en este caso, se manifiesta en el límite de las placas de Nazca y Sudamericana, y también los sismos de intraplaca relacionados a fallas activas. Las zonas de mayor actividad sísmica en el Perú se concentran en la franja marino-costera centro y sur.

La sismicidad como desencadenante de los eventos GLOF, a nivel global, ha sido evaluada y se determinó que tiene una importancia relativamente baja comparada con otros factores. No obstante, en el Perú se tiene registro de que los sismos han desencadenado siete GLOF (Wood et al., 2024).

## 1.4. Conceptos básicos con relación al riesgo de desastre

### 1.4.1. Peligro

Es la probabilidad de que un fenómeno potencialmente dañino de origen natural se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos (CENEPRED, 2016); por lo tanto, el peligro involucra tres componentes: el proceso físico, la magnitud del evento y la probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, este concepto fue establecido, principalmente, para peligros de origen hidrológico, los cuales difieren de los sistemas glaciares porque estos cambian en cortos periodos de tiempo (Huggel et al. 2004).

**Figura 11. Rotura de dique artificial en la laguna Chojñacota en 2019, cordillera Apolobamba**



Paola Moschella, 2024

### 1.4.2. Susceptibilidad de desborde de laguna glaciar

La susceptibilidad se refiere a la posibilidad o probabilidad de ocurrencia de un peligro con base en las características intrínsecas y dinámicas de un lugar (GAPHAZ, 2017). Además, la susceptibilidad tiene una relación directa con la estabilidad, es decir, el dique inestable de una laguna glaciar podría indicar que esa laguna es altamente susceptible a una inundación por desborde.

Evaluar la susceptibilidad de ocurrencia de un GLOF es considerado un problema científico desafiante que demanda un enfoque interdisciplinario (Emmer y Vilímek, 2014). Existen diferentes métodos para ello y se pueden clasificar en métodos basados en puntaje, en cálculos, en árboles de decisión, en matrices y mixtos (Emmer y Vilímek, 2014).

La importancia del análisis de susceptibilidad de desborde de lagunas glaciares es que proporciona una base para identificar y dar prioridad al sitio exacto en donde se desarrollarán los futuros estudios de evaluación del peligro.

### 1.4.3. Exposición al peligro

Se refiere a la presencia de personas, medios de vida, ecosistemas, infraestructuras y otros elementos ubicados en la zona de impacto de un peligro.

Las civilizaciones, antes y en la actualidad, a menudo se establecen cerca de cuerpos de agua debido a su importancia para la vida y sus actividades, como la agricultura y la ganadería. Los glaciares y las lagunas proveen este recurso, inclusive en el periodo de estiaje. No obstante, la cercanía los ha llevado a estar expuestos a peligros de origen natural.

En las últimas décadas, estos peligros han aumentado su intensidad y frecuencia debido al cambio climático. Por ejemplo, en las vertientes occidental y oriental de la Cordillera Blanca, habitan miles de personas cerca de los ríos que nacen de las lagunas glaciares, en muchos casos, expuestos a peligros de origen glaciar.

#### **1.4.4. Riesgo de desastre**

El riesgo de desastre se refiere a la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro (CENEPRED, 2016). Además, el IPCC señala que el riesgo resulta de las interacciones entre los peligros, la exposición y la vulnerabilidad del sistema humano o ecológico afectado (IPCC, 2022).

El presente estudio, conforme al alcance nacional, parte del análisis de las 8466 lagunas de origen glaciar, no siendo posible realizar una evaluación precisa de todos los componentes del riesgo en todas las lagunas del país. De tal modo que, se ha diseñado una metodología que aborda el análisis de susceptibilidad de GLOF y la exposición al peligro a partir de datos disponibles, para brindar una aproximación a este tipo de riesgo a nivel nacional.

An aerial photograph of a high-altitude mountain landscape. The top half shows a large glacier flowing down a rocky, snow-dusted mountain slope. The bottom half shows a turquoise lake filled with icebergs, situated in a valley between dark, rocky mountains. A semi-transparent blue rectangle is overlaid on the right side of the image, containing the chapter title. White geometric lines, including a large semi-circle and a large triangle, are overlaid on the image to highlight specific areas.

## CAPÍTULO 2 **ANTECEDENTES**

## 2. ANTECEDENTES

---

### 2.1. Principales eventos de desborde violento de lagunas glaciares en el Perú

Según Emmer et al. (2022a), desde 2017, se han reportado decenas de eventos individuales de GLOF en diferentes partes del mundo, incluyendo los Andes Tropicales. La mayoría de estos GLOF se originaron en lagunas represadas por hielo, mientras que, en los otros tipos son menos frecuentes. El inventario de Emmer y otros (2022a), presenta un total de 139 GLOF ocurridos en 131 lagunas de 11 cordilleras de los Andes del Perú y una cordillera transfronteriza con Bolivia.

Desde el final de la Pequeña Edad de Hielo, los GLOF catastróficos originados en lagunas con diques de morrena y diques de roca, han causado la muerte de miles de personas y han provocado daños considerables en la región de la Cordillera Blanca. A principios de la década de 1950, muchas de las lagunas más grandes tuvieron intervenciones de seguridad; sin embargo, en las últimas décadas, el número de inundaciones por desbordamiento reportadas ha aumentado. De igual manera, de acuerdo con Ahmed et al. (2023), se han incrementado los peligros de origen natural en los Andes del Perú, manifestadas en las inundaciones repentinas por desborde de las lagunas glaciares y eventos catastróficos con pérdidas humanas.

En la Cordillera Blanca (Áncash) se han documentado, de manera exhaustiva, varios eventos históricos y recientes de GLOF desastrosos, con miles de fatalidades (Carey et al., 2005). Se han reportado unos pocos en otras regiones glaciares de Perú. En la Cordillera Blanca se han registrado eventos GLOF desde 1932 (ver Tabla 1), muchos de ellos han sido catastróficos, constituyendo la principal motivación para realizar investigaciones en la zona.

**Tabla 1. Principales eventos pasados de GLOF en el Perú (1932 - actualidad)**

ETAPAS	FECHA	ACONTECIMIENTO
Siglo XX	14/03/1932	Aluvión de la laguna Solteracocha, cordillera Huayhuash, en la cuenca Pacllón.
	20/01/1938	Aluvión de la laguna Arteza por la quebrada Buin, cerca de Carhuaz, en la Cordillera Blanca.
	20/04/1941	Aluvión de la laguna Suerococha en el Alto Pativilca, en la cordillera Huayhuash, que causó daños en campos agrícolas y en la ciudad de Sarapo.
	13/12/1941	Aluvión de las lagunas Palcacocha y Jircacocha en la quebrada Cojup, Huaraz, en la Cordillera Blanca. Murieron, al menos, 1800 personas.
	17/01/1945	Aluvión de las lagunas Ayhuiñaraju y Carhuacocha ocasionado por una avalancha de hielo del nevado Huantsán, en la Cordillera Blanca. Destruyó parte del pueblo y cubrió las ruinas de Chavín. Causó 300 pérdidas humanas.
	20/10/1950	Aluvión de la laguna Jancarurish, en la Cordillera Blanca, que destruyó una central hidroeléctrica y el ferrocarril Chimbote - Huallanca.
	16/07/1951	Aluvión de la laguna Artesoncocha sobre la laguna Parón, en la Cordillera Blanca.
	28/10/1951	Aluvión de la laguna Artesoncocha sobre la laguna Parón, en la Cordillera Blanca.
	06/11/1952	Aluvión de la laguna Millhuacocha, quebrada Ishinca, Paltay - Huaraz, en la Cordillera Blanca.
	1953	Deslizamiento de la morrena de la laguna Tullparaju, en la Cordillera Blanca. Ocasionó el desborde de la laguna, mas no un aluvión.
Siglo XXI	08/12/1959	Deslizamientos y flujos de la laguna Tullparaju, en la Cordillera Blanca. Se registraron daños menores en la ciudad de Huaraz.
	19/12/1965	Avalancha del nevado San Juan sobre la laguna Tumarina, Huántar – Huari. Murieron 10 personas y hubo daños materiales.
	17/10/2010	Avalancha del Nevado Chicón sobre la laguna Pukaqocha, en la cordillera Urubamba, generando un aluvión que afectó varios centros poblados.
	23/02/2020	Aluvión por desembalse de la laguna Salkantaycocha, en la cordillera Vilcabamba. Causó muertes y desaparecidos.

**Elaborado con base en Portocarrero (1995), Teci & Tupa, (2017), Morales (1998) y Wegner (2024)**

Figura 12. Mapa de eventos GLOF pasados en el Perú



## 2.2. Antecedentes de medidas de mitigación del riesgo de desborde en lagunas de origen glaciar

Desde los años 50, la Comisión de Control de Lagunas de la Cordillera Blanca, creada a raíz del desastre en la quebrada Los Cedros, mediante Resolución Suprema n.° 259 del 13 de noviembre de 1950, con sede de operación principal en la ciudad de Lima, realizó estudios en esta cordillera. A partir de 1951, se dio inicio a la ejecución de las primeras obras de seguridad en lagunas de origen glaciar, siendo el caso de las lagunas Llaca, Mullaca, Parón, Lejiacocha, Cochca, Yanahuanca, Ishinca, Cuchillacocha, Tullparaju y Purhuay, en algunas de las cuales se hicieron tajos en la zona frontal para reducir el espejo de agua, y en otras se construyeron diques de tierra compactada, revestido con mampostería y emboquillado de piedra, con conducto de salida de concreto armado o de tubería de acero ARMCO. Para la ejecución de dichas obras, en algunos casos, se construyeron trochas carrozables, pero en su mayoría caminos de herradura, para facilitar el acceso de los materiales.

Posterior y adicional a ello, entre 1953 y 1955, la Comisión de Control de Lagunas de la Cordillera Blanca, concluyó la ejecución de trabajos de seguridad en lagunas: cortes en las lagunas Cochca y Yanahuanca, desagüe en las lagunas Mullaca e Ishinca, y otras obras de seguridad en las lagunas Lejiacocha, Cullicocha y Rajucocha. Luego, en la década de 1970, se continuó con la ejecución de nuevas obras de seguridad y la refacción de algunas existentes.

Un caso en particular es el de la laguna Parón. A partir de la década de 1960, la empresa estatal ElectroPerú llevó a cabo estudios que permitieron la ejecución de obras para regular y descargar la laguna. A inicios de la década de 1980, se construyeron el túnel de desagüe, la galería de descarga, la cámara de sondeo, el difusor y las compuertas, infraestructuras que hacen posible la regulación del nivel de agua de la laguna.

Cabe destacar que las obras de seguridad en lagunas de origen glaciar, especialmente en la Cordillera Blanca, representaron en su momento (entre 40 y 70 años atrás) un hito en la gestión del riesgo de desastres, situación reconocida por instituciones e investigadores a nivel internacional.

Las características actuales de las lagunas glaciares donde se ejecutaron estas obras de seguridad han cambiado considerablemente: ahora superan ampliamente en volumen, profundidad y superficie del espejo de agua las condiciones que tenían al momento de su ejecución. Además, debido al tiempo transcurrido y al cambio de contexto, en la actualidad dichas obras ya no representan una medida efectiva de mitigación del peligro. Resulta necesario, entonces, que las autoridades tomen acciones al respecto. Esta situación se ha intensificado por el retroceso glaciar.

También existen obras de seguridad construidas a nivel nacional y están compuestas por diques de tierra revestidos de enrocado, túneles de descarga, canales abiertos de descarga (revestidos y no revestidos), entre otros. En la Tabla 2 se detalla el número de diques artificiales identificados por departamento.

**Tabla 2. Diques artificiales en lagunas glaciares identificadas a nivel nacional**

n.°	Departamento	n.° de diques	Tipo de dique
1	Áncash	17	Dique artificial en morrena
2	Arequipa	1	Dique artificial en morrena
3	Lima	5	Dique artificial en morrena y en roca
4	Huánuco	1	Dique artificial en morrena
5	Junín	5	Dique artificial en morrena
6	Puno	3	Dique artificial en morrena y en roca



CAPÍTULO 3  
**METODOLOGÍA**

### 3. METODOLOGÍA

La evaluación de lagunas glaciares con riesgo de desborde comprendió dos componentes importantes: el primero, es la evaluación de la susceptibilidad de desborde a partir del método planteado por Adam Emmer y Vit Vilímek (2014), que consiste en el análisis de cuatro escenarios mediante la técnica del árbol de decisión combinado con el proceso de análisis jerárquico; el segundo componente, es la determinación de la exposición al peligro mediante la cuantificación del número de viviendas expuestas que existen aguas abajo de una laguna susceptible.

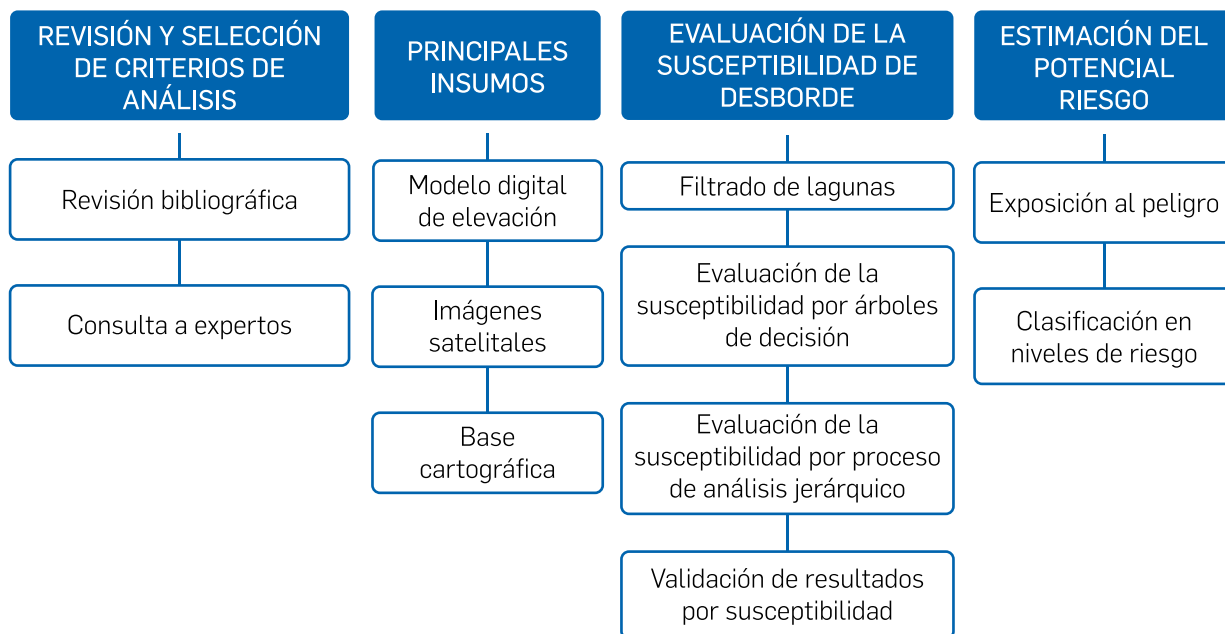
#### 3.1. Alcance del estudio

El presente estudio abarca el ámbito nacional y considera las 8466 lagunas de las 20 cordilleras glaciares del Perú registradas en el Inventario Nacional de Lagunas de Origen Glaciar del INAGEM (2023).

Teniendo en cuenta la importancia de contar con una herramienta para identificar lagunas peligrosas y gestionar el riesgo de desastres en el país, y considerando que los estudios de evaluación de peligros en lagunas requieren un tiempo considerable, este primer documento se enfoca en reducir la brecha de conocimiento técnico, con el fin de facilitar la toma de decisiones a nivel nacional. Por ello, se ha elaborado este documento que sirve de base para realizar estudios de evaluación a un nivel más detallado, priorizando el orden de intervención en la implementación de medidas estructurales -como obras de mitigación del peligro, tanto en el entorno de la laguna como en la parte baja de la cuenca- así como medidas no estructurales de educación y sensibilización para la población expuesta.

El análisis aplicado se ha basado en la recopilación de información de fuentes secundarias y el uso e interpretación de imágenes satelitales de alta resolución, lo que permite tener una primera aproximación a nivel nacional del riesgo de GLOF.

Figura 13. Flujo metodológico



## 3.2. Revisión y selección de criterios de análisis

### 3.2.1. Revisión bibliográfica

Como primer paso, se realizó una exhaustiva revisión de la literatura científica para identificar y analizar las metodologías más relevantes utilizadas en estudios sobre la susceptibilidad de lagunas y la evaluación de aquellas potencialmente peligrosas. Se consideraron principalmente artículos científicos aplicados a los Andes peruanos, los cuales proporcionan un marco teórico y metodológico sólido para comprender los factores que contribuyen a la peligrosidad de estas lagunas.

También, se exploraron enfoques que permiten priorizar aquellas lagunas que representan un mayor riesgo para las poblaciones. Esta búsqueda no solo se enfocó en identificar metodologías, sino también en evaluar su aplicabilidad y adaptabilidad a las características particulares de las lagunas en nuestro país, con el fin de proponer una metodología representativa basada en la experiencia en campo.

### 3.2.2. Consulta a expertos

Se aplicó una encuesta en línea en la que participaron 15 expertos nacionales e internacionales con experiencia en investigación o estudios de campo en lagunas peligrosas. A partir de sus respuestas, se identificaron los criterios de priorización y valoración que determinan el potencial peligro y riesgo de GLOF. Asimismo, se realizaron entrevistas individuales y un taller grupal con este grupo de expertos para recoger sus observaciones y sugerencias sobre la metodología de estudio (ver ANEXO 5).

## 3.3. Principales insumos

Para realizar el análisis de la susceptibilidad y la priorización de las lagunas potencialmente peligrosas por desborde en las 20 cordilleras glaciares del Perú, se empleó la siguiente información:

### 3.4.1. Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés)

Los principales indicadores en el proceso de evaluación de la susceptibilidad, mediante la técnica del árbol de decisión, se centran en la estimación de las pendientes del terreno, lo cual requiere el uso de un modelo digital de elevación (DEM). Para este propósito, se utilizó ALOS PALSAR, con una resolución espacial de 12,5 m. Sin embargo, debido a ciertas imprecisiones detectadas en algunas cordilleras, fue necesario complementar la información con otras fuentes disponibles: Pléiades para la subcuenca Lullán y Horizons para la subcuenca Quillcay, ambas en la Cordillera Blanca, así como vuelos de aeronaves no tripuladas para la laguna Upiscocha en la cordillera Vilcanota.

### 3.4.2. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales desempeñaron un papel importante en la identificación de zonas probables de deslizamiento en las morrenas laterales y en el análisis del flujo de salida de lagunas, lo que permitió identificar la ausencia de borde libre, la existencia de estructuras artificiales y otras características relevantes. Se emplearon dos fuentes principales: en primer lugar, Google Earth; y en segundo lugar, las imágenes más actualizadas de Planet Explorer. Esta última fuente fue especialmente útil para identificar aquellas lagunas que aún están en contacto con el glaciar, proporcionando datos actuales y precisos que mejoraron significativamente el análisis de caracterización.

### 3.4.3. Base cartográfica

Como base cartográfica se han empleado fuentes de distintas entidades nacionales que se detallan a continuación:

- Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar (INGLOG), de INAIGEM (2023)
- Inventario de GLOF, de Emmer et al. (2022b)
- Número esperado de viviendas por hectárea de la Secretaría de Demarcación y Organización Territorial de la Presidencia del Consejo de Ministros, elaborado a partir de INEI (2017)
- Ríos y quebradas, de ANA



## a. Primer escenario

Este escenario evalúa la susceptibilidad de un evento GLOF originado por desprendimientos de hielo («calving»), avalanchas de hielo o deslizamientos de la morrena lateral que impactan contra la laguna. Estos eventos pueden desencadenar un desborde violento de la laguna glaciar. No obstante, se resalta la importancia de las características del dique tras el suceso, ya que el escenario no considera su rotura, por lo que el fenómeno se considera un desborde («overtopping»).

Este primer escenario considera variables como la relación del ancho de hielo «calving» y el ancho máximo de la laguna, que se determina mediante la Ecuación 1:

$$rclwlw = Clw / CwL$$

Donde:

Clw: ancho máximo del glaciar «calving» (m).

CwL: ancho máximo de la laguna (m).

Además, considera la relación de la pendiente de los últimos 500 m del glaciar y la pendiente entre el glaciar y la laguna, mostrado en la Ecuación 2:

$$TSI = \sin(SG500) \times \sin(SLG)$$

Donde:

SG500: pendiente de los últimos 500 m de la lengua glaciar (°).

SLG: pendiente de la distancia entre la laguna y el glaciar (°).

Asimismo, considera la pendiente de la morrena alrededor de la laguna, descrito por la Ecuación 3:

$$TSL = \sin(pmal)$$

Donde:

TSL: potencial de deslizamiento de la morrena lateral.

SLG: pendiente máxima de la morrena lateral con potencial deslizamiento (°).

También, se empleó las condiciones de salida de flujo de agua de la laguna, principalmente descrito en el indicador borde libre cero (blc) que se presenta en la Ecuación 4.

$$blc = \begin{cases} 1, \text{ borde libre} = 0, \text{ con salida de agua} \\ 0, \text{ borde libre} \neq 0, \text{ sin salida de agua y sin obra de seguridad}^* \\ 2, \text{ borde libre} \neq 0, \text{ sin salida de agua y obra de seguridad}^* \end{cases}$$

\*Obra de seguridad: presa de tierra.

Finalmente, se consideró la relación del ancho máximo y el largo máximo de la laguna como un indicador de la disipación de energía (Disip) para aquellas lagunas que no cuentan con salida de agua desde la laguna, descrito por la Ecuación 5.

$$\text{Disip} = \begin{cases} 1 - \frac{A_{\max}}{L_{\max}} \approx 1, & \text{Menor disipación y mayor susceptibilidad "overtopping"} \\ 1 - \frac{A_{\max}}{L_{\max}} \approx 0, & \text{Mayor disipación y menor susceptibilidad "overtopping"} \end{cases}$$

El árbol de decisión para este primer escenario se muestra en el ANEXO 1.

## b. Segundo escenario

Se enfoca en el análisis de un GLOF proveniente de una laguna ubicada aguas arriba en conjunto con el primer escenario. En este contexto, se utilizan principalmente la ecuación 4 del borde libre cero, así como la ecuación 5. Además, se aplica el concepto de área crítica, determinado por la Ecuación 6:

$$A_{\text{cri}} = 0,05 \times A$$

Donde:

A: área de la laguna aguas arriba (km<sup>2</sup>).

A<sub>cri</sub>: área crítica de la laguna aguas arriba (km<sup>2</sup>).

Para que esta laguna sea considerada susceptible en este escenario, debe cumplir con ciertas condiciones. En primer lugar, el área de la laguna evaluada debe ser inferior a 12 veces el área de la laguna iniciadora del GLOF, según observaciones de eventos pasados. Si se cumple esta condición, la laguna tiene el potencial suficiente para disipar el flujo proveniente de la laguna aguas arriba. Además, el área de la laguna debe ser igual o superior a 0,01 km<sup>2</sup>, según Liu (2020). Para mayor detalle, consulte el ANEXO 2, donde se presenta el árbol de decisión para el segundo escenario.

## c. Tercer escenario

Examina la posible ruptura del dique morrénico de la laguna en evaluación, en combinación con el primer escenario. Este análisis requiere una adecuada caracterización de los tipos de dique, centrándonos principalmente, en los diques de morrena y en la combinación de diques de morrena con diques artificiales. Para ello, utilizamos una clasificación de diques codificada, como se muestra en la siguiente regla de correspondencia (Ecuación 7):

$$\text{Tipo de dique} = \begin{cases} 1 & \text{Morrena} \\ 2 & \text{Morrena y dique artificial} \\ 3 & \text{Morrena y roca} \\ 4 & \text{Roca} \\ 5 & \text{Roca y dique artificial} \end{cases}$$

Además, es fundamental estimar el índice de erodabilidad del dique, el cual se representa mediante la siguiente Ecuación 8:

$$E_p = \sin(\text{paad})$$

Donde:

E<sub>p</sub>: índice de erodabilidad del dique de morrena.

Paad: pendiente aguas abajo del dique (°).

El árbol de decisión para este escenario se encuentra en el ANEXO 3.

## d. Cuarto escenario

Se enfoca en la posible ruptura del dique de la laguna como consecuencia de un GLOF proveniente de la laguna situada aguas arriba. Este escenario combina los componentes 3 y 4 del segundo y tercer escenario. Para más detalles, consulte el ANEXO 4.

### 3.4.3. Evaluación de la susceptibilidad por proceso de análisis jerárquico

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) comprende la ponderación de diversos criterios relevantes. Para este análisis, se utilizaron los siguientes criterios: el área de la laguna, la distancia de la laguna al glaciar, el tipo de dique y la composición del material rocoso en el entorno glaciar. De los resultados, se observa que las lagunas glaciares con áreas mayores o iguales a 0,2 km<sup>2</sup> se encuentran por arriba del 35 % de lagunas glaciares ubicadas en el nivel muy alto, y 30 % ubicadas en el nivel alto y muy alto.

Asimismo, en el análisis de Zhang, D. et al. (2023), aplicado para la Meseta Tibetana, las lagunas glaciares con áreas > 0,2 km<sup>2</sup> se clasificaron en el 30 % superior de las lagunas glaciares potencialmente peligrosas, tienen un tamaño de laguna relativamente grande y su capacidad destructiva potencial es mayor que la de otras. Las investigaciones de Nagai (2017) y Fan (2019) destacan que el tamaño mínimo de las lagunas para considerarlas susceptibles a desbordes es de 0,1 km<sup>2</sup>. Este valor ha sido tomado como referencia principal en el presente estudio. Además, Liu (2020) y Khadka (2021) proponen un umbral intermedio de 0,05 km<sup>2</sup>, seguido por Bajracharya (2020) con un valor de 0,02 km<sup>2</sup>. Finalmente, Liu (2020) sugiere un criterio más conservador de 0,01 km<sup>2</sup>. Estos valores se utilizan en la subcategorización de los criterios de las lagunas con mayor potencial de desbordamiento en este análisis.

Uno de los criterios fundamentales es la distancia entre el glaciar y la laguna, ya que influye directamente en los procesos de flujo de avalancha. A menor distancia, mayor es la probabilidad de que una avalancha impacte contra la laguna, incrementando el riesgo de un evento GLOF. Diversos estudios han respaldado este enfoque, destacando que las lagunas situadas a menos de 0,5 km del glaciar presentan un riesgo significativamente mayor de generar un GLOF. Investigaciones de Bajracharya et al. (2020), Nagai et al. (2017), y Kougkoulos et al. (2018), coinciden en establecer este umbral como un factor clave para diferenciar las lagunas con alta probabilidad de desbordamiento.

Los registros recientes de eventos GLOF en nuestro país han subrayado no solo la relevancia de desencadenantes como las avalanchas de hielo y los desprendimientos tipo «calving», sino también la importancia de las avalanchas mixtas (roca y hielo) y los desprendimientos de roca. En este contexto, para abordar de manera integral esta problemática, se ha considerado el tipo de material rocoso en las áreas circundantes a las lagunas glaciares, dado su potencial para generar caídas de roca o avalanchas mixtas. Por esta razón, se han categorizado los tipos de material rocoso en el siguiente orden: sedimentaria, metamórfica, volcánica e intrusiva.

Para mayor detalle, ver en el ANEXO 6 la ponderación de los diferentes criterios utilizados.

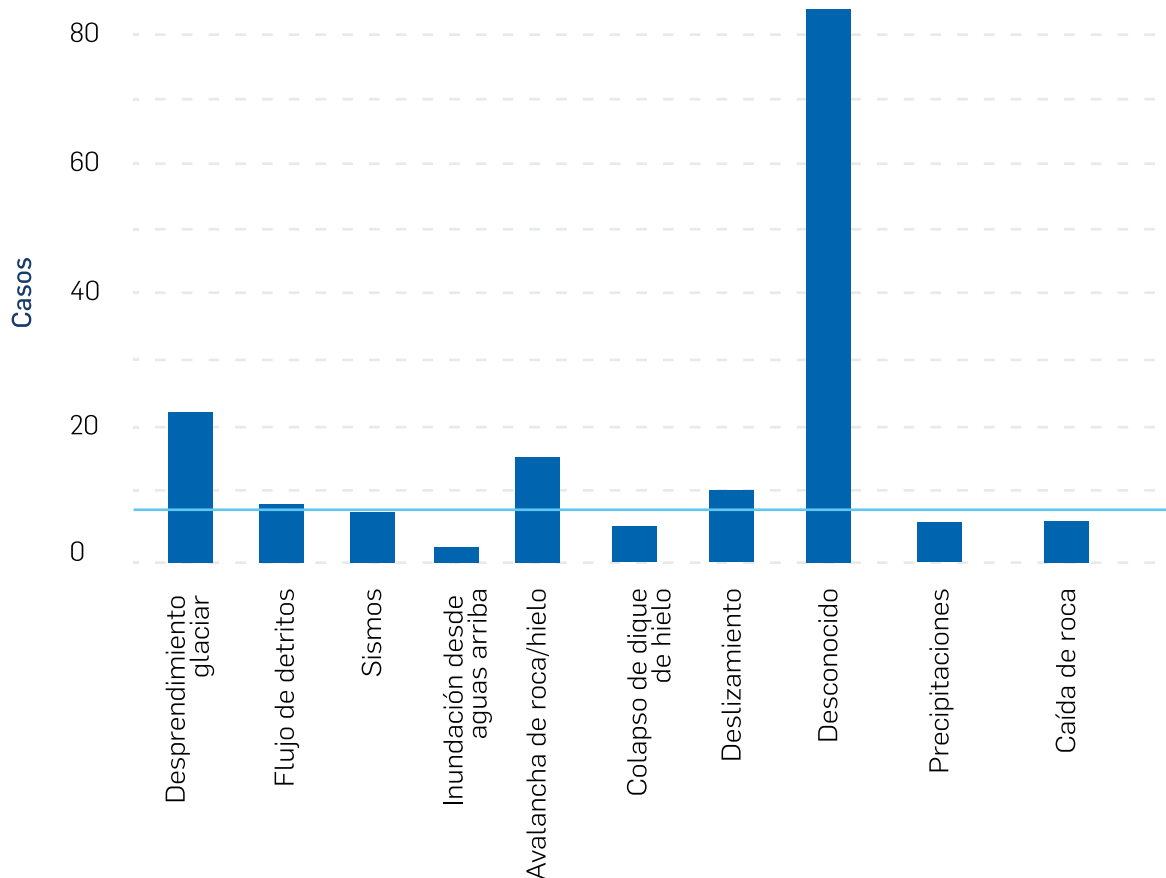
### 3.4.4. Validación de la metodología de susceptibilidad

El proceso de validación se centra en evaluar el desempeño de la metodología de estimación de la susceptibilidad a desbordes con eventos GLOF del pasado, mediante la reconstrucción de indicadores correspondientes a las lagunas analizadas. A continuación, se presenta la lista de lagunas y los años en que ocurrieron eventos GLOF: Palcacocha 1 (1941), Artesoncocha (1951), Palcacocha 2 (2003), Safuna Alta (2002), laguna 513 (2010), Artizón Alto (2012), Artizón Bajo (2012), Hatuncocha (2012), Huallacocha (2015), Salkantaycocha (2020), laguna 1727 (2021), Upiscocha 1 (2022) y Upiscocha 2 (2022).

La reconstrucción de los datos para estas lagunas se centró principalmente en la recopilación de información científica y el análisis de fotografías aéreas de la época en la que se desencadenó un GLOF.

Como parte del proceso de validación, los resultados evidenciaron un desempeño satisfactorio, al clasificar en los primeros puestos las lagunas con condiciones de susceptibilidad que experimentaron eventos de desborde violento en el pasado. Para más detalles, consulte los ANEXOS 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

Figura 16. Desencadenantes de GLOF en el Perú



Elaborado con base en Emmer et al. (2022b)

Nota. La línea celeste indica el límite de los desencadenantes principales.

### 3.5. Estimación del riesgo potencial

#### 3.5.1. Exposición al peligro

El factor de exposición al peligro se determina en función del número de viviendas ubicadas aguas abajo de la laguna y se calcula utilizando la Ecuación 9:

$$Fe = \ln(V) / V_{max}$$

Donde:

V: número de viviendas presentes aguas abajo de una laguna glaciar en un espacio de influencia de 100 m del cauce principal.

V<sub>max</sub>: máximo valor de V.

#### 3.5.2. Clasificación en niveles de riesgo

Los niveles de riesgo se clasificaron en cuatro categorías: muy alto, alto, medio y bajo. Estos rangos fueron establecidos en función de la puntuación obtenida del producto entre el factor de exposición al peligro por viviendas ubicadas aguas abajo de la laguna y la susceptibilidad de desborde de la laguna. Es importante destacar que esta clasificación también se fundamentó en el criterio y la experiencia del profesional, así como en la revisión de eventos históricos de desbordes violentos de lagunas glaciares (GLOF) y la población expuesta en ese entonces.

Tabla 3. Interpretación de los niveles de riesgo

<p><b>NIVEL MUJY ALTO</b></p>	<p>El nivel de riesgo muy alto se interpreta a partir de varios factores condicionantes, desencadenantes y de exposición.</p> <p>Respecto a los factores condicionantes, se trata de lagunas con un área media de 0,21 km<sup>2</sup>, con largos y anchos máximos medios de 809 m y 321 m, respectivamente. Estas lagunas suelen estar retenidas por diques de morrena, en su mayoría, y presentan una salida de flujo de agua, lo que impide la retención de oleajes. Además, sus pendientes aguas abajo alcanzan hasta 36,34°, haciéndolas aún más susceptibles a la erosión ante eventos GLOF.</p> <p>Los desencadenantes incluyen desprendimientos de hielo tipo «calving», avalanchas de hielo o deslizamientos de morrenas laterales. Las pendientes máximas de estas morrenas pueden llegar a 60,62°, con un promedio de 25,62°, mientras que las pendientes de los glaciares cercanos alcanzan hasta 62,36° con una media de 24,73°, haciendo altamente probable el desprendimiento de avalanchas de hielo. A su vez, la distancia entre el glaciar y la laguna presenta pendientes de hasta 49,95°, con un promedio de 27,38°.</p> <p>Finalmente, la exposición es significativa en cuanto a las viviendas ubicadas aguas abajo, con hasta 5829, un promedio de 664 y un mínimo de 90, lo que aumenta considerablemente la vulnerabilidad de las áreas pobladas en caso de un evento de aluvión.</p>
<p><b>NIVEL ALTO</b></p>	<p>Respecto a los factores condicionantes, se trata de lagunas con un área media de 0,15 km<sup>2</sup>, con largos y anchos máximos medios de 662 m y 294 m, respectivamente. Estas lagunas suelen estar retenidas por diques de morrena o diques de roca.</p> <p>Los desencadenantes incluyen desprendimientos de hielo tipo «calving», avalanchas de hielo o deslizamientos de morrenas laterales. Las pendientes máximas de estas morrenas pueden llegar a 48°, mientras que las pendientes de los glaciares cercanos alcanzan hasta 45°, haciendo altamente probable el desprendimiento de avalanchas de hielo. Además, la distancia entre el glaciar y la laguna presenta pendientes de hasta 46,44°.</p> <p>Finalmente, la exposición es significativa en cuanto a las viviendas ubicadas aguas abajo, con hasta 5829, un promedio de 463 y un mínimo de 11, lo que aumenta considerablemente la vulnerabilidad de las áreas pobladas en caso de un evento de aluvión.</p>
<p><b>NIVEL MEDIO</b></p>	<p>El nivel de riesgo medio se interpreta a partir de varios factores condicionantes, desencadenantes y de exposición.</p> <p>En cuanto a los condicionantes, se refiere a lagunas con un área promedio de 0,23 km<sup>2</sup>, con longitudes y anchos máximos de 706 m y 317 m, respectivamente, que suelen estar retenidas por diques de morrena y roca.</p> <p>Los desencadenantes principales incluyen desprendimientos de hielo tipo «calving», avalanchas de hielo o deslizamientos de morrenas laterales, con pendientes máximas, de estas morrenas, de hasta 33°, mientras que las pendientes de los glaciares cercanos pueden alcanzar los 40°. Adicionalmente, la pendiente de la distancia entre el glaciar y la laguna puede llegar a 51°, lo que refuerza el potencial de inestabilidad.</p> <p>En cuanto a la exposición, se considera la presencia de viviendas que podrían resultar afectadas ante eventos de aluvión.</p>
<p><b>NIVEL BAJO</b></p>	<p>El nivel de riesgo bajo se interpreta a partir de varios factores condicionantes, desencadenantes y de exposición.</p> <p>En cuanto a los condicionantes, estas lagunas tienen un área media de 0,19 km<sup>2</sup>, con longitudes y anchos máximos promedio de 624 m y 292 m, respectivamente. Están retenidas por diques de morrena, roca, roca con morrena o diques artificiales.</p> <p>Los desencadenantes incluyen las avalanchas de hielo y las pendientes de los glaciares cercanos alcanzan hasta 50°. Sin embargo, la pendiente entre el glaciar y la laguna, con un valor máximo de 44°, indica condiciones menos propensas a generar desbordes violentos.</p> <p>En cuanto a la exposición, se considera la presencia de viviendas que podrían resultar afectadas ante eventos de aluvión.</p>

The image is a full-page background featuring a high-altitude landscape. In the foreground, a vibrant turquoise lake is visible, with a white geometric frame partially enclosing it. The middle ground shows a brownish, rocky terrain leading up to snow-capped mountains under a blue sky with scattered white clouds. The text 'CAPÍTULO 4' and 'RESULTADOS' is centered in a white box over the lake.

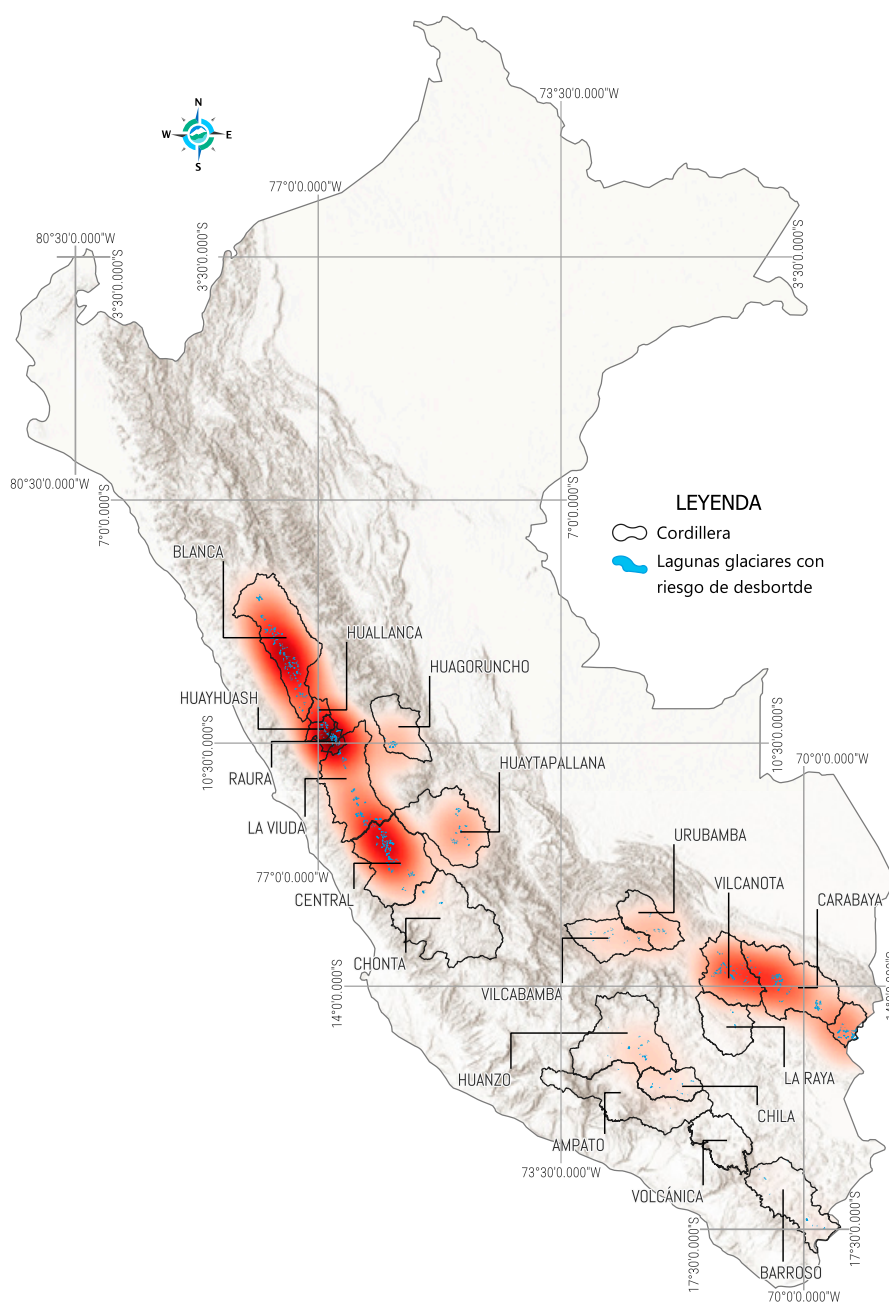
CAPÍTULO 4  
**RESULTADOS**

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Lagunas glaciares con riesgo de desborde a nivel nacional

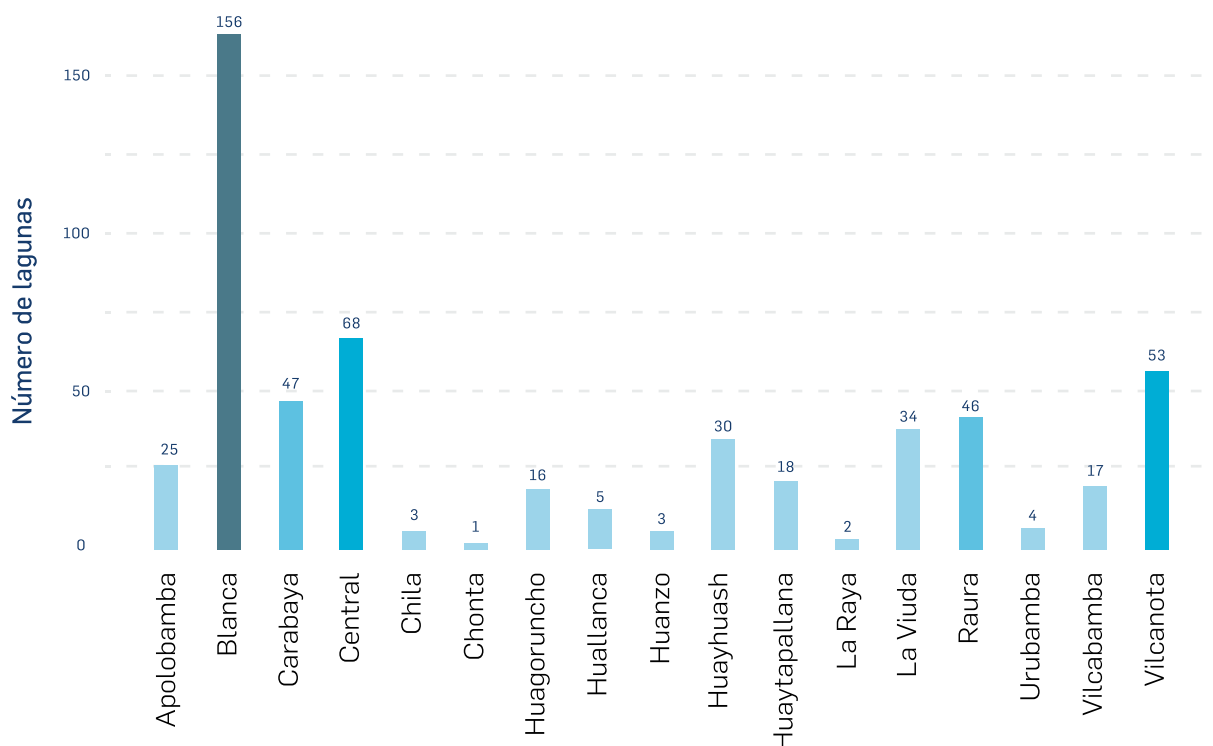
A nivel nacional se identificaron 528 lagunas con riesgo de desborde de diferente nivel (muy alto, alto, medio y bajo), lo que representa el 6 % de todas las lagunas glaciares del país. En cuanto a su distribución espacial, la mayor concentración se encuentra en un eje de los Andes centrales del país, entre las cordilleras Blanca y Central. Seguida por otra importante concentración en los Andes del sur, entre las cordilleras Vilcanota y Carabaya; tal como se aprecia en el mapa de calor de las lagunas glaciares con riesgo de desborde, en la Figura 17.

Figura 17. Mapa de distribución de lagunas glaciares con riesgo de desborde en Perú



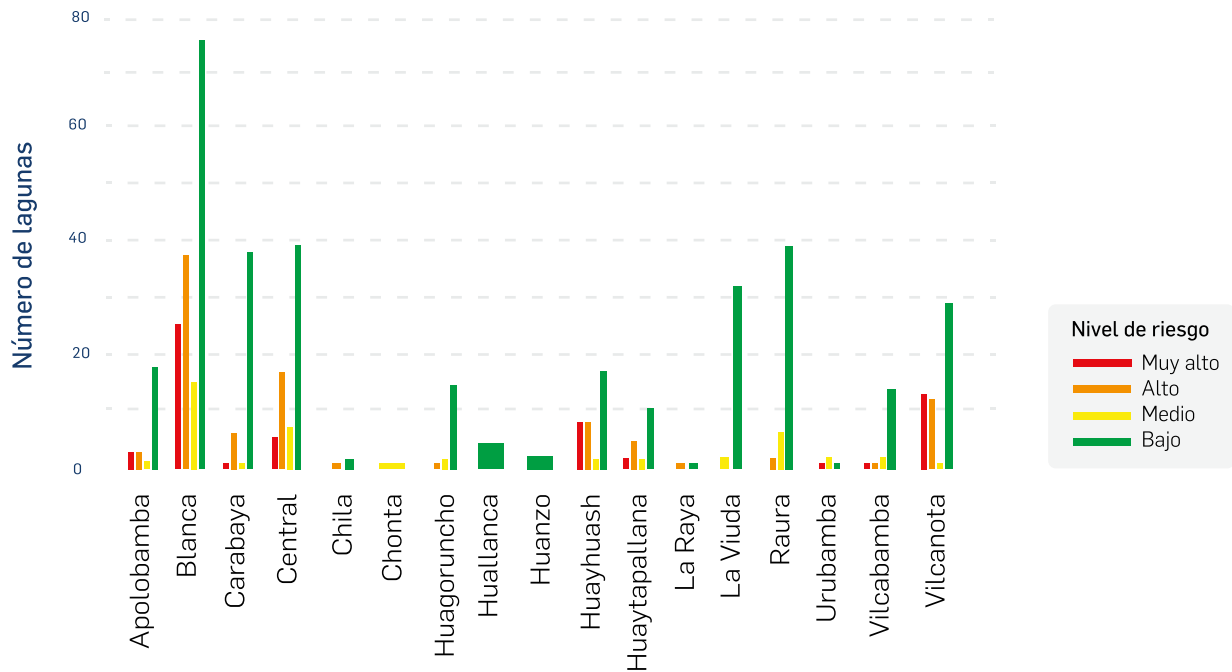
Al compararlas por cordilleras, un tercio de todas las lagunas glaciares con riesgo de desborde se encuentra en la Cordillera Blanca, que posee 156. Le sigue la cordillera Central con 68 lagunas, Vilcanota con 53, Carabaya con 47, Raura con 46, La Viuda con 34, Huayhuash con 30, Apolobamba con 25, Huaytapallana con 18, Vilcabamba con 17 y Huagoruncho con 16. Otras seis cordilleras cuentan con menos de 5 lagunas con riesgo de desborde (ver Figura 18). En el extremo opuesto, existen 3 cordilleras cuyas lagunas glaciares no evidencian tener riesgo de desborde, estas son Ampato, Volcánica y Barroso, en la zona sur occidental.

**Figura 18. Lagunas glaciares con riesgo de desborde por cordillera**



En cuanto al nivel de riesgo, predomina la presencia de lagunas con «riesgo bajo» de desborde que suman 336, lo que representa el 64 % de todas las lagunas con algún nivel de riesgo. Las lagunas con «riesgo medio» son 43 a nivel nacional y con «riesgo alto» son 91. Además, se han identificado 58 lagunas con «riesgo muy alto» de desborde a nivel nacional (ver ANEXO 13). Es importante destacar la presencia de lagunas con riesgo de desborde en los niveles alto y muy alto. El nivel «muy alto» predomina en las cordilleras Blanca, Vilcanota y Huayhuash; mientras que el nivel «alto» se encuentra en las cordilleras Blanca, Central, Vilcanota, Huayhuash, Carabaya y Huaytapallana (ver Figura 19).

Figura 19. Lagunas glaciares con riesgo de desborde por cordillera y nivel de riesgo



Al centrarnos en las lagunas que han obtenido los valores de riesgo más altos, el primer lugar corresponde a la laguna Upisocha, en Cusco, principalmente por presentar el valor más elevado en el componente de susceptibilidad a nivel nacional, debido a sus condiciones físicas y del entorno, como se detalla en la sección 4.2.1.

Le sigue la laguna Palcacocha, que, de manera similar a la laguna Tullparaju (en el cuarto puesto), presenta un valor significativo de susceptibilidad y uno de los valores más altos de exposición, con un estimado de casi 4000 viviendas expuestas a este peligro. Como se observa en la Tabla 4, al determinar el nivel de riesgo, en algunos casos la susceptibilidad al desborde es el factor más relevante, mientras que en otros lo es la exposición.

Cabe destacar que, entre los 20 casos de mayor riesgo, 3 corresponden a lagunas que generan una amenaza para la ciudad de Huaraz, en Áncash. Asimismo, entre las 20 lagunas de mayor riesgo, más de la mitad se encuentra en Áncash y la quinta parte en Cusco.

Tabla 4. 20 lagunas glaciares con mayor riesgo de desborde a nivel nacional

n.º	Laguna	Cordillera	Departamento	Susceptibilidad	Estimado de viviendas expuestas	Exposición	Riesgo
1	Upiscocha*	Vilcanota	Cusco	0,44	111	0,61	0,99
2	Palcacocha*	Blanca	Áncash	0,22	3980	0,96	0,78
3	Checquiacocha	Blanca	Áncash	0,27	506	0,76	0,76
4	Tullparaju*	Blanca	Áncash	0,21	4198	0,97	0,75
5	Yanaraju	Blanca	Áncash	0,26	226	0,68	0,65
6	Auzangatecocha	Vilcanota	Cusco	0,20	1647	0,87	0,65
7	Parón*	Blanca	Áncash	0,21	545	0,76	0,59
8	Qolque Punku Bajo	Vilcanota	Cusco	0,19	714	0,79	0,56
9	Pumacocha	Huaytapallana	Junín	0,22	201	0,67	0,54
10	Maparaju Alto	Blanca	Áncash	0,24	112	0,61	0,54
11	Riticocha	Apolobamba	Puno	0,26	62	0,55	0,53
12	Arhuaycocha*	Blanca	Áncash	0,32	22	0,44	0,53
13	Pucaranracocho	Blanca	Áncash	0,16	917	0,82	0,48
14	Artesoncocha	Blanca	Áncash	0,17	545	0,76	0,48
15	Gangrajanca*	Huayhuash	Huánuco	0,21	90	0,59	0,46
16	Quesillococha (Sarapo)	Huayhuash	Huánuco	0,21	90	0,59	0,46
17	Alccachayacocha	Vilcanota	Cusco	0,20	113	0,61	0,45
18	Rurigallay	Huayhuash	Lima	0,19	141	0,63	0,44
19	Allicocho	Blanca	Áncash	0,18	198	0,66	0,44
20	Cuchillacocha	Blanca	Áncash	0,12	4198	0,97	0,43

\* Forma parte de los casos seleccionados para desarrollar a detalle en la sección 4.2

Nota. La lista completa de lagunas glaciares con riesgo muy alto y alto de desborde a nivel nacional se encuentra en el ANEXO 13

## 4.2. Casos de lagunas con riesgo «muy alto» de desborde

De la lista de lagunas con riesgo muy alto de desborde a nivel nacional, se seleccionaron 8 casos para analizarlos a mayor profundidad. Estos se ubican en 5 departamentos diferentes y resaltan por su alto valor de riesgo o por sus componentes de susceptibilidad y exposición. Se incluyen casos de lagunas que podrían afectar a dos capitales departamentales: Huaraz (Áncash) y Huancayo (Junín).

### 4.2.1. Laguna Upiscocha, departamento de Cusco

#### a) Descripción general de la laguna

**Coordenadas:** UTM 8475813 N, 256451 E de la Zona 19 L WGS84

**Altitud:** 4547 m s. n. m.

**Distrito:** Ocongate

**Provincia:** Quispicanchi

**Departamento:** Cusco

**Vertiente:** océano Atlántico

**Cuenca:** río Urubamba

**Subcuenca:** río Yavero

**Microcuenca:** Lauramarca

**Cordillera:** Vilcanota

Esta laguna tiene como ocupación la concavidad de un recipiente formado por morrenas. Los elementos del paisaje glaciar lo conforman el nevado Ausangate y su lengua glaciar, además de un conjunto de morrenas o depósitos cuaternarios. Las características físicas de la laguna son:

**Área:** 618 311 m<sup>2</sup>

**Largo máximo:** 2093 m

**Ancho máximo:** 494 m

**Volumen:** 17 864 016 m<sup>3</sup>

En cuanto a los antecedentes de eventos GLOF, resalta la caída de rocas, ocurrido el 9 de agosto del 2022, que provocó el desborde de la laguna Upiscocha (Figura 20) a raíz de presentar zonas altamente inestables donde se originan desprendimientos y/o deslizamientos de rocas (INAIGEM, 2022).

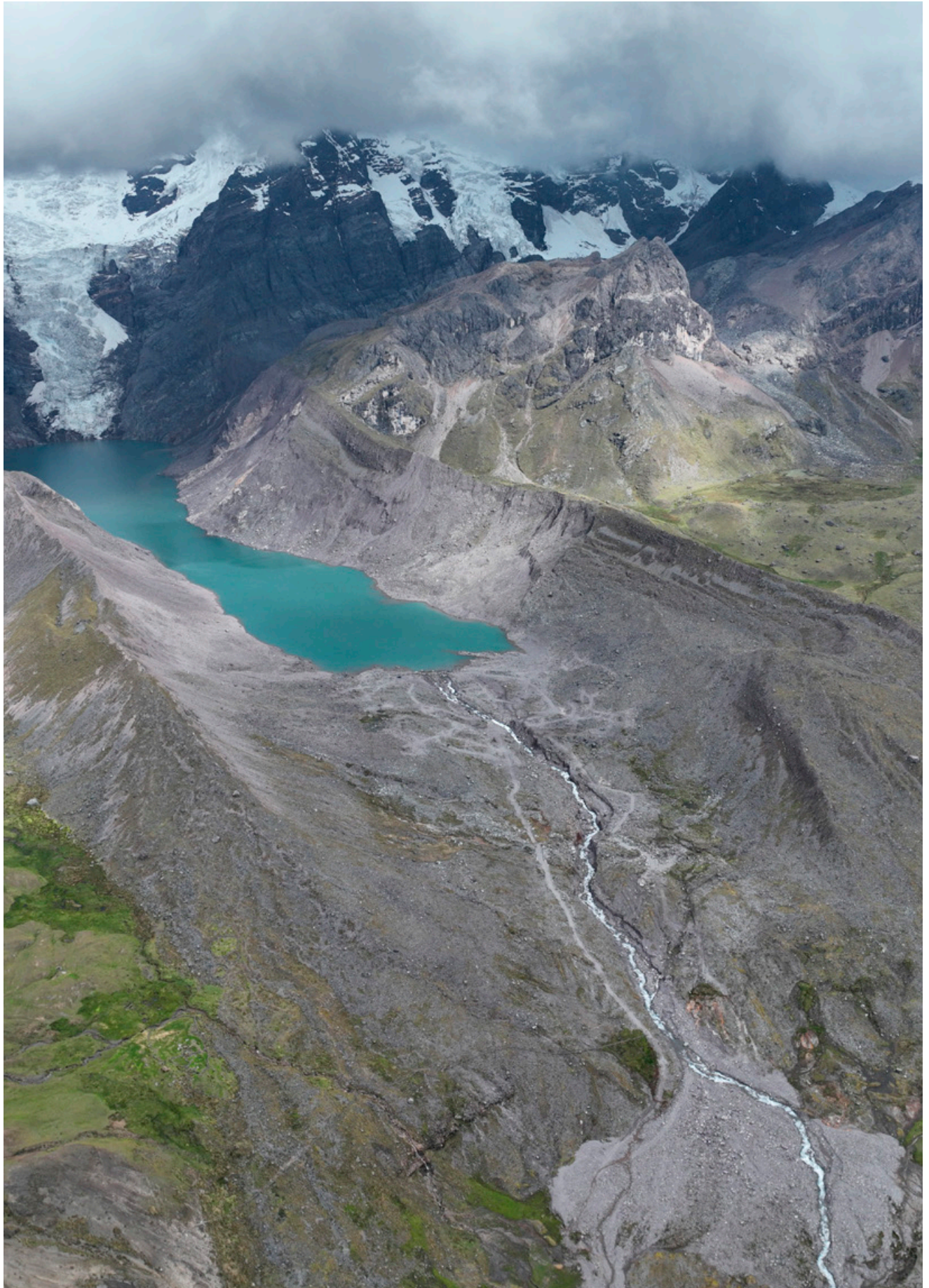
#### b) Características de susceptibilidad

La laguna Upiscocha es la que obtuvo el valor más alto de susceptibilidad a nivel nacional. Se distingue por presentar taludes laterales pronunciados con pendientes de hasta 60,6°, lo que favorece la posibilidad de deslizamientos. Su cercanía a glaciares contribuye a la posibilidad de avalanchas de roca, hielo y mixtas. Con un volumen considerable de 17 millones de metros cúbicos y una evolución geomorfológica acelerada, la laguna muestra una elevada susceptibilidad a procesos GLOF. Las características de su dique natural son de tipo morrénico (MO), con una pendiente aguas abajo de 3,5°. La presencia de roca sedimentaria debajo del glaciar añade complejidad al entorno, favoreciendo la generación de avalanchas mixtas. Cabe destacar que la laguna ha experimentado dos eventos GLOF en el 2022, lo que resalta su fuerte dinámica natural.

#### c) Exposición de viviendas

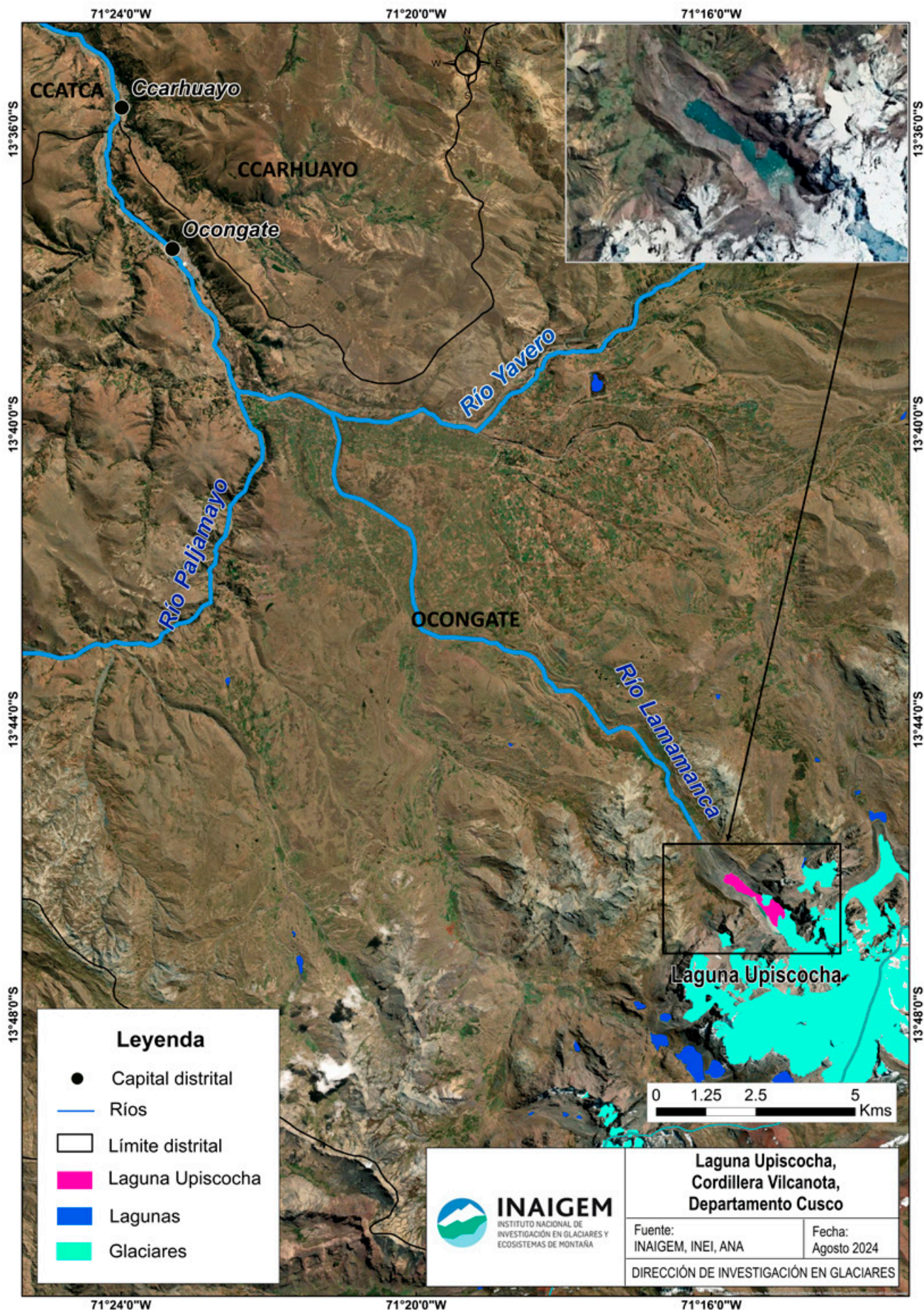
Los poblados situados aguas abajo de la laguna Upiscocha, como Yanama, Ocongate, Ccarhuayo y otros asentamientos ubicados a lo largo del río Upis, se encuentran expuestos a un posible desborde violento de la laguna. El número estimado de viviendas en la zona alcanza las 111, lo que enfatiza la importancia de implementar medidas de mitigación adecuadas para proteger tanto las vidas humanas como las infraestructuras clave.

Figura 20. Laguna Upiscocha



Ricardo Vila, 2024

Figura 21. Mapa de la laguna Upiscocha, cordillera Vilcanota, departamento Cusco



## 4.2.2. Laguna Palcacocha, departamento de Áncash

### a) Descripción general de la laguna

**Coordenadas:** UTM 8946058 N y 224795 E de la Zona 18 L / WGS84

**Altitud:** 4546 m s. n. m.

**Distrito:** Independencia

**Provincia:** Huaraz

**Departamento:** Áncash

**Cuenca:** río Santa

**Subcuenca:** río Quillcay

**Cordillera:** Blanca

El retroceso del frente glaciar de los nevados Pucaranra y Palcaraju dio origen a la laguna Palcacocha. La desembocadura de esta laguna ingresa a la quebrada Cojup, la cual a su vez conecta con el río Paria, un afluente del río Quillcay que cruza la ciudad de Huaraz y desemboca en el río Santa, el principal del departamento de Áncash.

Se considera a Palcacocha la laguna con mayor riesgo de desborde en Áncash. En 1941, el desembalse de esta laguna provocó un aluvión que afectó la ciudad de Huaraz, ocasionando la muerte de miles de personas. En enero del 2024, alcanzó el máximo volumen histórico de 17 544 832,63 m<sup>3</sup> de agua y una profundidad máxima de 70 m. No obstante, en 1974, al concluirse la construcción de las obras de seguridad, la laguna Palcacocha presentaba un volumen de 514 800 m<sup>3</sup> y una profundidad máxima de 13 m; lo cual evidencia un notable incremento de su volumen en las últimas décadas (INAIGEM, 2020a).

### b) Características de susceptibilidad

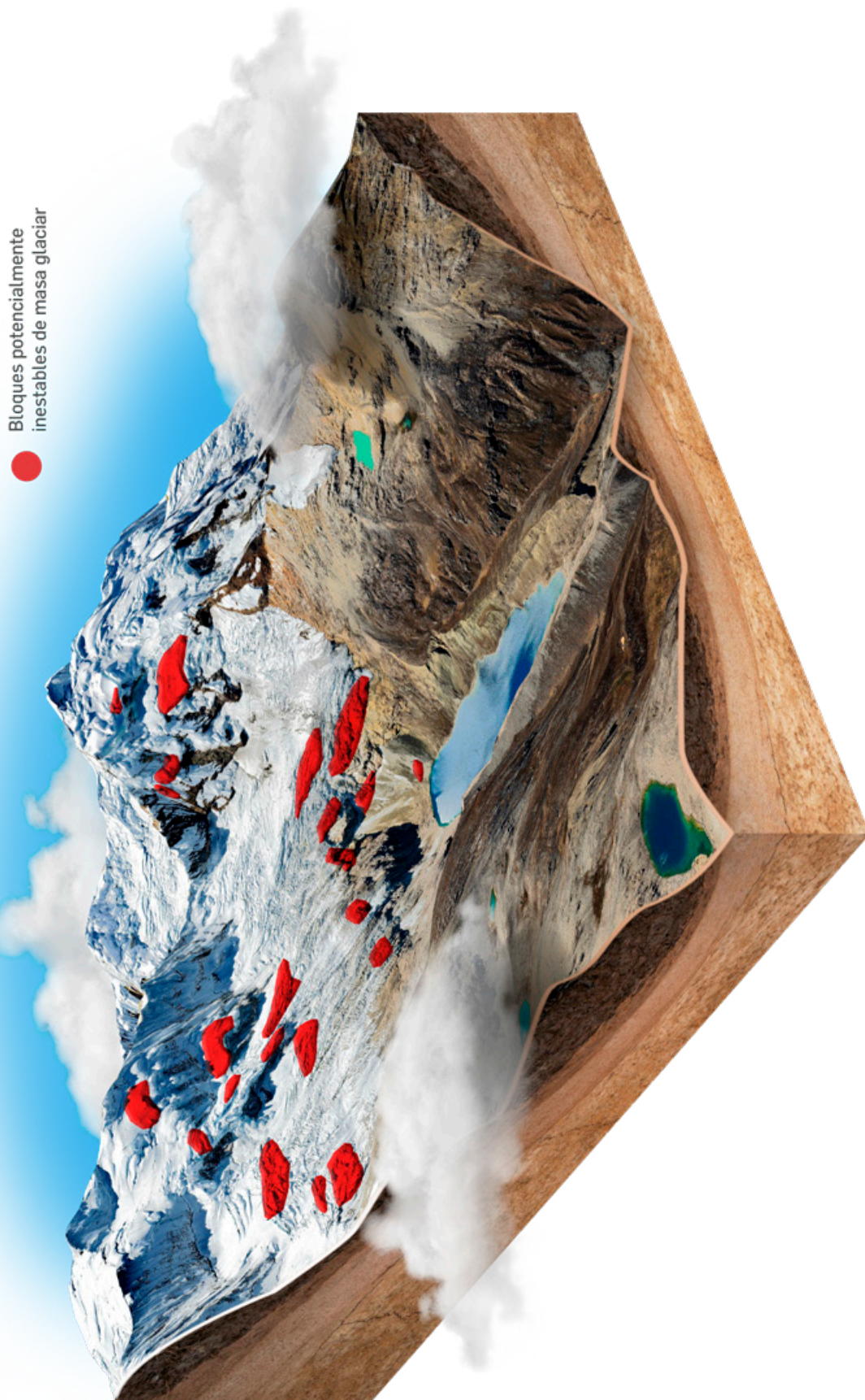
La laguna Palcacocha tiene un área de 0,46 km<sup>2</sup>, con un largo de 1562 m y un ancho de 411 m. Su dique está compuesto por una morrena complementada con dos diques artificiales que se encuentran en estado regular debido a la falta de mantenimiento. La zona entre los diques de morrena presenta una alta susceptibilidad a la erosión, lo que aumenta la probabilidad de ruptura del dique ante un evento GLOF.

El área glaciar se asienta sobre material de roca intrusiva y el borde libre tiene un valor mayor a cero. La pendiente crítica en la morrena que rodea la laguna es de 43,8°, mientras que en los 500 m de la zona glaciar se mantiene en 43,8°. La pendiente entre el glaciar y la laguna tiene un valor de 38,12°, esto refleja un terreno inclinado que podría influir en la estabilidad del dique. Se han identificado más de 20 bloques de hielo potencialmente inestables que podrían caer en la laguna (ver Figura 22).

### c) Exposición de viviendas

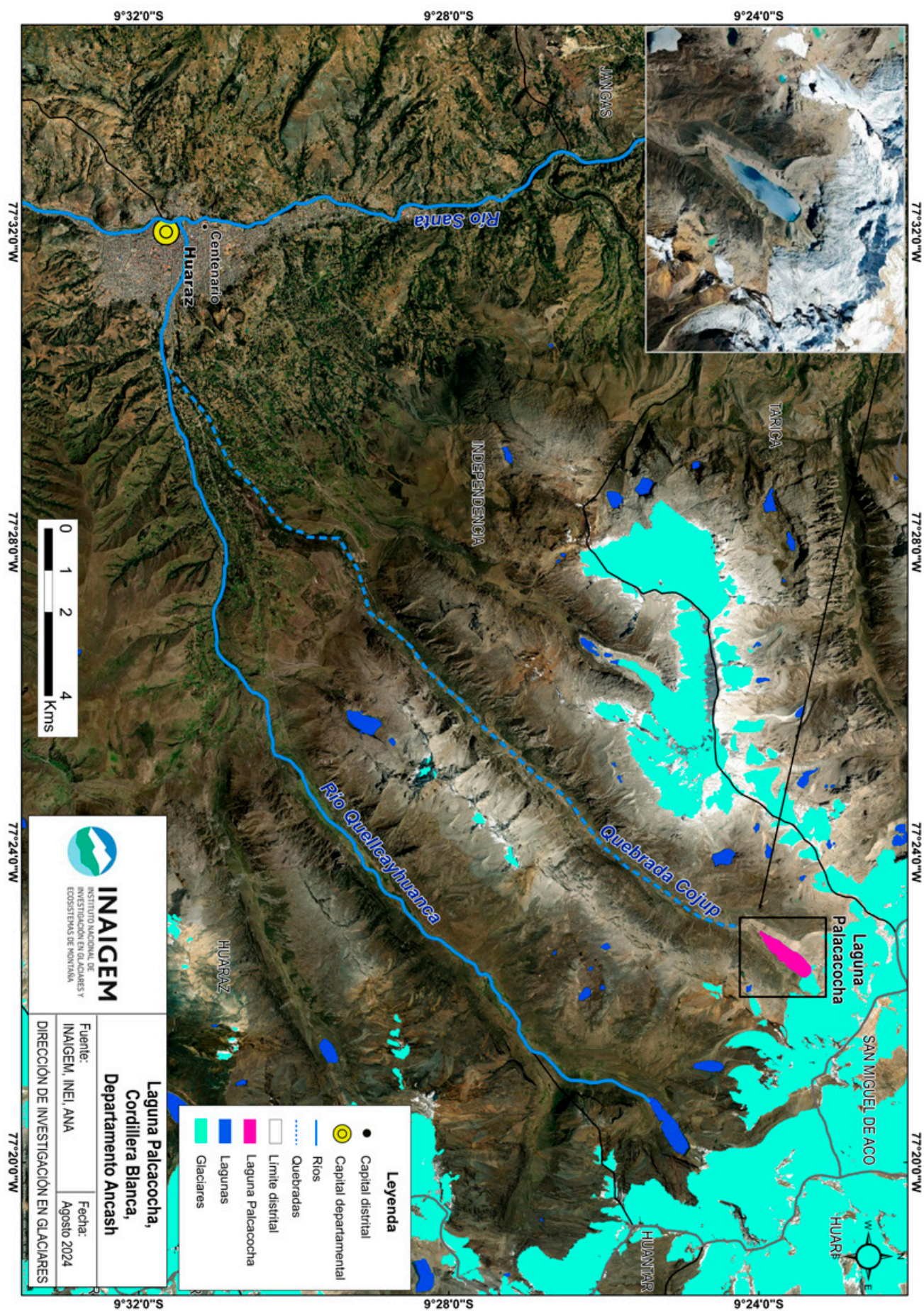
Agua abajo de la laguna Palcacocha se encuentran varios poblados que están expuestos al riesgo de aluviones, incluyendo la ciudad de Huaraz, la misma que ya fue afectada por un evento en 1941. En el presente estudio, se ha registrado un aproximado de 3980 viviendas expuestas al peligro de desborde, además de diversas estructuras presentes a lo largo del cauce, lo que aumenta la vulnerabilidad ante posibles desastres. Cabe precisar que, la Evaluación del Riesgo por Aluvión en la ciudad de Huaraz, distritos de Huaraz e Independencia elaborada por el INAIGEM (2020a), identifica mediante un estudio más detallado que los elementos expuestos son: 27 407 habitantes, 6583 viviendas y 68 estructuras de importancia local.

Figura 22. Bloques de hielo potencialmente inestables alrededor de la laguna Palcacocha



Dirección de Información y Gestión del Conocimiento (DIGC)

Figura 23. Mapa de la laguna Palcacocha, Cordillera Blanca, departamento Áncash



### 4.2.3. Laguna Tullparaju, departamento de Áncash

#### a) Descripción general de la laguna

**Coordenadas:** UTM 8957937 N, y 242946 E de la Zona 18 L/WGS 84

**Altitud:** 4350 m s. n. m.

**Distrito:** Independencia

**Provincia:** Huaraz

**Departamento:** Áncash

**Vertiente:** océano Pacífico

**Cuenca:** río Santa

**Subcuenca:** río Quillcay

**Microcuenca:** río Quillcay

**Cordillera:** Blanca

El **volumen de la laguna** es de 12 474 812 m<sup>3</sup> (ANA, 2011).

#### b) Características de susceptibilidad

La laguna glaciar Tullparaju cubre un área de 0,45 km<sup>2</sup>, con una longitud máxima de 1566 m y un ancho máximo de 407 m. Su dique está formado por una morrena complementada con un dique artificial que se encuentra en estado regular debido a la falta de mantenimiento. Es importante señalar que el glaciar se encuentra a menos de 500 m de distancia y se asienta sobre material de roca intrusiva, con un borde libre que supera los cero metros. La pendiente crítica de la morrena que rodea la laguna es de 40°, mientras que en los primeros 500 m de la zona glaciar, la pendiente es de 15°. Entre el glaciar y la laguna, la pendiente es de 36,6° y el dique presenta una pendiente de 6° en su parte aguas abajo.

#### c) Exposición de viviendas

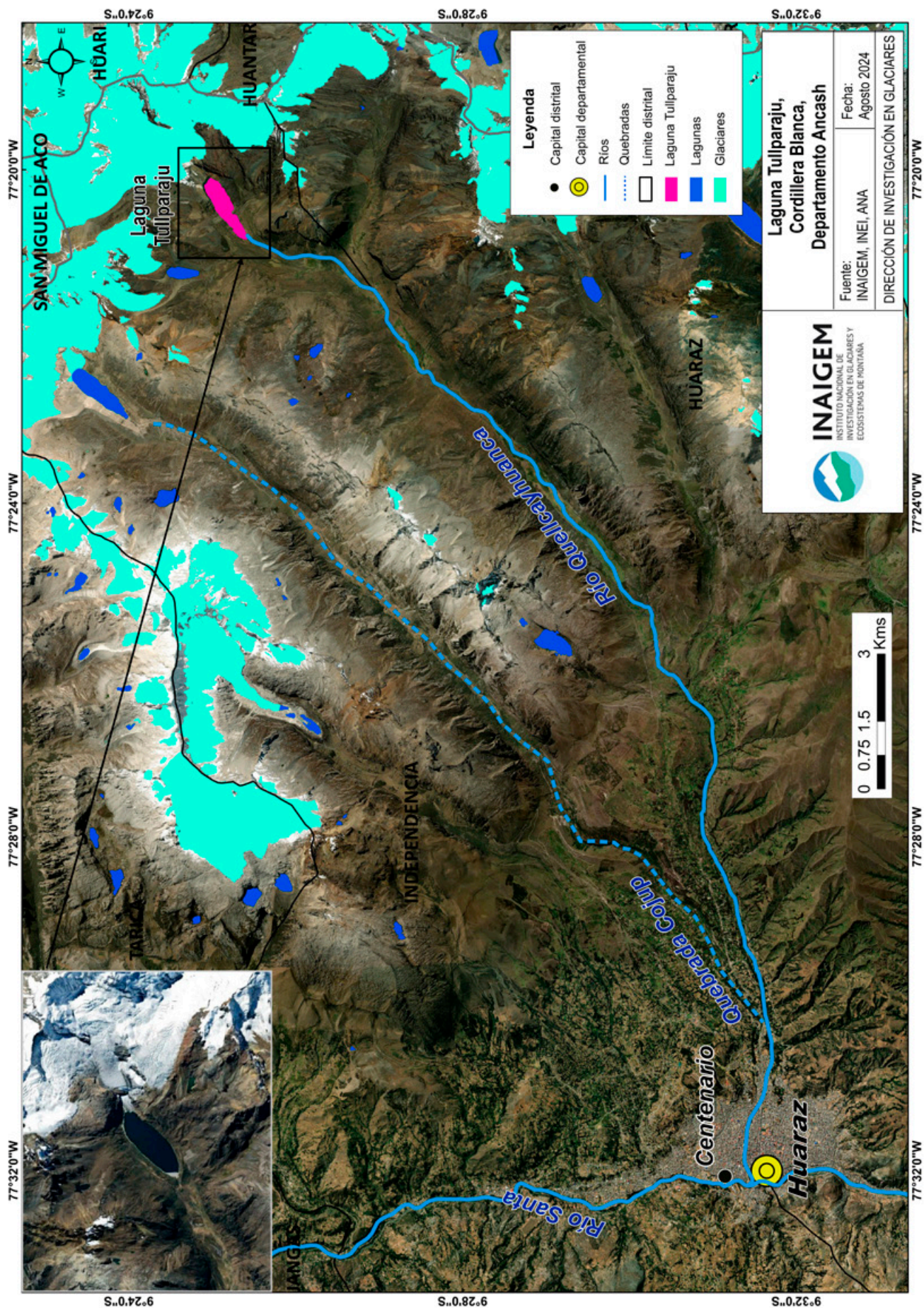
Aguas abajo de la laguna Tullparaju, al igual que en la laguna Palcacocha, se encuentran varios poblados expuestos al riesgo de aluviones, incluida la ciudad de Huaraz. Se ha registrado un aproximado de 4198 viviendas en la zona, además de diversas estructuras a lo largo del cauce, lo que incrementa la vulnerabilidad ante posibles desastres.

Figura 24. Laguna Tullparaju



Hilbert Villafane, 2024

Figura 25. Mapa de la laguna Tullparaju, Cordillera Blanca, departamento Áncash



## 4.2.4. Laguna Parón, departamento de Áncash

### a) Descripción general de la laguna

**Coordenadas:** UTM 9004903 N, y 206580 E de la Zona 18 L/WGS 84

**Altitud:** 4182 m s. n. m.

**Distrito:** Caraz

**Provincia:** Huaylas

**Departamento:** Áncash

**Cuenca:** río Santa

**Subcuenca:** río Llullán Parón

**Cordillera:** Blanca

La desembocadura de la laguna Parón (Figura 26) ingresa a la quebrada Llullán y esta al río Santa.

De acuerdo con el INAIGEM (2020b), lo que dio origen a la formación de la laguna Parón fue el proceso de represamiento natural en el periodo de avance del glaciar Hatunraju, sumado a ello, el deshielo de las masas glaciares de los nevados circundantes: Huandoy, Pisco, Chacaraju, Pirámide de Garcilaso, Paria, Artesonraju, Caraz y Agujas. La laguna cuenta con un túnel de 1157 m construido en el marco del Programa Nacional de Control de Lagunas Glaciares en 1972 (Suárez, 2003).

### b) Características de susceptibilidad

La laguna Parón se distingue por presentar taludes laterales pronunciados, con pendientes de hasta 35,6°, que favorecen un eventual deslizamiento. La proximidad de esta laguna al glaciar cubierto Hatunraju aumenta la posibilidad de avalanchas de hielo, rocas y/o mixtas. Con un volumen de 73 348 526,98 m<sup>3</sup> de agua (abril 2024) y con una evolución geomorfológica acelerada, la laguna presenta una alta susceptibilidad a procesos GLOF. El dique de esta laguna es de tipo morrénico (MO), con una pendiente aguas abajo de 12,8°. Aunque debajo del área glaciar hay roca intrusiva, la presencia de este material no la exime de posibles avalanchas mixtas, dada la existencia de un glaciar cubierto en el entorno.

### c) Exposición de viviendas

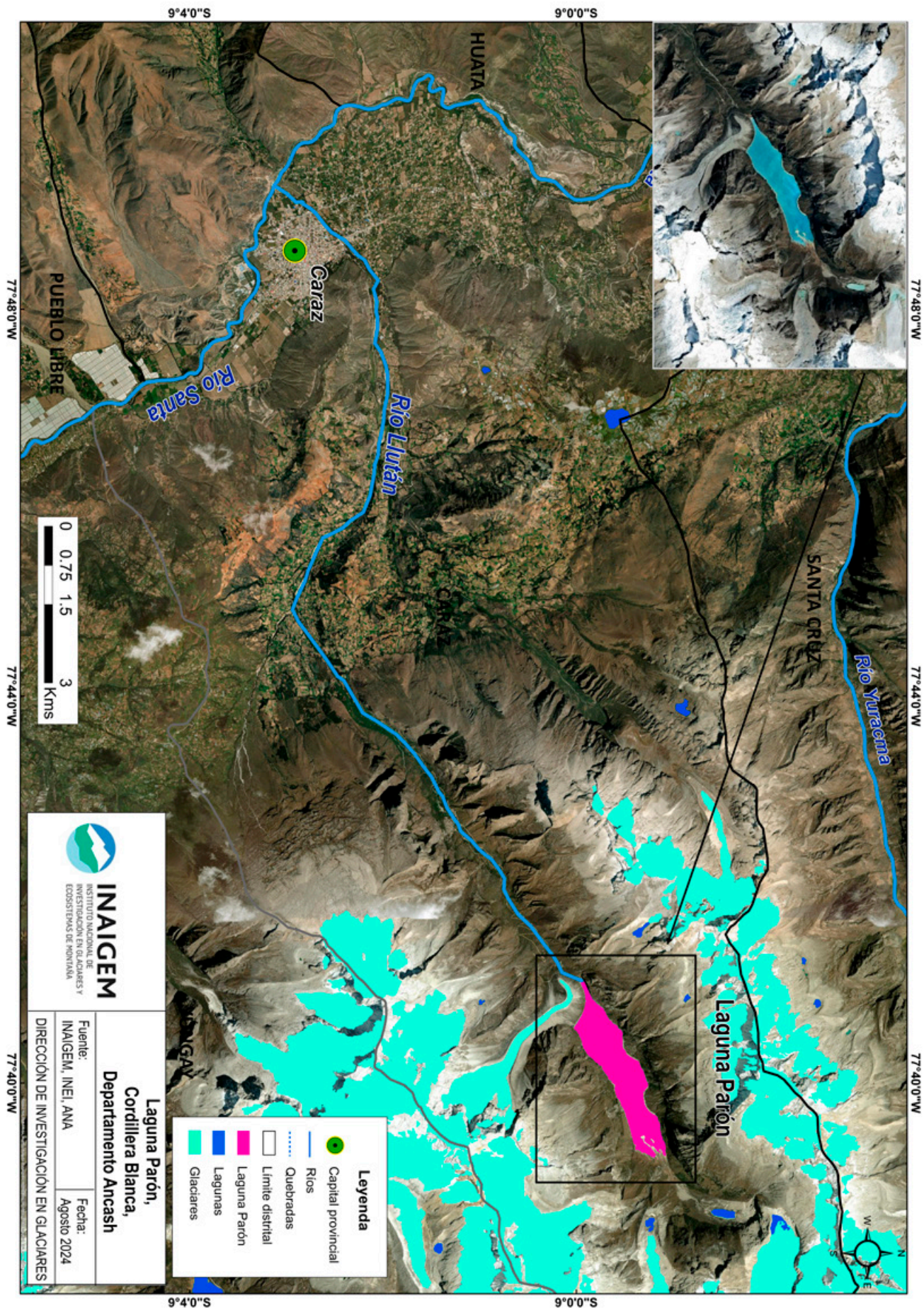
Los poblados situados aguas abajo de la laguna de Parón, como Cono, Cumpayhuara (Santa Rosa), Caraz y otros asentamientos a lo largo del río Llullán, se encuentran expuestos a un posible desborde violento de la laguna. Este estudio estima que hay 545 viviendas expuestas, lo cual hace importante implementar medidas de mitigación adecuadas para proteger tanto las vidas humanas como las infraestructuras clave, entre ellas, las viales, educativas, de esparcimiento y de salud. Cabe precisar que la Evaluación del Riesgo por Aluvión en la ciudad de Caraz, elaborada por el INAIGEM (2020b), identifica en un análisis más detallado que se encuentran expuestos a este peligro 22 303 habitantes, 7738 viviendas y 27 estructuras de importancia

Figura 26. Laguna Parón



Enver Melgarejo, 2023

Figura 27. Mapa de la laguna Parón, Cordillera Blanca, departamento Áncash



local.

## 4.2.5. Laguna Arhuaycocha, departamento de Áncash

### a) Descripción general de la laguna

**Coordenadas:** UTM 9017055 N, y 211287 E Zona 18 L/WGS 84

**Altitud:** 4426 m s. n. m.

**Distrito:** Santa Cruz

**Provincia:** Huaylas

**Departamento:** Áncash

**Cuenca:** río Santa

**Subcuenca:** río Santa Cruz

**Microcuenca:** río Santa Cruz

**Cordillera:** Blanca

La laguna Arhuaycocha (Figura 28) registra un **volumen** de 19 651 439,92 m<sup>3</sup> (INAIGEM, 2022).

La formación de la laguna Arhuaycocha (Figura 29) se debe al acelerado derretimiento glaciar de los nevados Pucahirca y Rinrijirca. Las morrenas inestables y con pendientes pronunciadas, sumado a la presencia de glaciares colgantes, desprendimientos de hielo en contacto con la laguna y la ausencia de un borde libre, hacen que la laguna tenga potencial de generar un desborde violento (INAIGEM, 2017).

### b) Características de susceptibilidad

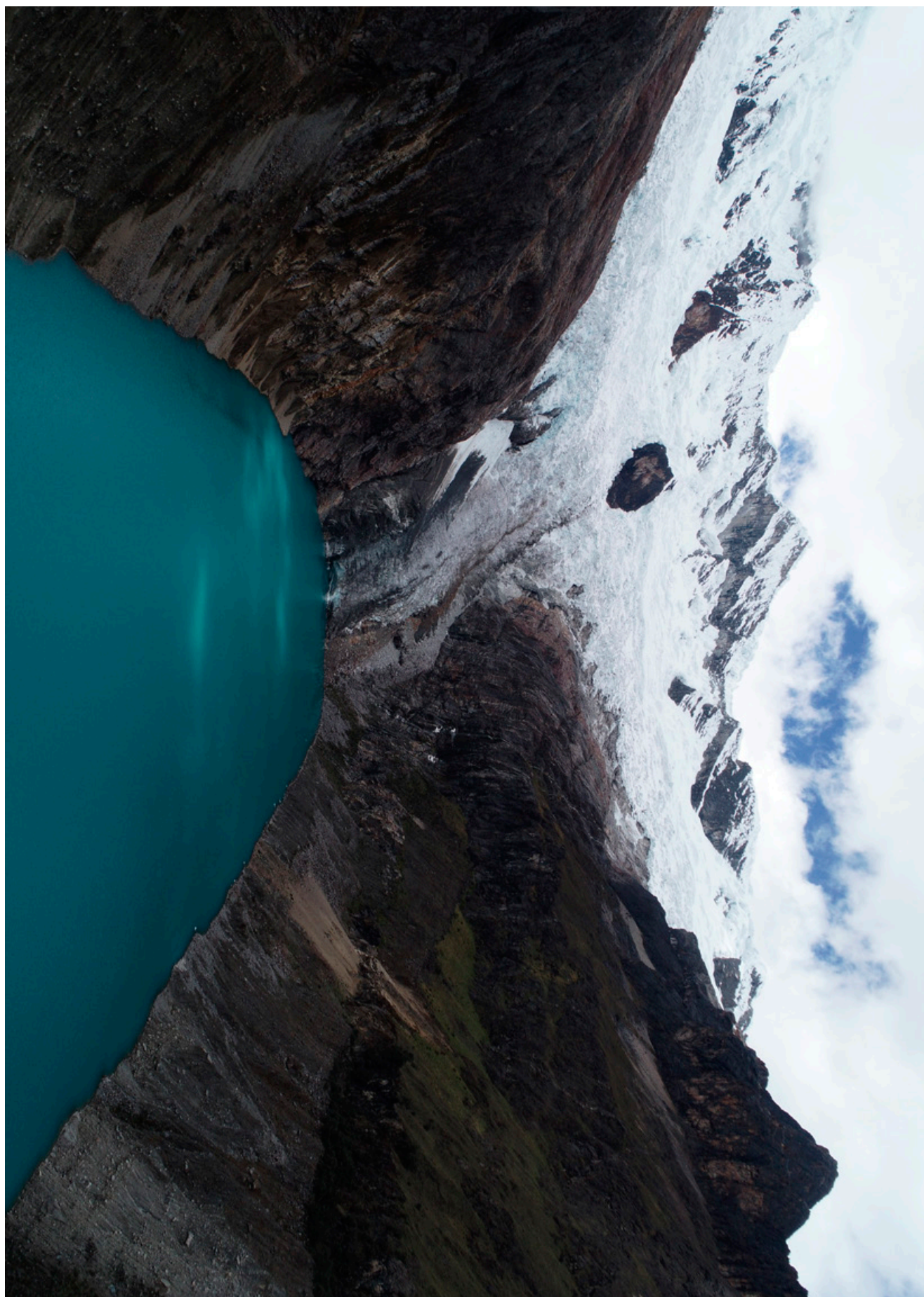
Arhuaycocha es la segunda laguna a nivel nacional con mayor valor de susceptibilidad de desborde. Se distingue por presentar taludes laterales pronunciados con pendientes de hasta 43,2°, lo que favorece un eventual deslizamiento. La proximidad de esta laguna al glaciar contribuye a la posibilidad de avalanchas de hielo, rocas y/o mixtas. Con un volumen de 19 651 439,92 m<sup>3</sup> y una evolución geomorfológica acelerada, la laguna presenta una elevada susceptibilidad a procesos GLOF. El dique de esta laguna es de tipo morrénico (MO), con una pendiente aguas abajo de 12,9°. Presenta roca intrusiva como material basal del glaciar.

### c) Exposición de viviendas

Los poblados situados aguas abajo de la laguna Arhuaycocha, como Llamacorral, Los Baños, Carahuran y otros asentamientos a lo largo del río Santa Cruz, se encuentran expuestos a un posible desborde violento de la laguna. El número estimado en este estudio es de 22 viviendas expuestas, siendo importante implementar medidas de mitigación adecuadas para proteger tanto las vidas humanas como las estructuras clave.

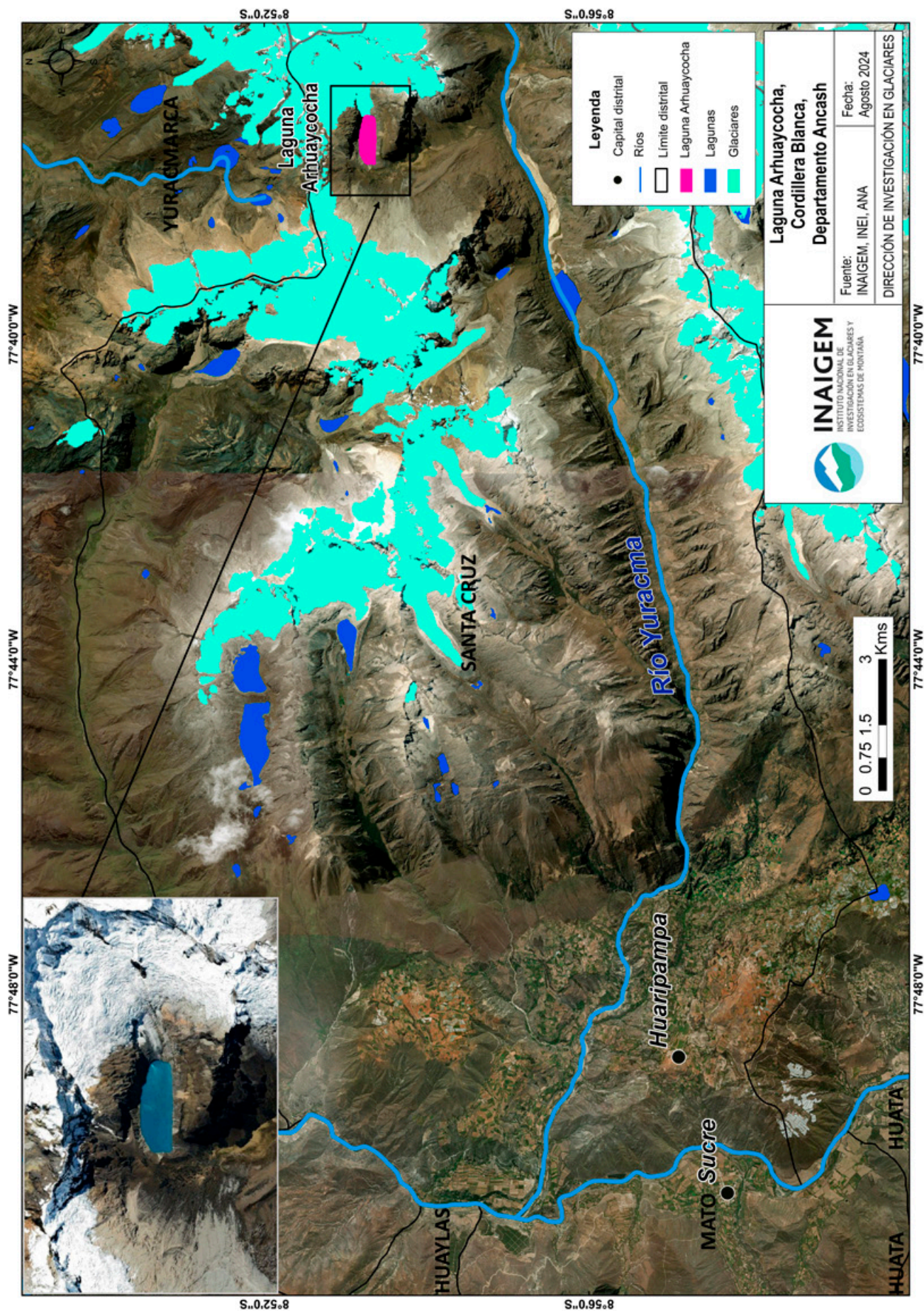
Cabe precisar que la Evaluación del Riesgo por Aluvión en la parte baja de la subcuenca del Río Blanco – Santa Cruz, que considera el área de influencia del desembalse de la laguna Arhuaycocha (INAIGEM, 2020c), identifica a través de un estudio más complejo y detallado que se encuentran expuestos a este peligro 525 habitantes, 234 viviendas y 12 estructuras de importancia local.

**Figura 28. Laguna Arhuaycocha**



**Enver Melgarejo, 2022**

Figura 29. Mapa de la laguna Arhuaycocha, Cordillera Blanca, departamento Áncash



## 4.2.6. Laguna Gangrajanca, departamento de Huánuco

### a) Descripción general de la laguna

**Coordenadas:** UTM 8864537 N, 294454 E Zona 18 L/WGS84

**Altitud:** 3914 m s. n. m

**Distrito:** Jesús

**Provincia:** Lauricocha

**Departamento:** Huánuco

**Vertiente:** océano Atlántico

**Cuenca:** río Marañón

**Subcuenca:** río Nupe

**Microcuenca:** Carhuacocha

**Cordillera:** Huayhuash

Gangrajanca está conformada por una sucesión de lagunas, denominada técnicamente «cadena de lagunas», las cuales son: Quesillococha (Sarapo), Siula, Gangrajanca y Carhuacocha, en orden hacia aguas abajo del valle glaciar. Ocupa un área cóncava formada por morrenas. Los elementos del paisaje glaciar lo conforman el nevado Yerupajá y su lengua glaciar, además de un conjunto de morrenas o depósitos cuaternarios.

Las características físicas de la laguna son:

**Área:** 675 310,06 m<sup>2</sup>

**Largo máximo:** 1399,12 m

**Ancho máximo:** 640,48 m

Se trata de la laguna con mayor riesgo de desborde en el departamento de Huánuco.

### b) Características de susceptibilidad

La laguna Gangrajanca se distingue por presentar taludes laterales medianamente pronunciados con pendientes de hasta 24,5° que favorecen un eventual deslizamiento. La proximidad de esta laguna al glaciar contribuye a la posibilidad de avalanchas de hielo, rocas y/o mixtas. Con un volumen de 39 640 315,06 m<sup>3</sup> y con una evolución geomorfológica acelerada, la laguna presenta una elevada susceptibilidad a procesos GLOF. El dique de esta laguna es de tipo morrénico (MO) con una pendiente aguas abajo de 5,7°. La presencia de roca sedimentaria debajo del glaciar da cierta complejidad al entorno, favoreciendo la generación de avalanchas mixtas.

### c) Exposición de viviendas

Los poblados situados aguas abajo de la laguna Gangrajanca, como Baños, Queropalca, Santa Rosa, Concepción y otros asentamientos ubicados a lo largo del río Carhuacocha, se encuentran expuestos a un posible desborde violento de la laguna. El número estimado de viviendas alcanza las 90, siendo importante la implementación de medidas de mitigación adecuadas para proteger tanto las vidas humanas como las estructuras clave.

**Figura 30. Avalanchas de hielo hacia la laguna Gangranjanca**



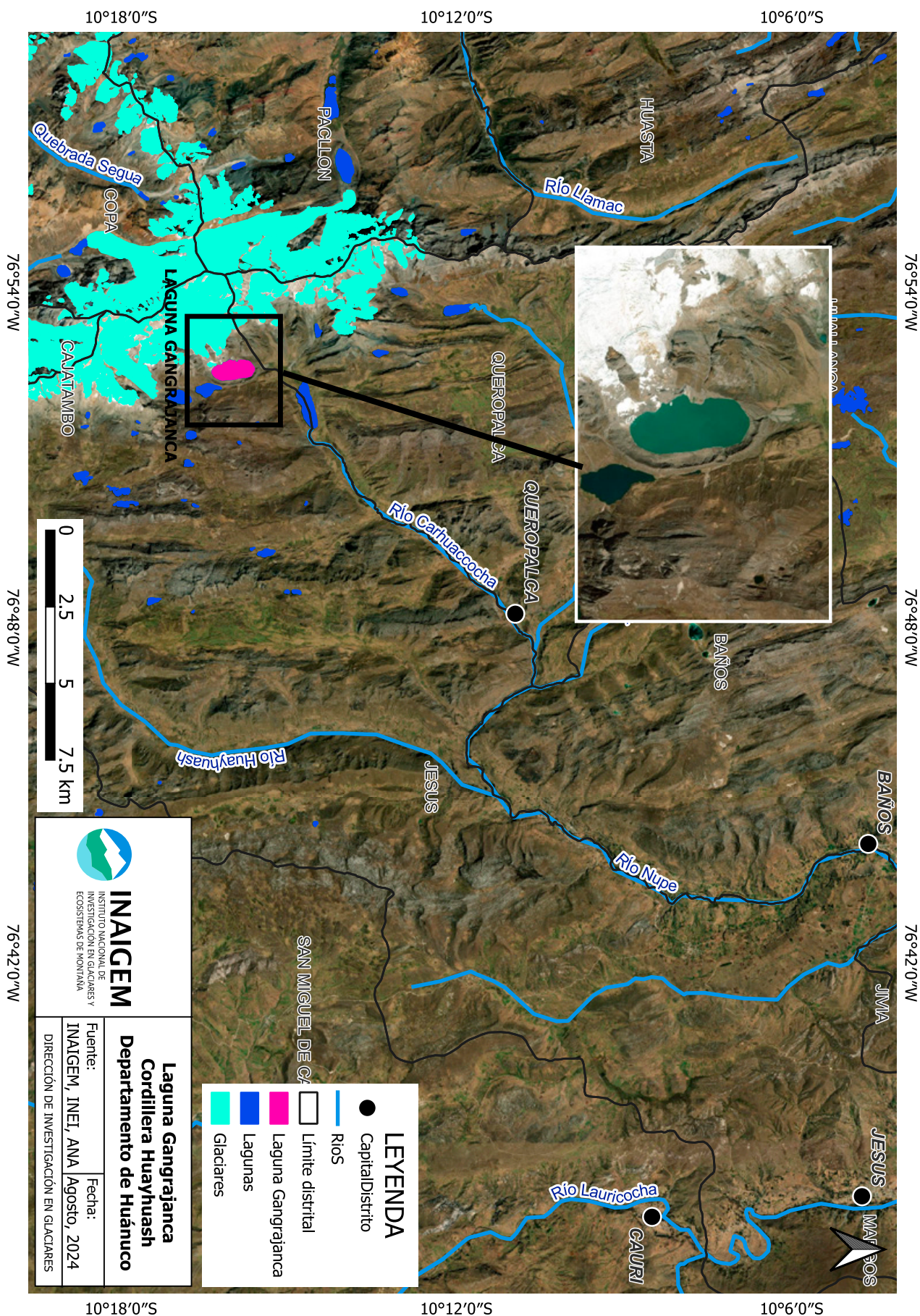
Hilbert Villafane, 2023

**Figura 31. Zona de origen de deslizamiento ocurrido en 2008 en la laguna Gangranjanca**



Hilbert Villafane, 2023

Figura 32. Mapa de la laguna Gangrajanca, cordillera Huayhuash, departamento Huánuco



## 4.2.7. Laguna Sorapata, departamento de Puno

### a) Descripción general de la laguna

**Coordenadas:** UTM 8383296 N, 473584.99 E Zona 19 L/WGS84

**Altitud:** 4879 m s. n. m

**Distrito:** Sina

**Provincia:** San Antonio de Putina

**Departamento:** Puno

**Vertiente:** océano Atlántico

**Cuenca:** río Inambari

**Subcuenca:** río Huari Huari

**Microcuenca:** Sina

**Cordillera:** Apolobamba

Esta laguna ocupa un área cóncava formada por morrenas. Los elementos del paisaje glaciar lo conforman los nevados Lusani y Chaupi Orco, además de un conjunto de morrenas o depósitos cuaternarios.

Las características físicas de la laguna son:

**Área:** 118 826,30 m<sup>2</sup>

**Largo máximo:** 505,97 m

**Ancho máximo:** 356,13 m

### b) Características de susceptibilidad

La laguna Sorapata se distingue por presentar taludes laterales ligeramente pronunciados con pendientes de hasta 22,3° que favorecen un eventual deslizamiento. La cercanía de esta laguna al glaciar contribuye a la posibilidad de avalanchas de hielo, rocas y/o mixtas. La laguna presenta una elevada susceptibilidad a procesos GLOF. El dique de esta laguna es de tipo morrénico (MO) y con una pendiente aguas abajo de 5,8°. La presencia de roca metamórfica debajo del glaciar da cierta complejidad al entorno, favoreciendo la generación de avalanchas mixtas.

### c) Exposición de viviendas

Junto con la laguna Vizcachani, comparten la misma exposición al riesgo de desborde. Los poblados situados aguas abajo de la laguna de Sorapata, como Hancoccalá, Koriwara, Lusuni, Hornopampa, Chacapampa, Potoni y otros asentamientos ubicados a lo largo del río Sina, se encuentran expuestos a un posible desborde violento de la laguna. El número estimado de viviendas alcanza las 268, siendo importante la implementación de medidas de mitigación adecuadas para proteger tanto las vidas humanas como las estructuras clave.



## 4.2.8. Laguna Lazo Huntay, departamento de Junín

### a) Descripción general de la laguna

**Coordenadas:** UTM 8681968 N, 493437 E Zona 18 L/WGS84

**Altitud:** 4646 m s. n. m

**Distrito:** Huancayo

**Provincia:** Huancayo

**Departamento:** Junín

**Vertiente:** océano Atlántico

**Cuenca:** río Mantaro

**Subcuenca:** río Shullcas

**Microcuenca:** río Ucushcancha

**Cordillera:** Huaytapallana

Esta laguna ocupa un área cóncava formada por morrenas. El principal elemento del paisaje glaciar es el nevado de Jallacata.

Las características físicas de la laguna son:

**Área:** 207 335,2 m<sup>2</sup>

**Largo máximo:** 813,5 m

**Ancho máximo:** 319,75 m

El 28 de diciembre de 1990, ocurrió un aluvión proveniente de la laguna Lazo Huntay, ocasionando víctimas fatales en la ciudad de Huancayo (INAIGEM, 2018).

### b) Características de susceptibilidad

La cercanía de esta laguna al glaciar contribuye a la posibilidad de avalanchas de hielo, rocas y/o mixtas. El dique de esta laguna es de tipo morrénico complementado con un dique artificial, con una pendiente aguas abajo de 11,46°, cuya característica beneficia la erosión frente a eventos GLOF (desborde de lagunas glaciares). Se identifica presencia de roca metamórfica debajo del glaciar, lo que da cierta complejidad al entorno de esta laguna, favoreciendo la generación de avalanchas mixtas (hielo y roca).

### c) Exposición de viviendas

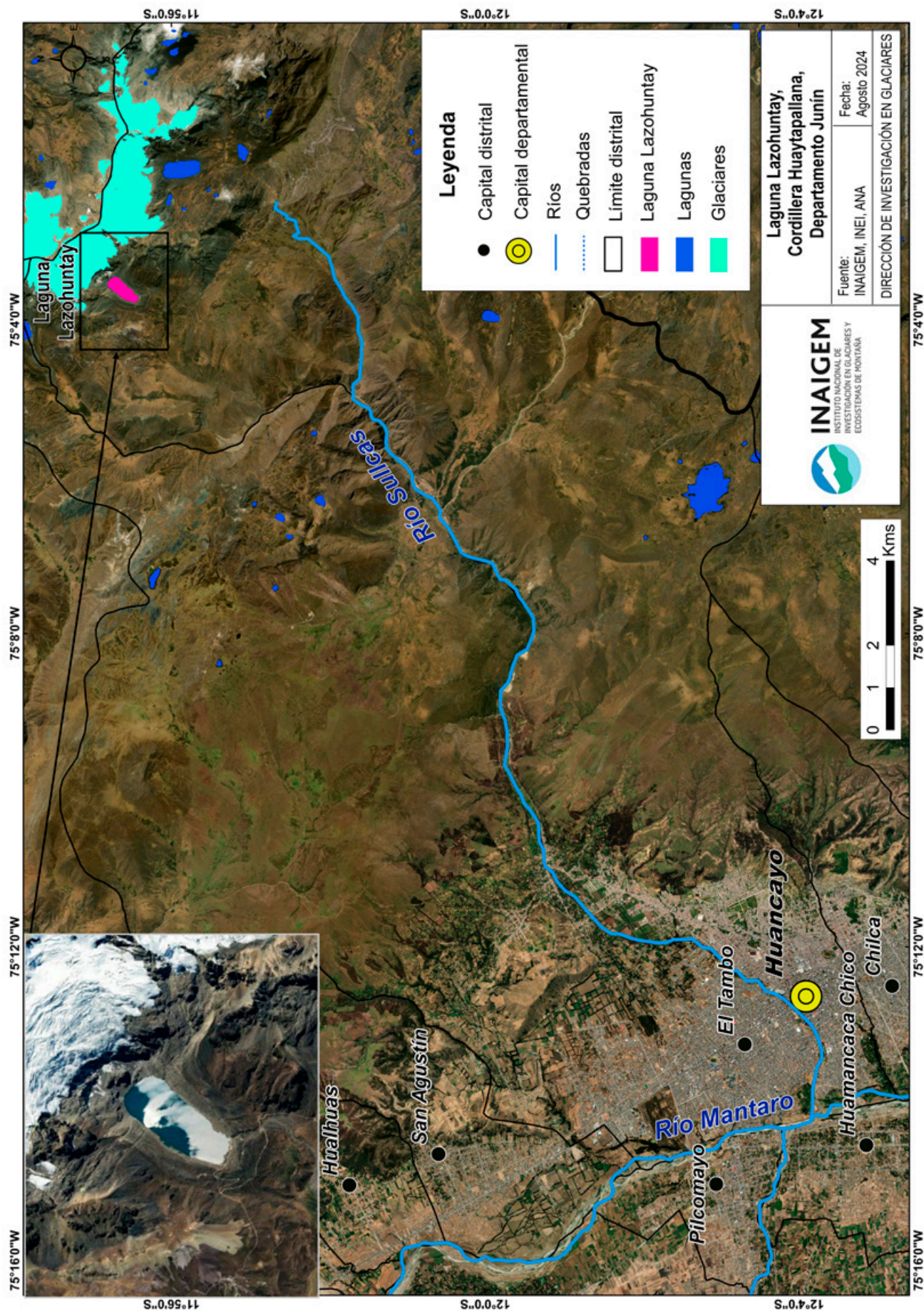
La laguna Lazo Huntay, junto con otras lagunas próximas a la ciudad de Huancayo, comparten el valor más alto de viviendas expuestas al peligro de desborde de lagunas glaciares en este estudio. Aguas abajo de la laguna Lazo Huntay destaca la presencia de la ciudad de Huancayo y los poblados de Acopalca, Chamisería, Pañaspampa y Vilcacoto. De modo que, en este estudio se han identificado 5829 viviendas expuestas a un posible desborde violento de la laguna, siendo importante la implementación de medidas de mitigación adecuadas para proteger tanto las vidas humanas como las estructuras clave. Sin embargo, la Evaluación del Riesgo de Aluvión realizada por el INAIGEM (próximo a su publicación), identifica mediante un análisis más preciso de este caso, que serían 1385 viviendas expuestas al peligro.

**Figura 34. Laguna Lazo Huntay, nótese el letrero informativo sumergido**



Angel Salas, 2024

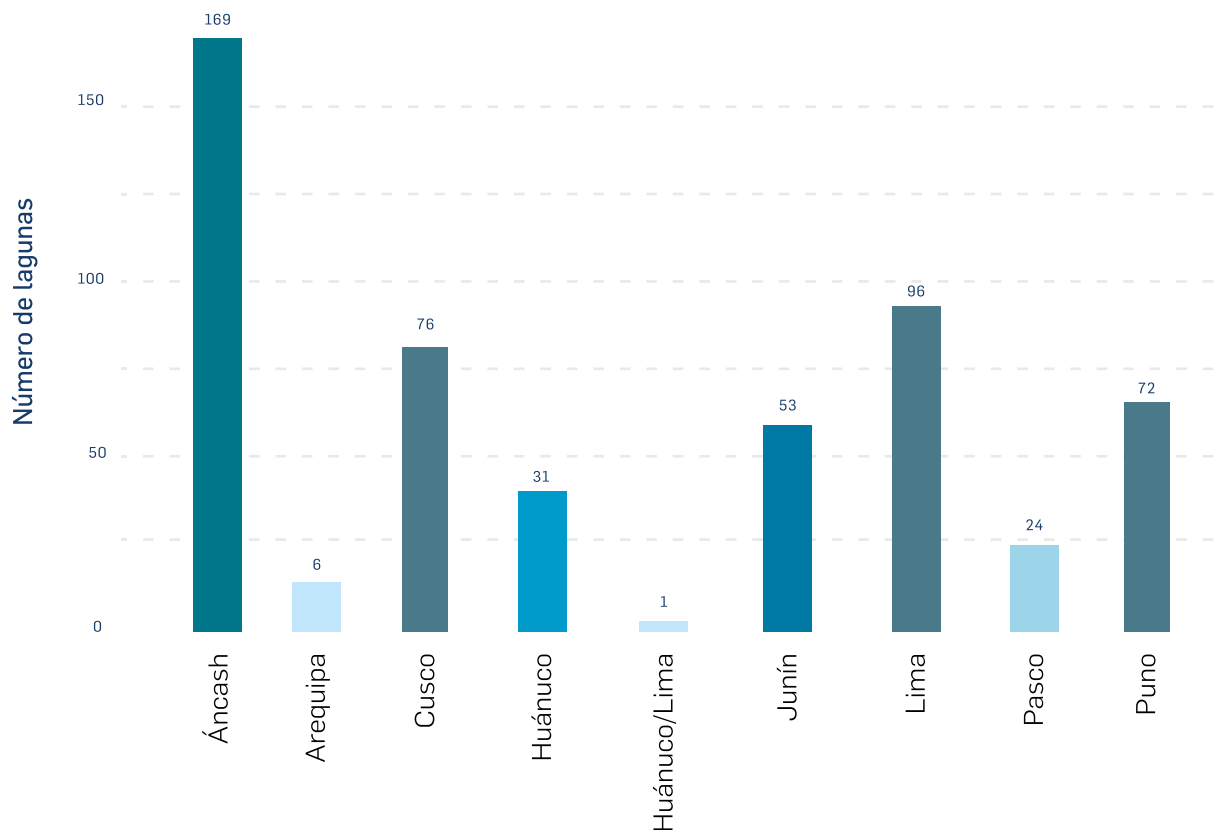
Figura 35. Mapa de la laguna Lazo Huntay, cordillera Huaytapallana, departamento Junín



### 4.3. Lagunas glaciares con riesgo de desborde por departamento

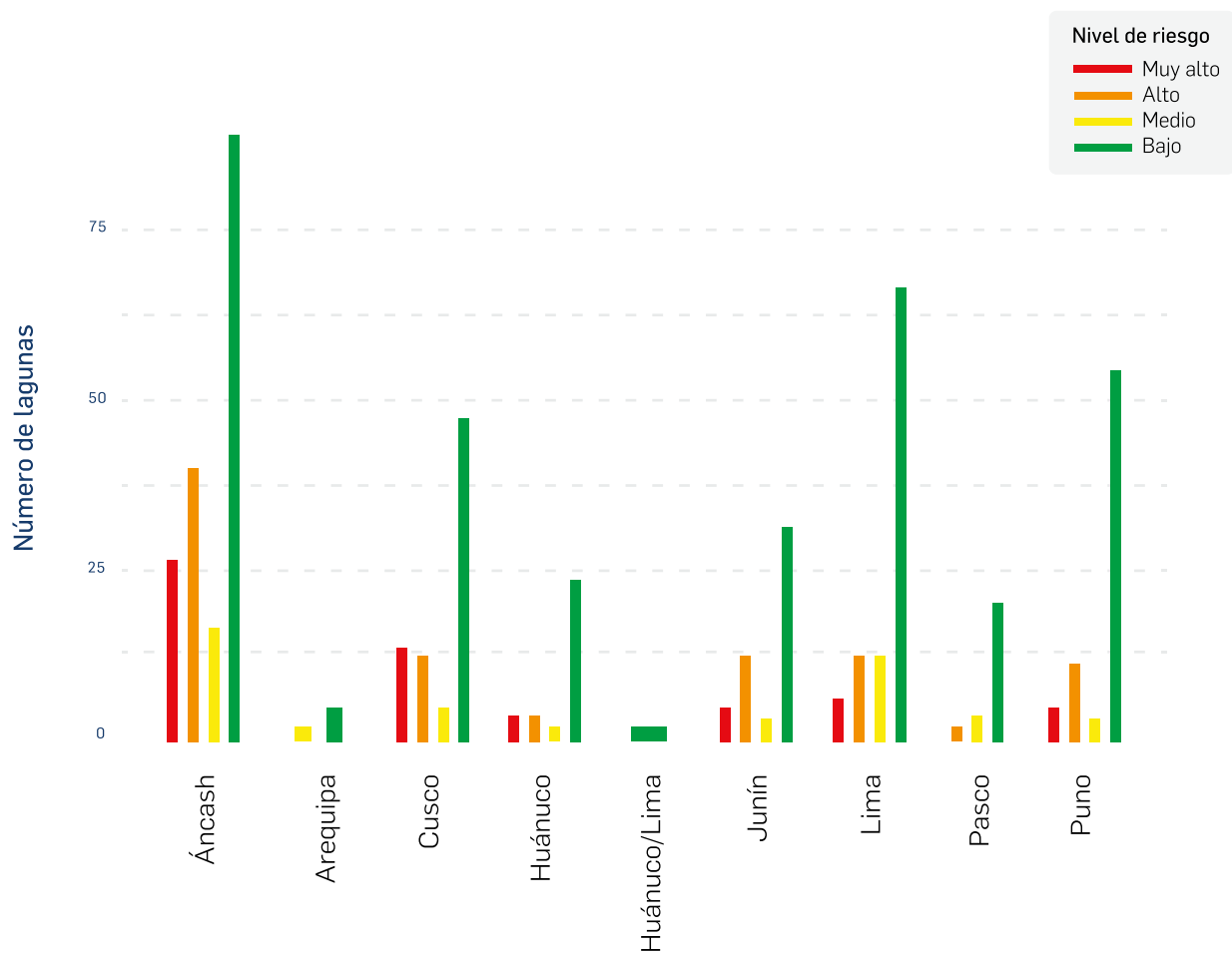
A nivel departamental se identificó que, de 14 departamentos con presencia de lagunas glaciares, 8 tienen lagunas con riesgo de desborde. Áncash cuenta con la mayor cantidad de estas lagunas, sumando 169, que equivalen al 32 % del total nacional. Le sigue Lima con 96 lagunas, Cusco con 76, Puno con 72, Junín con 53, Huánuco con 31, Pasco con 24, Arequipa con 6 y 1 laguna compartida entre Huánuco y Lima (ver Figura 36).

**Figura 36. Lagunas glaciares con riesgo de desborde por departamento**



Asimismo, es importante destacar la distribución de lagunas por niveles de riesgo, poniendo especial énfasis en los niveles «muy alto» y «alto» (ver Figura 37). Son 6 los departamentos que presentan lagunas con nivel de riesgo muy alto. Resalta el departamento de Áncash que concentra el 45 % de las lagunas con riesgo muy alto y 43 % con riesgo alto. Seguido por Cusco, Lima, Junín, Puno y Huánuco.

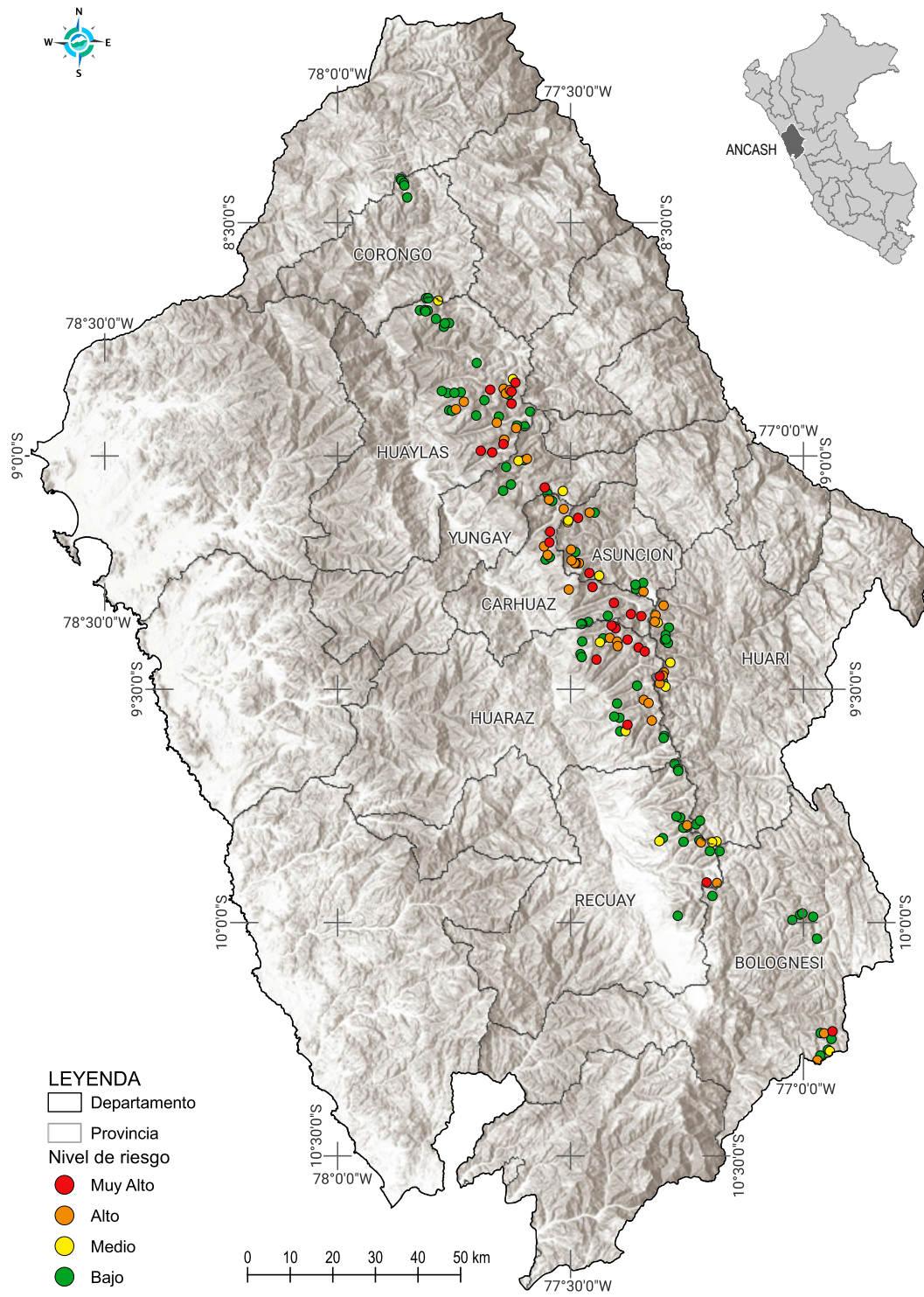
Figura 37. Lagunas glaciares con riesgo de desborde por departamento y nivel de riesgo



### 4.3.1. Departamento de Áncash

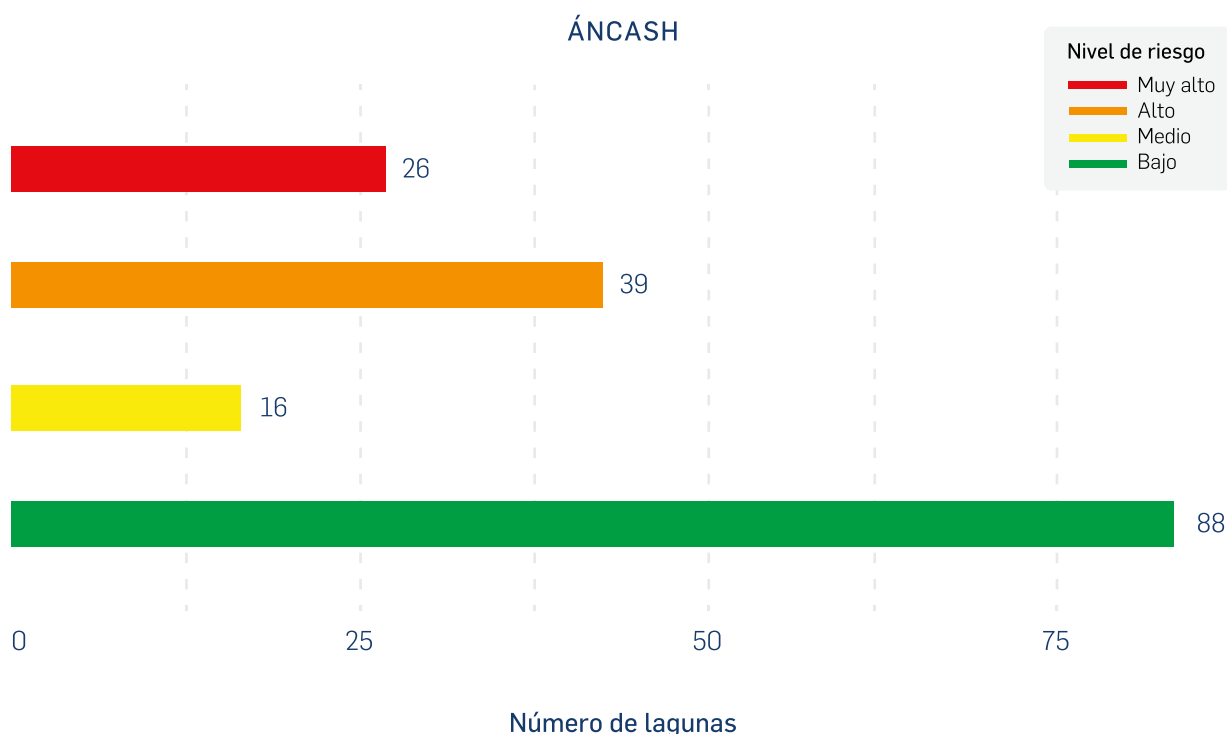
Áncash concentra el mayor número de lagunas glaciares con riesgo de desborde, con un total de 169 lagunas. Estas se concentran en un 93 % a lo largo de la Cordillera Blanca, además, el 75 % se ubica en la vertiente del Pacífico. Las provincias Huaylas y Huaraz tienen el mayor número de lagunas con riesgo de desborde, con 38 y 27, respectivamente, lo cual representa el 45 % del total. Cabe precisar que son 8 provincias en las que se presenta el riesgo de GLOF, en los niveles alto y muy alto (ver Figura 38).

Figura 38. Mapa de lagunas glaciares según nivel de riesgo en el departamento de Áncash



En el departamento de Áncash, se identificaron los cuatro niveles de riesgo de desborde en las lagunas glaciares: 88 se encuentran en nivel bajo, 16 en nivel medio, 39 en nivel alto y 26 en nivel muy alto, como se muestra en la Figura 39.

**Figura 39. Lagunas glaciares según nivel de riesgo de desborde en el departamento de Áncash**



En Áncash, la laguna de mayor riesgo es Palcacocha, que representa una amenaza para la ciudad de Huaraz, junto con las lagunas Tullparaju, Cuchillacocha y Llaca que también son de riesgo muy alto. La segunda laguna de mayor riesgo es Checquiacocha en la provincia de Carhuaz. Entre las primeras posiciones también se encuentra la laguna Yanaraju en el distrito de Chacas y Parón en el distrito de Caraz. Otras lagunas que amenazan a un número elevado de población son Pucaranracocha, Pacliashcocha y Paccharuri en la subcuenca Marcará (ver Tabla 5).

Con relación a la susceptibilidad de desborde, 7 de las 10 lagunas con mayor susceptibilidad en el país se encuentran en Áncash, con valores por encima de 0,22.

**Tabla 5. Lagunas glaciares con riesgo «muy alto» de desborde en Áncash**

n.º	Laguna	Cordillera	Susceptibilidad	Estimado de viviendas expuestas	Exposición	Riesgo
1	Palcacocha	Blanca	0,22	3980	0,96	0,78
2	Checquiacocha	Blanca	0,27	506	0,76	0,76
3	Tullparaju	Blanca	0,21	4198	0,97	0,75
4	Yanaraju	Blanca	0,26	226	0,68	0,65
5	Parón	Blanca	0,21	545	0,76	0,59
6	Maparaju Alto	Blanca	0,24	112	0,61	0,54
7	Arhuaycocha	Blanca	0,32	22	0,44	0,53

8	Pucaranraco- cha	Blanca	0,16	917	0,82	0,48
9	Artesoncocha	Blanca	0,17	545	0,76	0,48
10	Allicochoa	Blanca	0,18	198	0,66	0,44
11	Cuchillacocha	Blanca	0,12	4198	0,97	0,43
12	Toclla Alta	Blanca	0,18	149	0,64	0,42
13	Safuna Alta	Blanca	0,19	82	0,58	0,41
14	Solteracocha	Huayhuash	0,23	21	0,44	0,38
15	S/N Cód. 1376947_3	Blanca	0,12	917	0,82	0,36
16	Jancarurish	Blanca	0,29	5	0,29	0,31
17	Huallcacocha	Blanca	0,11	506	0,76	0,31
18	Cashan	Blanca	0,14	96	0,59	0,31
19	Paccharuri	Blanca	0,10	917	0,82	0,30
20	Pacliashcocha	Blanca	0,10	917	0,82	0,30
21	Llaca	Blanca	0,10	853	0,81	0,30
22	Pag-Pag	Blanca	0,17	23	0,45	0,28
23	Pacliash/Mil- luacocha	Blanca	0,12	149	0,64	0,28
24	S/N Cód. 1376994_17	Blanca	0,14	45	0,52	0,27
25	S/N Cód. 1376899_9	Blanca	0,12	82	0,58	0,26
26	S/N Cód. 1376932_3	Blanca	0,09	545	0,76	0,26

**Figura 40. Laguna Yanaraju**



Hilbert Villafane, 2018

**Figura 41. Laguna Pucaranracocha**

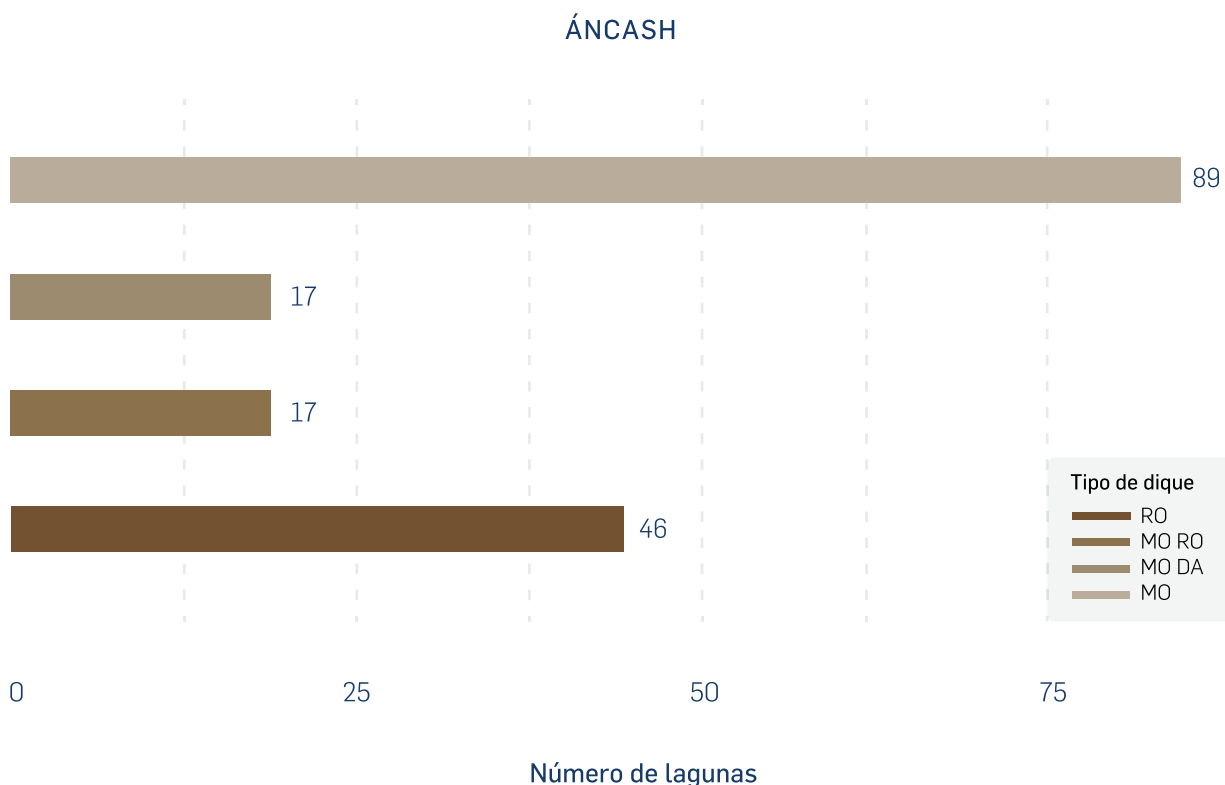


Hilbert Villafane, 2018

El departamento de Áncash cuenta con la mayor cantidad de diques artificiales construidos entre las décadas de 1950 y 2000, cuyo propósito fue controlar el nivel del agua y retener las ondas de impulso generadas por eventos GLOF. Sin embargo, en la actualidad la mayoría de estas estructuras requiere ser reevaluada, tener mantenimiento y rehabilitación.

Entre las lagunas con riesgo de desborde, se han identificado 89 con dique morrénico, que es el menos estable; 17 lagunas combinan dique morrénico y artificial; 17 son de dique morrénico y roca; y 46 poseen dique de roca, que es el más estable (ver Figura 42).

**Figura 42. Tipos de dique en las lagunas glaciares con riesgo de desborde en el departamento de Áncash**

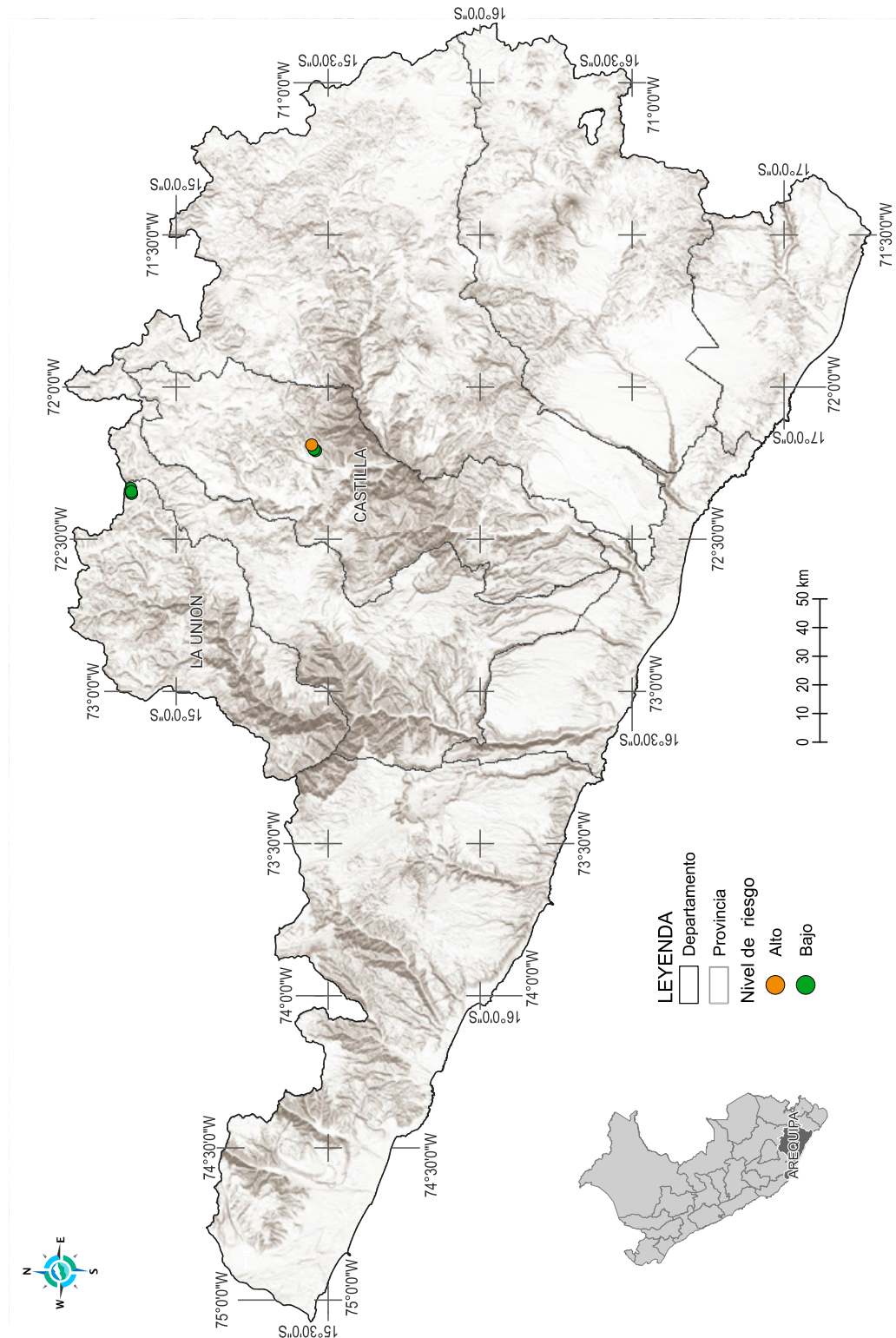


*Nota.* Los tipos de dique se clasifican según el material que los compone, de la siguiente manera: de morrena (MO), de morrena con dique artificial (MO DA), de morrena con roca (MO RO) y de roca (RO).

### 4.3.2. Departamento de Arequipa

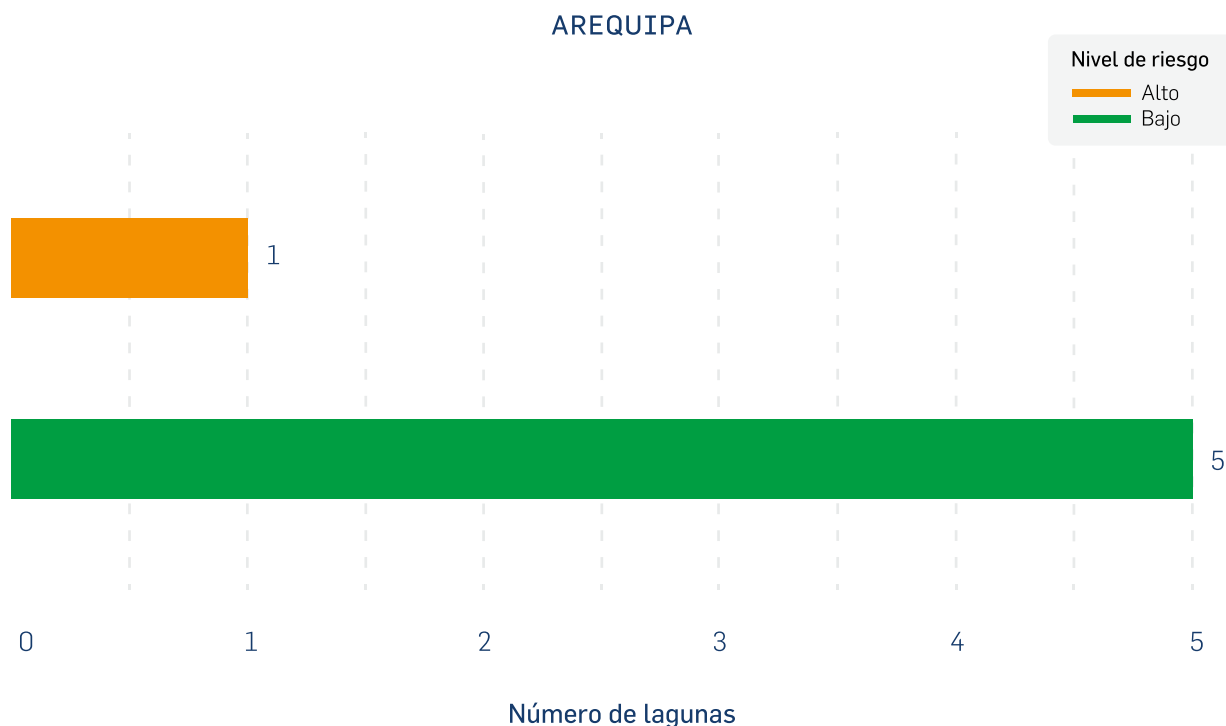
El departamento de Arequipa cuenta con 6 lagunas glaciares con riesgo de desborde que se encuentran altamente concentradas en dos sectores: 3 se ubican en la provincia de Castilla en la cordillera Chila y las otras 3 en la provincia de La Unión en la cordillera Huanzo (ver Figura 43).

Figura 43. Mapa de lagunas glaciares según nivel de riesgo en el departamento de Arequipa



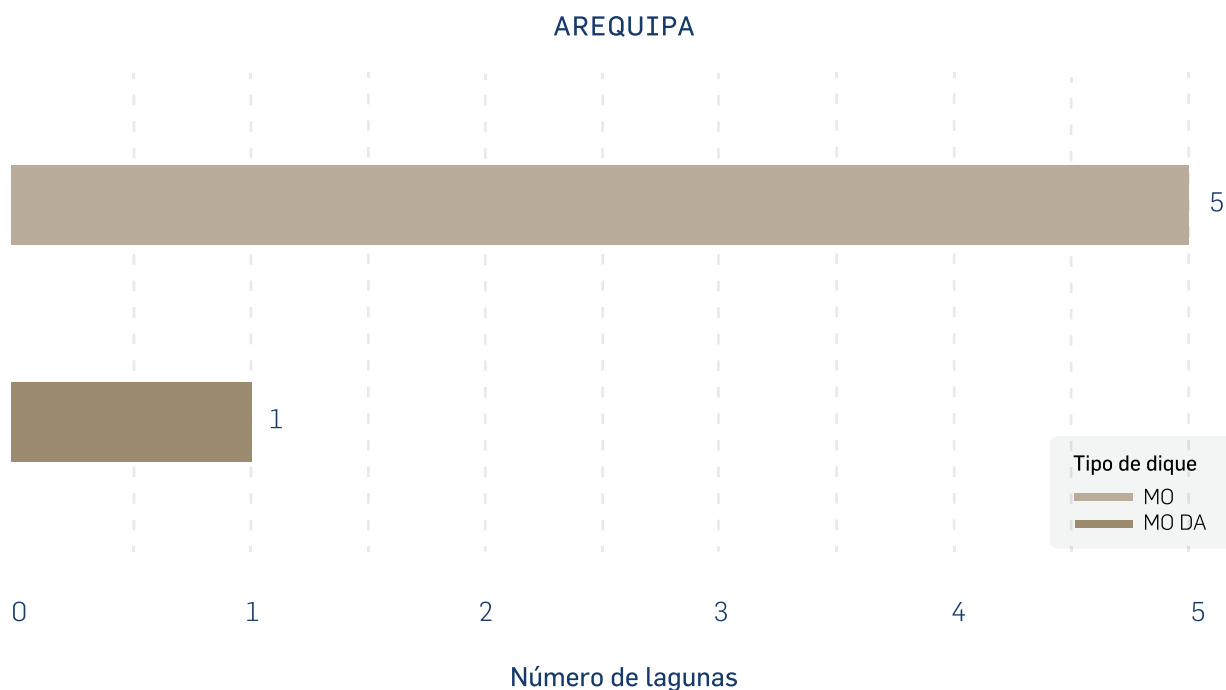
En Arequipa se identificaron dos niveles de lagunas glaciares con riesgo de desborde, 5 ubicadas en nivel bajo y 1 laguna en nivel alto, como se muestra en la Figura 44. Esta última es la laguna San Félix ubicada en la provincia de Castilla.

**Figura 44. Lagunas glaciares según nivel de riesgo de desborde en el departamento de Arequipa**



De las 6 lagunas con riesgo de desborde, 1 tiene dique de morrena y artificial (MO DA) y 5 dique de morrena (MO) (ver Figura 45).

**Figura 45. Tipos de dique en las lagunas glaciares con riesgo de desborde en el departamento de Arequipa**



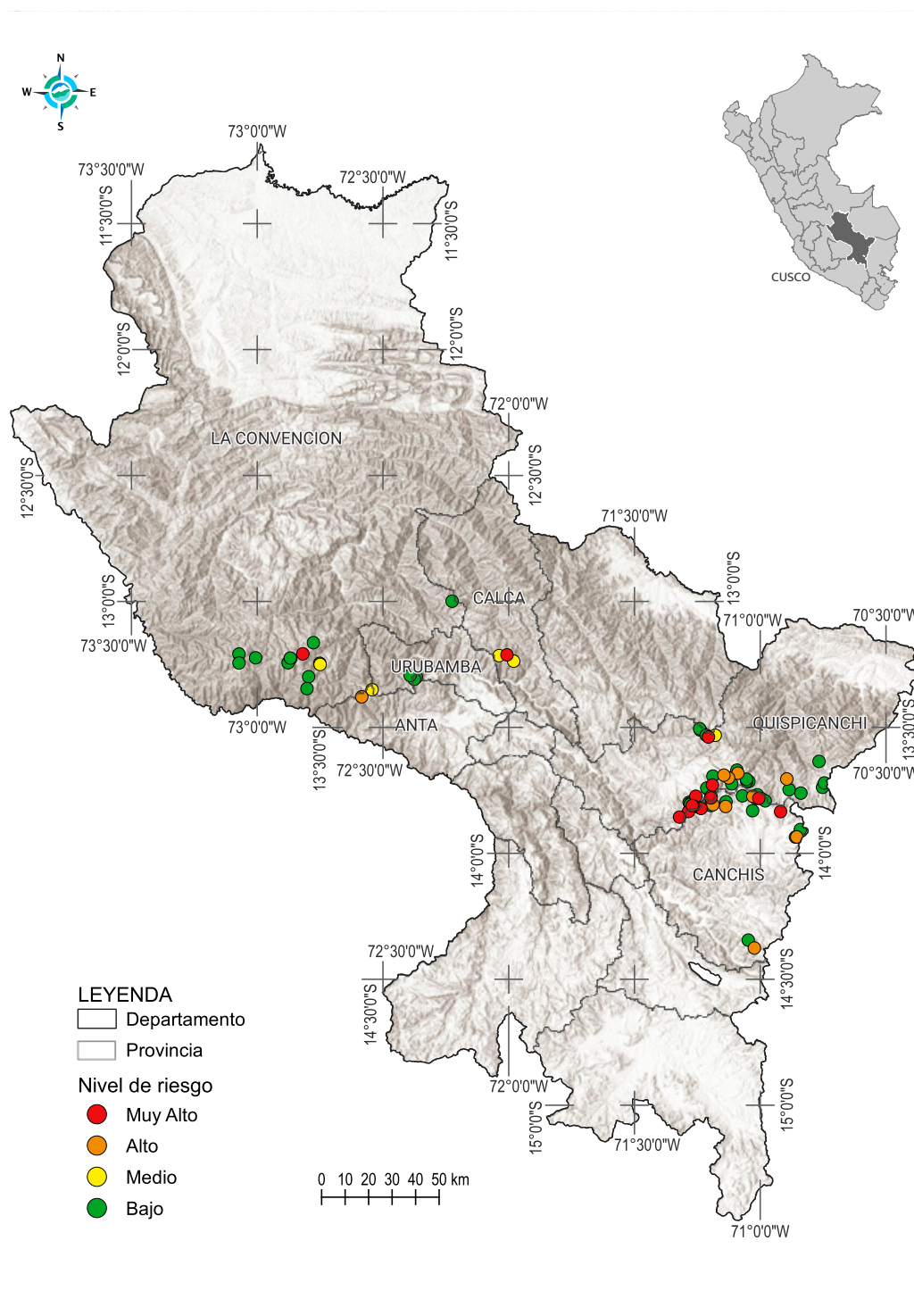
*Nota.* Los tipos de dique se clasifican según el material que los compone, de la siguiente manera: de morrena (MO) y de morrena con dique artificial (MO DA)

### 4.3.3. Departamento de Cusco

Cusco tiene 76 lagunas glaciares con riesgo de desborde. Estas se ubican en distintos sectores, con una alta concentración en la zona este, entre las provincias de Quispicanchi y Canchis (ver Figura 46). El 66 % de estas lagunas se encuentran en la cordillera Vilcanota; mientras que, a nivel provincial, el 43 % en la provincia de Quispicanchi.

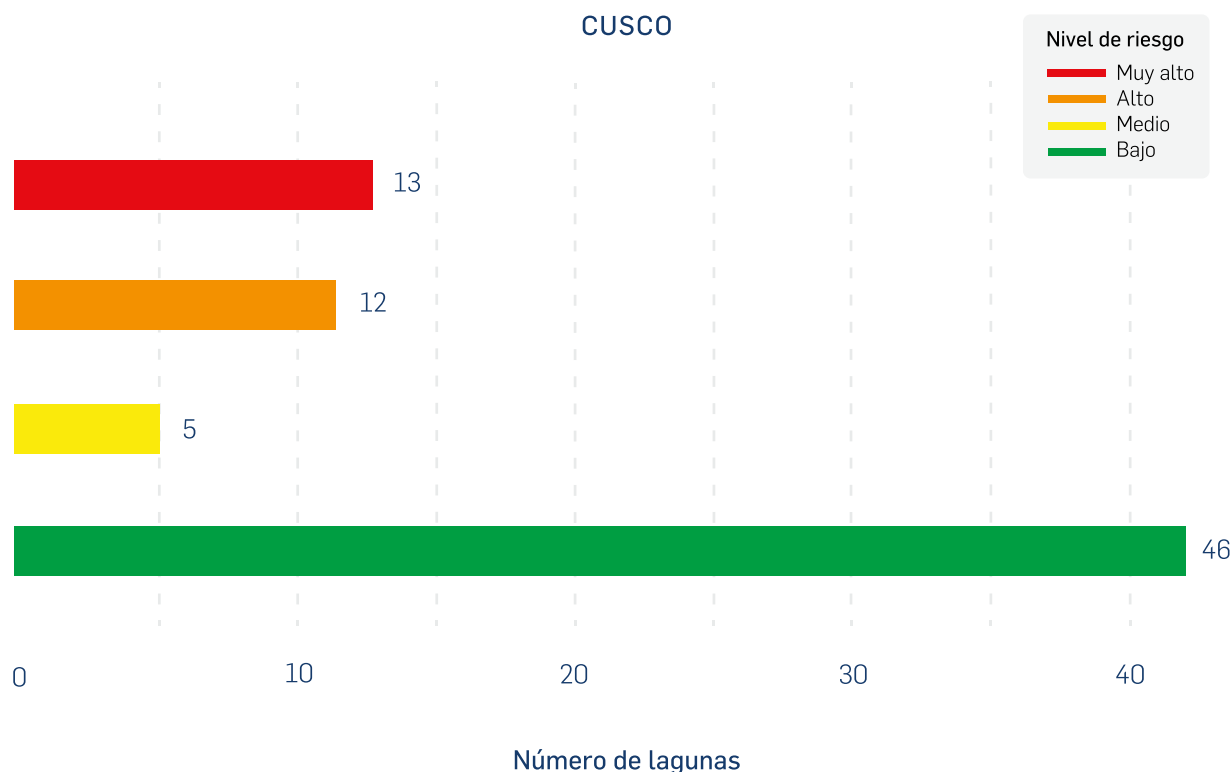
El 85 % de las lagunas con riesgo muy alto se encuentran en las provincias de Quispicanchi y Canchis. También, hay lagunas de muy alto riesgo en las provincias de La Convención y Calca.

Figura 46. Mapa de lagunas glaciares según nivel de riesgo en el departamento de Cusco



En cuanto al nivel de riesgo de desborde, se han identificado 13 lagunas con riesgo muy alto, 12 con riesgo alto, 5 con riesgo medio y 46 con riesgo bajo (ver Figura 47).

**Figura 47. Lagunas glaciares según nivel de riesgo de desborde en el departamento de Cusco**



En Cusco se encuentra la laguna Upiscocha, que presenta los valores más altos de susceptibilidad y riesgo de desborde a nivel nacional. En segunda posición, a nivel departamental, se encuentra la laguna Auzangatecocha, ubicada en la subcuenca Vilcanota (ver Tabla 6).

**Tabla 6. Lagunas glaciares con riesgo «muy alto» de desborde en Cusco**

n.º	Laguna	Cordillera	Susceptibilidad	Estimado de viviendas expuestas	Exposición	Riesgo
1	Upiscocha	Vilcanota	0,44	111	0,61	0,99
2	Auzangatecocha	Vilcanota	0,20	1647	0,87	0,65
3	Qolque Punku Bajo	Vilcanota	0,19	714	0,79	0,56
4	Alccachayacocha	Vilcanota	0,20	113	0,61	0,45
5	Yanaloma	Vilcanota	0,13	587	0,77	0,37
6	Marampaqui	Vilcanota	0,13	576	0,77	0,37
7	Anantapata	Vilcanota	0,11	1647	0,87	0,36
8	Cancha Cancha	Urubamba	0,10	2310	0,91	0,34
9	Qari Pucacocha	Vilcanota	0,14	140	0,63	0,33

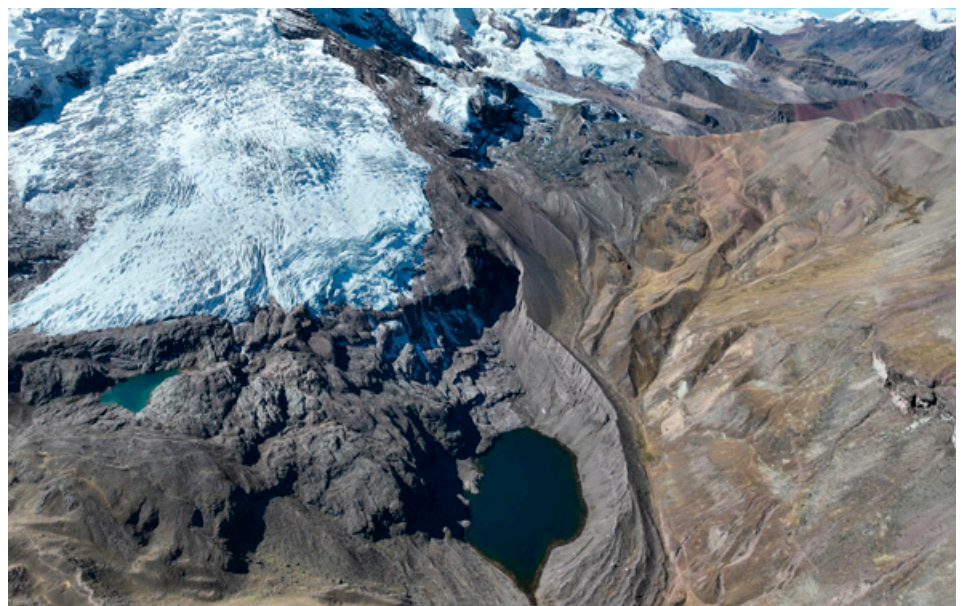
10	Sara Huasacocha	Vilcabamba	0,20	12	0,39	0,29
11	S/N Cód. 4994999_22	Vilcanota	0,12	114	0,61	0,27
12	Pucacocha	Vilcanota	0,12	89	0,58	0,26
13	Jatun Pucacocha	Vilcanota	0,11	140	0,63	0,26

**Figura 48. Lagunas con mayor riesgo en el departamento de Cusco. A. Laguna Upiscocha. B. Laguna Auzangatecocha**



**A. LAGUNA  
UPISCOCHA**

**Oscar Vilca, 2022**

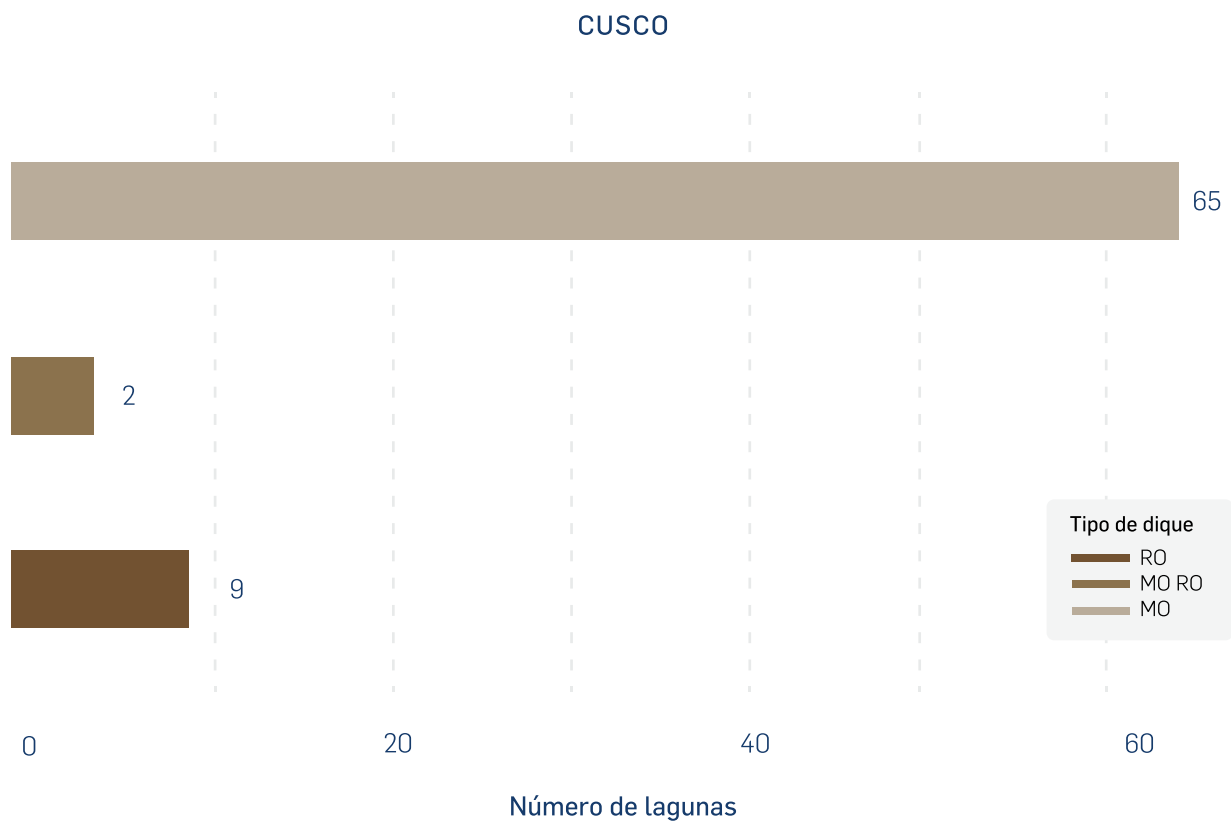


**B. LAGUNA  
AUZANGATECOCHA**

**Oscar Vilca, 2022**

En cuanto al tipo de represamiento de las lagunas glaciares con riesgo de desborde en Cusco, se han identificado 65 lagunas con dique morrénico, que es el de menor estabilidad; hay 2 con dique de morrena y roca; y 9 con dique de roca, siendo este el más estable (ver Figura 49).

**Figura 49. Tipos de dique en las lagunas glaciares con riesgo de desborde del departamento de Cusco**

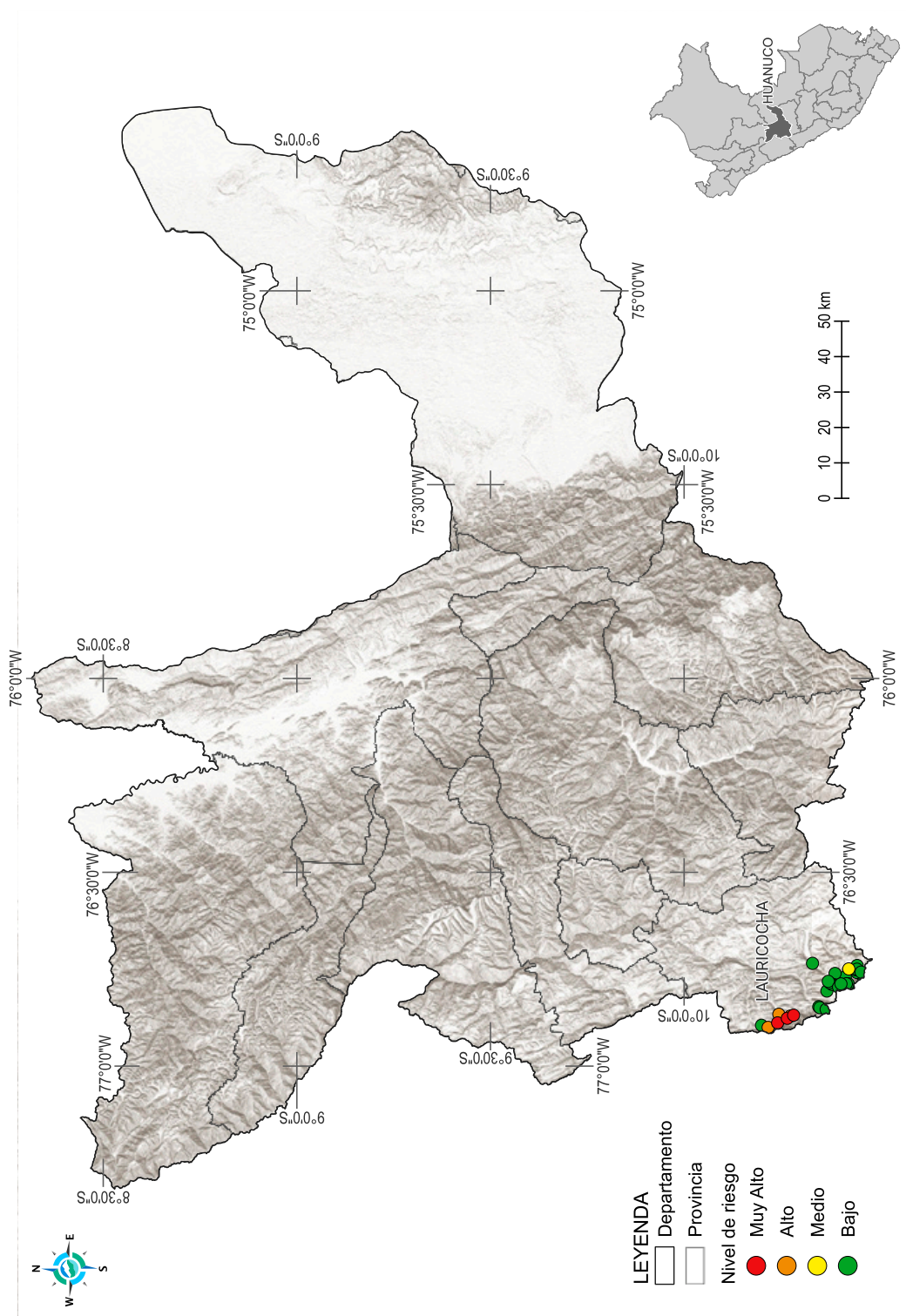


*Nota.* Los tipos de dique se clasifican según el material que los compone, de la siguiente manera: de morrena (MO), de morrena con roca (MO RO) y de roca (RO).

### 4.3.4. Departamento de Huánuco

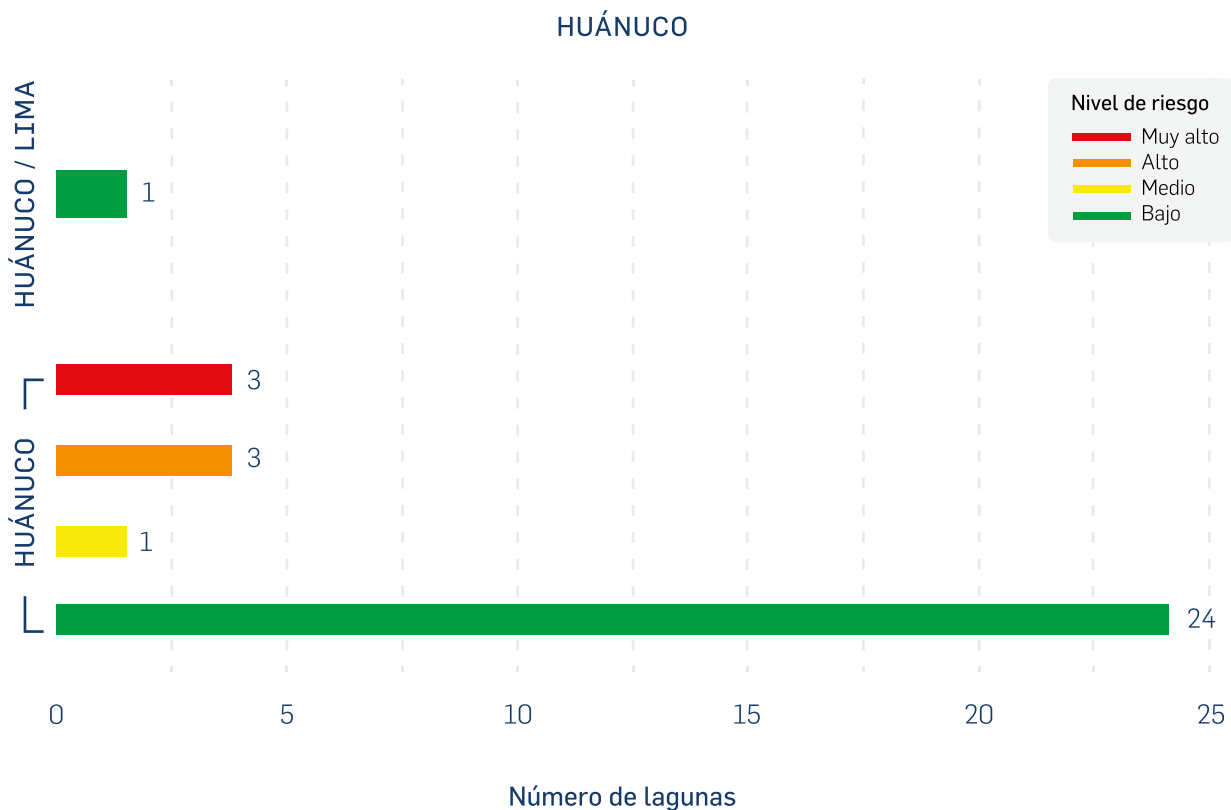
Se han identificado 32 lagunas glaciares con riesgo de desborde en el departamento de Huánuco, una de las cuales se encuentra compartida con Lima. Todas se concentran en el extremo suroeste del departamento, en la provincia de Lauricocha (ver Figura 50). El 66 % pertenece a la cordillera Raura y las demás a la cordillera Huayhuash. Las lagunas con riesgo muy alto y alto se encuentran en la cordillera Huayhuash y en la cuenca del río Nupe.

Figura 50. Mapa de lagunas glaciares según nivel de riesgo en el departamento de Huánuco



En Huánuco, se han identificado 3 lagunas con riesgo muy alto, 3 con riesgo alto, 1 con riesgo medio y 24 con riesgo bajo (ver Figura 51).

**Figura 51. Lagunas glaciares según nivel de riesgo de desborde en el departamento de Huánuco**



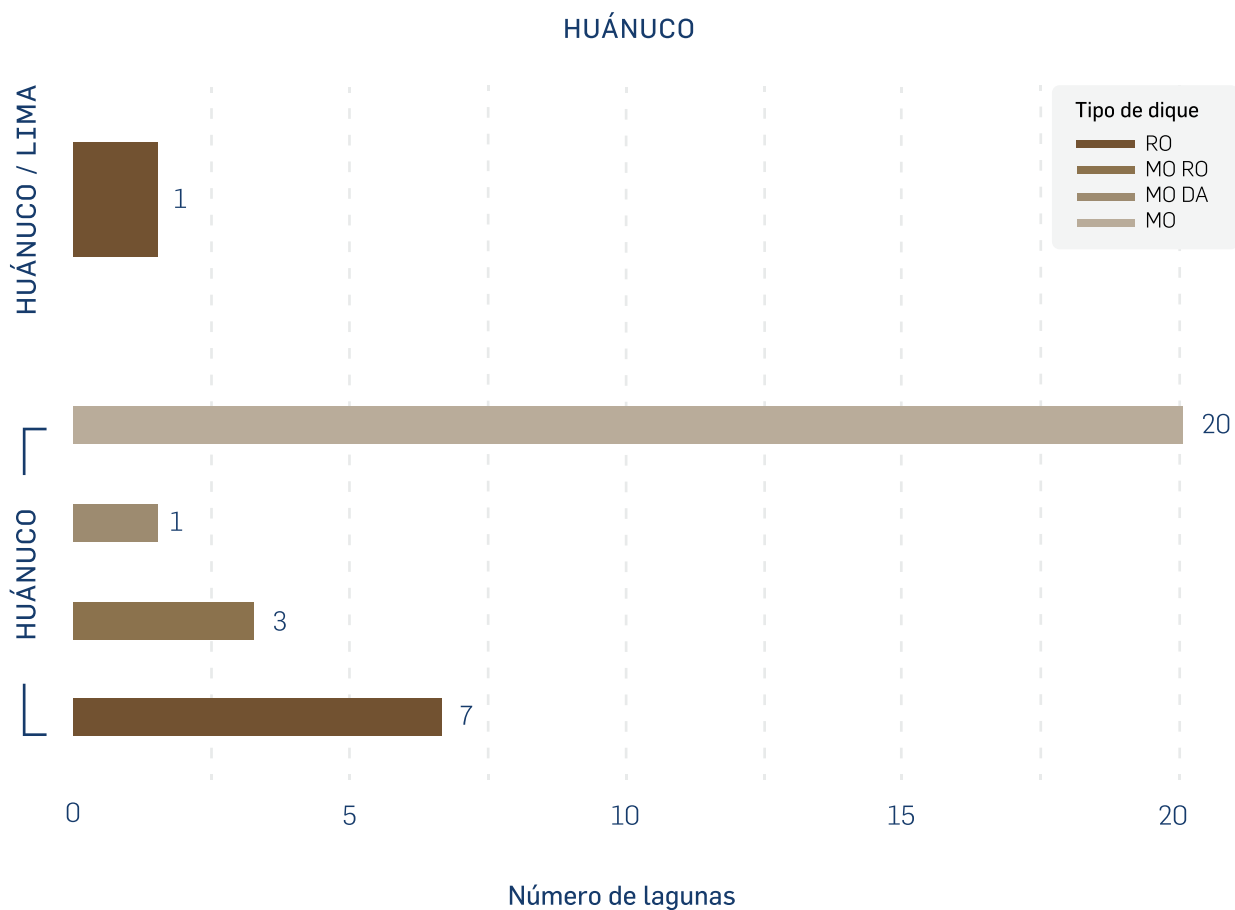
En Huánuco, las lagunas con riesgo muy alto son: Gangrajanca, Quesillococha y Chaclan, las cuales amenazan a las mismas localidades en la cuenca del río Nupe. Además, las dos primeras presentan valores elevados de susceptibilidad de desborde (ver Tabla 7).

**Tabla 7. Lagunas glaciares con riesgo «muy alto» de desborde en Huánuco**

n.º	Laguna	Cordillera	Susceptibilidad	Estimado de viviendas expuestas	Exposición	Riesgo
1	Gangrajanca	Huayhuash	0,21	90	0,59	0,46
2	Quesillococha (Sarapo)	Huayhuash	0,21	90	0,59	0,46
3	Chaclan (Ninashanca)	Huayhuash	0,16	90	0,59	0,35

Entre las lagunas con riesgo de desborde en Huánuco, se han identificado que 20 tienen dique morrénico, que es menos estable; 1 posee dique de morrena y artificial; 3 tienen dique de morrena y roca; y 8 tienen dique de roca, el de mayor estabilidad (ver Figura 52).

**Figura 52. Tipos de dique en las lagunas glaciares con riesgo de desborde del departamento de Huánuco**

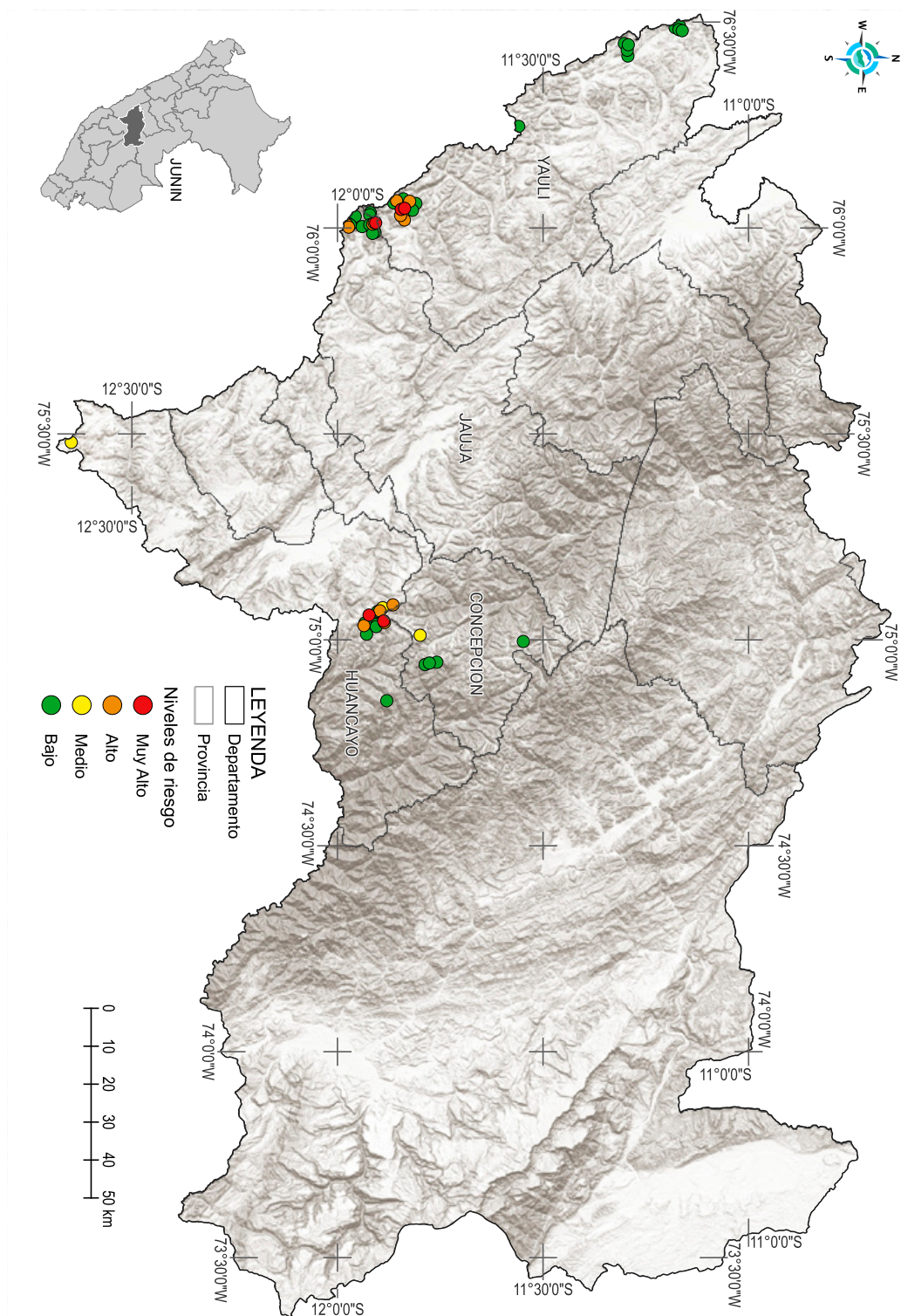


*Nota.* Los tipos de dique se clasifican según el material que los compone, de la siguiente manera: de morrena (MO), de morrena con dique artificial (MO DA), de morrena con roca (MO RO) y de roca (RO).

### 4.3.5. Departamento de Junín

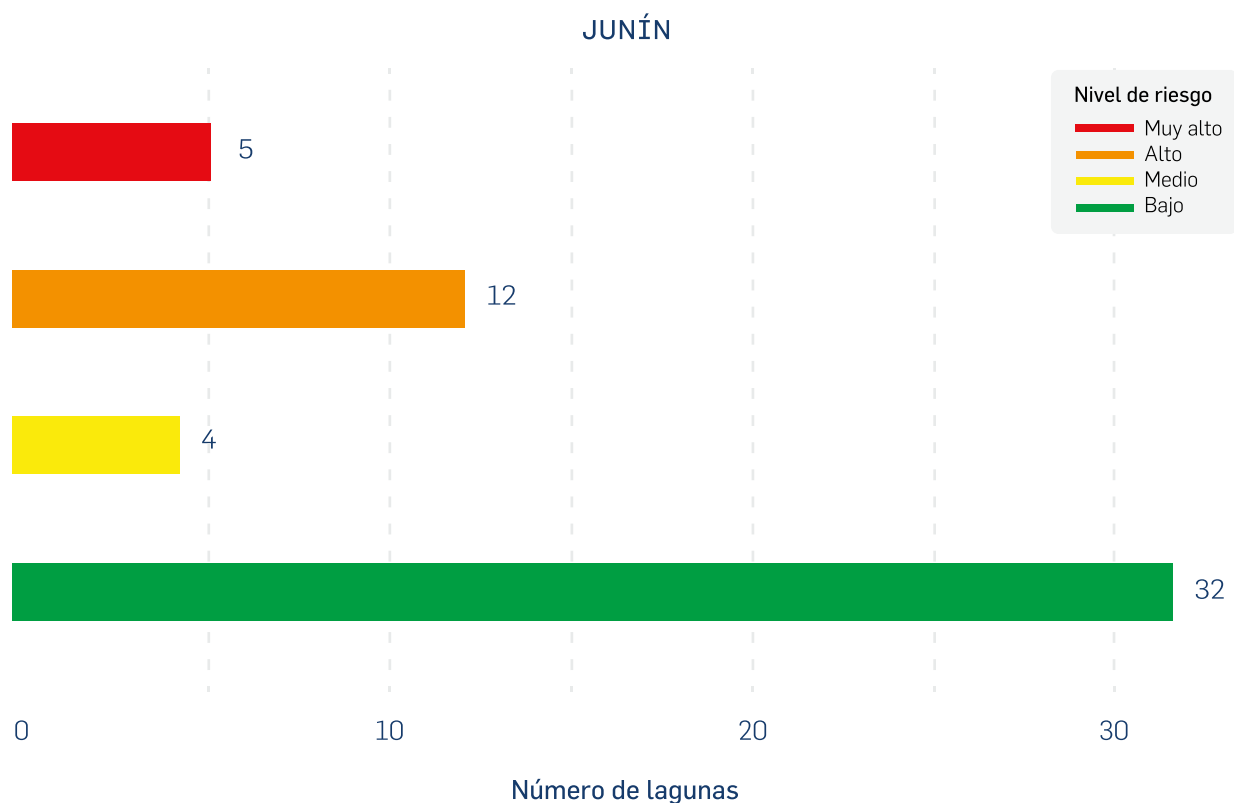
El departamento de Junín registra 53 lagunas glaciares con riesgo de desborde, ubicadas en 4 cordilleras en el límite oeste y la zona central del departamento (ver Figura 53). Casi la mitad se concentra en la cordillera Central y una tercera parte en la cordillera Huaytapallana. Además, el 44 % se encuentra en la provincia de Yauli. En cuanto a las lagunas de nivel muy alto y alto de riesgo, se concentran en dos sectores de las provincias de Huancayo y Yauli.

Figura 53. Mapa de lagunas glaciares según nivel de riesgo de desborde en Junín



El resultado de la clasificación según nivel de riesgo indica que en Junín hay 5 lagunas con riesgo muy alto, 12 con riesgo alto, 4 con riesgo medio y 32 con riesgo bajo (ver Figura 54).

**Figura 54. Lagunas glaciares según nivel de riesgo de desborde en el departamento de Junín**



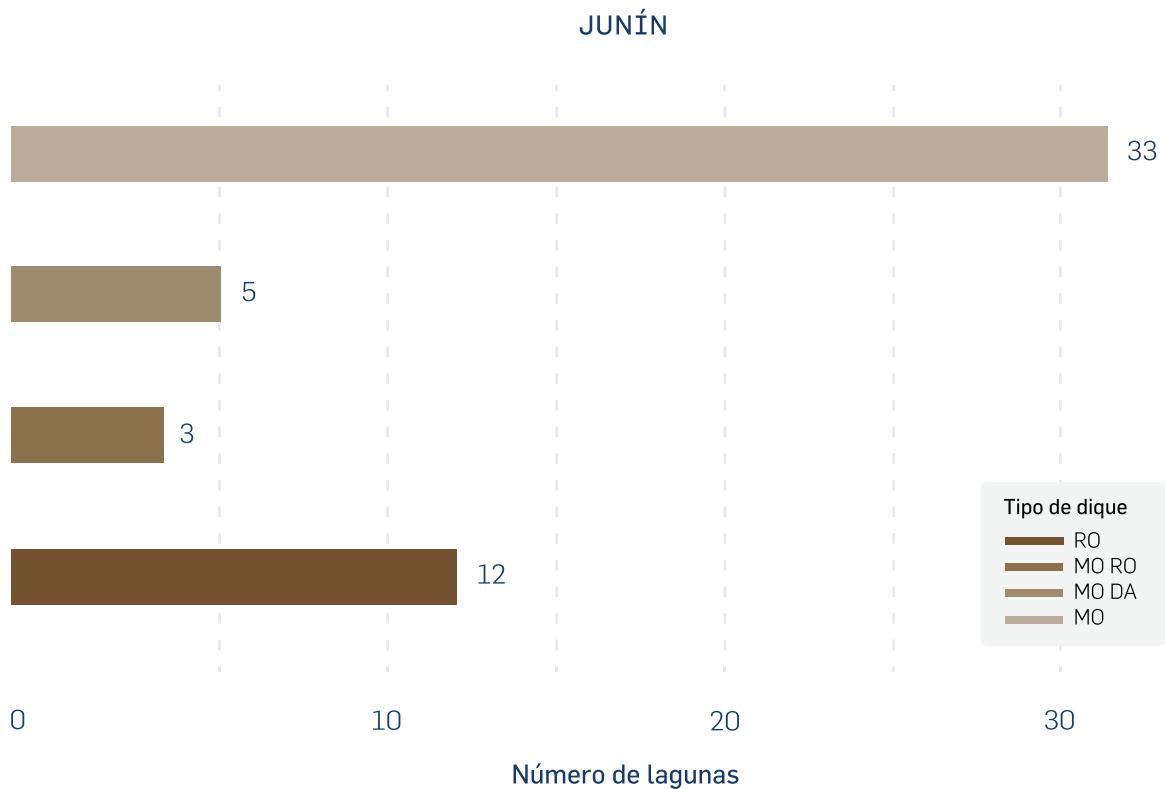
En Junín, la laguna con mayor riesgo es Pumacocha en la cordillera Huaytapallana, con un elevado valor de susceptibilidad de desborde. También destaca la laguna Lazo Huntay en la misma cordillera, por presentar un valor de más de 5800 viviendas expuestas al peligro, siendo una amenaza para la ciudad de Huancayo. Las otras tres lagunas de muy alto riesgo presentan más de 400 viviendas expuestas al peligro (ver Tabla 8).

**Tabla 8. Lagunas glaciares con riesgo «muy alto» de desborde en Junín**

n.º	Laguna	Cordillera	Susceptibilidad	Estimado de viviendas expuestas	Exposición	Riesgo
1	Pumacocha	Huaytapallana	0,22	201	0,67	0,54
2	S/N Cód. 4996934_44	Central	0,13	495	0,75	0,36
3	Chuctuc	Central	0,10	455	0,75	0,28
4	Lazo Huntay	Huaytapallana	0,07	5829	1,00	0,26
5	Chucucocha	Central	0,09	495	0,75	0,25

Con relación al tipo de dique de las lagunas con riesgo de desborde, se encuentra que 33 tienen dique morrénico, que presenta menor estabilidad; 5 con dique morrénico y artificial; 3 con dique de morrena y roca; y 12 de roca, el más estable (ver Figura 55).

**Figura 55. Tipos de dique en las lagunas glaciares con riesgo de desborde en el departamento de Junín**

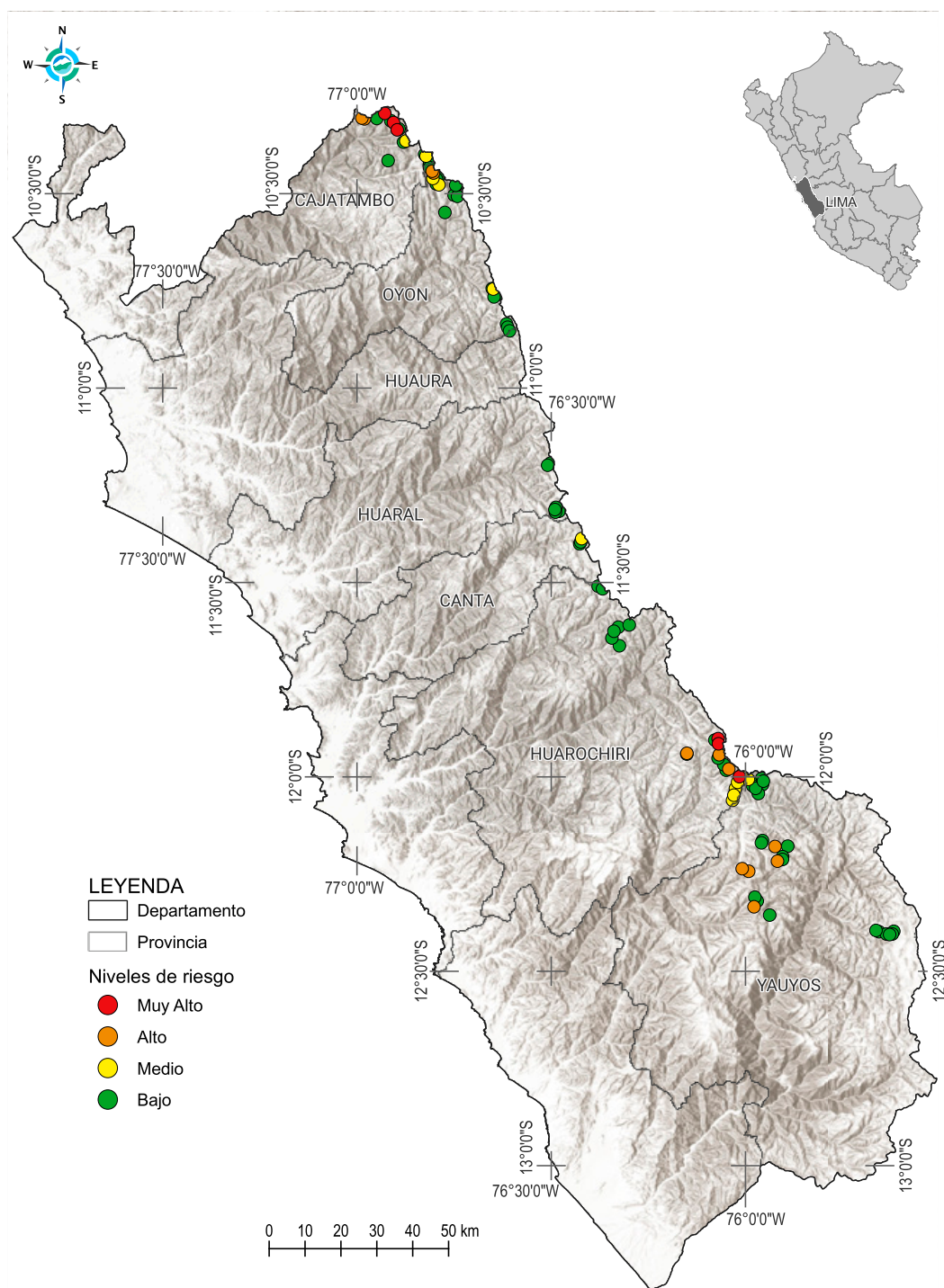


*Nota.* Los tipos de dique se clasifican según el material que los compone, de la siguiente manera: de morrena (MO), de morrena con dique artificial (MO DA), de morrena con roca (MO RO) y de roca (RO).

### 4.3.6. Departamento de Lima

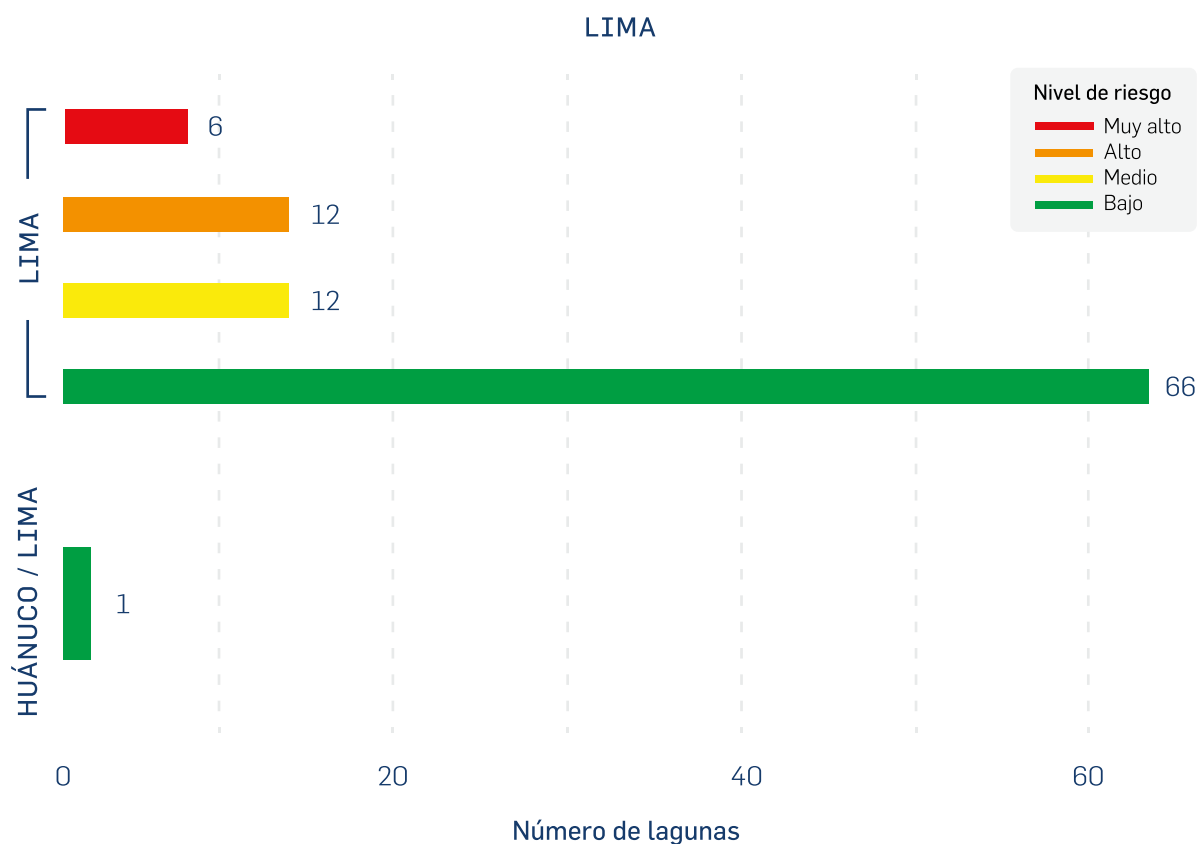
Se registran 97 lagunas glaciares con riesgo de desborde en el departamento de Lima, una de las cuales, se encuentra compartida con Huánuco. Todas se concentran en el límite este del departamento. El 44 % pertenece a la cordillera Central y las demás se encuentran en las cordilleras La Viuda, Raura y Huayhuash. En mayor medida se ubican en las provincias de Yauyos, Huarochirí, Oyón y Cajatambo. En estas cuatro provincias, también se encuentran las lagunas con riesgo muy alto y alto. Si observamos solamente las lagunas con riesgo muy alto, estas se concentran en las provincias de Cajatambo y Huarochirí (ver Figura 56).

Figura 56. Mapa de lagunas glaciares según nivel de riesgo en el departamento de Lima



Según niveles de riesgo, en el departamento de Lima se han identificado 6 lagunas con riesgo muy alto, 12 con riesgo alto, 12 con riesgo medio y 67 con riesgo bajo (ver Figura 57).

**Figura 57. Lagunas glaciares según nivel de riesgo de desborde en el departamento de Lima**



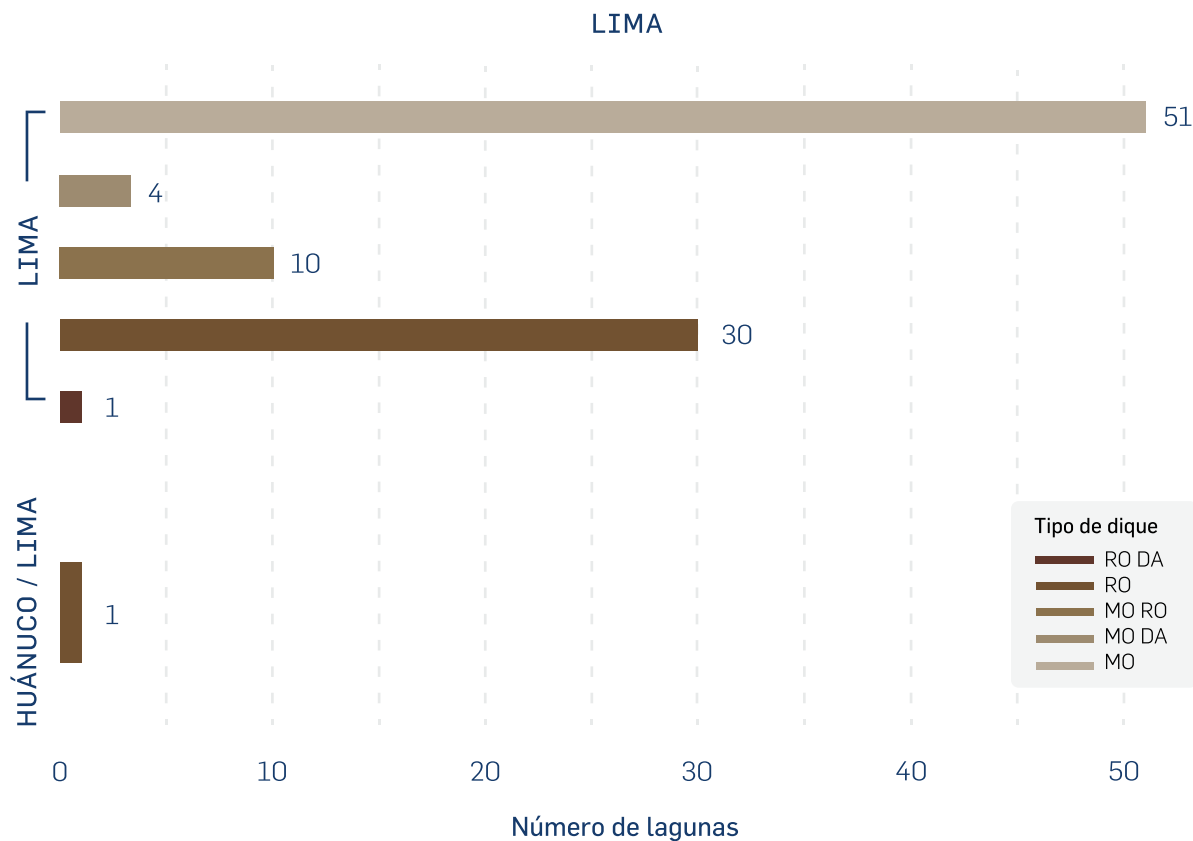
En el departamento de Lima, la laguna Rurigallay perteneciente a la cuenca Pativilca, es la que presenta mayor riesgo de desborde. Además, las 6 lagunas con muy alto riesgo presentan valores entre 50 y 150 viviendas expuestas al peligro (ver Tabla 9).

**Tabla 9. Lagunas glaciares con riesgo «muy alto» de desborde en Lima**

n.º	Laguna	Cordillera	Susceptibilidad	Estimado de viviendas expuestas	Exposición	Riesgo
1	Rurigallay	Huayhuash	0,19	141	0,63	0,44
2	Caramarca	Huayhuash	0,15	143	0,63	0,35
3	Jurau 2	Huayhuash	0,15	141	0,63	0,35
4	Chuspicocha	Central	0,15	58	0,54	0,30
5	Quiullacocha	Central	0,14	63	0,55	0,29
6	Rinconada/Rinconada Chica	Central	0,13	63	0,55	0,27

En cuanto al tipo de dique de las lagunas con riesgo de desborde en el departamento de Lima, se obtuvo que 51 lagunas poseen dique morrénico, que es el de menor estabilidad; 4 tienen dique de morrena y artificial; 10 son de morrena y roca; 31 de roca; y 1 de roca y artificial (ver Figura 58).

**Figura 58. Tipos de dique en las lagunas glaciares con riesgo de desborde en el departamento de Lima**

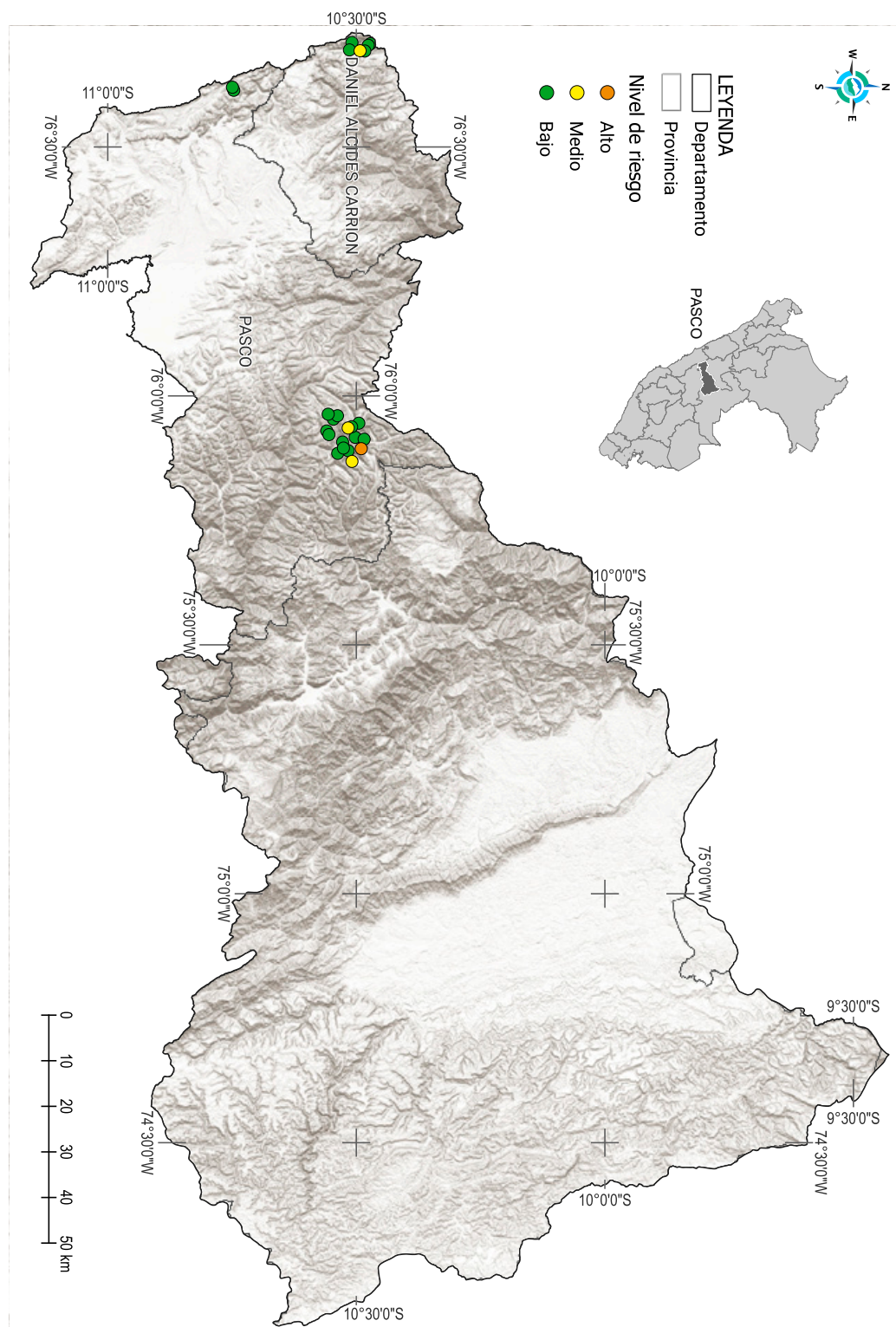


*Nota.* Los tipos de dique se clasifican según el material que los compone, de la siguiente manera: de morrena (MO), de morrena con dique artificial (MO DA), de morrena con roca (MO RO), de roca (RO) y de roca con dique artificial (RO DA).

### 4.3.7. Departamento de Pasco

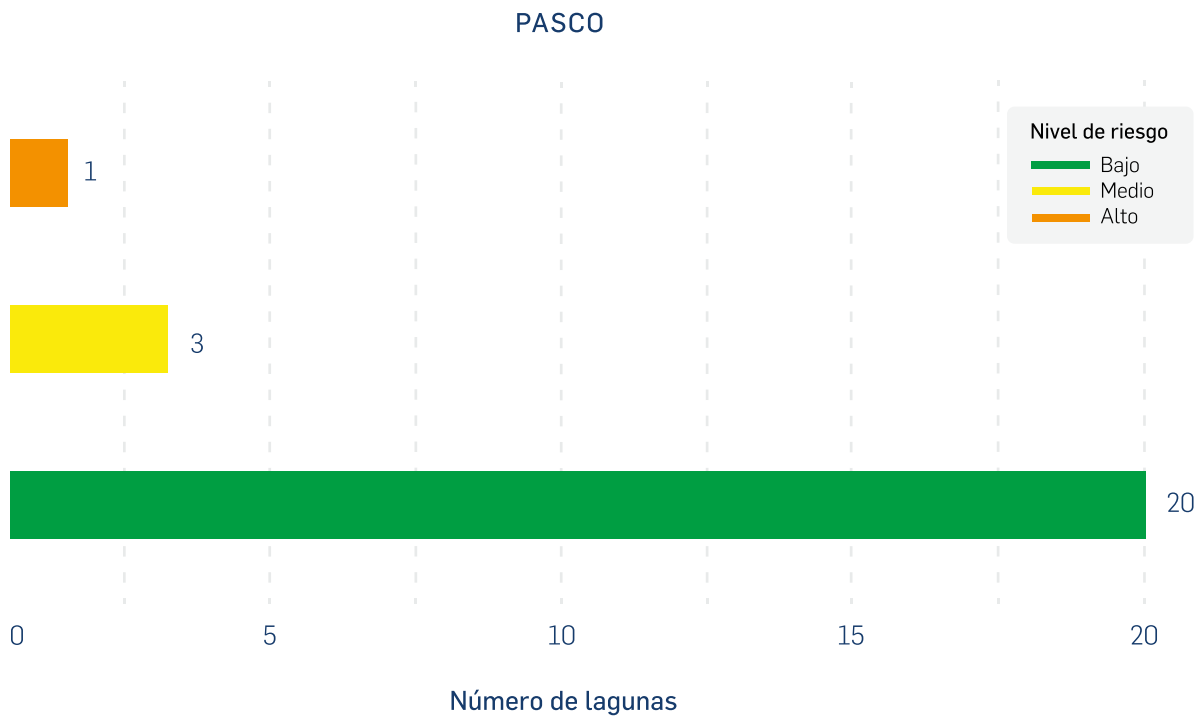
Pasco tiene 24 lagunas glaciares con riesgo de desborde, las cuales se concentran en tres sectores. Dos tercios se encuentran en la cordillera Huagoruncho, al norte de la provincia de Pasco; en este sector se ubica la laguna Lecma, la única con riesgo alto en el departamento. Las demás lagunas con riesgo se encuentran en las cordilleras Raura y La Viuda. Además, el 75 % se encuentra en la provincia de Pasco (ver Figura 59).

Figura 59. Mapa de lagunas glaciares según nivel de riesgo en el departamento de Pasco



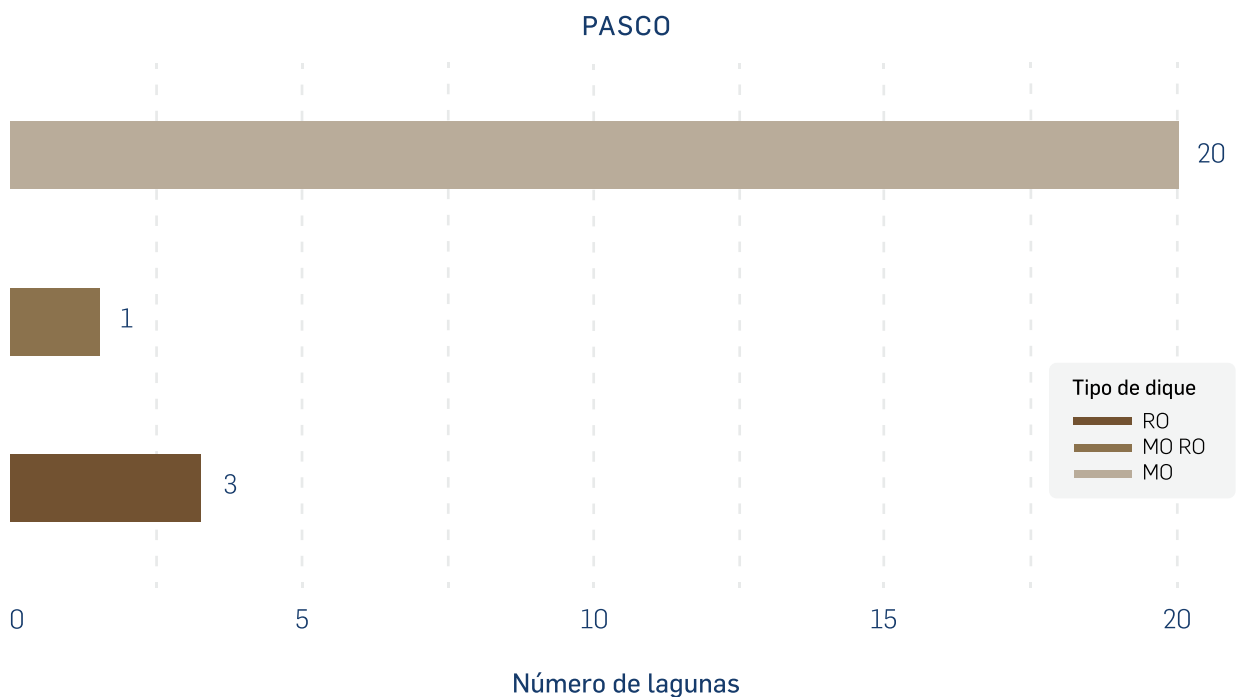
No se han identificado lagunas con riesgo muy alto. Solamente hay 1 laguna con riesgo alto, 3 con riesgo medio y 20 con riesgo bajo (ver Figura 60).

**Figura 60. Lagunas glaciares según nivel de riesgo de desborde en el departamento de Pasco**



En el departamento de Pasco, las lagunas con riesgo de desborde tienen 3 tipos de dique: 20 lagunas con dique morrénico; 1 de morrena y roca; y 3 de roca, el tipo de mayor estabilidad (ver Figura 61).

**Figura 61. Tipos de dique en las lagunas glaciares con riesgo de desborde del departamento de Pasco**

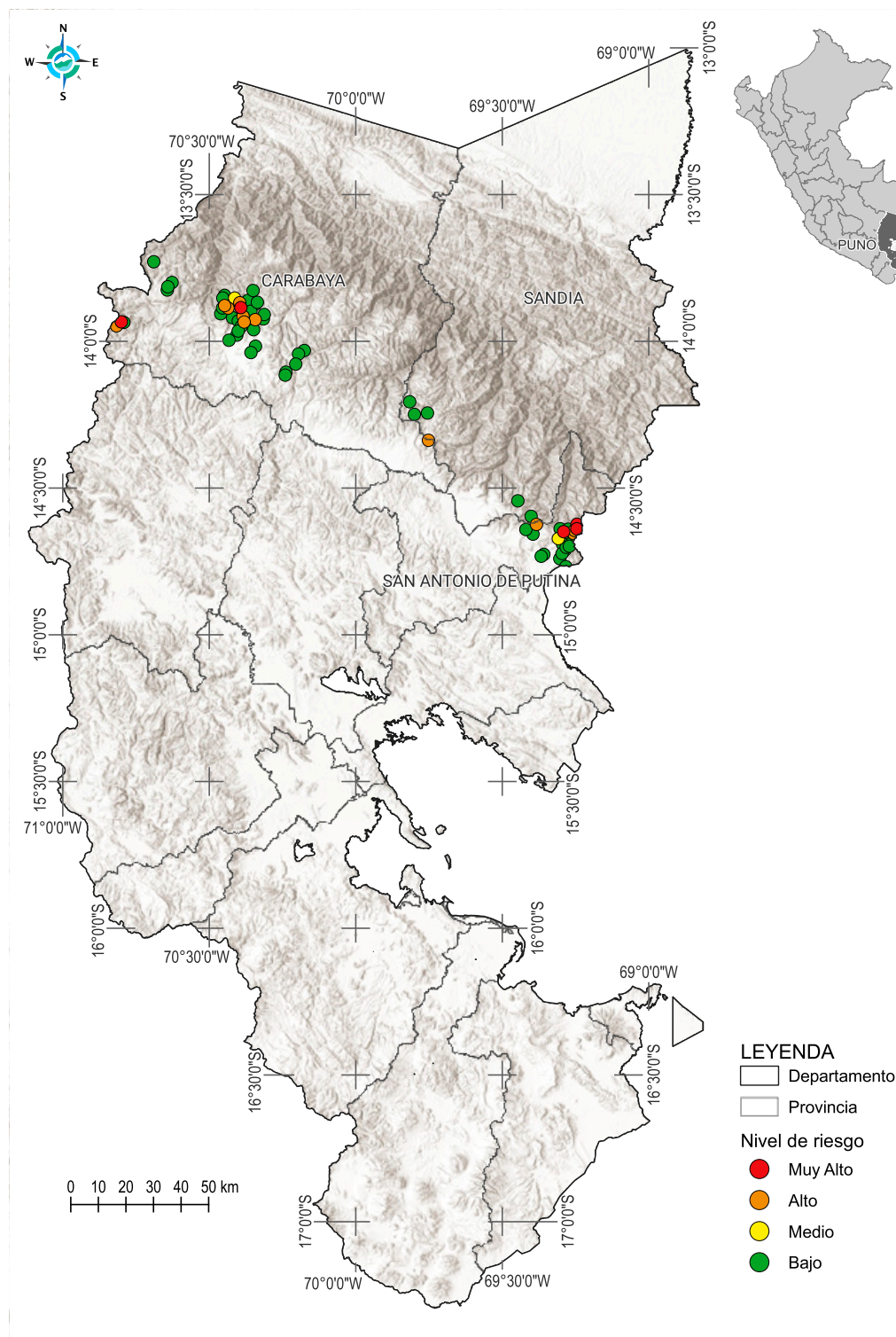


*Nota.* Los tipos de dique se clasifican según el material que los compone, de la siguiente manera: de morrena (MO), de morrena con roca (MO RO) y de roca (RO).

### 4.3.8. Departamento de Puno

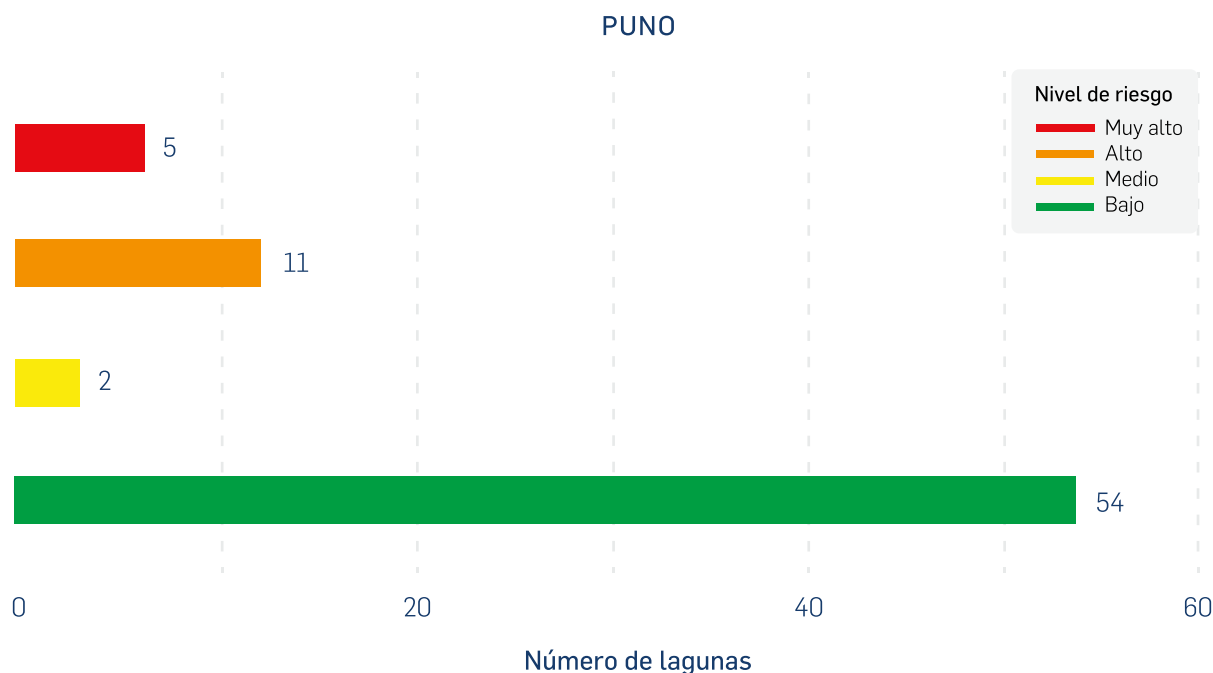
Se han identificado 72 lagunas glaciares con riesgo de desborde en Puno. Todas se encuentran en un eje cerca al norte del departamento. El 72 % pertenece a la vertiente del Atlántico y la cuenca del río Inambari, mientras que las demás se encuentran en la vertiente del Titicaca, principalmente en la cuenca del río Suches. A nivel de cordilleras, el 61 % se ubica en Carabaya, el 35 % en Apolobamba y las otras en Vilcanota. Asimismo, se observan dos grandes concentraciones de lagunas con riesgo de desborde en las provincias de Carabaya y San Antonio de Putina; en estas dos provincias se encuentran las lagunas con riesgo muy alto y alto (ver Figura 62).

Figura 62. Mapa de lagunas glaciares según nivel de riesgo en el departamento de Puno



En el departamento de Puno, se han identificado 5 lagunas con riesgo muy alto, 11 con riesgo alto, 2 con riesgo medio y 54 con riesgo bajo, conforme a la Figura 63.

**Figura 63. Lagunas glaciares según nivel de riesgo de desborde en el departamento de Puno**



En Puno, las lagunas con muy alto riesgo se encuentran en Sorapata y Vizcachani en la cordillera Apolobamba, distrito de Sina; también, en los distritos de Ananea, Corani y Ayapata. Además, 4 de estas lagunas tienen más de 150 viviendas expuestas a peligro (ver Tabla 10).

**Tabla 10. Lagunas glaciares con riesgo «muy alto» de desborde en Puno**

n.º	Laguna	Cordillera	Susceptibilidad	Estimado de viviendas expuestas	Exposición	Riesgo
1	Riticocha	Apolobamba	0,26	62	0,55	0,53
2	Sorapata	Apolobamba	0,14	268	0,69	0,36
3	Vizcachani	Apolobamba	0,13	268	0,69	0,33
4	Phacu Cucho Alto	Vilcanota	0,12	476	0,75	0,33
5	Aullincocha	Carabaya	0,12	159	0,64	0,29

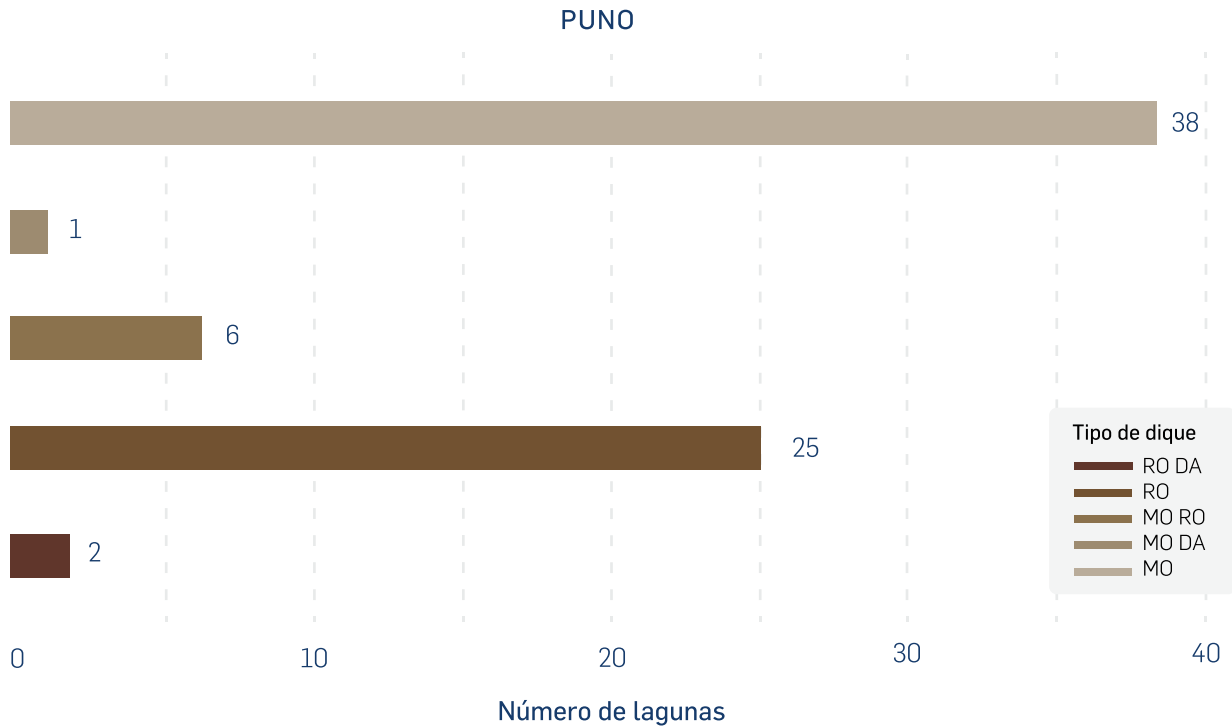
Figura 64. Laguna Vizcachani, cordillera Apolobamba, Puno



Oscar Vilca, 2022

En cuanto a los tipos de dique en las lagunas con riesgo de desborde, se identificó que en Puno hay 38 lagunas con dique morrénico, 1 con dique de morrena y artificial, 6 con dique de morrena y roca, 25 de roca, y 2 de roca y artificial (ver Figura 65).

**Figura 65. Tipos de dique en las lagunas glaciares con riesgo de desborde en el departamento de Puno**



*Nota.* Los tipos de dique se clasifican según el material que los compone, de la siguiente manera: de morrena (MO), de morrena con dique artificial (MO DA), de morrena con roca (MO RO), de roca (RO) y de roca con dique artificial (RO DA).



CAPÍTULO 5  
**RECOMENDACIONES**  
PARA LA TOMA DE  
DECISIONES

## 5. RECOMENDACIONES PARA LA TOMA DE DECISIONES

---

Los tomadores de decisión desempeñan un rol fundamental en la construcción de una sociedad más preparada y proactiva para enfrentar los desafíos de los riesgos, como el desborde de lagunas de origen glaciar. El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) dispone que las autoridades regionales y locales son responsables de la labor de mitigar el riesgo existente para proteger a su población y sus medios de vida.

- Realizar estudios más detallados de evaluación del peligro, vulnerabilidad y riesgo ante aluviones por desborde de lagunas glaciares en los casos identificados con mayor riesgo en el presente estudio, con el fin de contar con información más precisa para la gestión del riesgo.
- Definir el nivel de agua seguro en las lagunas glaciares de mayor riesgo; así como monitorear y mantener este nivel, con el fin de reducir el peligro de desborde por caída de bloques de roca o hielo.
- Identificar y señalar las rutas de evacuación y zonas seguras ante un posible desborde de las lagunas glaciares de mayor riesgo, con el fin de informar a la población expuesta a este tipo de peligro y facilitar el desarrollo de sus actividades de manera segura.
- Evaluar la necesidad de implementar, mejorar o rehabilitar las obras de seguridad en las lagunas glaciares con niveles de riesgo más elevados, para contribuir a la mitigación del peligro.
- Implementar sistemas de monitoreo y sistemas de alerta temprana con el uso de tecnologías de medición en tiempo real, para mitigar el riesgo.
- Fortalecer los instrumentos de zonificación de uso del suelo urbano y la gestión urbana y territorial, incorporando la gestión del riesgo, para evitar la ocupación de zonas de muy alto peligro y promover la ocupación de zonas seguras.
- Fortalecer las capacidades de las instituciones y comunidades expuestas al peligro de desborde de lagunas glaciares.

Figura 66. Ejemplo de mapa de peligro de aluvión por desborde de laguna glaciar

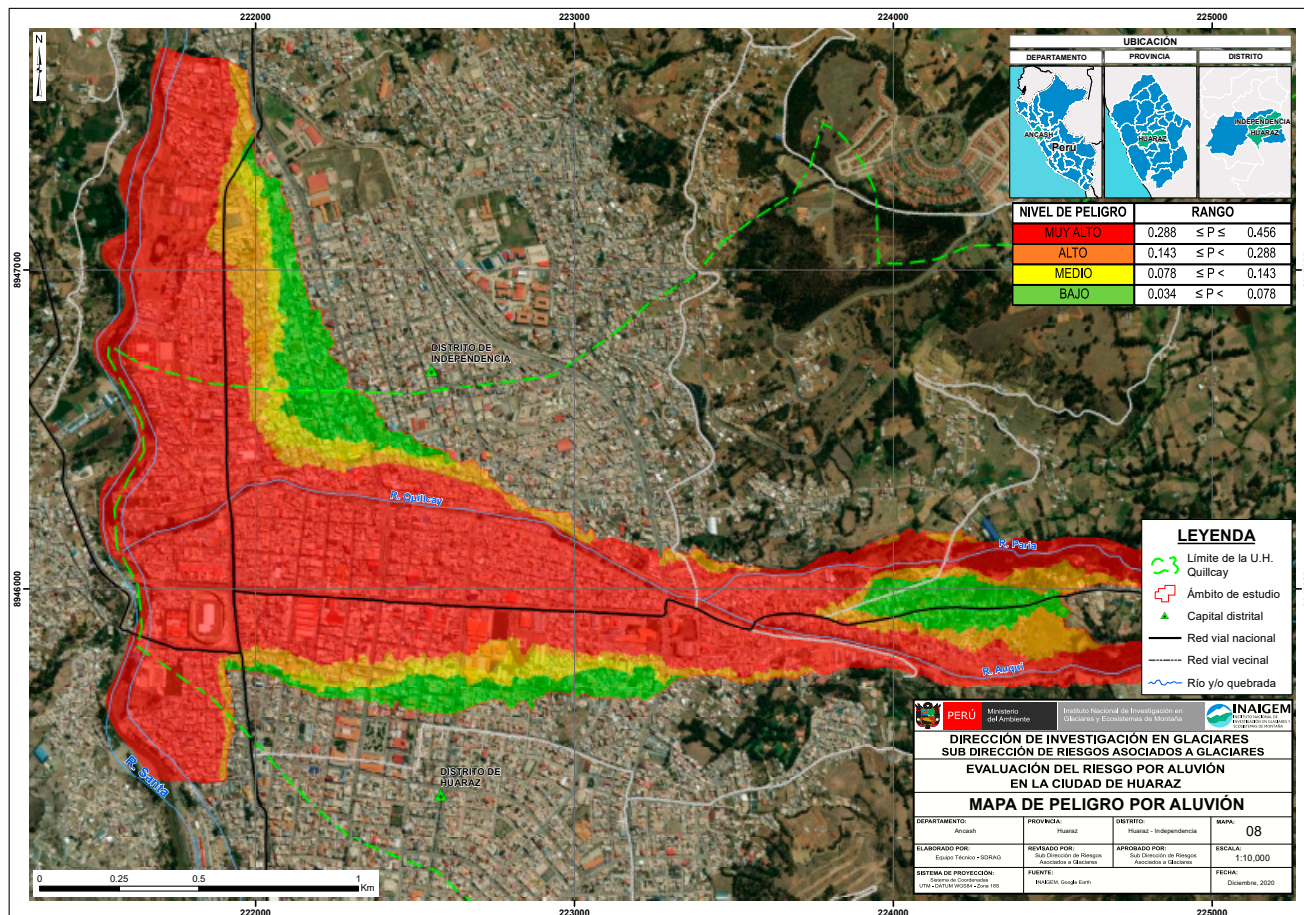


Figura 67. Ejemplo de sistema de monitoreo meteorológico en el entorno de una laguna peligrosa



An aerial photograph of a high-altitude mountain landscape. The top half of the image shows a large, textured glacier flowing down a rocky slope. Below the glacier, the terrain is rugged and dark, with a small, dark green lake nestled in a valley. The sky is a clear, bright blue. Overlaid on the image are several white circular outlines of varying sizes, some of which are partially cut off by the edges of the frame. A semi-transparent blue rectangular box is positioned in the lower-middle part of the image, containing the chapter title.

## CAPÍTULO 6 **CONCLUSIONES**

## 6. CONCLUSIONES

---

El cambio climático está afectando las cordilleras glaciares del Perú, provocando no solo un acelerado retroceso glaciar, sino también la formación y crecimiento de lagunas glaciares, lo que incrementa la posibilidad de eventos catastróficos de gran magnitud.

Se han identificado 528 lagunas glaciares con riesgo de desborde, lo que equivale al 6 % de todas las lagunas glaciares del país. Una tercera parte de estas lagunas se encuentra en la Cordillera Blanca, seguida por las cordilleras Central, Vilcanota, Carabaya y Raura.

A nivel nacional, se han identificado 58 lagunas con riesgo muy alto de desborde, predominando en la Cordillera Blanca, seguido de Vilcanota y Huayhuash. El 45 % de estas lagunas de riesgo muy alto se ubican en el departamento de Áncash, seguido de Cusco, Lima, Junín, Puno y Huánuco.

La laguna glaciar con mayor susceptibilidad y riesgo de desborde es Upischocha, ubicada en la cordillera Vilcanota, departamento de Cusco. Esta laguna ya se ha desbordado en años recientes y representa un riesgo para más de 100 viviendas.

La laguna Palcacocha, ubicada en la Cordillera Blanca, departamento de Áncash, es la segunda con mayor riesgo de desborde y constituye una amenaza para casi 4000 viviendas en la ciudad de Huaraz, al igual que las lagunas Tullparaju y Cuchillacocha.

Las ciudades de Huaraz y Huancayo se encuentran expuestas a un riesgo muy alto ante posibles aluviones por el desborde de lagunas glaciares.

La metodología aplicada ha permitido realizar, por primera vez, una evaluación nacional de lagunas glaciares con riesgo de desborde, lo cual ha posibilitado la identificación de zonas prioritarias de intervención mediante estudios especializados de evaluación del riesgo y la implementación de estrategias de reducción del riesgo de desborde en beneficio de la población.

La reducción del riesgo de desborde de lagunas glaciares requiere estudios más detallados de evaluación del peligro y riesgo; monitoreo y mantenimiento de niveles de agua seguros; señalización de rutas de evacuación y zonas seguras ante aluviones; y la implementación o mejora de las obras de seguridad de las lagunas glaciares. También es importante implementar sistemas de monitoreo y de alerta temprana; evitar la ocupación de zonas de muy alto peligro mediante instrumentos de zonificación y gestión urbano-territorial; y fortalecer las capacidades de las instituciones y comunidades expuestas al peligro de desborde de lagunas glaciares de mayor riesgo.



CAPÍTULO 7  
**GLOSARIO**

## 7. GLOSARIO

---

**Aluvión:** flujo o movimiento de una mezcla de agua con rocas, detritos y lodo que se desplaza de manera violenta por quebradas y valles.

**Árboles de decisión:** clasificadores que predicen etiquetas de clase para elementos de datos. Los árboles de decisión se construyen analizando un conjunto de ejemplos de entrenamiento cuyas etiquetas de clase se conocen. Luego, se aplican para clasificar ejemplos nunca antes vistos. Si se entrenan con datos de alta calidad, los árboles de decisión pueden hacer predicciones muy precisas (Kingsford, 2008).

**Avalancha:** masa de nieve y hielo que cae súbitamente por la ladera de una montaña y que a menudo arrastra tierra, rocas y derrubios (OMM, 2012).

**Batimetría:** con el propósito de conocer el volumen y morfología del fondo de las lagunas se utiliza un equipo de posicionamiento GPS y una ecosonda digital con recolección de datos. Con la ayuda de un bote, se emite la ecosonda y por rebote de ondas se determina las profundidades y volúmenes respectivos (Morales, 2014).

**Borde libre:** la distancia vertical entre el nivel máximo previsto del agua y la cresta del dique natural o artificial, considerando los márgenes de seguridad necesarios para evitar el desbordamiento bajo condiciones máximas de operación (Villón, 2005).

**Cadena de lagunas:** secuencia de cuerpos de agua formados en depresiones excavadas por el avance y retroceso de glaciares en las zonas montañosas. Estas lagunas, alineadas en la dirección del flujo glaciar, se conectan entre sí a través de pequeños arroyos o canales, representando un testimonio del pasado glaciar de la región (Brack & Mendiola, 2000).

**Calving/desprendimiento:** proceso por el cual un glaciar o una plataforma de hielo se rompe, liberando bloques o témpanos de hielo al agua, que luego pueden formar icebergs. Este proceso es especialmente importante en el estudio de glaciares y lagunas, ya que puede influir en el nivel del agua y generar peligros, como desbordes o tsunamis en lagunas glaciares.

**Cambio climático:** cambio en el estado del clima que puede identificarse (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) mediante cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente décadas o más (IPCC, 2018).

**Cordillera:** término de uso internacional que se aplica en geomorfología a una cadena montañosa extensa o a dos o más, paralelas, con las que se asocian valles, cuencas, planicies, mesetas, etc. (Lugo, 2011).

**Cuaternario:** último periodo de la era Cenozoica de la escala geocronológica y último de la historia de la tierra, mismo que transcurre actualmente. Inició hace 1.7 millones de años (Lugo, 2011).

**Cuenca hidrográfica:** región geográfica que está delimitada por divisorias de agua (límites topográficos), dentro de la cual toda la precipitación que cae se drena hacia un punto común de salida, generalmente a través de un sistema de ríos, arroyos y otros cuerpos de agua (Chow et al., 1994).

**Deglaciación:** proceso de deshielo, fusión y extinción de los glaciares; se produce por un incremento de la temperatura media del aire y el consecuente cambio climático (Lugo, 2011).

**Deslizamiento:** movimiento de una masa de material sobre otra, ambas separadas por un plano de fricción; su constitución puede ser de suelo, derrubios o roca. La porción que desliza es un bloque que mantiene sus características originales, no se encuentra saturado de agua, a diferencia de lo que ocurre en el plano de fricción, y puede fragmentarse en bloques menores (A. A. Collin, 1846 como se citó en Lugo, 2011).

**Dique:** barrera que represa una laguna, puede ser natural o artificial, los diques naturales pueden ser por hielo, deslizamientos, depósitos de sedimentos, etc.

**Dique artificial:** estructura construida por el ser humano para contener o desviar el flujo de aguas en ríos, embalses o áreas costeras, con el objetivo de controlar inundaciones, regular el caudal o proteger las áreas adyacentes de la erosión (Chow et al., 1994).

**Drenaje:** red de canales naturales y artificiales que permiten el flujo del agua superficial hacia cuerpos receptores, como ríos o lagunas y que regulan el movimiento del agua a través de una cuenca hidrográfica (Robinson & Ward, 2017).

**Erosión:** destrucción de los materiales de la corteza terrestre por acción de los procesos geológicos. Tiende a nivelar la superficie de la corteza terrestre, las salientes y las montañas se desgastan, disminuyendo sus dimensiones.

**Exposición:** presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente (IPCC, 2018). Se relaciona con decisiones y prácticas que ubican al ser humano y sus medios de vida en la zona de impacto de un peligro. La exposición se genera por una relación inapropiada con el ambiente, que se puede deber a procesos no planificados de crecimiento demográfico, a un proceso migratorio desordenado, al proceso de urbanización sin un adecuado manejo del territorio y/o a políticas de desarrollo económico no sostenibles. A mayor exposición, mayor vulnerabilidad (CENEPRED, 2014).

**Glaciación:** proceso geológico de formación de glaciares en una determinada región y en diversas épocas de la historia de la tierra.

**Glaciar:** acumulación de hielo de origen atmosférico que se mueve sobre el suelo, generalmente de forma lenta, durante un periodo de tiempo largo (OMM, 2012).

**Glaciar colgado:** masa glaciar que se encuentra adherido a las cumbres de los glaciares o sobre pendientes muy pronunciadas y que significan peligros glaciológicos (Morales, 2014).

**Inundación:** acción de cubrir de agua una superficie, por ascenso del nivel de una corriente fluvial, laguna o mar. Puede ser un proceso periódico, como el que ocurre en una planicie de inundación, o esporádico (Lugo, 2011).

**Impacto:** amenaza física potencial producida por un evento de peligro. Este componente de la evaluación de los peligros identifica la potencial extensión del área afectada y proporciona información sobre la intensidad del evento esperado (GAPHAZ, 2017).

**Lengua glaciar:** porción móvil de un glaciar montañoso que se extiende a menor elevación que la línea de las nieves permanentes, generalmente ocupa la zona de ablación del glaciar que fluye a lo largo de un valle. Puede alcanzar algunos kilómetros, algunas veces de unos metros de longitud (Lugo, 2011).

**Macizo rocoso:** término descriptivo usado en geotectónica para referirse a las áreas montañosas cuyo núcleo está constituido de roca ígnea plutónica masiva o metamórficas, parcialmente erosionadas. En casos especiales puede referirse a regiones montañosas de núcleos conformados por rocas sedimentarias que abarcan áreas extensas (Davila, 2011).

**Modelo Digital de Elevación:** representación digital de la topografía de la tierra. Permiten que la altura sea adicionada a una imagen, ofrece imágenes con efecto tridimensional.

**Monitoreo:** observación, medición y evaluación estandarizada, continua o frecuente, de fenómenos medioambientales utilizados para control y prevención (OMM, 2012).

**Morrena:** conjunto de detritos rocosos transportados o depositados por un glaciar, puede ser frontal, lateral u otras (Lugo, 2011).

**Obra de seguridad:** infraestructura destinada a garantizar la estabilidad y seguridad de una estructura hidráulica ante condiciones extremas de operación, tales como crecidas, fallos estructurales o eventos imprevistos. Su diseño se enfoca en prevenir el colapso de la estructura y minimizar los riesgos asociados (Villón, 2005).

**Peligro:** probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos (CENEPRED, 2016).

**Permafrost:** capa de suelo o roca en la que la temperatura ha permanecido constantemente por debajo de 0 °C durante, al menos, algunos años (OMM, 2012).

**Prevención:** proceso de prevención del riesgo comprende las acciones que se orientan a evitar la generación de nuevos riesgos en la sociedad en el contexto de la gestión del desarrollo sostenible (CENEPRED, 2016).

**Retroceso glaciar:** desplazamiento de la margen de los glaciares, de la periferia hacia el centro. Se produce en el caso de que la ablación supere a la alimentación. Incluye el adelgazamiento del hielo (Lugo, 2011).

**Riesgo:** probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro (CENEPRED, 2016).

**Roca ígnea:** roca formada a partir de la consolidación del magma o lava (rocas intrusivas y volcánicas).

**Roca sedimentaria:** roca formada por la consolidación y litificación de materiales originados a partir de una roca preexistente.

**Sistemas de Información Geográfica (SIG):** programas informáticos que proporcionan herramientas para el procesamiento, gestión, análisis y representación de datos con un componente cartográfico (INAIGEM, 2017).

**Susceptibilidad:** medida relativa de la posibilidad (o probabilidad) de que un peligro ocurra o se inicie desde un lugar dado, basado en las propiedades intrínsecas y características dinámicas de ese lugar (GAPHAZ, 2017).

**Teledetección:** técnica mediante la cual se obtiene información sobre la superficie de la tierra, a través de análisis de datos adquiridos por un sensor o dispositivo situado a cierta distancia, apoyándose en medidas de energía electromagnética reflejadas o emitidas (INAIGEM, 2017).

**Talud:** superficie inclinada del terreno, natural o artificial, con un ángulo natural de reposo, que depende de la composición del cuerpo en deslizamiento, de la humedad y de la granulometría de los sedimentos que la forman (Lugo, 2011).

**Tubificación:** migración (erosión) de sedimentos de grano fino del fondo de la laguna a través de los agujeros verticales en los centros de las depresiones similares a sumideros y a través del material coluvial más grueso cerca del extremo norte de la laguna (la presa de deslizamiento de tierra), a medida que el agua se filtra fuera de él (Atallah, 2005).

**Valle glaciar:** depresión estrecha y alargada, formada esencialmente por procesos erosivos de origen glaciar, con laderas de pendiente fuerte y fondo nivelado y ancho (Lugo, 2011).

**Vulnerabilidad:** susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro. La vulnerabilidad puede ser explicada por tres factores: exposición, fragilidad y resiliencia (CENEPRED, 2014).



CAPÍTULO 8  
**REFERENCIAS**

## 8. REFERENCIAS

---

- Allen, S. K., Rastner, P., Arora, M., Huggel, C., & Stoffel, M. (2016). Lake outburst and debris flow disaster at Kedarnath, June 2013: hydrometeorological triggering and topographic predisposition. *Landslides*, 13(6), 1479–1491. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0584-3>
- Atallah, N., Shakoor, A., & Watts, C. F. (2015). Investigating the potential and mechanism of soil piping causing water-level drops in Mountain Lake, Giles County, Virginia. *Engineering Geology*, 195, 282-291. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.06.001>
- Autoridad Nacional del Agua (2011) Plano batimétrico de la laguna Tullpacocha.
- Bajracharya, S.R., Maharjan, S.B., Shrestha, F., Sherpa, T.C., Wagle, N. & Shrestha, A.B. (2020). Inventory of glacial lakes and identification of potentially dangerous glacial lakes in the Koshi, Gandaki, and Karnali River Basins of Nepal, the Tibet Autonomous Region of China, and India. Research Report. ICIMOD and UNDP.
- Brack, A., & Mendiola, C. (2000). Ecología del Perú. Ed. Bruño. Lima, Perú.
- Carey, M. (2005). Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. *Global and Planetary Change*, 47, 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.10.007>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. [https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia\\_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos\\_v2.pdf](https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf)
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED (2016). Glosario de términos GRD - CENEPRED. <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/glosario-terminos-grd-cenepred.pdf>
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. In *Hidrología aplicada*.
- Davila, J. (2011). Diccionario geológico. INGEMMET. <https://biblioteca.ismm.edu.cu/wp-content/uploads/2017/06/Diccionario-geologico.pdf>
- Emmer, A. & Vilímek, V. (2014). New method for assessing the susceptibility of glacial lakes to outburst floods in the Cordillera Blanca, Peru. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 3461–3479. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3461-2014>
- Emmer, A., Klimes, J., Mergilli, M., Vilímek, V., & Cochachin, A. (2016). 882 lakes of the Cordillera Blanca: An inventory, classification, evolution and assessment of susceptibility to outburst floods. *Catena*, 147, 269-279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.032>.
- Emmer, A., Allen, S., Carey, M., Frey, H., Huggel, F., Korup, O., et al. (2022a). Progress and challenges in glacial lake outburst flood research (2017–2021): a research community perspective. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 20, 3041–3061. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-3041-2022>
- Emmer, A., Wood, J. L., Cook, S. J., Harrison, S., Wilson, R., Diaz-Moreno, A., Reynolds, J. M., Torres, J. C., Yarleque, C., Mergilli, M., Jara, H. W., Bennett, G., Caballero, A., Glasser, N. F., Melgarejo, E., Riveros, C., Shannon, S., Turpo, E., Tinoco, T., ... Poma, C. (2022b). 160 glacial lake outburst floods (GLOFs) across the Tropical Andes since the Little Ice Age. *Global and Planetary Change*, 208(103722), 103722. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103722>
- Frey, H., Huggel, C., Paul, F., & Haerberli W. (2010). Automated Detection of Glacier Lakes Based on Remote Sensing in View of Assessing Associated Hazard Potentials. *Proceedings 10th International*

*Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography*, 23–30.

Glacier and Permafrost Hazards in Mountains - GAPHAZ (2017). *Evaluación de peligros por glaciares y permafrost en regiones de montaña – Documento técnico de orientación*. Zurich, Suiza / Lima, Perú, 72 pp.

Huggel, C., Haeberli, W., Kääh, A., Bieri, D., & Richardson, S. (2004). An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. *Canadian geotechnical journal*, 41(6), 1068–1083. <https://doi.org/10.1139/t04-053>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIAGEM (2017). Inspección de Emergencia Laguna Arhuaycocha. Huaraz – Perú. 6 pp. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/f610553e-d469-4f5a-889d-28ed870a44b7/content>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIAGEM (2018). Inventario Nacional de Glaciares. - Las cordilleras glaciares del Perú. Huaraz – Perú. 354 pp. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/bitstreams/d1bc4c25-3718-4b4b-ab04-72497b5d8bc5/download>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIAGEM (2020a). Evaluación del riesgo por aluvión en la ciudad de Huaraz, distritos de Huaraz e Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash. Huaraz – Perú. 122 pp. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/bitstreams/f6624935-6caf-4a57-a3aa-13f6daf368e6/download>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIAGEM (2020b). Evaluación del riesgo por aluvión en la ciudad de Caraz, distrito de Caraz, provincia de Huaylas, departamento de Áncash. Huaraz – Perú, 185 pp. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/bitstreams/7a58980a-db60-49bc-988e-3f79ec230de1/download>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIAGEM (2020c). Evaluación de riesgo por aluvión en la parte baja de la subcuenca del río Blanco – Santa Cruz, distrito de Santa Cruz, provincia de Huaylas, departamento de Áncash. 152 p. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/bitstreams/e2acd6d6-681d-4aae-9d76-9a7b18009d3d/download>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIAGEM (2022). Reporte de inspección - laguna Upiscocha. Huaraz – Perú. 14 pp. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/bitstreams/724070bc-2657-406d-a5a9-dac56e0a11f7/download>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIAGEM (2023). Memoria Descriptiva del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar, Huaraz – Perú. <https://repositorio.inaigem.gob.pe/bitstreams/5b445865-bda9-4e8a-84ad-01299bb19fd0/download>

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2018). Annex I: glossary. Global warming off 1.5°C. 1, 541-562. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 541-562. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.008>.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2019). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Cambridge University Press, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 10.1017/9781009325844.002

Kingsford, C., & Salzberg, S. (2008). What are decision trees?. *Nature Biotechnology*, 26, 1011–1013 . <https://doi.org/10.1038/nbt0908-1011>.

Koukoulou, I., Cook, S. J., Jomelli, V., Clarke, L., Symeonakis, E., Dortch, J. M., Edwards, L. A., & Merad, M. (2018). Use of multi-criteria decision analysis to identify potentially dangerous glacial lakes. *The Science of the Total Environment*, 621, 1453–1466. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.083>

- 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, <https://doi.org/10.5194/essd-14-5489-2022>
- Lugo Hubp, J. (2011) Diccionario geomorfológico. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
- Lützwow, N., Veh, G., & Korup, O. (2023). A global database of historic glacier lake outburst floods. *Earth System Science Data*, 15(7), 2983–3000. <https://doi.org/10.5194/essd-15-2983-2023>
- Morales Arnao, B. (1998). Glaciers of Peru. En: Satellite Image Atlas of Glaciers of the World U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-I-4, 151-179. Washington: United States Government Printing Office.
- Morales Arnao, B. (2014). Vocabulario técnico en investigación en glaciares. Huaraz.
- Portocarrero, C. (1995). Retroceso de glaciares en el Perú: consecuencias sobre los recursos hídricos y los riesgos geodinámicos. *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 24(3). 697-706. [https://www.persee.fr/doc/bifea\\_0303-7495\\_1995\\_num\\_24\\_3\\_1219](https://www.persee.fr/doc/bifea_0303-7495_1995_num_24_3_1219)
- Organización Meteorológica Mundial (2012) Glosario Hidrológico Internacional. WMO, No. 385. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862>
- Robinson, M., & Ward, R. (2017). Hydrology: Principles and Processes. *Water Intelligence Online*, 16. <https://doi.org/10.2166/9781780407296>.
- Shugar, D. H., Burr, A., Haritashya, U. K., Kargel, J. S., Watson, C. S., Kennedy, M. C., Bevington, A. R., Betts, R. A., Harrison, S., & Strattman, K. (2020). Rapid worldwide growth of glacial lakes since 1990. *Nature Climate Change*, 10(10), 939–945. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0855-4>
- Taylor, C., Robinson, T. R., Dunning, S., Rachel Carr, J., & Westoby, M. (2023). Glacial lake outburst floods threaten millions globally. *Nature Communications*, 14(1), 487. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36033-x>
- Tecsi, L., & Tupa, J. (2017). Aluvión en el Chicón. *El Antoniano*, 132, 107-116. <https://doi.org/10.51343/anto.v132i1.31>
- Villón Béjar, M. (2005). Estructuras hidráulicas. En: *Estructuras Hidraulicas (apuntes en revisión-2008)*.
- Wegner, S. (2024) Human interaction with glacier-related hazards in the Cordillera Blanca. In: Vilímek, V., Mark, B., Emmer, A. (eds) *Geoenvironmental Changes in the Cordillera Blanca, Peru. Geoenvironmental Disaster Reduction*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-58245-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-58245-5_12)
- Wood, J. L., Harrison, S., Wilson, R., Emmer, A., Kargel, J. S., Cook, S. J., Glasser, N. F., Reynolds, J. M., Shugar, D. H., & Yarleque, C. (2024). Shaking up assumptions: Earthquakes have rarely triggered Andean glacier lake outburst floods. *Geophysical Research Letters*, 51(7). <https://doi.org/10.1029/2023gl105578>
- Worni, R., Huggel, C., & Stoffel, M. (2013). Glacial lakes in the Indian Himalayas — From an area-wide glacial lake inventory to on-site and modeling based risk assessment of critical glacial lakes. *The Science of the Total Environment*, 468–469, S71–S84. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.043>
- Zhang, D., Zhou, G., Li, W., Han, L., Zhang, S., Yao, X., & Duan, H. (2023). A robust glacial lake outburst susceptibility assessment approach validated by GLOF event in 2020 in the Nidzu Zangbo Basin, Tibetan Plateau. *Catena*, 220(PB), 106734. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106734>.
- Zhang, T., Wang, W., & An, B. (2023). A conceptual model for glacial lake bathymetric distribution. *The Cryosphere*, 17(12), 5137–5154. <https://doi.org/10.5194/tc-17-5137-2023>



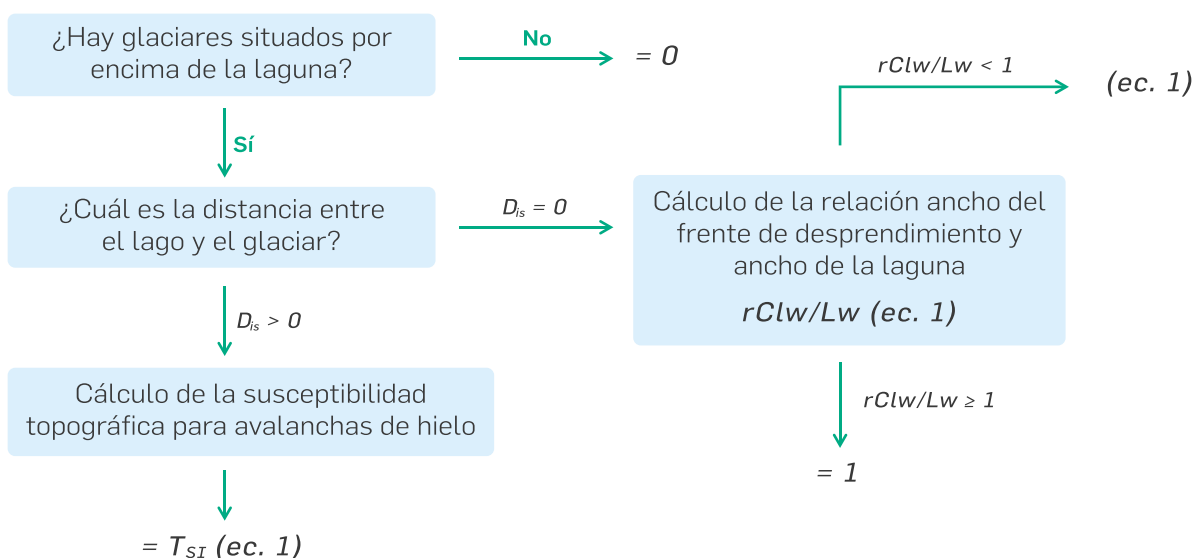
CAPÍTULO 9  
**ANEXOS**

## 9. ANEXOS

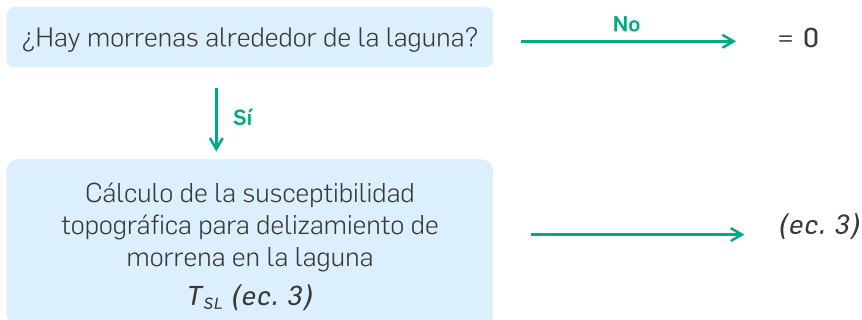
### ANEXO 1. Árbol de decisión de la evaluación de susceptibilidad del primer escenario

#### COMPONENTE 1 - POTENCIAL DESPRENDIMIENTO DE HIELO O DESLIZAMIENTO

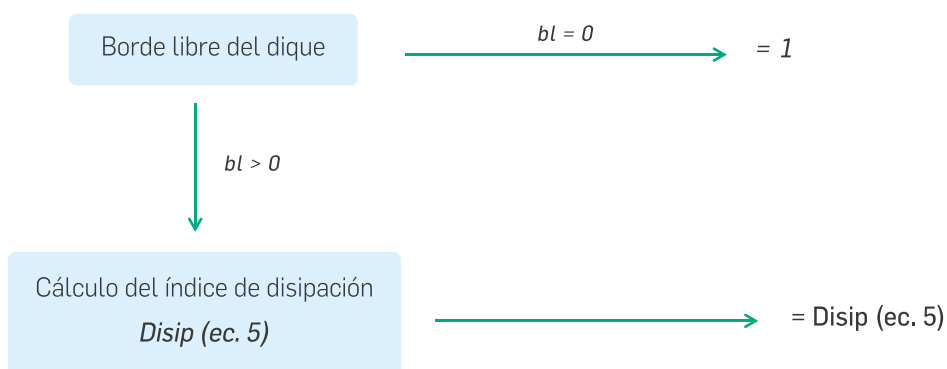
##### POTENCIAL DESPRENDIMIENTO DE HIELO (PCH):



##### POTENCIAL DESLIZAMIENTO DE LA MORRENA LATERAL (PDM):



#### COMPONENTE 2 - POTENCIAL DESBORDE POR EL DIQUE (PDD)

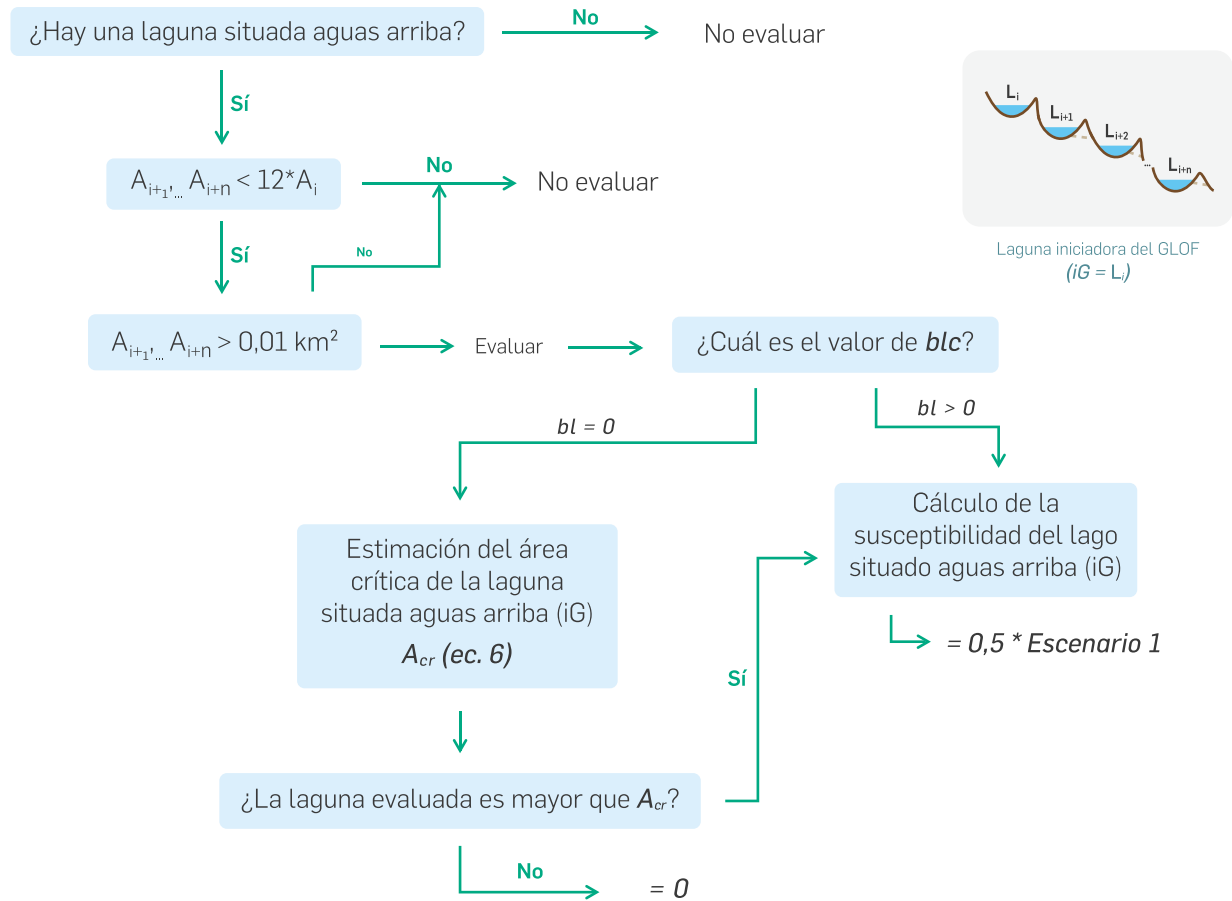


**Escenario 1 = máx (componente 1) \* componente 2**

Fuente: Adaptado de A. Emmer y V. Vilímek, 2014

## ANEXO 2. Árbol de decisión de la evaluación de susceptibilidad del segundo escenario

### COMPONENTE 4 - LAGUNA AGUAS ABAJO



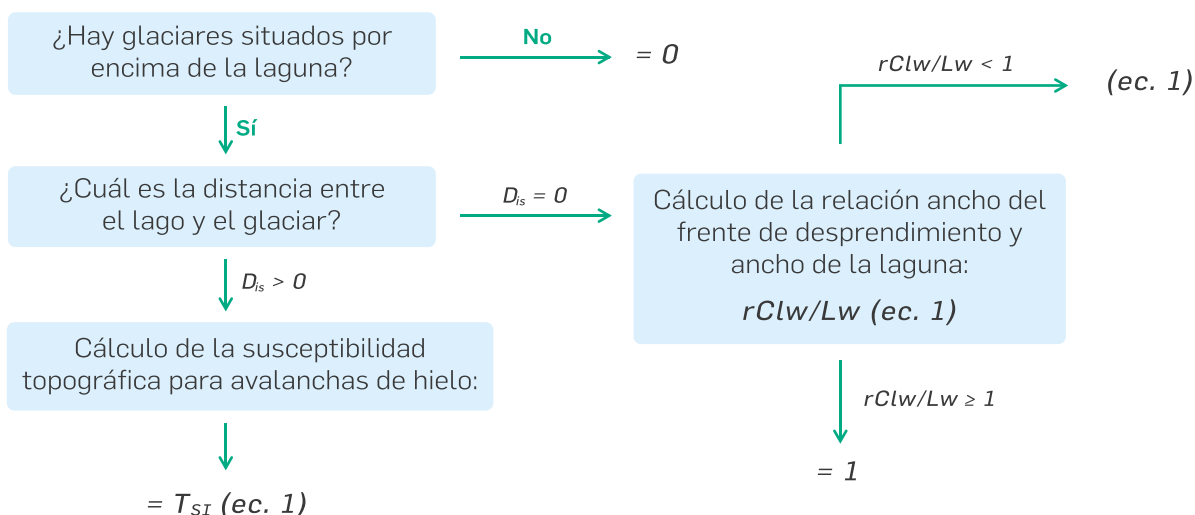
**Escenario 2 = componente 4**

Fuente: Adaptado de A. Emmer y V. Vilímek, 2014

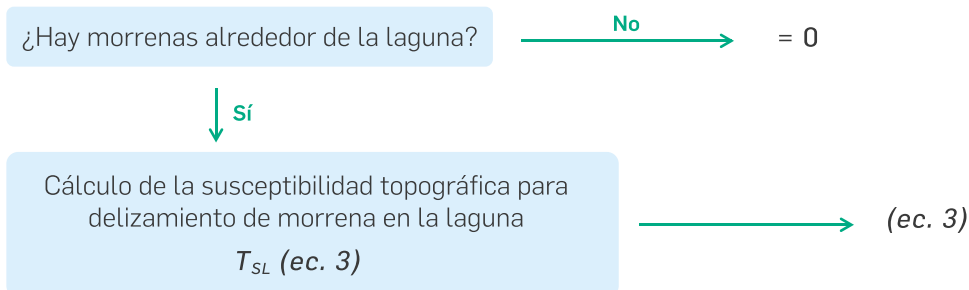
## ANEXO 3. Árbol de decisión de la evaluación de susceptibilidad del tercer escenario

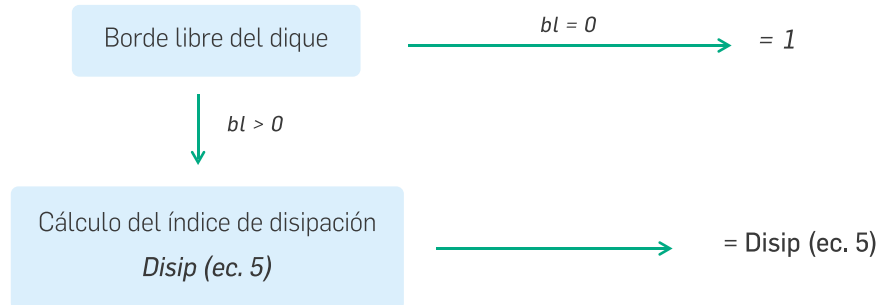
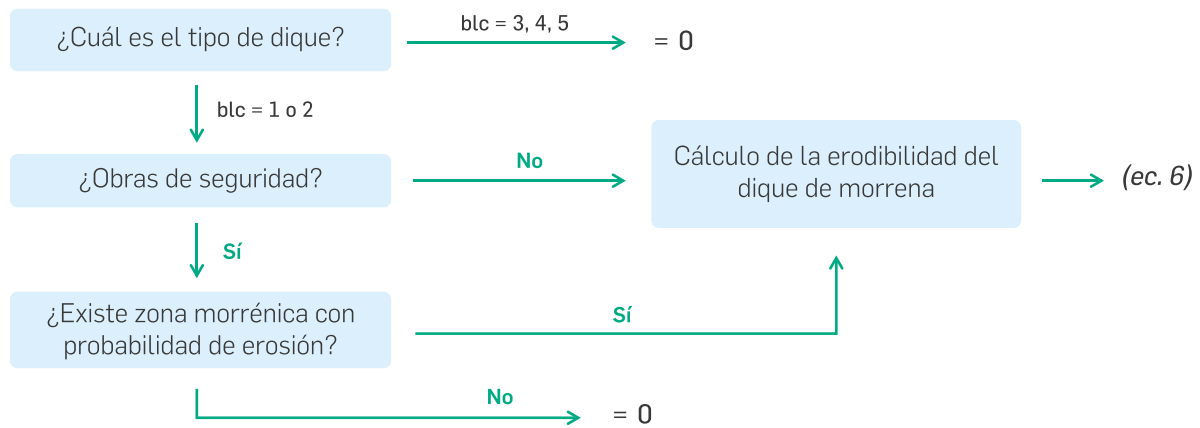
### COMPONENTE 1 - POTENCIAL DESPRENDIMIENTO DE HIELO O DESLIZAMIENTO

#### POTENCIAL DESPRENDIMIENTO DE HIELO (PCH):



#### POTENCIAL DESLIZAMIENTO DE LA MORRENA LATERAL (PDM):



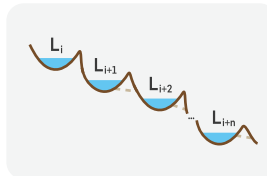
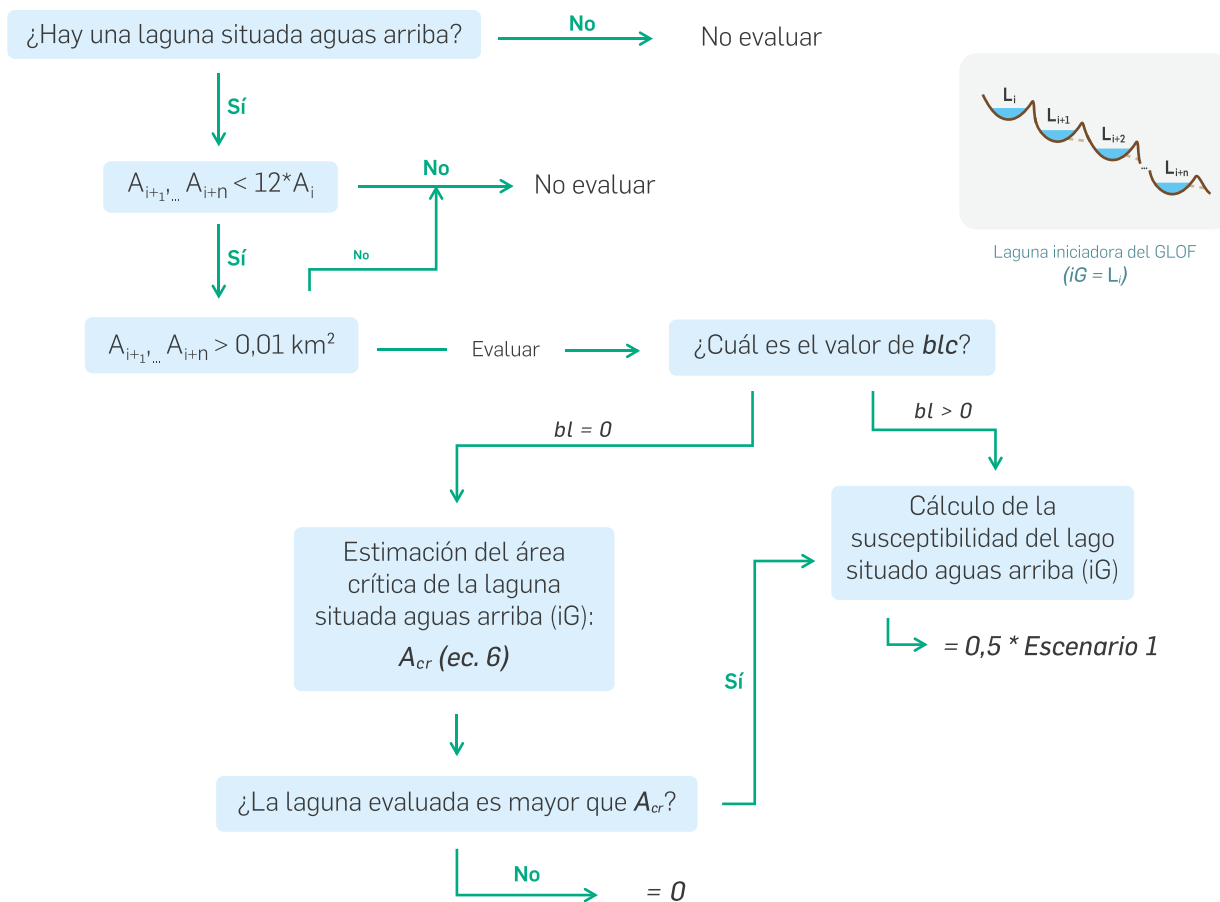
**COMPONENTE 2 - POTENCIAL DESBORDE POR EL DIQUE (PDD)****COMPONENTE 3 - ERODIBILIDAD DEL DIQUE NATURAL**

**Escenario 3 = máx (componente 1) \* componente 2 \* componente 3**

Fuente: Adaptado de A. Emmer y V. Vilímek, 2014

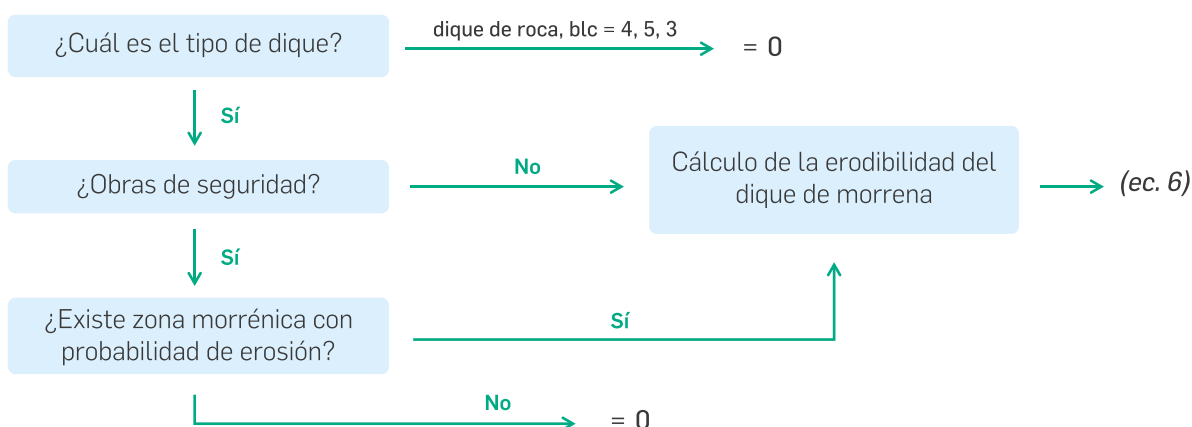
# ANEXO 4. Árbol de decisión de la evaluación de susceptibilidad del cuarto escenario

## COMPONENTE 4 - LAGUNAS AGUAS ABAJO



Laguna iniciadora del GLOF (iG = L<sub>i</sub>)

## COMPONENTE 3 - ERODIBILIDAD DEL DIQUE NATURAL



**Escenario 4 = componente 3 \* componente 4**

Fuente: Adaptado de A. Emmer y V. Vilímek, 2014

## ANEXO 5. Consulta a expertos

### Principales resultados de valoración de criterios para evaluación del riesgo de GLOF

■ Nada importante   
 ■ Poco importante   
 ■ Algo importante   
 ■ Importante   
 ■ Muy importante



## ANEXO 6. Proceso de análisis jerárquico (AHP) para la evaluación de susceptibilidad

### 1. Parámetros relacionados con AHP

Índice de consistencia aleatoria media	RI	
Valor propio máximo	L	
Ratio de consistencia (< 0,1)	CR	CI/RI
Índice de consistencia	CI	(L-n)/(n-1)
Número de exponente de la matriz	n	

### 2. RI (Índice de consistencia aleatoria media)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1	1,49	1,5	1,6	1,58

Nivel 1	Peso 1	Nivel 2	cod-1	Peso 2	Nivel 3	Peso 3
Ambiente de la laguna glaciar	-	Área de la laguna	A-1	0,47	Mayores a 0,2	0,49
					0,2 - 0,1	0,22
					0,1 - 0,05	0,15
					0,05 - 0,02	0,10
					Menores a 0,02	0,05
		Distancia al glaciar	A-2	0,23	Menor 500	0,57
					500 - 1000	0,29
					Mayores a 1000	0,14
		Tipo de dique	A-3	0,21	Suelo	0,47
					Suelo + obra artificial	0,29
					Suelo + roca	0,13
					Roca	0,07
		Material rocoso	A-4	0,09	Roca + obra artificial	0,04
					Sedimentaria	0,49
					Metamórfica	0,31
					Volcánica	0,13
					Intrusiva	0,08

#### Nivel 1 - Indicadores

		A1	A2	A3	A4	Peso	n	
Área de la laguna	A1	1	2	3	4	0,467	RI	0,9
Distancia al glaciar	A2	1/2	1	1	3	0,233	L	4,062
Tipo de dique	A3	1/3	1	1	3	0,213	IC	0,021
Material rocoso	A4	1/4	1/3	1/3	1	0,088	RC	0,023 menor 0,1
						1		

**Comp 1-1: Distancia al glaciar**

		I1	I2	I3	Peso	n	
Menor 500	I1	1	2	4	0,571	RI	3
500 - 1000	I2	1/2	1	2	0,286	L	0,58
Mayores a 1000	I3	1/4	1/2	1	0,143	IC	3
					0	RC	0,000 menor 0,1

**Comp 1-2: Área de la laguna**

		I-6	I-7	I-8	I-9	I-10	Peso	n	
Mayores a 0,2	I-6	1	3	4	5	7	0,488	RI	5
0,2 - 0,1	I-7	1/3	1	2	3	4	0,221	L	1,12
0,1 - 0,05	I-8	1/4	1/2	1	2	4	0,149	IC	5,099
0,05 - 0,02	I-9	1/5	1/3	1/2	1	3	0,096	RC	0,025
Menores a 0,02	I-10	1/7	1/5	1/4	1/3	1	0,046		0,022 menor 0,1
							1		

**Comp 1-3: Tipo de dique**

		I-11	I-12	I-13	I-14	I-15	Peso	n	
Suelo	I-11	1	2	4	7	8	0,469	RI	5
Suelo + obra artificial	I-12	1/2	1	3	6	4	0,288	L	1,12
Suelo + roca	I-13	1/4	1/3	1	2	4	0,132	IC	5,008
Roca	I-14	1/7	1/6	1/2	1	2	0,068	RC	0,002
Roca + obra artificial	I-15	1/8	1/7	1/4	1/2	1	0,043		0,002 menor 0,1
							1		

**Comp 1-4: Material rocoso**

		I-16	I-17	I-18	I-19	Peso	n	
Sedimentaria	I-16	1	2	4	5	0,490	RI	4
Metamórfica	I-17	1/2	1	3	4	0,305	L	0,9
Volcánica	I-18	1/4	1/3	1	2	0,126	IC	4,048
Intrusiva	I-19	1/5	1/4	1/2	1	0,079	RC	0,016
						1		0,014 menor 0,1

## ANEXO 7. Desempeño de la metodología para el primer escenario con GLOF pasados

Departamento	Nombre	Primer escenario	Ranking
ÁNCASH	Palcacocha (1941)	1,00	1
ÁNCASH	1727 (2021)	0,99	2
ÁNCASH	Artesoncocha (1951)	0,99	3
ÁNCASH	Artizon Bajo (2012)	0,99	4
ÁNCASH	Artizon Alto (2012)	0,98	5
CUSCO	Upiscocha (2022 1ra)	0,98	6
CUSCO	Upiscocha (2022 2da)	0,98	7
ÁNCASH	Huallcacochoa (2015)	0,74	8
ÁNCASH	513 (2010)	0,61	9
ÁNCASH	Jatuncocha (2012)	0,61	10
ÁNCASH	Palcacocha (2003)	0,57	11
CUSCO	Salkantaycocha (2020)	0,56	12
ÁNCASH	Safuna Alta (2002)	0,50	13

## ANEXO 8. Desempeño de la metodología para el segundo escenario con GLOF pasados

Departamento	Nombre	Segundo escenario	Ranking
ÁNCASH	Artizon Bajo (2012)	0,49	1
ÁNCASH	Jatuncocha (2012)	0,49	2
ÁNCASH	513 (2010)	0	3
ÁNCASH	1727 (2021)	0	4
ÁNCASH	Artesoncocha (1951)	0	5
ÁNCASH	Artizon Alto (2012)	0	6
ÁNCASH	Huallcacocha (2015)	0	7
ÁNCASH	Palcacocha (1941)	0	8
ÁNCASH	Palcacocha (2003)	0	9
ÁNCASH	Safuna Alta (2002)	0	10
CUSCO	Salkantaycocha (2020)	0	11
CUSCO	Upiscocha (2022 1ra)	0	12
CUSCO	Upiscocha (2022 2da)	0	13

## ANEXO 9. Desempeño de la metodología para el tercer escenario con GLOF pasados

Departamento	Nombre	Tercer escenario	Ranking
ÁNCASH	Palcacocha (1941)	0,47	1
ÁNCASH	1727 (2021)	0,34	2
ÁNCASH	Safuna Alta (2002)	0,19	3
ÁNCASH	Artesoncocha (1951)	0,16	4
CUSCO	Salkantaycocha (2020)	0,14	5
ÁNCASH	Artizon Bajo (2012)	0,11	6
ÁNCASH	Palcacocha (2003)	0,06	7
CUSCO	Upiscocha (2022 1ra)	0,06	8
CUSCO	Upiscocha (2022 2da)	0,06	9
ÁNCASH	513 (2010)	0,00	10
ÁNCASH	Artizon Alto (2012)	0,00	11
ÁNCASH	Huallcacocha (2015)	0,00	12
ÁNCASH	Jatuncocha (2012)	0,00	13

## ANEXO 9. Desempeño de la metodología para el cuarto escenario con GLOF pasados

Departamento	Nombre	Cuarto escenario	Ranking
ÁNCASH	Artizon Bajo (2012)	0,05	1
ÁNCASH	513 (2010)	0	2
ÁNCASH	1727 (2021)	0	3
ÁNCASH	Artesoncocha (1951)	0	4
ÁNCASH	Artizon Alto (2012)	0	5
ÁNCASH	Huallcacochoa (2015)	0	6
ÁNCASH	Jatuncocha (2012)	0	7
ÁNCASH	Palcacocha (1941)	0	8
ÁNCASH	Palcacocha (2003)	0	9
ÁNCASH	Safuna Alta (2002)	0	10
CUSCO	Salkantaycocha (2020)	0	11
CUSCO	Upiscocha (2022 1ra)	0	12
CUSCO	Upiscocha (2022 2da)	0	13

## ANEXO 10. Desempeño de la metodología de susceptibilidad con Árbol de decisión para GLOF pasados

Departamento	Nombre	Susceptibilidad con ADD	Ranking
ÁNCASH	Palcacocha (1941)	1,00	1
ÁNCASH	1727 (2021)	0,99	2
ÁNCASH	Artesoncocha (1951)	0,99	3
ÁNCASH	Artizon Bajo (2012)	0,99	4
ÁNCASH	Artizon Alto (2012)	0,98	5
CUSCO	Upiscocha (2022 1ra)	0,98	6
CUSCO	Upiscocha (2022 2da)	0,98	7
ÁNCASH	Huallcacocha (2015)	0,74	8
ÁNCASH	513 (2010)	0,61	9
ÁNCASH	Jatuncocha (2012)	0,61	10
ÁNCASH	Palcacocha (2003)	0,57	11
CUSCO	Salkantaycocha (2020)	0,56	12
ÁNCASH	Safuna Alta (2002)	0,50	13

ADD: Árbol de decisión

## ANEXO 11. Desempeño de la metodología de susceptibilidad con Árbol de decisión para GLOF pasados

Departamento	Nombre	Susceptibilidad con AHP	Ranking
ÁNCASH	Safuna Alta (2002)	0,504	1
CUSCO	Upiscocha (2022 1ra)	0,504	2
CUSCO	Upiscocha (2022 2da)	0,504	3
ÁNCASH	Palcacocha (1941)	0,468	4
CUSCO	Salkantaycocha (2020)	0,468	5
ÁNCASH	Jatuncocha (2012)	0,433	6
ÁNCASH	Palcacocha (2003)	0,429	7
ÁNCASH	513 (2010)	0,382	8
ÁNCASH	Artesoncocha (1951)	0,309	9
ÁNCASH	1727 (2021)	0,261	10
ÁNCASH	Artizon Bajo (2012)	0,261	11
ÁNCASH	Artizon Alto (2012)	0,258	12
ÁNCASH	Huallcacocha (2015)	0,205	13

AHP: Proceso de Análisis Jerárquico

## ANEXO 12. Desempeño de la metodología de susceptibilidad con ADD y AHP para GLOF pasados

Departamento	Nombre	Susceptibilidad con AHP y ADD	Ranking
CUSCO	Upiscocha (2022 1ra)	0,494	1
CUSCO	Upiscocha (2022 2da)	0,494	2
ÁNCASH	Palcacocha (1941)	0,468	3
ÁNCASH	Artesoncocha (1951)	0,306	4
ÁNCASH	Jatuncocha (2012)	0,264	5
CUSCO	Salkantaycocha (2020)	0,262	6
ÁNCASH	1727 (2021)	0,259	7
ÁNCASH	Artizon Bajo (2012)	0,259	8
ÁNCASH	Artizon Alto (2012)	0,253	9
ÁNCASH	Safuna Alta (2002)	0,252	10
ÁNCASH	Palcacocha (2003)	0,245	11
ÁNCASH	513 (2010)	0,233	12
ÁNCASH	Huallcacocha (2015)	0,152	13

AHP: Proceso de Análisis Jerárquico

ADD: Árbol de decisión

## ANEXO 13: Lista de las lagunas con riesgo muy alto y alto de desborde a nivel nacional

Departamento	Provincia	Laguna	Código en INGLOG	Susceptibilidad	Estimado de viviendas expuestas	Exposición	Riesgo	Nivel de riesgo	Posición nacional según riesgo
ÁNCASH	ASUNCIÓN	Allicocha	4989949_31	0,18	198	0,66361	0,442	Muy alto	19
ÁNCASH	ASUNCIÓN	Carhuanca	4989949_50	0,07	209	0,669079	0,173	Alto	101
ÁNCASH	ASUNCIÓN	Yanaraju	4989949_49	0,26	226	0,676778	0,651	Muy alto	5
ÁNCASH	ASUNCIÓN	S/N	4989949_34	0,09	198	0,66361	0,221	Alto	73
ÁNCASH	ASUNCIÓN	S/N	4989949_57	0,08	198	0,66361	0,196	Alto	85
ÁNCASH	ASUNCIÓN	S/N	4989949_40	0,07	198	0,66361	0,172	Alto	105
ÁNCASH	ASUNCIÓN	S/N	4989949_62	0,07	174	0,650764	0,169	Alto	109
ÁNCASH	ASUNCIÓN	S/N	4989949_36	0,06	198	0,66361	0,147	Alto	126
ÁNCASH	ASUNCIÓN	S/N	4989949_35	0,06	198	0,66361	0,147	Alto	128
ÁNCASH	BOLOGNESI	Jahuacocha	1375882_2	0,09	20	0,435959	0,145	Alto	130
ÁNCASH	BOLOGNESI	Solteracocha	1375882_3	0,23	21	0,441618	0,376	Muy alto	23
ÁNCASH	BOLOGNESI	S/N	1375882_9	0,12	20	0,434232	0,193	Alto	89
ÁNCASH	CARHUAZ	513	1376939_1	0,08	418	0,737923	0,218	Alto	75
ÁNCASH	CARHUAZ	Artesa	1376938_8	0,05	506	0,756967	0,14	Alto	136
ÁNCASH	CARHUAZ	Auquiscocha	1376938_11	0,08	506	0,756967	0,224	Alto	69
ÁNCASH	CARHUAZ	Checquiaco- cha	1376938_12	0,27	506	0,756967	0,756	Muy alto	3
ÁNCASH	CARHUAZ	Huallcacocha	1376938_10	0,11	506	0,756967	0,308	Muy alto	38
ÁNCASH	CARHUAZ	Lejiacocha	1376942_1	0,08	422	0,73904	0,219	Alto	74
ÁNCASH	CARHUAZ	Paccharuri	1376946_1	0,10	917	0,816074	0,302	Muy alto	40
ÁNCASH	CARHUAZ	Pacliashco- cha	1376948_1	0,10	917	0,816074	0,302	Muy alto	41
ÁNCASH	CARHUAZ	Pucaranraco- cha	1376949_1	0,16	917	0,816074	0,483	Muy alto	13
ÁNCASH	CARHUAZ	S/N	1376947_3	0,12	917	0,816074	0,362	Muy alto	27
ÁNCASH	CARHUAZ	S/N	1376938_5	0,08	506	0,756967	0,224	Alto	68
ÁNCASH	HUARAZ	Ahuac	1376974_6	0,06	290	0,7017	0,156	Alto	120
ÁNCASH	HUARAZ	Cashan	1376976_2	0,14	96	0,591354	0,306	Muy alto	39
ÁNCASH	HUARAZ	Cuchillaco- cha	1376968_1	0,12	4198	0,967353	0,43	Muy alto	20
ÁNCASH	HUARAZ	Huayar	1376962_5	0,06	3980	0,96205	0,214	Alto	78

ÁNCASH	HUARAZ	Ishinca	1376956_6	0,07	149	0,635363	0,165	Alto	110
ÁNCASH	HUARAZ	Llaca	1376958_3	0,10	853	0,808858	0,299	Muy alto	43
ÁNCASH	HUARAZ	Pacliash/Mil-luacochoa	1376956_2	0,12	149	0,635363	0,282	Muy alto	48
ÁNCASH	HUARAZ	Palcacocha	1376962_7	0,22	3980	0,96205	0,783	Muy alto	2
ÁNCASH	HUARAZ	Perol Grande	1376962_3	0,04	3980	0,96205	0,142	Alto	133
ÁNCASH	HUARAZ	Rajucolta	1376974_4	0,06	290	0,7017	0,156	Alto	119
ÁNCASH	HUARAZ	Tararhua	1376978_7	0,06	311	0,708491	0,157	Alto	117
ÁNCASH	HUARAZ	Toclla Alta	1376956_4	0,18	149	0,635363	0,423	Muy alto	21
ÁNCASH	HUARAZ	Toclla Baja	1376956_3	0,07	149	0,635363	0,165	Alto	111
ÁNCASH	HUARAZ	Tullparaju	1376969_1	0,21	4198	0,967353	0,752	Muy alto	4
ÁNCASH	HUARI	Anclascocha	4989964_2	0,07	201	0,665407	0,172	Alto	106
ÁNCASH	HUARI	Jacacocha	4989967_11	0,06	112	0,607115	0,135	Alto	140
ÁNCASH	HUARI	Maparaju Alto	4989967_10	0,24	112	0,607115	0,539	Muy alto	10
ÁNCASH	HUARI	Maparaju Bajo	4989967_9	0,08	112	0,607115	0,18	Alto	98
ÁNCASH	HUARI	Rurichinchey 1	4989966_14	0,08	22	0,446193	0,132	Alto	143
ÁNCASH	HUARI	S/N	4989967_16	0,07	112	0,607115	0,157	Alto	118
ÁNCASH	HUARI	S/N	4989966_25	0,08	22	0,446193	0,132	Alto	144
ÁNCASH	HUAYLAS	Arhuaycocha	1376929_4	0,32	22	0,44424	0,526	Muy alto	12
ÁNCASH	HUAYLAS	Artesoncocha	1376932_6	0,17	545	0,764302	0,481	Muy alto	14
ÁNCASH	HUAYLAS	Artizon Alto	1376929_8	0,09	22	0,44424	0,148	Alto	125
ÁNCASH	HUAYLAS	Jancarurish	1376914_5	0,29	5	0,288188	0,309	Muy alto	37
ÁNCASH	HUAYLAS	Jatuncocha	1376929_2	0,11	22	0,44424	0,181	Alto	96
ÁNCASH	HUAYLAS	Llullacocha	1376899_7	0,09	82	0,576511	0,192	Alto	92
ÁNCASH	HUAYLAS	Parón	1376932_4	0,21	545	0,764302	0,594	Muy alto	7
ÁNCASH	HUAYLAS	Pucacocha	1376899_2	0,06	82	0,576511	0,128	Alto	147
ÁNCASH	HUAYLAS	Quitaracsa Grande	1376899_3	0,08	82	0,576511	0,171	Alto	107
ÁNCASH	HUAYLAS	Safuna Alta	1376896_2	0,19	82	0,576511	0,405	Muy alto	22
ÁNCASH	HUAYLAS	Yuracocha	1376922_1	0,09	15	0,408288	0,136	Alto	139
ÁNCASH	HUAYLAS	S/N	1376899_9	0,12	82	0,576511	0,256	Muy alto	55
ÁNCASH	HUAYLAS	S/N	1376932_3	0,09	545	0,764302	0,255	Muy alto	57

ÁNCASH	HUAYLAS	S/N	1376932_9	0,07	545	0,764302	0,198	Alto	83
ÁNCASH	HUAYLAS	S/N	1376922_4	0,09	17	0,417329	0,139	Alto	137
ÁNCASH	RECUAY	S/N	1376994_17	0,14	45	0,51592	0,267	Muy alto	51
ÁNCASH	RECUAY	S/N	1376994_26	0,12	45	0,51592	0,229	Alto	64
ÁNCASH	RECUAY	S/N	1376982_8	0,14	17	0,418421	0,217	Alto	76
ÁNCASH	RECUAY	S/N	1376994_8	0,11	44	0,51351	0,209	Alto	81
ÁNCASH	YUNGAY	Broggi 1	1376936_9	0,12	13	0,391685	0,174	Alto	100
ÁNCASH	YUNGAY	Pag-Pag	4989946_3	0,17	23	0,449587	0,283	Muy alto	47
AREQUI-PA	CASTILLA	San Félix	134616_5	0,13	11	0,378301	0,182	Alto	95
CUSCO	ANTA	S/N	4999362_1	0,08	18	0,423922	0,125	Alto	149
CUSCO	CALCA	Cancha Cancha	4994977_24	0,10	2310	0,907971	0,336	Muy alto	33
CUSCO	CANCHIS	Auzangatecocha	4994978_15	0,20	1647	0,874305	0,647	Muy alto	6
CUSCO	CANCHIS	Jañococha Grande	4994978_29	0,07	1670	0,875725	0,227	Alto	65
CUSCO	CANCHIS	Quillca	4994986_3	0,06	4028	0,963251	0,214	Alto	79
CUSCO	CANCHIS	Alccachayacocha	4994999_63	0,20	113	0,608034	0,45	Muy alto	17
CUSCO	CANCHIS	Anantapata	4994978_13	0,11	1647	0,874305	0,356	Muy alto	29
CUSCO	CANCHIS	S/N	4994999_22	0,12	114	0,608721	0,27	Muy alto	50
CUSCO	CANCHIS	S/N	4994999_13	0,11	114	0,608721	0,248	Alto	59
CUSCO	CANCHIS	S/N	4994996_38	0,08	112	0,606888	0,18	Alto	97
CUSCO	CANCHIS	S/N	4994978_20	0,04	1670	0,875694	0,13	Alto	145
CUSCO	LA CONVENCION	Sara Huasacocha	4994972_14	0,20	12	0,386959	0,286	Muy alto	44
CUSCO	QUISPI-CANCHI	Qari	4994894_7	0,14	140	0,629129	0,326	Muy alto	36
CUSCO	QUISPI-CANCHI	Jatun Puacocha	4994894_6	0,11	140	0,629129	0,256	Muy alto	56
CUSCO	QUISPI-CANCHI	Pucacocha 1	4994899_5	0,07	730	0,793464	0,206	Alto	82
CUSCO	QUISPI-CANCHI	Upiscocha	4994894_1	0,44	111	0,606041	0,987	Muy alto	1
CUSCO	QUISPI-CANCHI	Qolque Punku Bajo	4994897_4	0,19	714	0,79119	0,556	Muy alto	8
CUSCO	QUISPI-CANCHI	Yanaloma	4994896_13	0,13	587	0,771752	0,371	Muy alto	24
CUSCO	QUISPI-CANCHI	Marampaqui	4994896_3	0,13	576	0,769941	0,37	Muy alto	25
CUSCO	QUISPI-CANCHI	Pucacocha	4994977_67	0,12	89	0,583948	0,259	Muy alto	54

CUSCO	QUISPI-CANCHI	S/N	4994899_7	0,08	730	0,793464	0,235	Alto	62
CUSCO	QUISPI-CANCHI	S/N	4664829_32	0,10	115	0,609947	0,226	Alto	66
CUSCO	QUISPI-CANCHI	S/N	4994896_12	0,06	587	0,771752	0,171	Alto	108
CUSCO	QUISPI-CANCHI	S/N	4994898_3	0,05	745	0,795405	0,147	Alto	127
CUSCO	QUISPI-CANCHI	S/N	4994894_8	0,06	140	0,629129	0,14	Alto	135
HUÁNUCO	LAURICO-CHA	Carhuacocha	4989996_35	0,08	89	0,584619	0,173	Alto	103
HUÁNUCO	LAURICO-CHA	Chaclan (Ninashanca)	4989996_42	0,16	90	0,585788	0,347	Muy alto	32
HUÁNUCO	LAURICO-CHA	Gangrajanca	4989996_40	0,21	90	0,585073	0,455	Muy alto	15
HUÁNUCO	LAURICO-CHA	Niñacocha	4989996_48	0,09	35	0,490381	0,163	Alto	113
HUÁNUCO	LAURICO-CHA	Qesillococha (Sarapo)	4989996_39	0,21	90	0,585073	0,455	Muy alto	16
HUÁNUCO	LAURICO-CHA	Siula	4989996_37	0,07	90	0,585073	0,152	Alto	121
JUNÍN	HUANCAYO	Ancapuachanan	4996789_3	0,06	5829	1	0,222	Alto	71
JUNÍN	HUANCAYO	Cocha Grande	4996166_5	0,08	96	0,59184	0,175	Alto	99
JUNÍN	HUANCAYO	Lazo Huntay	4996789_5	0,07	5829	1	0,259	Muy alto	53
JUNÍN	HUANCAYO	Pumacocha	4996169_7	0,22	201	0,665105	0,541	Muy alto	9
JUNÍN	HUANCAYO	Putcacocha	4996914_27	0,05	702	0,789548	0,146	Alto	129
JUNÍN	HUANCAYO	S/N	4996169_8	0,10	201	0,665105	0,246	Alto	60
JUNÍN	JAUJA	Carhua	4996929_28	0,05	455	0,746389	0,138	Alto	138
JUNÍN	JAUJA	Chuctuc	4996929_29	0,10	455	0,746389	0,276	Muy alto	49
JUNÍN	JAUJA	Paca	4996929_27	0,08	455	0,746389	0,221	Alto	72
JUNÍN	JAUJA	Tembladera Chico	4996929_12	0,07	455	0,746389	0,193	Alto	91
JUNÍN	JAUJA	S/N	4996929_62	0,07	455	0,746389	0,193	Alto	90
JUNÍN	YAULI	Abascocha	4996934_24	0,07	495	0,754788	0,195	Alto	87
JUNÍN	YAULI	Chucucocha	4996934_31	0,09	495	0,754788	0,251	Muy alto	58
JUNÍN	YAULI	Curiguay 1	4996949_15	0,08	41	0,507818	0,15	Alto	124
JUNÍN	YAULI	Sulltucocha	4996934_26	0,08	495	0,754788	0,223	Alto	70
JUNÍN	YAULI	Yantayo	4996949_12	0,10	41	0,507747	0,188	Alto	94
JUNÍN	YAULI	S/N	4996934_44	0,13	495	0,754788	0,363	Muy alto	26

LIMA	CAJATAMBO	Caramarca	1375868_13	0,15	143	0,631049	0,35	Muy alto	30
LIMA	CAJATAMBO	Jurau 2	1375868_19	0,15	141	0,630227	0,35	Muy alto	31
LIMA	CAJATAMBO	Rurigallay	1375868_17	0,19	141	0,630227	0,443	Muy alto	18
LIMA	CAJATAMBO	Suerococha	1375868_4	0,09	146	0,633126	0,211	Alto	80
LIMA	CAJATAMBO	S/N	1375868_6	0,07	146	0,633126	0,164	Alto	112
LIMA	HUAROCHIRÍ	Chuspicocha	1375498_13	0,15	58	0,542202	0,301	Muy alto	42
LIMA	HUAROCHIRÍ	Collquepucro	1375528_17	0,05	528	0,761182	0,141	Alto	134
LIMA	HUAROCHIRÍ	Quiullacocha	1375549_18	0,14	63	0,550545	0,285	Muy alto	45
LIMA	HUAROCHIRÍ	Rinconada/ Rinconada Chica	1375549_15	0,13	63	0,550545	0,265	Muy alto	52
LIMA	HUAROCHIRÍ	Tormanya	1375529_7	0,06	390	0,730993	0,162	Alto	115
LIMA	HUAROCHIRÍ	S/N	1375528_22	0,08	528	0,761182	0,225	Alto	67
LIMA	OYÓN	Checchi 4	1375699_16	0,05	349	0,720124	0,133	Alto	141
LIMA	OYÓN	Checchi 5	1375699_15	0,05	349	0,720124	0,133	Alto	142
LIMA	YAUYOS	Espejococha	1375524_21	0,12	18	0,425898	0,189	Alto	93
LIMA	YAUYOS	Huascacocha	1375492_8	0,05	652	0,782214	0,145	Alto	131
LIMA	YAUYOS	Ticllacocha Chica	1375499_21	0,07	206	0,667562	0,173	Alto	104
LIMA	YAUYOS	Ticllacocha Grande	1375499_20	0,08	206	0,667562	0,198	Alto	84
LIMA	YAUYOS	S/N	1375499_30	0,07	206	0,667417	0,173	Alto	102
PASCO	PASCO	Lecma	4992489_18	0,06	236	0,681269	0,151	Alto	122
PUNO	CARABAYA	Anantacucho	4664844_4	0,07	476	0,750801	0,194	Alto	88
PUNO	CARABAYA	Chambine	4664845_19	0,06	395	0,73239	0,163	Alto	114
PUNO	CARABAYA	Jatun Huis-canicocha	4664866_50	0,06	225	0,676211	0,15	Alto	123
PUNO	CARABAYA	Llachuccocha Bajo	4664866_90	0,06	159	0,642036	0,143	Alto	132
PUNO	CARABAYA	Suirococha	4664843_10	0,08	378	0,727955	0,215	Alto	77
PUNO	CARABAYA	Phacu Cucho Alto	4664844_55	0,12	476	0,750801	0,333	Muy alto	35
PUNO	CARABAYA	Aullincocha	4664866_94	0,12	159	0,642036	0,285	Muy alto	46
PUNO	CARABAYA	S/N	4664845_22	0,09	395	0,73239	0,244	Alto	61
PUNO	CARABAYA	S/N	0199869_1	0,10	50	0,526187	0,195	Alto	86
PUNO	CARABAYA	S/N	4664843_11	0,06	378	0,727955	0,162	Alto	116

PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	Japuccocha	4664898_17	0,05	268	0,693774	0,128	Alto	146
PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	Sorapata	4664898_13	0,14	268	0,693774	0,359	Muy alto	28
PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	Vizcachani	4664898_16	0,13	268	0,693774	0,334	Muy alto	34
PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	Riticocha	17296_15	0,26	62	0,548369	0,528	Muy alto	11
PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	S/N	4664898_33	0,09	268	0,693774	0,231	Alto	63
PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	S/N	17299_8	0,06	72	0,563632	0,125	Alto	148



