



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**INVENTARIO PÚBLICO DE LAGOS GLACIARES DE
CHILE 2024 (IPLG2024)**

Metodología y Resultados

REALIZADO POR:

**Subdivisión de Glaciología y Nieves
División de Hidrología
Dirección General de Aguas**

S.D.T. N° 484

Santiago, diciembre 2025

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

Ministra de Obras Públicas

Sra. Jessica López Saffie

Director General de Aguas

Sr. Rodrigo Sanhueza Bravo

Jefe de División de Hidrología

Sr. Luis Alberto Moreno Rubio

Jefe Subdivisión de Glaciología y Nieves

Sr. Jorge Huenante Gutiérrez

Profesionales

Subdivisión de Glaciología y Nieves

Sr. Franco Buglio

Srta. Isabella Ciocca

Srta. Emilia Fercovic

Sr. Diego González

Sr. José Olave

Sr. Tomás Pérez

Sr. Alexis Segovia

Colaboradora

Srta. Yuliana Bustos



Citar este informe como sigue:

Dirección General de Aguas (DGA), 2025. INVENTARIO PÚBLICO DE LAGOS GLACIARES DE CHILE 2024 (IPLG2024) – Metodología y Resultados, SDT N° 484, 2025. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Hidrología, Subdivisión de Glaciología y Nieves.

Tabla de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN	6
2. METODOLOGÍA	7
2.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL	7
2.2 MAPEO DE LAGOS GLACIARES	11
2.3 BASE DE DATOS Y ATRIBUTOS DE LOS LAGOS GLACIARES	13
3. REVISIÓN DE POLÍGONOS	17
4. RESULTADOS.....	18
4.1 ANÁLISIS DEL MAPEO DE LAGOS GLACIARES	18
5. CONCLUSIONES.....	26
6. BIBLIOGRAFÍA	28

Índice de figuras

Figura 1. Cobertura de imágenes satelitales utilizadas en el inventario de lagos glaciares.	8
Figura 2. Selección de imágenes en GEE por filtros.	10
Figura 3. Mosaico de imágenes satelitales cortadas en función al buffer de 3 km.	11
Figura 4. Comparación entre la digitalización semiautomática y la digitalización manual	13
Figura 5. Codificación de los lagos glaciares inventariados en IPLG2024.	14
Figura 6. Árbol de decisiones para asignar el código de glaciar asociado.	15
Figura 7. Distribución porcentual de la cantidad y superficie de lagos glaciares por macrozona glaciológica.	18
Figura 8. Histograma de elevación en la Macrozona Norte.	19
Figura 9. Histograma de elevación en la Macrozona Centro.	20
Figura 10. Histograma de elevación en la Macrozona Sur.	21
Figura 11. Histograma de elevación en la Macrozona Austral.	22
Figura 12. Distribución de los lagos glaciares de Chile en cantidad y superficie, por cada una de sus regiones.	25

Índice de tablas

Tabla 1. Filtros aplicados en la selección de imágenes satelitales.	8
Tabla 2. Información cartográfica base utilizada en el inventario de lagos glaciares y sus fuentes.	9
Tabla 3. Filtros para obtener el NDWI.	12
Tabla 4. Criterios usados para la digitalización manual de lagos glaciares	13
Tabla 5. Criterios de clasificación de represas de lagos glaciares.	14
Tabla 6. Ecuación usada en el cálculo de volumen.	15
Tabla 7. Ecuación usada en el cálculo de volumen.	17
Tabla 8. Número de lagos glaciares y superficie de estos por macrozona glaciológica.	22
Tabla 9 .Número de lagos glaciares y superficie de estos por macrozona glaciológica y clasificación.	23
Tabla 10. Número de lagos glaciares y superficie de estos por región de Chile.	24

1. Introducción

En Chile, los glaciares ocupan 21.012 km² de superficie (DGA, 2022) y han retrocedido a una tasa de ~0,18% por año entre 1980 y 2015 (Li et al. 2019). Este retroceso ha gatillado diversos cambios en los paisajes de montaña alterando la geomorfología en la zona periglacial y dando lugar a una proliferación de lagos glaciares¹ en terrenos anteriormente ocupados por hielo (Wilson et al., 2018).

Por otra parte, se ha documentado que los lagos glaciares pueden generar peligrosos vaciamientos súbitos, también conocidos como *glacial lake outburst floods* (GLOF por sus siglas en inglés), los que pueden generar inundaciones en zonas a decenas de kilómetros de distancia (Emmer et al. 2016; Emmer et al. 2020; Iribarren Anaconda et al. 2015).

En este contexto surge la necesidad de contar con un inventario actualizado de lagos glaciares en Chile que permita dar cuenta del número de lagos, la superficie y el agua almacenada.

Inicialmente, la primera identificación nacional y revisión de los lagos glaciares se encomendó por parte de la Dirección General de Aguas (D.G.A.) al Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ciencias de la Tierra perteneciente a la Universidad Austral de Chile, mediante una asesoría y consultoría de apoyo (DGA, 2023). Posteriormente, la D.G.A. realizó una segunda revisión manual y visual para validar los polígonos de los contornos de los lagos mapeados.

En este contexto, este documento tiene como objetivo detallar la metodología del Inventario Público de Lagos Glaciares de Chile (IPLG2024), detallado por las cuatro macrozonas glaciológicas de Chile, correspondientes a la zona Norte que abarca desde los 17 a los 32°S, la zona Centro que va desde los 32 a los 36°S, la zona Sur en el rango 36 a 45°S y la zona Austral desde los 45 a 56°S.

¹ En el informe se utiliza de manera indistinta los conceptos de lago y laguna glaciar. No existe una definición técnica de aceptación común que diferencie ambos sustantivos.

2. Metodología

2.1 Recopilación de información geoespacial

Se recopiló un total de 62 imágenes satelitales (Figura 1), las cuales provienen en su mayoría de la misión Sentinel-2, que tiene una resolución espacial de 10 m con 5 bandas espectrales: roja, verde, azul, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (SWIR). Asimismo, se usaron imágenes satelitales de Landsat-8, las que se utilizaron cuando no había disponibilidad de imágenes de Sentinel-2 con buena calidad o que no cumplieran con los criterios usados (Tabla 1). El total de imágenes cubre el periodo correspondiente a los años 2020, 2021 y 2022.

Para la selección y descarga de imágenes satelitales se utilizó la plataforma Google Earth Engine (GEE) empleando las siguientes líneas de código:

- Colección Sentinel-2:
`ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")`
- Colección Landsat 8:
`ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA")`

Figura 1. Cobertura de imágenes satelitales utilizadas en el inventario de lagos glaciares.

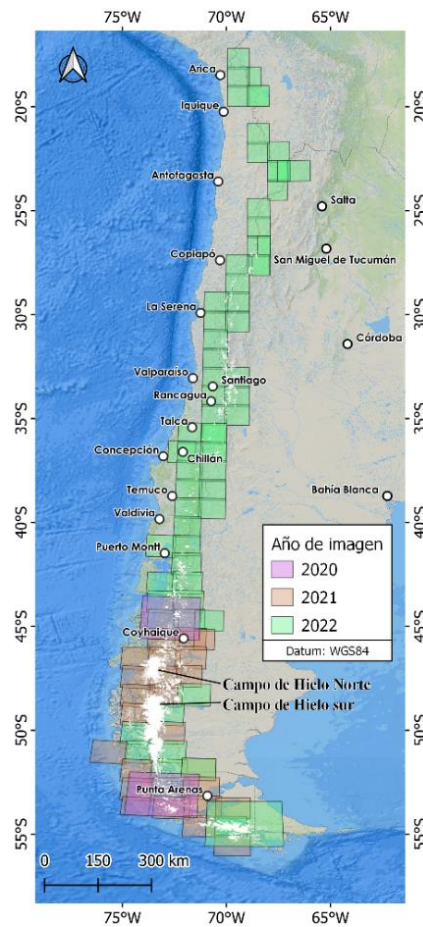


Tabla 1. Filtros aplicados en la selección de imágenes satelitales.

Filtro	Descripción	Comando
Filtro de fecha	Se priorizaron las imágenes Sentinel-2 del 2022. En caso de que no haya una buena imagen se eligió una del 2021 o una Landsat 8 del 2022.	ee.filterDate()
Filtro por geometría	Solo se eligieron imágenes dentro del ámbito de las subsubcuencas glaciares de las 4 Macrozonas de Chile.	ee.filterBounds() ()
Filtro de nube	Imágenes con una cobertura nubosa menor al 10%	ee.Filter.lt()

También se adquirió un modelo de elevación digital de SRTM V3 con una resolución espacial de 30 m y MERIT de 90 m.

Por otro lado, se adquirió información cartográfica oficial (Tabla 2) para la interpretación del área de estudio.

Tabla 2. Información cartográfica base utilizada en el inventario de lagos glaciares y sus fuentes.

Información	Tipo	Fuente	Disponible
Red hidrográfica nacional	Vectorial	Subsecretaría de Bienes Nacionales	https://datos.gob.cl/dataset/27896 (2015)
Límites de cuencas, subcuencas y subsubcuencas	Vectorial	Dirección General de Aguas	Inventario Público de Cuencas Hidrográficas y Lagos (2015)
Cartografía glaciar	Vectorial	Dirección General de Aguas	https://dga.mop.gob.cl/inventario-publico-glaciares/
Cartografía glaciar	Vectorial	National Snow and Ice Data Center	https://www.glims.org/RGI/randolph60.html (2017)
Masas de agua superficial o lacustres	Vectorial	Dirección General de Aguas	Inventario Público de Cuencas Hidrográficas y Lagos (2015)
Red hidrográfica derivada del DEM MERIT	Ráster	Yamazaki et al. (2019)	Google Earth Engine: MERIT Hydro
Imágenes de alta resolución	Ráster	Google Earth, Bing Maps y Esri Satellite	Quick Map Services en QGIS

Una vez seleccionadas las imágenes, se hizo un análisis visual para evitar la presencia de lagos congelados y/o cubiertos de nieve. Además, se analizó si las imágenes cubrían completamente las zonas glaciares y si era necesario considerar una imagen adicional. Luego, se realizó la composición multibanda de cada imagen (Figura 2).

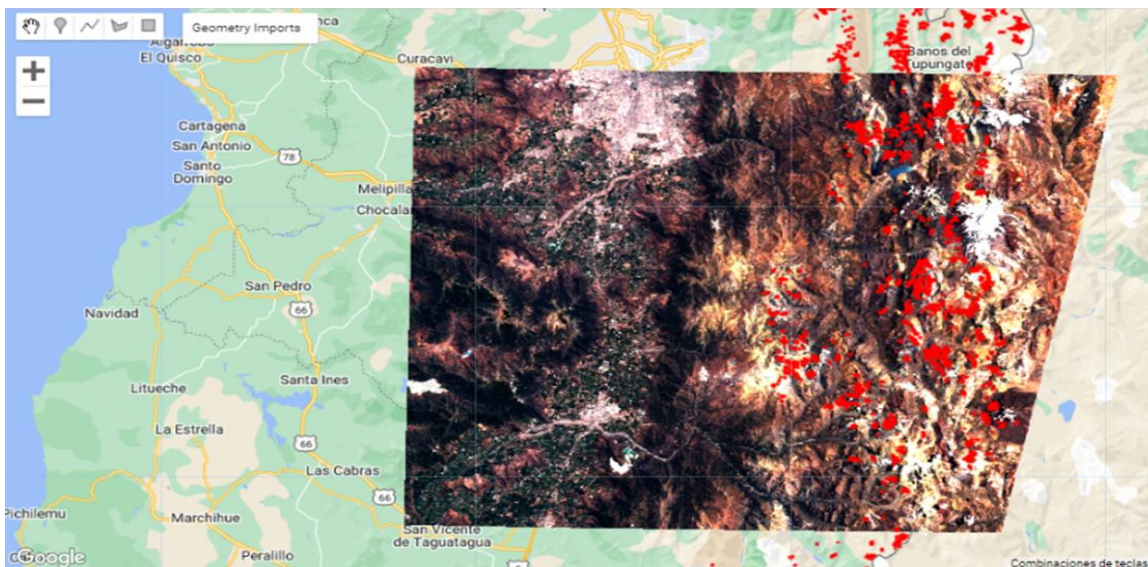
- Bandas para Sentinel-2: banda 2 (R), banda 3 (G), banda 4 (B), banda 8 (NIR) y banda 11 (SWIR).
- Bandas para Landsat 8: banda 2 (R), banda 3 (G), banda 4 (B), banda 5 (NIR) y banda 6 (SWIR)

Figura 2. Selección de imágenes en GEE por filtros.

```
1 var imagen = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2")  
2 .filterDate('2022-01-01', '2022-03-31')  
3 .filterBounds(SSCuencas)  
4 .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10));
```

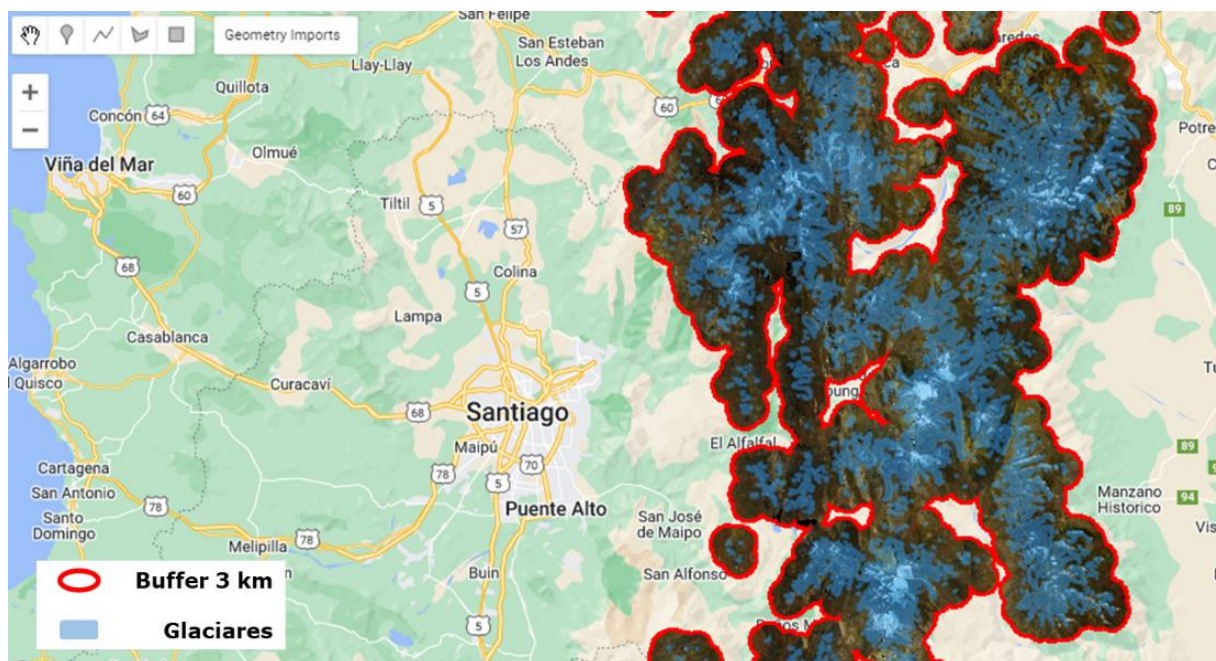
→ Colección de imágenes
→ Filtro por fecha
→ Filtro por geometría
→ Filtro por nubes

Análisis visual (nieve y **glaciares**)



Posteriormente se elaboró un mosaico con todas las imágenes satelitales, lo que concluyó con una nueva colección de imágenes. Con el objetivo de que la información fuera menos densa se hizo un corte en base a un buffer de 3 km obtenido a partir de los límites glaciares del Inventario Público de Glaciares 2022. Se determinó esta distancia (de 3 km) a partir del margen de glaciares, para incluir dentro del buffer todos los lagos que tengan aporte glaciar hasta una distancia de 2 km. En función a ello y para no descartar algunas áreas de interés es que se definió el buffer de la cobertura glaciar (Figura 3).

Figura 3. Mosaico de imágenes satelitales cortadas en función al buffer de 3 km.



Finalmente, las imágenes satelitales originales y el mosaico se exportaron para que puedan ser descargadas y trabajadas en ArcMap del software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcGIS de ESRI.

2.2 Mapeo de lagos glaciares

Para el mapeo de lagos glaciares se usaron dos métodos, el primero se basa en un proceso semiautomático que se desarrolló en GEE, consistente en el cálculo del índice diferencial normalizado de agua, conocido como *Normalized Difference Water Index* (NDWI por sus siglas en inglés) para el mosaico de imágenes que fue dividido en las cuatro macrozonas de Chile. El umbral radiométrico fue $\geq 0,4$ en función de la visualización del mosaico en cada macrozona (Tabla 3).

Tabla 3. Filtros para obtener el NDWI.

Primer filtro	Se aplicó en función a la pendiente y consistió en eliminar los pixeles de NDWI que se encontraban en pendientes empinadas que fueran $>10^\circ$.
Segundo filtro	Consistió en eliminar los pixeles en los que se clasificaba la superficie glaciar o nieve como agua.

Para el segundo filtro se aplicó el índice diferencial normalizado de nieve, conocido como *Normalized Difference Snow Index* (NDSI por sus siglas en inglés), empleando las bandas del verde (G) y SWIR según la expresión (Hall et al. 1995):

$$NDSI = \frac{G - SWIR}{G + SWIR}$$

Se usó el umbral radiométrico de 0,7 para eliminar los pixeles que fueron mal clasificados como agua en áreas glaciares.

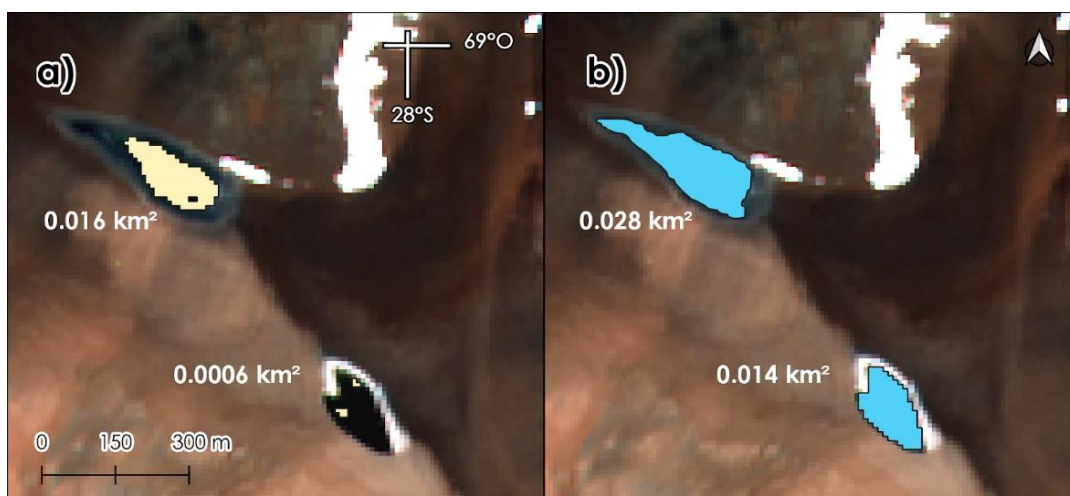
Una vez obtenido el NDWI éste fue exportado y descargado en formato ráster para ser trabajado mediante verificación visual en ArcMap, en donde se observó que existían lagos glaciares que no fueron identificados por el NDWI, por lo que estos debieron ser digitalizados manualmente. Se decidió emplear el NDWI como una guía y digitalizar todos los lagos glaciares de manera manual, ya que la bibliografía también menciona que es la técnica más laboriosa pero más precisa para inventariar lagos glaciares (Emmer et al. 2016; Wilson et al. 2018; Ma et al. 2021).

Para la digitalización manual, que se realizó después de la clasificación semiautomática, se usaron criterios (Tabla 4) para estandarizar la delimitación de las lagunas glaciares (Figura 4).

Tabla 4. Criterios usados para la digitalización manual de lagos glaciares

Criterio	Descripción
Área mínima a inventariar	Superior 0,1 ha o 0,001 km ² .
Distancia del glaciar	Distancia a la parte terminal del glaciar menor o igual a 2 km.
Aporte glaciar	Verificar un aporte actual del glaciar hacia el lago (aguas abajo).
Estacionalidad	El lago no debe desaparecer y aparecer en una escala corta de tiempo (meses).

Figura 4. Comparación entre la digitalización semiautomática y la digitalización manual



2.3 Base de datos y atributos de los lagos glaciares

A continuación, se detalla la información de la tabla de atributos del IPLG2024. En esta, se puede encontrar cada uno de los campos mencionados a continuación para cada polígono, junto al nombre del campo en paréntesis:

CODIGO DEL LAGO GLACIAR (COD_LAG): Se realizó siguiendo la metodología descrita por Mueller (1977) para el World Glacier Inventory. Esta guía establece que la codificación debe contener la abreviación del país,

codificación del continente, código de la cuenca, subcuenca, subsubcuenca y la numeración del lago (Figura 5).

Figura 5. Codificación de los lagos glaciares inventariados en IPLG2024.



La numeración del lago glaciar se realizó en sentido horario partiendo desde el punto de desfogue de la subsubcuenca de manera correlativa y usando como guía la numeración de los glaciares del inventario público de glaciares.

NOMBRE: Se tomó como referencia el nombre consignado en el mapa base de Google y de la capa de lagos del inventario público de cuencas hidrográficas y superficies lacustres. El nombre se asignó durante la digitalización manual y si no poseía nombre se asignó "S/N".

CLASIFICACIÓN (CLASIFICA): Tipo de lago entre "proglaciar" y "supraglaciar".

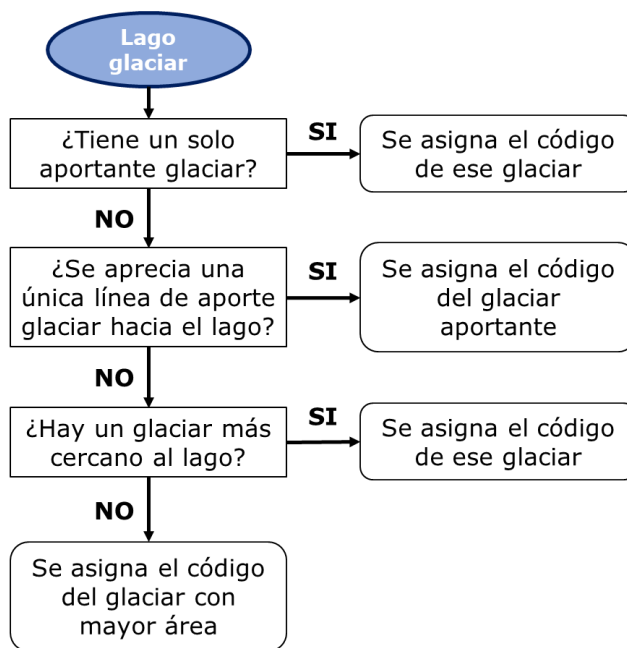
TIPO DE REPRESA (TIPO_REPRE): El tipo de represa se asignó durante la digitalización de los lagos y se clasificaron en 5 categorías (Tabla 5).

Tabla 5. Criterios de clasificación de represas de lagos glaciares.

Tipo de represa	Criterio
Roca	El desfogue del lago no presenta signos de erosión o remoción de material no consolidado. No presenta un canal de desfogue muy profundo.
Morrena	Presencia de un canal en el desfogue de la laguna, además se aprecian morrenas laterales alrededor del lago.
Hielo	Represa de hielo visible. Usualmente lagos supraglaciares.
Mixto	No existe una diferencia marcada para distinguir entre las otras tres categorías o se aprecia que el desfogue del lago está compuesto de diversos materiales
Artificiales	Presencia de represas construidas (material noble) para embalsar el lago.

GLACIAR ASOCIADO (GLA_ASOCIA): Para asignar el código del glaciar asociado al lago, se realizó un árbol de decisiones para uniformizar los criterios de asignación de código de glaciares (Figura 6).

Figura 6. Árbol de decisiones para asignar el código de glaciar asociado.



ELEVACIÓN: Elevación de lago glaciar acorde a información topográfica derivada del modelo SRTM, en m s.n.m.

ÁREA (AREA_KM2): Se calculó el área en km² en base a los polígonos obtenidos para cada lago glaciar identificado.

PERÍMETRO (PERIMET_KM): Perímetro del lago en km.

VOLUMEN (VOL_KM3): Se estimó el volumen en km³ en base a la siguiente ecuación empírica que emplea la relación área-volumen (Tabla 6).

Tabla 6. Ecuación usada en el cálculo de volumen.

Lugar	Formula	Fuente
Kazakhstan	$V = 0,2933 * A^{1,3324}$	Loriaux y Casassa (2013)

Donde V es volumen y A la superficie del lago.

REGIÓN, PROVINCIA Y COMUNA: Se obtuvieron de forma automática en base a la ubicación de los centroides de los lagos glaciares.

CÓDIGOS DE REGIÓN, PROVINCIA Y COMUNA CUT_REG, CUT_PROV y CUT_COM: Según división político administrativa.

NOMBRE DE CUENCA Y CODIFICACIÓN DE LA CUENCA, SUBCUENCA Y SUBSUBCUENCA (NOM_CUEN, NOM_SSUBC, COD_CUEN, COD_SUBC, COD_SSUBC): Se obtuvieron de forma automática en base a la ubicación de los centroides de los lagos glaciares dentro de la capa de cuencas, subcuencas y subsubcuencas del inventario público de cuencas hidrográficas.

MACROZONA GLACIOLÓGICA (MZON_GLAC): Se asignó el nombre de la macrozona glaciológica donde se ubicaba el lago glaciar.

DATUM: Se empleó el datum World Geodetic System 1984 (WGS84), ya que permite la generación de información geoespacial, producción de mapas temáticos y localización a nivel mundial de los lagos glaciares.

HUSO: Se asignó dependiendo de la zona UTM en la que se ubicaba el lago glaciar, ya sea 18 o 19S, no obstante, lo anterior, todo el inventario se despliega en Huso 19 sur.

COORDENADAS (ESTE_M, NORTE_M, LATITUD, LONGITUD): Se generaron de manera automática y en base a la ubicación del centroide de cada lago glaciar las coordenadas en UTM (Este y Norte) y en grados decimales (Latitud y Longitud).

FUENTE DE DIGITALIZACIÓN, RESOLUCIÓN DE IMAGEN, FECHA Y CODIGO DE IMAGEN (FUEN_DIG, RES_M, FUEN_FECHA, COD_IMG): Se asignó el tipo de cada imagen satelital que se empleó para la digitalización de los lagos glaciares. Se asignó la fecha de obtención de la imagen satelital y el código fuente.

ERROR (ERROR_PORC): Error relativo (%) en la delimitación del lago glaciar estimado utilizando la fórmula de Lesi et al., (2022).

Tabla 7. Ecuación usada en el cálculo de volumen.

Formula	Fuente
$Error(1\sigma) = \left(\frac{P}{G}\right) * 0,6872 * \frac{G^2}{2}$ $D = \frac{Error(1\sigma)}{A} * 100$	Lesi et al. (2022)

Donde $Error(1\sigma)$ es el error absoluto y D el error relativo. G es el tamaño del lado del pixel (10 m Sentinel-2, 30 Landsat 8 y 3 m PlanetScope), P es el perímetro y A es la superficie del lago.

3. Revisión de polígonos

Una vez ya obtenida toda la información y hechos todos los pasos anteriores, se realizó una revisión visual y corrección manual con el objetivo de redefinir los bordes de los polígonos y así validar la capa vectorial correspondiente al inventario de lagos glaciares.

Al comienzo se mapearon 5.396 lagos glaciares, los que después de la revisión se establecieron en 5.386. La diferencia corresponde a lagos eliminados debido a clasificaciones mal efectuadas inicialmente y, para comprobarlo, se visualizó la imagen satelital trabajada, el Basemap que dispone ArcGIS y también se buscaron imágenes de la misma fecha o con días de diferencia a través de la plataforma Planet Explorer para corroborar si existía o no el lago.

El área total que abarcaban inicialmente los lagos glaciares antes de la revisión final fue de 1.534,7 km², la que después de la revisión se estableció en 1.544,495 km² debido a que algunos polígonos si bien se encontraban en el lugar en donde está la laguna no abarcaban toda el área que correspondía. Asimismo, el shapefile del IPLG2024 debió ajustarse a los límites internacionales vigentes (V4) de la DIFROL.

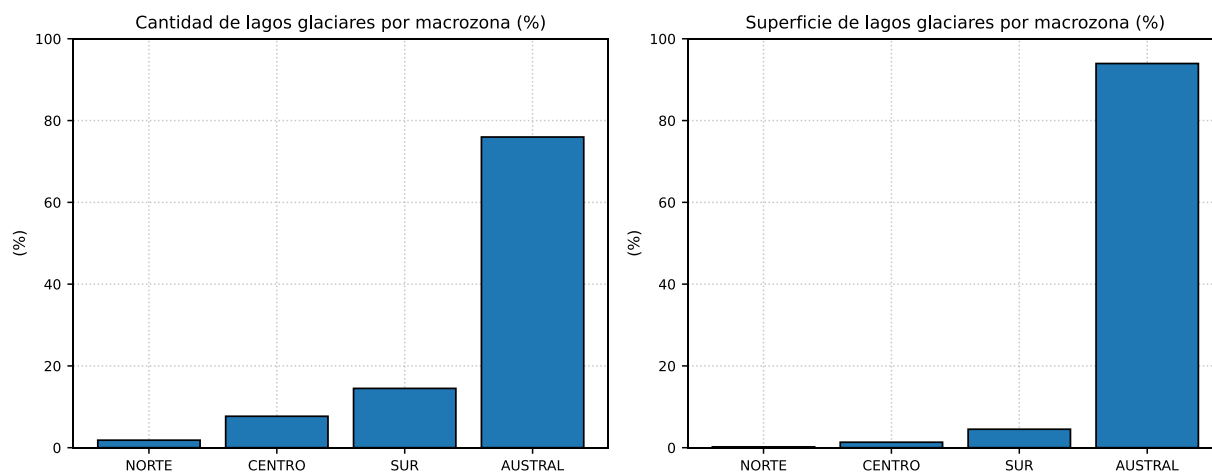
4. Resultados

4.1 Análisis del mapeo de lagos glaciares

Del análisis precedente, para Chile, se obtuvieron 5.386 lagos glaciares con un área total de 1.544,495 km².

Se definen 4 macrozonas glaciológicas según cuencas del Banco Nacional de Aguas (BNA), de la siguiente manera, Norte: Cuencas Altiplánicas a Río Ligua; Centro: Cuencas Costeras Ligua-Aconcagua a Costeras entre límite Región y R. Itata; Sur: Río Itata a Río Aysén; y Austral: Costeras e Islas entre R. Aysén y R. Baker y Canal Gral. Martínez a Islas al sur del Canal Beagle y Territorio Antártico.

Figura 7. Distribución porcentual de la cantidad y superficie de lagos glaciares por macrozona glaciológica.

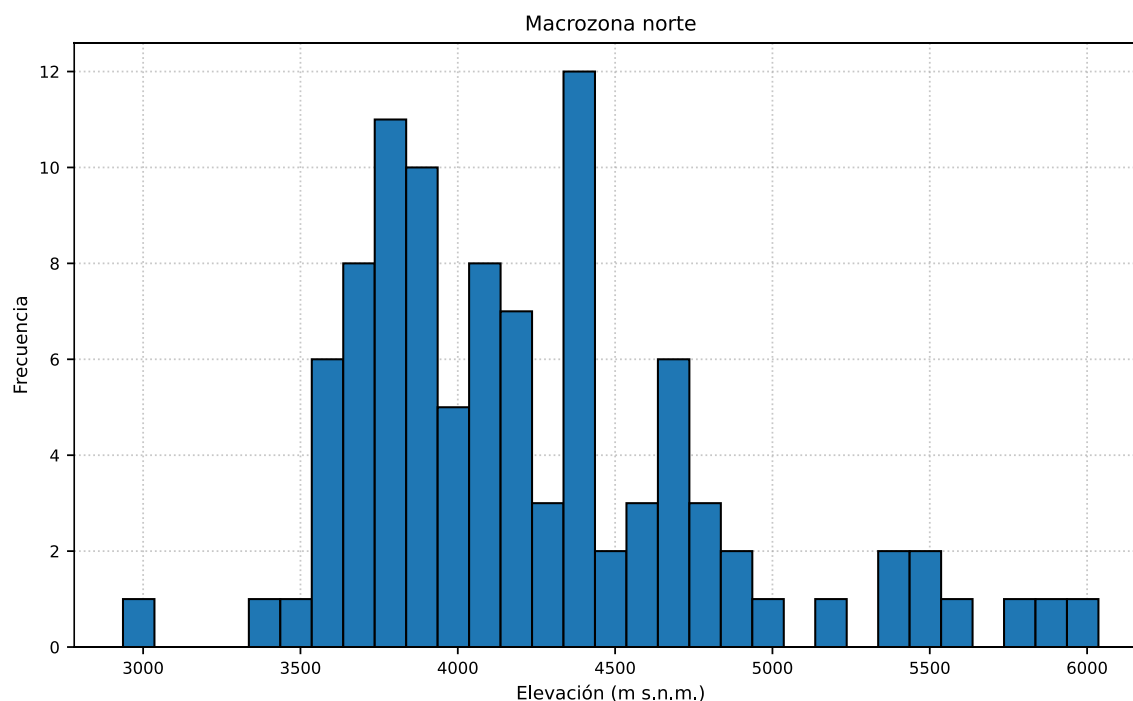


Lo anterior se detalla por Macrozona Glaciológica a continuación:

En la Macrozona Glaciológica Norte se identificaron 99 lagos con aporte glaciar, con un área de 2,978 km². La mayoría se encuentran ubicados entre los 28°S y 30°S. Su superficie varía entre los 0,001 km² y los 0,884 km². Se identificaron lagos con cuatro tipos de represas (roca, morrena, hielo y mixto). De estos lagos, 27 se encuentran en contacto con glaciares, la mayoría glaciares rocosos. Los lagos glaciares en esta macrozona se distribuyen entre los 2.936 y los 6.029 m s.n.m., aunque se concentran entre los 3.500 y los 5.000 m s.n.m. (Figura 8). Los lagos de mayor altitud se ubican sobre complejos volcánicos. Existe una extensa zona entre los 20° y los 24° de latitud sur sin lagos glaciares, coincidente con la franja climática más árida de

Chile. En esta macrozona los lagos glaciares son más frecuentes en la región semiárida entre los Ríos Copiapó por el norte y Choapa por el sur.

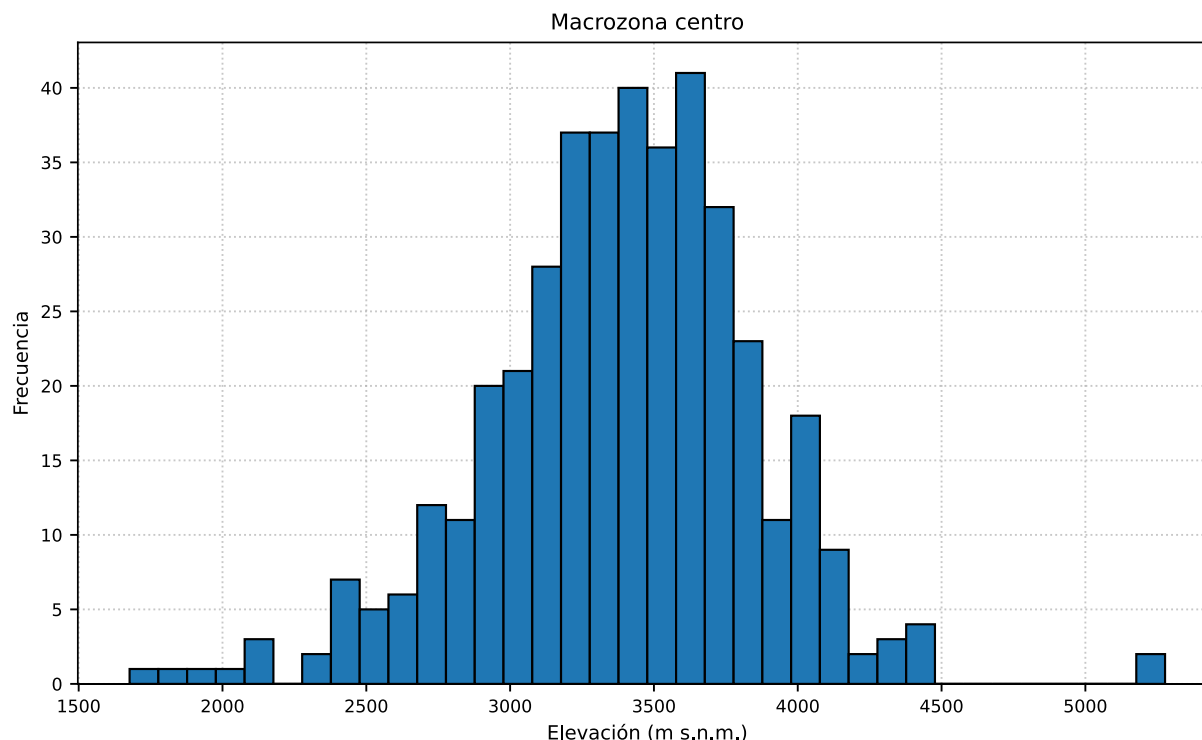
Figura 8. Histograma de elevación en la Macrozona Norte.



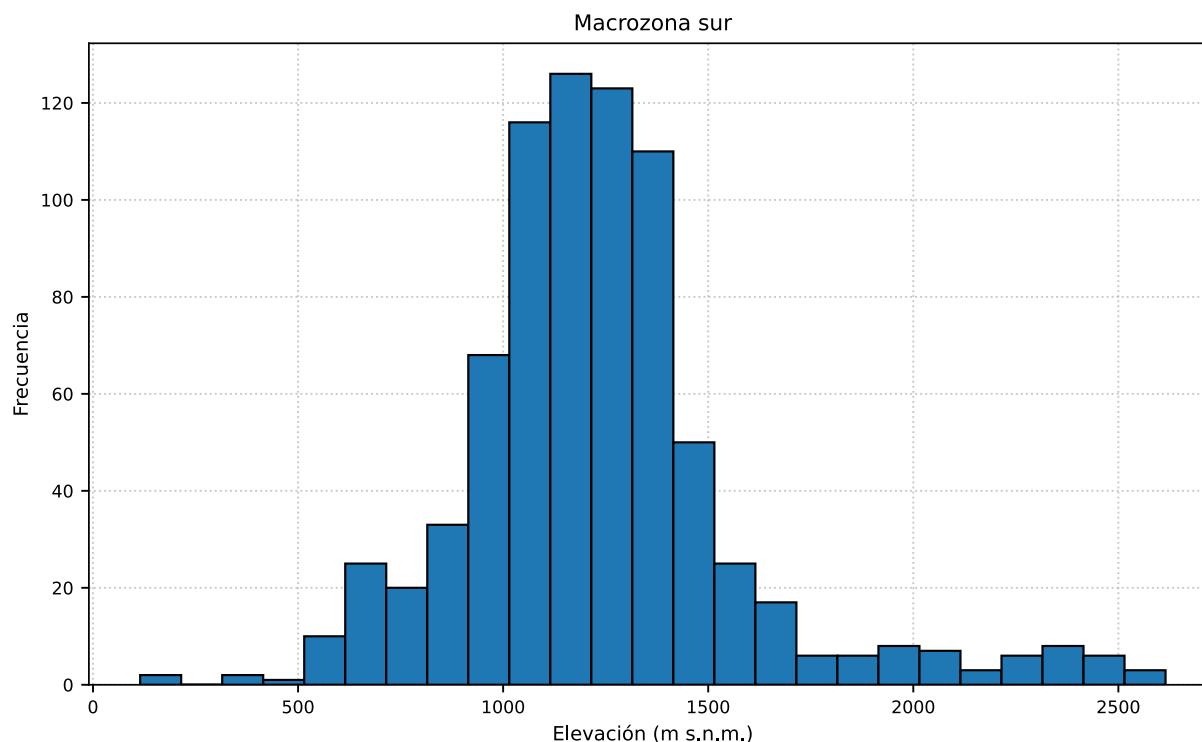
En la Macrozona Glaciológica Centro se identificaron un total de 414 lagos con aporte glaciar, los cuales, en su mayoría se encuentran entre los 33°S y 35°S, y presentan un área inferior de 20,674 km². En los lagos de la zona centro se pueden identificar los cinco tipos de represas (artificial, roca, morrena, hielo, mixto). Es importante destacar que el inventario incluye algunos lagos intervenidos para generación de hidroelectricidad. Además, se incluyeron en el inventario lagos asociados al deslizamiento del Cerro Mesón Alto (Laguna Negra y Embalse el Yeso) debido a que reciben aporte glaciar y que al menos parte de los depósitos de fondo pueden tener un origen mixto. En esta macrozona existen 100 lagos supraglaciares, la mayoría ubicados en la superficie de glaciares cubiertos como el Glaciar Pirámide. Los lagos supraglaciares tienen superficies menores a 0,02 km². Existe también una alta concentración de lagos supraglaciares en el Valle de Los Leones sobre el Glaciar Blanco. En la zona Glaciológica Centro, la mayoría de los lagos inventariados se ubican alrededor de los 3.500 m s.n.m., aunque existen lagos a menos de los 1.700 m s.n.m. y otros que superan los 5.200 m s.n.m. (Figura

9). Este límite inferior de altitud es 1.000 metros más bajo que en la Macrozona Glaciológica Norte.

Figura 9. Histograma de elevación en la Macrozona Centro.

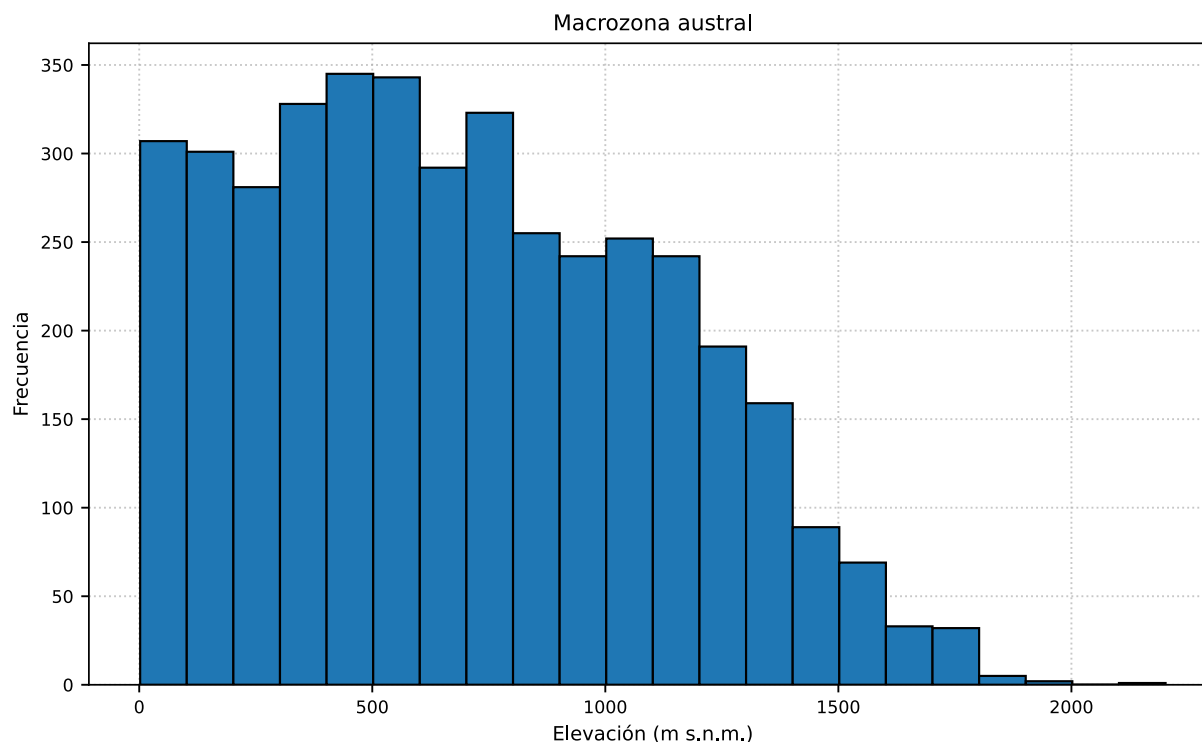


En la Macrozona Glaciológica Sur se identificaron 781 lagos glaciares con 69,784 km² de superficie, de los cuales el de mayor superficie alcanza 3,9 km² y al igual que en el resto de las zonas Glaciológicas presenta numerosos lagos de 0,001 km². Una característica particular de la Macrozona Sur es la presencia de lagos en los alrededores de complejos volcánicos como el Volcán Hudson y del Volcán Michinmahuida. La mayor parte de los lagos están represados por morrenas. El lago a menor elevación se encuentra en los 115 m s.n.m. y el que está a mayor altitud se encuentra a 2.586 m s.n.m. Por otro lado, la media se encuentra en los 1.233 m s.n.m. aproximadamente (Figura 10).

Figura 10. Histograma de elevación en la Macrozona Sur.

La Macrozona Glaciológica Austral concentra 4.092 lagos con una superficie de 1.451,059 km², que equivalen al 76% de la cantidad y aproximadamente el 94% de la superficie de los lagos con aporte glaciar inventariados en Chile. El lago de mayor superficie ocupa 179,59 km², muy por encima de la media nacional de 0,28 km². En esta zona se ubican los Campos de Hielo Patagónico Norte y Sur. En sus glaciares efluentes existen grandes lagos represados por hielo, varios de los cuáles se han vaciado y llenado nuevamente en reiteradas ocasiones. Estos fueron identificados en imágenes por la acumulación de icebergs en tierra y fueron estudiados por Aniya et al. (2020). Los lagos glaciares de la Macrozona Austral se ubican en un rango altitudinal que fluctúa entre los 2.106 m s.n.m. y bajan cerca del nivel del mar, a unos 2 m s.n.m. (Figura 11), en un rango altitudinal mucho más acotado que el resto de las Macrozonas Glaciológicas y disminuyendo en altitud hacia el Sur.

Figura 11. Histograma de elevación en la Macrozona Austral.



La Tabla 8 muestra el resumen de lagos glaciares por macrozona glaciológica. Por su parte, la Tabla 9 diferencia el tipo por macrozona.

Tabla 8. Número de lagos glaciares y superficie de estos por macrozona glaciológica.

Macrozona glaciológica	Número de lagos	Superficie total (km ²)	Rango altitudinal (m s.n.m.)
Norte	99	2,978	2.936 – 6.029
Centro	414	20,674	1.677 – 5.248
Sur	781	69,784	115 – 2.586
Austral	4.092	1.451,059	2-2.106

Tabla 9 .Número de lagos glaciares y superficie de estos por macrozona glaciológica y clasificación.

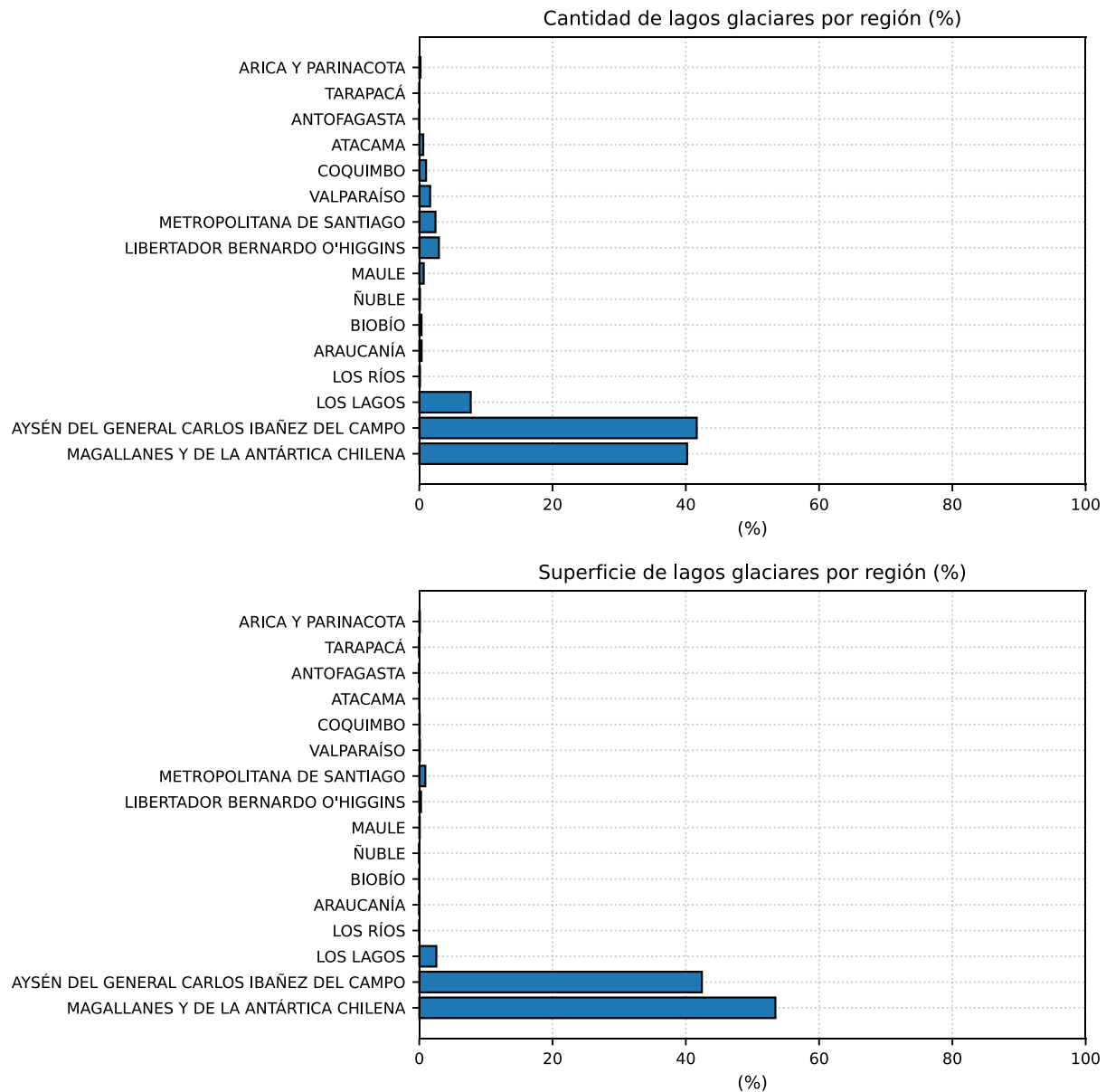
Macrozona glaciológica	Clasificación	Cantidad de lagos	Superficie total (km ²)
Norte	Proglaciar	98	2,975
	Supraglaciar	1	0,002
Centro	Proglaciar	314	20,32
	Supraglaciar	100	0,354
Sur	Proglaciar	767	69,672
	Supraglaciar	14	0,112
Austral	Proglaciar	3.956	1.450,008
	Supraglaciar	136	1,051

En lo que respecta a las regiones de Chile, el resumen del IPLG2024 se muestran en la Tabla 10 y Figura 12.

Tabla 10. Número de lagos glaciares y superficie de estos por región de Chile.

Región	Cantidad de Lagos	Superficie total (km ²)
Arica y Parinacota	10	1,401
Tarapacá	1	0,003
Antofagasta	1	0,001
Atacama	32	0,485
Coquimbo	55	1,087
Valparaíso	88	1,532
Metropolitana de Santiago	131	14,024
Libertador Bernardo O'Higgins	159	3,973
Maule	36	1,145
Ñuble	6	0,073
Biobío	18	0,299
Araucanía	19	0,142
Los Ríos	6	0,170
Los Lagos	416	39,581
Aysén del General Carlos Ibañez del Campo	2.243	655,082
Magallanes y de la Antártica Chilena	2.165	825,496

Figura 12. Distribución de los lagos glaciares de Chile en cantidad y superficie, por cada una de sus regiones.



5. Conclusiones

En base a los resultados, se concluye que es necesario actualizar la información del inventario a nivel nacional en un periodo de cada 5 a 10 años, lo que asegurará que haya disponibilidad de imágenes satelitales óptimas y es una buena cantidad de tiempo para poder observar posibles cambios en zonas que no son tan dinámicas como las macrozonas centro y norte. Por otro lado, debido a que la dinámica de los lagos glaciares es influenciada por la dinámica de los glaciares se realizaría un trabajo más óptimo si se trabaja el inventario de lagunas usando las mismas imágenes usadas en el inventario de glaciares o, en caso de que no haya imágenes que cumplan con los criterios para hacer el análisis de lagos, buscar en fechas cercanas.

Por otro lado, se pueden presentar complicaciones al analizar los cambios de los lagos en el tiempo debido a su dinámica con los ambientes glaciares ya que hay que considerar la posible creación, fragmentación o desaparición de lagos al vaciarse de manera total o parcial. También puede ocurrir que dos o más lagos se unan y así formen otro de mayor superficie. Por lo tanto, al momento de actualizar el inventario de lagos glaciares será necesario seguir protocolos específicos para asignar códigos a los lagos en los posibles escenarios planteados anteriormente. Se consideran los siguientes criterios que servirían para sistematizar la asignación de códigos en un futuro:

- En el caso de aparición de nuevos lagos, se deberá continuar la codificación con el método estándar (por ejemplo, en sentido horario desde el desagüe de la cuenca) pero partiendo desde el último código asignado. Esto permitirá identificar los nuevos lagos con los códigos mayores en cada cuenca.
- En el caso de la fragmentación de lagos, se puede seguir el método planteado por DGA (2022) aplicado a la fragmentación glaciar (agregando letras al final del código original).
- En el caso de la coalescencia de lagunas que dan origen a una laguna de mayor superficie, se deberá mantener el código de lago de mayor superficie.

Como principal resultado se tiene la identificación de 5.386 lagos glaciares en las cuatro macrozonas glaciológicas de Chile, los que tienen una desigual distribución latitudinal. El 76% de las lagunas se concentran en la macrozona glaciológica austral. Es importante destacar que el número de lagunas que ha generado GLOFs en Chile es pequeño ($<2\%$) y grandes crecidas por el vaciamiento súbito de lagos son eventos poco frecuentes.

6. Bibliografía

- ANIYA, M., DUSAILLANT, A., O'KUNGHUTTONS, J., BARCAZA, G. y BRAVO, S., 2020. GLOFs of Laguna de los Témpanos, glacier-dammed side lake of Glaciar Steffen, Hielo Patagónico Norte, Chile, since 1974. *Bulletin of Glaciological Research* [en línea], vol. 38, pp. 13-24. ISSN 1345-3807. DOI 10.5331/bgr.20R01.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), 2023. ASESORÍA Y CONSULTORÍA DE APOYO PARA UN INVENTARIO PÚBLICO DE LAGOS GLACIARES, SDT N°536, 2023. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Hidrología, Subdivisión de Glaciología y Nieves. Realizado por: Laboratorio de Geoinformática, Instituto de Ciencias de la tierra, Universidad Austral de Chile.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), 2022. METODOLOGÍA DEL INVENTARIO PÚBLICO DE GLACIARES, SDT N°447, 2022. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas Unidad de Glaciología y Nieves. Realizado por: Casassa, G., Espinoza, A., Segovia, A., Huenante, J.
- EMMER, A., HARRISON, S., MERGILI, M., ALLEN, S., FREY, H. y HUGGEL, C., 2020. 70 years of lake evolution and glacial lake outburst floods in the Cordillera Blanca (Peru) and implications for the future. *Geomorphology*, vol. 365, no. 107178, pp. 1-11. ISSN 0169555X. DOI 10.1016/j.geomorph.2020.107178.
- EMMER, A., KLIMEŠ, J., MERGILI, M., VILÍMEK, V. y COCHACHIN, A., 2016. 882 lakes of the Cordillera Blanca: An inventory, classification, evolution and assessment of susceptibility to outburst floods. *Catena*, vol. 147, pp. 269-279. ISSN 03418162. DOI 10.1016/j.catena.2016.07.032.
- HALL, D.K., RIGGS, G.A. y SALOMONSON, V. V, 1995. Mapping Global Snow Cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Data. *Glaciological Data*, vol. 1, no. 95, pp. 33.
- IRIBARREN ANACONA, P., MACKINTOSH, A. y NORTON, K.P., 2015. Hazardous processes and events from glacier and permafrost areas: Lessons from the Chilean and Argentinean Andes. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 40, no. 1, pp. 2-21. ISSN 10969837. DOI 10.1002/esp.3524.

- LESI, M., NIE, Y., SHUGAR, D. H., WANG, J., DENG, Q., CHEN, H., AND FAN, J (2022) Landsat- and Sentinel-derived glacial lake dataset in the China–Pakistan Economic Corridor from 1990 to 2020, *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 5489–5512, <https://doi.org/10.5194/essd-14-5489-2022>.
- LI, Y.J., DING, Y.J., SHANGGUAN, D.H. y WANG, R.J., 2019. Regional differences in global glacier retreat from 1980 to 2015. *Advances in Climate Change Research* [en línea], vol. 10, no. 4, pp. 203-213. ISSN 16749278. DOI 10.1016/j.accre.2020.03.003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.accre.2020.03.003>.
- LORIAUX, T. y CASASSA, G., 2013. Evolution of glacial lakes from the Northern Patagonia Icefield and terrestrial water storage in a sea-level rise context. *Global and Planetary Change* [en línea], vol. 102, pp. 33-40. ISSN 09218181. DOI 10.1016/j.gloplacha.2012.12.012. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.12.012>.
- MA, J., SONG, C. y WANG, Y., 2021. Spatially and Temporally Resolved Monitoring of Glacial Lake Changes in Alps During the Recent Two Decades. *Frontiers in Earth Science*, vol. 9, no. August, pp. 1-11. ISSN 22966463. DOI 10.3389/feart.2021.723386.
- MUELLER, F., 1977. Instructions for Compilation and Assemblage of Data for a World Glacier Inventory. [en línea]. Zurich: Disponible en: <http://www.geo.unizh.ch/wgms/guidelines.html>.
- WILSON, R., GLASSER, N.F., REYNOLDS, J.M., HARRISON, S., ANACONA, P.I., SCHAEFER, M. y SHANNON, S., 2018. Glacial lakes of the Central and Patagonian Andes. *Global and Planetary Change* [en línea], vol. 162, no. January, pp. 275-291. ISSN 09218181. DOI 10.1016/j.gloplacha.2018.01.004. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.01.004>.