



**INVENTARIO  
NACIONAL  
DE GLACIARES**

IANIGLA  
  
CONICET

U.N. CUYO  
GOBIERNO  
DE MENDOZA

 Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sustentable  
Presidencia de la Nación

**Informe de las subcuencas  
Brazo Sur del Lago  
Argentino y río Bote  
Cuenca del río Santa Cruz  
Parque Nacional Los Glaciares**

**Provincia de Santa Cruz**

*Frente del glaciar Perito Moreno (Foto: P. Pitte)*

**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE  
PRESIDENCIA DE LA NACIÓN**

**Autoridad Nacional de Aplicación – Ley 26.639 – Régimen de Presupuestos  
Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial**

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

Secretario de Política Ambiental en Recursos Naturales: Lic. Diego Moreno

Director Nacional de Gestión Ambiental del Agua y los Ecosistemas Acuáticos: Dr. Javier García Espil

Coordinador de Gestión Ambiental del Agua: Dr. Leandro García Silva

Responsable Programa Protección de Glaciares y Ambiente Periglacial: M.Sc. María Laila Jover

**IANIGLA – CONICET**

**Inventario Nacional de Glaciares (ING)**

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Director técnico: Dr. Mariano Masiokas

Profesionales: Ing. Silvia Delgado, Lic. Lidia Ferri Hidalgo

Colaboradores: Dr. Pierre Pitte, Lic. Laura Zalazar, Dr. Lucas Ruiz, Ing. Melisa Giménez, Lic.

Hernán Gargantini y Téc. Mariano Castro

**Mayo 2018**

***La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial, establecida por el PEN por ley N°  
22963 -a través del IGN-, y fue aprobada por expediente GG16 0991/5 del año 2016***

**AVISO LEGAL:** La inclusión de los glaciares en la zona de Hielos Continentales no prejuzga sobre los trabajos de demarcación de la Comisión Mixta de Límites de la Argentina y Chile ni genera interpretaciones o pretendidos precedentes tendientes a condicionar la labor bilateral de demarcación (conforme lo dispone el “Acuerdo entre la República Argentina y la República de Chile para precisar el recorrido del límite desde el Monte Fitz Roy hasta el Cerro Daudet” de 1998).

*Foto de portada: Témpano de hielo frente al glaciar Perito Moreno (Foto: P. Pitte)*

## ÍNDICE

1.	Introducción .....	1
2.	Antecedentes.....	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario .....	9
4.	Materiales y métodos.....	11
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación .....	12
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación .....	12
4.3.	Delimitación del hielo descubierto .....	15
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros .....	15
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas .....	16
4.6.	Control de campo.....	17
5.	Resultados.....	18
5.1.	Subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote .....	18
5.2.	Control de campo.....	22
6.	Bibliografía.....	23
7.	Anexos.....	26
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de glaciares .....	26
7.2.	Control de campo.....	28
7.2.2	Logística .....	28
7.2.3	Resultados.....	29
7.3.	Descripción de la base de datos .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cambios de espesor en el Glaciar Upsala entre 2000 y 2012 (Willis et al. 2012).....	6
Figura 2: Mapa publicado por el Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico en 1960. .....	7
Figura 3: Izquierda: mapa publicado por el Servicio Geológico de EEUU en 1998. Derecha imagen de 1986 utilizada en el primer inventario basado en sensores remotos.....	8
Figura 4: Mapa de ubicación de las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote. ...	11
Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología empleada. ....	14
Figura 6: Delimitación de hielo descubierto en el sector del glaciar Ameghino, subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote, obtenido a partir de un cociente de bandas 3/4 de la imagen ASTER 2005.. ....	15
Figura 7: Mapa del inventario de glaciares. ....	19
Figura 8: Área total por tipo de geoforma. ....	20
Figura 9: Número de unidades por clase de área. ....	20
Figura 10: Orientación de los glaciares. ....	21
Figura 11: Hipsometría de los glaciares. ....	21

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas de base para el inventario de glaciares de las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote. ....	13
Tabla 2: Área inventariada por tipo de geoforma. ....	19
Tabla 3: Alturas máximas y mínimas por tipo de geoforma. ....	22

## **LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS**

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GEA: Glaciar de escombros activo

GE: Glaciar de escombros

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

GD: Glaciar descubierto

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media de la geoforma

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

LANDSAT: Serie de satélites de observación terrestre manejados por la NASA y el USGS

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

NASA: National Aeronautics and Space Administration (Estados Unidos)

PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPOT: Système Pour l'Observation de la Terre

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina

USGS: United States Geological Survey

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

# 1. Introducción

Argentina es uno de los pocos países del mundo que cuenta con varios miles de kilómetros cuadrados de glaciares y permafrost de montaña rico en hielo en su territorio. Según cálculos aproximados, Sudamérica tendría cerca de 25.500 km<sup>2</sup> cubiertos por glaciares, con un 15% del área total ubicada en Argentina (Lliboutry 1998; WGMS-UNEP 2007). Nuestro país ocupa el segundo lugar después de Chile, que contiene el 75% del área total de glaciares sudamericanos. Estos porcentajes colocan tanto a Chile como a la Argentina en una posición privilegiada con respecto a otros países, pero también les otorgan un mayor grado de responsabilidad para el estudio, monitoreo y protección de los glaciares en esta región del planeta. En las últimas décadas se ha avanzado significativamente en el estudio de nuestros cuerpos de hielo, sin embargo aún no se dispone de un inventario actualizado de todos los glaciares existentes a lo largo del país.

Entre otros atributos, los cuerpos de hielo constituyen componentes cruciales del sistema hidrológico de montaña y son reconocidos como “reservas estratégicas” de agua para las zonas bajas adyacentes y gran parte de la diagonal árida del país. Si bien la nieve que se acumula cada invierno en la Cordillera de los Andes constituye la principal fuente de agua para los ríos del oeste argentino, en años “secos” o con baja precipitación nival, los glaciares tienen una contribución muy importante al caudal de los ríos andinos ya que aportan volúmenes significativos de agua de deshielo a la esorrentía ayudando a minimizar los impactos de las sequías en las actividades socio-económicas de los oasis de regadío. Por ello, la información detallada sobre el número, área y distribución espacial de los cuerpos de hielo no sólo brinda una estimación de las reservas hídricas en estado sólido existentes en las diferentes cuencas andinas, sino también información básica para conocer la capacidad reguladora de dichos cuerpos sobre los caudales de nuestros ríos en condiciones climáticas extremas.

Los glaciares de Argentina constituyen además, elementos emblemáticos del paisaje andino; en el caso de la cuenca del río Santa Cruz, ello fue reconocido tempranamente con la creación del Parque Nacional Los Glaciares. En efecto, en 1937, a través del Decreto N<sup>o</sup> 105.433, se fijó para distintos territorios en la Patagonia andina la condición de Reservas con destino a la posterior creación de Parques Nacionales. Uno de estos territorios fue el de la Reserva de los Glaciares. En septiembre del año 1942, la Presidencia de la Nación, por Decreto N<sup>o</sup> 129.433, amplió el margen costero de la Reserva sobre el Canal de los Témpanos y la costa Norte del Lago Rico. Años más tarde, en abril de 1945, el Decreto Ley N<sup>o</sup> 9504, ratificado por la Ley N<sup>o</sup> 13.895, declaró Parque Nacional a varias reservas y entre ellas la Reserva Los Glaciares, la cual, a partir de ese momento, asumía la categoría de Parque Nacional.

El Parque Nacional Los Glaciares es el más extenso del Sistema Nacional de Áreas Protegidas Argentinas. Por su espectacular belleza, su interés glaciológico y geomorfológico y las especies de su fauna en peligro de extinción, en 1981, la UNESCO lo declaró Patrimonio de la Humanidad, convirtiéndose en el primer Parque Nacional en obtener dicha mención.

Los glaciares son además importantes atractivos turísticos, generando ingresos significativos para la economía nacional. El ejemplo más claro lo constituye el glaciar Perito Moreno, que atrae a cientos de miles de turistas cada año.

Los cuerpos de hielo cordilleranos también constituyen excelentes laboratorios naturales para estudios científicos. Además de muchos estudios de índole hidrológica y geológica que pueden desarrollarse utilizando estos laboratorios naturales, los glaciares ocupan un lugar destacado a nivel mundial como indicadores de cambios climáticos pasados y presentes. En efecto, el rápido retroceso de los glaciares en los Andes y otras regiones montañosas del mundo es generalmente considerado como uno de los signos más claros del calentamiento que ha experimentado el planeta en las últimas décadas.

Por otra parte, los cambios relativamente rápidos en los cuerpos de hielo pueden ocasionar eventos potencialmente catastróficos para las poblaciones humanas e infraestructura ubicadas aguas abajo. En la provincia de Mendoza, el evento más conocido ocurrió entre 1933 y 1934 cuando el Glaciar Grande del Nevado del Plomo (ubicado en la subcuenca del río Tupungato) avanzó repentinamente y atravesó el valle del río del Plomo provocando el endicamiento del río y la formación de un lago de aproximadamente 3 km de largo. El 10 de enero de 1934 la presión del agua rompió el dique natural de hielo y originó un aluvión de agua, hielo y rocas que se desplazó por el valle del río del Plomo y continuó por los valles de los ríos Tupungato y Mendoza provocando graves destrozos (el famoso Hotel Cacheuta, por ejemplo, quedó completamente destruido) e incluso víctimas fatales. En 1984 el glaciar avanzó nuevamente y formó un lago de 2,8 km de longitud que afortunadamente drenó en forma gradual a través de una abertura formada en el dique de hielo. En 2007 el mismo glaciar experimentó un nuevo avance que atravesó el valle del río del Plomo pero no formó ningún lago debido a la presencia de un túnel subglacial.

Considerando los servicios ambientales que nos brindan, su alto grado de vulnerabilidad y los riesgos asociados a sus variaciones, los glaciares y geofomas periglaciales son generalmente concebidos como elementos muy valiosos del paisaje que deben ser estudiados, monitoreados y protegidos para poder conocerlos y preservarlos.

Dada la importancia que tienen los glaciares y las criofomas ricas en hielo para nuestro país, resulta imperioso desarrollar planes y estrategias de estudio y monitoreo de estas masas de hielo que permitan responder a preguntas básicas pero extremadamente relevantes como: ¿Cuántos cuerpos de hielo hay en nuestro país? ¿Qué volumen equivalente en agua tienen? ¿Qué cantidad de agua están aportando a las cuencas de nuestros ríos? ¿Qué cambios han experimentado en el pasado y qué podría esperarse en respuesta a los distintos escenarios de cambios climáticos propuestos para el siglo XXI? ¿Cómo se verán alterados por las distintas actividades humanas que se desarrollen en sus cercanías?

Conscientes de la importancia nacional y regional de los cuerpos de hielo en nuestra Cordillera, entre junio y octubre de 2010 las Honorables Cámaras de Diputados y Senadores de Argentina convirtieron en Ley un Proyecto de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y el Ambiente Periglacial”, que contempla entre otras medidas, la creación de un Inventario Nacional de Glaciares. El 28 de Octubre de 2010 fue promulgada la Ley 26.639

de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”, la cual establece:

*ARTÍCULO 1º — Objeto. La presente ley establece los presupuestos mínimos para la protección de los glaciares y del ambiente periglacial con el objeto de preservarlos como **reservas estratégicas de recursos hídricos** para el consumo humano; para la agricultura y como proveedores de agua para la recarga de cuencas hidrográficas; para la protección de la biodiversidad; como fuente de información científica y como atractivo turístico. Los glaciares constituyen bienes de carácter público.*

*ARTÍCULO 2º — Definición. A los efectos de la presente ley, se entiende por glaciar toda masa de hielo perenne estable o que fluye lentamente, con o sin agua intersticial, formado por la recristalización de nieve, ubicado en diferentes ecosistemas, cualquiera sea su forma, dimensión y estado de conservación. Son parte constituyente de cada glaciar el material detrítico rocoso y los cursos internos y superficiales de agua.*

*Asimismo, se entiende por ambiente periglacial en la alta montaña, al área con suelos congelados que actúa como regulador del recurso hídrico. En la media y baja montaña al área que funciona como regulador de recursos hídricos con suelos saturados en hielo.*

*ARTÍCULO 3º — Inventario. Créase el Inventario Nacional de Glaciares, donde se **individualizarán todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional** con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.*

*ARTÍCULO 4º — Información registrada. El Inventario Nacional de Glaciares deberá contener la información de los glaciares y del ambiente periglacial por cuenca hidrográfica, ubicación, superficie y clasificación morfológica de los glaciares y del ambiente periglacial. Este inventario deberá actualizarse con una periodicidad no mayor de CINCO (5) años, verificando los cambios en superficie de los glaciares y del ambiente periglacial, su estado de avance o retroceso y otros factores que sean relevantes para su conservación.*

*ARTÍCULO 5º — Realización del Inventario. El inventario y monitoreo del estado de los glaciares y del ambiente periglacial **será realizado y de responsabilidad del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA)** con la coordinación de la autoridad nacional de aplicación de la presente ley.*

*Se dará intervención al Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto cuando se trate de zonas fronterizas pendientes de demarcación del límite internacional previo al registro del inventario.*

El IANIGLA por disposición transitoria (Artículo 15) de la Ley 26.639, creó el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución” (IANIGLA, 2010), en donde se desarrolla la estrategia para la realización del Inventario Nacional de Glaciares. La misma cuenta con tres niveles, de menor a mayor detalle de información. El objetivo del nivel 1 es el Inventario Nacional de Glaciares propiamente dicho, es decir la identificación y caracterización de todos los glaciares y crioformas del ambiente periglacial que actúan como reservas hídricas estratégicas en la República

Argentina. El nivel 2 tiene como objetivo conocer la variación temporal de los glaciares y crioformas a lo largo del país. Mientras que el objetivo del nivel 3 es establecer los factores ambientales que regulan el comportamiento y determinar la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina.

En el presente informe se describen los resultados del inventario de glaciares de las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote, que forma parte del Parque Nacional Los Glaciares (Ley N° 13.895), cuenca del río Santa Cruz ubicada en la provincia del mismo nombre, en la región de los Andes Patagónicos. Dadas las grandes dimensiones de la cuenca del Lago Argentino, se dividió en dos subcuencas por cuestiones operativas. En este inventario se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares y glaciares de escombros en las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote fue elaborado en junio de 2015 y aprobado según resolución N°RESOL-2018-142-APN-MAD del 8 de marzo de 2018, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

Agradecemos a la Estancia Nibepo Aike por su colaboración en el trabajo de campo en Lago Roca, Brazo Sur del Lago Argentino y Lago Frías, en particular a Adolfo Jansma. Muchas gracias a nuestra guía Jackie Spencer y al baqueano Denis “Lauchín” Delgado, que se ocuparon de la cabalgata y la logística para recorrer y mostrarnos los secretos del remoto Brazo Sur.

Para la navegación del Brazo Sur del Lago Argentino y del Lago Frías agradecemos a Glaciar Sur. En particular a Marcelo Jannes y Dafne Moreno, a los navegantes José Molina Aupi y Mauro Salcedo y a nuestro guía Juan Saldivar.

Gracias a Hielo y Aventura por facilitarnos las tareas en el Glaciar Perito Moreno, en particular a Flavio Renzacci por su tarea de coordinación. También agradecemos a Carlos Dominguez quién fue nuestro guía sobre el glaciar y nos permitió cumplir todos los objetivos del trabajo.

Finalmente agradecemos a la Administración de Parques Nacionales por facilitar nuestra tarea en el Parque Nacional Los Glaciares.

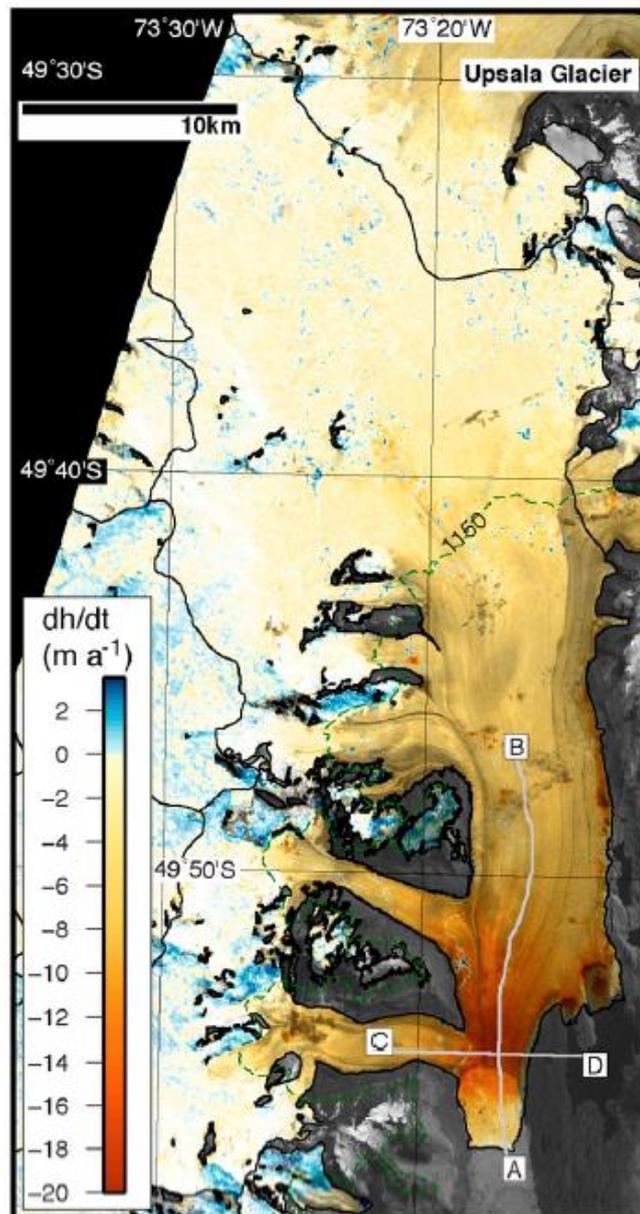
## 2. Antecedentes

A excepción de Antártida, entre 48°18' y 51°35'S se encuentra la mayor extensión de hielo (aproximadamente 12.500 km<sup>2</sup> y 360 km de largo) del hemisferio sur. Hacia el oeste de esta extensa masa de hielo, muchos glaciares llegan al nivel del mar en los fiordos chilenos. En el sector este, los glaciares más grandes tienen sus frentes en lagos a alturas que varían entre 185 y 285 msnm. Los cerros más altos superan los 3.000 msnm y la altura media de la cordillera es de unos 1350 msnm. De los 48 glaciares principales de esta zona, solo nueve corresponden a la vertiente atlántica y drenan a través del río Santa Cruz: Viedma, Upsala, Agassiz, Onelli, Spegazzini, Mayo, Ameghino, Moreno y Frías.

En las últimas décadas la gran mayoría de los glaciares de esta región han sufrido una pérdida sostenida de masa, siguiendo una tendencia que se observa a nivel global (UNEP-WGMS 2008, UNEP 2007). El área de esta extensa masa de hielo era de unos 13.500 km<sup>2</sup> en 1944-1945 y 13.000 km<sup>2</sup> en 1986 (Naruse y Aniya 1992). En términos de su espesor, estos glaciares han perdido en promedio casi un metro por año entre 2000 y 2012 (Figura 1, Willis *et al.* 2012). Debido a su gran superficie, el derretimiento de estos glaciares contribuyó al aumento del nivel medio del mar en unos 0,034 mm/año.

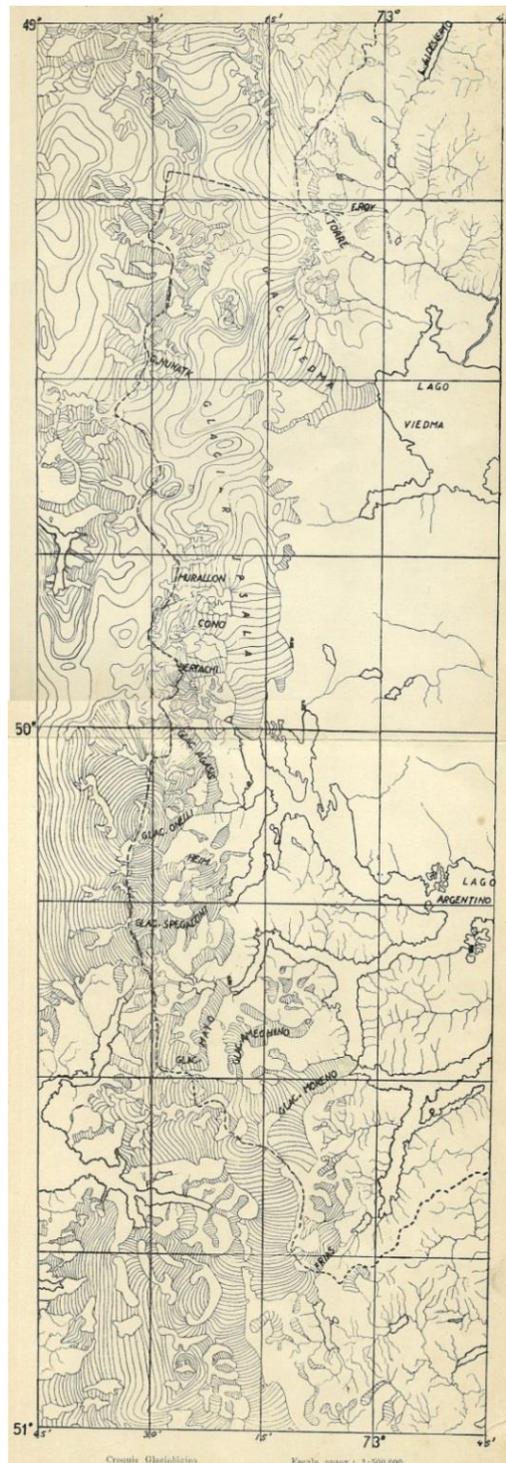
Climáticamente, la región donde se ubican los glaciares se encuentra dominada por los vientos del oeste que traen abundante precipitación y una casi permanente nubosidad, totalizando, en las partes más húmedas de la cordillera, varios metros de precipitación por año (Garreaud *et al.* 2013). El aumento de la temperatura y la reducción de las precipitaciones son consideradas las principales causas del retroceso observado de los glaciares.

El persistente mal tiempo de la zona constituye la mayor dificultad para realizar un mapeo completo de los glaciares. Desde el lanzamiento de los satélites Landsat sólo ha sido posible obtener un pequeño número de mosaicos de imágenes que cubren completamente la zona.



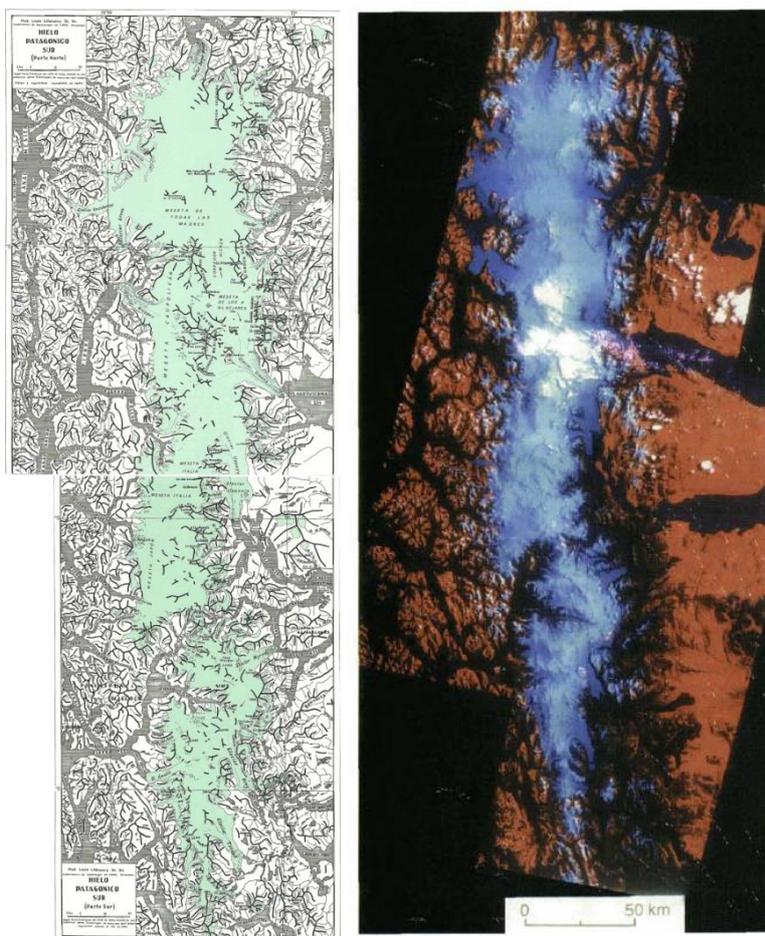
**Figura 1: Cambios de espesor en el Glaciar Upsala entre 2000 y 2012 (Willis et al. 2012). Notar que el frente del glaciar Upsala ha perdido casi 200 m de espesor en 12 años.**

El primer estudio relevante de los glaciares que drenan hacia la cuenca del río Santa Cruz fue publicado en 1960, acompañado por un mapa en escala 1:500 000 e incluyó 356 glaciares (Figura 2, Bertone 1960). Este es un trabajo pionero para el conocimiento de los glaciares de la región. La información se obtuvo de fotos oblicuas de Trimetrogon, apoyadas con abundante trabajo de campo. Los datos informados incluyen: nombre, la posición geográfica, clasificación morfológica y algunas observaciones adicionales (superficie, altura de línea de equilibrio, etc.). En 1967 se publicó una recopilación de inventarios de glaciares del hemisferio sur que incluyó un mapa en escala 1: 1.000.000, una descripción de los principales glaciares de la región, así como observaciones relativas a las fluctuaciones y la dinámica de ciertos glaciares en particular (Figura 2).



**Figura 2: Mapa publicado por el Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico en 1960.**

El primer inventario basado en un mosaico de imágenes satelitales Landsat de 1986 reportó un área total de 13.000 km<sup>2</sup> e identificó los 48 glaciares principales. En 1998 se publicó, como parte del inventario mundial de glaciares en base a imágenes satelitales, un estudio de los glaciares de la región (Figura 3). En este trabajo el glaciólogo L. Lliboutry incluye descripciones detalladas, actualizando los datos que ya había presentado en trabajos previos (Lliboutry 1998). En su conjunto estos trabajos introducen gran parte de la toponimia que se utiliza en la actualidad.



**Figura 3: Izquierda: mapa publicado por el Servicio Geológico de EEUU en 1998. Derecha imagen de 1986 utilizada en el primer inventario basado en sensores remotos.**

Trabajos más actuales han estudiado en detalle la mayoría de los grandes glaciares de la zona. A excepción del glaciar Perito Moreno y otros casos aislados, los glaciares de esta región han sufrido fuerte retroceso y adelgazamientos por pérdida de masa, jugando un rol muy importante en la pérdida total de masa de hielo glacial en Patagonia (Sugiyama et al. 2016). Además el número de glaciares de tipo *calving* (es decir, aquellos glaciares que terminan en cuerpos de agua y sufren desprendimientos de hielo en forma de témpanos) está aumentando debido a la formación de lagos proglaciales como consecuencia del fuerte retroceso glacial. Estudios más específicos basados en mediciones de velocidad del hielo y de presión del agua basal han enriquecido los conocimientos sobre la dinámica de este tipo de glaciares en la zona (Skvarca et al. 2003; Sugiyama et al. 2011).

### 3. Definiciones a los fines del Inventario

A los fines específicos y operativos del Inventario Nacional de Glaciares, el IANIGLA propuso en el documento: “**Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución**”, ([http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/fundamentos\\_cronograma\\_ejecucion.pdf](http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/fundamentos_cronograma_ejecucion.pdf) IANIGLA 2010) definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos de hielo a inventariar dentro del ambiente glacial y periglacial de Argentina. El objetivo de estas definiciones es aclarar las características básicas de los diferentes cuerpos identificados en las imágenes satelitales y los procesos que las originan, para que puedan ser reconocidos por los técnicos sin lugar a ambigüedades. Estos criterios han sido empleados en los inventarios de cuerpos de hielo para las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote.

En el territorio de la República Argentina podemos agrupar a las reservas hídricas estratégicas en estado sólido en dos grandes grupos: glaciares (descubiertos y cubiertos) y glaciares de escombros. Estos grandes grupos contienen, tanto en volumen como en superficie cubierta, las mayores reservas hídricas en estado sólido de la cordillera. No existe en la actualidad información precisa sobre la relevancia hidrológica de otras crioformas presentes en la Cordillera de los Andes, pero se estima que la misma es significativamente inferior comparada con los glaciares (descubiertos y cubiertos) y los glaciares de escombros. Por ello se ha propuesto estudiar, a través de las investigaciones relacionadas con el Nivel 3 del Inventario Nacional de Glaciares, el aporte de los suelos congelados y otras crioformas al caudal de los ríos andinos. En el caso de establecerse que la contribución hidrológica de otras crioformas sea relevante, las mismas serán incluidas en futuros inventarios.

Si bien las definiciones que aquí se presentan son más amplias que otras utilizadas para estudios específicos, las mismas concuerdan por un lado con los lineamientos generales dados por el WGMS (World Glacier Monitoring Service) y la IPA (International Permafrost Association), y además cumplen con la propiedad principal que debe tener un cuerpo de hielo para ser incluido en el Inventario, su condición de reserva de agua en estado sólido. Es respetando estos dos conceptos que se proponen las siguientes definiciones:

**Glaciar (descubierto y cubierto):** cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve, con o sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no (\*) y de un área mayor o igual que 0,01 km<sup>2</sup> (una hectárea).

(\*): Dentro de esta definición de glaciar se incluyen a **los manchones de nieve permanentes / glaciaretas** que como no tienen evidencia de movimiento, en general no se consideran glaciares. Sin embargo, dado que los manchones de nieve permanentes / glaciaretas son reservas significativas de agua en estado sólido, se han incluido en el inventario.

**Glaciar de escombros:** cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado

con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km<sup>2</sup> (una hectárea). Los glaciares de escombros dependen fuertemente del aporte de detritos, nieve y hielo.

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en *activos*, *inactivos* y *fósiles* (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35°) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (Trombotto 2002; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

***Glaciar cubierto con glaciar de escombros:*** en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciar de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciar) y el glaciar de escombros glaciogénico (ambiente periglacial) en base a sensores remotos, en particular si no se cuenta con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada glaciar cubierto con glaciar de escombros que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

Cabe aclarar que en el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo, son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (Schrott 1996; Arenson 2010; Azócar y Brenning 2010). Es precisamente el alto contenido de hielo el que favorece su desplazamiento pendiente abajo (Haeberli 1985; Barsch 1996). Este movimiento es el que genera los rasgos característicos superficiales (crestas y surcos, crestas laterales) que permiten identificar a los glaciares de escombros en las imágenes satelitales (Haeberli 1985; Barsch 1996; Ikeda y Matsuoka 2002). Por otra parte es importante aclarar que la distribución de hielo dentro de los glaciares de escombros no es homogénea, ya que existen variaciones tanto horizontales como verticales, de allí la importancia de identificar la totalidad del cuerpo (Barsch 1996; Arenson y Jakob 2010).

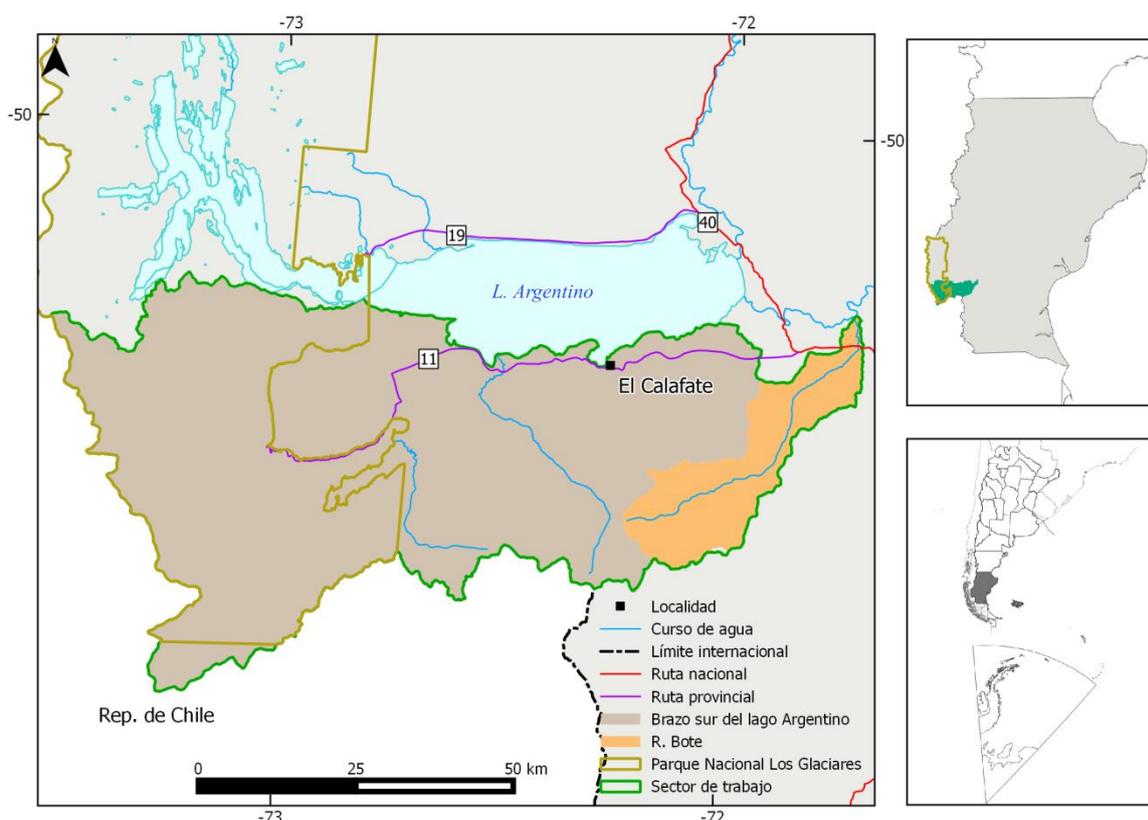
## 4. Materiales y métodos

La ejecución del Inventario Nacional de Glaciares sigue las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS 1967 y posteriores; UNESCO-IAHS 1970; Müller 1977) y su programa World Glacier Inventory (WGI), normativas del Programa Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) (Racoviteanu et al. 2009), la IPA (International Permafrost Association), y directivas empleadas en inventarios previos en los Andes Centrales y Patagónicos.

Toda la cuenca del río Santa Cruz abarca una superficie de unos 29.700 km<sup>2</sup> (SSRH), pero para el inventario de glaciares, se seleccionó la parte alta de la cuenca, que es donde se encuentran los glaciares. Esta porción de la cuenca abarca 12.417 km<sup>2</sup> y se divide en las siguientes subcuencas:

- **Subcuenca ríos de las Vueltas y Túnel (1.412 km<sup>2</sup>)**
- **Subcuenca Lago Viedma (3.299 km<sup>2</sup>)**
- **Subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino (3.288 km<sup>2</sup>)**
- **Subcuenca Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote (4.612 km<sup>2</sup>)**

El presente informe corresponde al Inventario Nacional de los glaciares ubicados en las subcuencas del Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote (Figura 4).



**Figura 4: Mapa de ubicación de las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote.**

#### **4.1. Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación**

La delimitación de cuencas hidrográficas en la cuenca del río Santa Cruz se realizó con información proveniente de un modelo digital de elevación (MDE). En este caso, se utilizó el *Global Digital Elevation Map ver. 2* (GDEM 2) que tiene cobertura global y está disponible en forma libre (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Este es un producto generado a partir de estereopares de la banda 3 del satélite ASTER, de múltiples escenas del período 2000-2010. Además, tiene resolución espacial de 30 m de y se encuentra en subescenas de 1° de latitud por 1° de longitud. El error horizontal promedio es de menor de 5 m y el error vertical promedio menor de 15 m (Tachikawal, *et al.* 2011). El procesamiento fue realizado en el módulo GRASS del programa libre QGIS (<http://www.qgis.org/>) en el que se delimitaron las cuencas y subcuencas. Cuando se observó un ajuste deficiente entre el MDE y la imagen de base, se procedió a editar y corregir manualmente la subcuencas en base a la imagen. La edición manual de las cuencas fue realizada empleando el programa libre KOSMO (<http://www.opengis.es/>).

#### **4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación**

Para realizar el inventario en la subcuenca Brazo Sur del Lago Argentino se utilizaron imágenes ASTER del satélite Terra y una escena LANDSAT 5 TM. La imagen LANDSAT también se utilizó como base de georreferenciación ya que han sido procesadas de manera uniforme a nivel global (Tucker, *et al.* 2004). Como apoyo, también se utilizaron otras imágenes incluyendo ALOS PRISM (Anexo 7.1.). Las imágenes de mayor resolución espacial fueron de particular importancia para distinguir glaciares de manchones de nieve, en base a la presencia de grietas y *séracs* así como para mapear el hielo cubierto y glaciares de escombros.

Los datos ASTER fueron obtenidos de la base de datos Earthexplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) por convenio con el programa *Global Land Ice Measurements from Space* (GLIMS, Raup, *et al.* 2007). Las imágenes LANDSAT son de acceso libre y fueron obtenidas de la misma base datos. Las imágenes ALOS PRISM fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina y por el Dr. Jinro Ukita, Niigata University, a través del proyecto JICA-IANIGLA “Desarrollo de un Inventario de glaciares en los Andes Argentinos empleando imágenes ALOS de alta resolución” dirigido por el Dr. M. Masiokas.

Para la selección de imágenes se buscaron las escenas disponibles hacia finales del año de balance de masa (Cogley et al 2011), que en la zona corresponde los meses Febrero-Abril y del período 2005-2010. Se priorizaron las escenas con la menor presencia de nieve estacional y con la menor cobertura de nubes posible, ya que ambos factores dificultan la identificación de los glaciares y manchones de nieve perennes objeto del inventario.

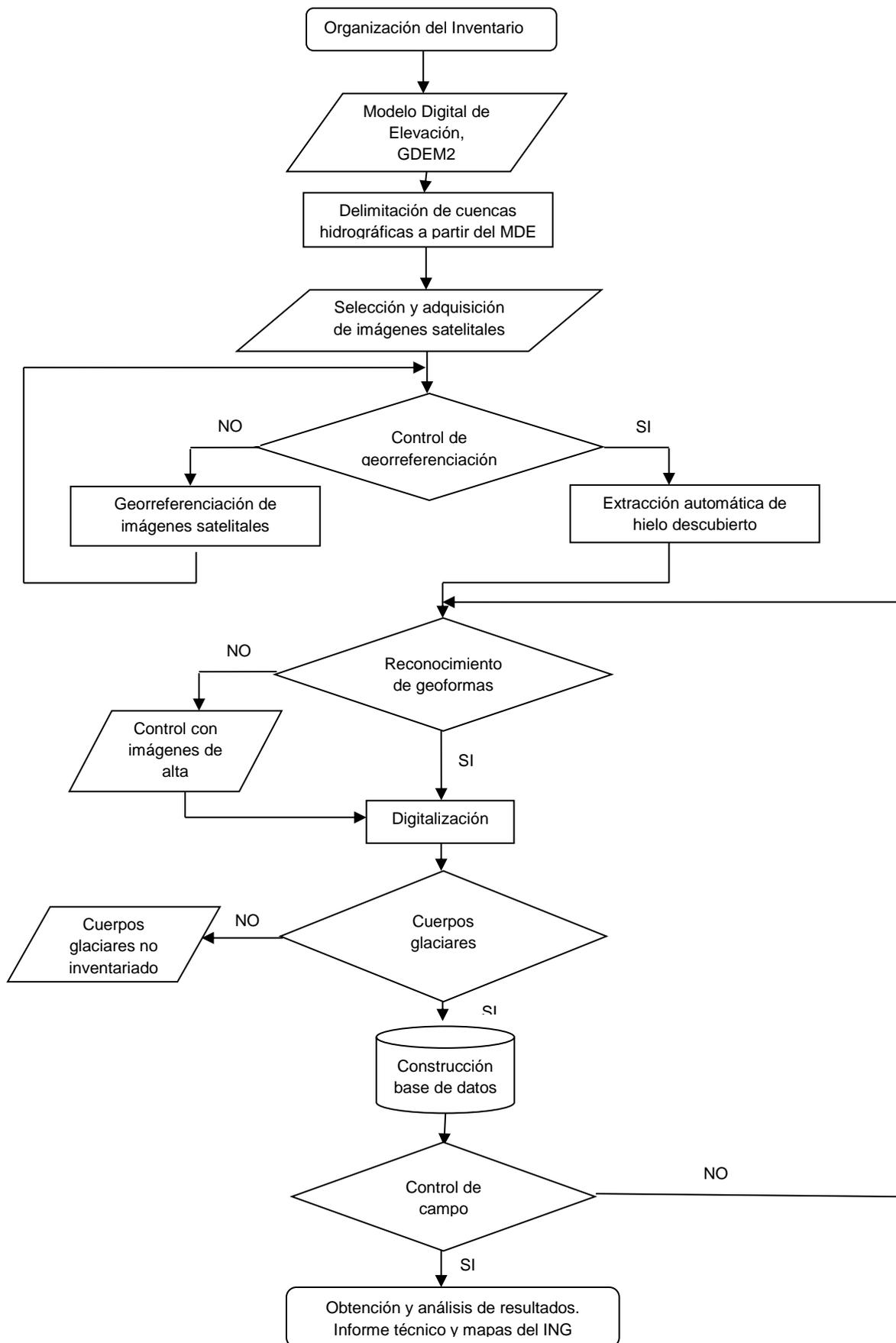
**Tabla 1: Imágenes utilizadas de base para el inventario de glaciares de las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote.**

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST_L1T_0032028179533	20 febrero 2005
Terra/ASTER	AST_L1T_0032028179516	20 febrero 2005
Landsat5/TM	LT52310952005050COA00	19 febrero 2005

En este trabajo las coordenadas están referidas al sistema de referencia *global World Geodetic System* 1984 (WGS84), y el sistema de proyección elegido es el UTM (Universal Transversal Mercator) 18 sur. Este sistema de referencia y proyección es utilizado internacionalmente, lo que permitirá comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con información de otros países. Las superficies están expresadas en kilómetros cuadrados y como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes están expresadas en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

Con respecto a la georreferenciación, se empleó como base una escena LANDSAT5 TM del 19/02/2005 (la misma que se usó como base en parte del inventario), luego se ajustó el mosaico de imágenes ASTER del 20/02/2005.

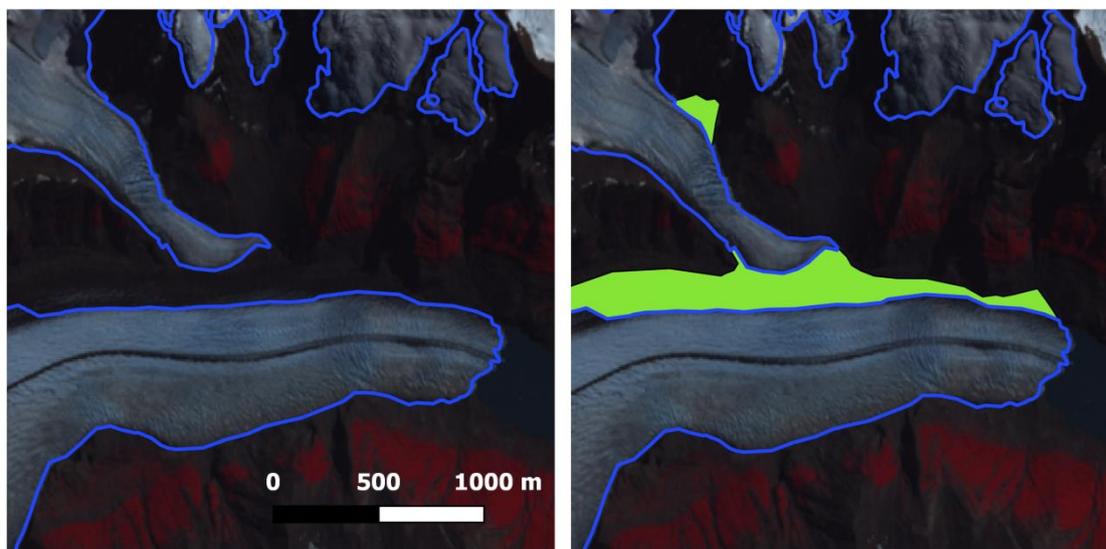
En la Figura 5 se presenta un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.



**Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología empleada.**

### 4.3. Delimitación del hielo descubierto

Una vez delimitadas las cuencas hidrográficas se procedió a hacer una clasificación automática del hielo descubierto basada en la aplicación de un cociente de bandas (e.g. bandas Landsat TM5/TM4 o ASTER NIR3/SWIR4) (Tabla 1), y posteriormente se aplica un umbral. El cociente de bandas es un método robusto para identificar superficies de hielo y nieve mediante imágenes multiespectrales (Paul 2000). Dicho cociente fue realizado con el programa SPRING provisto por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil, INPE. Luego se realizó una edición manual. En la se observa que la delimitación de hielo descubierto es precisa pero el hielo cubierto no es detectado y ciertos sectores en sombra son identificados como superficie de hielo/nieve (Figura 6). Todos estos errores fueron corregidos en la etapa de edición manual.



**Figura 6: Delimitación de hielo descubierto en el sector del glaciar Ameghino, subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote, obtenido a partir de un cociente de bandas 3/4 de la imagen ASTER 2005. El resultado (figura de la izquierda) requiere de edición posterior para incluir el hielo cubierto por detrito (mapeo en color verde de la figura de la derecha).**

### 4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo de glaciares cubiertos de detrito y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo un método robusto y sencillo (Stokes, *et al.* 2007) (6). En este sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo. Para ello, además de las imágenes empleadas como base de este inventario (Tabla 1), utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución, en este caso imágenes PRISM (ALOS) y SPOT5 HRG1 (ver Anexo 7.1.). La digitalización, al igual que en el caso de la edición de las subcuencas, fue realizada con el programa libre KOSMO.

#### 4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote incluye la identificación de cada uno de los glaciares, su clasificación morfológica, y parámetros morfométricos tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total (ver Anexo 7.3) La base de datos también se construyó con el programa libre KOSMO.

Para clasificar los glaciares se utilizaron normativas internacionales en uso (WGMS y GLIMS). La clasificación morfológica se basa en la forma y características propias de los cuerpos de hielo:

0. Incierto
1. Sábana de hielo continental
2. Campo de hielo
3. Calota de hielo
4. De descarga
5. De valle
6. De montaña
7. Glaciarete y/o manchón de nieve permanente
8. Barrera de hielo
9. Glaciar de escombros
10. Corriente de hielo

Más detalles sobre la clasificación de los cuerpos de hielo se encuentran en la página web [http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS\\_Glacier-Classification-Manual\\_V1\\_2005-02-10.pdf](http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf)

Según GLIMS un glaciar o masa de hielo perenne identificado por un único ID (código identificador), consiste en un cuerpo de hielo y nieve que se observa al final de la estación de ablación o en el caso de los glaciares tropicales cuando no hay nieve transitoria. Esto incluye como mínimo todos los tributarios y masas de hielo que contribuyen a la alimentación del glaciar principal, además de las partes cubiertas de detrito. Según estos lineamientos quedan excluidos los afloramientos rocosos y nunataks. Ver definición en:

[http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS\\_Analysis\\_Tutorial\\_a4.pdf](http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_a4.pdf).

El código internacional **ID\_GLIMS** de un glaciar es generado a partir de las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior del mismo. Cuando las longitudes corresponden al Oeste, las mismas son convertidas al Este mediante la adición de 360 grados ( $-69.232+360 = 290.768$ ). De esta manera se facilita el acceso de la información del inventario a un nivel internacional de referencia.

Hay que aclarar que en algunos casos las geoformas glaciarias descritas en este informe, pueden estar compuestas por secciones de más de un tipo de glaciar (por ejemplo descubierto, cubierto y de escombros) formando parte de una sola unidad glaciar, con un único ID. Por esta razón el número de glaciares no coincide estrictamente con el número de polígonos de hielo observados en el mapa.

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID\_local** que consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma (similar al ID\_GLIMS salvo que en el caso del ID\_local la longitud está referida al Oeste). Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud Sur.

La información de posición de cada geoforma viene dada por un código de cuenca, que provee información sobre la provincia, la cuenca y sub-cuencas donde se encuentra el cuerpo de hielo inventariado.

#### **4.6. Control de campo**

En general, los glaciares argentinos se ubican a lo largo de la Cordillera de los Andes, en lugares inaccesibles, a gran altura y en zonas carentes de infraestructura vial. Las campañas del nivel 1 del ING tienen como objetivo relevar y documentar la presencia y el estado de glaciares, particularmente de aquellos para los que no existe o se tiene muy poca información. Además de obtener datos en forma directa se busca generar un banco fotográfico que servirá para dar a conocer y monitorear un gran número de glaciares.

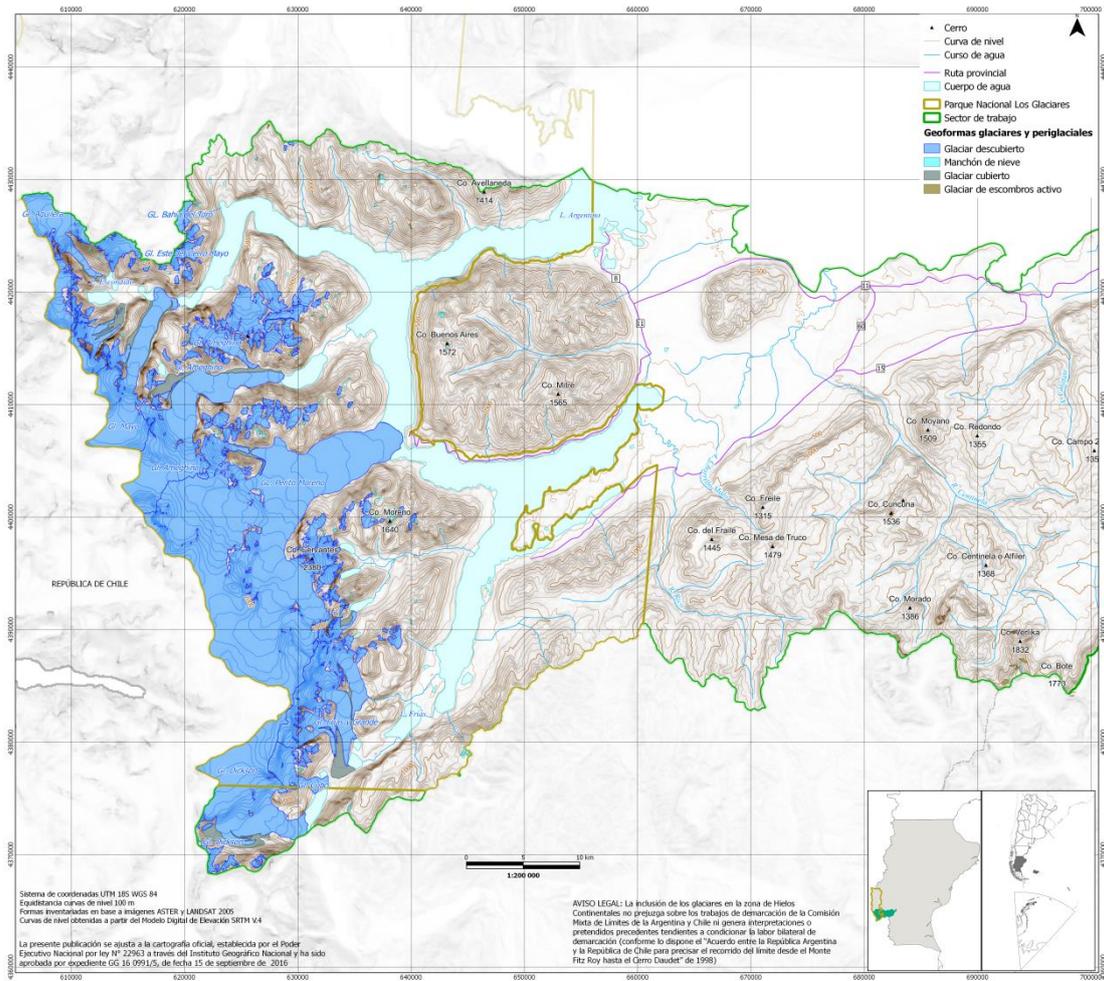
## 5. Resultados

### 5.1. Subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote

Las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote tienen una superficie de 4.612 km<sup>2</sup>, en las cuales se han inventariado un total de 221 glaciares que ocupan alrededor del 14% del área total de las subcuencas (611,89 km<sup>2</sup>, Figura 7). Los glaciares descubiertos representan el 96% de área de las geoformas mapeadas, mientras que los manchones de nieve el 1%, los glaciares cubiertos por detrito 3% y los glaciares de escombros apenas el 1% (Tabla 2 y Figura 8). Este gran predominio de los glaciares descubiertos se explica por el clima muy húmedo de la zona. La combinación de precipitaciones muy elevadas con una posición relativamente baja de la isoterma de 0°C definen una altitud de la línea de equilibrio de los glaciares (ELA) cercana a los 1.000-1.200 msnm. Con decenas de cerros de más de 2.000 msnm y dos con más de 3.000, las condiciones favorecen el desarrollo de los grandes glaciares de descarga pero también de un número importante de glaciares de valle.



**Detalle del hielo desprendido por *calving* del glaciar Perito Moreno.**



**Figura 7: Mapa del inventario de glaciares.**

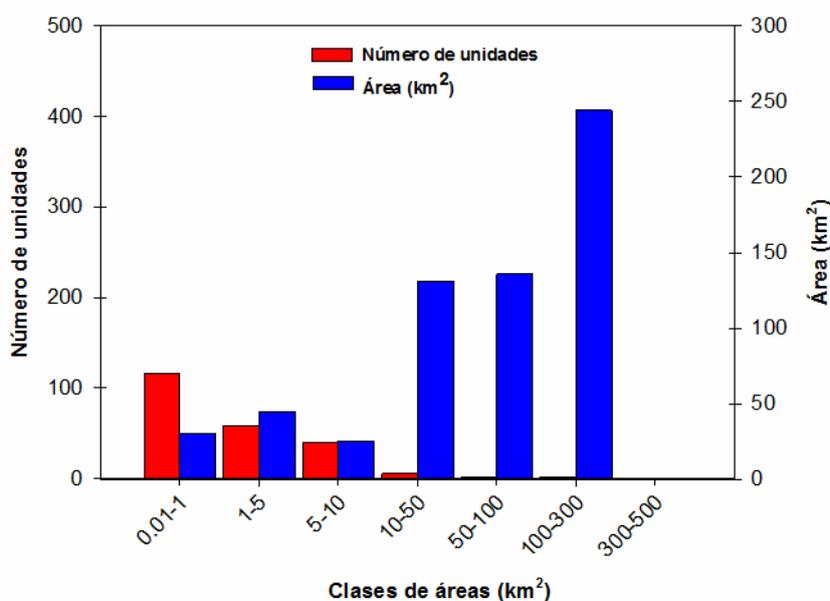
**Tabla 2: Área inventariada por tipo de geoforma.**

Tipo de geoforma inventariada	Área (km <sup>2</sup> )
Glaciar descubierto	585,22
Manchón de nieve/Glaciarete	4,49
Glaciar cubierto	21,68
Glaciar de escombros	0,49
<b>Total</b>	<b>611,88</b>



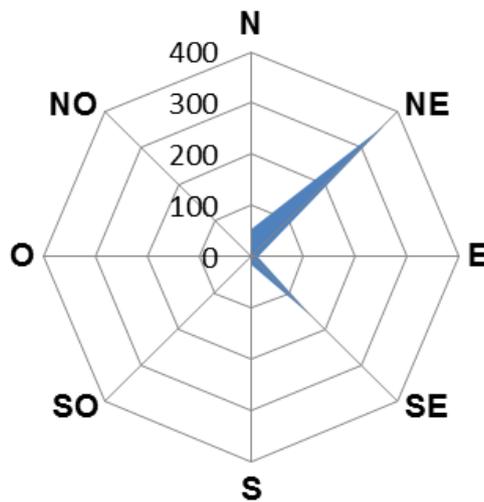
**Figura 8: Área total por tipo de geoforma.**

Como en muchos otros sectores de la cordillera, los resultados indican que los glaciares más grandes son en proporción los menos numerosos pero contienen la mayor parte de la superficie total englazada. Por ejemplo, sólo el glaciar Perito Moreno ocupa una superficie de 244 km<sup>2</sup>, que es casi la mitad de la superficie (40%) de todos los glaciares inventariados en la subcuenca del Brazo Sur del Lago Argentino (Figura 11). El segundo glaciar más grande de esta subcuenca es el Ameghino, con 75 km<sup>2</sup> y representando el 12% de superficie cubierta en esta subcuenca. Los glaciares más numerosos tienen un área de entre 0,01 y 5 km<sup>2</sup> pero proporcionalmente ocupan una menor superficie englazada que los grandes glaciares de la zona (Figura 9).



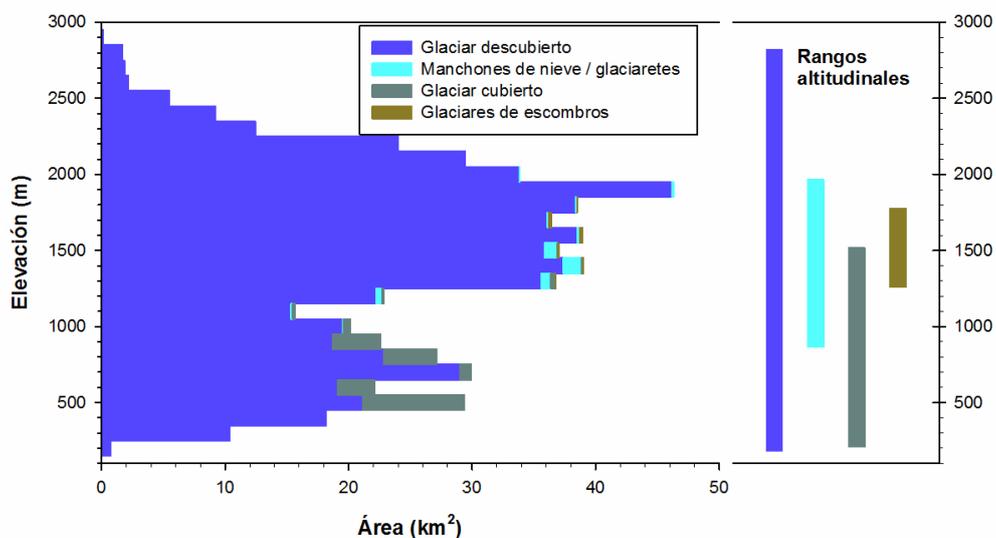
**Figura 9: Número de unidades por clase de área.**

La orientación de los glaciares en esta zona es predominante hacia el noreste y hacia el sureste (Figura 10). El glaciar de mayor superficie, el Perito Moreno, presenta una orientación hacia el noreste, lo que determina que la orientación dominante del hielo de la subcuenca sea en ese sentido.



**Figura 10: Orientación de los glaciares.**

La hipsometría es una representación de la distribución altitudinal del hielo en un área determinada. La Figura 11 indica la hipsometría de los distintos tipos de geformas mapeadas en el inventario de las subcuenchas estudiadas. En esta zona los glaciares descubiertos ocupan todo un rango de elevaciones que va desde cerca de 2.820 msnm hasta el nivel del Lago Argentino a 180 msnm. Los manchones de nieve tienen una distribución mucho más acotada que se concentra entre los 870 y los 1.970 msnm. El hielo cubierto se ubica mayormente entre los 200 y 1.500 msnm y se origina en la cobertura más o menos intensa de detritos que se observa en la porción terminal de algunos glaciares. Los glaciares de escombros identificados en esta cuenca se distribuyen entre los 1.260 y 1.780 msnm.



**Figura 11: Hipsometría de los glaciares.**

La hipsometría permite anticipar, de modo preliminar, la sensibilidad de los glaciares a posibles cambios en la temperatura. La isoterma promedio de 0°C en la zona se encuentra cerca de los 1.050 msnm, dentro del rango de elevaciones donde se concentra la mayor parte de los glaciares descubiertos. Por lo tanto, cualquier ascenso en las temperaturas implicará un importante aumento en el derretimiento del hielo glacial. Debe destacarse que en los grandes glaciares de desprendimiento (por ejemplo el Perito Moreno), los procesos dinámicos del hielo, como la velocidad del flujo del mismo, son muy relevantes para explicar su comportamiento. En este sentido un aumento de la temperatura puede contribuir, de manera indirecta, a un proceso de aceleración de flujo y de desprendimiento de témpanos, como fue estudiado en el glaciar Upsala (Sakakibara *et al.* 2013).

**Tabla 3: Alturas máximas y mínimas por tipo de geoforma.**

Tipo de glaciar	Altura mínima (msnm)	Altura máxima (msnm)
Glaciar descubierto	179	2.823
Manchón de nieve/Glaciarete	866	1.966
Glaciar cubierto	211	1.516
Glaciar de escombros	1.259	1.777

## 5.2. Control de campo

Entre los días 22 y 27 de febrero de 2017 se realizaron tareas de control de campo en la subcuenca Brazo Sur del Lago Argentino, cuenca del río Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz. En total se observaron 34 geoformas, la mayoría correspondiente a grandes glaciares de valle y glaciares de montaña. También se identificaron varios manchones de nieve. Para mayor detalle ver Anexo 7.2. donde se describen las geoformas observadas y se pueden ver fotos del trabajo de campo.

## 6. Bibliografía

Arenson LU y Jakob M (2010) The significance of rock glaciers in the dry Andes – A discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). *Permafr. Periglac. Process.* **21**(3), 282-285 (doi:10.1002/ppp.693).

Azócar GF y Brenning A (2010) Hydrological and geomorphological significance of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°–33°S). *Permafr. Periglac. Process.* **21**(1), 42-53 (doi:10.1002/ppp.669).

Barsch D (1996) *Rock Glaciers*. Springer, Berlin.

Bertone, M. 1960. Inventario de los glaciares existentes en la vertiente Argentina entre los paralelos 47°30' y 51° S. Buenos Aires, Argentina, Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico. 103.

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

Cogley, J.G., Hock, R., Rasmussen, L.A., Arendt, A.A., Bauder, A., Braithwaite, R.J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson L. y Zemp, M. 2011. Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.

Farr, T. G., P. A. Rose, E. Caro, R. Crippen y R. Duren. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45. 33.

Garreaud R, Lopez P, Minvielle M y Rojas M (2013) Large-Scale Control on the Patagonian Climate. *J. Climate* 26(1), 215-230 (doi:10.1175/JCLI-D-12-00001.1).

Haerberli W (1985) Creep of Mountain Permafrost: Internal Structure and Flow of Alpine Rock Glaciers. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich*, 77, Zürich, Switzerland.

IANIGLA (2010) *Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución*. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico – CONICET, Mendoza.

Ikeda, A (2004) Rock glacier dynamics near the lower limit of mountain permafrost in the Swiss Alps. University of Tsukuba, Tsukuba, Japan.

Lliboutry L (1998) Glaciers of Chile and Argentina. Williams RS and Ferrigno JG eds. *Satellite image atlas of glaciers of the world. South America*. USGS, Denver, USA. 109-206 pp.

- Mercer, J. H. 1976. *Southern Hemisphere glacier atlas*. Massachusetts, American Geographical Society. Earth Science Laboratory. United States Army, Natick Laboratories. 325.
- Müller, F., T. Caflisch y G. Müller. 1978. *Instructions for compilation and assemblage of data for a World glacier inventory Supplement with maps, TTS/WGI*. TTS/WGI, Department of Geography, ETH.
- Naruse, R. y M. Aniya. 1992. Outline of glacier research project in Patagonia, 1990. *Bulletin of Glacier Research*, 10. 31-38.
- Paul, F. 2000. Evaluation of different methods for glacier mapping using Landsat TM. In *Proceedings de EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow. Desden, Deuschland*, 239-245.
- Racoviteanu, A. E., F. Paul, B. Raup, S. J. S. Khalsa y R. Armstrong. 2009. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global LandIce Measurements from Space (GLIMS) workshop, Boulder, Colorado, USA. *Annals of Glaciology*, 50(53). 53-69.
- Raup, B., A. E. Racoviteanu, S. J. Singh Khalsa, C. Helm, R. Armstrong y Y. Arnaud. 2007. The GLIMS geospatial glacier database: A new tool for studying glacier change. *Global and Planetary Change*, 56. 101-110.
- Sakakibara, D., S. Sugiyama, T. Sawagaki, S. Marinsek y P. Skvarca. 2013. Rapid retreat, acceleration and thinning of Glacier Upsala, Southern Patagonia Icefield, initiated in 2008. *Annals of Glaciology*, 54(63). 131-138.
- Schrott L (1996) *Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina)*.
- Skvarca, P., H. De Angelis, R. Naruse, C. R. Warren y M. Aniya. 2002. Calving rates in freshwater: new data from southern Patagonia. *Annals of Glaciology*, 34. 379-384.
- Skvarca, P., Raup, B. and De Angelis, H. 2003. Recent behaviour of Glacier Upsala, a fast-flowing calving glacier in Lago Argentino, southern Patagonia *Annals of Glaciology* 36, 184-188.
- Stokes, C. R., V. Popovnin, A. Aleynikov, S. D. Gurney y M. Shahgedanova. 2007. Recent glacier retreat in the Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra-/proglacial lake development. *Annals of Glaciology*, 46(1). 195-203.
- Sugiyama, S., Skvarca, P., Naito, N, Enomoto, H., Tsutaki, S., Tone, K., Marinsek, S. and Aniya, M. 2011. Ice speed of a calving glacier modulated by small fluctuations in basal water pressure. *Nature Geoscience*. DOI: 10.1038/NGEO1218
- Sugiyama, S., M. Minowa, D. Sakakibara, P. Skvarca, T. Sawagaki, Y. Ohashi, N. Naito, and K. Chikita 2016. Thermal structure of proglacial lakes in Patagonia, *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 121, 2270–2286, doi:10.1002/ 016JF004084.
- Tachikawal, T., M. Hato, M. Kaku y A. Iwakashi. 2011. Characteristics of Aster GDEM version 2. In *Proceedings de International Goscience and Remote Sensing Symposium. Vancouver, Canada*, 4.

Trombotto, D (2002) El ambiente criogénico actual y el paleopermafrost en el extremo austral de América del Sur. Trombotto, D. y Villalba, R. (Ed.). *Ianigla, 30 años de investigación básica y aplicada en Ciencias Ambientales*. IANIGLA-CONICET, 65-69

Tucker, C. J., D. M. Grant y J. D. Dystra. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrametric Engineering & Remote Sensing*, 70(3). 313-322.

UNEP-WGMS. 2008. *Global glacier changes: facts and figures*. Zurich, Switzerland, UNEP-WGMS.

UNEP. 2007. *Global outlook for ice and snow*. Nairobi, UNEP. 238.

UNESCO-IASH. 1970. *Perennial ice and snow masses. A guide for compilation and assemblage of data for a world inventory*. France, UNESCO. 56.

WGMS. 1967. *Fluctuations of glaciers 1959-1965, Vol. I*. Paris, IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO. 52.

Willis, M. J., A. K. Melkonian, M. E. Pritchard y A. Rivera. 2012. Ice loss from the Southern Patagonian Ice Field, South America, between 2000 and 2012. *Geophysical Research Letters*, 39(17). 6.

## 7. Anexos

### 7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de glaciares

Se presentan las tablas, ordenadas por satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote, cuenca del río Santa Cruz.

Las imágenes que se utilizaron como base del inventario, fueron seleccionadas teniendo en cuenta aquéllas de fechas más recientes, con cobertura completa de la subcuenca, que tuvieran poca cobertura de nieve estacional (meses de ablación desde febrero a abril para estas latitudes) y ausencia de nubes.

El resto de las imágenes se seleccionaron teniendo en cuenta diversos objetivos:

- Como base de georreferenciación, se emplearon imágenes del satélite Landsat.
- Para identificar manchones de nieve perenne se emplearon otras imágenes dentro del período de referencia 2005-2010.
- Como ayuda para la interpretación y digitalización del hielo cubierto y glaciares de escombros, se emplearon imágenes de sensores de alta resolución.

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: **TM** (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

Proveedor: USGS <http://earthexplorer.usgs.gov/>

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52310952005050COA00	19 febrero 2005	Base inventario y base de georreferenciación

Satélite: **Terra**

Sensor: **ASTER**

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: USGS <http://glovis.usgs.gov/> y <http://earthexplorer.usgs.gov/>, por convenio del IANIGLA-CONICET a través del programa GLIMS.

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST_L1T_0032028179533	20 febrero 2005	Base inventario
AST_L1T_0032028179516	20 febrero 2005	Base inventario

Satélite: **ALOS** (Advanced Land Observing Satellite)

Sensor: **PRISM** (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)

Resolución espacial: 2,5 m

Proveedor: CONAE y JAXA (Japón) a través del proyecto JICA-IANIGLA-CONICET “Desarrollo de un inventario de glaciares en los Andes Argentinos empleando imágenes ALOS de alta resolución” dirigido por el Dr Jinro Ukita (JICA) y el Dr. Mariano Masiokas (IANIGLA).

<b>ID imagen</b>	<b>Fecha</b>	<b>Objetivo</b>
ALPSMN116044625	29 marzo 2008	Manchones de nieve y apoyo para delimitación de hielo cubierto GE
ALPSMN116044620	29 marzo 2008	Manchones de nieve y apoyo para delimitación de hielo cubierto GE
ALPSMN116044615	29 marzo 2008	Manchones de nieve y apoyo para delimitación de hielo cubierto GE
ALPSMN116044610	29 marzo 2008	Manchones de nieve y apoyo para delimitación de hielo cubierto GE

Satélite: **SPOT** (Satellites Pour l'Observation de la Terre)

Sensor: 5 HRG1

Resolución espacial: 5 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

<b>ID imagen</b>	<b>Fecha</b>	<b>Objetivo</b>
5 681-453 14/04/07 13:43:56 1 A	07 abril 20014	Apoyo para delimitación de hielo cubierto GE

## **7.2. Control de campo**

### **7.2.1 Objetivos**

Entre los días 22 y 27 de febrero de 2017 se realizaron tareas de control de campo en la subcuenca Brazo Sur del Lago Argentino, cuenca del río Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz.

Los objetivos de la campaña fueron:

- Identificar en el campo las geoformas inventariadas en gabinete a través de imágenes satelitales
- Verificar la clasificación de glaciares realizada
- Tomar fotografías de las diferentes geoformas
- Tomar puntos y tracks con navegador GPS

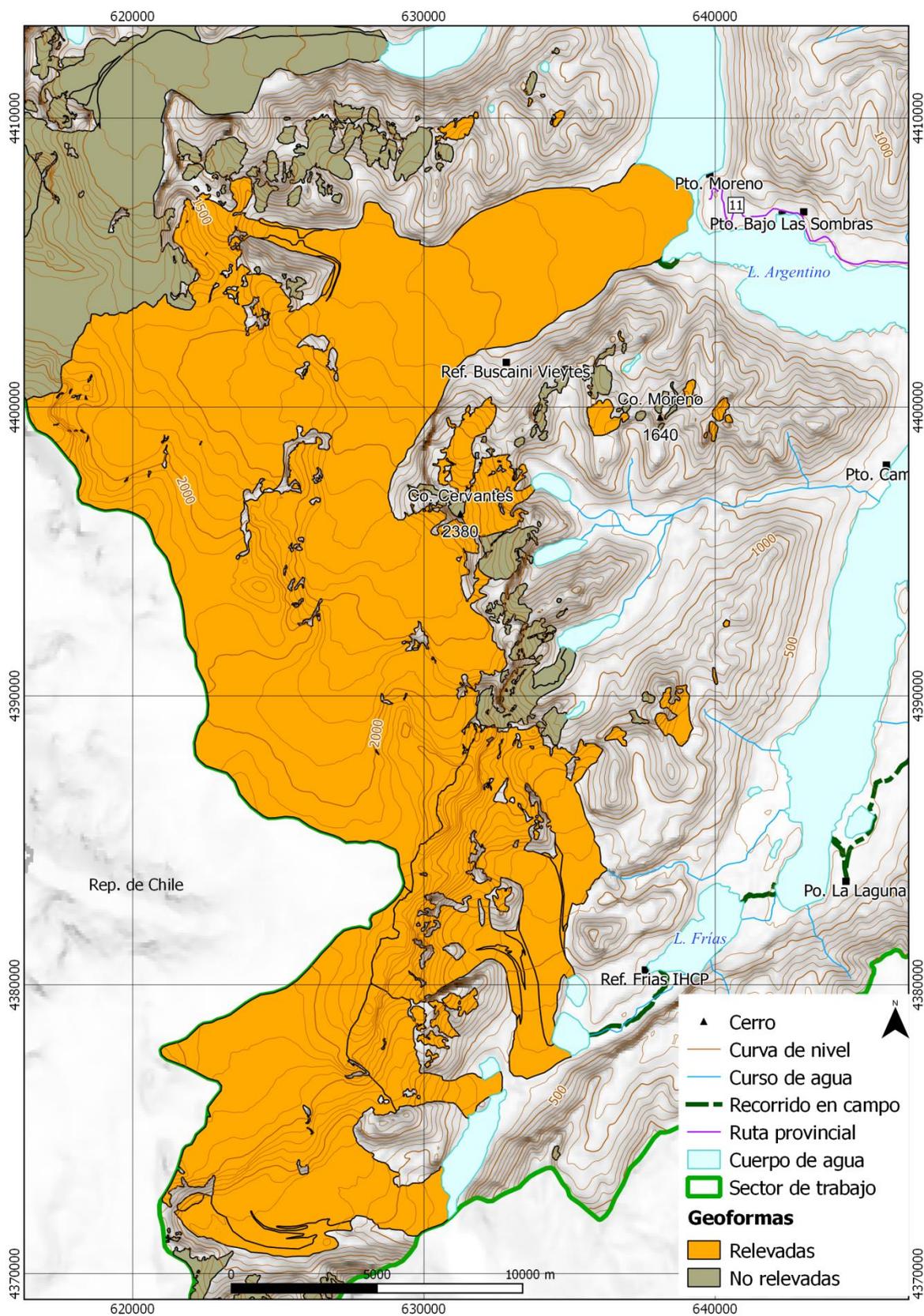
### **7.2.2 Logística**

El equipo de trabajo contó con dos investigadores del Inventario Nacional de Glaciares, Lucas Ruiz y Pierre Pitte. El día 22 se realizó un transfer desde El Calafate hasta la Estancia Nibepo Aike (56 km, RP 15) que se encuentra sobre el Brazo Sur del Lago Argentino. El día 23 las lluvias persistentes impidieron realizar el ascenso al Cerro de los Cristales al sur de la estancia, pero el día 24 se inició la travesía a caballo hasta el puesto La Laguna, al sur de la laguna 3 de Abril (17 km). El día 25 se hizo la aproximación a pie hasta un embarcadero para cruzar el Brazo Sur del Lago Argentino (2.6 km, empresa Glaciar Sur). Luego se recorrió a pie el tramo entre el Brazo Sur y el Lago Frías (1.3 km), que fue navegado hasta el Refugio Frías del IHCP (3.8 km, empresa Glaciar Sur). Desde allí se realizó el tramo a pie entre el Refugio Frías y el glaciar Frías (3.8 km). El mismo día 25 se regresó hasta el puesto La Laguna y el día 26 se hizo la cabalgata de regreso a la Estancia Nibepo Aike y el transfer a El Calafate. El día 27 se hizo el trayecto en vehículo hasta puerto Bajo Las Sombras, la navegación en el Brazo Rico y el minitreking (empresa Hielo y Aventura) sobre el glaciar Perito Moreno, regresando el mismo día a El Calafate.

El clima del verano 2017 en los Andes del Patagonia sur fue particularmente inestable, con muchos días nublados y con precipitaciones (lluvia y nieve). Estas no fueron condiciones favorables para la adquisición de fotos de terreno para validación del inventario. No obstante, las observaciones de las geoformas mapeadas 12 años después de la imagen de referencia (19 de febrero 2005) es una garantía de que se trata de cuerpos de hielo y nieve perennes.

## 7.2.3 Resultados

### Sector Brazo Rico, Canal de los Témpanos y Brazo Sur del Lago Argentino

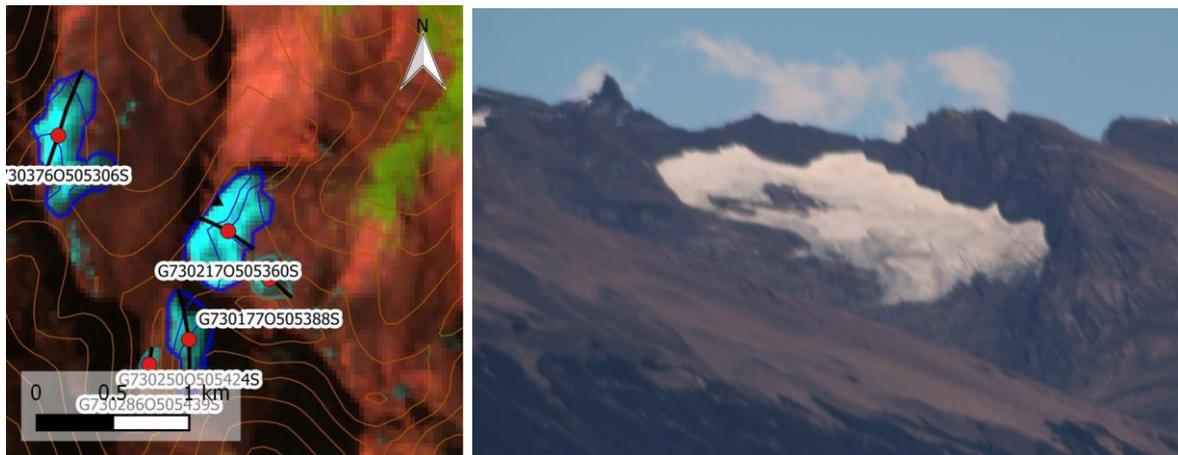




El Glaciar Perito Moreno es uno de los más accesibles del país y recibe cientos de visitantes diarios durante la temporada.

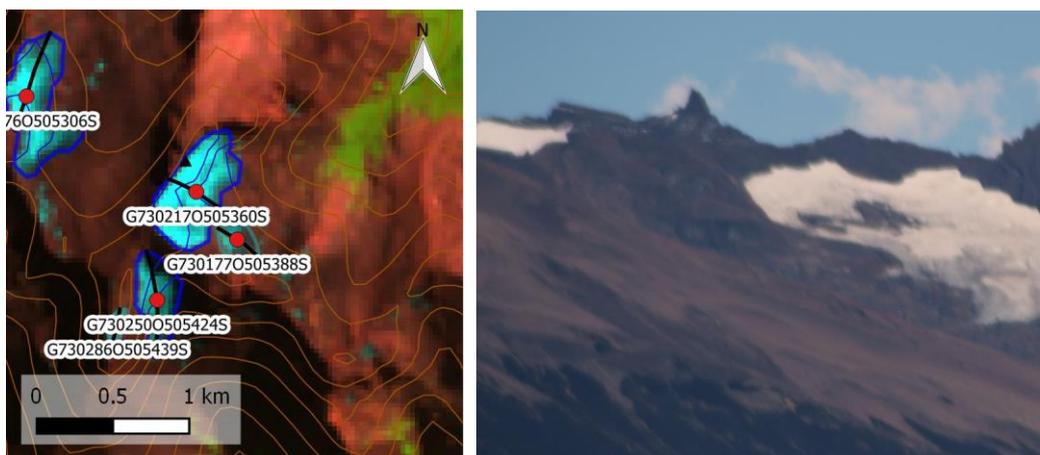
**Geoforma G730217O505360S**

Glaciar de circo en el Cordón del Cerro Perito Moreno.



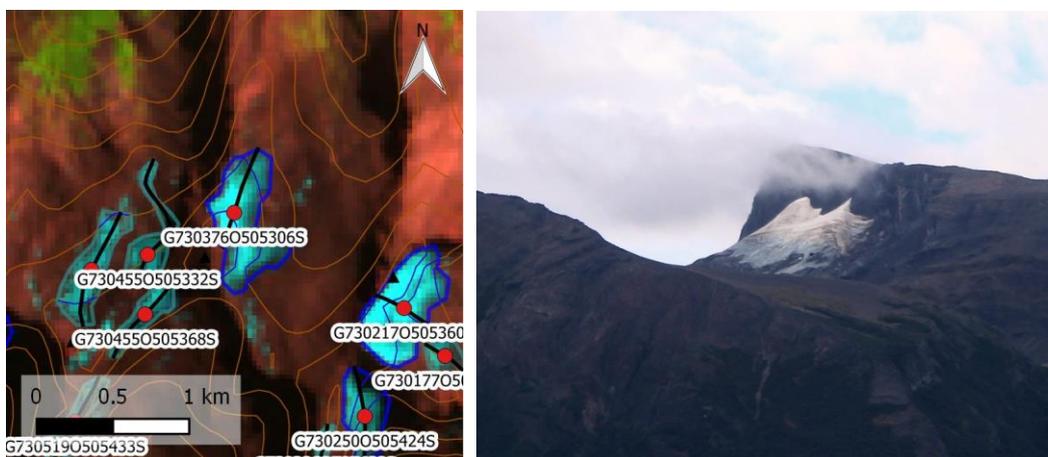
**Geoforma G730177O505388S**

Manchón de nieve en el Cordón del Cerro Perito Moreno.



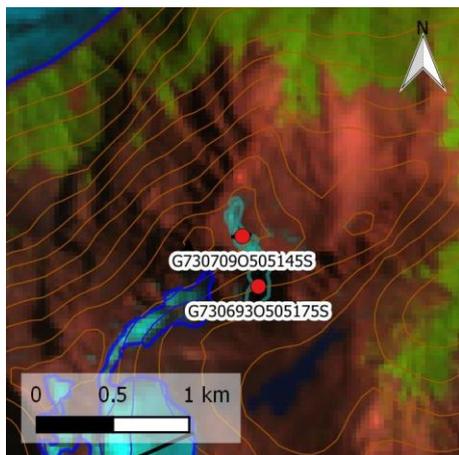
**Geoforma G730376O505306S**

Glaciar de nicho en el Cordón del Cerro Perito Moreno.



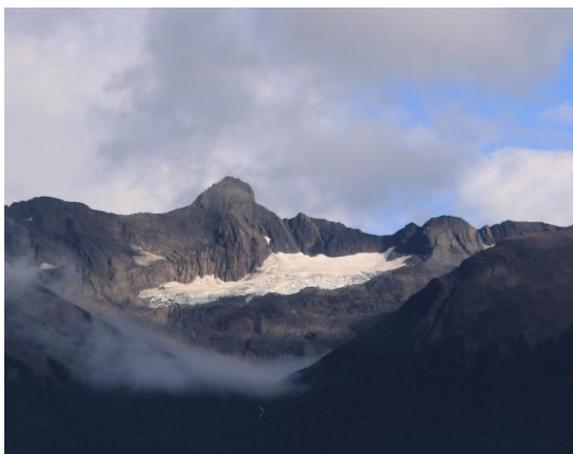
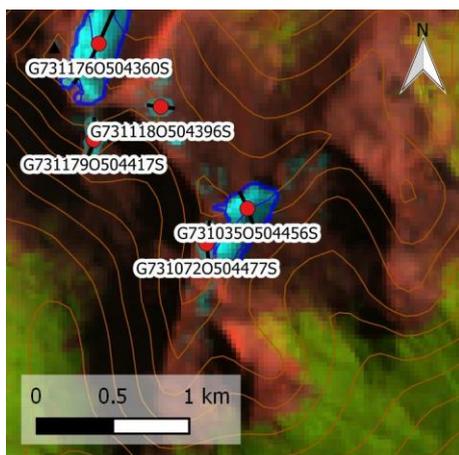
### **Geoforma G730709O505145S**

Manchón de nieve al pie del Cerro Perito Moreno.



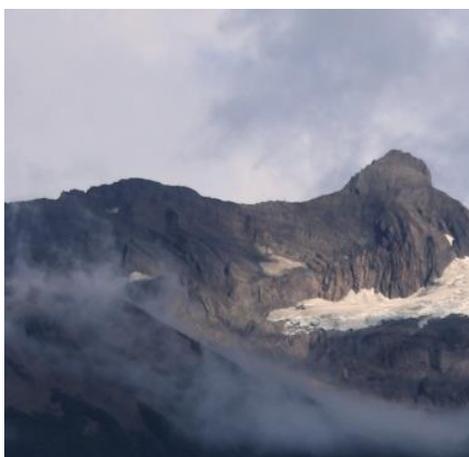
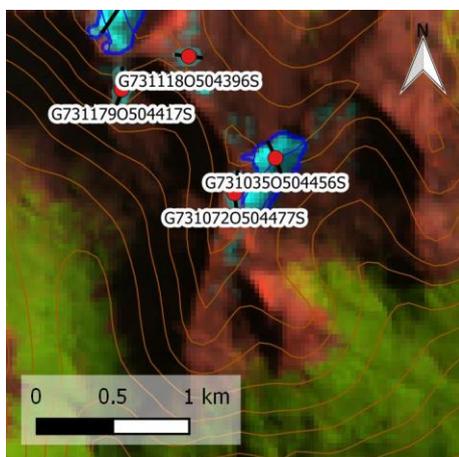
### **Geoforma G731035O504456S**

Glaciar de nicho en un contrafuerte del Cerro Hauthal.



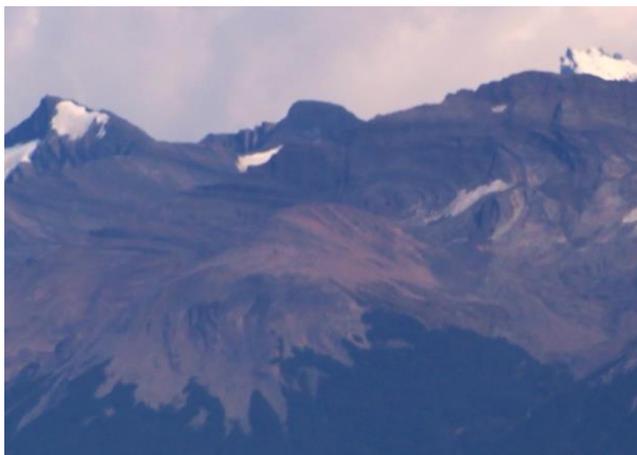
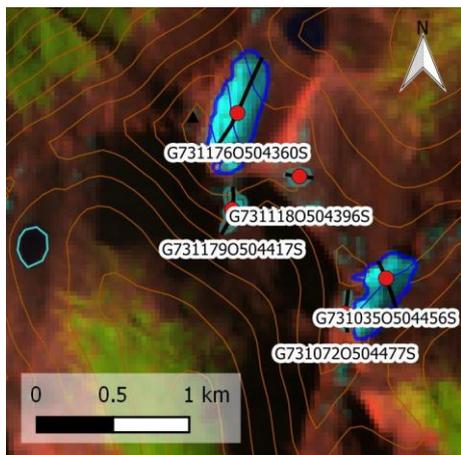
### **Geoforma G731072O504477S**

Manchón de nieve en un contrafuerte del Cerro Hauthal.



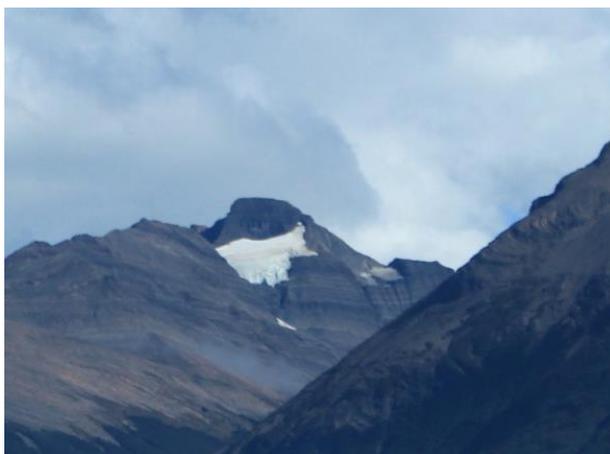
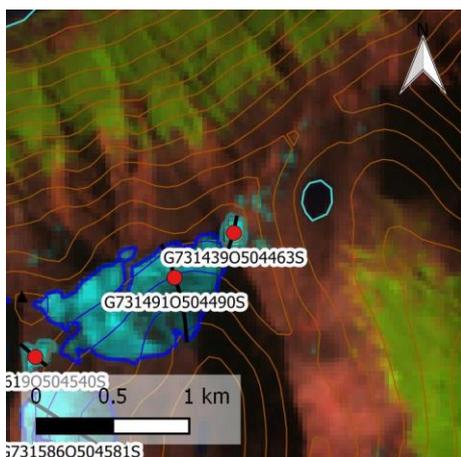
### **Geoforma G731179O504417**

Manchón de nieve en la cara sur del Cerro Hauthal.



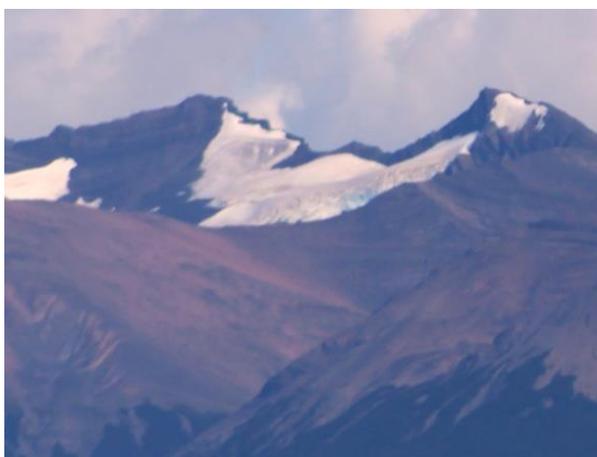
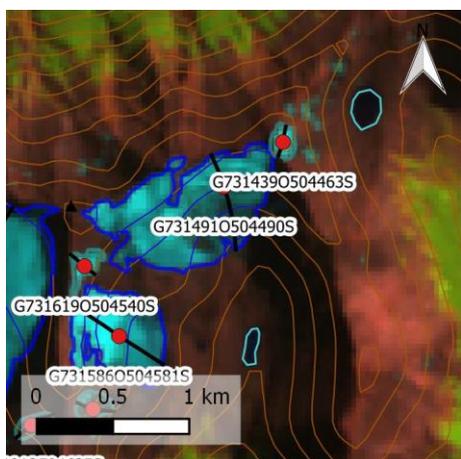
### **Geoforma G731439O504463S**

Glaciar de nicho entre los Cerros F. Reichert y Hauthal.



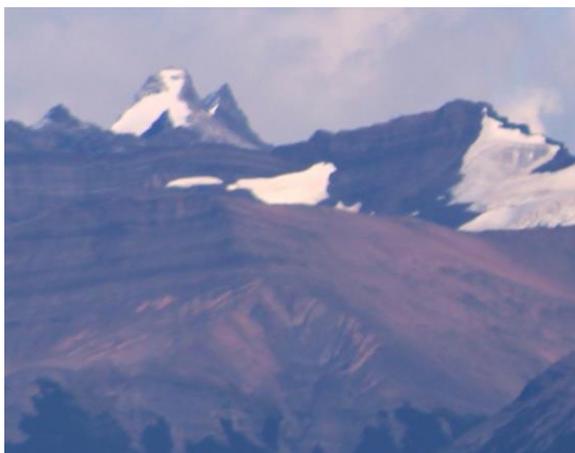
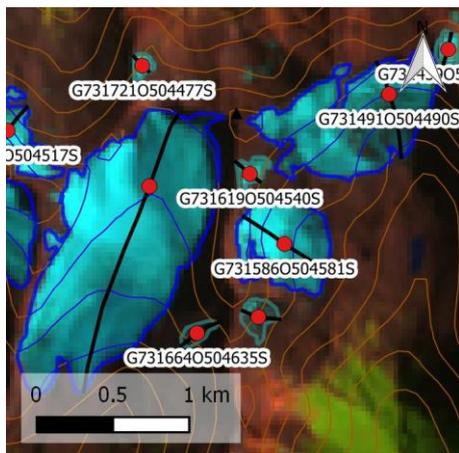
### **Geoforma G731179O504417**

Glaciar de circo en la cara sur del Cerro F. Reichert.



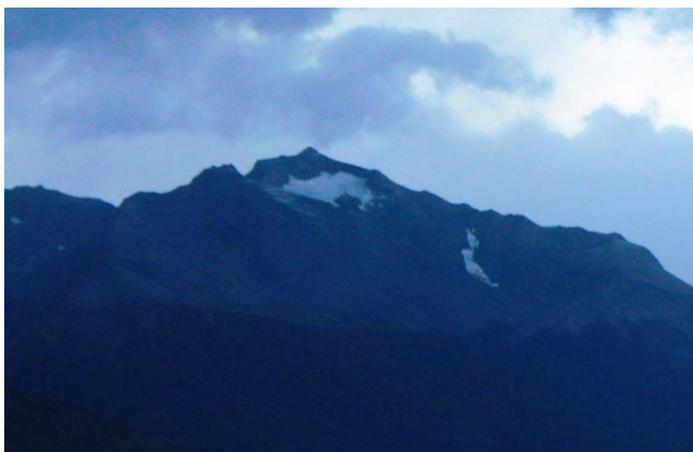
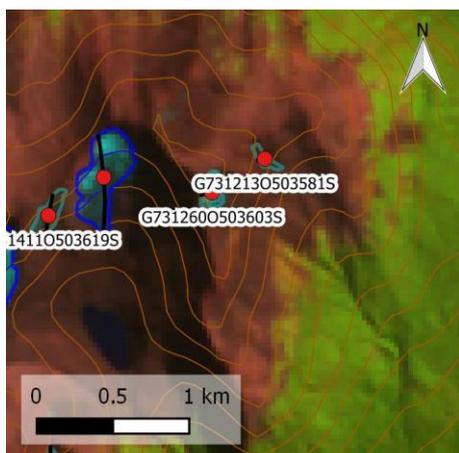
### **Geoforma G731619O504540S**

Manchón de nieve en el Cerro F. Reichert.



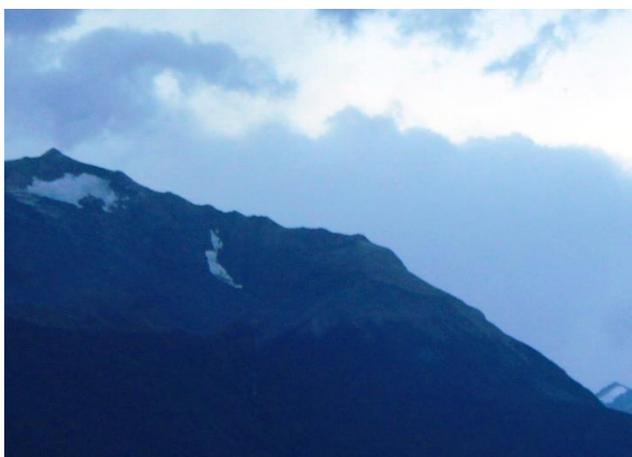
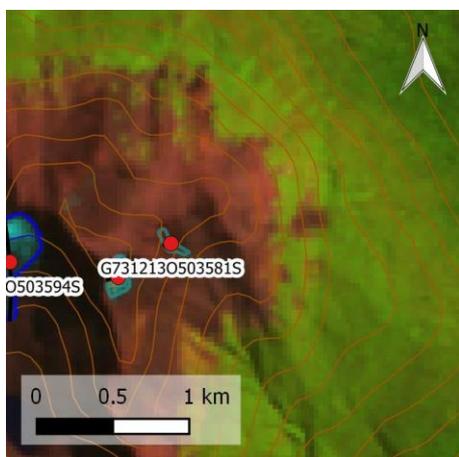
### **Geoforma G731260O503603S**

Glaciar de nicho en el Cordón del Cerro Negro, al norte del glaciar Ameghino.



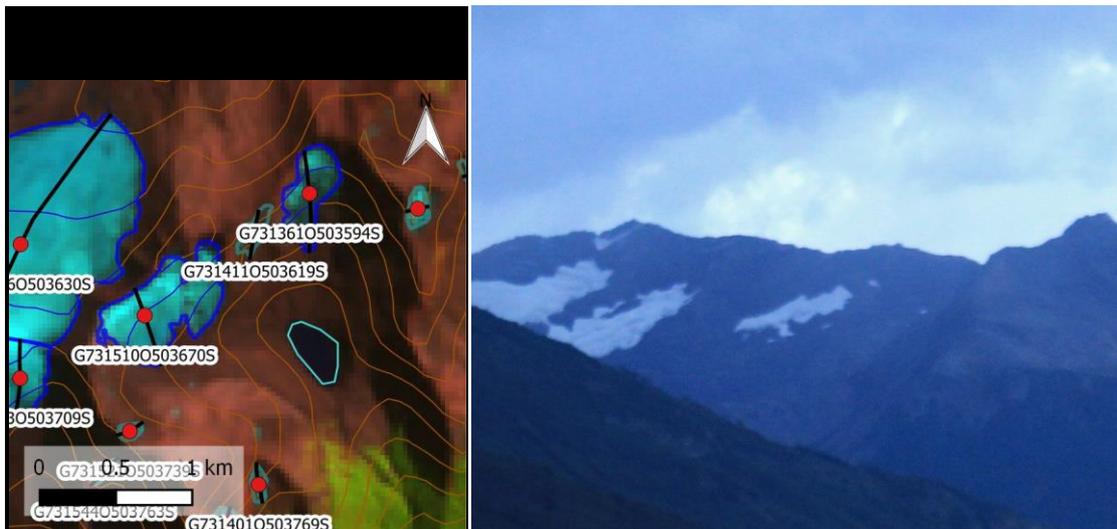
### **Geoforma G731213O503581S**

Manchón de nieve en el Cordón del Cerro Negro, al norte del glaciar Ameghino.



### **Geoforma G7314110203619S**

Manchón de nieve en el Cordón del Cerro Negro, al norte del glaciar Ameghino.



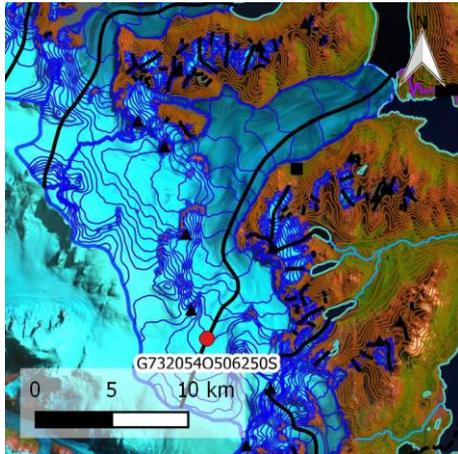
### **Geoforma G7315100503670S**

Glaciar de circo en el Cordón del Cerro Negro, al norte del glaciar Ameghino.



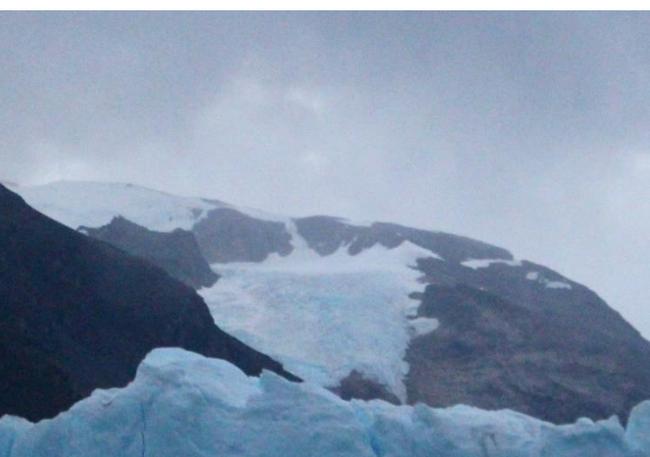
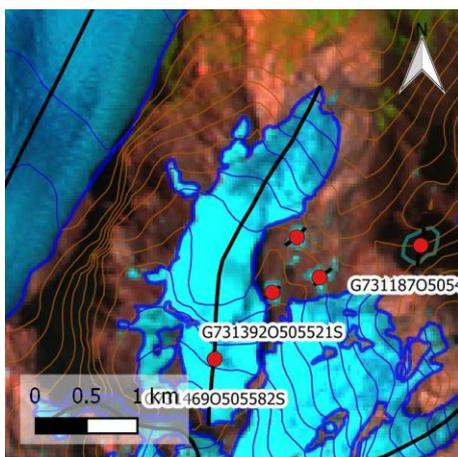
**Geoforma G7320540506250S**

Glaciar Perito Moreno, de descarga y con frente con desprendimiento de témpanos.



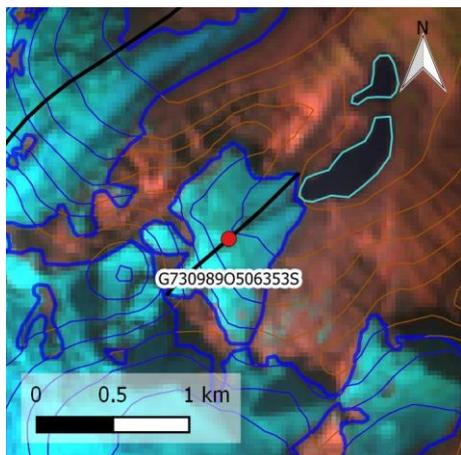
**Geoforma G7314690505582S**

Glaciar de valle en la cara norte del Cerro Cervantes.



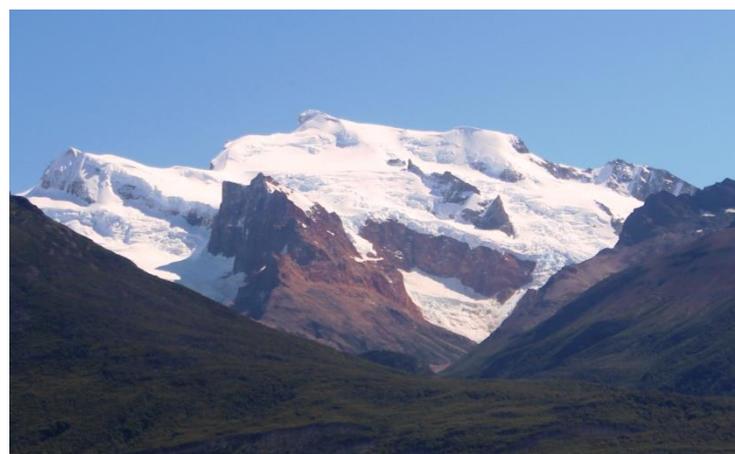
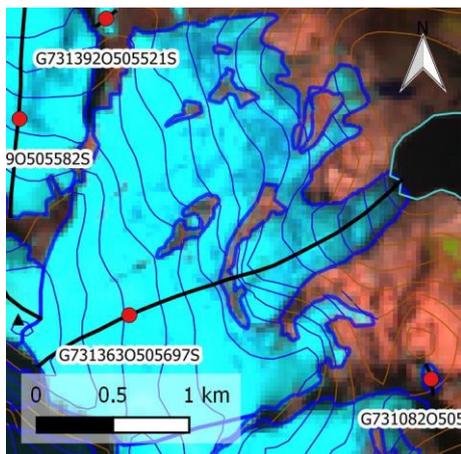
**Geoforma G712170506318S**

Glaciar de circo en el valle del río Camiseta.



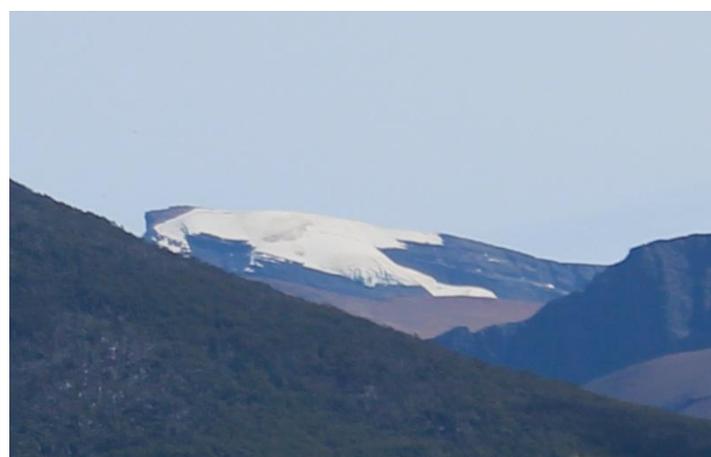
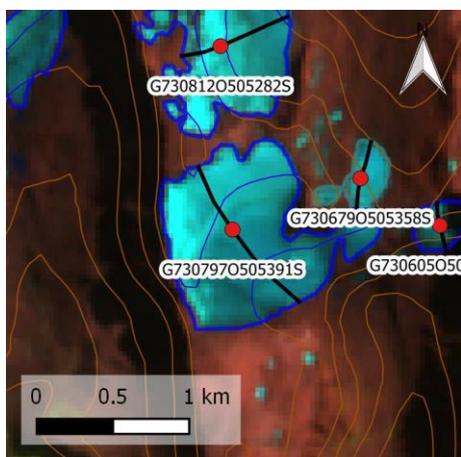
**Geoforma G7313630505697S**

Glaciar de valle en el valle del río Camiseta brazo norte.



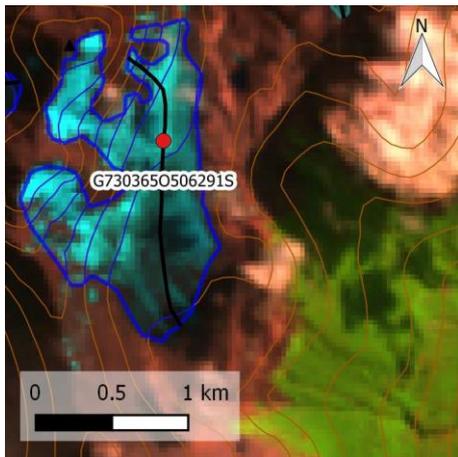
**Geoforma G7313630505697S**

Glaciar de circo en el valle del río Camiseta.



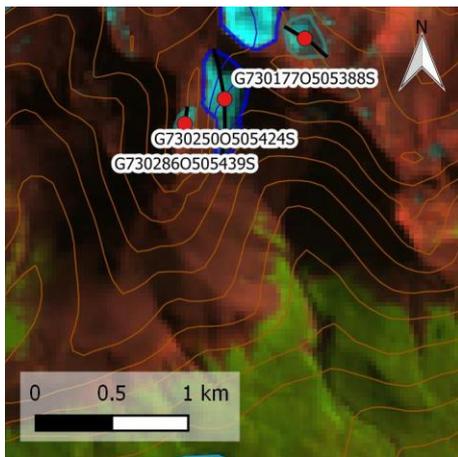
**Geoforma G730365O506291S**

Glaciar de valle en la cara sur del Cerro Adriana.



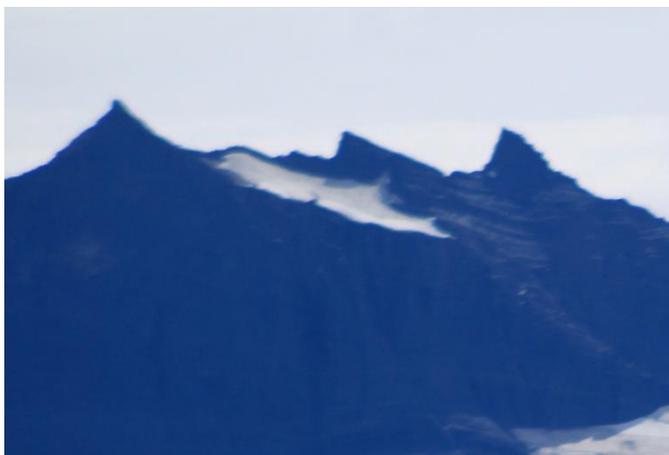
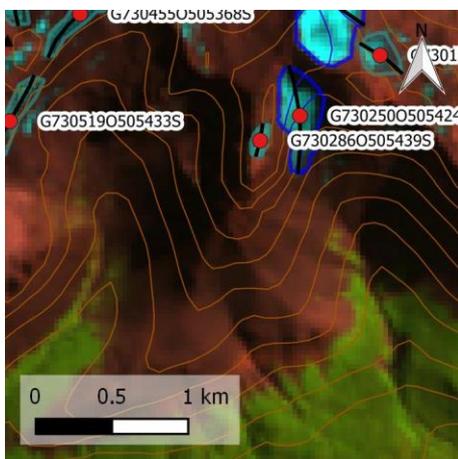
**Geoforma G730177O505424S**

Glaciar de circo en la cara sur del Cordón del Cerro Moreno.



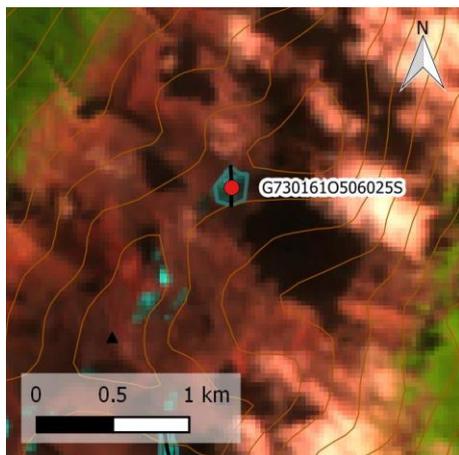
**Geoforma G730286O505439S**

Glaciar de circo en la cara sur del Cordón del Cerro Moreno.



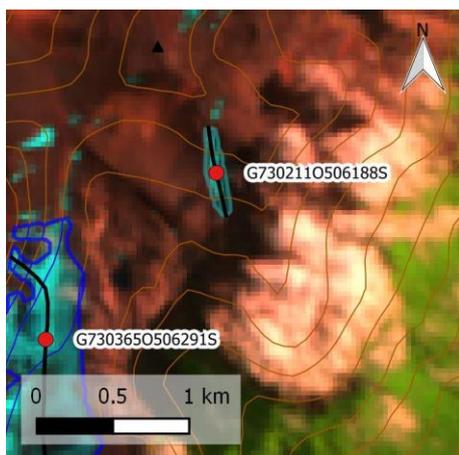
**Geoforma G730161O506025S**

Manchón de nieve en el Cordón Adriana.



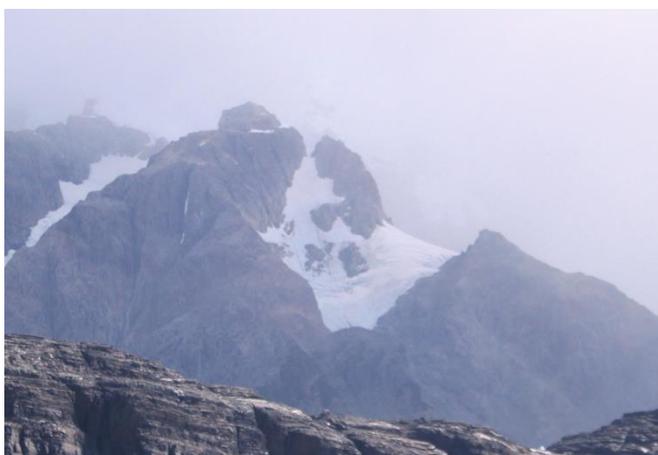
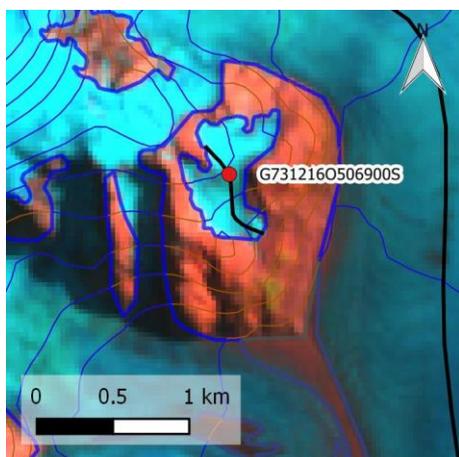
**Geoforma G730211O506188S**

Manchón de nieve en el Cordón Adriana.



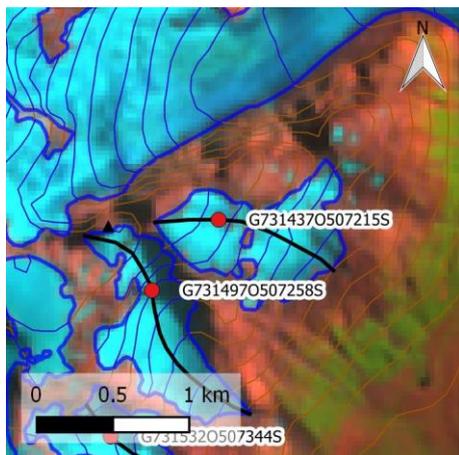
**Geoforma G731216O506900S**

Glaciar de circo en el filo este del Cerro Piedrabuena.



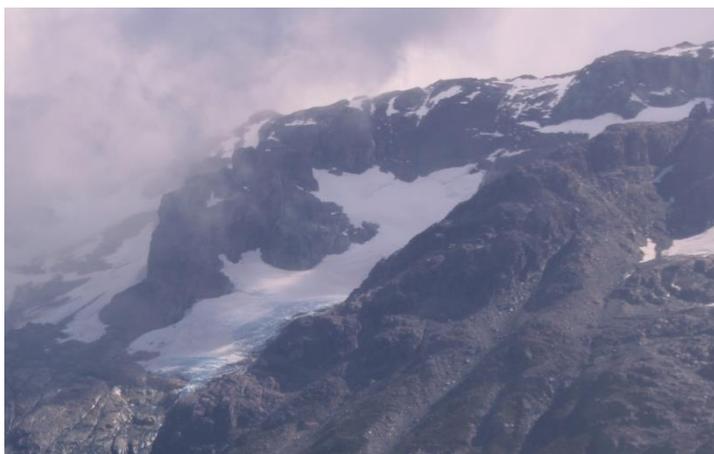
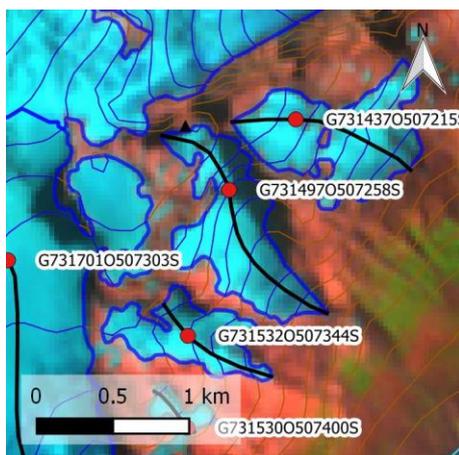
### **Geoforma G731437O507215S**

Glaciar de circo en la cara sudeste del Cerro Dedo de César.



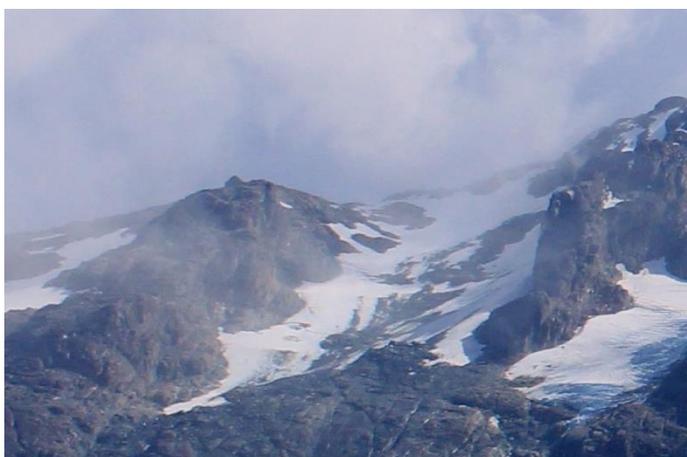
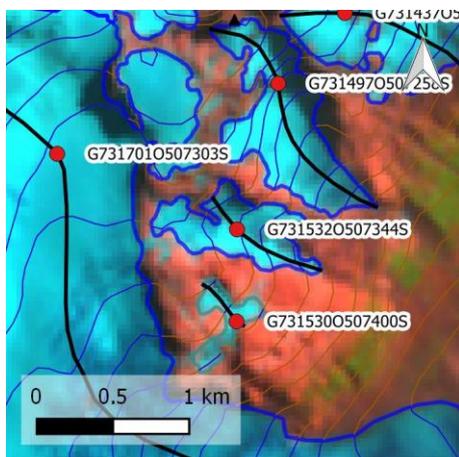
### **Geoforma G731497O507258S**

Glaciar de circo en la cara este del Cerro Dedo de César.



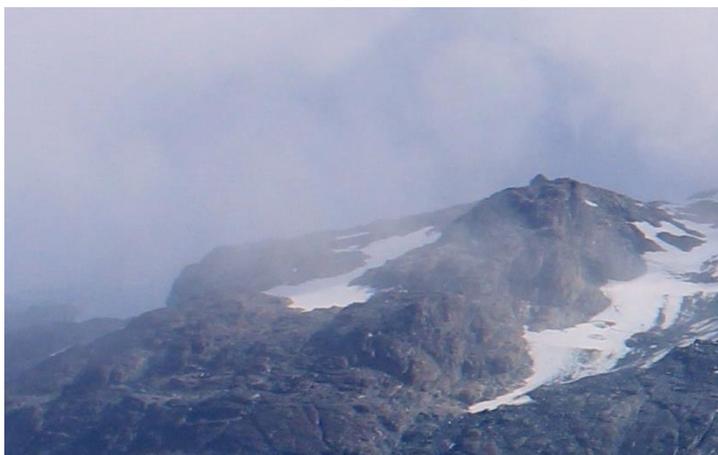
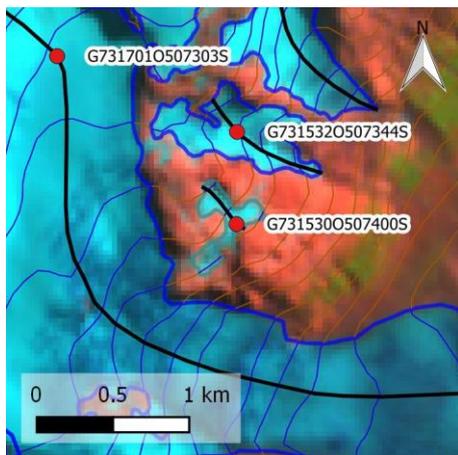
### **Geoforma G731532O507344S**

Glaciar de circo en la cara este del Cerro Dedo de César.



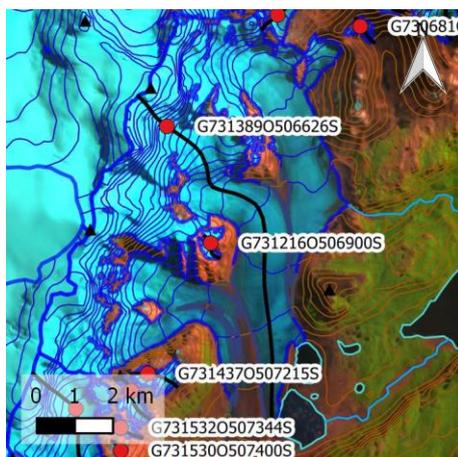
### **Geoforma G7315300507400S**

Manchón de nieve en la cara sur del Cerro Dedo de César.



### **Geoforma G7313890506626S**

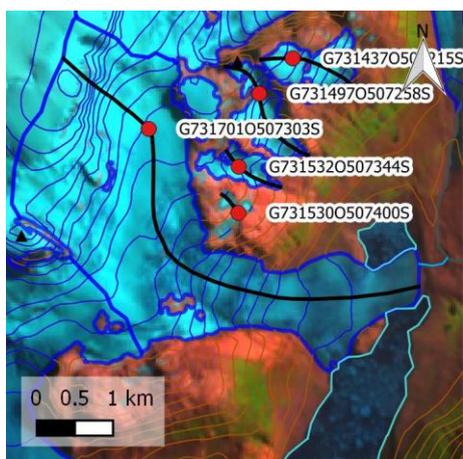
Glaciar Frías o Grande (vista de un frente secundario y del lago proglacial con témpanos), glaciar de valle con frente con desprendimiento de témpanos. Este glaciar está constituido por tres tributarios coalescentes que se originan en el Cordón del Cerro Piedrabuena y contribuyen al frente principal. En la fecha de la imagen satelital de referencia del ING (19 de febrero 2005) el frente del glaciar llegaba hasta la morena terminal en el lado sudeste del valle. El drenaje se producía mayormente en dirección noreste hacia el Lago Frías, de allí al Brazo Sur del Lago Argentino y, fluyendo por el río Santa Cruz, desaguaba en el Océano Atlántico. En la fecha de la campaña (febrero de 2017) y debido al retroceso del frente del glaciar, se generó un extenso lago proglacial que drena a un brazo del Lago Dickson y de allí hacia el Océano Pacífico. Es decir que la divisoria de agua se ha desplazado hacia el este. El tributario norte (Tapado) del Glaciar Frías o Grande drena por el río Tapado directamente hacia el Brazo Sur del Lago Argentino y, por lo tanto, sigue correspondiendo a la vertiente Atlántica.





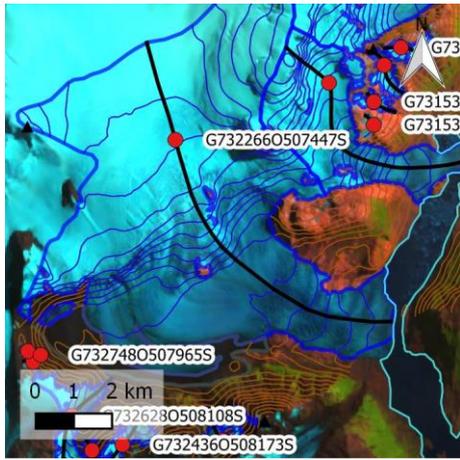
**Geoforma G7317010507303S**

Glaciar Cubo, de descarga con frente con desprendimiento de témpanos. Actualmente desagua en un brazo del Lago Dickson y drena hacia el Océano Pacífico.



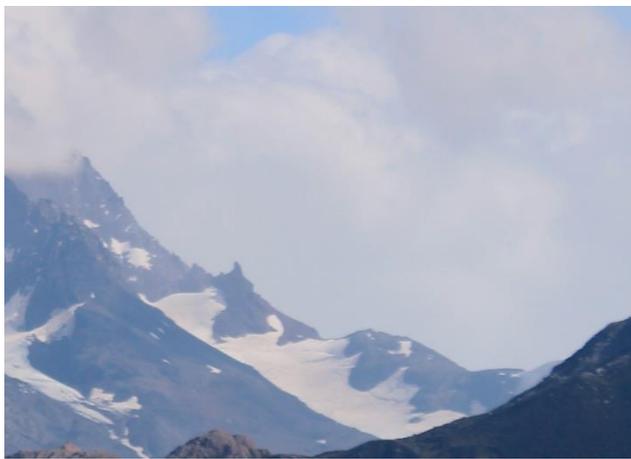
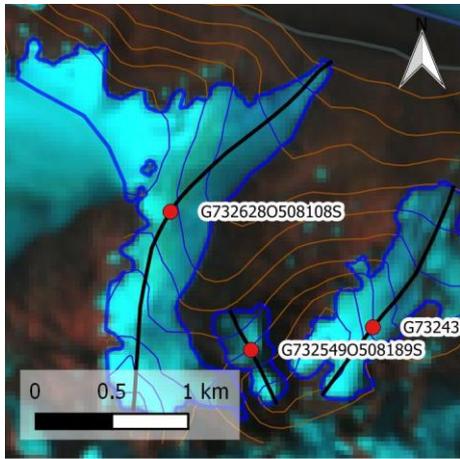
**Geoforma G7322660507447S**

Glaciar Dickson (vista parcial en la parte inferior derecha de la foto), de descarga con frente con desprendimiento de témpanos. Desagua en Lago Dickson que drena hacia el Océano Pacífico. Al fondo el Cerro Stokes, propuesto como hito en el tratado de límites de 1881 y ratificado en el laudo arbitral de 1902-1903 y en el acuerdo de 1998 (CNA, 1999).



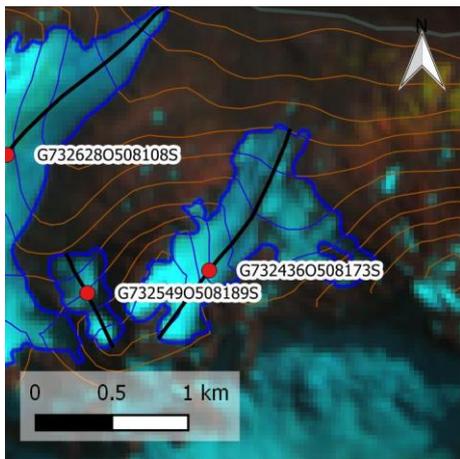
**Geoforma G7326280508108S**

Glaciar de valle al sur del glaciar Dickson y de vertiente Pacífica.



**Geoforma G7326280508108S**

Glaciar de valle al sur del glaciar Dickson y de vertiente Pacífica.



### 7.3. Descripción de la base de datos

La base de datos del inventario se compone de 38 campos que se detallan a continuación:

1. **Provincia**
2. **Cuenca**
3. **Subcuenca**
4. **Código cuenca**

Esta columna provee información sobre la provincia, cuenca y subcuencas de cada una de las geoformas inventariadas. Un ejemplo de la codificación se muestra a continuación:

**M0550000**

El primer dígito corresponde a la provincia, codificada según normativa ISO 3166 (Ejemplo: M = Mendoza, U = Chubut).

Los siguientes tres dígitos corresponden al código de la cuenca principal, el cual ha sido establecido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH). (Ejemplo 055 = Mendoza, 100 = Cuencas varias de Antártida e islas del Atlántico Sur, incluidas Islas Malvinas).

Los próximos dos dígitos corresponden a la subcuenca en la que se ha realizado el inventario. Por el momento no existe una codificación oficial establecida para esta categoría, por lo que la misma puede ser establecida por cada grupo de trabajo siempre y cuando se documente y aclare en forma inequívoca los criterios empleados y la ubicación de la subcuenca dentro de la cuenca principal.

Los dos últimos dígitos corresponden al nivel de sub-subcuenca, se empleará en aquellos inventarios que trabajen a este nivel y se procederá a codificarlos siguiendo los mismos criterios establecidos para las subcuencas.

5. **ID\_local:** código único identificador de cada glaciar que incluye las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma. En el ID\_local, dichas coordenadas están expresadas en grados decimales de longitud y latitud con cuatro decimales. Por ejemplo, el ID\_local “G699921O328801S” corresponde a un glaciar ubicado a 69.9921° de longitud Oeste y 32.8801° de latitud Sur.
6. **Tipo\_geoforma:** esta columna agrupa a cada una de las geoformas inventariadas en base a su tipo principal. Los tipos de geoforma pueden ser:

**GD-Glaciario descubierto:** cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve y/o hielo, sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento

por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias), y de un área mayor o igual a 0,01 km<sup>2</sup> (una hectárea).

**MN-Manchón de nieve/glaciarete:** pequeñas masas de nieve y hielo de forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones, lechos de ríos y pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de la nieve barrida por el viento, avalanchas y/o varios años de fuertes acumulaciones. En general no presentan patrones de flujo visibles, y existen al menos por dos años consecutivos. Los manchones de nieve permanentes/glaciaretes son reservas significativas de agua en estado sólido y por ello fueron incluidos en el inventario.

**GC-Glaciario cubierto:** cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve y/o hielo, con una cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias), y de un área mayor o igual a 0,01 km<sup>2</sup> (una hectárea).

**GE-Glaciario de escombros:** cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km<sup>2</sup> (una hectárea). Los glaciares de escombros dependen fuertemente del aporte de detritos, nieve y hielo.

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos (GEA)**, **inactivos (GEI)** y **fósiles (GEF)** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35°) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciario de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 2002; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

**GCGE-Glaciario cubierto con glaciario de escombros:** en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciario de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciario) y el glaciario de escombros glaciogénico (ambiente periglacial) a partir de sensores remotos, en particular si no se cuenta con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas

de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada glaciar cubierto con glaciar de escombros que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

7. **ID\_GLIMS:** es el código de identificación del glaciar que sigue las normas internacionales propuestas por GLIMS, el nombre del glaciar está dado por las coordenadas geográficas de un punto dibujado en su interior. En este código la longitud está referida al Este.

8. **Nombre común:** si lo hubiere.

9. **Clasificación Primaria:** basada en el documento “Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual” (Rau et al. 2005), preparado por el grupo de expertos de GLIMS [http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS\\_Glacier-Classification-Manual\\_V1\\_2005-02-10.pdf](http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf)

0. Incierto

1. Sábana de hielo continental: es una gran masa de hielo que cubre un continente o gran parte del mismo. En la actualidad sólo existen las de Antártida y Groenlandia. Las sábanas de hielo no están totalmente controladas por la topografía subglacial y se caracterizan por ser más activas en sus bordes y a lo largo de las corrientes de hielo. Las partes más altas y abombadas llamadas domos tienen escasa pendiente y flujo de hielo muy limitado.

2. Campo de hielo: masa de hielo glaciar, confinada topográficamente, de superficie relativamente plana, y de la cual fluyen glaciares de descarga, y cuya superficie es menor a 50.000 km<sup>2</sup>.

3. Calota de hielo: masa de hielo no confinada con forma de domo, que fluye en todas las direcciones.

4. Glaciar de descarga: glaciar que fluye desde el interior de un campo de hielo, calota de hielo y/o sábana de hielo, transfiriendo masa hacia las zonas más bajas.

5. Glaciar de valle: glaciar con el área de acumulación bien definida, cuya lengua está encauzada y fluye valle abajo.

6. Glaciar de montaña: un glaciar que se encuentra confinado por la topografía del terreno montañoso que lo rodea; frecuentemente localizado en un circo o nicho (Müller et al., 1977). Incluye glaciares de circo, de nicho y de cráter.

7. Manchón de nieve permanente o glaciarete: pequeñas masas de nieve y hielo de forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones, lechos de ríos y

pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de la nieve barrida por el viento, avalanchas y/o varios años de fuertes acumulaciones. En general no presentan patrones de flujo visibles, y existen al menos por dos años consecutivos.

8. Barrera de hielo: es la porción flotante de una sábana de hielo, de considerable espesor, que fluye por gravedad sin fricción sobre el mar, y de cuyo frente se desprenden los témpanos tabulares. Se nutre de glaciares, corrientes de hielo, acumulación de la nieve en superficie y por congelación basal. Usualmente tiene gran extensión horizontal y una superficie plana o suavemente ondulada. Las principales barreras de hielo se encuentran en la Antártida (Ross, Ronne- Filchner, Amery, Larsen, etc.).
9. Glaciar de escombros: el glaciar de escombros es una mesoforma criogénica de permafrost de montaña, sobresaturada en hielo que de ser activa, se mueve pendiente abajo por gravedad y por reptación y deformación del permafrost. Es una manifestación de un tipo de permafrost reptante. En general tiene forma de lengua o lóbulo con morfología superficial similar a la de una colada de lava. Sin embargo, sobre todo en los Andes Centrales de Argentina y Chile, los glaciares de escombros pueden alcanzar morfologías muy complejas, con zonas de aporte o de generación de cuencas compuestas y el desarrollo de más de un lóbulo frontal o una superposición de varios lóbulos.
10. Corriente de hielo: banda angosta de hielo que fluye dentro de una sábana de hielo a una velocidad muy superior al hielo circundante. Existen dos tipos principales de corrientes de hielo, las confinadas y no confinadas. Las corrientes de hielo no están bien delimitadas en todas sus márgenes, que en algunas zonas son más visibles por la presencia de grietas laterales que separan las zonas de flujo muy rápido de aquellas menos activas. Las corrientes de hielo drenan la mayor parte de las sábanas de hielo, siendo las principales abastecedoras de las barreras de hielo en Antártida.

#### **10. Forma:**

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta
3. Cuenca simple
4. Circo
5. Nicho

6. Cráter
7. Colgante
8. Grupo
9. Remanente

#### **11. Frente:**

0. Normal
1. Piedemonte
2. Expandido
3. Lobulado
4. De desprendimiento
5. Coalescente no contribuyente
10. De desprendimiento y piedemonte
11. De desprendimiento y expandido
12. De desprendimiento y lobulado
13. Tributario de barrera de hielo
14. Flotante
15. De desprendimiento terrestre
16. Confluente

#### **12. Perfil longitudinal**

0. Incierto
1. Regular o uniforme
2. Colgante
3. En cascada
4. Cascada de hielo
5. Interrumpido o reconstituido

#### **13. Fuente de alimentación**

0. Desconocida
1. Nieve-nieve volada
2. Avalancha
3. Hielo sobrepuesto

#### **14. Actividad de la Lengua**

0. Incierto
1. Marcado retroceso
2. Leve retroceso

3. Estacionario
4. Leve avance
5. Marcado avance
6. Posible pulso (surge)
7. Pulso (surge) conocido
8. Oscilante
9. Adelgazante

#### **15. Morena\_1**

0. Sin morena
1. Morena Terminal
2. Lateral y/o media
3. Morena de empuje
4. Combinación de 1 y 2
5. Combinación de 1 y 3
6. Combinación de 2 y 3
7. Combinación de 1 , 2 y 3
8. Cubierto, incierto si es morénico
9. Morenas de tipo incierto o que no figura

#### **16. Morena\_2**

0. Sin morena
1. Morena Terminal
2. Lateral y/o media
3. Morena de empuje
4. Combinación de 1 y 2
5. Combinación de 1 y 3
6. Combinación de 2 y 3
7. Combinación de 1 , 2 y 3
8. Cubierto, incierto si es morénico
9. Morenas de tipo incierto o que no figura

#### **17. Cobertura de la lengua**

0. Incierto
1. Sin detrito
2. Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)
3. Mayormente cubierto de detrito (50-90%)

4. Completamente cubierto por detrito (>90%)
5. Parcialmente cubierto de detrito con glaciar de escombros (GE) (10-50%)
6. Mayormente cubierto de detrito con GE (50-90%)
7. Completamente cubierto por detrito con GE (>90%)

### **18. Origen GE**

0. Incierto
1. Criogénico: aquellos glaciares de escombros sin relación actual con los glaciares y generados a partir de taludes y canaletas nivo-detriticas.
2. Glacigénico: aquellos glaciares de escombros originados a partir de un glaciar descubierto o cubierto.
3. Combinado 1 y 2

### **19. Actividad del GE**

0. Incierto
1. Activo: presenta evidencias de movimiento pendiente abajo y señales del mismo en superficie. En general este tipo de glaciares tiene una topografía superficial muy irregular y desarrollan pendientes frontales muy pronunciadas (35°-45°).
2. Inactivo: no presentan movimiento pendiente abajo, pero que todavía contienen hielo.

### **20. Forma del GE**

0. Incierto
1. Lengua: largo del glaciar mayor que el ancho
2. Lobado: ancho del glaciar mayor que el largo
3. Espatulado
4. Coalescente
5. Otras

### **21. Estructura \_I**

0. Incierto
1. Unidad: formado por un único glaciar de escombros.
2. Multiunidad: formado por varios glaciares de escombros, pueden ser coalescentes o sobrepuestos.

### **22. Estructura II**

0. Incierto
1. Una raíz: una única fuente de alimentación.
2. Multiraiz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de

alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.

23. **Longitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
24. **Latitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
25. **Área:** área de cada polígono expresada en km<sup>2</sup>.
26. **Largo\_total:** largo de cada unidad, considerando la línea de flujo más larga de todo el glaciar, desde la zona más alta, atravesando la unidad hasta el frente de la misma, siempre lo más perpendicular posible a las curvas de nivel. Se expresa en metros (m).
27. **H\_max\_total:** Altura máxima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
28. **H\_med\_total:** Altura media total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
29. **H\_min\_total:** Altura mínima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
30. **Pendiente:** (Se expresa en grados).
31. **Orientación:** Correspondiente a los 8 puntos cardinales.
32. **H\_max\_parcial:** Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
33. **H\_med\_parcial:** Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
34. **H\_min\_parcial:** Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
35. **Img\_ba\_F:** Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.
36. **Img\_ba\_S:** tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc.).
37. **Img\_ap\_F:** Fecha de la imagen de apoyo utilizada.
38. **Img\_ap\_S:** tipo de sensor que capta la imagen de apoyo empleada.



**Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sustentable  
Presidencia de la Nación**

I A N I G L A



CONICET

U. N. C U Y O  
GOBIERNO  
DE MENDOZA

**El 28 de Octubre de 2010 fue promulgada la Ley 26.639 de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”. Esta ley contempla, entre otras medidas, la creación de un Inventario Nacional de Glaciares. Este inventario es fundamental para un estudio de largo plazo de los cuerpos de hielo de Argentina, su dinámica, hidrología y relación con el ambiente, definiendo metodologías de mapeo y monitoreo sistemáticos aplicables a las diferentes regiones y condiciones ambientales de nuestro país.**

**A partir del trabajo realizado por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), con la coordinación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, se han inventariado 16.078 glaciares y geoformas periglaciares en la cordillera de Los Andes y 890 en las Islas del Atlántico Sur, los cuales ocupan una superficie de 5.769 y 2.715 km<sup>2</sup> respectivamente. El Inventario Nacional de Glaciares describe por primera vez, en un instrumento sistematizado, todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional, con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.**

**El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de las subcuencas Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote, Parque Nacional Los Glaciares, cuenca del río Santa Cruz, provincia de Santa Cruz.**





República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional  
2018 - Año del Centenario de la Reforma Universitaria

**Hoja Adicional de Firmas**  
**Informe gráfico**

**Número:**

**Referencia:** ING Lago Argentino Brazo Sur

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 57 pagina/s.