



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de la subcuenca
Brazo Norte del Lago
Argentino
Cuenca del río Santa Cruz
Parque Nacional Los Glaciares**

Provincia de Santa Cruz

**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 de cuenca: Dr. Pierre Pitte
Profesionales: Ing. Silvia Delgado y Lic. Laura Zalazar
Colaboradores: Dr. Mariano Masiokas, Lic. Lidia Ferri Hidalgo, Ing. Melisa Giménez, Lic. Hernán Gargantini, Téc. Mariano Castro e Ing. Boris Díaz

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).

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.	Subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino	18
6.	Bibliografía	25
7.	Anexos	28
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de glaciares	28
7.2.	Control de campo	30
7.2.3.	Resultados	32
7.3.	Descripción de la base de datos	47

ÍNDICE DE FIGURAS

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.....	6
Figura 2: Mapa publicado por el Inst. Nac. 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 la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino.....	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: Divisorias de hielo	18
Figura 8: Mapa del inventario de glaciares.	19
Figura 9: Glaciar Upsala y tributarios principales (imagen ASTER 20/02/2005).	20
Figura 10: Área total por tipo de geoforma.	21
Figura 11: Pequeños glaciares de escombros en el Cordón Moyano..	22
Figura 12: Número de unidades por clase de área.	22
Figura 13: Orientación de los glaciares.....	23
Figura 14: Hipsometría de los glaciares.	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas de base para el inventario de glaciares de la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino.	13
Tabla 2: Área inventariada por tipo de geoforma.	21
Tabla 3: Alturas máximas y mínimas por tipo de geoforma.	23

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 km² 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° 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° 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° 9504, ratificado por la Ley N° 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 geoformas 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 crioformas 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 recrystalización 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 la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino, 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 la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino fue elaborado en octubre de 2012 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.

2. Antecedentes

A excepción de Antártida, entre 48°18' y 51°35'S se encuentra la mayor extensión de hielo (aproximadamente 12.500 km² 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 km² en 1944-1945 y 13.000 km² 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.

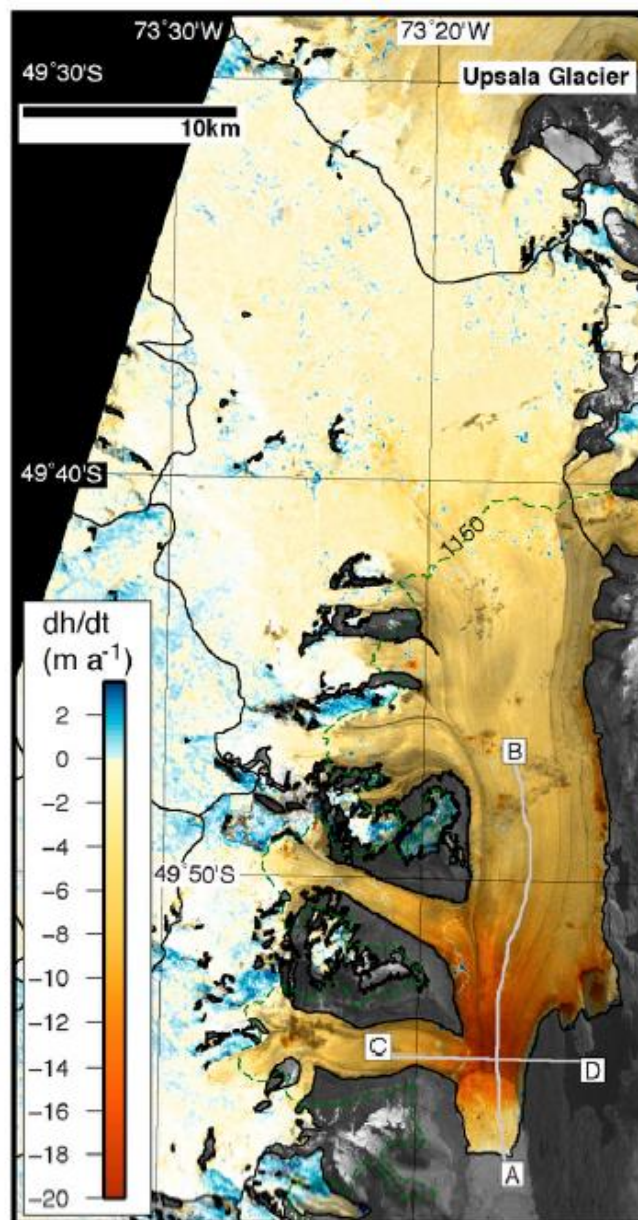


Figura 1: Cambios de espesor en el Glaciar Upsala entre 2000 y 2012 (Willis et al. 2012). Notar que el frente del glaciar Upsala ha perdido casi 200 m de espesor en 12 años.

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).

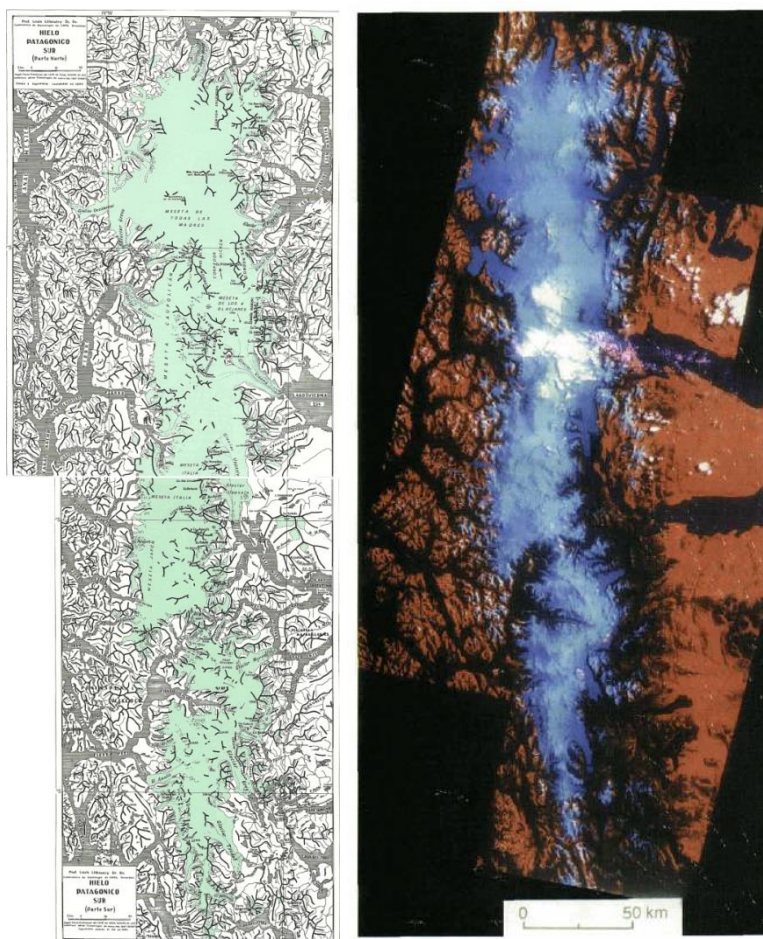


Figura 3: Izquierda: mapa publicado por el Servicio Geológico de EEUU en 1998. Derecha imagen de 1986 utilizada en el primer inventario basado en sensores remotos.

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 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 la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino, río Santa Cruz.

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 km² (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 km² (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** (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 glacigénico (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 (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 (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 km² (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 km² y se divide en las siguientes subcuencas:

- **Subcuenca ríos de las Vueltas y Túnel (1.412 km²)**
- **Subcuenca Lago Viedma (3.299 km²)**
- **Subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino (3.288 km²)**
- **Subcuenca Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote (4.612 km²)**

El presente informe corresponde al Inventario Nacional de los glaciares ubicados en la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino. Dentro de esta subcuenca se agrupan las subcuencas conocidas como Upsala, Spegazzini, Puerto la Diana, Onelli, De las Hayas, De la Horqueta, Bahía de la Hoya, Bahía Cristina, pero para abreviar se llamará en adelante Brazo Norte del Lago Argentino (Figura 4).

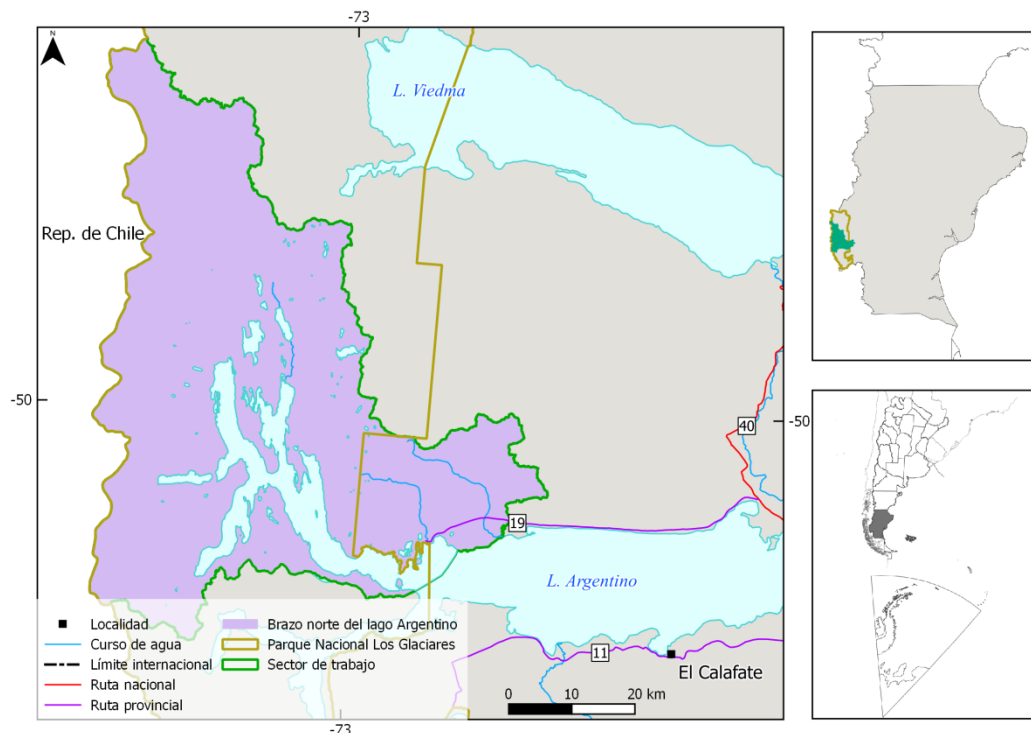


Figura 4: Mapa de ubicación de la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino.

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* (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 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 del Brazo Norte del Lago Argentino, cuenca del río Santa Cruz, se utilizaron imágenes Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) del satélite Terra (Tabla 1). Como apoyo, también se utilizaron otras imágenes incluyendo LANDSAT y Advanced Land Observing Satellite (ALOS) (Anexo 7.1). Las imágenes LANDSAT se utilizaron como base de georreferenciación ya que han sido procesadas de manera uniforme a nivel global (Tucker, *et al.* 2004). 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.

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 de datos. Las imágenes ALOS fueron obtenidas mediante un proyecto conjunto IANIGLA-CONICET - JICA “Desarrollo de un inventario de glaciares en los Andes Argentinos empleando imágenes ALOS de alta resolución”.

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 la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST_L1T_00302202005143621	20 febrero 2005
Terra/ASTER	AST_L1T_00302202005143630	20 febrero 2005

En este trabajo las coordenadas están referidas al sistema de referencia *global World Geodetic System 1984* (WGS84), y el sistema de proyección es UTM (Universal Transversal Mercator) zona 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 un mosaico de imágenes LANDSAT5 TM del 19/02/2005, 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.

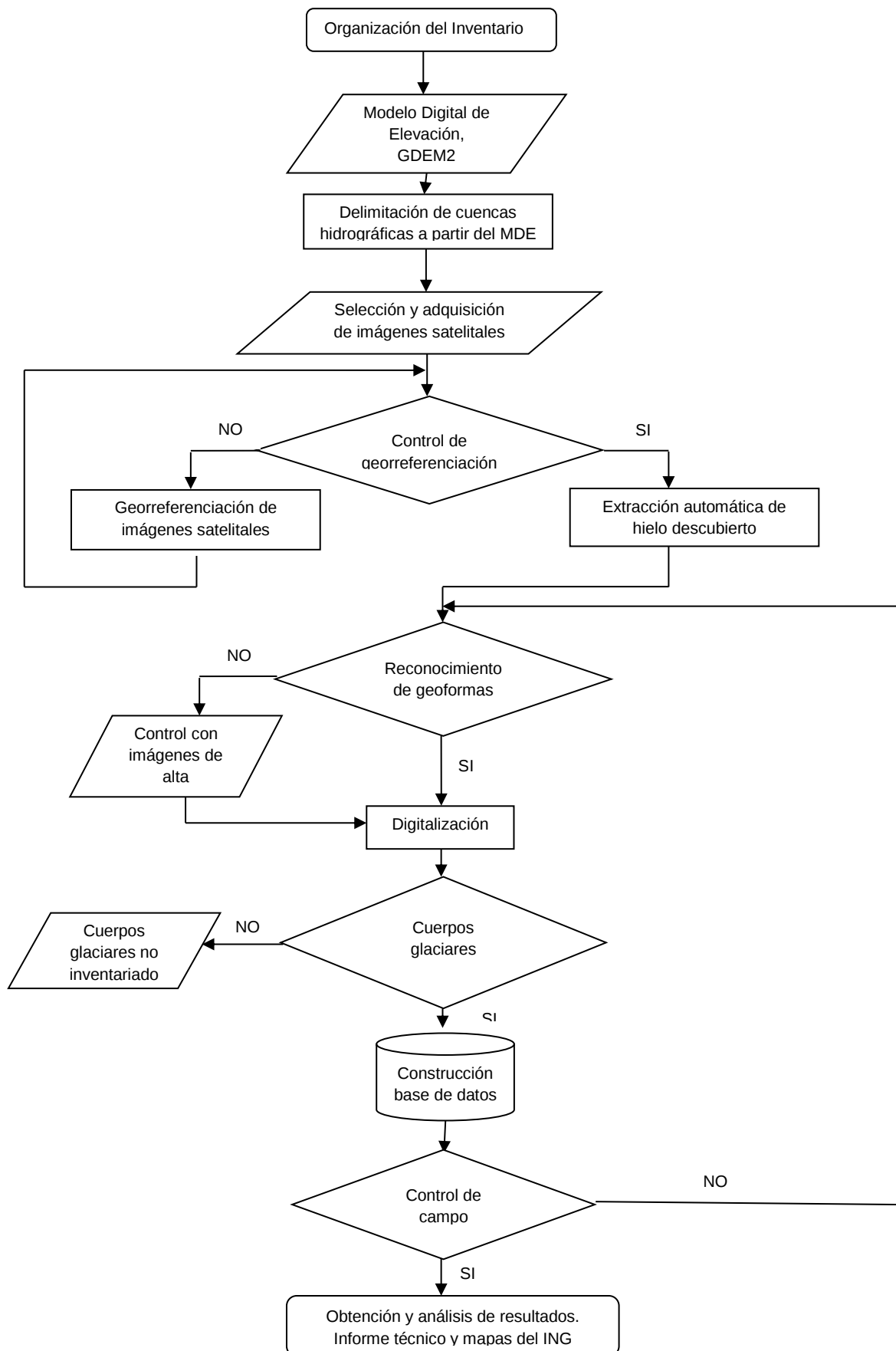


Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología empleada.

4.3. Delimitación del hielo descubierto

Una vez delimitadas las cuencas hidrográficas se procedió a hacer una clasificación automática del hielo descubierto. Para ello se realizó un cociente con las bandas 3 y 4 de las imágenes citadas en Tabla 1, y se aplicó un umbral. El cociente de bandas es un método robusto para identificar superficies de hielo y nieve mediante imágenes multispectrales (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 Figura 6 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. Todos estos errores fueron corregidos en la etapa de edición manual.

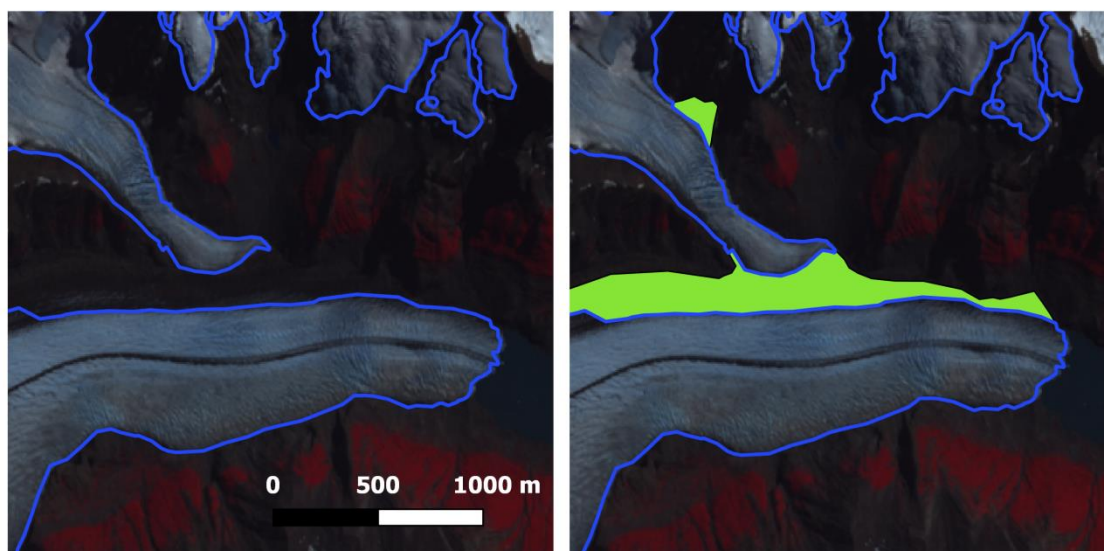


Figura 6: Delimitación de hielo descubierto en el sector del glaciar Ameghino, subcuencas brazo sur del Lago Argentino y río Bote, obtenido a partir de un cociente de bandas 3/4 de la imagen ASTER 2005. El resultado (figura de la izquierda) requiere de edición posterior para incluir el hielo cubierto 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) (Figura 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 ASTER empleadas como base de este inventario, utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución PRISM (ALOS) y las imágenes disponibles en Google Earth y Bing. 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 la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino 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. 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

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.

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. Subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino

La subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino, con punto de cierre en la Boca del Diablo, abarca 3.288 km² de los cuales 290 km² corresponden a la superficie del lago (Figura 8). Hacia el norte, la subcuenca limita con el glaciar Viedma. La divisoria entre el glaciar Viedma y el glaciar Upsala es de delimitación compleja ya que se produce sobre una zona plana y generalmente cubierta de nieve, por lo que el límite debe considerarse de carácter tentativo (Figura 7a).

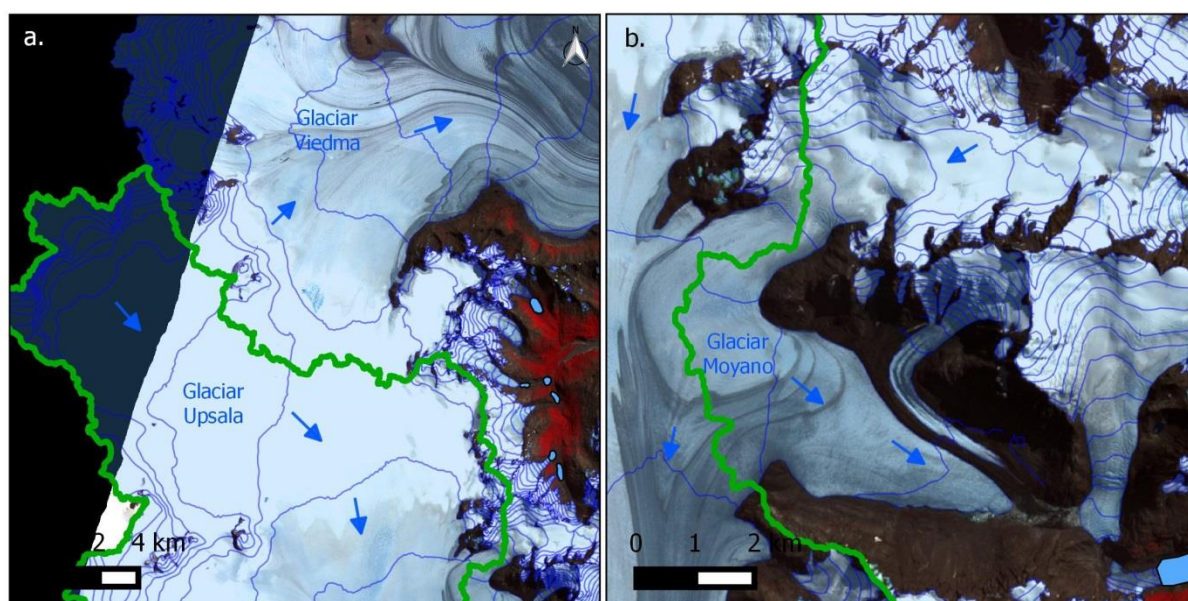


Figura 7: Divisoria de hielo. a: divisoria entre el glaciar Upsala y el glaciar Viedma. b: Glaciar Moyano con divergencia de flujo hacia dos cuencas. La forma sinuosa de la divisoria de hielo sobre los glaciares indica que la información topográfica no es precisa en esta zona.

En el extremo noroeste del área de estudio se encuentra el cerro Gemelos Blancos de 2.197 msnm. La divisoria se apoya en una serie de nunataks y luego sigue hacia el sur, atravesando el glaciar Moyano, que con su flujo divergente contribuye tanto a la subcuenca Viedma como la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino (Figura 7b).

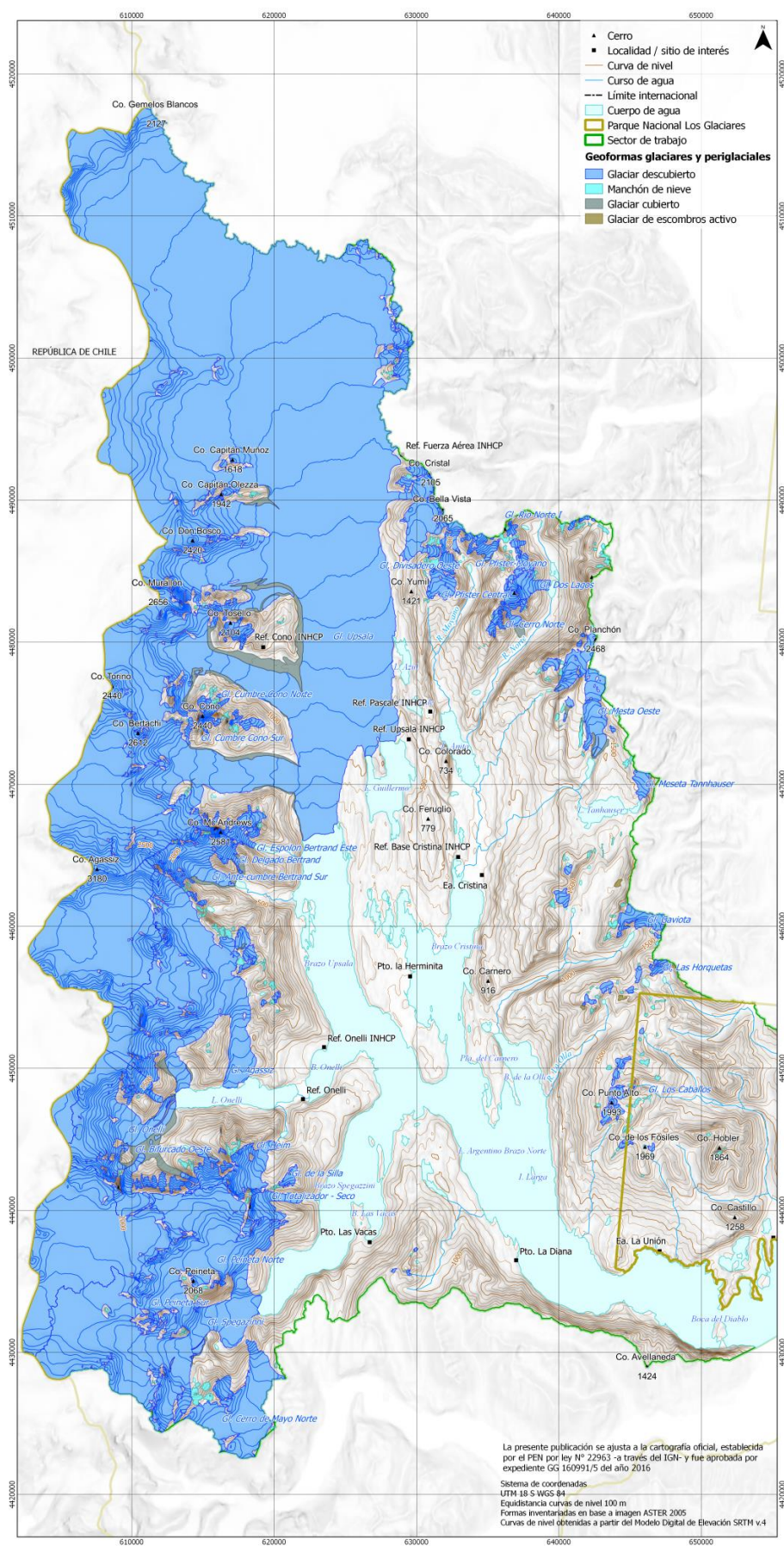


Figura 8: Mapa del inventario de glaciares.

Más al sur la divisoria sigue por el cordón Moyano. Este cordón se encuentra en sentido norte-sur a unos 40 km hacia el este y, los glaciares medianos y pequeños que allí se desarrollan, reflejan condiciones relativamente más áridas. En este sector se focalizó la verificación de campo realizada durante el verano de 2013. Los glaciares principales drenan por los ríos Moyano, Norte y de los Perros. La subcuenca sigue hacia el sur y tiene su punto de cierre en la Boca del Diablo.

Hacia el oeste la subcuenca atraviesa la península de Avellaneda y se extiende hasta los glaciares Norte y Spegazzini. De allí, sigue hacia el norte, donde incluye los glaciares Peineta, Onelli, Bolados, Agassiz, Bertachi, Cono, Murallón y Upsala. Los últimos cuatro confluyen hacia el Brazo Upsala y juntos constituyen uno de los sistemas glaciarios más grande del país, con 785 km² (Figura 9).

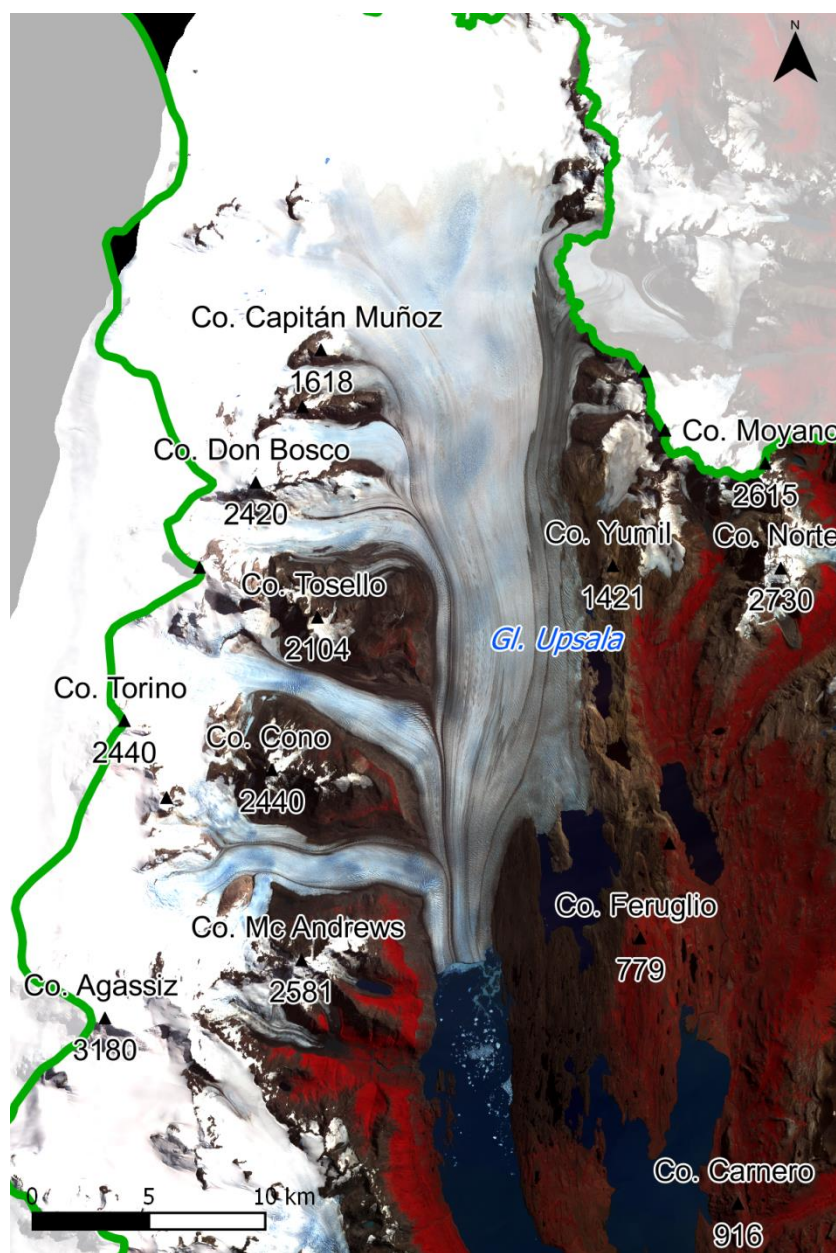


Figura 9: Glaciar Upsala y tributarios principales (imagen ASTER 20/02/2005).

En la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino se inventariaron un total de 323 cuerpos de hielo, que ocupan una superficie de 1.306,88 km², En esta subcuenca el 97% de las geoformas inventariadas son glaciares descubiertos.

Tabla 2: Área inventariada por tipo de geoforma.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	1.270,09
Manchones de nieve/glaciaretos	13,80
Glaciar cubierto	22,46
Glaciar de escombros	0,53
Total	1.306,88



Figura 10: Área total por tipo de geoforma.

Hacia el este, en el Cordón Moyano, las condiciones relativamente más áridas elevan la altura de la línea de equilibrio (ELA) por encima de los 1.300-1.500 msnm. En consecuencia los glaciares son más pequeños y la proporción de hielo cubierto aumenta. También, en esa zona, se observaron algunos pequeños glaciares de escombros (Figura 11).

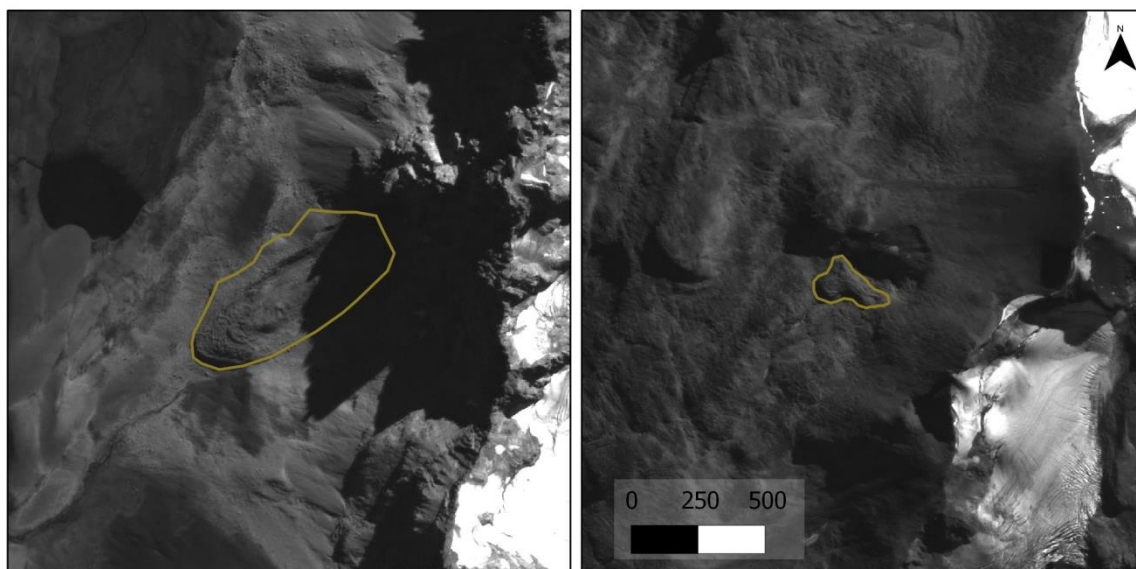


Figura 11: Pequeños glaciares de escombros en el Cordón Moyano. Los frentes se encuentran a 1.130 y 1.500 msnm (imagen ALOS PRISM 29/03/2008).

Los glaciares más grandes representan la mayor parte de la superficie englazada, al igual que en otras regiones: los 15 glaciares de más de 10 km² abarcan 89% del área, mientras que los 185 glaciares menores de 0,5 km² no llegan al 1% (Figura 12). Como se mencionó, el sistema del glaciar Upsala con todos sus tributarios cubre 785 km² (Figura 9) y es uno de los más grandes del país.

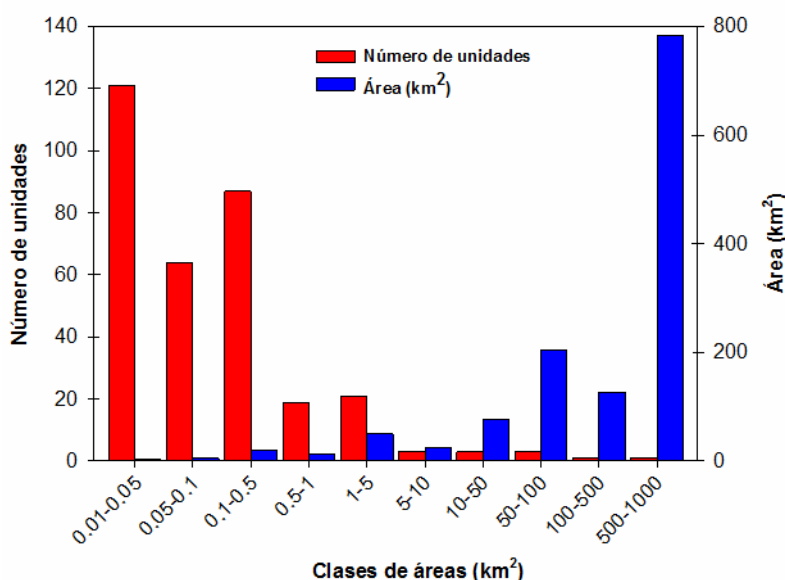


Figura 12: Número de unidades por clase de área.

La orientación de los glaciares es predominante hacia el este y hacia el sur. La Figura 13a representa las orientaciones tal como se registran en la base de datos del inventario, es decir la orientación predominante de cada unidad, allí se observa una distribución irregular con una importante cantidad de unidades con exposición noreste y sudeste. La Figura 13b representa la

orientación toda la superficie inventariada extraída del MDE y, por lo tanto, debe considerarse como más aproximada a la realidad. Las exposiciones dominantes hacia el este, sudeste y sur se deben fundamentalmente a la forma de la cuenca, descrita al inicio del apartado 5.1, ya que en esta región se observan glaciares en todas las orientaciones.

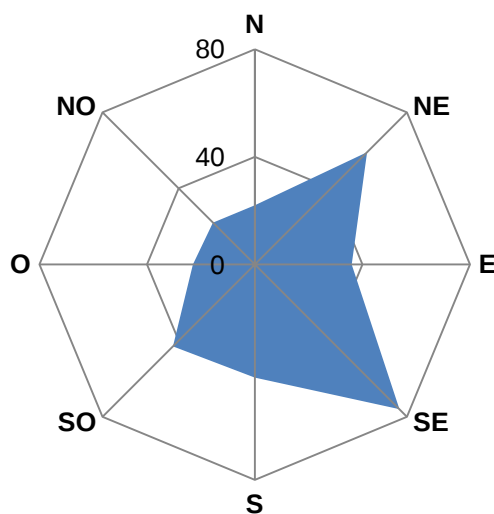


Figura 13: Orientación de los glaciares.

La hipsometría es una representación gráfica de la distribución de la superficie con la altura. La Figura 14 indica la hipsometría de los distintos tipos de geoformas mapeadas en el inventario. En esta zona los glaciares descubiertos ocupan todo el rango de elevaciones desde los cerros más altos, cerca de 3.200 msnm, hasta el nivel del Lago Argentino. En el caso del glaciar Upsala los datos de batimetría indican que el canal frente al glaciar tiene 600 m de profundidad por lo que la base del glaciar se encuentra debajo del nivel del mar (Skvarca, et al. 2002). Los manchones de nieve tienen una distribución mucho más acotada que se concentra entre en los 950 y 2.600 msnm. El hielo cubierto se ubica mayormente entre los 200 y los 1.850 msnm y se origina en la cobertura más o menos intensa de detritos que se observa en algunos glaciares. Finalmente los glaciares de escombros se ubican entre los 1.120 y 1.640 m y sólo fueron observados en el Cordón Moyano, como se mencionó previamente.

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

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierta	166	3.190
Manchones de nieve/glaciaretes	952	2.631
Glaciar cubierto	204	1.843
Glaciar de escombros	1.123	1.642

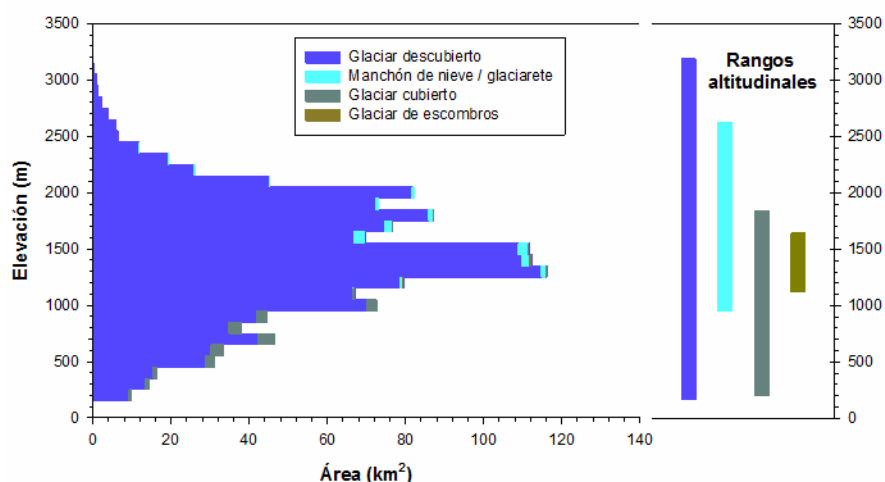


Figura 14: Hipsometría de los glaciares.

La hipsometría (es decir, la distribución altitudinal del hielo) permite anticipar, de modo preliminar, la sensibilidad de los glaciares a posibles cambios en la temperatura. Por ejemplo 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. Debe destacarse que en los grandes glaciares de desprendimiento (por ejemplo Upsala o Spegazzini), los procesos dinámicos como la velocidad del flujo del hielo son mucho más 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).

5.2. Resultados del trabajo de campo

Entre los días 13 y 23 de enero de 2013 se realizaron tareas de control de campo en la subcuencas Pfister-Moyano, río Norte, Tannhauser y Brazo Upsala. El objetivo principal fue evaluar la calidad del trabajo de mapeo realizado en el gabinete, para lo cual se obtuvo información de 39 geoformas. Los resultados indican que el error en la superficie mapeada fue de -1,5 %. En cambio los errores en la clasificación morfológica (es decir, el tipo de glaciar según su forma) variaron alrededor del 20 %. Para tener mayor detalle ver anexo 7.2. donde se describen las geoformas visitadas en el 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).

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 Glaciar 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., Raup, B. and De Angelis, H. 2003. Recent behaviour of Glaciar 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. Technical papers in hydrology 1. UNESCO. France. 56 p.

WGMS. 1967. *Fluctuations of glaciers 1959-1965, Vol. I.* Paris, IAHS (ICSU)/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 la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino, 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 georreferenciación
LT52310942005050COA00	19 febrero 2005	Base 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_00302202005143621	20 febrero 2005	Base inventario
AST_L1T_00302202005143630	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).

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALPSMN116044605	29 marzo 2008	Manchones y GE
ALPSMN116044610	29 marzo 2008	Manchones y GE
ALPSMN116044615	29 marzo 2008	Manchones y GE
ALPSMB116044620	29 marzo 2008	Manchones y GE

7.2. Control de campo

7.2.1. Objetivos

Entre los días 13 y 23 de enero de 2013 se realizaron tareas de control de campo en la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino, río Santa Cruz, provincia de Santa Cruz.

Los objetivos de la campaña fueron:

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

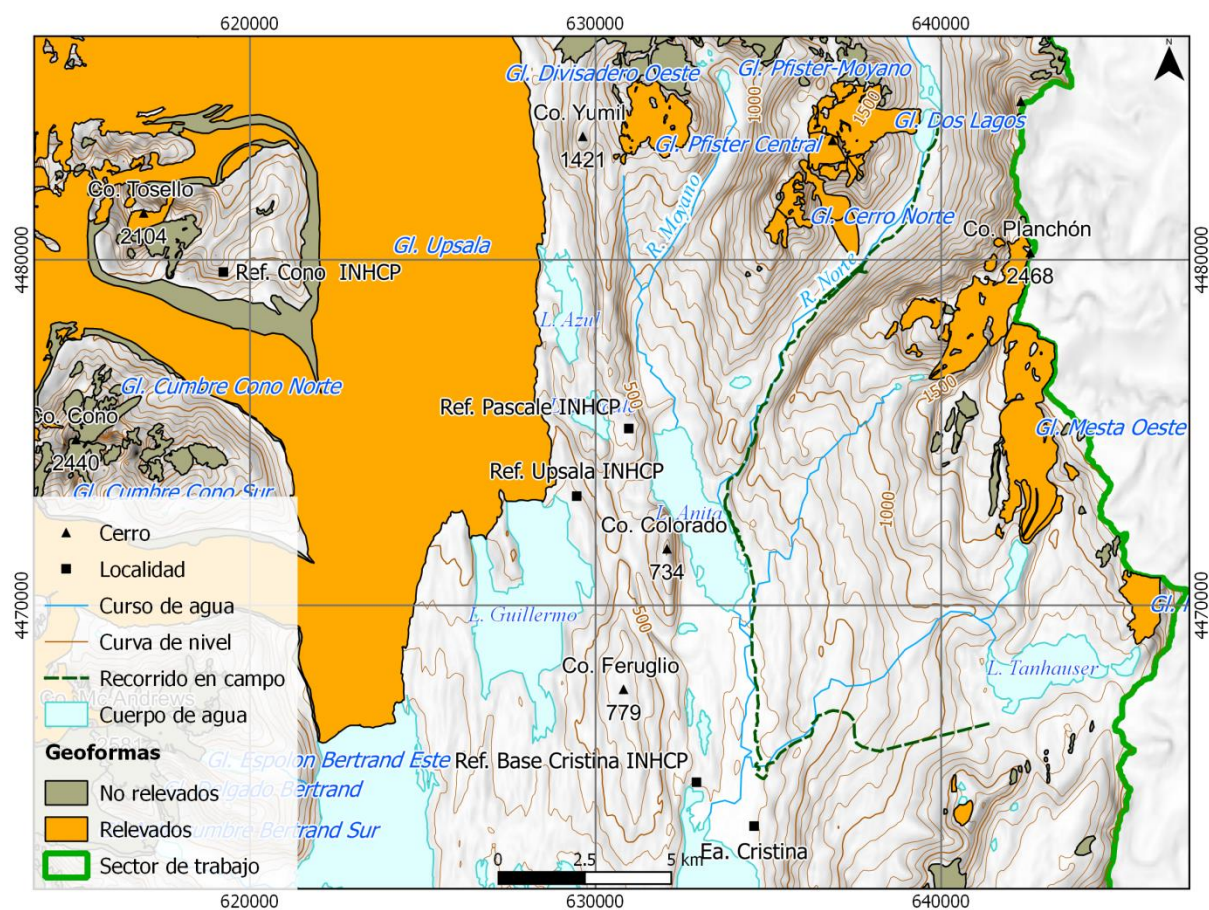


Figura 16: Mapa de las geoformas relevadas en el campo

7.2.2. Logística

El equipo de trabajo contó con tres profesionales del Inventario Nacional de Glaciares, Lidia Ferri Hidalgo, Laura Zalazar y Pierre Pitte que, tras un viaje de 3 días en camioneta llegaron a El Calafate. Allí el equipo se completó con dos profesionales adicionales: Boris Díaz, del SIT Santa Cruz y Melisa Giménez, también profesional del ING con lugar de trabajo en el SIT Santa Cruz.

Para acceder a las subcuencas Pfister-Moyano, río Norte, Tahnhauser y Brazo Upsala se abordó un ferri en el puerto Punta Bandera a 45 km al oeste de El Calafate. Desde allí se realizó una navegación de unas 2:30 hs a través del Lago Argentino, luego de pasar por la estrechura Boca del Diablo se navegó el Brazo Norte hasta el Brazo Cristina, al fondo del cual se encuentra el puerto de Estancia Cristina. El transporte marítimo fue facilitado por la empresa turística Estancia Cristina. Durante la navegación se obtuvo información de algunos de los glaciares de las subcuencas Brazo Upsala y Brazo Spegazzini.

El campo base se estableció en el paso los Álamos unos 2 km al norte del casco estancia Cristina. Desde allí en dos días a pie se hizo campamento al pie del glaciar Cerro Norte, desde donde se relevaron varios glaciares pequeños y medianos del área. Luego se regresó al campamento base en paso los Álamos desde donde se realizó una salida al Lago Tahnhauser, accesible en un día de caminata. Desde allí se obtuvo información de los glaciares en las nacientes del río los Perros. Al finalizar este trabajo se volvió al campo base y de allí, mediante el ferri, de regreso a Punta Bandera y el Calafate.

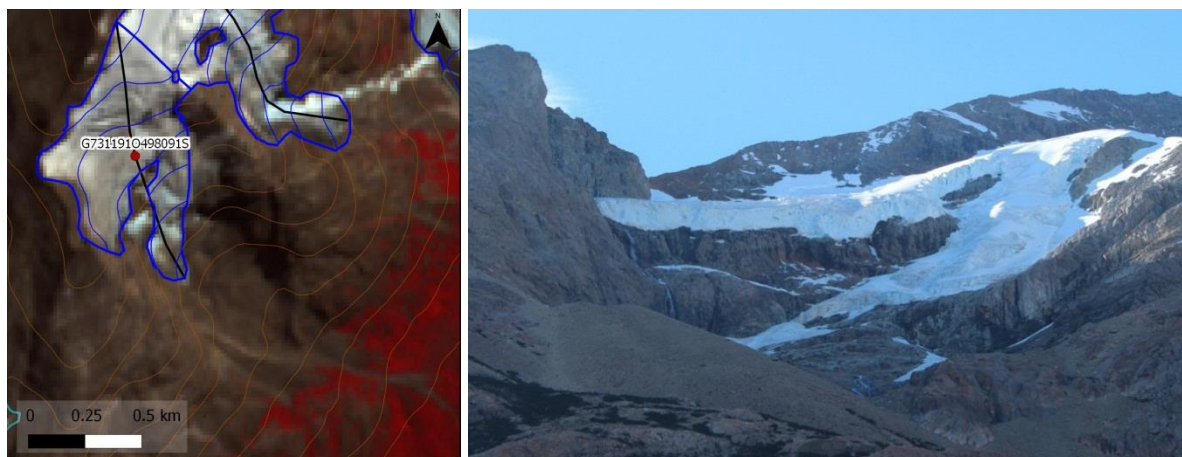
En general el acceso a los glaciares es de dificultad media requiriendo de experiencia en el tránsito en zonas de montaña, pero sin necesidad de equipamiento técnico. La dificultad más notable son los cruces de ríos que presentan un riesgo sobre todo en veranos muy cálidos como las últimas dos temporadas (2011-2012 y 2012-2013). Con la logística disponible los porteos del campamento, alimentos y equipo se realizaron por los profesionales, siendo este otro factor importante a tener en cuenta en la organización del trabajo de campo.

La totalidad de la campaña (gastos de alojamiento y transporte) fue cubierta con fondos del ING provistos por la ex Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

7.2.3. Resultados

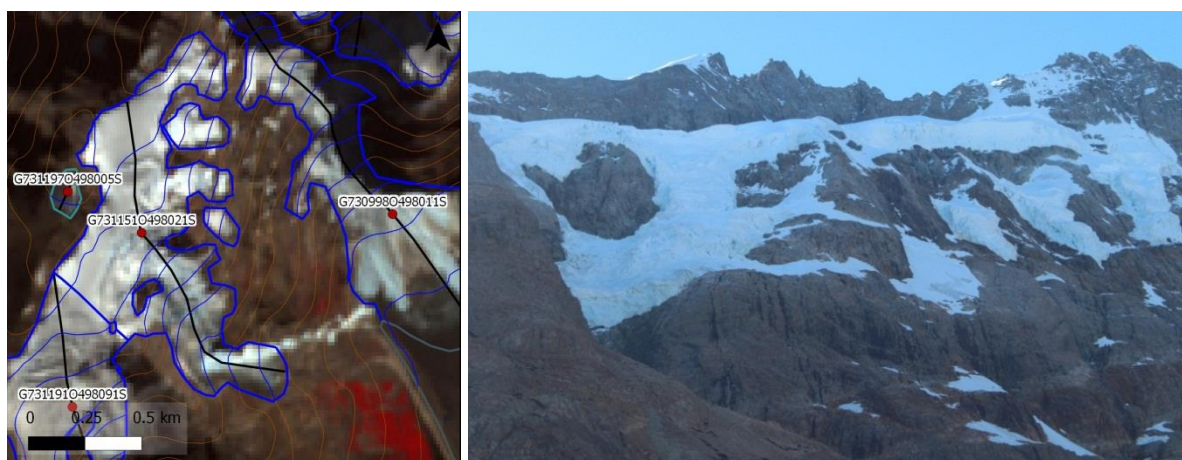
Geoformas relevadas en la subcuenca río Norte

Geoforma G731191O498091S



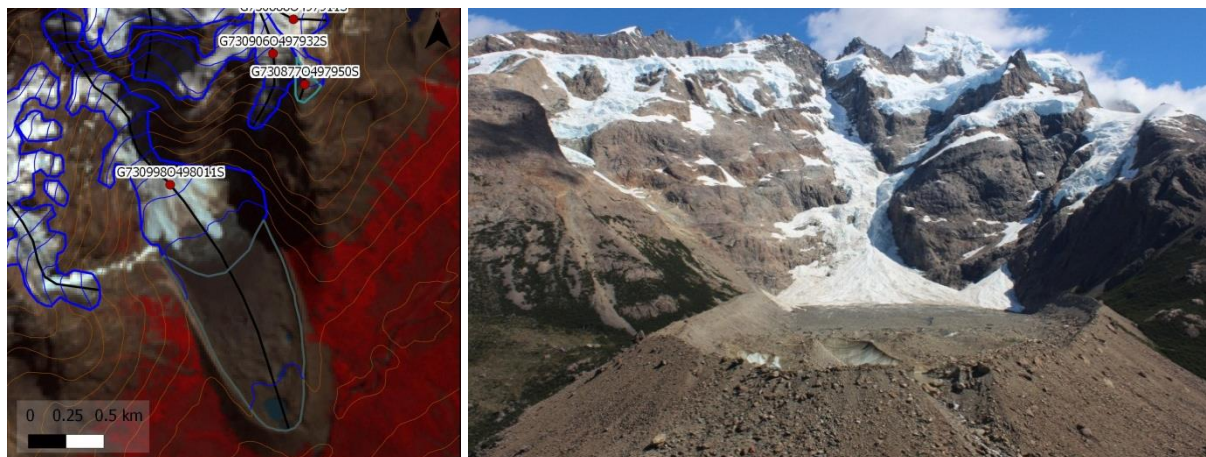
Pequeño glaciar de montaña con una lengua en retroceso y una parte del frente con desprendimiento terrestre. Tiene una morena reciente muy evidente. Se corrigió el mapeo (0,55 a 0,41 km²).

Geoforma G731151O498021S



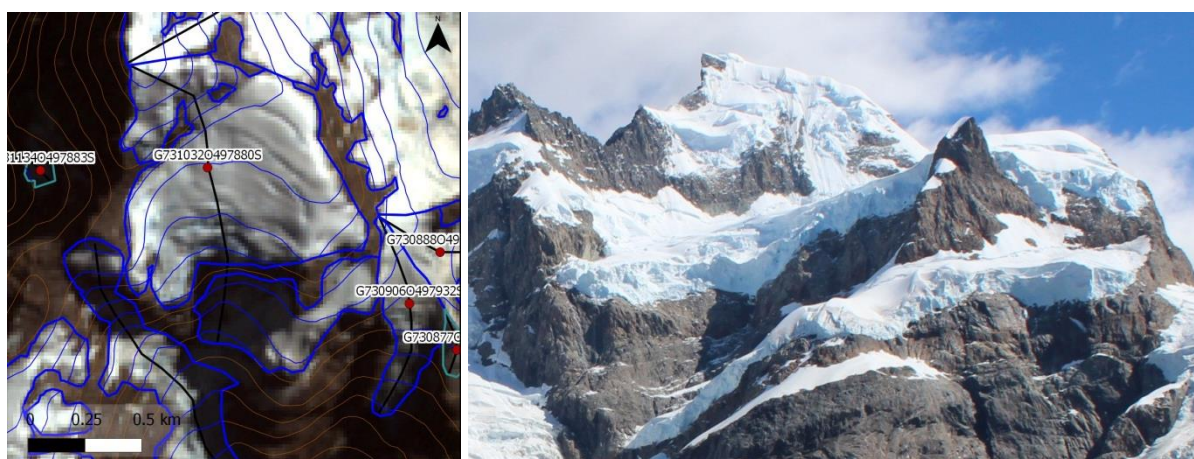
Pequeño glaciar de montaña, colgante, fragmentado, con frente de desprendimiento terrestre. Originalmente se mapearon como tres cuerpos independientes pero en el campo se optó por agruparlos.

Geoforma G730998O498011S



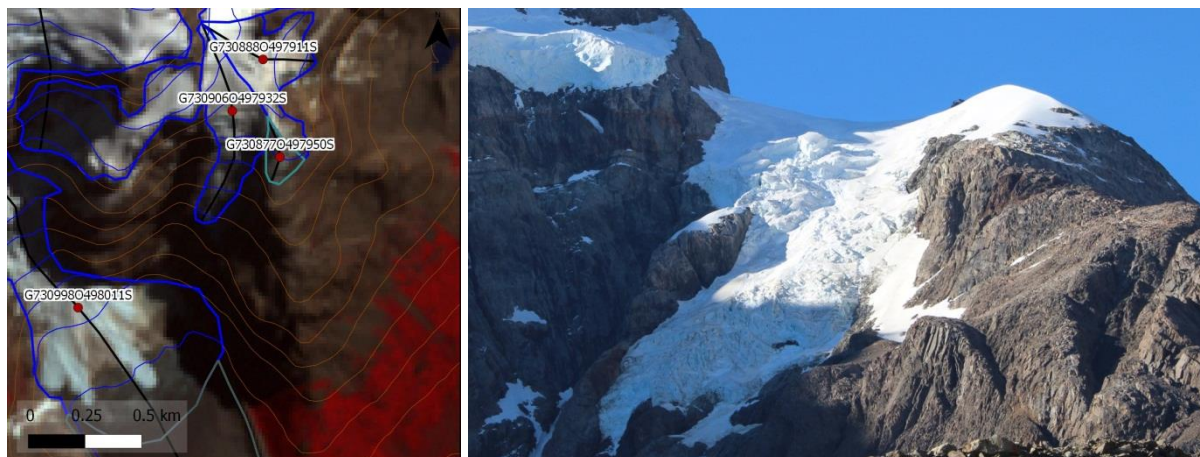
Glaciar de valle Cerro Norte con frente cubierto de detritos. Se destaca una morena terminal muy prominente que contiene la lengua. En el pasado toda la ladera contribuía a un glaciar de valle. En la actualidad se mapeó un glaciar principal y una serie de glaciares colgantes adyacentes

Geoforma G731032O497880S



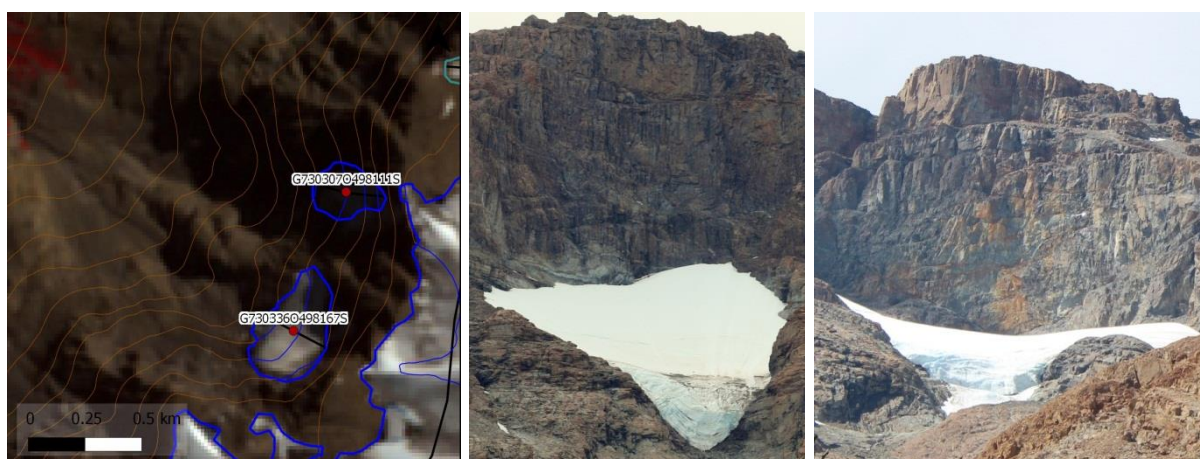
Pequeño glaciar colgante en la ladera sur del Cerro Norte. En el pasado contribuía al glaciar Cerro Norte, actualmente se mapeó como independiente y se unieron los dos glaciares colgantes en una unidad con perfil interrumpido.

Geoformas G730906O497932S y G730877O497950S



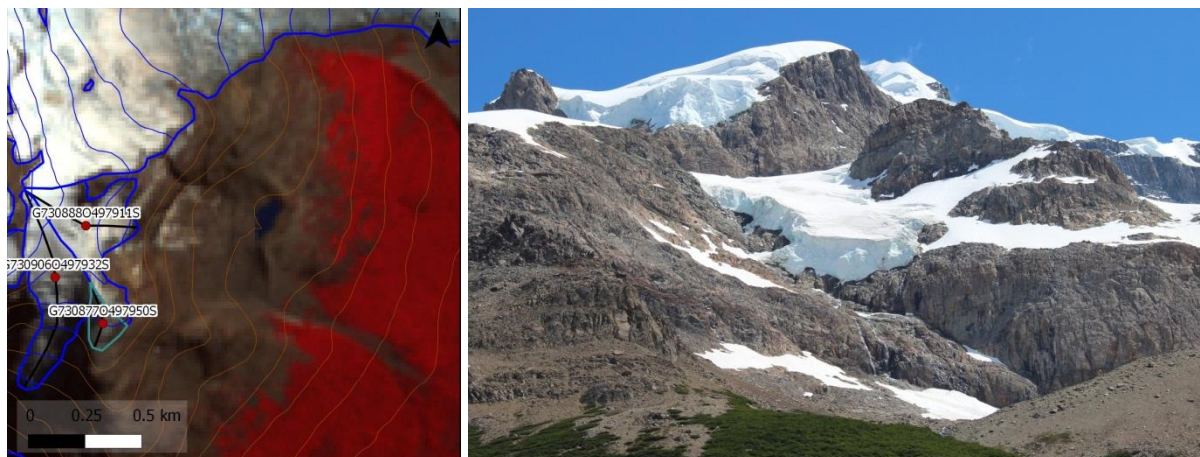
Glaciar colgante en la pared sur del Cerro Norte y pequeño manchón de nieve adyacente. En el pasado contribuían al glaciar Cerro Norte. Actualmente se mapearon como cuerpos independientes.

Geoformas G730307O498111S y G730336O498167S



Pequeño glaciar de nicho con exposición norte y rimaya visible, y pequeño glaciar de montaña o manchón. Ambos en la margen izquierda del río Norte. En el G730336O498167S se confirmó su presencia pero su clasificación sigue siendo incierta.

Geoforma G730888O497911S



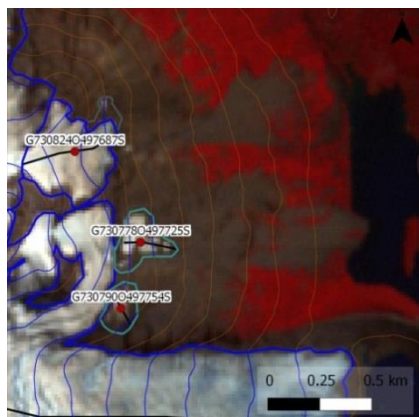
Glaciar colgante en la cara este del Cerro Norte. Tiene una morena terminal prominente.

Geoforma G730874O497796S



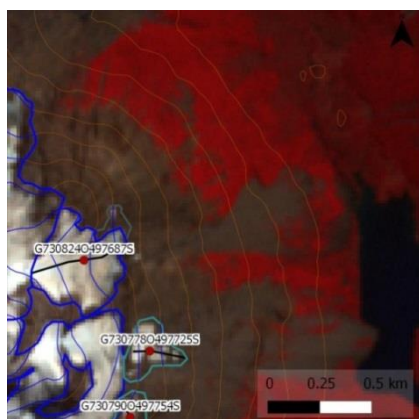
Glaciar de valle dos Lagos, en la ladera noreste del Cerro Norte. El frente es con desprendimiento de témpanos en un lago proglacial, contenido por una morena terminal muy prominente. Es el mayor glaciar de la subcuenca río Norte.

Geoformas G730790O497754S y G730778O497725S



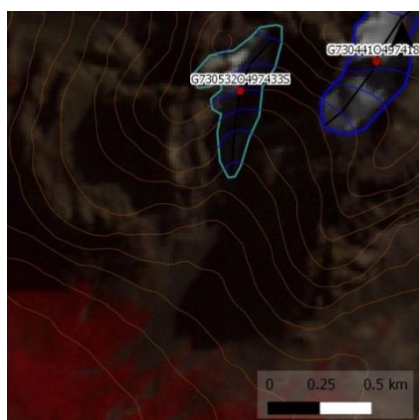
Pequeños manchones de nieve en la base de un glaciar colgante en el glaciar dos Lagos. En la fecha de la campaña había nieve estacional, pero los manchones son visibles tanto en la imagen de base (Aster 2005) como en la complementaria (Alos 2008).

Geoforma G730824O497687S



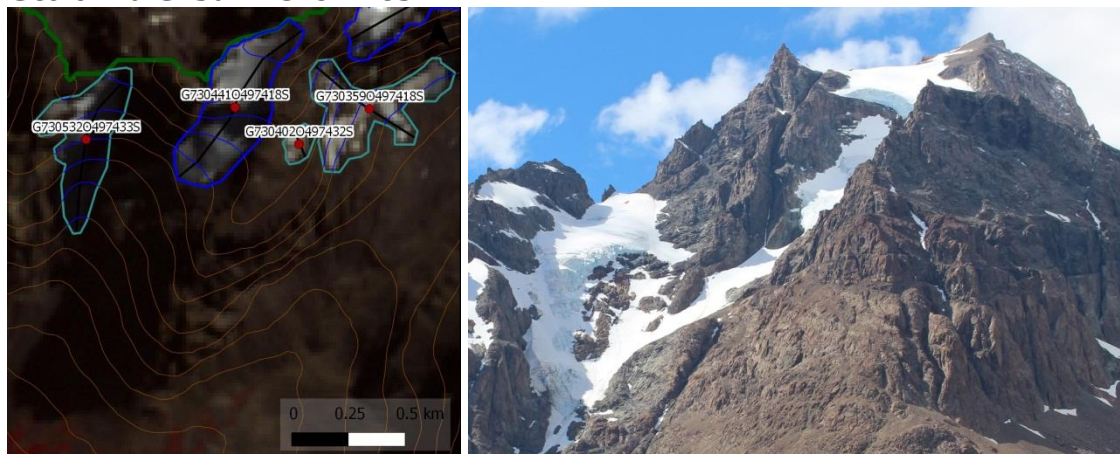
Glaciar de montaña en la las nacientes del río Norte.

Geoforma G730532O497433S



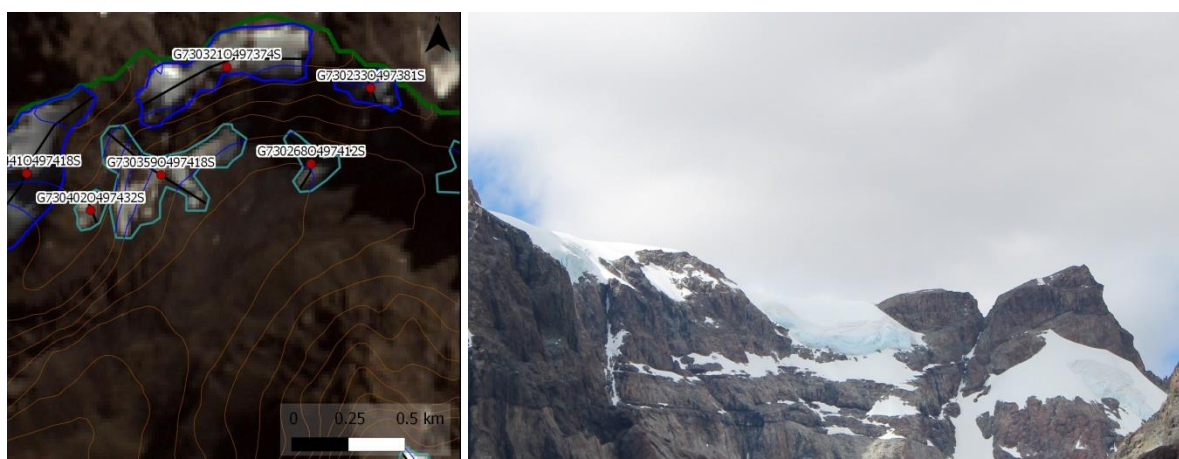
Manchón de nieve en la ladera sudeste del cordón del cerro Boj. Tiene nieve estacional en la fecha de la campaña.

Geoforma G730441O497418S



Glaciar colgante en la ladera sudeste del cordón del cerro Boj. Tiene nieve estacional en la fecha de la campaña.

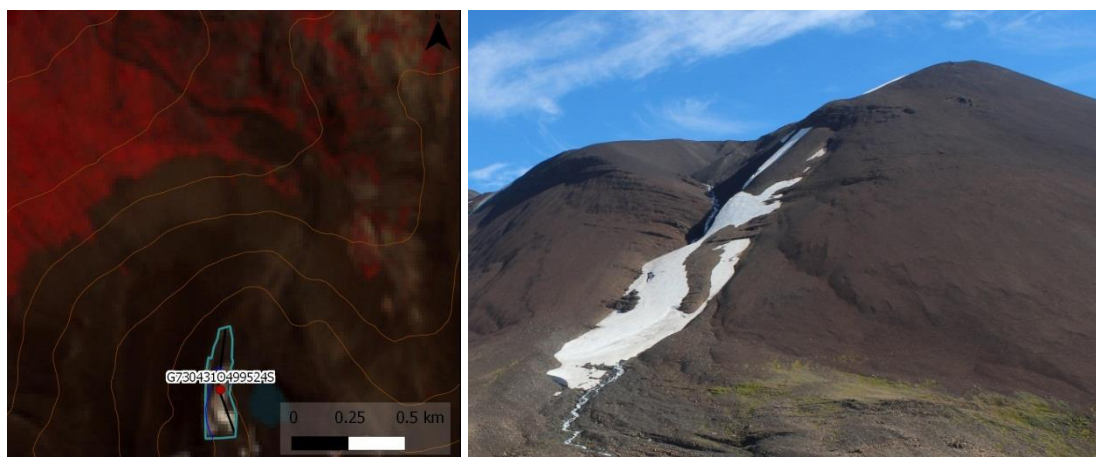
Geoforma G730321O497374S y G730233O497381S



Pequeños glaciares de montaña, colgantes de forma irregular. La imagen Alos 2008 permite ver las grietas con claridad. Tienen nieve estacional en la fecha de la campaña.

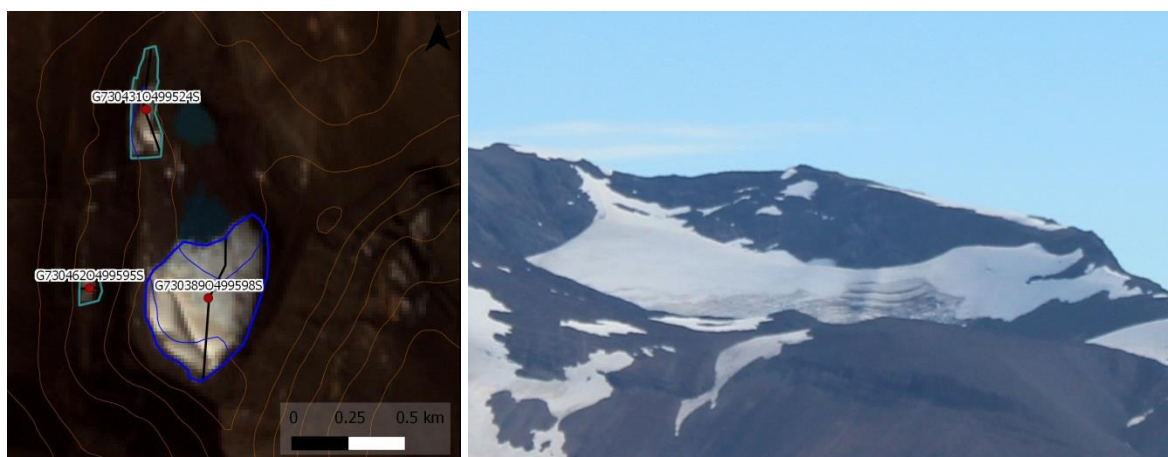
Geoformas relevadas en la Subcuenca Tannhauser

Geoforma G7304310499524S



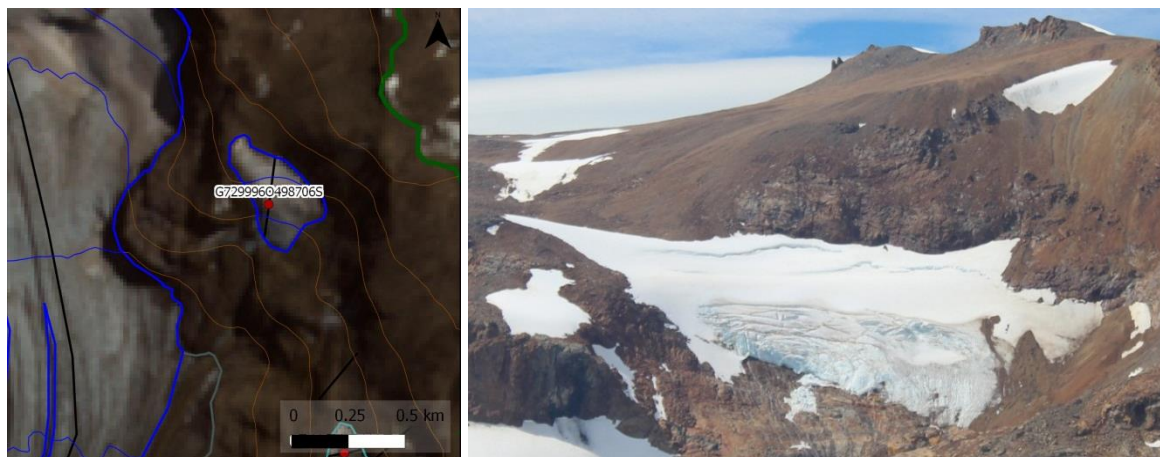
Manchón de nieve en una canaleta, en la ladera norte del Cordón Cuchillo. Este manchón está en 2005 y en 2013, pero no está en 2008. Tiene nieve estacional en la fecha de la campaña.

Geoforma G7303890499598S



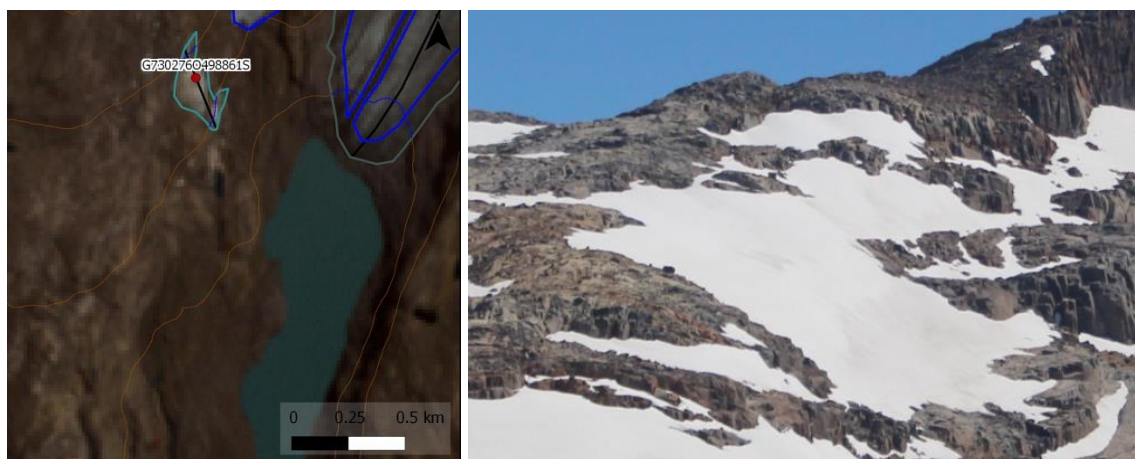
Glaciar de circo en la ladera norte del Cordón Cuchillo. Tiene nieve estacional en la fecha de la campaña.

Geoforma G729996O498706S



Pequeño glaciar de circo en las nacientes del arroyo Los Perros. Se aprecian la rimaya, otras grietas y la línea de nieve.

Geoforma G730276O498861S



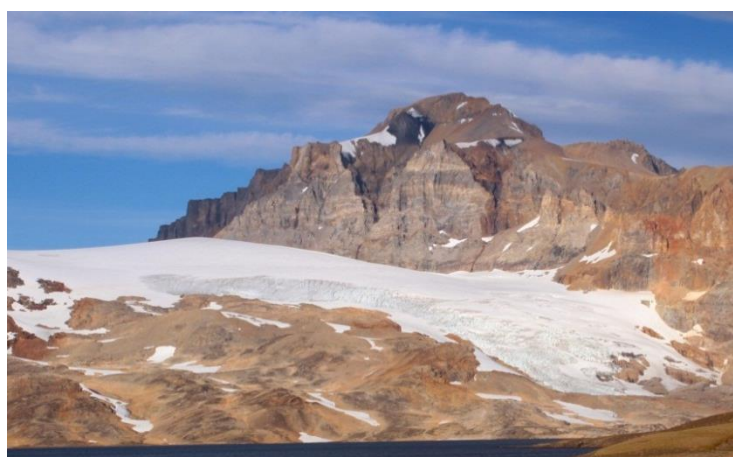
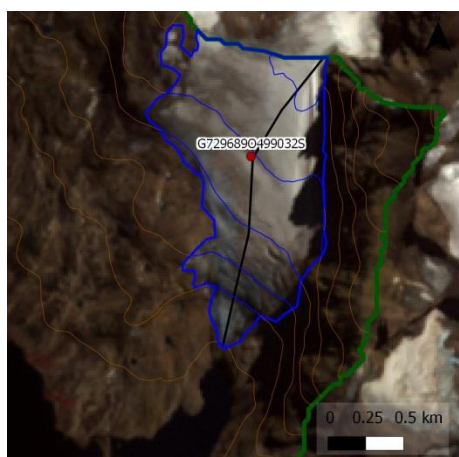
Manchón de nieve en las nacientes del A° Los Perros. Tiene cobertura de nieve estacional en la fecha de la campaña.

Geoforma G730175O498611S



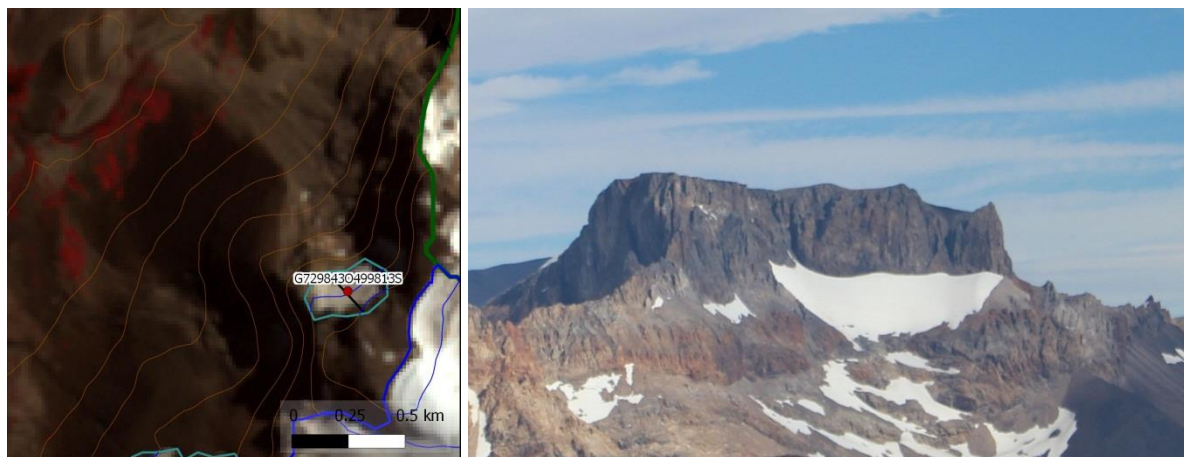
Glaciar de valle con cascada de hielo y lengua parcialmente cubierta en las nacientes del arroyo Los Perros. Es el mayor glaciar de la subcuenca, con 7,5 km².

Geoforma G729689O499032S



Glaciar de valle en la cuenca Tannhauser.

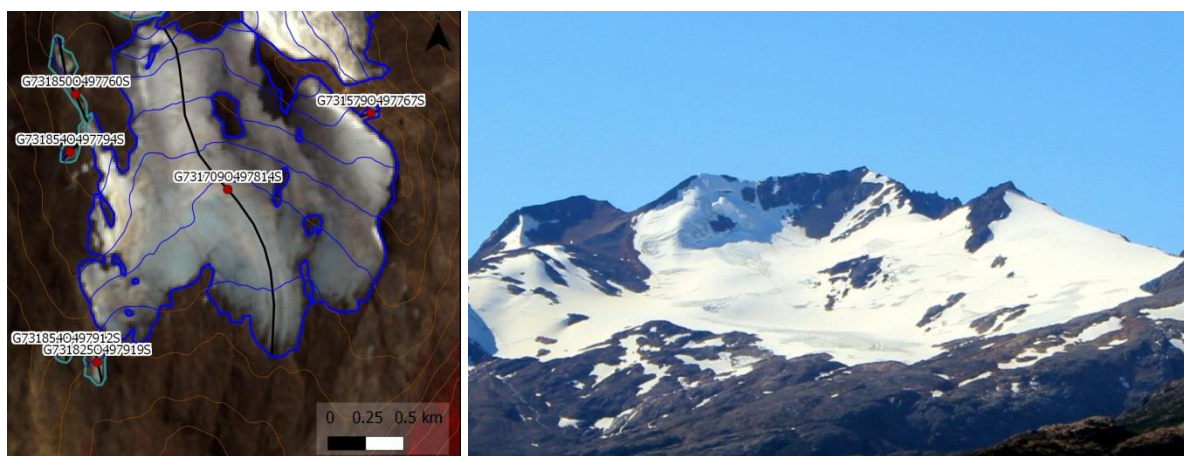
Geoforma G729843O499813S



Manchón de nieve en la Cuenca Tannhauser.

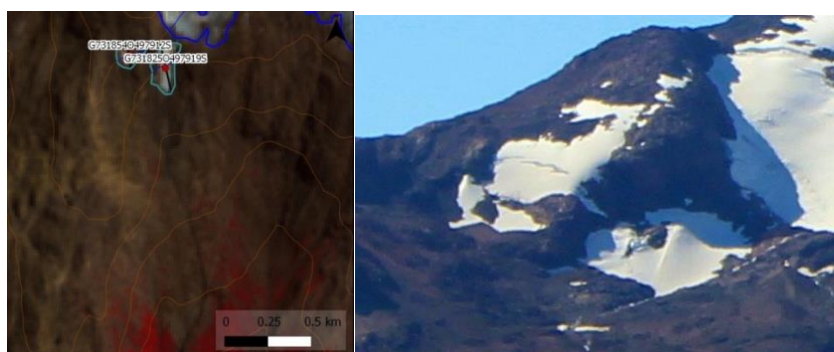
Geoformas relevadas en la subcuenca Pfister Moyano

Geoforma G731709O497814S



Glaciar de montaña Central Pfister, en la ladera sur del cordón del Cerro Pfister. Tiene cobertura de nieve estacional en la fecha de la campaña.

Geoformas G731854O497912S y G731825O497919S



Manchones de nieve al oeste del glaciar Central Pfister.

Geoformas relevadas en la subcuenca del río de las Frutillas

Geoforma G730727O498347S



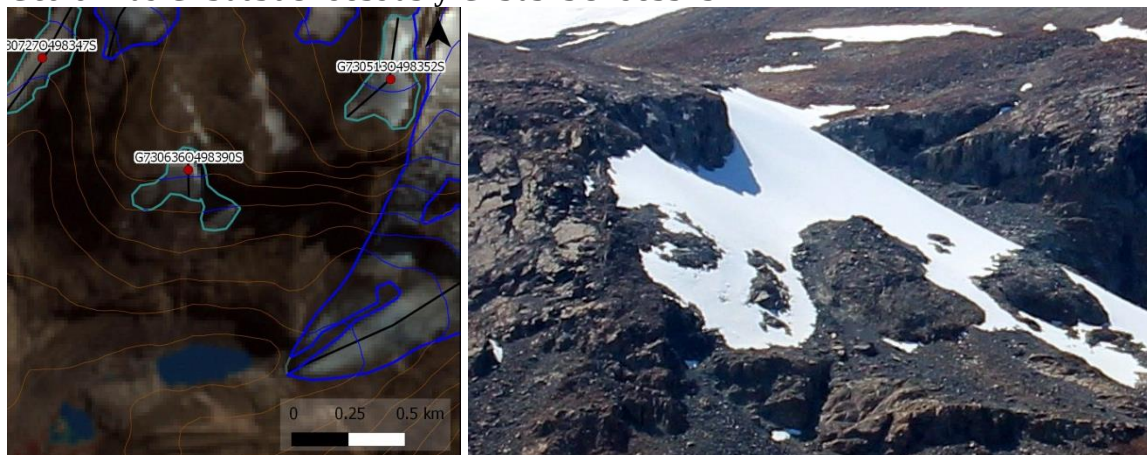
Manchón de nieve.

Geoforma G730616O498289S



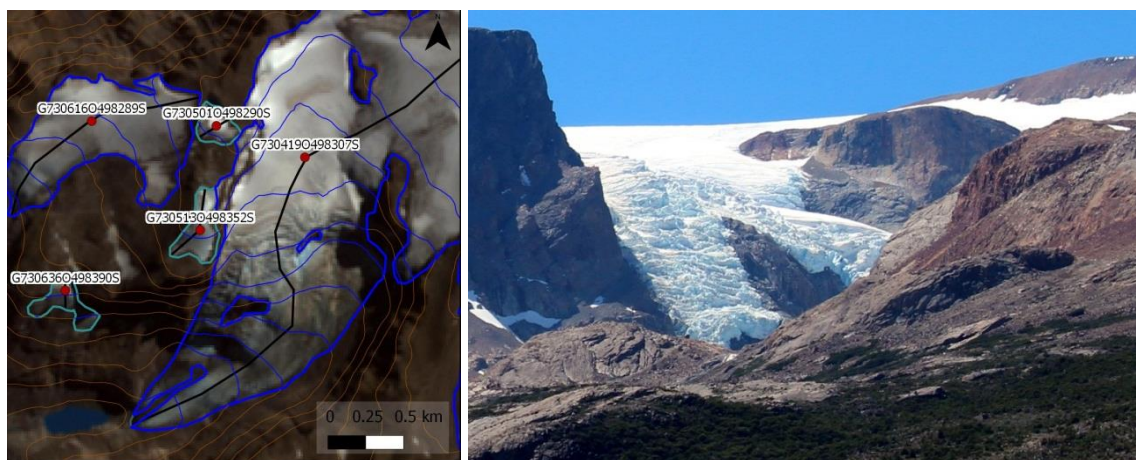
Glaciar de montaña de forma irregular en las nacientes del río de las Frutillas.

Geoformas G730636O498390S y G730513O498352S



Manchones de nieve en las nacientes del río de las Frutillas. Tienen cobertura de nieve estacional en la fecha de la campaña.

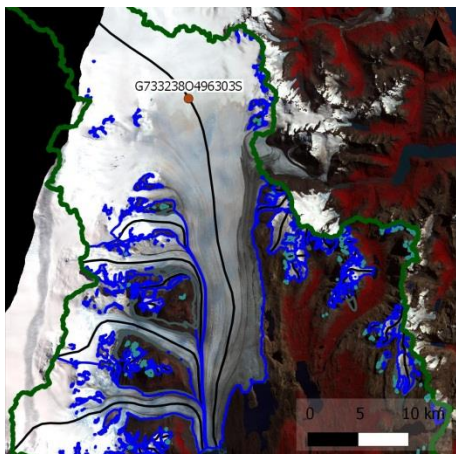
Geoforma G7304190498307S



Glaciar de valle con cascada de hielo en las nacientes del río de las Frutillas. Tiene un lago proglacial y morenas terminales prominentes.

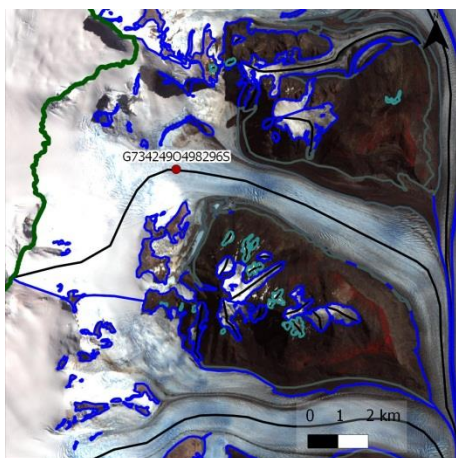
Geoformas en la subcuenca del Brazo Upsala

Geoforma G7332380496303S



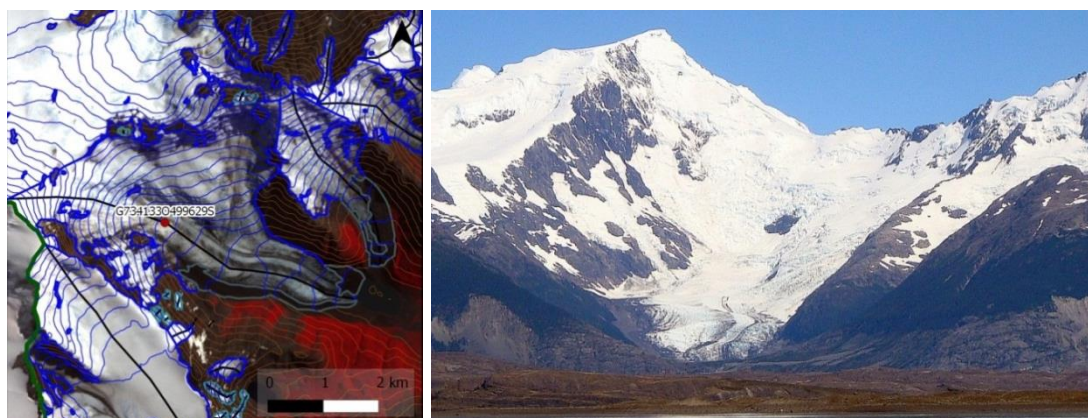
Glaciar Upsala, de descarga y con frente con desprendimiento de témpanos. Sección del frente que termina en el Lago Guillermo (sup.). Sección del frente que termina en el Brazo Upsala (inf.).

Geoforma G7339080498082S



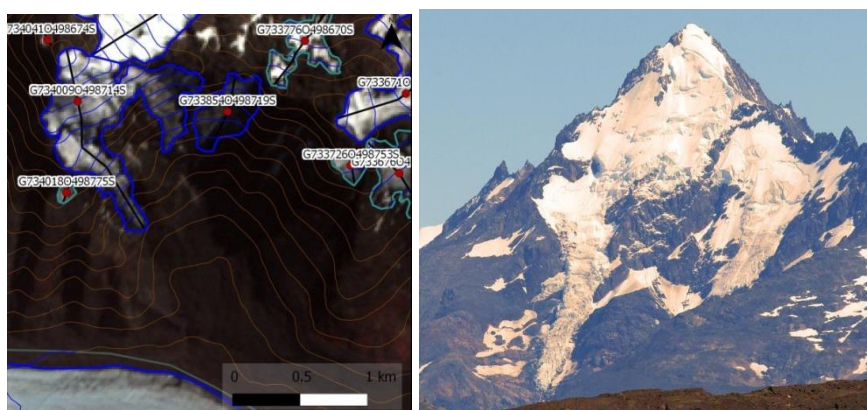
Glaciar Cono, de descarga y con frente con desprendimiento de témpanos. Con 68 km², es el glaciar más grande que confluye con el Upsala.

Geoforma G734133O499629S



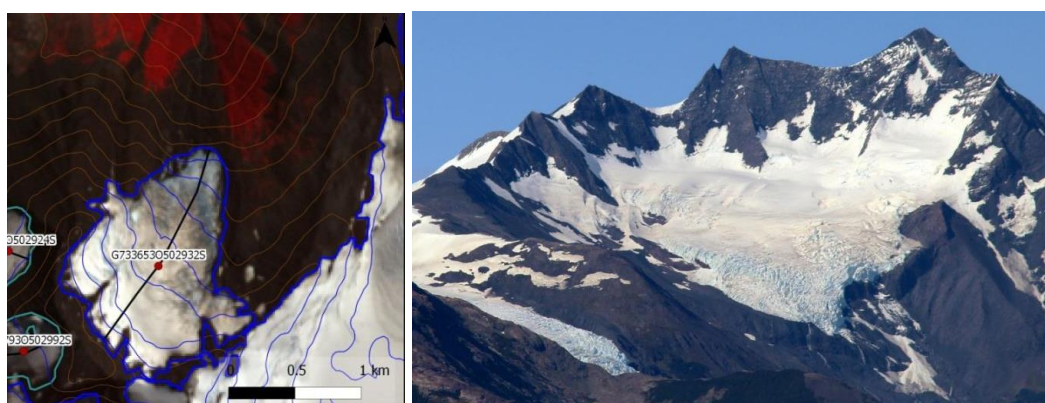
Glaciar de valle ante-cumbre Bertrand sur. Es un glaciar grande y tiene un lago proglacial y morenas prominentes.

Geoforma G734009O498714S



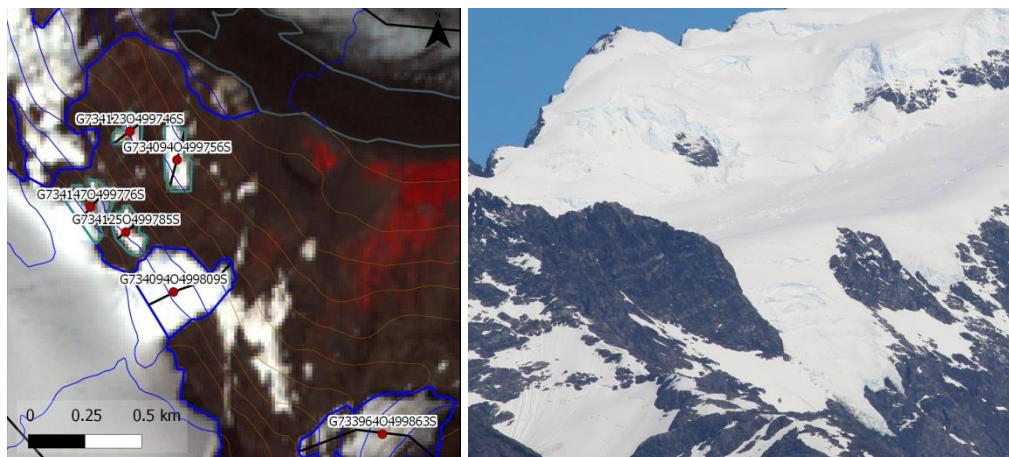
Glaciar sur de la cumbre del Cerro Cono (2.440 msnm).

Geoforma G733653O502932S



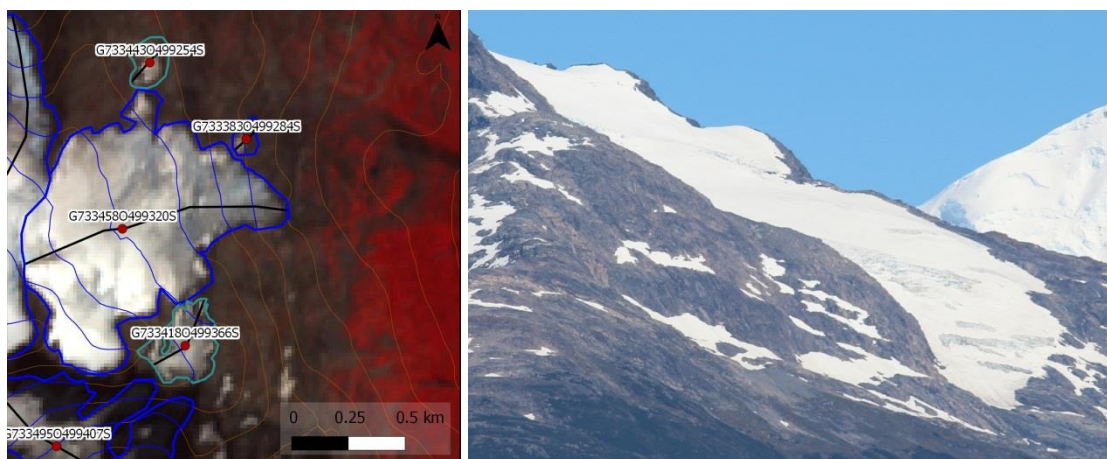
Glaciar de montaña, colgante, en el Brazo Spegazzini.

Geoforma G734094O499809S



Pequeña lengua del glaciar Agassiz que drena hacia el Brazo Upsala.

Geoforma G733458O499320S



Glaciar de montaña en el Brazo Upsala. Tiene cobertura de nieve estacional en la fecha de la campaña.

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 km² (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 recrystalización 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 km² (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 km² (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)** (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 (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 glaciario cubierto con glaciario 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

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 km².

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 sobreimpuesto

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. Multiraíz: 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 km².
- 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 km² 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 la subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino, Parque Nacional Los Glaciares, cuenca del río Santa Cruz, provincia de Santa Cruz.

