



**INVENTARIO
NACIONAL
DE GLACIARES**

IANIGLA | U.N. CUYO
GOBIERNO |
CONICET | DE MENDOZA

 Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de la subcuenca del Lago
Viedma
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: Dr. Pierre Pitte

Profesionales: Ing. Silvia Delgado, Ing. Melisa Giménez

Colaboradores: Dr. Mariano Masiokas, Lic. Laura Zalazar,

Lic. Lidia Ferri Hidalgo, Lic. Hernán Gargantini, Dr. Lucas Ruiz

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	12
4.1. Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos digitales de elevación ..	13
4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	14
4.3. Delimitación del hielo descubierto	17
4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	17
4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas	18
4.6. Control de campo	19
5. Resultados	20
5.1. Subcuenca del Lago Viedma	20
5.2. Control de campo	23
6. Bibliografía	24
7. Anexos	27
7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del Lago Viedma	27
7.2. Control de campo	29
7.2.1 Objetivos	29
7.2.2 Logística	29
7.2.3 Resultados	30

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: Subcuenca del Lago Viedma cuenca del río Santa Cruz, provincia de Santa Cruz..	13
Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología usada.	16
Figura 6: Delimitación de hielo descubierto en el sector oeste del Lago Viedma a partir de un cociente de bandas 3/4 de la imagen ASTER 2005. El resultado inicial es bueno, pero requiere de correcciones posteriores.	17
Figura 7: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del Lago Viedma..	20
Figura 8: Mapa del inventario de glaciares de la subcuenca del Lago Viedma.	21
Figura 9: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del margen sur del Lago Viedma.	22
Figura 10: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del Lago Viedma.....	22
Figura 11: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del margen sur del Lago Viedma.	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el inventario de la subcuenca del Lago Viedma (ver anexo 7.1. para mayor información).....	14
Tabla 2: Superficie total de glaciares inventariados en la subcuenca Lago Viedma.	20
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del margen sur del Lago Viedma.	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 uno de los principales 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 1° — 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 2° — 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 3° — Inventario. Créase el Inventario Nacional de Glaciares, donde se **individualizarán todos los glaciares y geformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional** con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.*

ARTÍCULO 4° — 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 5° — 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.

El presente informe del Inventario Nacional de Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1 en la subcuenca Lago Viedma, del Parque Nacional Los Glaciares (Ley N° 13.895), cuenca del río Santa Cruz. Toda la cuenca del río Santa Cruz ocupa una superficie de unos 29.700 km² (SSRH), pero para el inventario de glaciares, se dividió en varias subcuencas, siendo una de ellas la correspondiente al Lago Viedma (Figura 5). La subcuenca Lago Viedma posee una vertiente Atlántica y cubre parte de la porción norte de la cuenca del río Santa Cruz, esta cuenca se ubica en los departamentos de Lago Argentino y Corpen Aike en la provincia de Santa Cruz, región de los Andes del Sur de la Patagonia Argentina.

En este informe 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 Lago Viedma 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.

Agradecemos a la Estancia Helsingfors y a su encargado Pablo Fones por facilitarnos un lugar para acampar durante el trabajo el Seno Moyano.

Agradecemos a la Administración de Parques Nacionales por facilitar nuestra tarea en el Parque Nacional Los Glaciares, en particular al guardaparque Boris Dietz por la información brindada durante el trabajo en la Seccional Moyano.

Agradecemos A CONAE, GLIMS y JICA-JAXA por las imágenes satelitales provistas, en base a las cuales se realizaron los diferentes inventarios.

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.

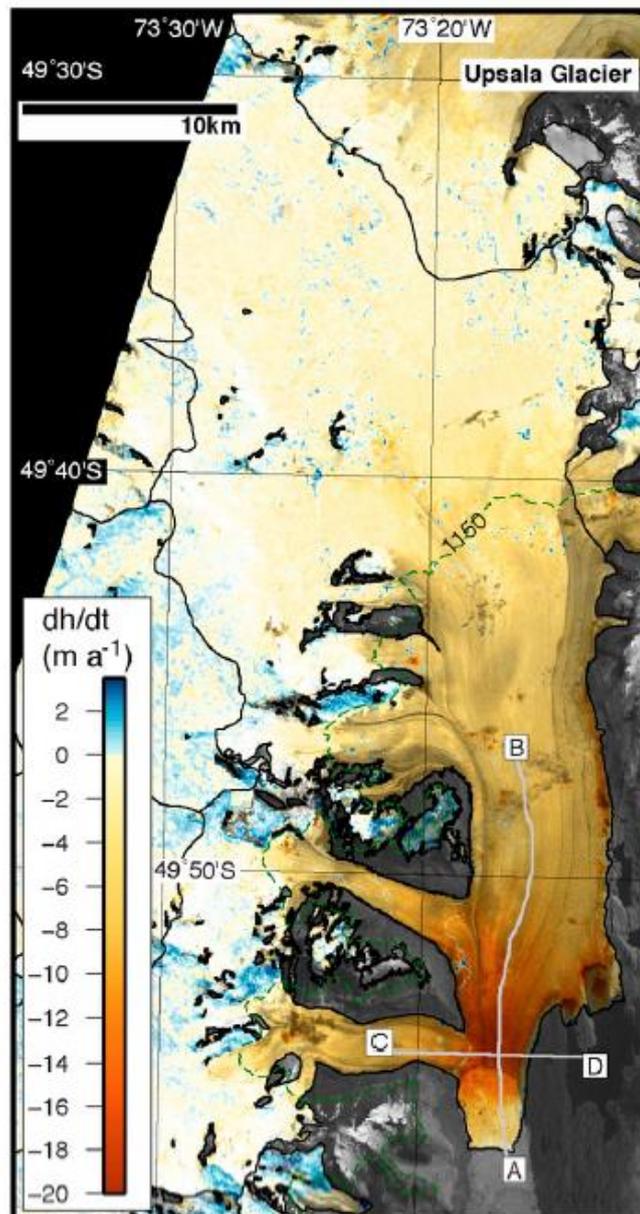


Figura 1: Cambios de espesor en el Glaciar Upsala entre 2000 y 2012 (Willis et al. 2012). Notar que el frente del glaciar Upsala ha perdido casi 200 m de espesor en 12 años.

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).

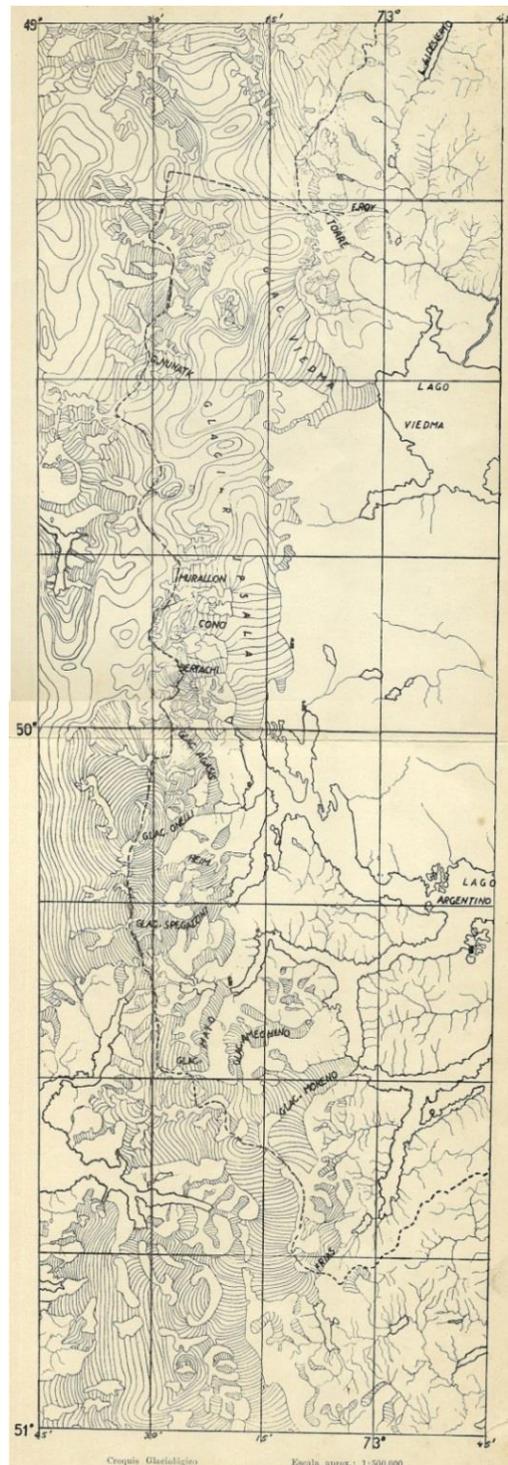


Figura 2: Mapa publicado por el Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico en 1960.

El primer inventario basado en un mosaico de imágenes satelitales Landsat de 1986 reportó un área total de 13.000 km² 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.

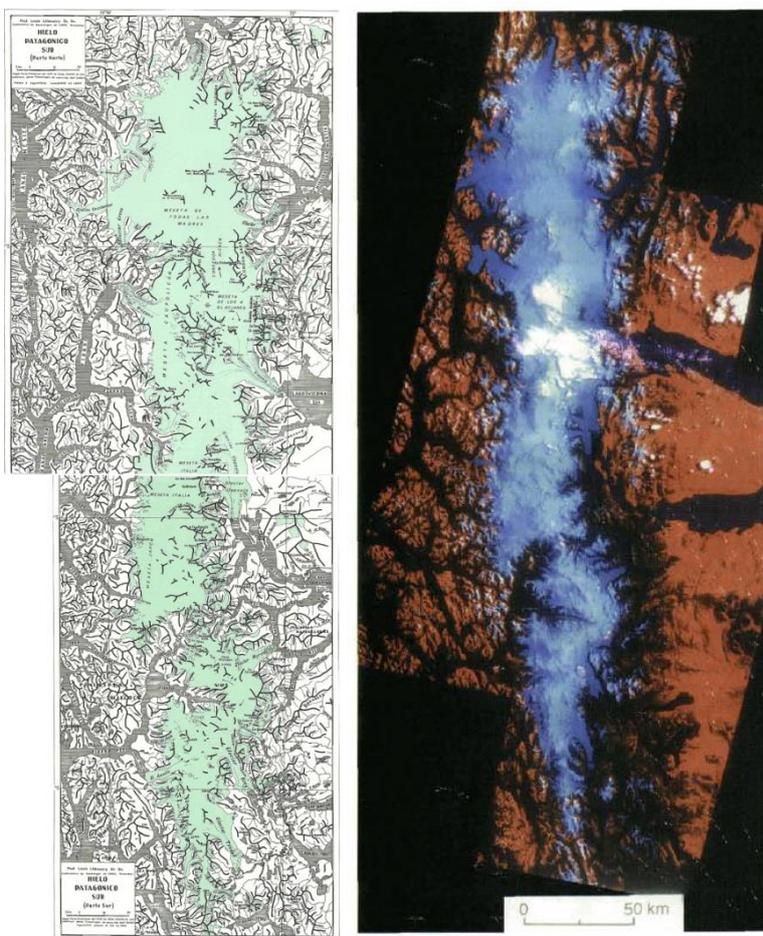


Figura 3: Izquierda: mapa publicado por el Servicio Geológico de EEUU en 1998. Derecha imagen de 1986 utilizada en el primer inventario basado en sensores remotos.

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 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 operadores sin lugar a ambigüedades. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo para la subcuenca del Lago Viedma, cuenca del río Santa Cruz aquí presentado.

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 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; Brenning y Azócar 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).



Cordón Mariano Moreno en el Glaciar Viedma foto R. Villalba 2009.

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 (4.612km²)**

El presente informe se focaliza en el inventario de cuerpos de la subcuenca Lago Viedma que comprende la margen oeste de dicho lago, hasta donde desciende la enorme lengua del glaciar Viedma, que es uno de los mayores glaciares existentes en los andes argentinos. Por la margen sur y sur-este del lago desembocan los ríos Jorgan, Cóndor y Guanaco. En su extremo sudoriental nace el río La Leona que aporta sus aguas al Lago Argentino y este al río Santa Cruz (Figura 4).

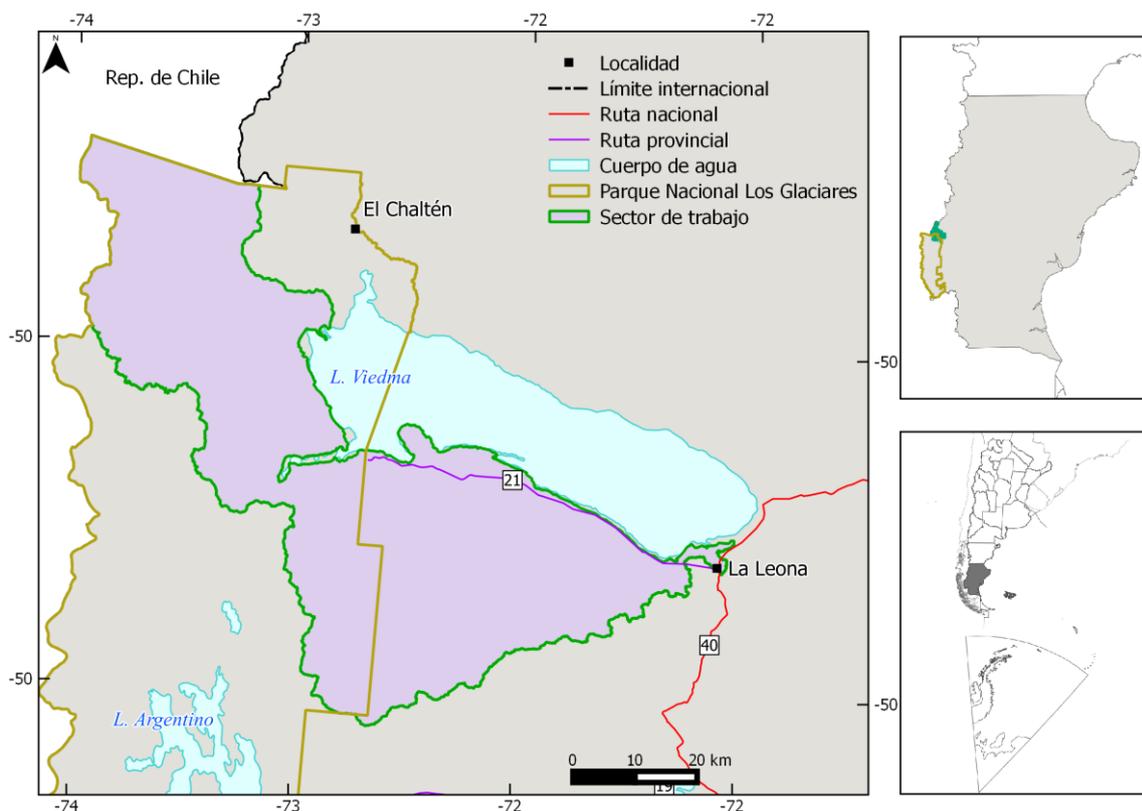


Figura 4: Subcuenca del Lago Viedma cuenca del río Santa Cruz, provincia de Santa Cruz.

4.1. Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos digitales de elevación

La delimitación de cuencas hidrográficas en la subcuenca del Lago Viedma, 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 subcuenas. Cuando se observó un ajuste deficiente entre el MDE y la imagen de base, se procedió a editar y corregir manualmente la subcuenas 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 Lago Viedma se utilizaron de base imágenes ASTER del satélite TERRA (Tabla 1) e imágenes LANDSAT5 TM, que también se emplearon como base de georreferenciación. Como imágenes de apoyo se utilizaron imágenes ALOS PRISM y el programa Google Earth 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.

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el inventario de la subcuenca del Lago Viedma (ver anexo 7.1. para mayor información).

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2028179509	20 febrero 2005
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2028179522	20 febrero 2005
Landsat5/TM	LT52310942005050COA00	19 febrero 2005

Los datos ASTER fueron obtenidos de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (http://lpdaac.usgs.gov/get_data) a través del Convenio entre el programa GLIMS y el IANIGLA. Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS). 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 siguieron las sugerencias establecidas por GLIMS que tienen en cuenta la disponibilidad de imágenes, la ausencia de nubes y la cobertura de nieve en las mismas. Para minimizar los posibles errores que introduce la cobertura de nieve, que dificulta la delimitación de los cuerpos de hielo, se eligieron casi exclusivamente imágenes correspondientes al final del año de balance de masa (Cogley et al 2011). En el caso de glaciares extratropicales, el final del año de balance de masa coincide con el fin del verano, es decir principios de otoño (Marzo/Abril), mientras que para los glaciares tropicales se aproxima con el final de la temporada seca (fines de agosto y principios de septiembre).

En este trabajo las coordenadas están referidas al sistema de referencia global 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 corrigieron pequeñas variaciones utilizando como base un mosaico compuesto de imágenes LANDSAT 5 TM (ver Anexo 7.1.). Estas imágenes, generadas por el USGS (United States Geological Survey) son internacionalmente aceptadas como base de referencia (Tucker et al. 2004). El procedimiento de georreferenciación se realizó con el programa gvSIG.

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

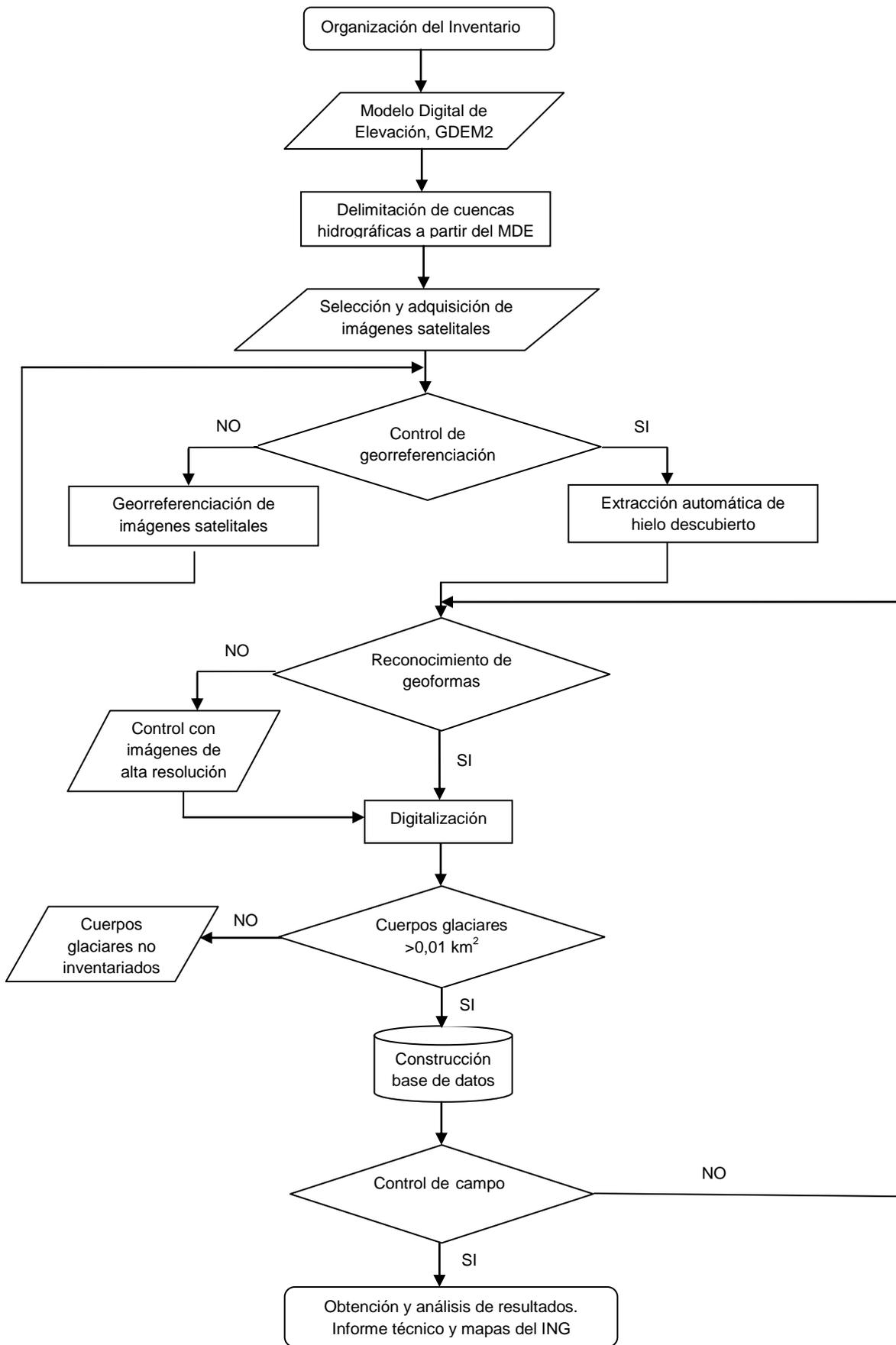


Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología usada.

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 (Figura 6).

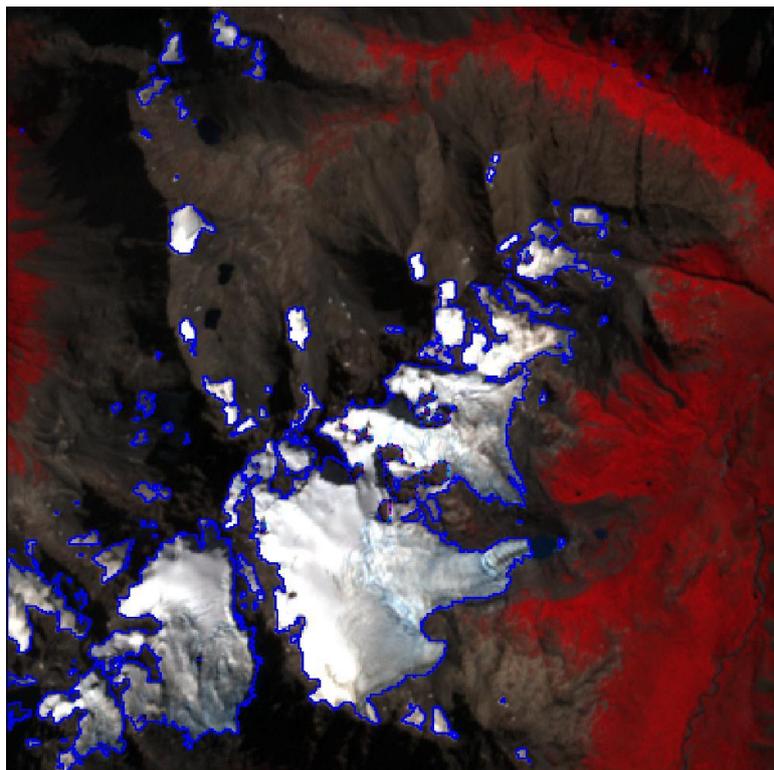


Figura 6: Delimitación de hielo descubierto en el sector oeste del Lago Viedma a partir de un cociente de bandas 3/4 de la imagen ASTER 2005. El resultado inicial es bueno, pero requiere de correcciones posteriores.

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 la mejor metodología utilizada a nivel internacional (Stokes et al. 2007). 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) (ver Anexo 7.1.).

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del Lago Viedma 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 (principalmente del WGMS y GLIMS) con adaptaciones debido a las particularidades de los cuerpos de hielo en los Andes Centrales de Argentina. Dado que en dicha región, los glaciares de escombros representan un recurso hídrico de gran importancia, las clasificaciones internacionales fueron ampliadas para incorporar este tipo de glaciares y sus características.

La clasificación morfológica se basa en la forma y características propias de los cuerpos de hielo. Basándonos en GLIMS las formas primarias son:

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:

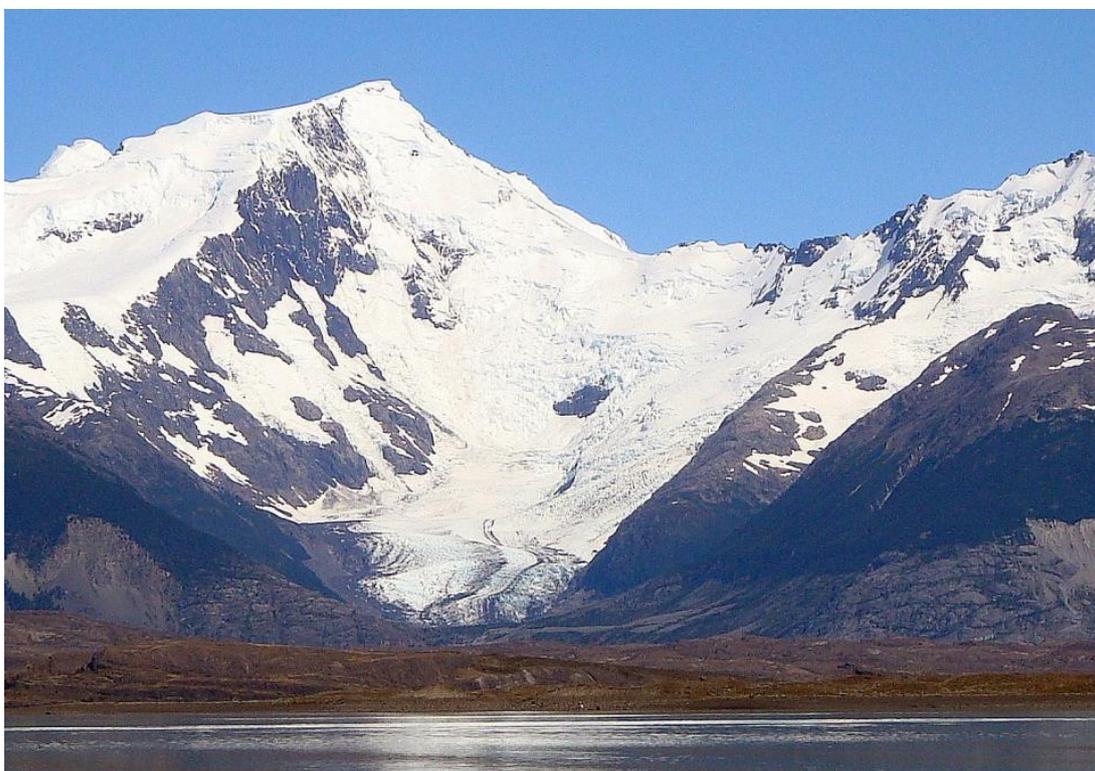
http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_a4.pdf.

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.



Glaciar de valle Ante cumbre Bertrand sur (21/01/2013).

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 del Lago Viedma

La superficie de la subcuenca del Lago Viedma es de aproximadamente 3.299 km², de los cuales el 29% (951,01 km²) está cubierta por cuerpos de hielo (Tabla 2 y Figura 8). En total, en el área de estudio se identificaron 293 geoformas compuestas principalmente por hielo descubierto (99% de la superficie total inventariada). El 78,3% de dicha área corresponde a un sólo glaciar, el conocido glaciar Viedma con 737,02 km².

Sólo se detectaron unos pocos sectores de hielo cubierto por detritos, que no alcanzan el 0,6% de la superficie inventariada. Los manchones de nieve / glaciaretos son bastante numerosos pero sólo cubren el 0,4%. Con respecto al ambiente periglacial se han identificado 28 glaciares de escombros (1,61 km²), de los cuales el 87% corresponde a crioformas activas y el 13% a inactivas (Figura 7).

Tabla 2: Superficie total de glaciares inventariados en la subcuenca Lago Viedma.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	940,88
Manchones de nieve/glaciaretos	3,55
Glaciar cubierto	4,96
Glaciar de escombros	1,61
Total	951,01

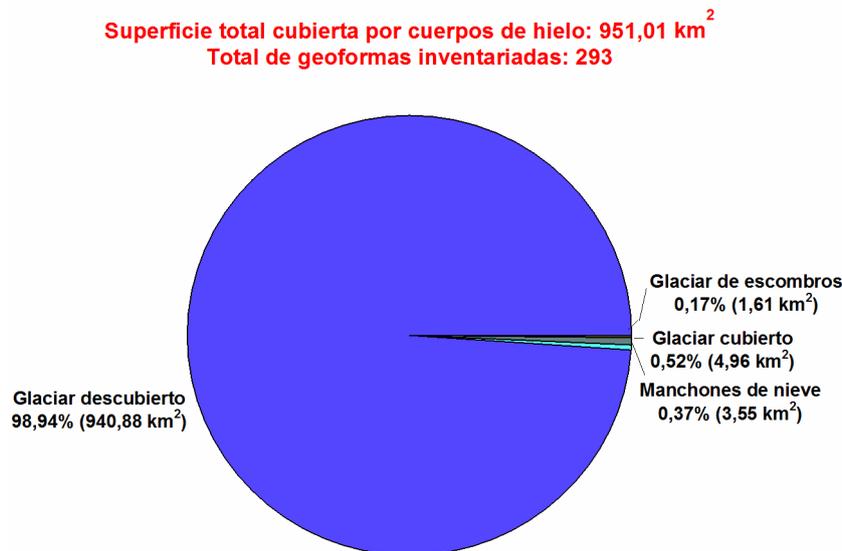


Figura 7: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del Lago Viedma.

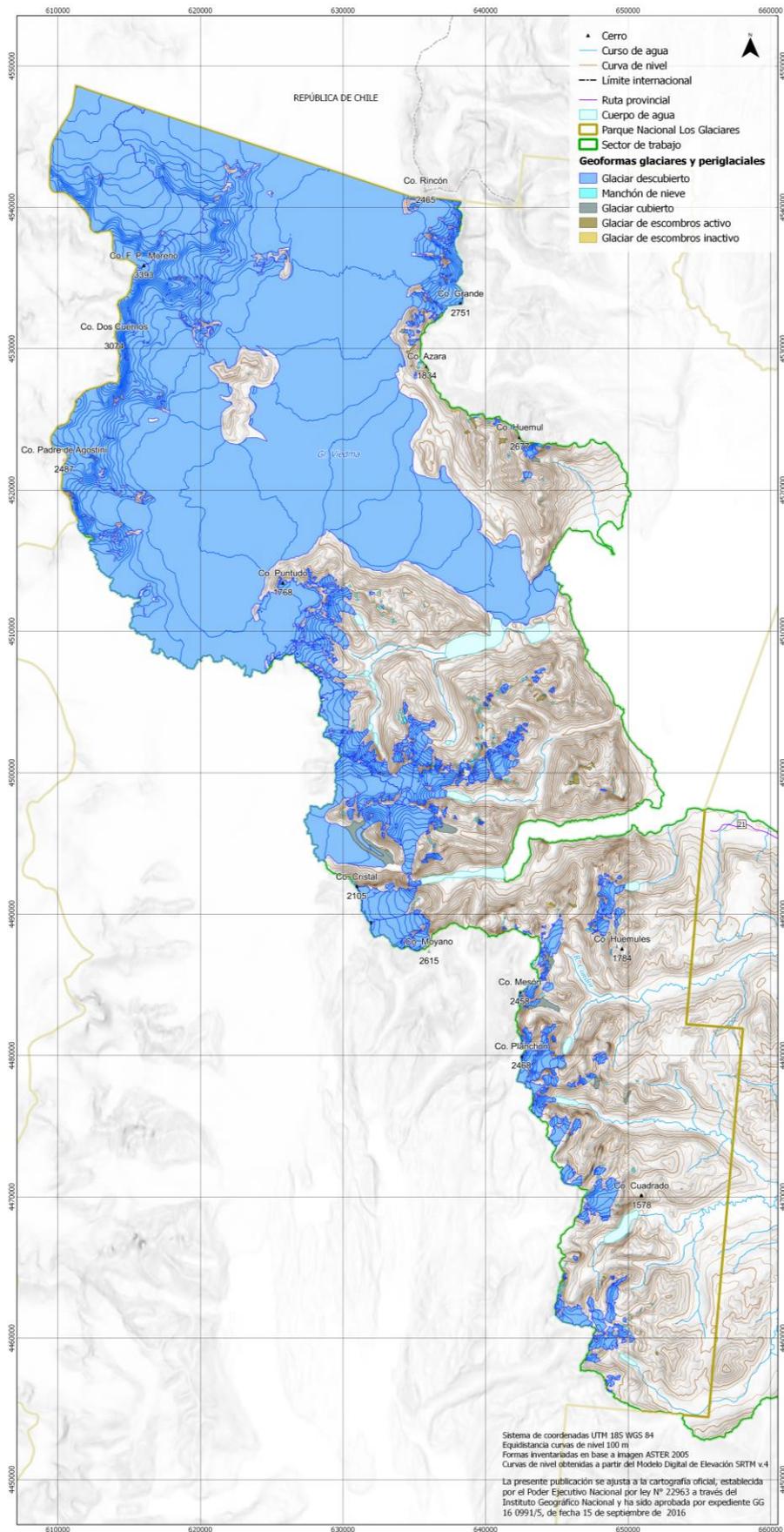


Figura 8: Mapa del inventario de glaciares de la subcuenca del Lago Viedma.

Las geoformas inventariadas en la subcuenca se encuentran orientadas en varias direcciones, predominando la orientación hacia el sureste (Figura 9), que coincide con las laderas de menor insolación en el hemisferio sur.

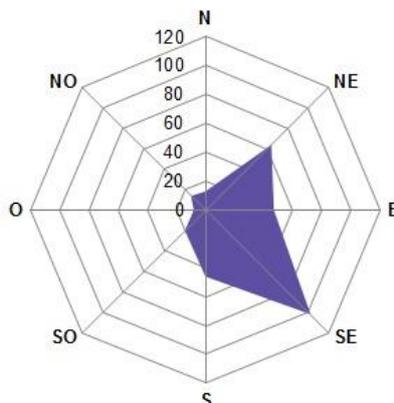


Figura 9: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del margen sur del Lago Viedma.

Los glaciares de muy pequeño tamaño (menores a $0,05 \text{ km}^2$) representan un porcentaje muy importante en cuanto a cantidad de unidades (49,7%), pero sólo contribuyen en un 0,4% de la superficie inventariada total. El 47,3% de los cuerpos relevados presentan un área comprendida entre los $0,05$ y 5 km^2 , representando sólo un 7,7% de la superficie de hielo. Los cuerpos entre 5 y 50 km^2 también presentan un área total equivalente al 7,4% pero en número sólo cerca del 2% de las geoformas inventariadas. Sólo el glaciar Viedma contribuye en conjunto al 77% del total del área inventariada de la subcuenca (Figura 10).

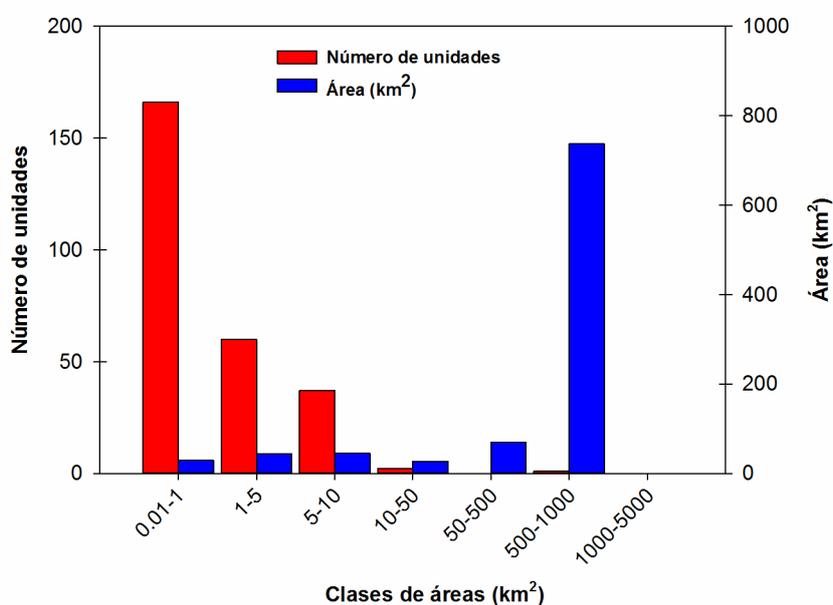


Figura 10: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del Lago Viedma.

Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del margen sur del Lago Viedma.

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	252	3.448
Manchones de nieve/glaciaretos	1.073	2.434
Glaciar cubierto	945	1.595
Glaciar de escombros	1.241	1.707

Los cuerpos de hielo de la subcuenca del Lago Viedma se encuentran entre los 250 y 3.450 msnm (Tabla 3) y tienen una altura media cercana a los 1.500 msnm. Los glaciares descubiertos ocupan todo el rango de elevaciones (3.450–250 msnm) con mayor concentración de hielo entre los 1.000 y 1.800 msnm. El resto de las geoformas presentan un rango altitudinal más acotado: los manchones de nieve se ubican por debajo de los 2.500 msnm, y los glaciares cubiertos y de escombros por debajo de los 1900 msnm (Figura 11).

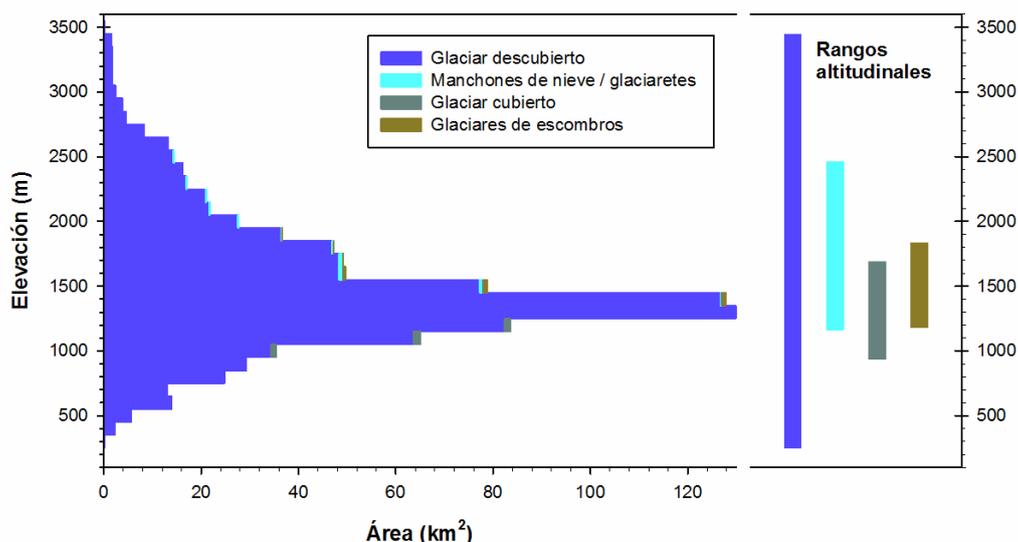


Figura 11: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del margen sur del Lago Viedma.

5.2. Control de campo

Entre los días 1 y 4 de marzo de 2017 se realizaron tareas de control de campo en la subcuenca Lago Viedma, cuenca del río Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz. En esta campaña se observaron un total de 34 geoformas, la mayoría se identificaron como glaciares de montaña, algunos grandes glaciares de valle, y el resto manchones de nieve perenne. Para mayor detalle ver Anexo 7.2.

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.

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 la subcuenca del Lago Viedma

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del Lago Viedma.

Para las imágenes que se utilizaron como base del inventario, la selección final se realizó teniendo en cuenta aquéllas de fechas más recientes, 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 en este caso imágenes del satélite Landsat.
- Para identificar manchones de nieve perenne se emplean imágenes de por lo menos dos años anteriores a la imagen utilizada como base para el inventario. Pueden ser de cualquier satélite, y también deben corresponder a fechas próximas al fin del verano para minimizar la existencia de la nieve estacional.
- Como ayuda para la interpretación y digitalización del hielo cubierto y glaciares de escombros, se suelen emplear imágenes de sensores de alta resolución.

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52310952005050COA00	19 febrero 2005	Base de georreferenciación
LT52310942005050COA00	19 febrero 2005	Base de georreferenciación y base de inventario

Satélite: Terra

Sensor: **ASTER**

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: Los datos ASTER fueron obtenidos del “Data Pool de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota” (http://lpdaac.usgs.gov/get_data) por convenio del IANIGLA con el programa GLIMS.

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST_L1A.003:2028179509	20 febrero 2005	Base de inventario
AST_L1A.003:2028179522	20 febrero 2005	Base de 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
ALPSMN116044600	29 marzo 2008	Manchones de nieve y apoyo para delimitación de hielo cubierto GE
ALPSMN116044605	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
ALPSMN172204595	18 abril 2009	Manchones de nieve y apoyo para delimitación de hielo cubierto GE
ALPSMN172204600	18 abril 2009	Manchones de nieve y apoyo para delimitación de hielo cubierto GE

7.2. Control de campo

7.2.1 Objetivos

Entre los días 1 y 4 de marzo de 2017 se realizaron tareas de control de campo en la subcuenca Lago Viedma, 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 01 se realizó el trayecto en camioneta desde El Calafate hasta la Seccional de Guardaparques río Guanaco (RP 11 31 km, RN 40 53 km y RP 19 66 km), ubicada al este del Cordón Cerro Boj-Cerro Pintado, que separa las subcuencas Brazo Norte del Lago Argentino y Lago Viedma.

El día 02 se subió desde la Seccional Río Guanaco (675 m snm) hasta un cerro sin nombre (1440 msnm) al sur del Lago Azul, se regresó a la Seccional Río Guanaco y se hizo el trayecto entre las Seccionales Río Guanaco y Seno Moyano (RP 19 66km, RN 40 18 km y RP 69 70 km). Se estableció el campamento en la Estancia Helsingfors, con autorización de su administrador, por no contar la Seccional Seno Moyano de Guardaparques con un área de acampe habilitada.

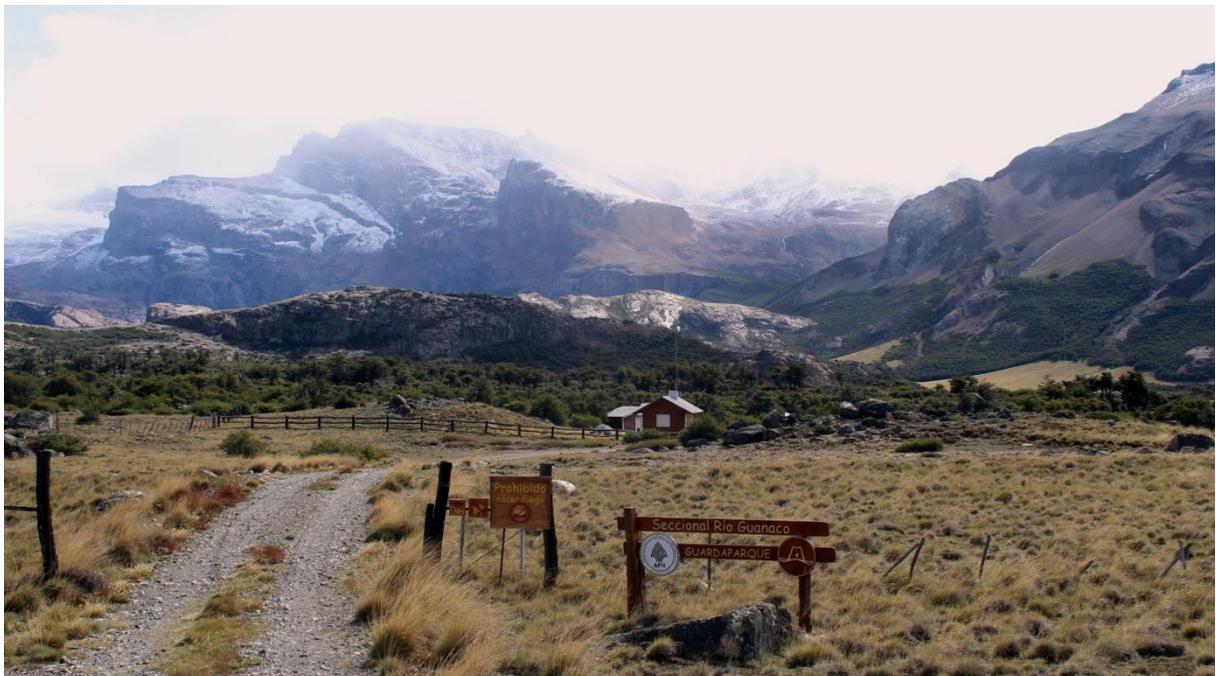
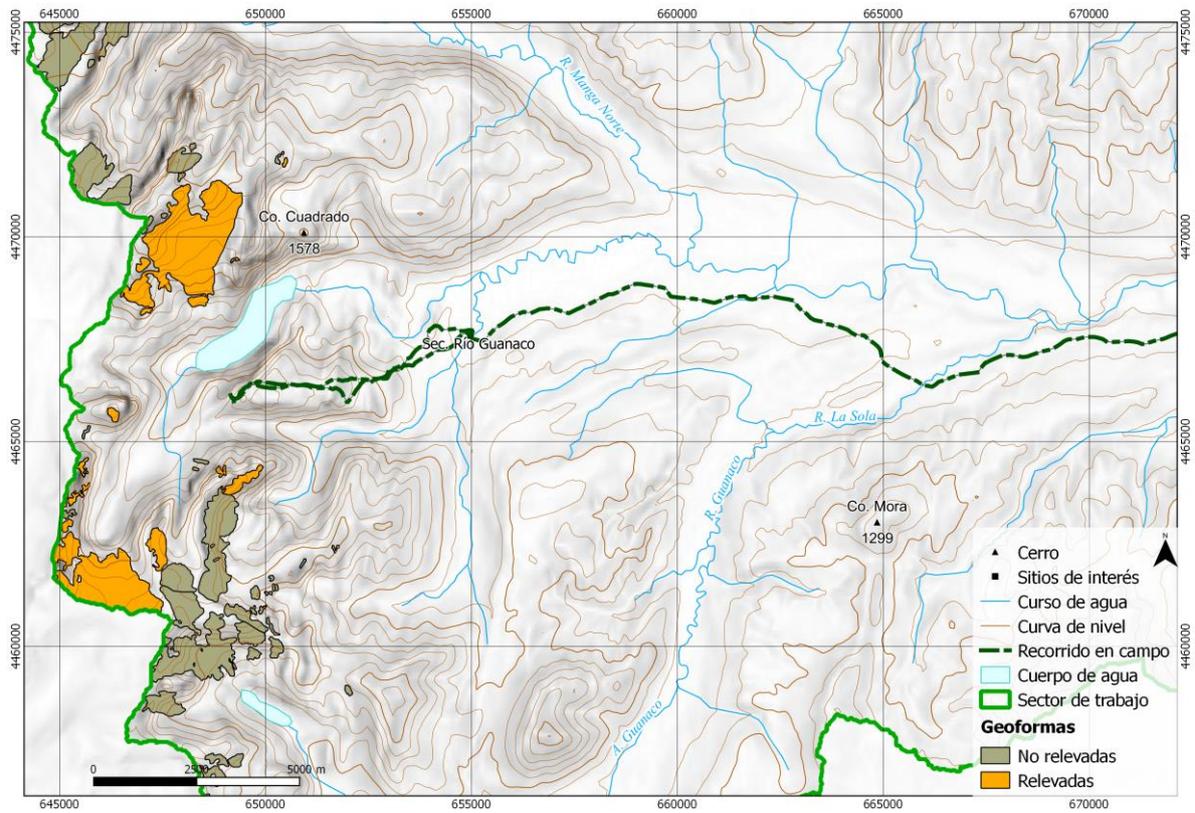
El día 03 se ascendió desde la Seccional Seno Moyano (300 msnm) al Lago Huemules (950 msnm) y desde allí se cruzó al valle del río Milodón hacia el sur, pasando por el col (1.150 msnm) y de regreso a la Seccional Seno Moyano.

El día 04 se realizó la caminata entre la Seccional Seno Moyano y el Lago del Aserradero, bordeando el Seno Moyano. Desde allí se regresó a la Seccional y se realizó el trayecto a 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 río Guanaco

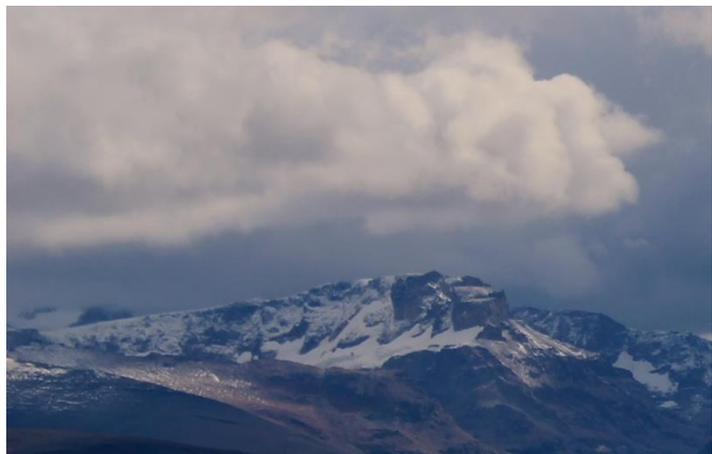
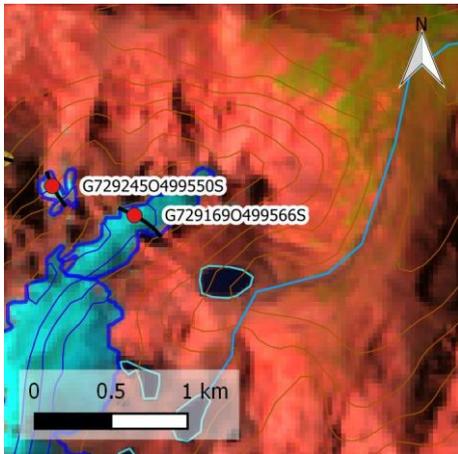




Vistas de las nacientes del río Guanaco y de la Seccional de Guardaparques, donde se realizó el campamento.

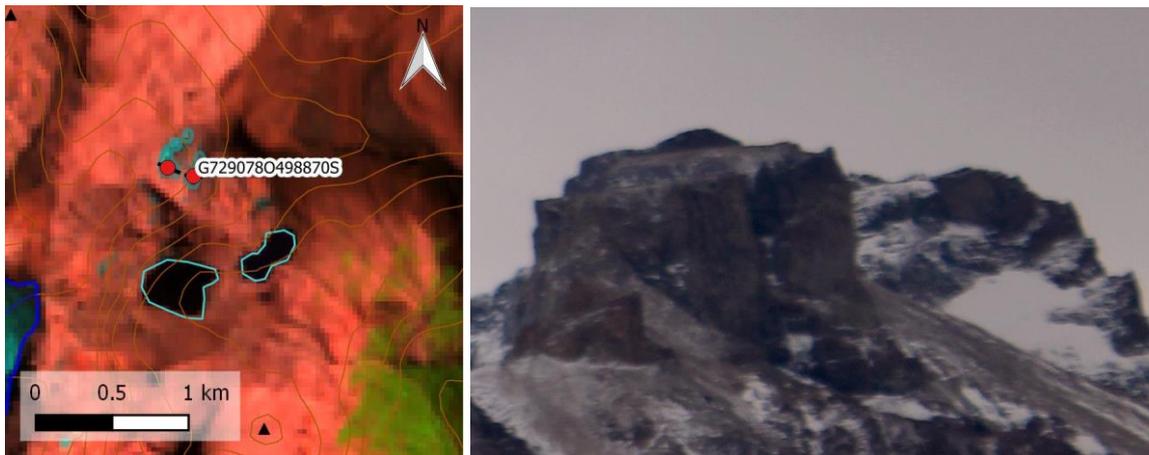
Geoforma G7292450499550S

Glaciar de circo en uno de los tributarios del río Guanaco.



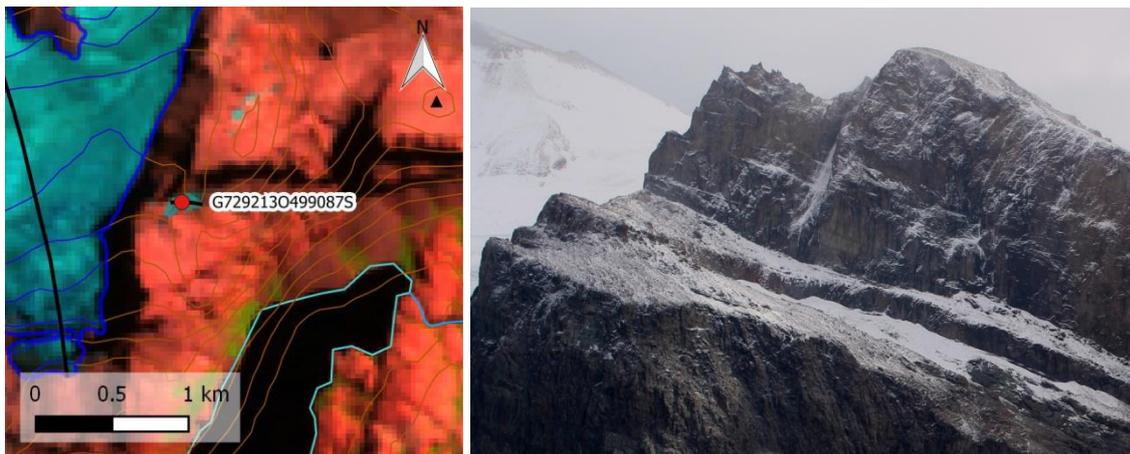
Geoforma G279078O498870S

Manchón de nieve al norte del Cerro Cuadrado.



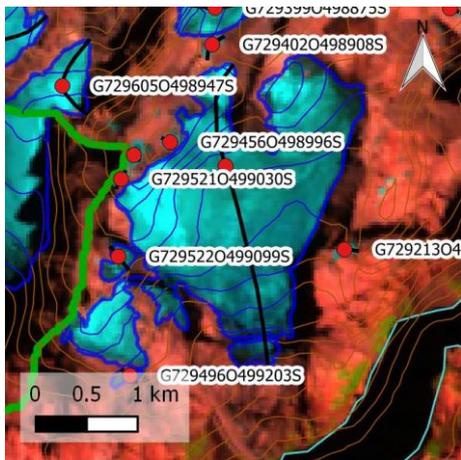
Geoforma G729213OP499087S

Manchón de nieve al oeste del Cerro Cuadrado.



Geoforma G729379O499016

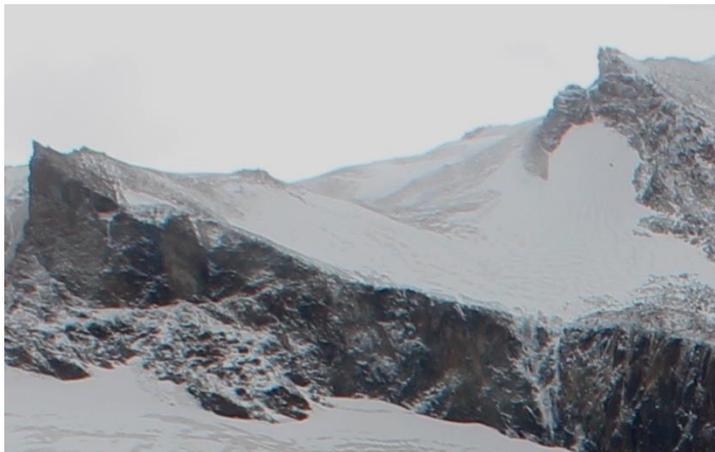
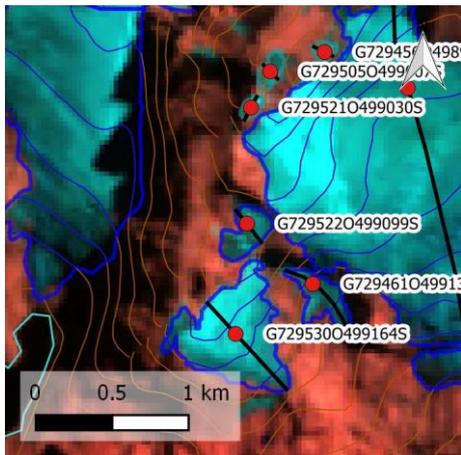
Glaciar de circo al este del Cerro Cuadrado. La morena lateral claramente visible en la imagen de referencia indica una extensión mayor reciente, cuando la lengua de un glaciar de valle llegaba hasta el Lago Azul. La pérdida de área de los últimos años ha dejado varias masas de hielo remanentes desconectados del glaciar principal.



Vista panorámica del valle del Lago Azul (río Guanaco). A la derecha (norte) se encuentra el Cerro Cuadrado, al centro (oeste), entre el Lago Azul y el Cerro Sombrero se encuentra el paso que permite cruzar hacia el Lago Tanhauser (subcuenca del Brazo Norte del Lago Argentino) y a la derecha (sur) se aprecia el Cerro Pintado.

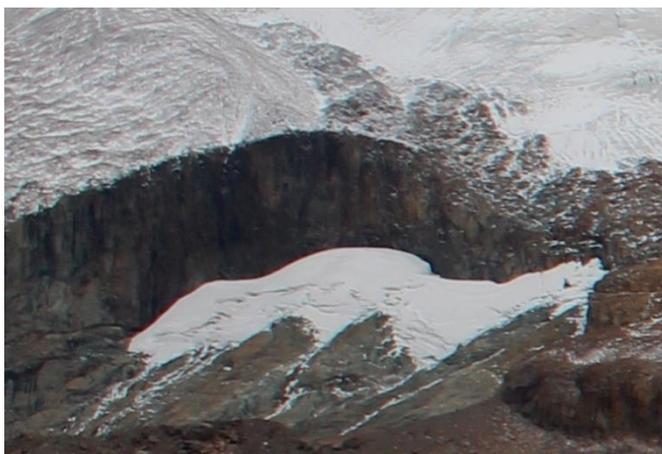
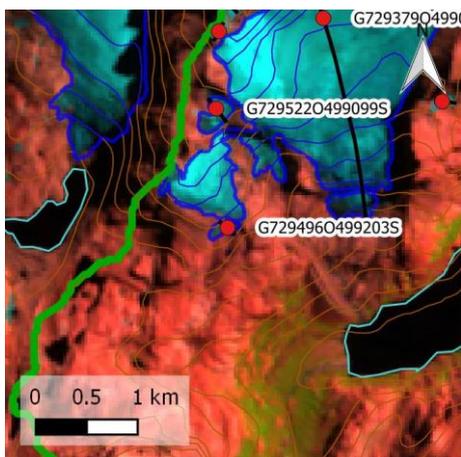
Geoforma G7295220499099

Glaciar de nicho al este del Cerro Cuadrado.



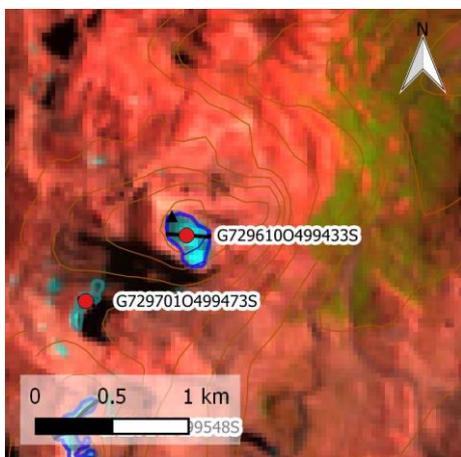
Geoforma G7294960499203S

Glaciar de nicho al este del Cerro Cuadrado.



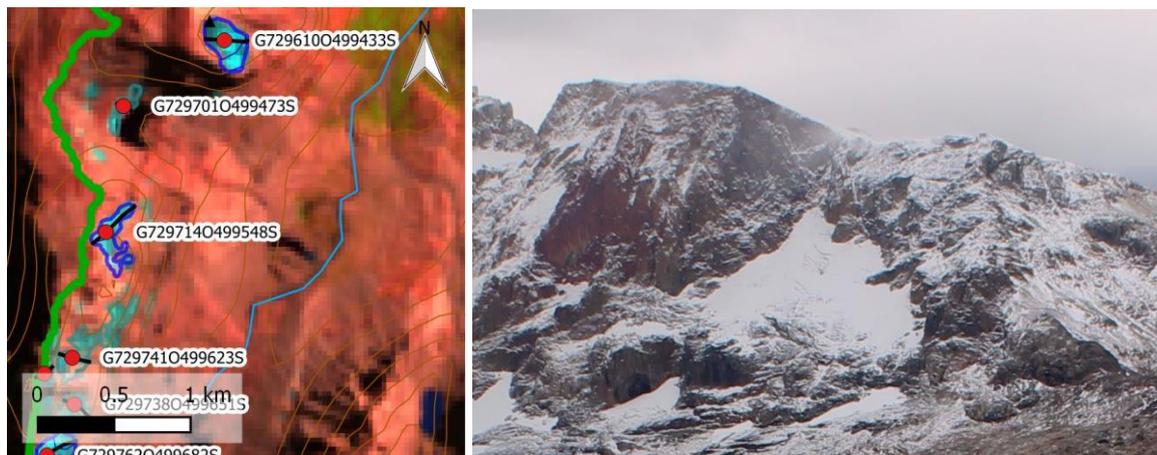
Geoforma G7296100499433S

Manchón de nieve en el Cerro Sombrero.



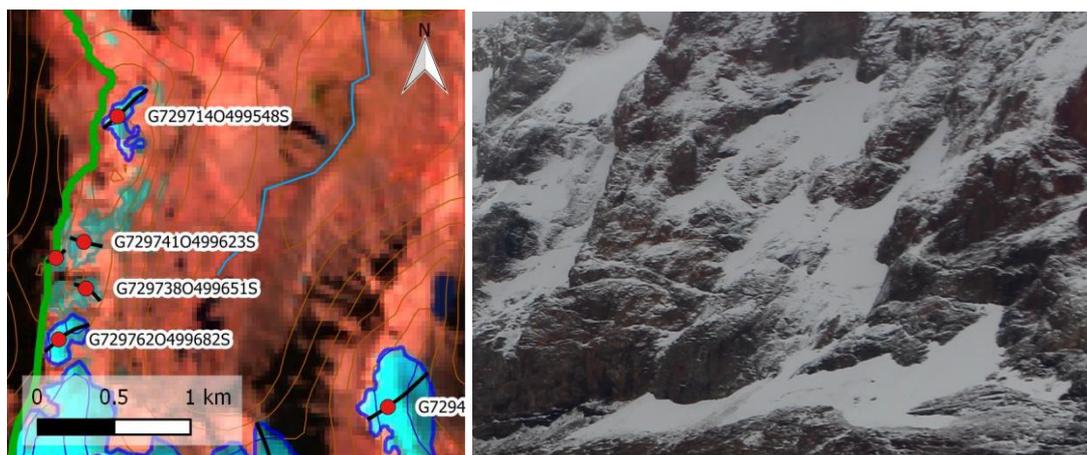
Geoforma G7297140499548S

Glaciar de nicho en el filo norte del Cerro Pintado.



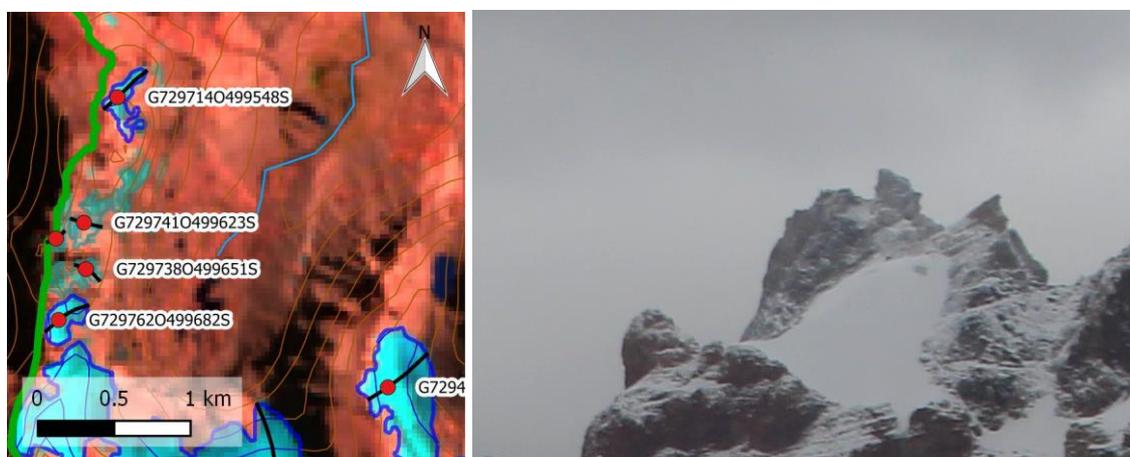
Geoforma G7297410499623SS

Manchón de nieve en el filo norte del Cerro Pintado.



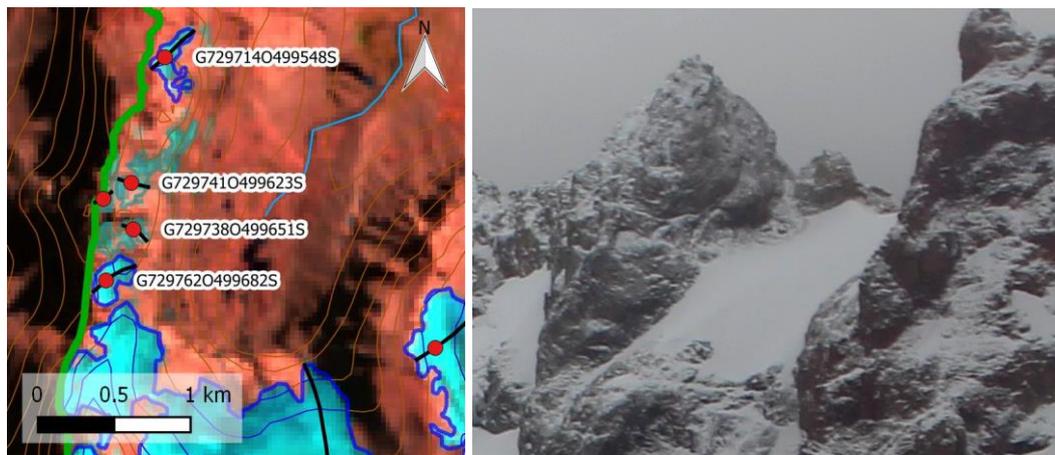
Geoforma G7297660499632S

Manchón de nieve en el filo norte del Cerro Pintado.



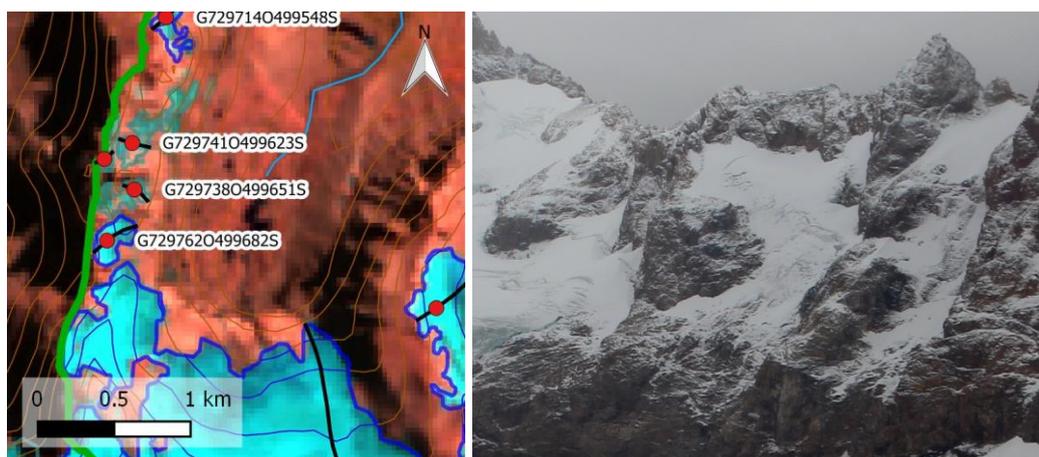
Geoforma G7297380499651S

Manchón de nieve en el filo norte del Cerro Pintado.



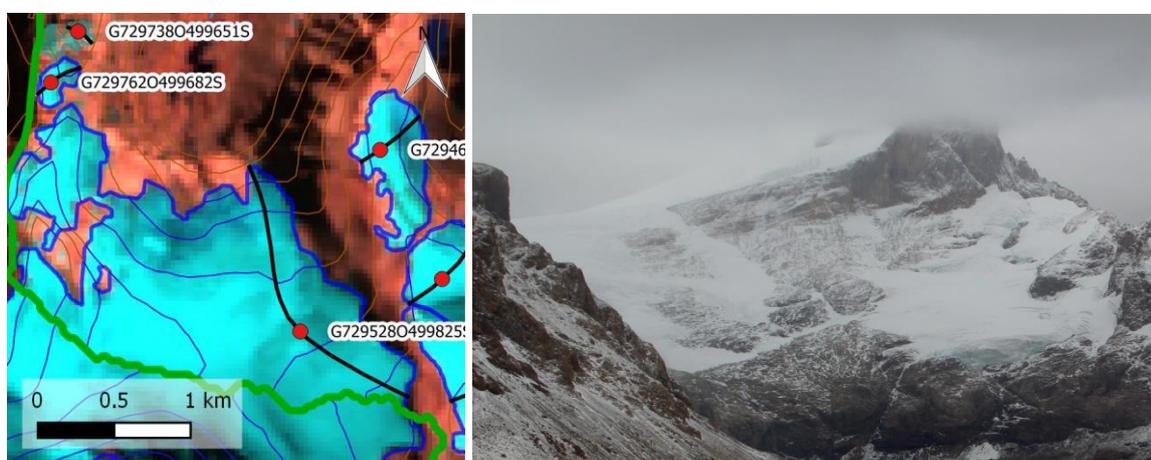
Geoforma G7297620499682S

Glaciar de nicho en el filo norte del Cerro Pintado.



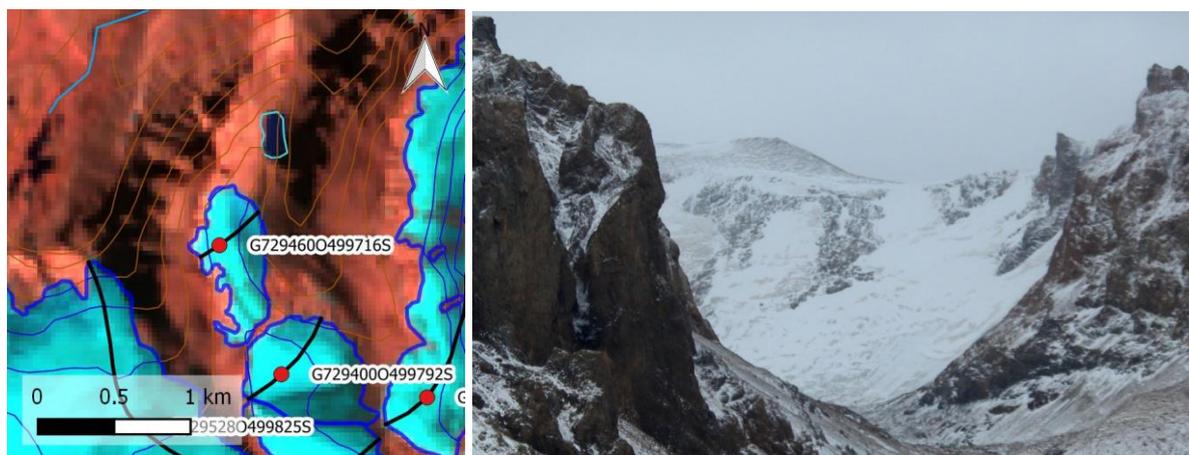
Geoforma G7295280449825S

Glaciar de circo en la cara norte del Cerro Pintado.



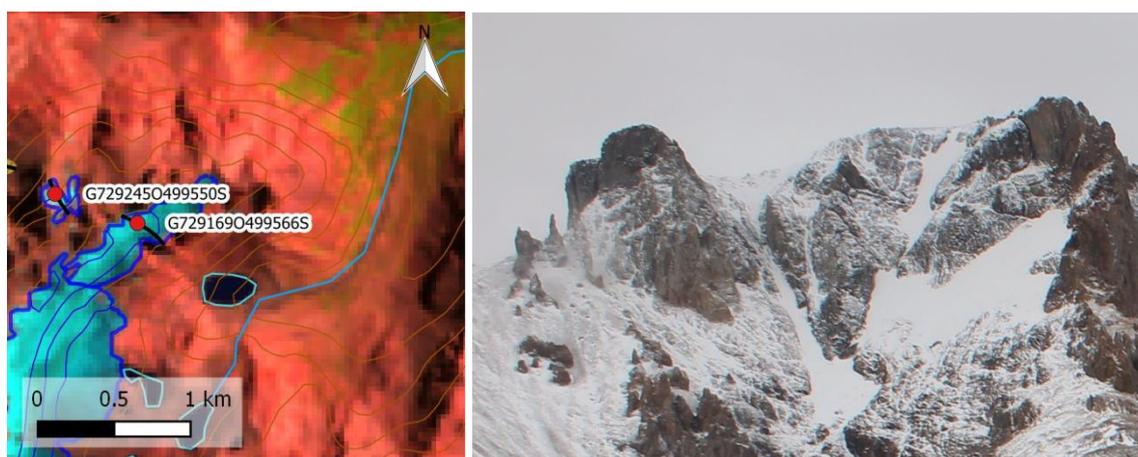
Geoforma G7294600499716S

Glaciar de circo en uno de los tributarios del río Guanaco.

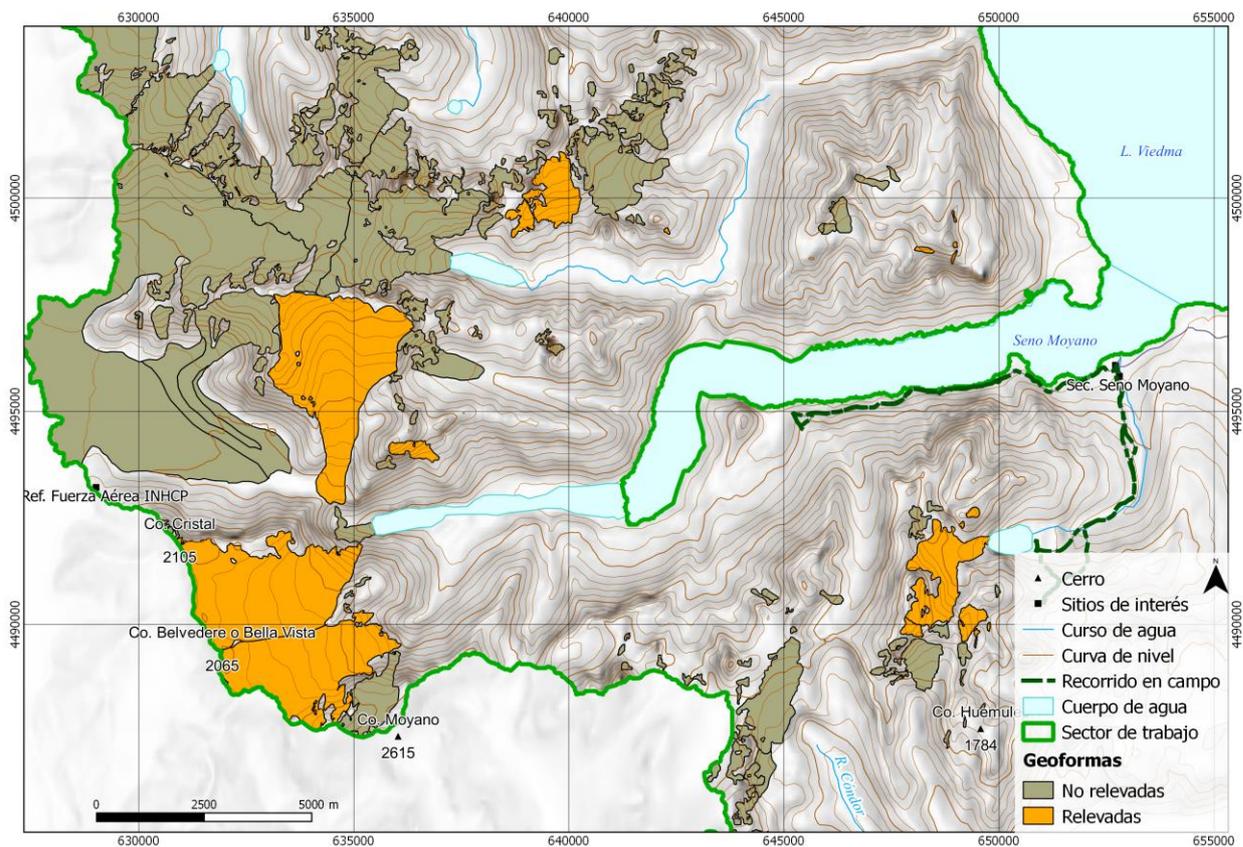


Geoforma G7292450499550S

Machón de nieve en uno de los tributarios del río Guanaco.



Sector Seno Moyano

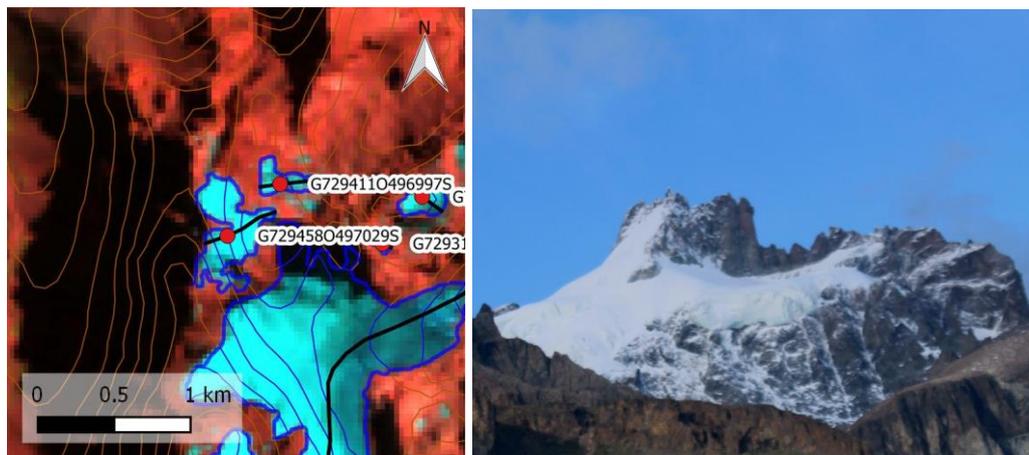




Vistas del Seno Moyano, La Estancia Helsingfors y el Cerro Chaltén y Aguja Poincenot.

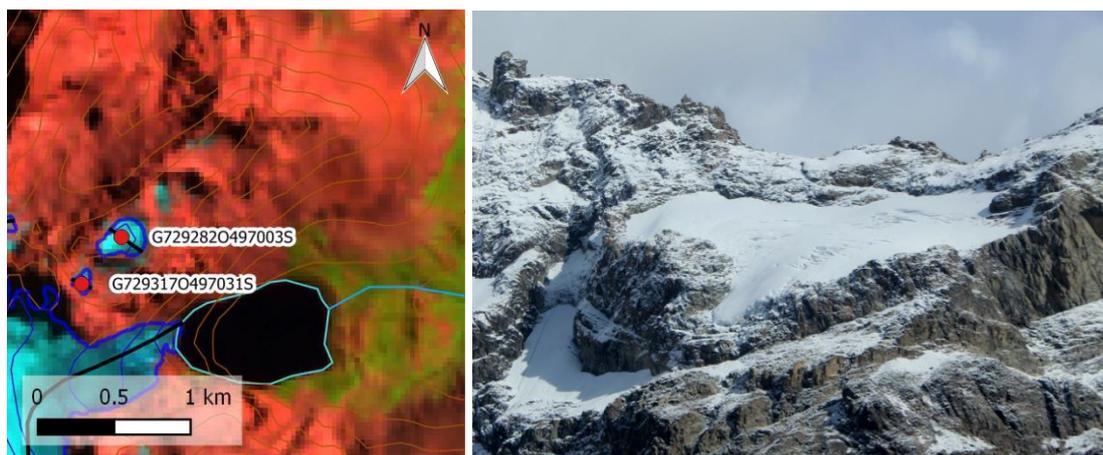
Geoforma G729458O497029S

Glaciar de nicho en el norte del Cordón del Cerro Huemules.



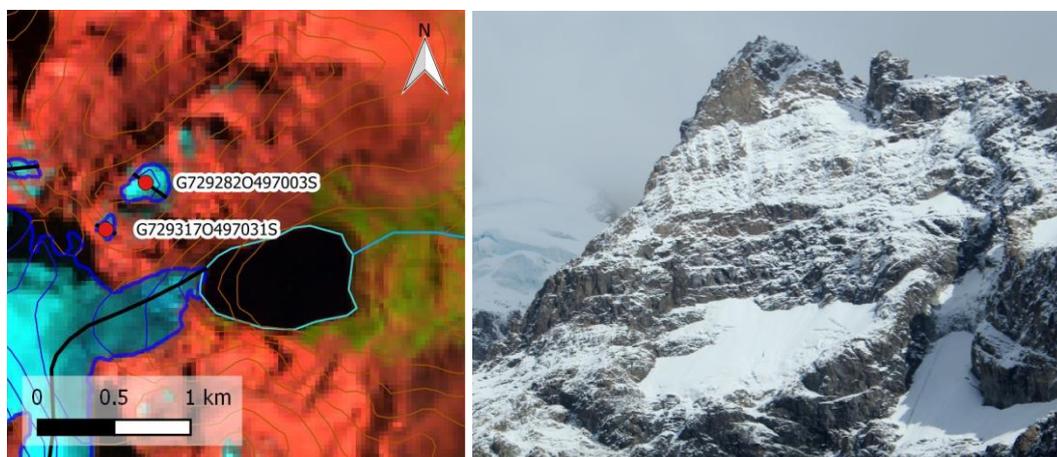
Geoforma G729282O497003S

Glaciar de nicho al norte del Lago Huemules.



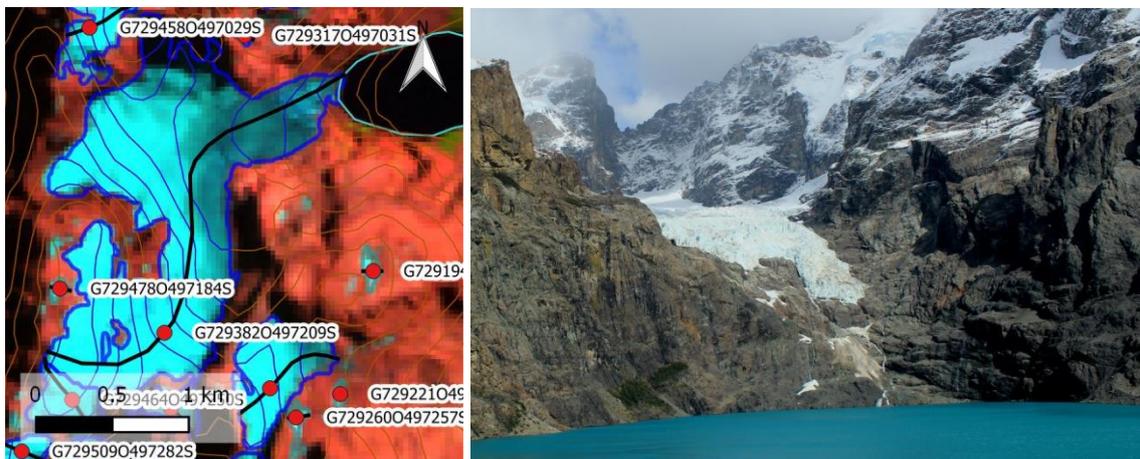
Geoforma G729317O497031S

Glaciar de nicho al norte del Lago Huemules.



Geoforma G7293820497209S

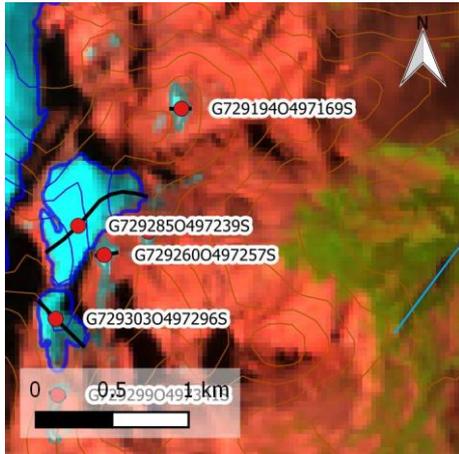
Glaciar Huemules, de valle. El lago está cerrado por una de las múltiples morenas que se observan a lo largo del valle, tanto en las inmediaciones del lago como aguas abajo.



Vista Panorámica del Lago Azul y el glaciar Huemules (Seno Moyano) al norte del Cerro Huemules.

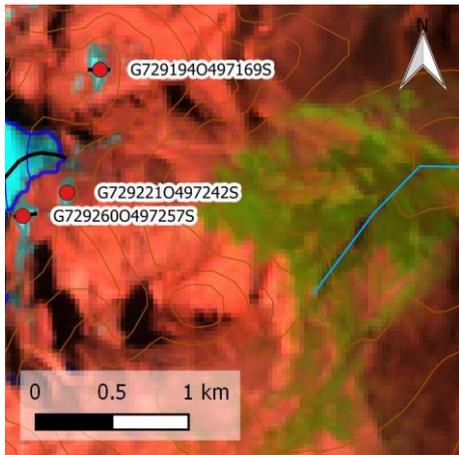
Geoforma G729285O497239S

Glaciar de valle en el filo norte del Cerro Huemules.



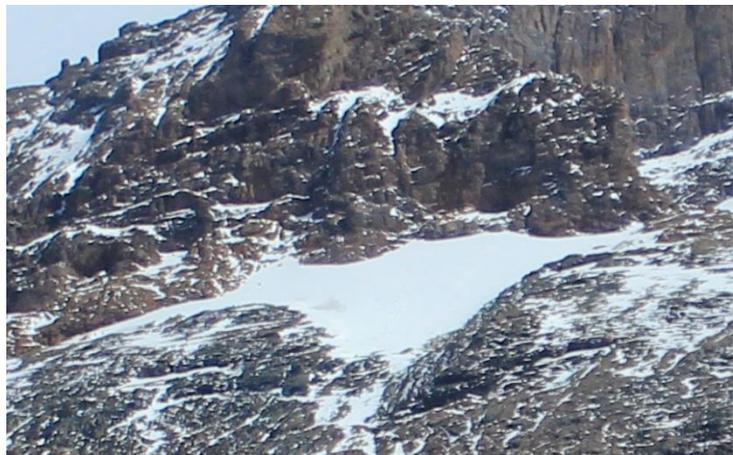
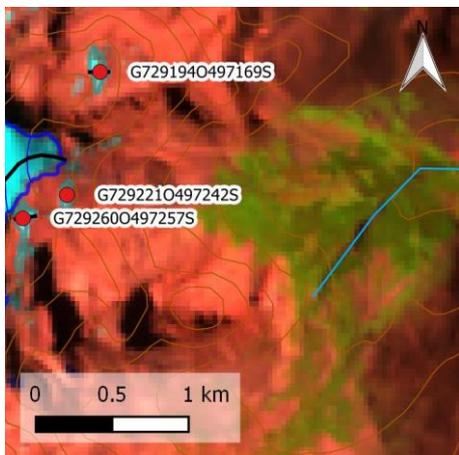
Geoforma G729260O497257S

Glaciar de nicho en el filo norte del Cerro Huemules.



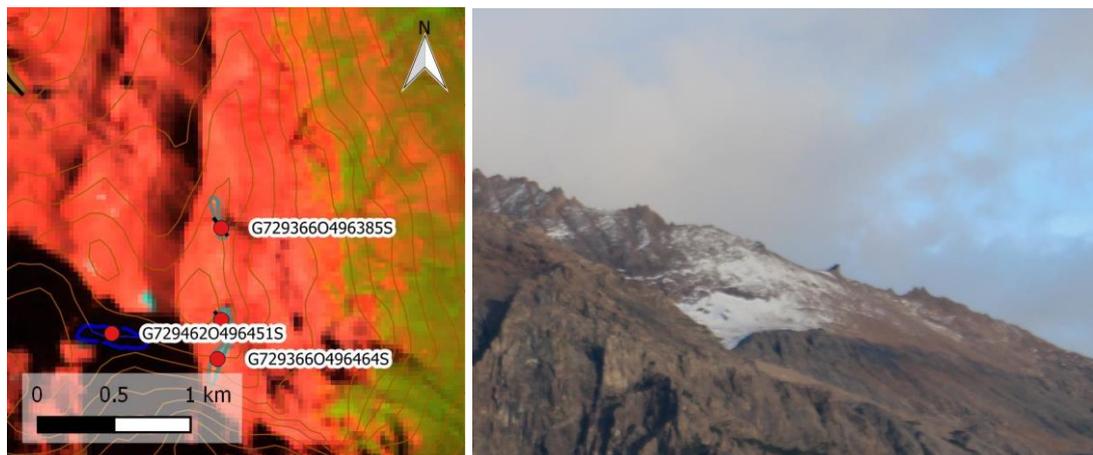
Geoforma G729221O497242S

Manchón de nieve en el filo norte del Cerro Huemules.



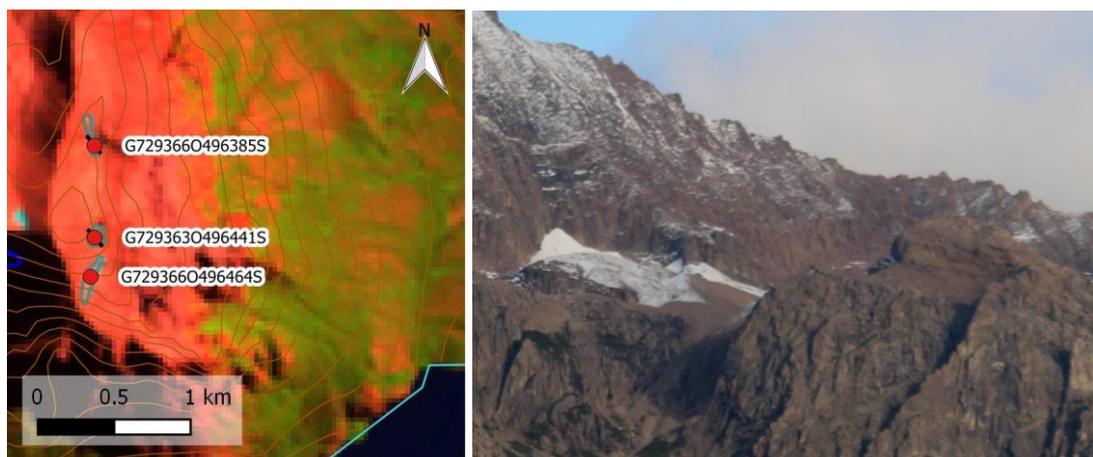
Geoforma G7293660496385S

Manchón de nieve al sudeste del Cordón Mascarello.



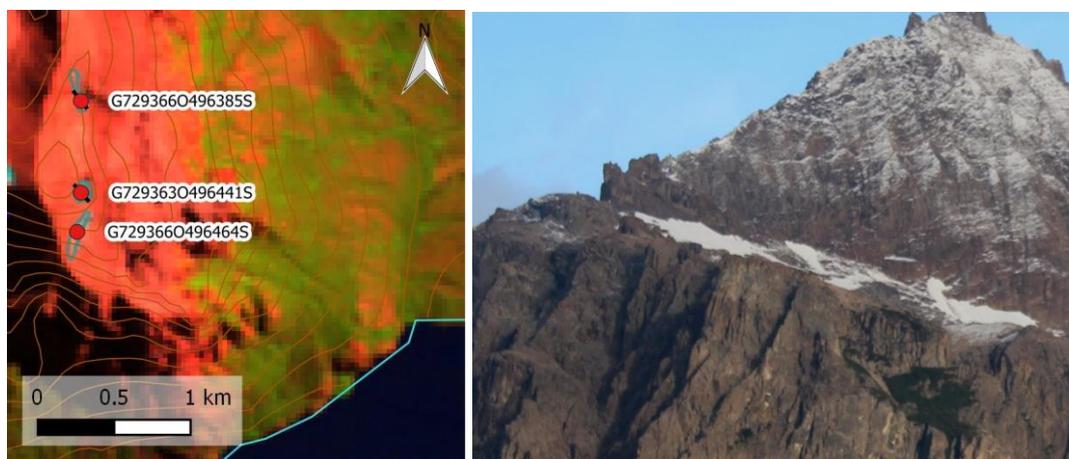
Geoforma G7293630496441S

Manchón de nieve al sudeste del Cordón Mascarello.



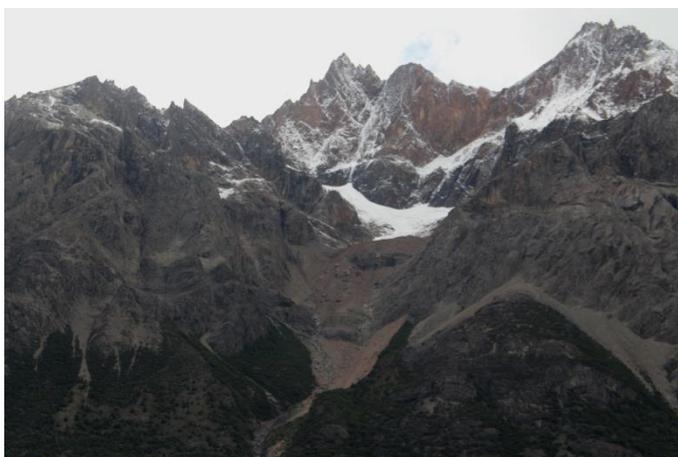
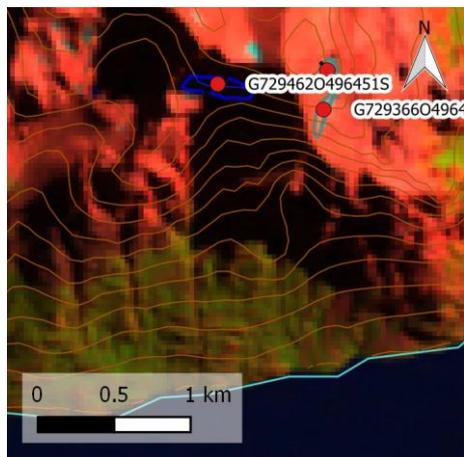
Geoforma G7293630496441S

Manchón de nieve al sudeste del Cordón Mascarello.



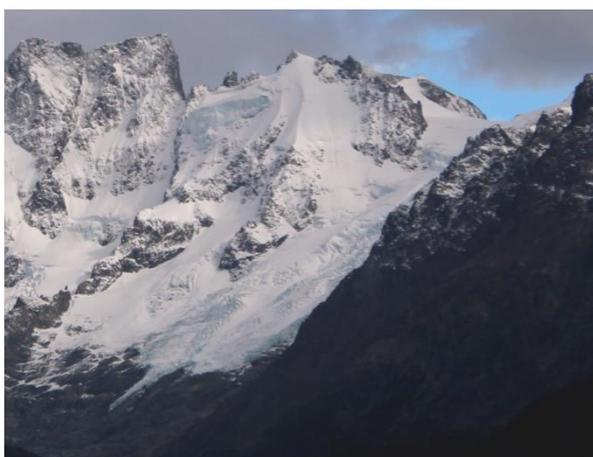
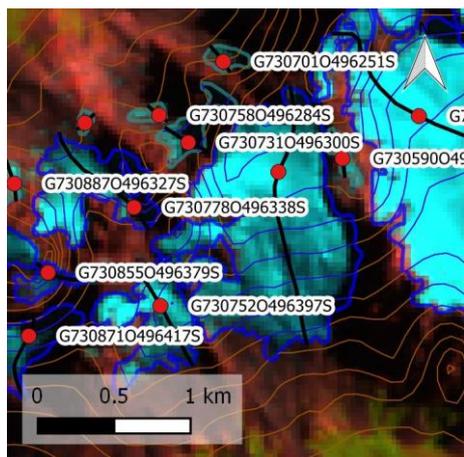
Geoforma G7294620496451S

Glaciar remanente al sur del Cordón Mascarello. Se aprecia una morena que corta la línea de bosque.



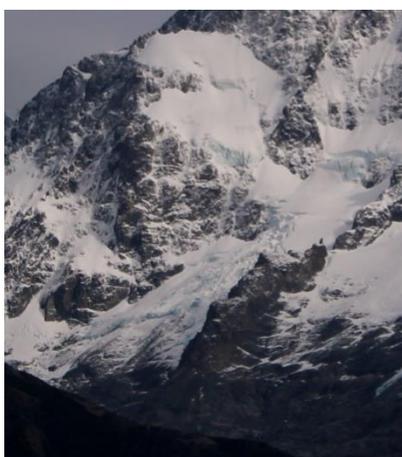
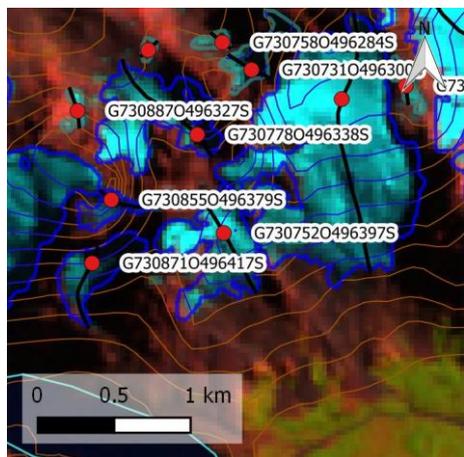
Geoforma G7306480496316S

Glaciar de circo en el Cordón Mascarello.



Geoforma G7307520496397S

Glaciar de circo en el Cordón Mascarello.



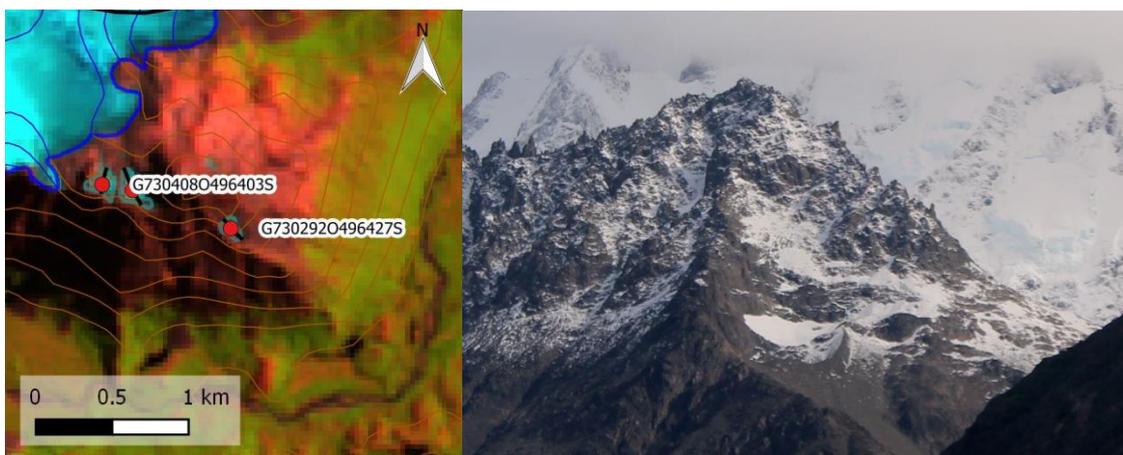
Geoforma G730752O496397S

Glaciar de valle en la cara sur del Cerro Campana.



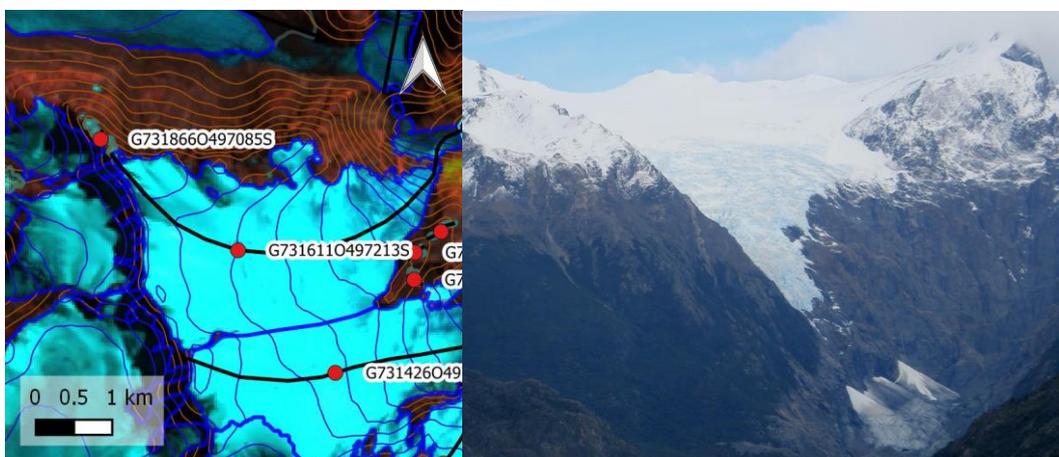
Geoforma G730292O496427S

Manchón de nieve al este del Cordón Mascarelo.



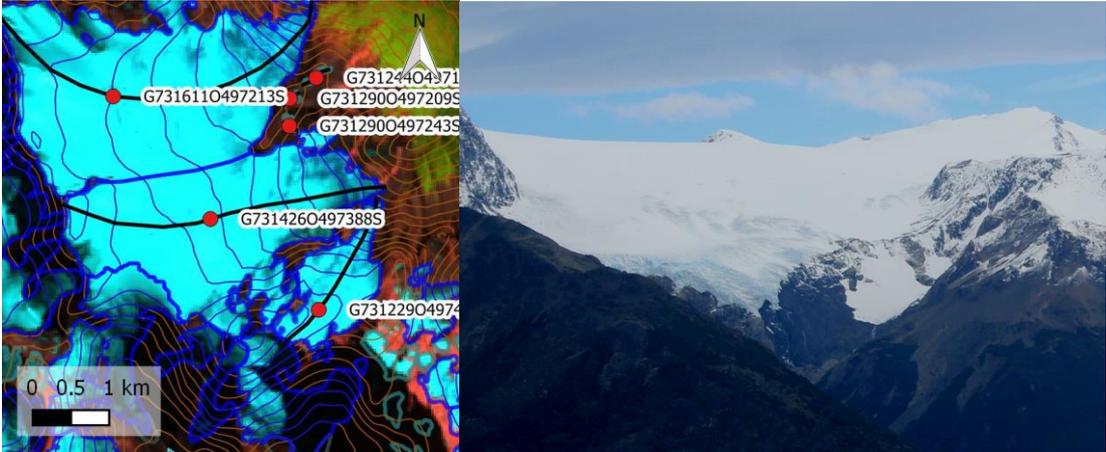
Geoforma G731611O497213S

Glaciar de valle entre los Cerros Moyano y Bellavista.



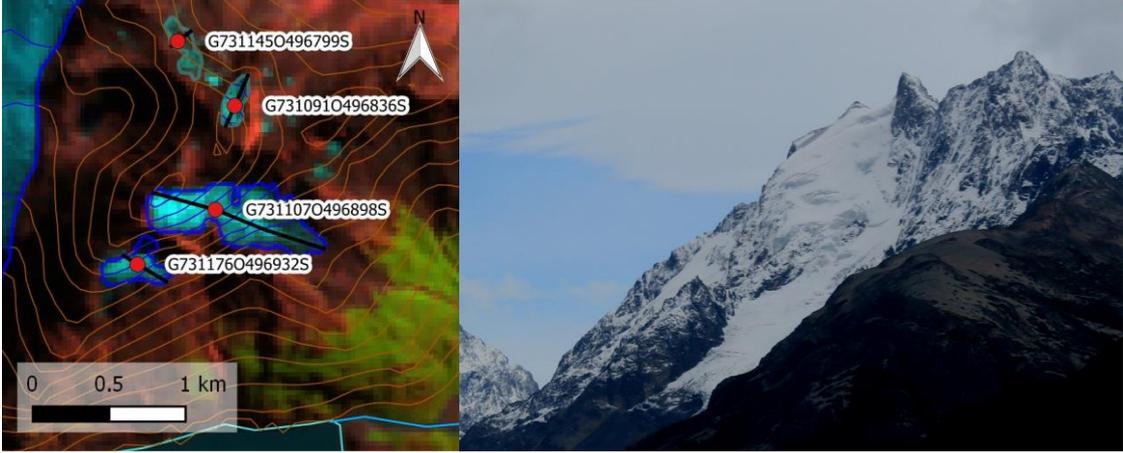
Geoforma G7314260497388S

Glaciar de valle entre los Cerros Moyano y Bellavista.

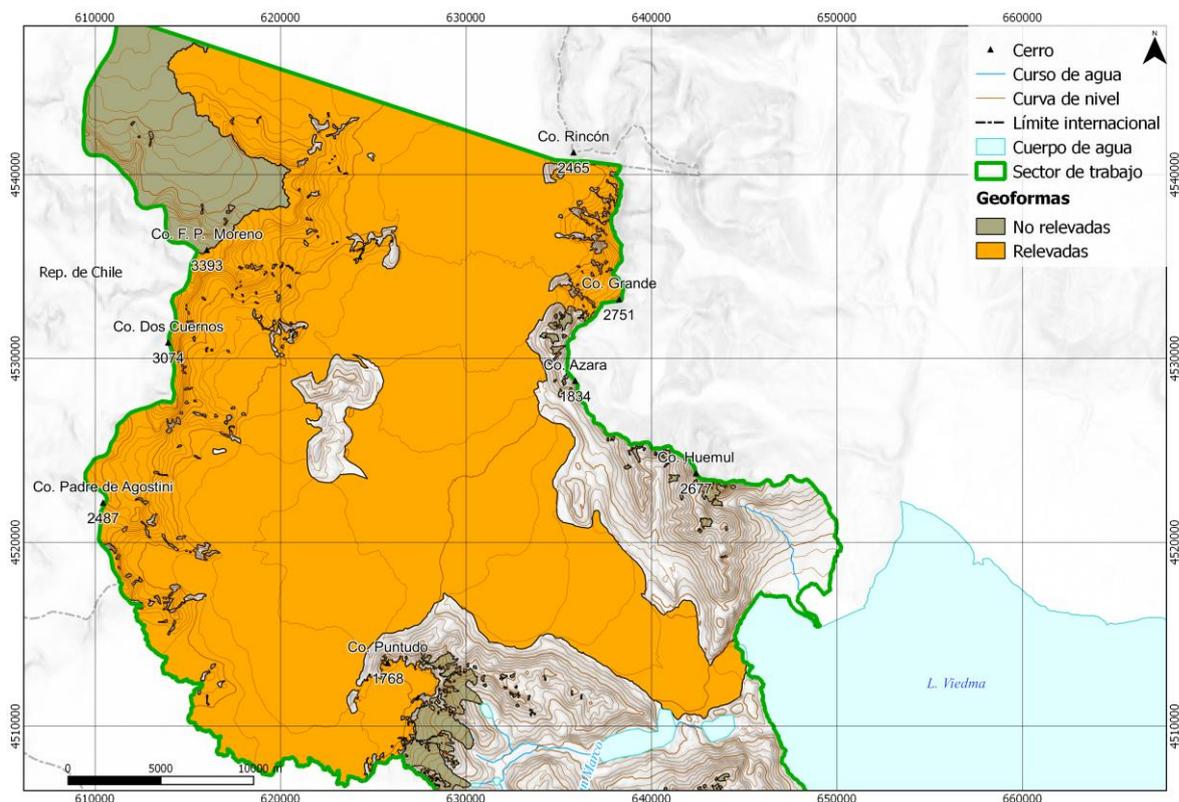


Geoforma G7314260497388S

Glaciar de valle.

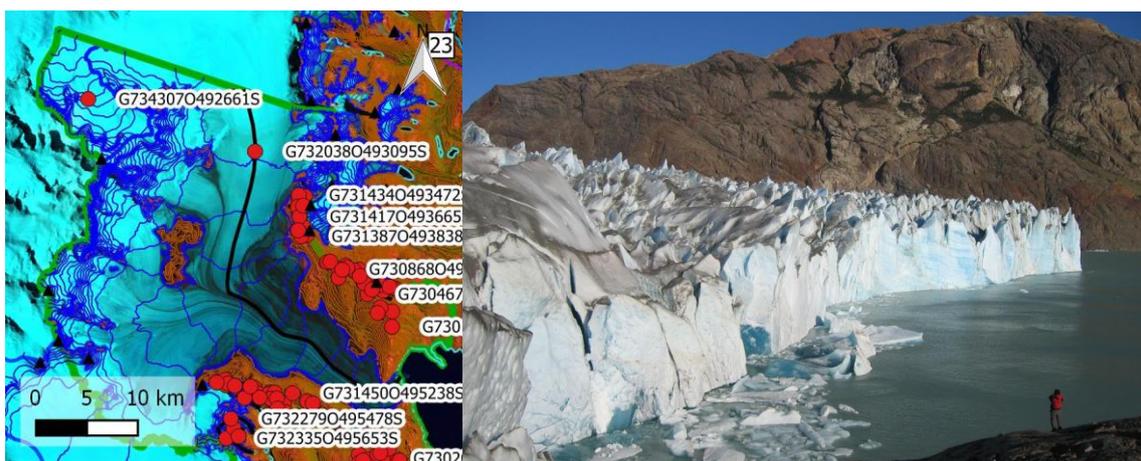


Sector glaciar Viedma



Geofoma G7314260497388S

Glaciar Viedma, de descarga con frente con liberación de témpanos. El glaciar Viedma ha tenido un retroceso moderado en las últimas décadas, pero recientemente entre la adquisición de la imagen de referencia (19 de febrero de 2005) y la actualidad la posición del frente ha retrocedido 1,8 km.





Panorámica del glaciar Viedma

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 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 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 (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

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 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 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**

IANIGLA



CONICET

U. N. CUYO
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 del Lago Viedma, 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 Viedma

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 62 pagina/s.