



**INVENTARIO  
NACIONAL  
DE GLACIARES**

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

 Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sustentable  
Presidencia de la Nación

**Informe de la subcuenca  
del lago Puelo Superior  
Cuenca de los ríos  
Manso y Puelo**

**Provincias de Río Negro  
y del Chubut**

*Panorámica Glaciar Hielo Azul, Cuenca Lago Puelo Superior (Foto: I. Pecker)*

**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  
Directores técnicos: Dr. Lucas Ruiz y Dr. Darío Trombotto  
Profesionales: Lic. Gustavo A. Aloy y Lic. Ivanna Pecker Marcosig  
Colaboradores: Lic. Laura Zalazar, Lic. Lidia Ferri Hidalgo, Téc. Mariano Castro,  
Lic. Silvia Delgado y Lic. Daniel Falaschi

**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 GG15 2241.3/5 del año 2016***

## ÍNDICE

1.	Introducción .....	1
2.	Antecedentes .....	6
3.	Definiciones a los fines del Inventario .....	8
4.	Materiales y métodos .....	10
4.1	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación.....	13
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación.....	13
4.3.	Delimitación de hielo descubierto .....	15
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros .....	16
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas .....	16
4.6.	Control de campo .....	18
5.	Resultados .....	19
5.1	. Subcuenca del lago Puelo Superior .....	19
5.2.	Resultados trabajo de campo.....	23
6.	Bibliografía .....	24
7.	Anexos .....	27
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del lago Puelo Superior .....	27
7.2.	Control de campo .....	29
7.2.1.	Objetivos .....	29
7.2.2.	Logística .....	29
7.2.3.	Resultados de las geoformas relevadas en la subcuenca río Azul.....	30
7.3	Descripción de la base de datos .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Áreas naturales protegidas de la subcuenca lago Puelo Superior, cuenca de los ríos Manso y Puelo.....	4
Figura 2: Sectores de trabajo a partir de la agrupación de la subcuenca del lago Puelo Superior, cuenca de los ríos Manso y Puelo. ....	11
Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada en el Inventario Nacional de Glaciares....	12
Figura 4: Diferentes fuentes de información utilizadas para la realización del inventario de la subcuenca lago Puelo Superior. ....	14
Figura 5: Ejemplo de delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING. ....	16
Figura 6: Ejemplo de una unidad compuesta vista en un mosaico de imágenes ASTER (arriba), y con todas las subunidades que la componen digitalizadas (abajo). ....	18
Figura 7: Manchones de nieve en la sub-subcuenca río Azul (Foto: Daniel Falaschi).....	19
Figura 8: Mapa general de la subcuenca lago Puelo Superior con las geoformas inventariadas..	20
Figura 9: Tipos de glaciares en la subcuenca lago Puelo Superior. ....	21
Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en función de su superficie. ....	21
Figura 11: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías. Subcuenca lago Puelo Superior. ....	22
Figura 12: Distribución altitudinal del tipo y superficie de los cuerpos de hielo inventariados. Subcuenca lago Puelo Superior.....	22

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Imágenes de los sensores ASTER y ALOS utilizadas como base para el inventario de la subcuenca lago Puelo Superior, cuenca de los ríos Manso y Puelo.....	15
Tabla 2: Tipo de geoforma y superficie total en la subcuenca del lago Puelo Superior. ....	20
Tabla 3: Tipo de geoforma y altura en la subcuenca lago Puelo Superior.....	23

## **LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS**

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBERS: China-Brazil Earth Resources Satellite

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GCGE: Glaciar cubierto con glaciar de escombros

GD: Glaciar descubierta

GDEM: Global Digital Elevation Map

GEA: Glaciar de escombros activo

GE: Glaciar de escombros

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

GI: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media de la geoforma

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

IPA: International Permafrost Association

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil

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

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina

USGS: United States Geological Survey

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

# 1. Introducción

Argentina es uno de los pocos países del mundo que cuenta con varios miles de kilómetros cuadrados de glaciares y permafrost de montaña rico en hielo en su territorio. Según cálculos aproximados, Sudamérica tendría cerca de 25.500 km<sup>2</sup> cubiertos por glaciares, con un 15% del área total ubicada en Argentina (Williams y Ferrigno 1999; 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. Sin embargo, a pesar de la gran extensión de hielo que existe en nuestro país y su clara importancia socio-económica, geopolítica, ambiental y científico-académica, el conocimiento actual sobre los glaciares y el ambiente periglacial en la Argentina es muy limitado. Si bien en las últimas décadas se ha avanzado significativamente en el estudio de nuestros cuerpos de hielo, aún hoy sólo un puñado de sitios han sido analizados en detalle, y en la actualidad no existe información sobre la ubicación, área total, significancia hidrológica o la historia reciente de los glaciares y geoformas periglaciales (también llamadas crioformas) a lo largo de vastas porciones de la Cordillera de los Andes.

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 y partes que se descongelan de las crioformas tienen una contribución muy importante al caudal de los ríos andinos ya que aportan volúmenes significativos de agua de deshielo a la escorrentía 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, realzando la belleza de los principales atractivos turísticos y generando ingresos significativos para la economía nacional. El ejemplo más claro lo constituye el glaciar Perito Moreno, en el Parque Nacional Los Glaciares, provincia de Santa Cruz, que atrae a cientos de miles de turistas cada año. Los glaciares que rodean a la localidad de El Chaltén (glaciar Torre, Piedras Blancas, y de los Tres, entre otros) también constituyen importantes atractivos turísticos dentro del mismo Parque Nacional, y realzan las imponentes vistas del cerro Torre y Monte Fitz Roy o Chaltén. Otros glaciares muy visitados son los glaciares del Monte Tronador en el Parque Nacional Nahuel Huapi, provincia de Río Negro. El más conocido es tal vez el

Ventisquero Negro, un glaciar cubierto por detritos al cual se puede acceder en vehículo durante todo el año. En la provincia de Mendoza, los glaciares colgantes de la pared sur del Cerro Aconcagua y los glaciares Horcones Superior, Horcones Inferior, y de los Polacos son los glaciares más conocidos. Miles de visitantes llegan cada año al Parque Provincial Aconcagua para escalar o simplemente admirar estas imponentes moles de roca y hielo.

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 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 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.*

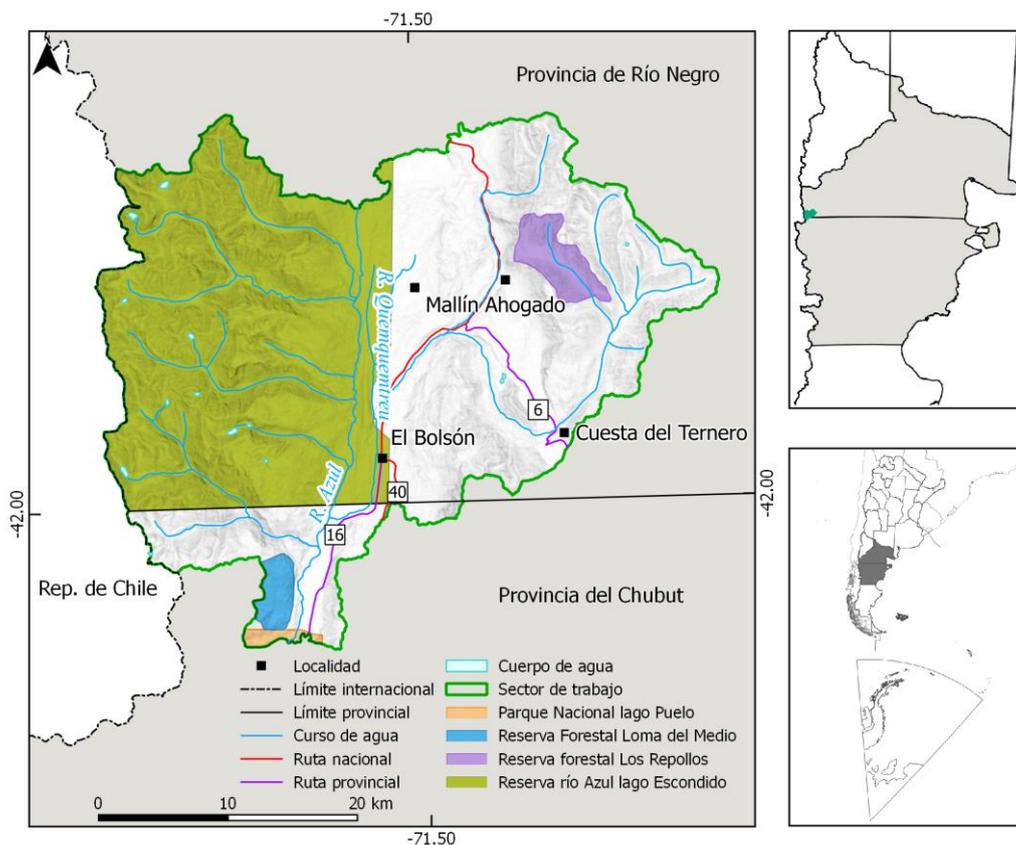
*ARTÍCULO 5° — Realización del Inventario. El inventario y monitoreo del estado de los glaciares y del ambiente periglacial **será realizado y de responsabilidad del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA)** con la coordinación de la autoridad nacional de aplicación 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. En este informe se describen los trabajos realizados para la identificación e inventario de los cuerpos de hielo en la subcuenca del lago Puelo Superior, perteneciente a la cuenca de los ríos Manso y Puelo, provincias del Chubut y Río Negro en la región de Patagonia Norte. El inventario ha sido realizado siguiendo lineamientos internacionales (GLIMS) adaptados a condiciones locales y regionales a partir de la metodología elaborada en el IANIGLA (detallada más adelante) que sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

En esta cuenca además de los glaciares, el imponente bosque andino patagónico cobra gran relevancia paisajística y ecológica, es por ello que existen a lo largo de toda la cuenca áreas naturales protegidas de diversa categoría que albergan más del 80% de las geoformas glaciares inventariadas. Se ha elaborado un mapa a partir de los datos recopilados en el Sistema de Información de Biodiversidad de la Administración de Parques Nacionales de las áreas naturales protegidas presentes en la cuenca (Figura 1).



**Figura 1: Áreas naturales protegidas de la subcuenca del lago Puelo Superior, cuenca de los ríos Manso y Puelo.**

El presente informe del Inventario Nacional del Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1 en la subcuenca del lago Puelo Superior (subcuenca Lago Puelo en Anexo 2 del cronograma del inventario, IANIGLA 2010), cuenca de los ríos Manso y Puelo. En el mismo 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 en la subcuenca del lago Puelo Superior fue elaborado en diciembre de 2014 y aprobado según resolución N°RESOL-2017-32-APN-MAD del 17 de enero de 2017, 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.

El IANIGLA agradece la colaboración del Club Andino Piltriquitrón por brindarnos información para realizar la logística de campo del inventario dentro de la reserva Río Azul – Lago Encantado.

## 2. Antecedentes

Si bien existen registros de la existencia de glaciares en estas latitudes por los menos desde finales del siglo XIX (Moreno 1900), los mismos no han sido estudiados en detalle hasta el momento.

Lliboutry (1956), realizó el primer análisis de la distribución de los glaciares a lo largo de la Cordillera de los Andes, entre Argentina y Chile. Para los Andes de la Región de los Lagos, este autor señala que además de los glaciares asociados a los centros volcánicos (Tronador, Osorno, Hornopiren, Michimahuida), y gracias a un relevamiento aéreo, se han descubierto numerosos glaciares al sur del Seno Reloncaví, los cuales resultan prácticamente inaccesibles a pie debido a lo tupido de la vegetación.

Rabassa et al. (1978), presentaron el primer inventario de glaciares preliminar para los andes del norte de la Patagonia Argentina en base a fotografías aéreas del año 1972 y datos de campo del año 1978. En el mismo identificaron un total de 235 glaciares entre los 39°S y los 42° 20'S. Estos autores señalan que este número de glaciares corresponde aproximadamente al 15% del total real de glaciares en esta zona. En total estos 235 glaciares representa un área total englazada de 138,88 km<sup>2</sup>, la mayor parte de ellos en los volcanes Tronador y Lanín (al norte de la zona de estudio) (Rabassa et al. 1981). Según estos autores el tipo de glaciares existentes son de montaña, con numerosos cuerpos de hielo y nieve, pequeños y aislados, y solo algunos glaciares de valle y descarga, los cuales se concentran principalmente en los aparatos volcánicos.

Rabassa, J., Suárez, J., Rubulis, S. (1979), realizaron el primer estudio de fluctuaciones de la posición del frente del glaciar Hielo Azul.

Rabassa et al. (1981), a partir de una combinación de observaciones directas y derivadas de fotografías aéreas, realizaron el primer estudio de la distribución de la altura de la línea de nieve para fines de verano de 1978. En el mismo encontraron un fuerte y claro gradiente oeste-este y uno mucho más suave norte-sur.

La Dirección Provincial de Aguas (DPA) de la provincia de Río Negro (2011) a partir del año 2011 ha retomado la tarea de monitorear las variaciones del frente el glaciar Hielo Azul. Continuando así con los estudios realizados por Sigfrido Rubulis en el glaciar en 1982/1988 y 1990.

Con respecto al ambiente periglacial actual, Garleff y Stingl (Garleff 1977, Garleff y Stingl 1986, 1988, etc.) distinguen fenómenos periglaciales actuales en los Andes Australes estableciendo transectas a lo largo de toda la Cordillera de los Andes, desde las máximas alturas hasta la estepa. Estos autores remarcan que los fenómenos periglaciales y la presencia del permafrost andino-patagónico dependen fundamentalmente de la temperatura como criofactor generador más importante.

De acuerdo a mediciones de temperaturas con perforaciones superficiales y al levantamiento geomorfológico llevado a cabo por Trombotto (2000, 2002), se puede esperar la presencia de permafrost en la región de los Andes Patagónicos por sobre los 2000 msnm. Garlef (1977) reconoció diversas microformas criogénicas actuales en los Andes Australes de esta región; también el autor reconoció pendientes sedimentarias criogénicas, terrazas o lóbulos de solifluxión con frentes rocosos, suelos estructurados, guirnaldas y krummholz. Trombotto (2000, 2008) señala que a la latitud del lago Vintter (44°S) existen hallazgos de permafrost a 2.060 m de altura, también existen señales de permafrost en el Cordón de las Agujas, Chubut.

Recientemente, Ruiz y Trombotto (2012a) han realizado el primer modelo estadístico de distribución de permafrost de montaña para los Andes de Patagonia Norte, más precisamente en los cordones Rivadavia (divisoria interna de la cuenca Futaleufú), Esquel y Leleque (divisoria de la cuenca Futaleufú). Según los resultados del modelo estadístico existen condiciones de permafrost en una pequeña proporción del área por encima del límite superior del bosque. La presencia del permafrost según el modelo está restringida a las zonas entre 1.750 y 2.100 msnm que reciben muy poca radiación solar. Si bien la presencia de permafrost todavía debe ser corroborada con datos de temperatura del suelo, existe una alta coincidencia entre las zonas con mayor posibilidad de contener permafrost y la distribución de prótalus ramparts y prótalus lobulados en el Cordón Leleque (Ruiz y Trombotto 2012b).

### 3. Definiciones a los fines del Inventario

A los fines específicos y operativos del Inventario Nacional de Glaciares, el IANIGLA propuso en el documento: “**Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución**”, ([http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/fundamentos\\_cronograma\\_ejecucion.pdf](http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/fundamentos_cronograma_ejecucion.pdf) IANIGLA 2010) definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos de hielo a inventariar dentro del ambiente glacial y periglacial de Argentina. El objetivo de estas definiciones es aclarar las características básicas de los diferentes cuerpos identificados en las imágenes satelitales y los procesos que las originan, para que puedan ser reconocidos por los operadores sin lugar a ambigüedades. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo para la subcuenca del lago Puelo Superior, cuenca de los ríos Manso y Puelo 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 km<sup>2</sup> (una hectárea).

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

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

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en activos, inactivos y fósiles (Haeberli 1985). 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 (Barsch 1978; 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.

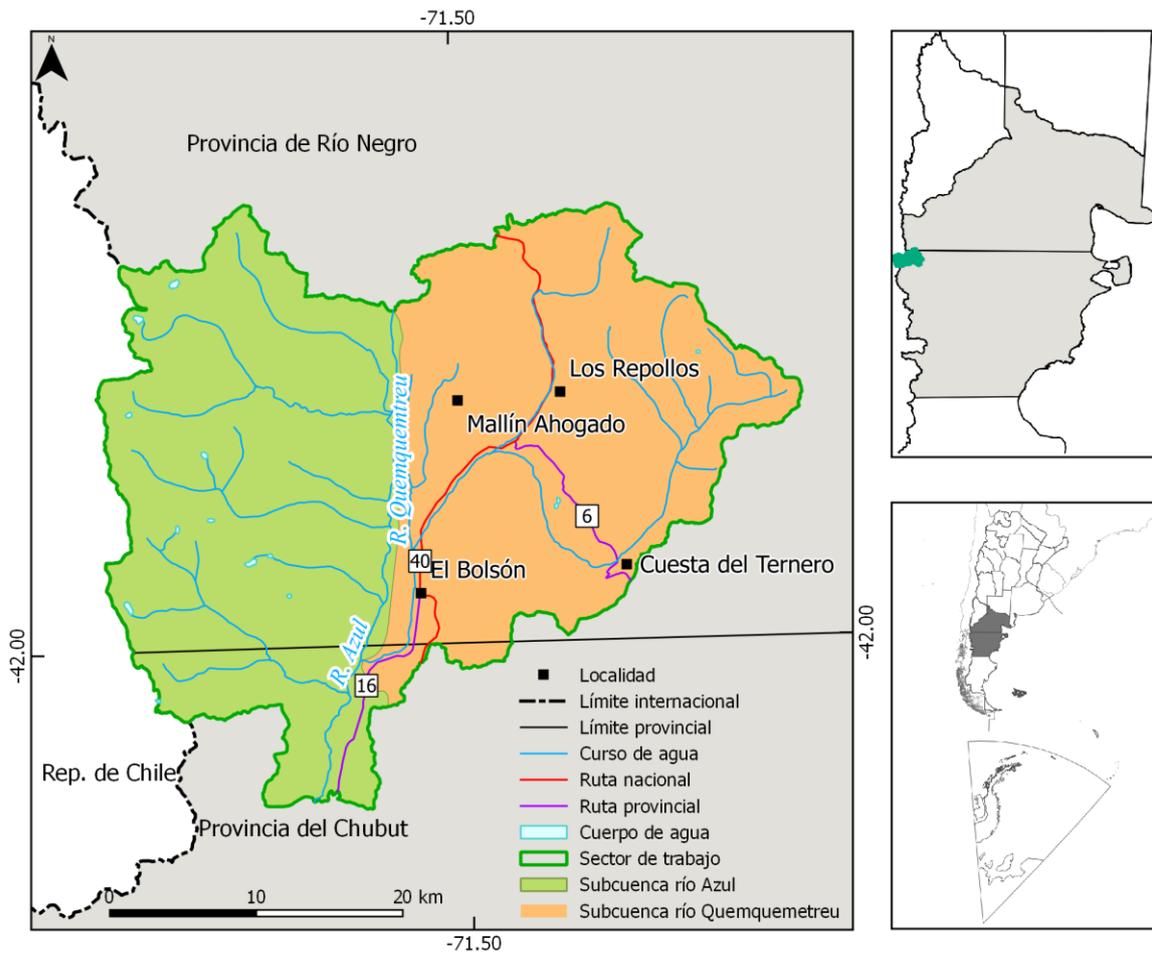
Cabe aclarar que en el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo, son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (Corte 1976; Schrott 1996; Brenning y Azócar 2010; Azócar y Brenning 2010). Es precisamente el alto contenido de hielo el que favorece su desplazamiento pendiente abajo (Haeberli 1985; Barsch 1996). Este movimiento es el que genera los rasgos característicos superficiales (crestas y surcos, crestas laterales) que permiten identificar a los glaciares de escombros en las imágenes satelitales (Haeberli 1985; Trombotto 1991; 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; Gruber y Haeberli 2009; Arenson y Jakob 2010; Otto et al. 2010).

## 4. Materiales y métodos

La ejecución del Inventario de Glaciares de la Nación sigue las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS 1967 y posteriores, UNESCO-IAHS 1970, Müller et al. 1977) y su programa World Glacier Inventory (WGI), las 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 (Corte y Espizúa 1982, Delgado et al. 2010). El Inventario Nacional de Glaciares posee una metodología acordada para su realización, lo cual permite reproducirla para la totalidad de cuencas del territorio nacional.

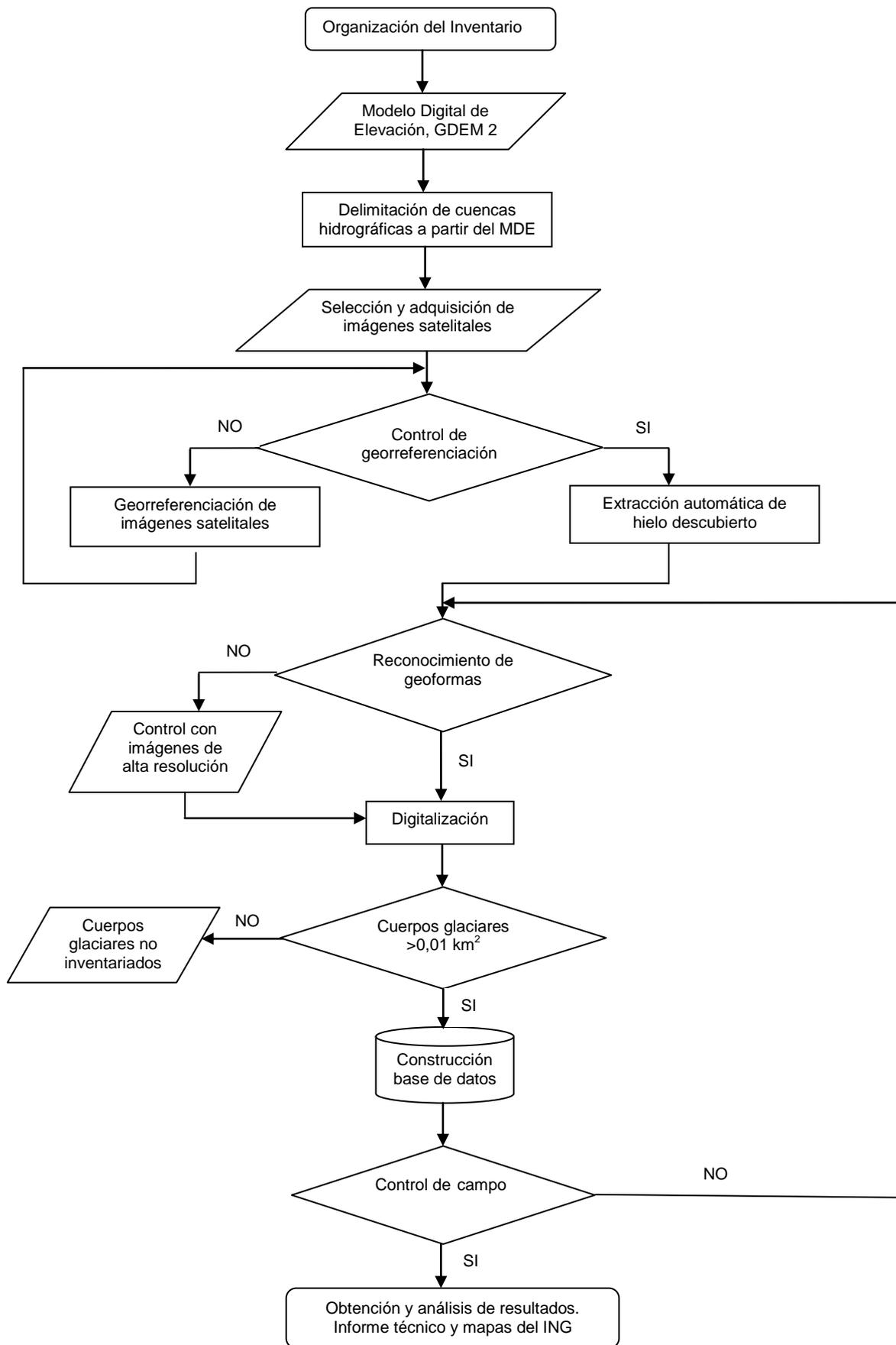
El presente documento corresponde al Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca lago Puelo Superior (Figura 2). La subcuenca posee un área 1.183 km<sup>2</sup> y está formada a su vez por dos sub-subcuencas principales. Las características de cada una de ellas se describen a continuación:

- 1- Sub-subcuenca afluentes del río Azul:** el río Azul es el troncal de toda la cuenca del lago Puelo Superior, discurre de norte a sur, hasta descargar sus aguas en el lago Puelo. En su recorrido recolecta las aguas de los arroyos que poseen sus nacientes en la Cordillera de los Andes.
- 2- Sub-subcuenca afluentes del arroyo Quemquemtreu:** el curso principal es el arroyo Quemquemtreu, el cual discurre paralelo al río Azul y se encuentra separado de éste por la Lomada del Medio, un cordón de mediana altura. Luego vierte sus aguas en el río Azul. Los arroyos De Los Terneros y De Los Repollos poseen su origen en los pequeños cordones montañosos del este, como el Cordón Serrucho. Ambos cursos descargan en el arroyo Quemquemtreu.



**Figura 2: Sectores de trabajo a partir de la agrupación de la subcuenca del lago Puelo Superior, cuenca de los ríos Manso y Puelo.**

Se incluye a continuación (Figura 3) un organigrama con los pasos metodológicos que forman parte del proceso de realización del Inventario Nacional de Glaciares.



**Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada en el Inventario Nacional de Glaciares.**

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

El trabajo comienza con la búsqueda de un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) para realizar la delimitación de cuencas y subcuencas.

El objetivo de la delimitación de cuencas es generar una red de drenaje para la zona de estudio, a fin de poder delimitar los cuerpos pertenecientes a cada unidad hidrológica y así poder asignar su dirección de descarga y aporte a los cursos de agua.

El DEM utilizado para el Inventario fue el ASTER GDEMv2 (Tabla 1), el cual está confeccionado a partir de imágenes estereoscópicas del satélite ASTER. Las bandas utilizadas son VNIR 3N (Nadir) y VNIR 3B (Back). El sensor toma ambas imágenes con una diferencia de 55 segundos, con lo cual no es necesario realizar correcciones radiométricas para su uso.

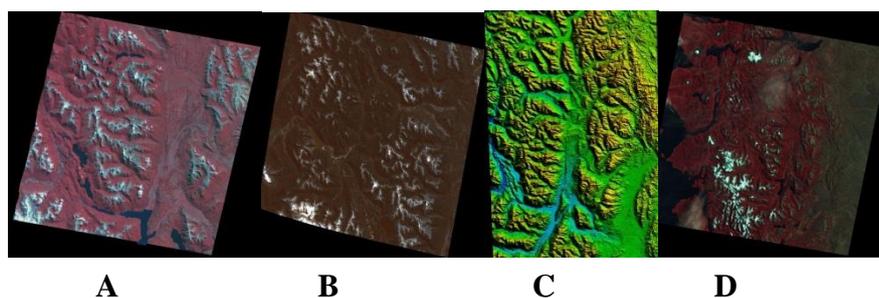
A partir del uso de Sistemas de Información Geográfica (SAGA, QGIS) se aplicaron procesos automáticos sobre el DEM a fin de obtener los límites de cuencas y subcuencas sobre los cuales se va a trabajar para inventariar glaciares.

Luego de obtener los límites de cuenca preliminares, se procedió a la superposición con las imágenes satelitales de base. Luego se realizó la edición manual de los polígonos para con los programas KOSMO y GVSIG. Debido a que la subcuenca del lago Puelo Superior es una cuenca bi-nacional, los límites dentro del territorio argentino no son estrictamente hidrológicos.

En el sector limítrofe entre Argentina y Chile, la cuenca fue adaptada de acuerdo al límite acordado por ambos países según datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

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

Para realizar el Inventario en la subcuenca del lago Puelo Superior se utilizaron de base imágenes ASTER del satélite TERRA y dos pertenecientes al satélite ALOS AVNIR, aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo LANDSAT y el programa Google Earth (Figura 4). Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación. Las imágenes de mayor resolución espacial de Google Earth se emplearon como apoyo para la interpretación y delimitación de los cuerpos de hielo menores o en aquellas zonas con mucha sombra de las escenas ASTER. Para validar la presencia de “*manchón de nieve/ glaciarete*” de manchones de nieve estacionales es necesario contar a su vez con imágenes de por lo menos dos años anteriores a la imagen empleada en el inventario para asegurarse que se trata de manchones de nieve permanentes, para ello se empleó una imagen ASTER del año 2005 (para más detalles ver Anexo 7.1.).



**Figura 4: Diferentes fuentes de información utilizadas para la realización del inventario de la subcuenca lago Puelo Superior. A) ASTER, año 2007; B) ALOS, año 2009; C) Mosaico ASTER GDEM2; D) Landsat5 TM, año 1987.**

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](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) y las imágenes ALOS 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 elegido es el UTM 19S (Universal Transversal Mercator). 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, las imágenes utilizadas como base para la delimitación de los cuerpos de hielo tienen una muy buena ortorrectificación (Fujisada et al. 2005), por lo que la mayoría de las escenas se emplearon sin tener que realizar ningún tipo de corrección. No obstante, en algunas imágenes se corrigieron pequeñas variaciones en la georreferenciación utilizando como base una imagen LANDSAT 5 TM. 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 a partir de la toma de 24 puntos de control, obteniendo un error medio cuadrático inferior a 1 pixel.

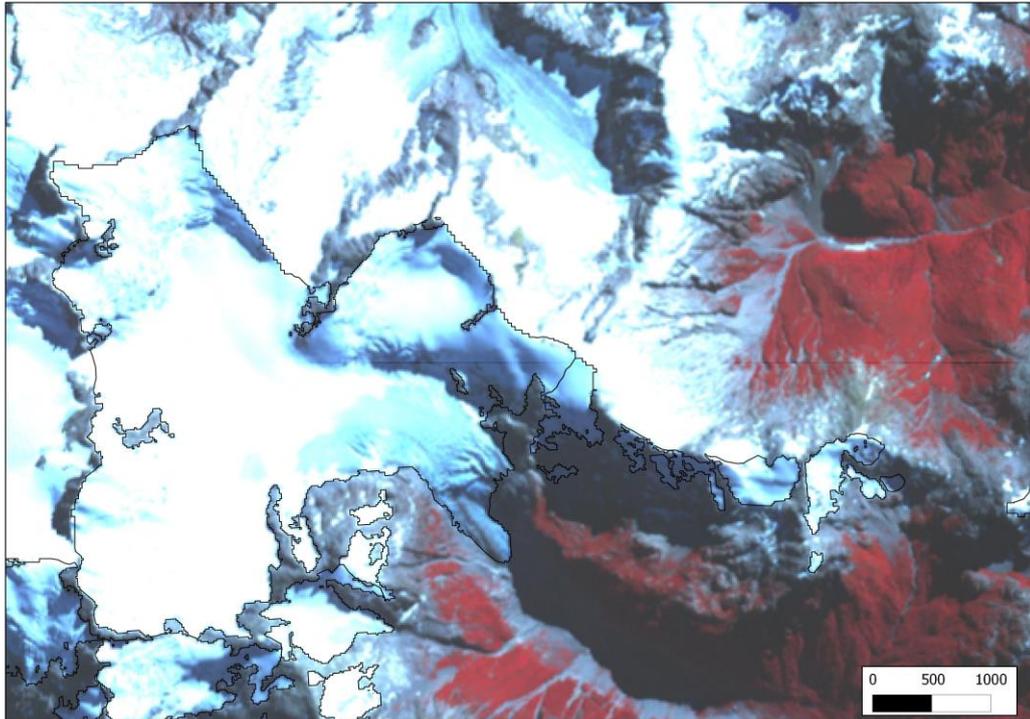
**Tabla 1: Imágenes de los sensores ASTER y ALOS utilizadas como base para el inventario de la subcuenca lago Puelo Superior, cuenca de los ríos Manso y Puelo.**

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST_L1A_003:2041857355	21 marzo 2007
ALOS	ALAV2A16622440_01B2R_U	08 marzo 2009
ALOS	ALAV2A166224450-O1B2R_U	08 marzo 2009

### 4.3. Delimitación de hielo descubierto

El paso posterior a la determinación de las cuencas hidrográficas es la delimitación automática del hielo descubierto. Para ello se realizó una clasificación por objetos a partir de las bandas 1, 2 y 3 de las imágenes de base citadas en la Tabla 1. Dicha clasificación fue realizada con el programa SPRING provisto por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil, INPE (Camara et al. 1996). Una clasificación por objetos utiliza además de la información espectral de cada píxel la información espacial que envuelve la relación entre los píxeles y sus vecinos. Este tipo de clasificación intenta imitar el comportamiento de un fotointérprete al reconocer áreas homogéneas de las imágenes basándose en las propiedades espectrales y espaciales de las mismas. Como resultado de esta clasificación se obtuvieron los polígonos que corresponden al hielo descubierto, incluyendo glaciares y manchones de nieve (ver Figura 5).

Posteriormente el vector obtenido se edita manualmente para corregir pequeñas diferencias que puedan existir, como por ejemplo el hielo no identificado por estar localizado en sectores en sombra en la imagen o para eliminar la nieve estacional que pueda estar presente en la imagen.



**Figura 5: Ejemplo de delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.**

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

En esta subcuenca no se han identificado glaciares de escombros ni hielo cubierto por detritos por lo que no se ha realizado digitalización manual de los mismos.

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

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca lago Puelo Superior incluye la identificación de cada uno de los glaciares, su clasificación morfológica, y parámetros de índole física tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total entre otros (ver Anexo 7.3.). La base de datos se construyó con el programa KOSMO.

Para clasificar los glaciares se usaron las normativas internacionales en uso (principalmente del WGMS y GLIMS) con algunas adaptaciones, debido a las particularidades de los cuerpos de hielo presentes mayormente en los Andes Centrales de Argentina. En esta región en particular, los glaciares de escombros representan un recurso hídrico de gran importancia, no obstante se han identificado este tipo de geoformas en las diferentes regiones de los Andes argentinos. 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](http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf).

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

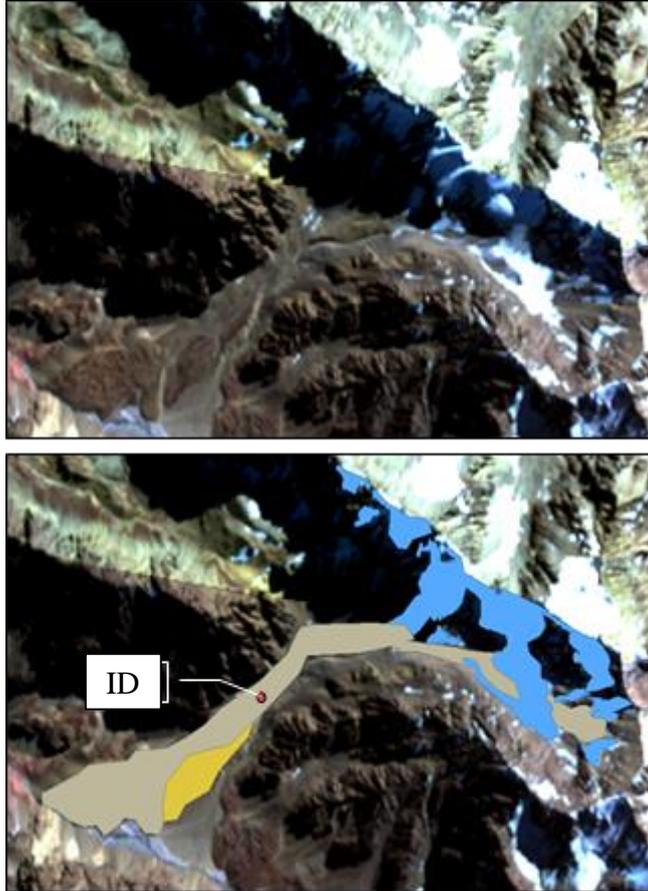
[http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS\\_Analysis\\_Tutorial\\_a4.pdf](http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_a4.pdf).

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

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

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID\_local** (ID de la Figura 6 representado por un círculo rojo) 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.



**Figura 6: Ejemplo de una unidad compuesta vista en un mosaico de imágenes ASTER (arriba), y con todas las subunidades que la componen digitalizadas (abajo). El punto rojo en el centro de la unidad se utilizó para obtener las coordenadas geográficas de la misma. Todas las subunidades tienen el mismo código de identificación (ID).**

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

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, por lo que aun hoy encontramos zonas montañosas inexploradas. 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 información en forma directa se busca generar un banco fotográfico que servirá para dar a conocer y monitorear un gran número de glaciares.

## 5. Resultados



**Figura 7: Manchones de nieve en la sub-subcuenca río Azul (Foto: Daniel Falaschi).**

### 5.1. Subcuenca del lago Puelo Superior

La subcuenca del lago Puelo Superior se encuentra en el sudoeste de la provincia del Río Negro y noroeste de la provincia del Chubut, pertenece a la cuenca de los ríos Manso y Puelo. Sus límites son al norte la cuenca del río Manso, al oeste lo ejerce la cordillera andina, al sur se ubica la subcuenca de lago Puelo Inferior y al este la cuenca del río Chubut.

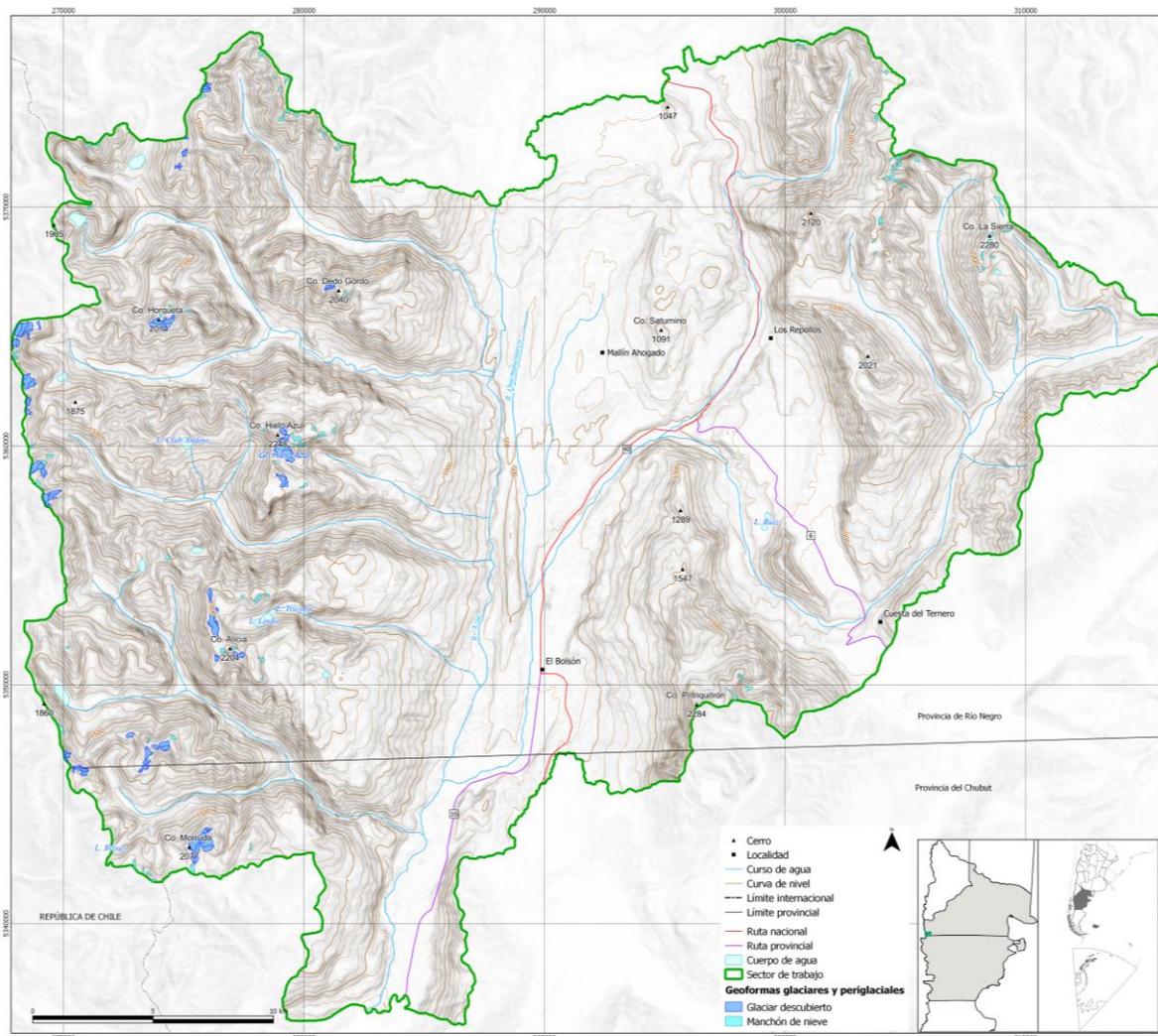
El área total de la subcuenca es de 1.183 km<sup>2</sup>. Su geografía se destaca por valles encajonados y altos cordones montañosos al oeste y valles amplios y lomadas hacia el este. Es notable la presencia de bosques en las montañas dominados por la presencia de *Nothofagus*, mientras que en los valles se cubren de estrato herbáceo (Figura 7).

El principal curso de la subcuenca es el río Azul que corre de norte a sur hasta desembocar en el lago Puelo. Desde el oeste se nutre de los arroyos Blanco, Azul, Raquel y Encanto Blanco. Por el este recibe las aguas del arroyo Quemquemtreu, el cual se forma por la unión de los arroyos del Medio, Los Repollos y de Los Terneros.

Se han inventariado un total de 120 geoformas, que ocupan una superficie de 6,17 km<sup>2</sup>, es decir el 0,5% del total de la superficie de la subcuenca lago Puelo Superior se encuentra englazada (Figura 8). A partir de la clasificación primaria establecida por GLIMS la distribución de cuerpos de hielo en la cuenca es del 69% pertenecen a glaciares descubiertos, representando un área de 4,24 km<sup>2</sup>. El 31% de las geoformas pertenecen a manchones de nieve con un área de 1,93 km<sup>2</sup> (Tabla 2, Figura 9). En cuanto al ambiente periglacial se ha investigado a través de imágenes de satélite de alta resolución (ALOS) y Google Earth, pero no han sido observadas geoformas que indiquen presencia de permafrost rico en hielo.

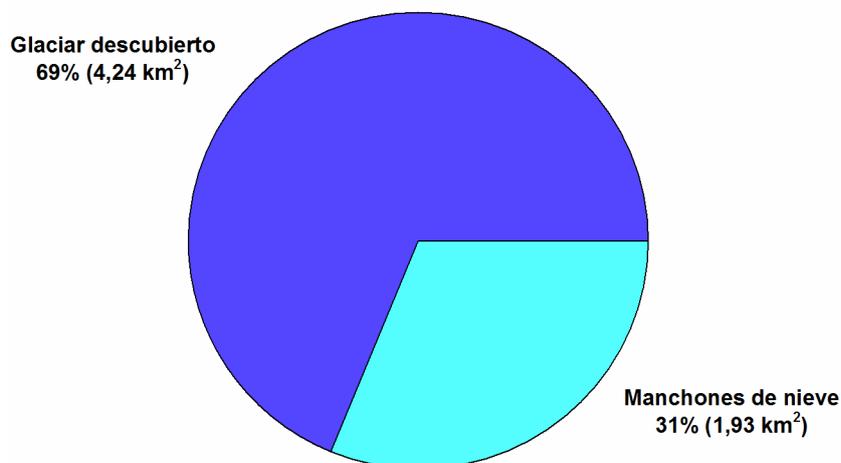
**Tabla 2: Tipo de geoforma y superficie total en la subcuenca del lago Puelo Superior.**

Tipo de geoforma inventariada	Área (km <sup>2</sup> )
Glaciar descubierto	4,24
Manchones de nieve / glaciaretos	1,93
Totales	6,17



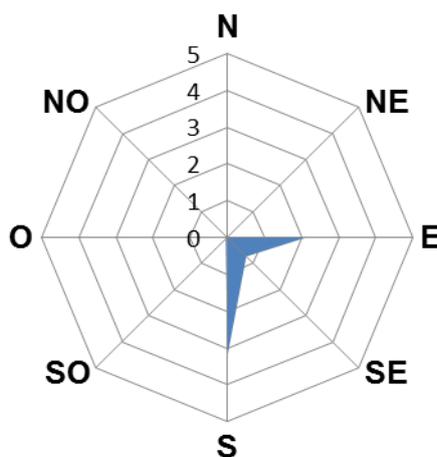
**Figura 8: Mapa general de la subcuenca del lago Puelo Superior con las geoformas inventariadas.**

**Superficie total cubierta por cuerpos de hielo: 6,17 km<sup>2</sup>**  
**Total de geformas inventariadas: 120**



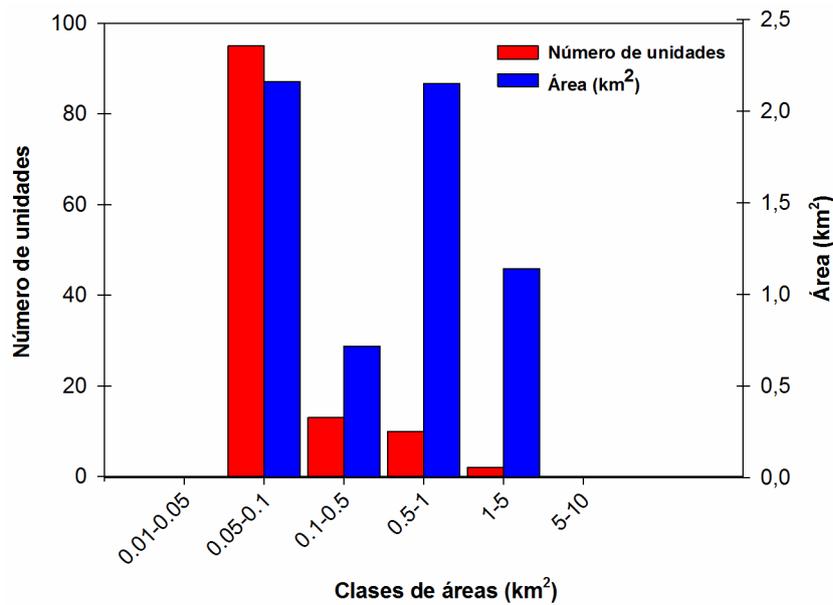
**Figura 9: Tipos de glaciares en la subcuenca lago Puelo Superior.**

La orientación predominante de los cuerpos es hacia el sur y hacia el este de la subcuenca (Figura 10).



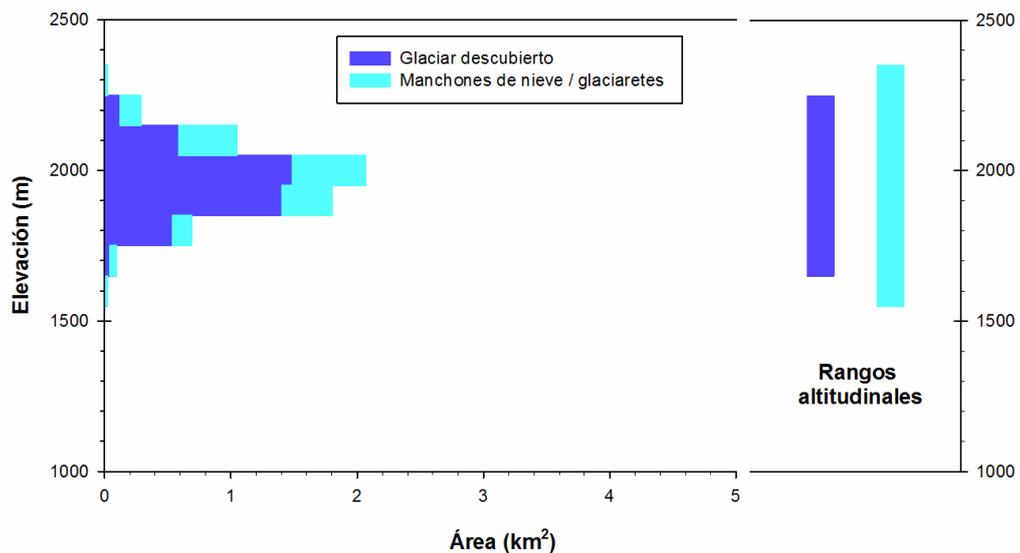
**Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en función de su superficie. Subcuenca lago Puelo Superior.**

El 80% de los cuerpos de hielo inventariados poseen un tamaño entre 0,01-0,05 km<sup>2</sup> representando un área de 2,16 km<sup>2</sup>; el 10% de los cuerpos se ubican en el rango 0,05-0,1 km<sup>2</sup> y representan un área de 0,7 km<sup>2</sup>; un 8% de las geformas inventariadas integran el rango 0,1-0,5 km<sup>2</sup> sumando un área total de 2,15 km<sup>2</sup>. Entre 0,5-1 km<sup>2</sup> pertenece el 1,6% de los cuerpos con un área de 1,14 km<sup>2</sup> (Figura 11).



**Figura 11: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados. Subcuenca lago Puelo Superior.**

La distribución altitudinal de los cuerpos inventariados se manifiesta entre los 1.550 y 2.350 msnm, siendo la media los 1.900 msnm. Los manchones de nieve son los que poseen una mayor variabilidad altitudinal, se distribuyen en un rango de 1.550 a 2.350 msnm, encontrándose una concentración entre los 1.800 a 2.000 msnm. Los glaciares de hielo descubierto poseen un rango altitudinal un poco más estrecho que los manchones de nieve, la mayor cantidad de los mismos se produce en el rango comprendido entre 1.800 a 1.900 msnm (Figura 12 y Tabla 3).



**Figura 12: Distribución altitudinal del tipo y superficie de los cuerpos de hielo inventariados. Subcuenca lago Puelo Superior.**

**Tabla 3: Tipo de geoforma y altura en la subcuenca lago Puelo Superior.**

<b>Tipo de geoforma</b>	<b>Altura mínima observada (msnm)</b>	<b>Altura máxima observada (msnm)</b>
Glaciar descubierto	1.650	2.250
Manchones de nieve / glaciaretos	1.550	2.350

## **5.2. Resultados trabajo de campo**

Se realizó el control de campo a fines de Febrero de 2013 de la sub-subcuenca del río Azul, dentro de la reserva Río Azul–Lago Encantado, visitando los glaciares de Hielo Azul y Perito Moreno. Los datos obtenidos en el trabajo se incluyen en el Anexo 7.2 incluido en el presente documento.

Se visitaron en campo 8 geoformas correspondientes a las categorías de glaciares descubiertos y manchones de nieve. En todos los casos hubo coincidencia entre lo identificado y clasificado en gabinete y las observaciones realizadas en el campo. Para mayor detalle ver Anexo 7.2. donde se describen algunas de las geoformas vistas en el terreno.

## 6. Bibliografía

- Arenson, L. 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). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 286 - 288.
- Azócar, G.F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 42 - 53.
- Barsch D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *Third International Conference on Permafrost, Proceedings 1*, 349-353 p. Ottawa, Canada.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, 331 p. Berlin.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16, 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 54 - 66.
- Camara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Garrido, J. 1996. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403.
- 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.*
- Corte, A. y Espizúa L.E. 1982. *Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.*
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157-158.
- Delgado, S., Masiokas, et al. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. *International Ice and Climate Conference. Valdivia, Chile. CECS.*
- Dirección Provincial de Aguas de Río Negro (2011), "Relevamiento de parámetros morfométricos del glaciar Hielo Azul. Informe de campaña – Marzo 2011", Argentina.
- Espizúa, L.E. 1982. Glacier and Moraine Inventory of the Eastern Slopes of Cordon del Plata and Cordon del Portillo, Central Andes. Argentina. *Tills and Related Deposits.* 381-395. A.A. Balkema/Rotterdam.

Fujisada, H., Bailey, G. B., Kelly, G. G., Hara, S., y Abrams, M. J. 2005: ASTER DEM performance, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43, 2707-2714.

Garleff, K. 1977. Höhenstufen der argentinischen Anden in Cuyo, Patagonien und Feuerland. *Göttinger Geographische Abhandlungen*, 68, Göttingen, 150 p.

Garleff, K. und Stingl, H. 1986. Geomorphologische Aspekte aktuellen und vorzeitlichen Permafrostes in Argentinien. *Zentralblatt fuer Geologie und Palaeontologie*, Teil I: Allgemeine, Angewandte, Regionale und Historische Geologie Heft 9/10, 1367–1374.

Garleff, K. und Stingl, H. 1988. Geomorphologische Untersuchungen in der nivalen und subnivalen Stufe der argentinischen Anden –Ergebnisse und paläoklimatische Interpretation. *Deutscher Geographentag München, Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen*, 46, Stuttgart, 419-425.

Gruber, S. and Haeberli, W., 2009. Mountain Permafrost, in *Permafrost Soils* (ed) R. Margesin, *Soil Biology* 16. Springer-Verlag Berlin. 33-44p.

Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitt. d. Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, Vol. 77, 142 p.

IANIGLA, 2010. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. ([www.glaciares.org.ar](http://www.glaciares.org.ar)), 87 p., Mendoza.

Ikeda A., and Matsuoka, N., 2002. Degradation of Talus-derived Rock Glaciers in the Upper Engadin, Swiss Alps. *Permafrost Periglac. Process.*, 13:145–161, 2002.

Ikeda, A. 2004: Rock glacier dynamics near the lower limit of mountain permafrost in the Swiss Alps.

Lliboutry, L. 1956. Nieves y glaciares de Chile, fundamentos de glaciología. Universidad de Chile, 472 p., Santiago de Chile.

Moreno, F. P., 1900. Exploraciones en Patagonia. *Boletín del Instituto Geográfico Argentino*, XX: 342- 394. Buenos Aires.

Müller, F., T. Caflisch, et al. 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory. TTS/WGI, Department of Geography, ETH. Zurich. 19 p.

Otto, J-Ch., Götz, J., Keuschnig, M., Hartmeyer I., Trombotto D. y Schrott, L. 2010. Geomorphological and geophysical investigation of a complex rock glacier system - Morenas Coloradas valley (Cordon del Plata, Mendoza, Argentina). *Geophysical Research Abstracts*, EGU2010-3625, Vol. 12.

Rabassa, J., 1981. Inventario de glaciares y cuerpos de nieve permanentes en los Andes Patagónicos septentrionales, Argentina. *Octavo Congreso Geológico Argentino, Actas* 4, 109-122.

Rabassa, J., S. Rubulis, J. Suarez. 1978. Glacier inventory of the northern Patagonian andes, Argentina, Between Latitude 39°00' and Latitude 42°20'S. Río Negro, Argentina. Fundación Bariloche.

Rabassa, J., Suárez, J., Rubulis, S., 1979, Trabajo inédito de Glaciar de valle del Co. Hielo Azul, Archivo de World Glacier Monitoring, Suiza.

Racoviteanu, A. E., Paul, F., Raup, B., Khalsa, S.J.S., Armstrong, R. 2009. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) workshop, Boulder, Colorado, USA. *Annals of Glaciology* 50 (53).

Ruiz L. and Trombotto Liaudat, D., 2012a. Mountain Permafrost Distribution in the Andes of Chubut (Argentina) based on a Statistical Model. 10th International Permafrost Conference. Salekhard, Yamal-nenets Russia, Vol. I, 365-370.

Ruiz, L. and Trombotto Liaudat, D., 2012b. Descubrimiento de glaciares de Escombros Fósiles en la cordillera y Precordillera Patagónica, su significado paleoclimático. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. (En Prensa).

Schrott, L. 1996. Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). *Zeitschrift für Geomorphologie NF Suppl.-Bd.*, 104, 161-173.

Trombotto, D. 1991. "Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentinien". ("Investigaciones sobre geoformas y sedimentos periglaciales en la 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentina"). *Heidelberger Geographische Arbeiten*, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg, Alemania.

Trombotto, D. 2000. Survey of Cryogenic Processes, Periglacial Forms and Permafrost Conditions in South America. *Revista do Instituto Geológico* 21: 33-55.

Trombotto, D. 2002. "Inventory of fossil cryogenic forms and structures in Patagonia and the mountains of Argentina beyond the Andes". *South African Journal of Science*, 98: 171-180, Review Articles, Pretoria, Sudáfrica.

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

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. IAHS (ICSU)/UNEP/UNESCO. Paris. 52 p.

WGMS-UNEP, 2007. Global Glacier Changes: Facts and Figures, World Glacier Monitoring Services, United Nations Environmental Programme, Geneva.

Williams, R.S., Jr., Ferrigno, J.G. (eds.) 1999. Satellite Image Atlas of Glaciers of the World – South America. USGS Professional Paper 1386-I.

## 7. Anexos

### 7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del lago Puelo Superior

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del lago Puelo Superior, cuenca de los ríos Manso y Puelo.

Para las imágenes que se utilizaron como base del inventario, la selección final se realizó teniendo en cuenta aquellas de fechas más recientes, que tuvieran poca cobertura de nieve estacional (meses de ablación desde marzo a abril para estas latitudes) y ausencia de nubes.

Las imágenes se seleccionaron teniendo en cuenta diversos objetivos:

- Como base de georreferenciación, se empleó una imagen del satélite Landsat5 TM.
- La identificación de geformas de ambiente glaciar y periglacial fue realizada a partir de imágenes ASTER y ALOS.
- Para identificar manchones de nieve perenne se emplearon 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.
- Se emplearon como apoyo para la interpretación y delimitación de los cuerpos de hielo menores o en aquellas zonas con mucha sombra de las escenas ASTER imágenes de sensores de alta resolución, en este caso fueron utilizadas imágenes de gran resolución que se encuentran en Google Earth.

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52320891987040XXX02	9 febrero 1987	Base georreferenciación

Satélite: **TERRA**

Sensor: Aster

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: LP DAAC, USGS <http://lpdaac.usgs.gov>

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST_L1A_003:2041857355	21 marzo 2007	Base inventario
AST_L1A_003:2027937059	27 febrero 2005	Corroboración manchones de nieve

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

Sensor: AVNIR (Advance Visible and Near Infrared Radiometer)

Resolución espacial: 10 m

Imágenes gentileza de CONAE (Argentina) y JAXA (Japón) a través de los Dres. Jinro Ukita y Takeo Tadono, obtenidas como parte 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 (IANIGLA-CONICET).

<b>ID imagen</b>	<b>Fecha</b>	<b>Objetivo</b>
ALAV2A16622440	08 marzo 2009	Base inventario
ALAV2A166224450	08 marzo 2009	Base inventario

## **7.2. Control de campo**

### **7.2.1. Objetivos**

Los objetivos de la campaña fueron:

- ✓ Identificar en el campo las geoformas inventariadas en una primera etapa a través de imágenes satelitales
- ✓ Observar detalles morfológicos de las geoformas
- ✓ Verificar la clasificación de glaciares realizada
- ✓ Tomar fotografías de las diferentes geoformas
- ✓ Tomar puntos y tracks con navegador GPS
- ✓ Continuar con estudios realizados en la zona

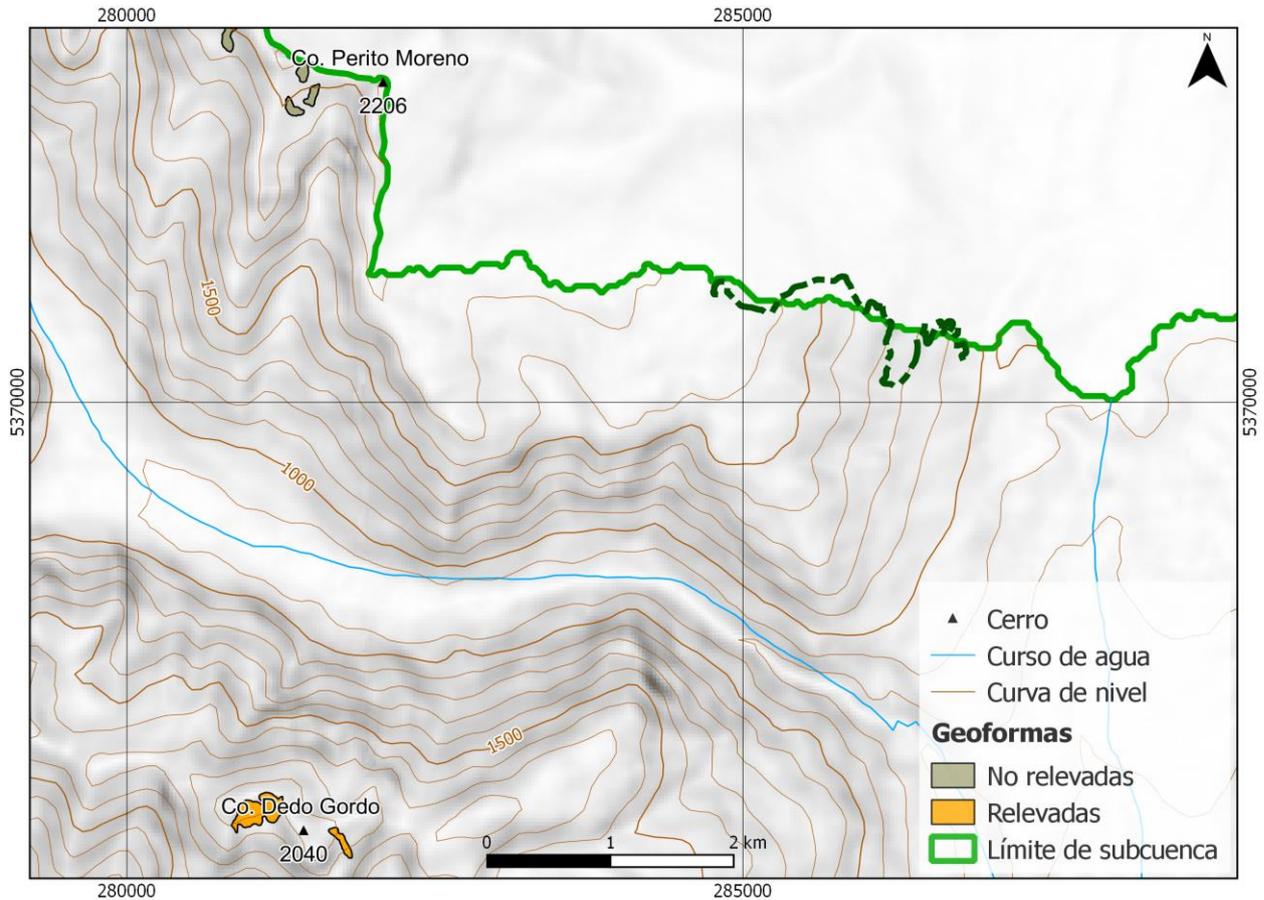
### **7.2.2. Logística**

Para llevar a cabo tales objetivos se realizó una planificación de los sitios a visitar, poniendo énfasis en lograr una buena distribución de las geoformas en el espacio y visualizando todos los tipos de glaciares mapeados (descubiertos, cubiertos, de escombros y manchones de nieve). Otro punto muy importante en la elección de los sitios a visitar fue la accesibilidad.

El diseño de la campaña a la subcuenca del lago Puelo Superior fue realizado en base a la búsqueda de puntos panorámicos que permitieran visualizar los grandes cordones montañosos con glaciares de la subcuenca, ya que llegar a ellos demandaría mucho tiempo. Se decidió visitar particularmente el Co. Hielo Azul, debido a su accesibilidad y a la existencia de datos de mediciones realizados por los equipos del IANIGLA en 1982 y que continúa la Dirección Provincial de Agua de Río Negro. Otro punto seguro de visita fue el camino de ascenso al Co. Perito Moreno, el cual permitió tener una vista panorámica de la subcuenca del lago Puelo Superior.

### 7.2.3. Resultados de las geformas relevadas en la subcuenca río Azul

#### Punto panorámico en el camino de ascenso al Co. Perito Moreno



Las geformas presentadas a continuación fueron observadas a la distancia desde un punto panorámico en el camino de ascenso al Co. Perito Moreno y están ubicadas en las laderas del Co. Dedo Gordo.

#### **Geoforma G7163600418217S**

Glaciar descubierto del Co. Dedo Gordo orientado al sur. A pesar de que la la geoforma fue apreciada a la distancia se observaron rasgos característicos de un glaciar descubierto por lo que se corroboró la clasificación e identificación realizada en gabinete.

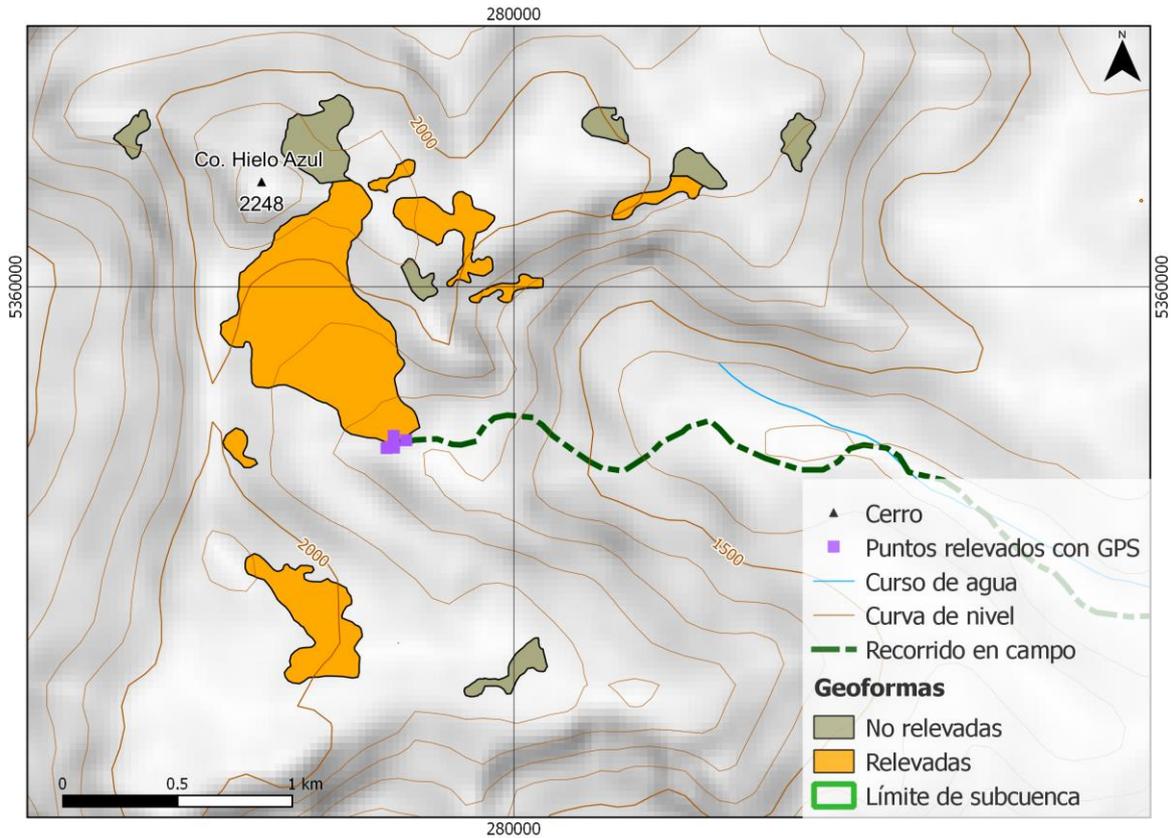
#### **Geoforma G7162810418242S**

Manchón de nieve de forma alargada y orientación sudeste. No presenta rasgos de movimiento por lo que se corrobora la clasificación realizada en gabinete como manchón de nieve.



**Geoformas en el cerro Dedo Gordo**

## Co. Hielo Azul



### **Geoforma G7166150418825S**

Esta geoforma corresponde al glaciar Hielo Azul. Se trata de un glaciar descubierto de montaña con orientación hacia el SE. La geoforma presenta rasgos característicos de un glaciar descubierto como la presencia de grietas que permiten confirmar las observaciones realizadas en gabinete. Se puede apreciar una pequeña parte del glaciar en el frente cubierto con detrito.



En el frente del glaciar se realizaron mediciones con GPS como se puede observar en la foto presentada a continuación.



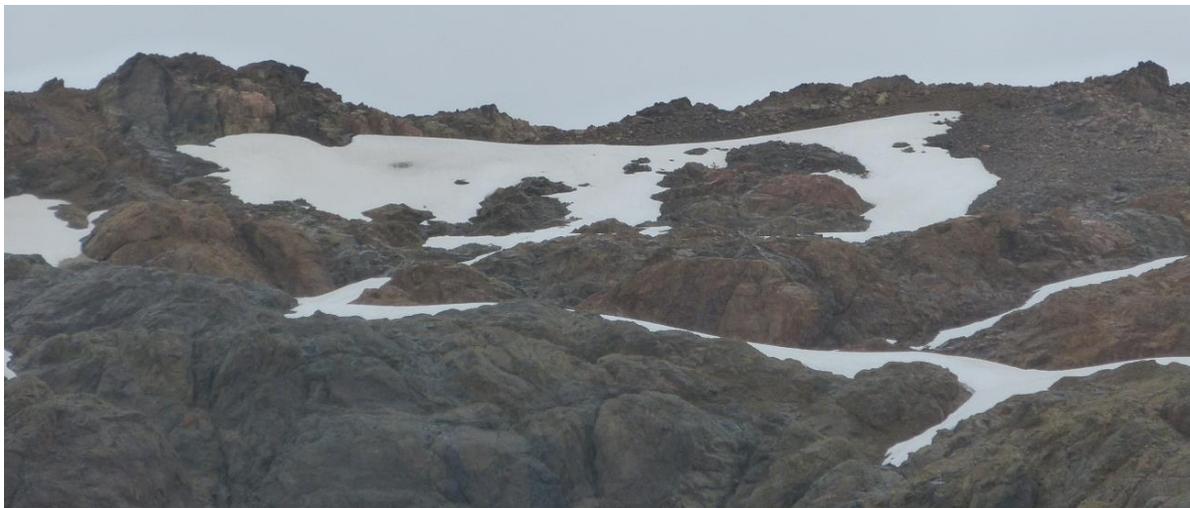
**Midiendo el frente del glaciar Hielo Azul**

Se midió con un navegador GPS el frente del glaciar y el lugar de inicio de la laguna proglacial. Los resultados se muestran en la tabla a continuación.

<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Frente glaciar (F1)	41°53`15,00``	71°39`29,45``
Frente glaciar (F2)	41°53`13,45``	71°39`28,72``
Frente glaciar (F3)	41°53`14,13``	71°39`26,38``
Frente glaciar (F4)	41°53`15,17``	71°39`30,14``
Inicio Laguna	41°53`15,14``	71°39`28,73``

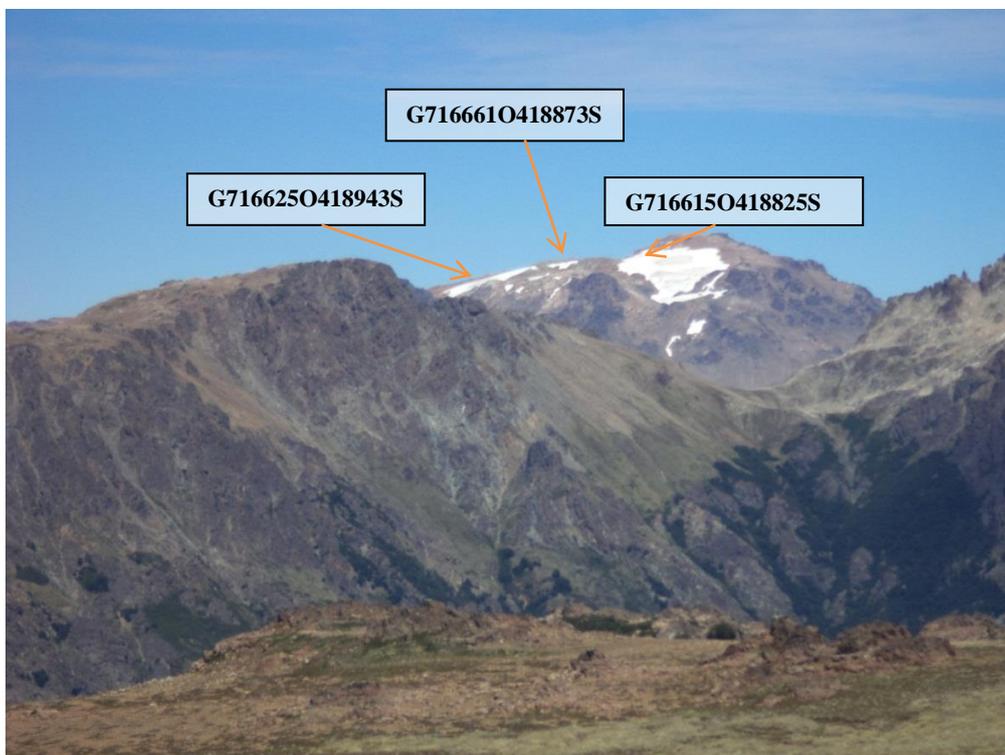
### **Geoforma G716661O418873S**

Pequeño manchón de nieve con orientación hacia el este. No se observó en campo rasgos de movimiento por lo que se corrobora la clasificación que se había realizado en gabinete como manchón de nieve.



### **Geoforma G716625O418943S**

Glaciar descubierto de montaña. A pesar de la distancia a la que fue observado se pudo identificar grietas características de glaciares descubiertos y de esta manera corroborar la clasificación realizada en gabinete.



**Vista panorámica del Co. Azul**

### **Geoforma G716437O418779S**

Manchón de nieve de orientación sur adherido a la ladera de la montaña. Presenta una forma alargada en sentido noreste-suroeste. No se observan rasgos de movimiento por lo que se confirman la clasificación realizada en gabinete como manchón de nieve.



### **Geoforma G716575O418768S**

Manchón de nieve con orientación predominante hacia el sureste. Esta geoforma no presenta indicios de movimiento por lo que fue corroborada la clasificación que se había realizado en gabinete.



### **Geoforma G7165480418789S**

Esta geoforma había sido identificada en gabinete como manchón de nieve y las características observadas en el campo permitieron corroborar la clasificación. Sin embargo se pudo apreciar que el manchón se había fragmentado.



### 7.3 Descripción de la base de datos

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

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

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

**M0550000**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8. **Nombre común:** si lo hubiere.

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

0. Incierto

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### **13. Fuente de alimentación**

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

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

0. Incierto
1. Marcado retroceso
2. Leve retroceso

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

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

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

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

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

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

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

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

### **18. Origen GE**

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

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

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

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

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

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

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

### **22. Estructura II**

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

alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.

23. **Longitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
24. **Latitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
25. **Área:** área de cada polígono expresada en  $\text{km}^2$ .
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 km<sup>2</sup> respectivamente. El Inventario Nacional de Glaciares describe por primera vez, en un instrumento sistematizado, todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional, con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.**

**El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del lago Puelo Superior, cuenca de los ríos Manso y Puelo, provincias de Río Negro y del Chubut.**





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

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

**Número:**

**Referencia:** ING - Lago Puelo Superior

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 50 pagina/s.