



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de la subcuenca
del río Limay Sur
Cuenca del río Limay**

**Provincias del Neuquén y
Río Negro**

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: Lic. Lidia Ferri Hidalgo

Profesional: Ing. Melisa Giménez

Colaboradores: Téc. Mariano Castro, Lic. Laura Zalazar

Mayo 2018

La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial establecida por el Poder Ejecutivo Nacional a través del Instituto Geográfico Nacional por Ley 22963 y ha sido aprobada por Expte. EX – 2017 – 15204229 – APN – DGA#IGN, de fecha 16 de agosto de 2017

ÍNDICE

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario	7
4.	Materiales y métodos.....	10
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	11
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	12
4.3.	Delimitación del hielo descubierto	13
4.4.	Digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros.....	14
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas	14
4.6.	Control de campo.....	18
5.	Resultados.....	19
5.1.	Cuerpos de hielo de la subcuenca del río Limay Sur	19
5.2.	Control de campo.....	23
6.	Bibliografía.....	24
7.	Anexos	28
7.1.	Imágenes utilizadas en el Inventario de la subcuenca del río Limay Sur.....	28
7.2.	Control de campo de la subcuenca del río Limay Sur	30
7.2.1.	Objetivos.....	30
7.2.2.	Resultados. Geoformas relevadas	31
7.2.	Descripción de la base de datos	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparación fotográfica de los glaciares de la cara norte del Volcan Lanín en 1896 y 1897 (R. Hauthal).	6
Figura 2: Mismos glaciares desde el río Turbio	7
Figura 3: Subcuenca del río Limay Sur, cuenca del río Limay, en la provincia del Neuquén.	11
Figura 4: Ilustración de la delimitación de hielo descubierto obtenido a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.	13
Figura 5: Ejemplo de la importancia que tienen las imágenes de alta resolución espacial para delimitar glaciares cubiertos y glaciares de escombros.....	14
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)	16
Figura 7: Diagrama de flujo de la metodología usada.	17
Figura 8: Inventario de glaciares de la subcuenca del río Limay Sur.....	20
Figura 9: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Limay Sur.	21
Figura 10: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Limay Sur.	21
Figura 11: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Limay Sur	22
Figura 12: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en la subcuenca del río Limay Sur.	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes satelitales utilizadas como base para realizar el inventario de cuerpos de hielo de la subcuenca del río Limay Sur (ver anexo 7.1. para mayor información).	12
Tabla 2: Superficie total inventariada en la subcuenca del río Limay Sur.	19
Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en la subcuenca del río Limay Sur.	22

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 descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GE: Glaciar de escombros

Gl: 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 km² 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 (glaciares Torre, Piedras Blancas y de los Tres, entre otros) constituyen otros ejemplos de importantes atractivos turísticos dentro del mismo Parque Nacional, realzando las imponentes vistas del cerro Torre y Monte Fitz Roy o Chaltén. 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 del calentamiento que ha experimentado la superficie terrestre 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. Considerando los servicios ambientales que nos brindan, su alto grado de vulnerabilidad y los riesgos asociados a sus variaciones, los glaciares y geoformas periglaciales son generalmente concebidos como elementos muy valiosos del paisaje que deben ser estudiados, monitoreados y protegidos para poder conocerlos y preservarlos.

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

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

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

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

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

*ARTÍCULO 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.

El presente informe del Inventario Nacional de Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1 en la subcuenca del río Limay sur, cuenca del río Limay. 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.

La cuenca del río Limay se encuentra en la zona sur de la provincia del Neuquén y el sector norte de la provincia de Río Negro, posee un área aproximada de 26.653km².

Su cobertura geográfica se extiende desde los 38°43'17" S en el extremo norte hasta los 41°30'19" S en el sur, y desde los 71°57'54" O en su extremo oeste hasta los 70°15'52" O en su extremo este, con un desarrollo predominantemente norte – sur, y de vertiente Atlántica.

El río Limay tiene su nacimiento en el lago Nahuel Huapi y es alimentado por un total de 42 lagos, fluye de noroeste a sudeste hasta unirse con el río Neuquén y formar el río Negro. Los afluentes más importantes del río son el Traful y el Collón Curá. Este curso de agua es límite natural entre las provincias del Neuquén y Río Negro.

El trabajo de identificación de glaciares y glaciares de escombros en la cuenca del río Limay fue elaborado en noviembre de 2016 y aprobado según resolución N°RESOL-2017-801-APN-MAD del 15 de noviembre 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.

2. Antecedentes

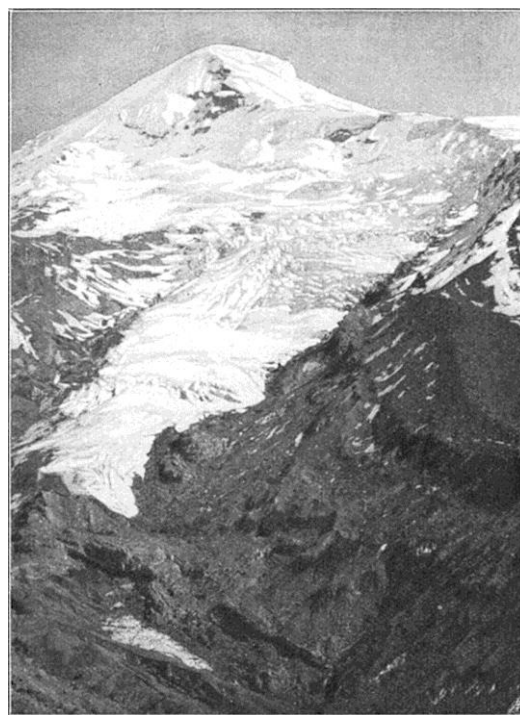
Los glaciares de los Andes del norte de la Patagonia (36°-45°S) han sido mucho menos estudiados que los glaciares de otras regiones andinas de Argentina. El norte de la Patagonia posee una gran variedad de ambientes y glaciares de tamaño medio a chico con mucho potencial para la investigación científica, pero en la actualidad sólo existe información detallada para un escaso número de glaciares.

Rabassa et al., (1978) presentaron el primer inventario preliminar de glaciares de 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 englazada total de 138,88 km², la mayor parte de ellos en monte Tronador (provincia de Río Negro) y volcán Lanín (en la provincia del Neuquén) (Rabassa et al. 1981). Según estos autores los glaciares más comunes son del tipo 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. Cerca del 90% de los glaciares (211 de 235 inventariados) tenían menos de 1 km² de extensión. El 91% de los mismos tenía una elevación media entre los 1.600 y 2.300 msnm. Rabassa et al. (1981), a partir de una combinación de observaciones directas y derivadas de fotografías aéreas, también 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 gradiente oeste-este.

Se cuenta con material histórico de los glaciares del volcán Lanín gracias a las expediciones del geólogo Rudolf Hauthal, quien ascendió el volcán en 1897 y realizó un registro de fotos sobre la cara norte y luego fueron publicadas en 1904 (Hauthal 1904). Alberto María de Agostini, sacerdote italiano, fotógrafo, documentalista, montañista y geógrafo replicó la misma fotografía de Hauthal que fueron publicadas en el año 1949 (Agostini 1949). En base a la reconstrucción fotográfica es posible evidenciar el retroceso de uno de los glaciares que desciende de la cara norte y el adelgazamiento del cuerpo de hielo que se ubica en la cumbre del volcán. Ambos comportamientos demuestran el balance de masa negativo de estos glaciares en los últimos 121 años (Figuras 1 y 2).



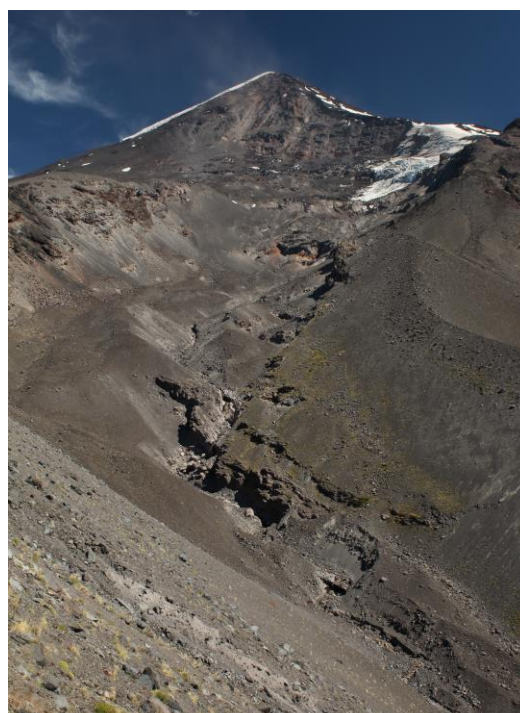
24 de mayo 1896



24 de mayo 1897

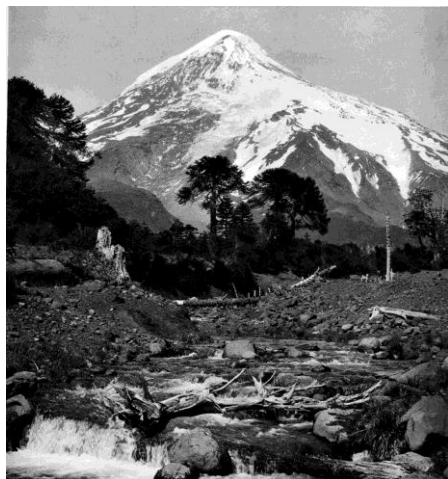


16 marzo 2001



23 marzo 2017

Figura 1: Comparación fotográfica de los glaciares de la cara norte del Volcan Lanín en 1896 y 1897 (R. Hauthal). Misma perspectiva tomada en 2001 (R. Villalba IANIGLA) y 2017 (M. Castro IANIGLA, Foto: APS-C 34 mm, f/16, 1/40s).



Década 40's



16 marzo 2001



21 marzo 2017

Figura 2: Mismos glaciares desde el río Turbio, en la década de los 40's (A. M. de Agostini), 2001. (R.Villalba IANIGLA) y 2017 (M. Castro IANIGLA, Foto: APS-C 29 mm, f/16, 1/125 s).

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 las diferentes geoformas identificadas en las imágenes satelitales y los procesos que las originan. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo de la subcuenca del río Limay sur, cuenca del río Limay, provincias del Neuquén y Río Negro.

En el territorio de la República Argentina resulta posible 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 World Glacier Monitoring Service (WGMS) y la International Permafrost Association (IPA), y además cumplen con la propiedad principal que debe tener un cuerpo de hielo para ser incluido en el Inventario, es decir 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 o

glaciaretos 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** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35°) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (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 glacigénico (ambiente periglacial) en base a sensores remotos, en particular si no se cuenta con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada “glaciar cubierto con glaciar de escombros” que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

Cabe aclarar que en el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo, son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (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 Nacional de Glaciares sigue las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS, 1967 y posteriores; UNESCO-IAHS, 1970; Müller, 1977), el 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 1981; Delgado et al. 2010).

Con el fin de facilitar las tareas de inventario de los cuerpos de hielo en la extensa cuenca hidrográfica, la misma fue dividida en dos subcuencas: ríos Collón Curá y Picún Leufú (16.721 km^2) y río Limay Sur (9.974 km^2).

Este informe se focaliza en los resultados de la subcuenca del río Limay Sur (ver Figura 3). Su cobertura geográfica se extiende desde los $40^{\circ}24'22''$ S en el extremo norte hasta los $41^{\circ}30'19''$ S en el sur, y desde los $71^{\circ}57'54''$ O en su extremo oeste hasta los $70^{\circ}25'47''$ O en su extremo este. Al oeste de la subcuenca se encuentra el lago Nahuel Huapi, de origen glaciar y que recibe aguas de los arroyos de cabecera. En el extremo oriental de este cuerpo de agua nace el río Limay el cual con dirección noreste se une con el río Pichi Leufú donde se encuentra el punto de cierre de esta subcuenca.

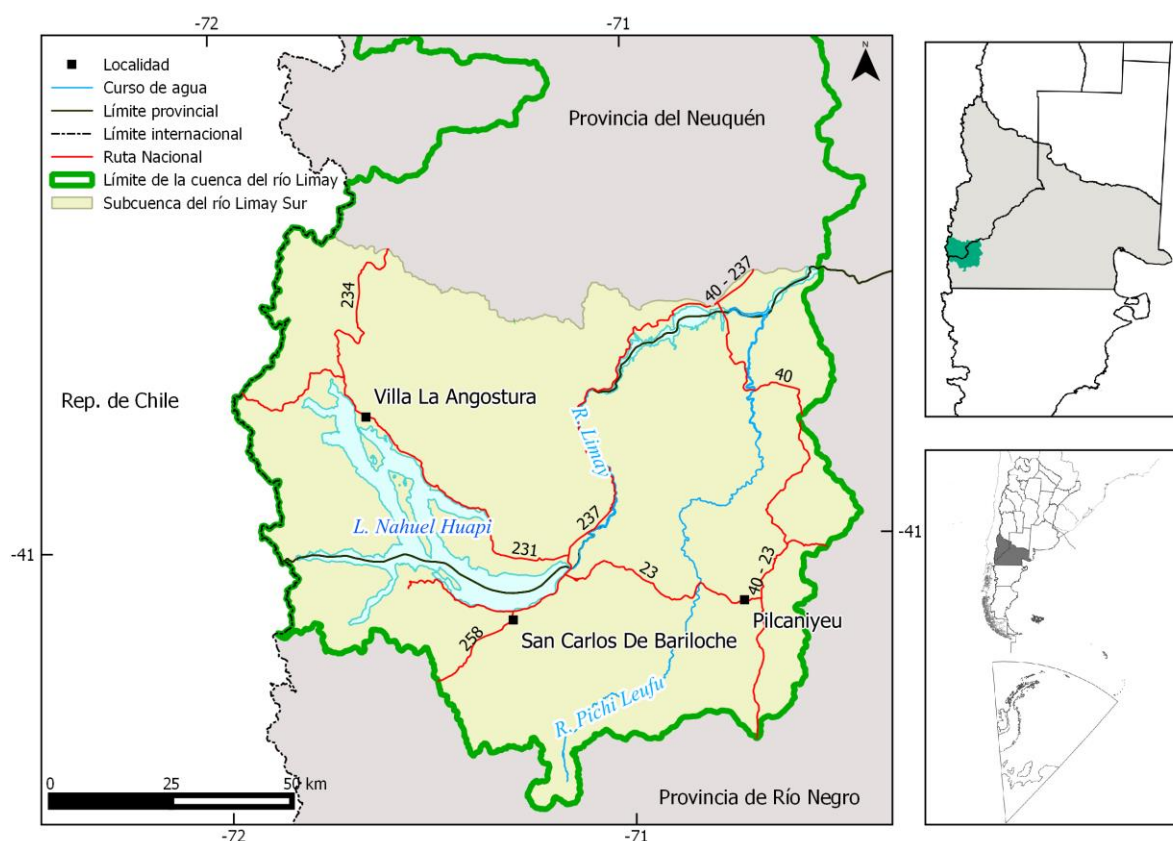


Figura 3: Subcuenca del río Limay Sur, cuenca del río Limay, en la provincia del Neuquén.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas se basó en información proveniente de modelos digitales de elevación (MDE). Los MDE generalmente recomendados para trabajos de mapeo e inventario de glaciares son el SRTM (90 m de resolución espacial) originado en imágenes de radar, y el GDEM (30 m de resolución espacial) desarrollado en base a imágenes estereoscópicas ASTER. Entre éstos, se decidió trabajar con el GDEM v2 por presentar una mejor resolución espacial, lo que permitió delinear con mayor nivel de detalle las cuencas hidrográficas en la zona de estudio.

El programa QGIS (software libre)¹ fue utilizado para delimitar automáticamente las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de GDEM v2. Para ello se emplearon las herramientas de “eliminación de sumideros”, “análisis de cuencas”, “delimitación de las áreas de acumulación”, “dirección de drenaje”, “segmentos de corrientes” y finalmente la “delimitación de cuencas”. Luego de transformar el resultado de esta delimitación a formato vectorial, se utilizó de nuevo el programa QGIS para la edición y corrección manual de algunos sectores de las cuencas con pequeñas discrepancias entre el límite identificado automáticamente y las evidencias observadas en las imágenes disponibles.

¹ <http://www.qgis.org>

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 río Limay Sur se utilizaron como base imágenes ASTER VNIR, ALOS VNIR, aunque se revisaron y utilizaron como apoyo imágenes LANDSAT TM y las imágenes disponibles en Google Earth. Las imágenes Landsat se utilizaron además como base de georreferenciación (ver anexo 7.1. donde se adjunta información de todas las imágenes empleadas para la realización de este inventario).

Tabla 1: Imágenes satelitales utilizadas como base para realizar el inventario de cuerpos de hielo de la subcuenca del río Limay Sur.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2042077741	04 abril 2007
ALOS/ VNIR	ALAV2A166224430	08 marzo 2009

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 obtenidas gratuitamente del USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) y las imágenes ALOS fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina.

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 (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, en algunas imágenes se corrigieron pequeñas variaciones en la georreferenciación utilizando como base un mosaico compuesto de imágenes 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.

4.3. Delimitación del 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 automática utilizando las bandas del infrarrojo cercano o del visible cuando estuvieran disponibles de las imágenes 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 (Figura 4).

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. La edición se realizó con el programa QGIS.

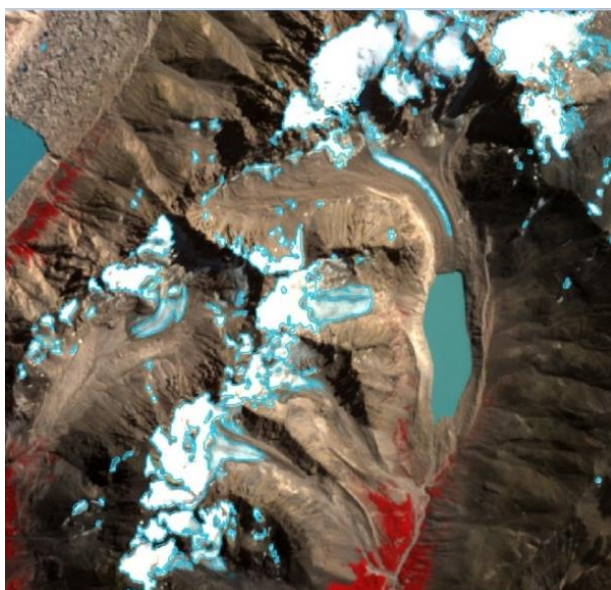


Figura 4: Ilustración de la delimitación de hielo descubierto obtenido a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

4.4. Digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros

Para el mapeo de sectores de glaciares cubiertos por detritos y glaciares de escombros la digitalización manual sigue siendo la metodología más utilizada a nivel internacional (Stokes et al. 2007; Racoviteanu et al. 2009). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo (Figura 5). En la subcuenca del río Limay Sur, los cuerpos con cobertura detrítica también fueron delimitados manualmente utilizando el programa QGIS sobre las imágenes citadas en Tabla 1. A modo de complemento, también se utilizaron las vistas en perspectiva disponibles en Google Earth© (Anexo 7.1.).

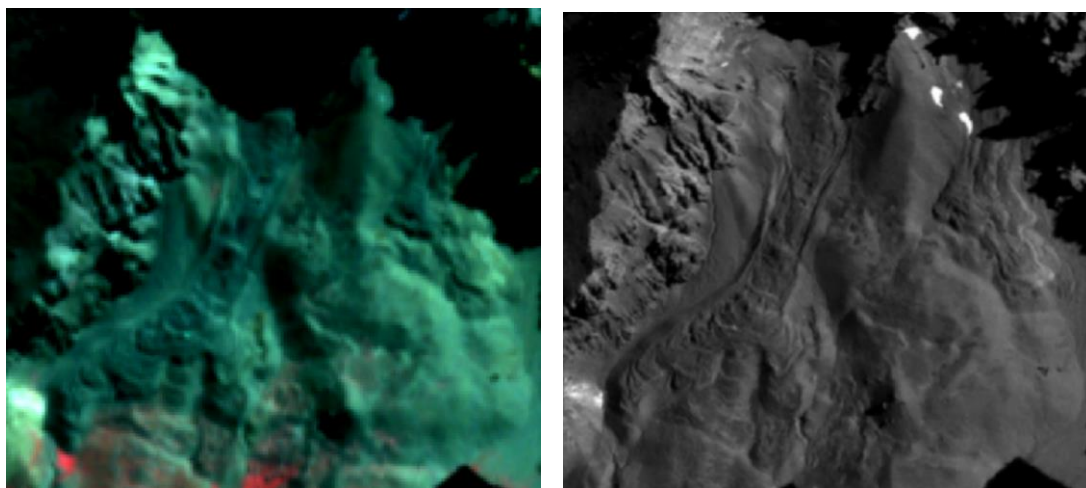


Figura 5: Ejemplo de la importancia que tienen las imágenes de alta resolución espacial para delimitar glaciares cubiertos y glaciares de escombros. A la izquierda puede observarse, en una imagen ALOS de 10 m de resolución espacial, dos glaciares de escombros. A la derecha las mismas crioformas, con mucha mayor definición, en una imagen SPOT de 5 m de resolución espacial.

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del río Limay Sur 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 (ver Anexo 7.3.). La base de datos también se construyó con el programa QGIS.

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. Glaciar de descarga
5. Glaciar de valle
6. Glaciar de montaña
7. Glaciarete 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 ($-71.857+360 = 288.142$). 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.

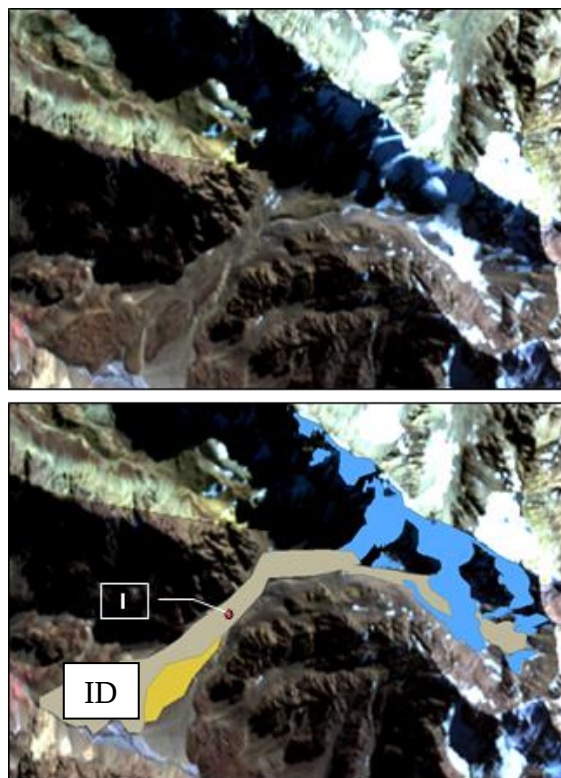


Figura 6: Ejemplo de una unidad compuesta vista en un mosaico de imágenes ASTER (arriba), y con todas las subunidades que la componen digitalizadas (abajo). El punto rojo en el centro de la unidad se utilizó para obtener las coordenadas geográficas de la misma. Todas las subunidades tienen el mismo código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

La Figura 7 presenta un resumen gráfico de las tareas metodológicas realizadas en el inventario de cuerpos de hielo.

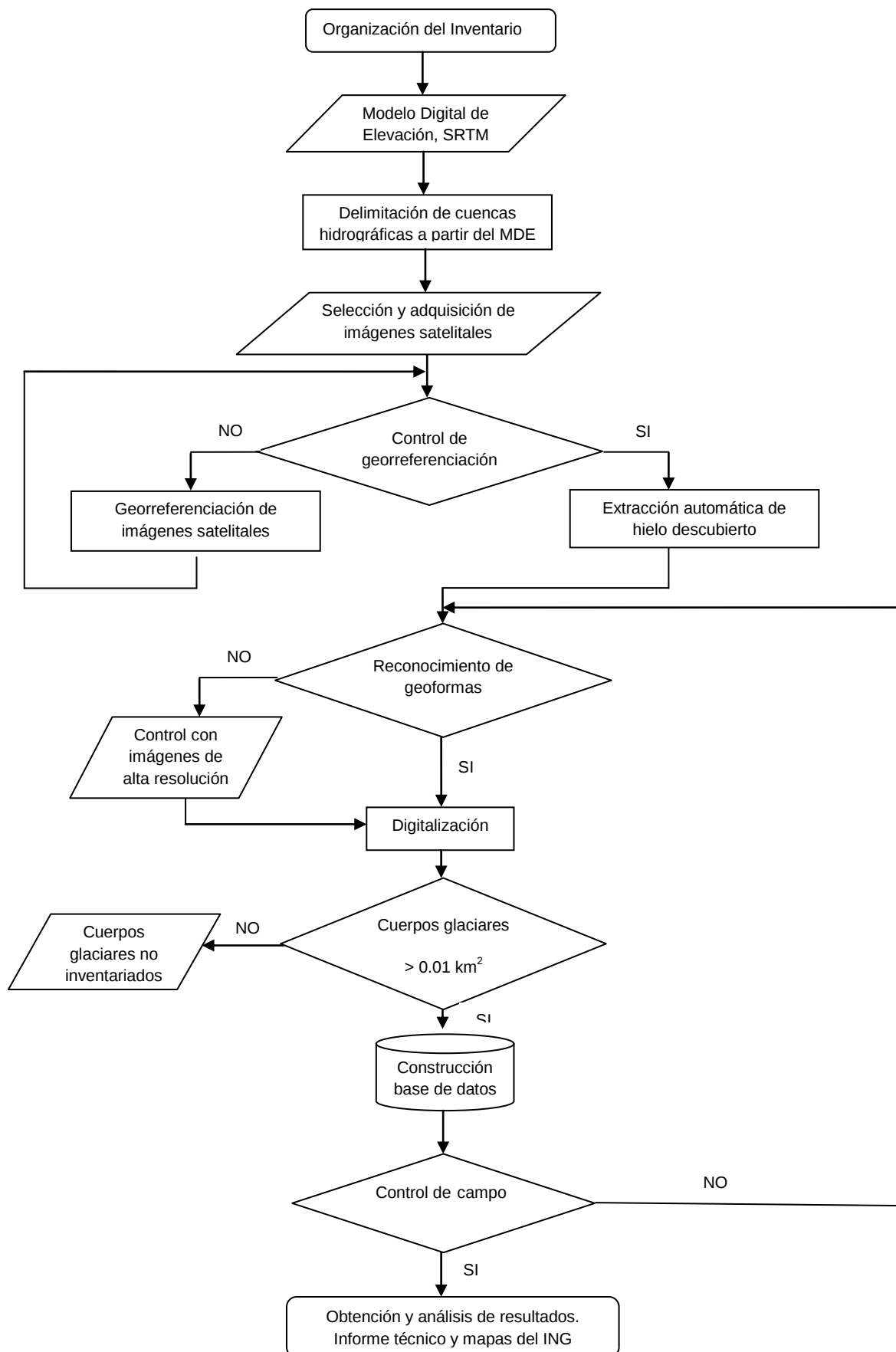


Figura 7: Diagrama de flujo de la metodología usada.

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 se 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. Cuerpos de hielo de la subcuenca del río Limay Sur

La superficie de la subcuenca del río Limay sur es de aproximadamente 9.974 km², de los cuales el 0,09% (8,70 km²) está cubierta por cuerpos de hielo (Tabla 2 y Figura 8). En total se identificaron 69 glaciares.

La mayor concentración de hielo se encuentra al sur, en el monte Tronador (3.478 msnm), donde se ubica en la vertiente argentina y en dirección noreste, el Glaciar Frías (5,30 km²). Otras geoformas identificadas son manchones de nieve y un glaciar de escombros con un frente inactivo en la ladera este del cerro Catedral.

Tabla 2: Superficie total inventariada en la subcuenca del río Limay Sur.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	5,78
Manchones de nieve/glaciaretos	2,89
Glaciar de escombros	0,03
Total	8,70

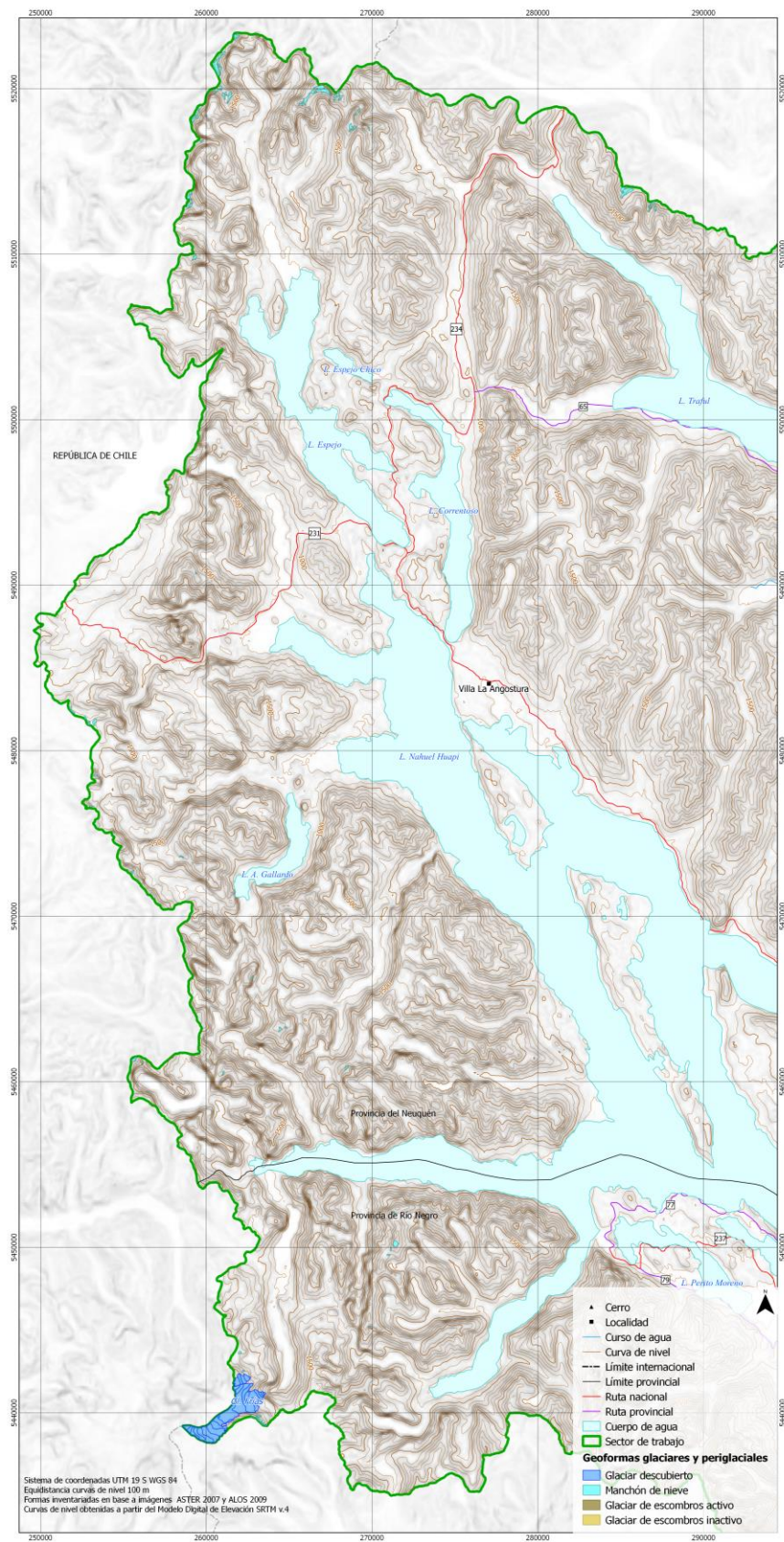


Figura 8: Inventario de glaciares de la subcuenca del río Limay Sur.

En cuanto al número de polígonos el 94% corresponde a manchones de nieve. En término de área, los glaciares descubiertos son los que se presentan en mayor proporción (66,41%), seguido de los manchones de nieve (18%) y el único glaciar de escombros identificado aporta solo el 0,3%. (Figura 9).



Figura 9: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Limay Sur.

La orientación media de las geoformas inventariadas en la subcuenca presenta una exposición sureste, lo que coincide con las laderas de menor insolación en el Hemisferio Sur (Figura 10).

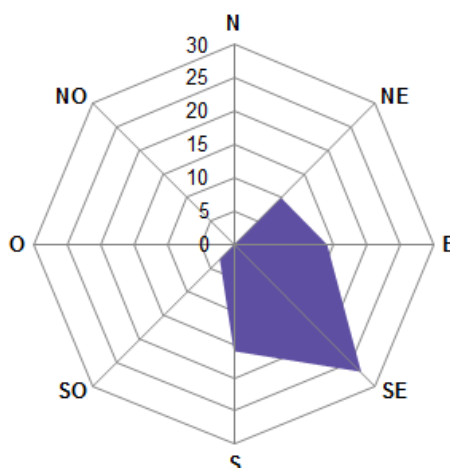


Figura 10: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Limay Sur.

Las geoformas de menor tamaño (menores a 0,5 km²) representan el 99% de los cuerpos inventariados y cubren el 39% del área mapeada. El glaciar Frías con un área de 5,3 km² contribuye en un 61% al área total inventariada (Figura 11).

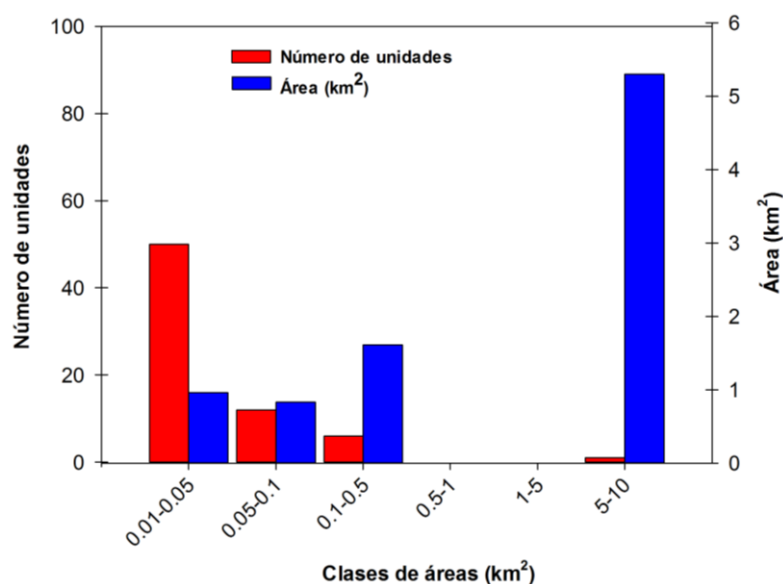


Figura 11: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Limay Sur, clasificada en categorías de acuerdo al tamaño de cada unidad.

Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en la subcuenca del río Limay Sur.

Tipo de geoforma	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	1.240	2.976
Manchones de nieve / glaciaretes	1.219	2.267
Glaciar de escombros (GE)	2.135	2.224

Los glaciares descubiertos son los que presentan mayor rango altitudinal (1.736 m.) con límites superiores mayores a los 2.900 msnm, esto se debe al glaciar Frías que se encuentra sobre la cara norte del monte Tronador. Los manchones de nieve presentan una altura mínima similar a los glaciares descubiertos pero la cota máxima no supera los 2.300 msnm. El único glaciar de escombros identificado presenta una altura media de 2.180 msnm. (Figura 12).

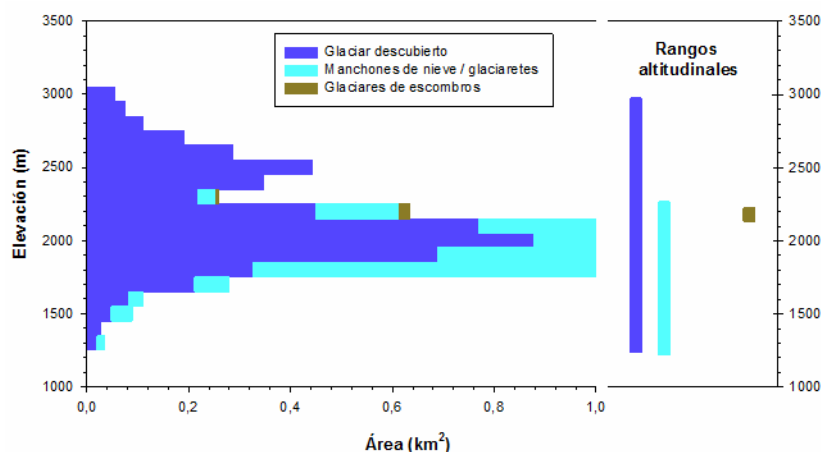


Figura 12: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en la subcuenca del río Limay Sur.

5.2 Control de campo

El control de campo fue realizado durante el 13 de Marzo al 24 de Marzo de 2017, durante esta etapa también se realizaron las observaciones correspondientes a las subcuencas de los ríos Collón Curá y Picún Leufú y cuenca del río Hua Hum.

En total se observaron 13 geoformas que, sobre el total de glaciares inventariados (69), representan un 19%.

El trabajo de identificación y clasificación en campo reveló una alta correspondencia con el trabajo realizado en gabinete. En el caso de la clasificación de geoformas glaciares se obtuvo un 100% de coincidencias. Varios manchones de nieve que se encuentran mapeados en base a la imagen utilizada para este inventario actualmente se encuentran reducidos notablemente o han desaparecido. Para mayores precisiones ver anexo 7.2. en el cual se detallan las geoformas inventariadas.

6. Bibliografía

- Agostini, A. 1949. El cerro Lanín y sus lagos (Neuquén). Buenos Aires. Citar el trabajo en el texto y hablar un poco de este trabajo en antecedentes.
- 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. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157 158.
- Corte, A. y Espizúa L.E. 1981. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.
- Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P. y Villalba R. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS.

Gruber, S. y 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.

Hauthal, 1904. Gletscherbilder aus der argentinischen Cordillere. In Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpen-Vereines. Redigiert von Heinrich Hess. Jahrgang 1904 - band xxxv. Innsbruck 1904. Hergestellt durch die Verlagsanstalt F. Bruckmann A. G. in München.

IANIGLA. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución, (2010) 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.

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

Müller, F. 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., 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. 1981. Inventario de glaciares y cuerpos de nieve en los andes patagónicos septentrionales, Argentina. VIII Congreso Geológico Argentino, Prov. de San Luis. Actas IV (109-122).

Racoviteanu, A.E., Paul, F., Raup, B., Khalsa, S.J.S. y 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).

Rau, F., F. Mauz, S. Vogt, Khalsa, S.J.S., B. Raup. 2005. Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual. http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf.

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.

Stokes, C. R., Popovnin, V., Aleynikov, A., Gurney, S. D. y Shahgedanova, M. 2007. Recent glacier retreat in Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra-proglacial lake development. *Annals of Glaciology*, 46: 95-213.

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. 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. et al. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric 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.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

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

González Díaz, E.F. & Folguera, A. (2005): Reconocimiento y descripción de avalanchas de rocas prehistóricas en el área neuquina delimitada por los paralelos 37°15' y 37°05' S y los meridianos 70°55' y 71°05' O. – *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60 (3): 446–460.

González Díaz, E.F. & Folguera, A. (2011): Análisis geomorfológico del tramo Medio e inferior de la cuenca de drenaje del río Curri Leuvú, Neuquén. – *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68 (1): 17–32.

Groeber, P. (1946): Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. 1. Hoja Chos Malal. – *Revista de la Sociedad Geológica Argentina* 1 (3): 177–208.

Groeber, P. (1947): Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. 3. Hojas Domuyo, Mari Mahuida, Huarhuan Co y parte del Epu Lauken– Revista de la Sociedad Geológica Argentina 2 (3): 347–408.

Mercer, J. (1967): Southern Hemisphere Glacier Atlas. Technical Report 67–76-ES. – American Geographical Society, New York, 325 pp.

Rabassa, J., 2007. Global climate change and its impacts on the glaciers and permafrost of Patagonia, Tierra del Fuego and the Antarctic Peninsula. In: Leite, P., Costa, W., Hidalgo, L., (Eds.), A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America. Institute of Advanced Studies IEA/USP, São Paulo, Brasil, pp 21–39.

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el Inventario de la subcuenca del río Limay Sur

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el Inventario de la subcuenca del río Limay Sur.

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: ETM + L1T

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LE72320892007087EDC03	26 febrero 2005	Control de manchones de nieve y base de georreferenciación

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.003:2042077741	04 abril 2007	Base de inventario

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

Sensor: AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type

Resolución espacial: 10 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALAV2A166224430	08 marzo 2009	Base de inventario

7.2. Control de campo de la subcuenca del río Limay Sur



Descenso del cerro la Mona

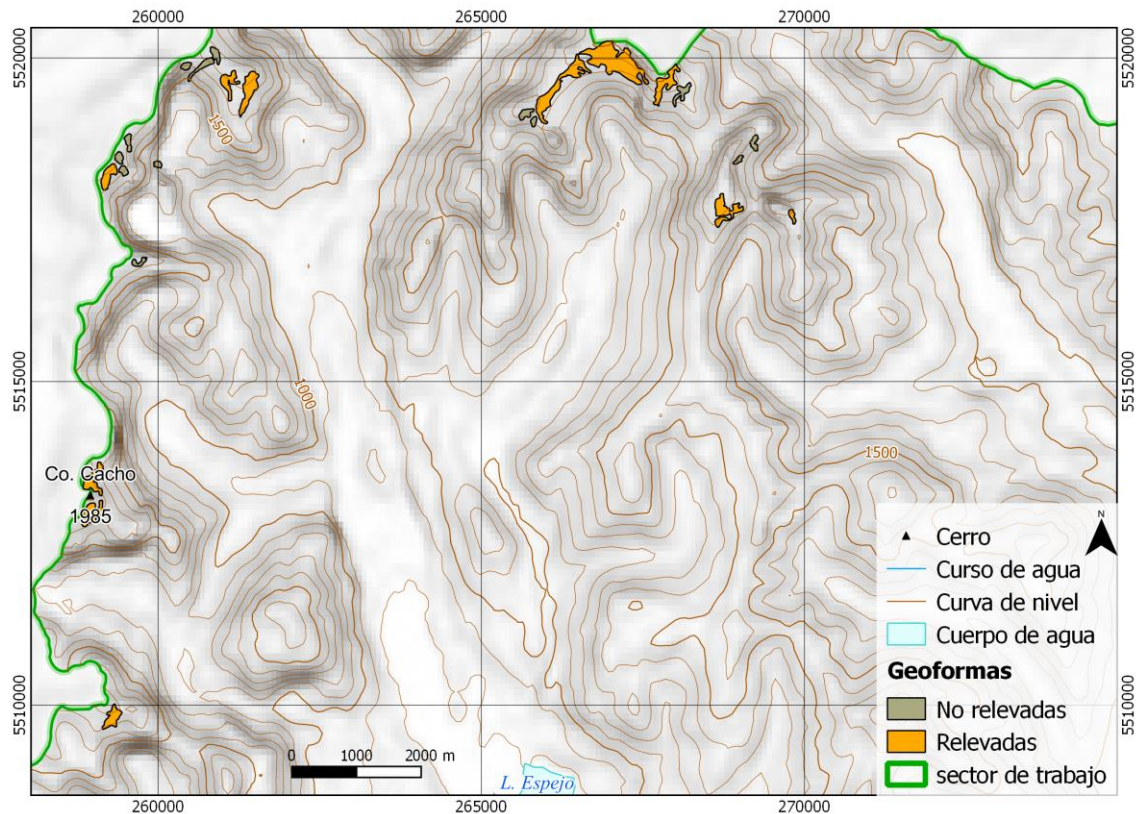
7.2.1. Objetivos

Los objetivos de la campaña fueron:

- ✓ Identificar en el campo las geoformas inventariadas en gabinete en una primera etapa a partir de imágenes satelitales
- ✓ Observar detalles morfológicos de las geoformas
- ✓ Verificar la clasificación de glaciares realizada
- ✓ Tomar fotografías de las diferentes geoformas
- ✓ Tomar puntos de referencia y tracks con equipos GPS

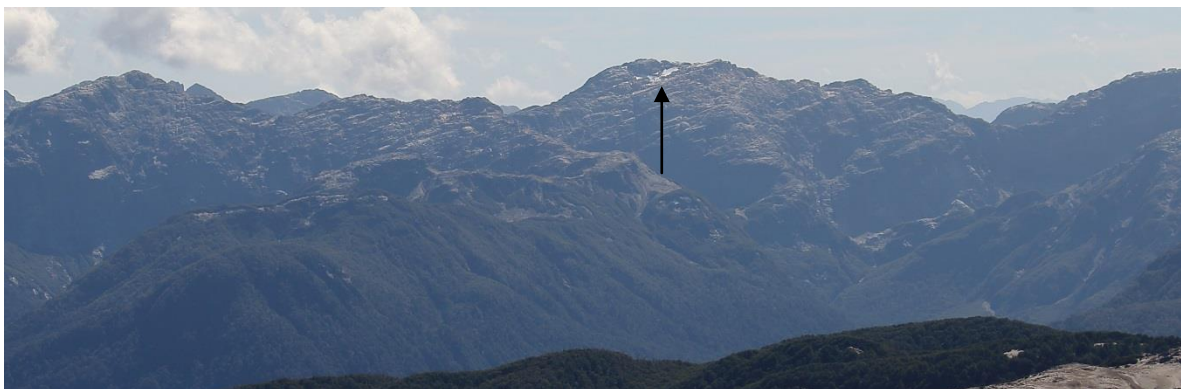
7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

A continuación se detallan las geoformas observadas durante el trabajo de campo.



Geoforma G718396O404525S

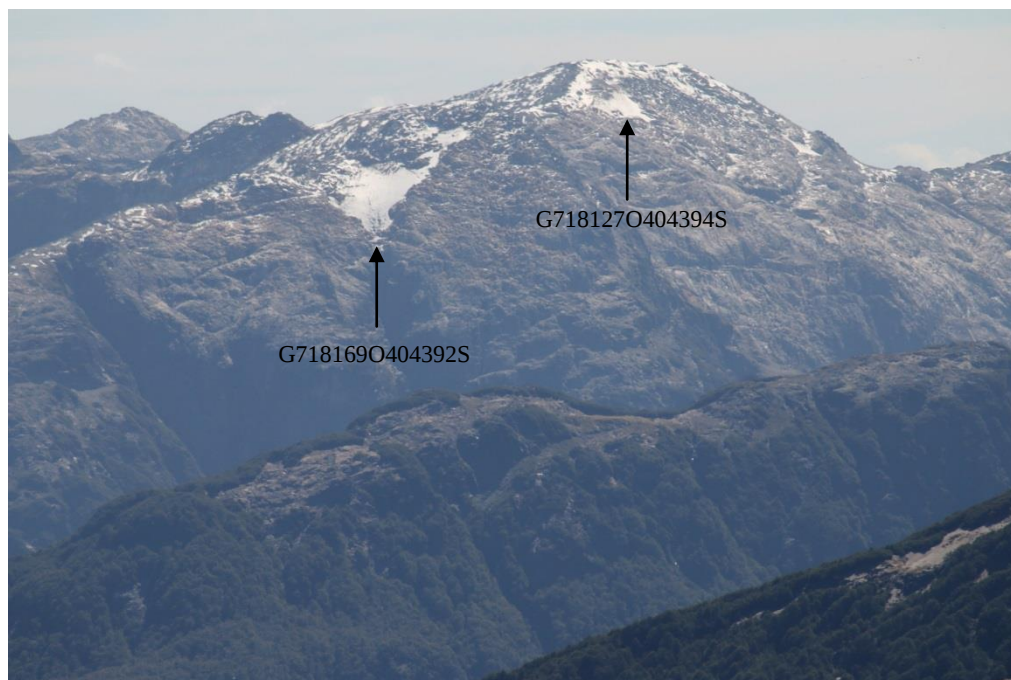
Manchón de nieve o glaciarete que alimenta un tributario del río Cuerno. Actualmente el área del cuerpo ha disminuido considerablemente en comparación a la imagen de base utilizada (2007).



Manchón de nieve G718396O404525S

Geoformas G718169O404392S y G718127O404394S

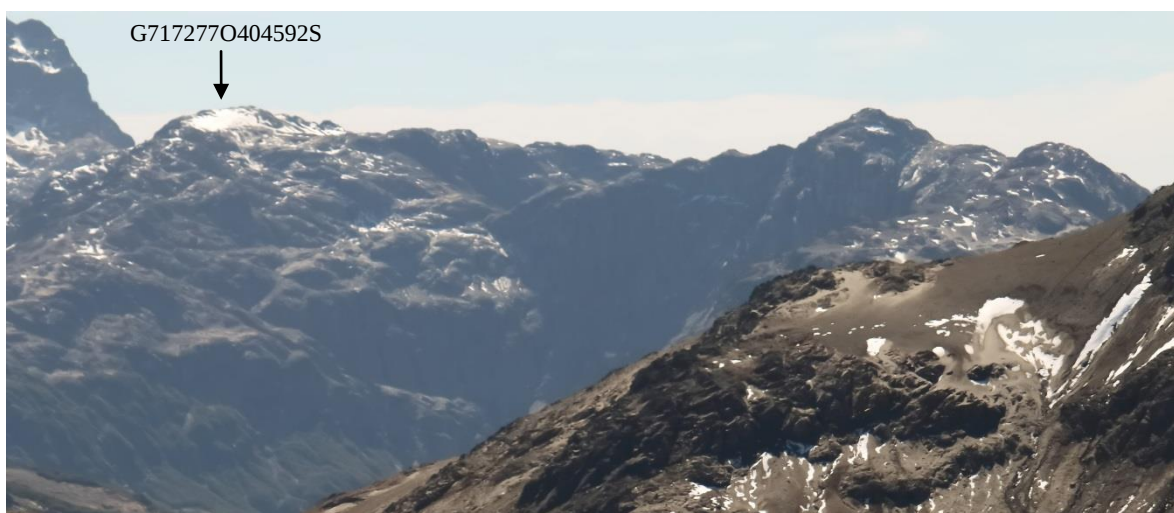
Manchones de nieve al norte de los anteriores, actualmente presentan un área menor en comparacion a la imagen de base utilizada (2007).



Manchones de nieve G718169O404392S y G718127O404394S

Geoformas G717148O404608S y G717277O404592S

Manchones de nieve en las nacientes de un arroyo que alimenta al río Pichí Trafúl. El glaciarete G717148O404608S ha desaparecido y el G717277O404592S actualmente presenta un área menor en comparación a la imagen de base utilizada (2007).



Manchones de nieve G717148O404608S y G717277O404592S

Geoformas G718443O404988S, G718446O404948S y G718425O404927S

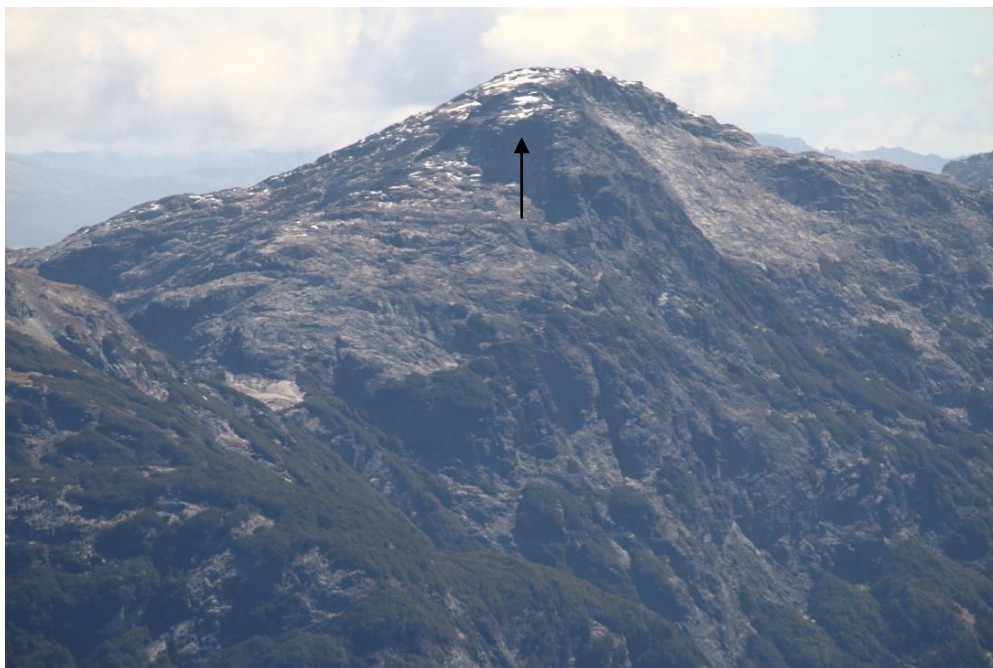
Manchones de nieve sobre el cerro Cacho. Actualmente se observa únicamente un remanente del glaciarrete G718443O404988S y el G718425O404927S ha desaparecido.



Manchones de nieve G718443O404988S, G718446O404948S y G718425O404927S

Geoforma G718412O405271S

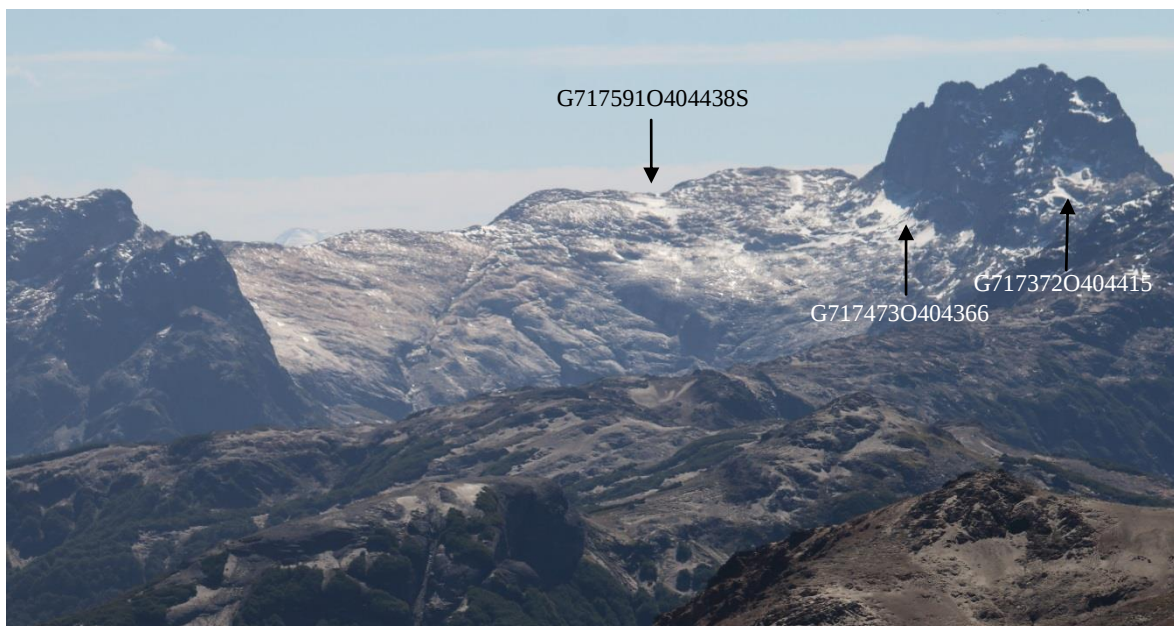
Manchón de nieve al sur de los anteriores. Solo se observa remanente del cuerpo.

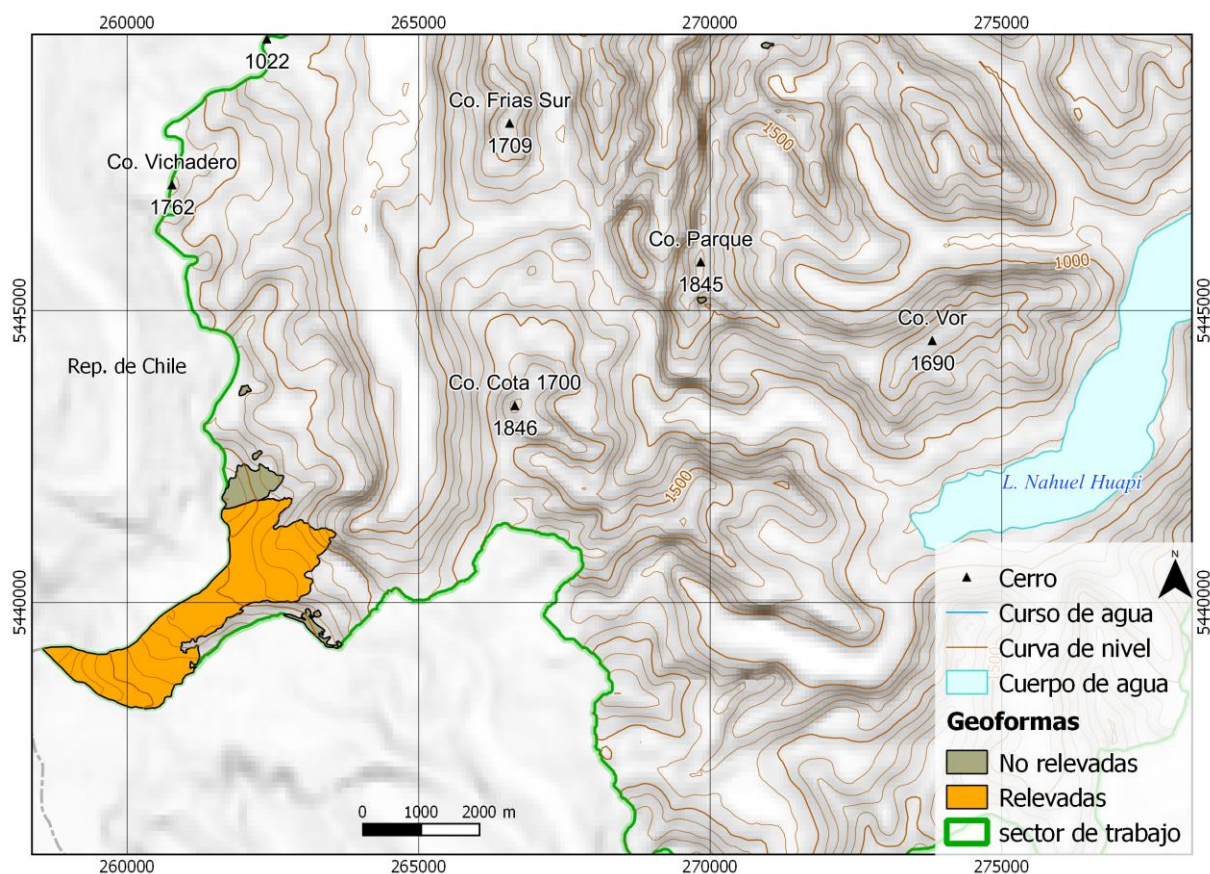


Manchón de nieve G718412O405271S

Geoformas G717591O404438S, G717473O404366S y G717372O404415S

Manchones de nieve en las nacientes del arroyo Ayhuin. Actualmente presentan un área mucho menor en comparación a la imagen de base utilizada (2007).





Geoforma G718575O411656S

Glaciar descubierto de montaña sobre la cara norte del monte Tronador. El Glaciar Frías es un glaciar con orientación noreste, presenta dos zonas de acumulación (cuenca compuesta) y dos lenguas bien diferenciadas. Se observan claramente las grietas o crevasses por extensión longitudinal y transversal del cuerpo.



Glaciar descubierto G718575O411656S

7.2. 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-Glaciar 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-Glaciár cubierto: cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recrystalización de la nieve y/o hielo, con una cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias), y de un área mayor o igual a 0,01 km² (una hectárea).

GE-Glaciár 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)** (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 glaciár 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-Glaciár cubierto con glaciár de escombros: en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciár de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciár) y el glaciár de escombros glaciagénico (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 sobreimpuesto

14. Actividad de la Lengua

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

15. Morena_1

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

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

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

0. Incierto
1. Unidad: formado por un único glaciar de escombros.

2. Multiunidad: formado por varios glaciares de escombros, pueden ser coalescentes o sobrepuestos.

22. Estructura II

0. Incierto
1. Una raíz: una única fuente de alimentación.
2. Multiraíz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.
23. **Longitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
24. **Latitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
25. **Área:** área de cada polígono expresada en km².
26. **Largo_total:** largo de cada unidad, considerando la línea de flujo más larga de todo el glaciar, desde la zona más alta, atravesando la unidad hasta el frente de la misma, siempre lo más perpendicular posible a las curvas de nivel. Se expresa en metros (m).
27. **H_max_total:** Altura máxima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
28. **H_med_total:** Altura media total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
29. **H_min_total:** Altura mínima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
30. **Pendiente:** (Se expresa en grados).
31. **Orientación:** Correspondiente a los 8 puntos cardinales.
32. **H_max_parcial:** Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
33. **H_med_parcial:** Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
34. **H_min_parcial:** Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
35. **Img_ba_F:** Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.
36. **Img_ba_S:** tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc.).
37. **Img_ap_F:** Fecha de la imagen de apoyo utilizada.
38. **Img_ap_S:** tipo de sensor que capta la imagen de apoyo empleada.



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

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 río Limay Sur, cuenca del río Limay, provincias del Neuquén y Río Negro.

