



Informe de la cuenca del río Futaleufú



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

Provincia del Chubut

Glaciar de nicho en Cerro Dos Picos en la cuenca del río Carrileufú (Foto: L. Ruiz)

**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. Darío Trombotto y Dr. Lucas Ruiz

Profesional: Lic. Ivanna Pecker Marcosig

Colaboradores: Lic. Gustavo Aloy, Téc. Juan Pablo Scarpa, Lic. Laura Zalazar y Lic. Lidia Ferri Hidalgo

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	9
4.	Materiales y métodos	11
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos digitales de elevación	14
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación.....	14
4.3.	Delimitación de hielo descubierto	16
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	17
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas.....	18
4.6.	Control de campo	20
5.	Resultados	21
5.1.	Resultados para la Cuenca del río Futaleufú	21
5.2.	Resultados control de campo.....	26
6.	Bibliografía.....	27
7.	Anexos.....	31
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de la cuenca del río Futaleufú	31
7.2.	Control de campo	34
7.3	Descripción de la base de datos.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de las áreas naturales protegidas de la cuenca del río Futaleufú.	5
Figura 2: Comparación fotográfica del Glaciar Torrecillas.	7
Figura 3: Caracterización hidrológica de la cuenca del río Futaleufú.....	11
Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada en el ING.....	13
Figura 5: Delimitación de hielo descubierto (línea roja) obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.	16
Figura 6: Ejemplo de la importancia de la buena iluminación de las imágenes en la identificación de hielo cubierto.	17
Figura 7: Ejemplo de varias geoformas vistas desde una imagen.....	19
Figura 8: Cerro Dos Picos, vista de los glaciares de la cabecera del río Carrileufú. (Foto: Lucas Ruiz).	21
Figura 9: Mapa general de la Cuenca río Futaleufú con las geoformas inventariadas.....	23
Figura 10: Tipos de glaciares en la cuenca río Futaleufú.....	24
Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en función de su área.	24
Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías. Cuenca río Futaleufú.	25
Figura 13: Distribución altitudinal del tipo y superficie de los cuerpos de hielo inventariados. Cuenca río Futaleufú.	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes del sensor ASTER y LANDSAT utilizadas como base para inventariar los cuerpos de hielo de las subcuencas del río Futaleufú.....	15
Tabla 2: Superficie englazada Futaleufú.	22
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la cuenca del río Futaleufú.	26

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

GEA: Glaciar de escombros activo

GE: Glaciar de escombros

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

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

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

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

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

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

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

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

El IANIGLA por disposición transitoria (Artículo 15) de la Ley 26.639, creó el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución” (IANIGLA, 2010), en donde se desarrolla la estrategia para la realización del Inventario Nacional de Glaciares. La misma cuenta con tres niveles, de menor a mayor detalle de información. El objetivo del nivel 1 es el Inventario Nacional de Glaciares propiamente dicho, es decir la identificación y caracterización de todos los glaciares y crioformas del ambiente periglacial que actúan como reservas hídricas estratégicas en la República Argentina. El nivel 2 tiene como objetivo conocer la variación temporal de los glaciares y crioformas a lo largo del país. Mientras que el objetivo del nivel 3 es establecer los factores ambientales que regulan el comportamiento y determinar la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina.

En este informe, se describen los trabajos realizados para la identificación e inventario de los cuerpos de hielo en la cuenca del río Futaleufú, provincia del Chubut, región de los Andes del Norte de la Patagonia. 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.

En la cuenca del río Futaleufú, además de los glaciares, el imponente bosque andino patagónico y la belleza de los lagos cobran gran relevancia paisajística y ecológica, es por ello que existen a lo largo de toda la cuenca áreas naturales protegidas de diversa categoría. Estas reservas albergan más del 80% de las geoformas glaciares inventariadas en la cuenca del río Futaleufú. De hecho se han creado una serie de reservas provinciales y área naturales protegidas entre los parques nacionales comenzando desde el Parque Nacional Lanín con el objetivo de realizar un corredor biológico que permita la conservación y protección de la flora y fauna del bosque andino patagónico y sus hielos. A partir de los datos recopilados del Sistema de Información de Biodiversidad de la Administración de Parques Nacionales, se elaboró un mapa con las áreas protegidas presentes en la cuenca (Figura 1).

El trabajo de identificación de glaciares en la cuenca del río Futaleufú fue elaborado en agosto 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.

Se agradece la colaboración de Diego Alonso, Subgerente del centro de esquí La Hoya, por permitirnos realizar los trabajos de inventario dentro del predio. Al personal del Parque Nacional Los Alerces, Sr. Intendente Arturo Costa Alvarez y los guardaparques Gustavo Sánchez y Gustavo Paramoz por brindarnos su tiempo y colaboración en la logística del inventario dentro del parque nacional. A la Dirección General de Bosques de la Provincia del Chubut por la logística durante el control de campo de la subcuenca del río Tigre. El apoyo prestado por Andrés Milani y su avión durante el control de campo de la cuenca del río Tigre.

A Jorge Luis Lambert, Ing. Ignacio Contreras y Agustín Zambrano por el apoyo prestado durante la campaña de control de campo al glaciar Planchón Nevado y la subcuenca del arroyo Blanco.

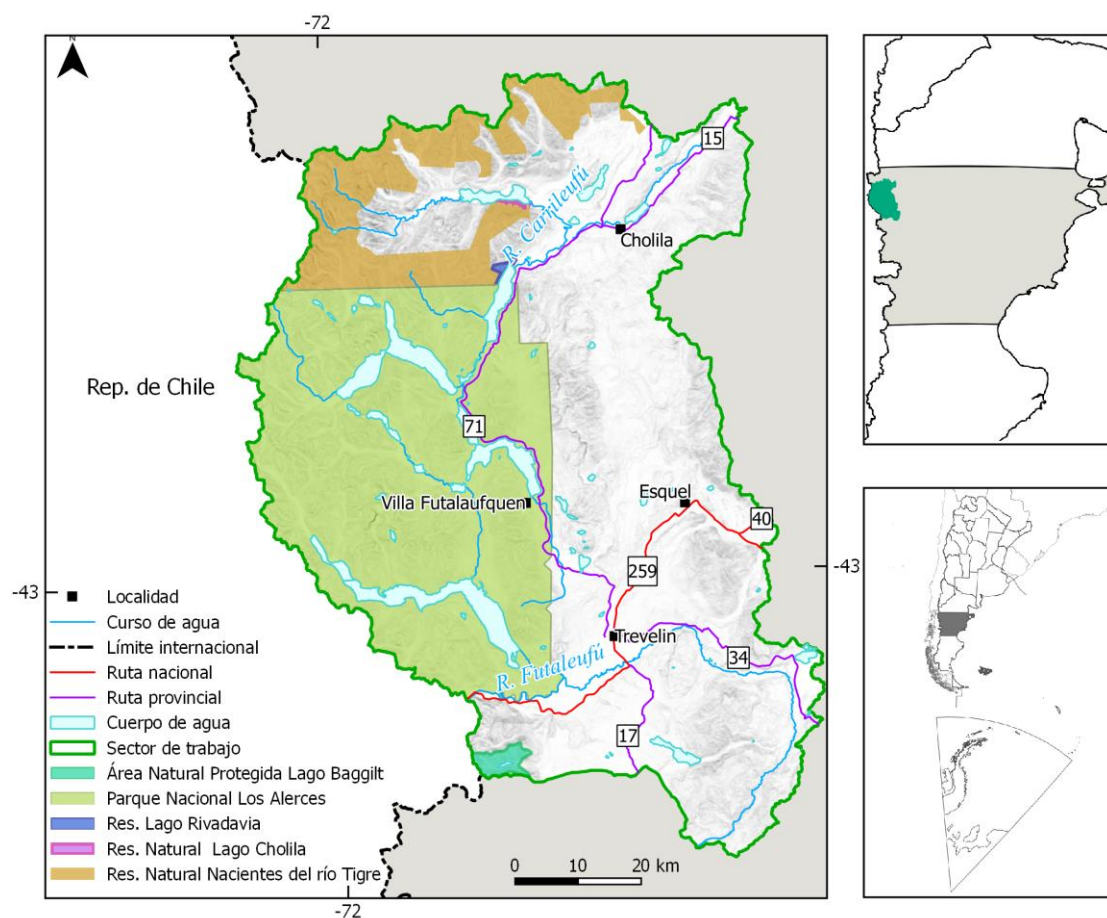


Figura 1: Ubicación de las áreas naturales protegidas de la cuenca del río Futaleufú.

2. Antecedentes

Si bien existen registros de la existencia de glaciares en estas latitudes por los menos desde finales del siglo XIX con la Comisión de Límites principalmente entre 1892 y 1898 (Moreno, 1900), los mismos no han sido estudiados en detalle hasta el presente.

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 o Patagonia Norte, este autor señala que además de los glaciares asociados a los centros volcánicos (Tronador, Osorno, Hornopiren, Michimahuida), existen numerosos glaciares al sur del Seno Reloncaví, los cuales resultan prácticamente inaccesibles a pie debido a lo tupido de la vegetación que los rodea. Feruglio (1957) también realizó un análisis sobre la distribución de glaciares a lo largo de los Andes argentinos. Este autor indica que al sur de los 41° 8'S (Monte Tronador) y hasta los 46°S en la vertiente argentina de la cordillera de los Andes se suceden muy próximos centros de glaciación de tipo alpino. Estos centros presentan glaciares de valle algo desarrollados y una multitud de glaciares de circo, que nunca se reúnen en campos o casquetes muy extensos, aunque se destaca que la zona interior de la cordillera, entre los 41° y 46° S, se encuentra prácticamente desconocida. Feruglio (1957) destaca la presencia de un importante centro de glaciación en la cabecera del río Turbio (2530-2600m), al suroeste del valle del río Puelo y del lago homónimo (42°30'S). También señala la presencia de otros centros glaciarios en el estero Vodudahue, en Chile, donde los hielos descienden hasta alturas de 800 msnm. Por otro lado, Feruglio (1957) menciona que las montañas al este de la Cordillera Central, en los nacimientos del río Foyel y Chubut (precordillera), conservan algunos manchones de nieve al abrigo de las cimas más elevadas (2.200-2.350 msnm), pero no glaciares.

La primer cartografía de los glaciares del Cordón de las Agujas y montañas cordilleranas que rodean los valles de los ríos Alerzal (Esperanza), Turbio y Tigre, de la subcuenca del Carrileufú fue realizada por Rubulis y Suarez en 1969.

Rabassa et al. (1978), presentaron el primer inventario de glaciares preliminar para los Andes de Patagonia Norte en base a fotografías aéreas del año 1972 y datos de campo del año 1978. En el mismo los autores identificaron un total de 235 glaciares entre los 39°S y los 42° 20'S. Estos autores señalan que el número de glaciares corresponde aproximadamente al 15% del total real de glaciares de la zona. En total los 235 glaciares mencionados representaban un área total englazada de 138.88 km², 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 son de valle y descarga, los cuales se concentran principalmente en los aparatos volcánicos.

El glaciar más conocido y estudiado de la zona es el glaciar Torrecillas, ubicado frente al lago Menéndez en el Parque Nacional Los Alerces. A continuación se describen los antecedentes encontrados sobre este glaciar en particular.

Colqui y Madejski (1952) realizaron el primer estudio detallado del Glaciar Torrecillas e identificaron los principales rasgos geomorfológicos del sitio. Más recientemente, Masiokas et al (2008) realizaron un estudio sobre los cambios hidro-climáticos y fluctuaciones de glaciares en la Patagonia Norte durante el periodo 1912-2002. Estos autores demostraron que el retroceso del glaciar Torrecillas es consistente con un aumento de temperatura estival y un descenso de las precipitaciones invernales en los últimos 100 años.



Figura 2: Comparación fotográfica del Glaciar Torrecillas. La foto de 1899 pertenece a la expedición de Perito Moreno, la fotografía de 1937 fue tomada por Koutche y Ladvocat y la foto 2001 pertenece a Ricardo Villalba (IANIGLA). Fuente: Masiokas et al. (2008).

Garibotti y Villalba (2009) realizaron una investigación cuyo objetivo fue desarrollar las herramientas necesarias para aplicar técnicas liquenométricas en los Andes Patagónicos focalizando el trabajo en la reconstrucción cronológica de las fluctuaciones de glaciares posteriores a la Pequeña Edad de Hielo. Una de las cronologías analizadas por estos autores es la del Glaciar Torrecillas. Estos autores han identificado un total de 9 morenas, 7 frontales y 2 laterales que señalan la posición del frente del glaciar en los años 1735, 1755, 1891, 1900, 1906, y 1934. La morena ubicada en el sector más externo, según estos autores, corresponde con el máximo avance del glaciar durante la Pequeña Edad de Hielo.

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 2060 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 la Región de los lagos, 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 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 cuenca del río Futaleufú.

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 recrystalización de la nieve, con o sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no (*) y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea).

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

Glaciar de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que $0,01 \text{ km}^2$ (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 ($>35^\circ$) 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 ($<35^\circ$), 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 República Argentina sigue las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS 1967 y posteriores, UNESCO-IAHS 1970, Muller 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 presente documento corresponde al Inventario Nacional de Glaciares de la cuenca del río Futaleufú. La cuenca posee un área de 7.201 km². En ella se ubican gran cantidad de lagos encadenados que regulan el régimen fluvial de la cuenca. El curso principal es el río Futaleufú emisario final de la cuenca con descarga en el océano Pacífico. En forma general, la cuenca del río Futaleufú limita al oeste con los cordones más elevados de la Cordillera de Los Andes, al norte con los cordones montañosos del Derrumbe y Cholila, al este la divisoria de cuenca está representada por los cordones Leleque y Esquel y en los valles extrandinos por las morenas terminales de la última Glaciación (Caldenius, 1932), por último el límite sur está representado por los cordones La Grasa y Kaquel (Figura 3).

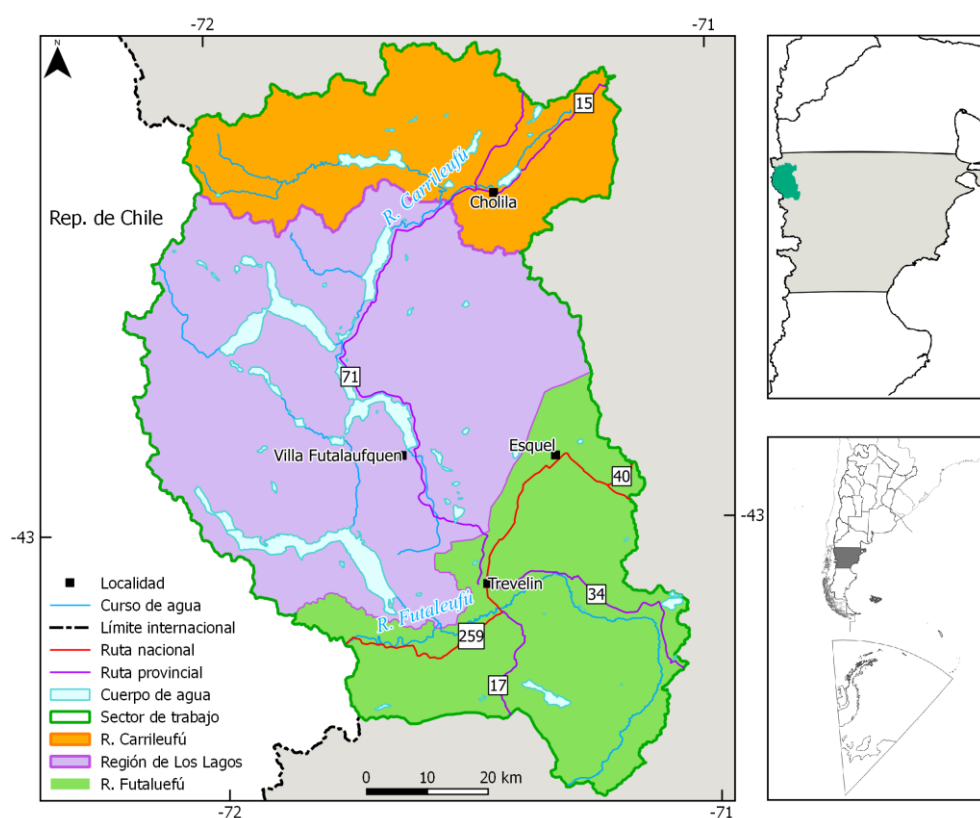


Figura 3: Caracterización hidrológica de la cuenca del río Futaleufú.

Según los datos de la Secretaría Nacional de Recursos Hídricos se han determinado 3 subcuencas:

1- Subcuenca del río Carrileufú:

Esta subcuenca contiene a todos los ríos y arroyos que aportan agua al río Carrileufú hasta su desemboque en el lago Rivadavia. Los afluentes principales provenientes del oeste son los ríos Tigre, Percey, Villegas, Turco y Pedregoso. Estos ríos nacen en las cumbres de la cordillera de los Andes y desembocan en el lago Cholila (17 km² de superficie). El principal afluente proveniente del este es el río Blanco, el cual capta las aguas que descienden tanto de las estribaciones más orientales del cordón Occidental de Cholila como las que bajan del arroyo Carbón al sureste de la subcuenca. Este último nace en la vertiente oeste del cordón Leleque y funciona como canal de desagüe del lago Mosquito o Carlos Pellegrini. Este lago está alimentado por el arroyo Las Nutrias, colector de excedente de agua de otros arroyos que nacen en el cordón Leleque y de mallines presentes en el valle del Cajón.

2- Subcuenca Región de los Lagos:

Este sector de la cuenca corresponde con el corredor de los lagos que conforman el Parque Nacional Los Alerces. La cabecera de esta subcuenca está representada al noreste por el lago Rivadavia, el cual está alimentado por el río Carrileufú. Al oeste por las altas cumbres de la Cordillera de los Andes y al este por el cordón La Momia y Rivadavia. El lago Rivadavia está conectado con el lago Verde por el río Rivadavia, a su vez el lago Verde se vincula con el lago Futalaufquen por el río Arrayanes. El otro afluente principal del río Arrayanes, es el río Menéndez. Este río de corto recorrido representa la vía de escape de las aguas del lago Menéndez, el mayor lago natural de este corredor. Este lago capta las aguas de numerosos lagos, ríos y arroyos que nacen en las altas cumbres de los Andes. Las aguas del lago Futalaufquen y de las que, por medio del arroyo Desaguadero, provienen de las lagunas y lagos ubicados más al este de dicho lago (Terraplén, Larga, Martillo) y del cordón Situación se comunican a través del lago Krüger y el río homónimo con el embalse Amutui Quimei, límite inferior de esta subcuenca.

3- Subcuenca río Futaleufú:

Corresponde con el sector sur de la cuenca del río Futaleufú, desde su salida del embalse Amutui Quimey, hasta el límite con Chile. Los afluentes principales son los arroyos Baggilt y Blanco y el río Corintos que capta las aguas provenientes del río Percey y los arroyos Esquel y Nant y Fall.

En este informe se presentan los resultados para toda la cuenca del río Futaleufú, incluyendo los resultados de las tres subcuencas arriba mencionadas. Se incluye a continuación (Figura 4) un organigrama con los pasos metodológicos que forman parte del proceso de realización del Inventario Nacional de Glaciares.

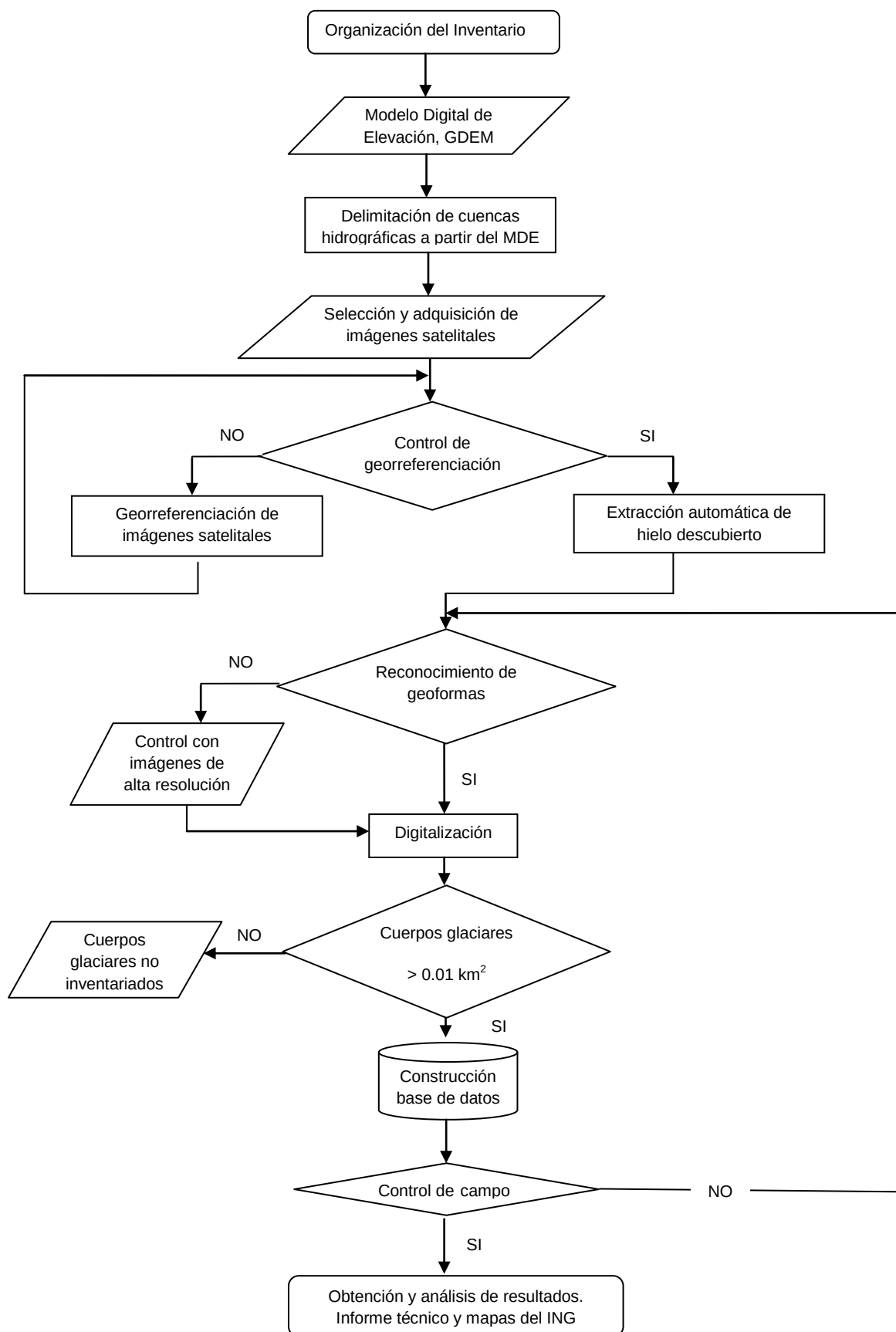


Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada en el Inventario Nacional de Glaciares.

4.1. Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos digitales 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 cuenca de Futaleufú es una cuenca binacional, 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 cuenca del río Futaleufú se utilizaron de base imágenes ASTER del satélite TERRA y del satélite ALOS AVNIR, aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo SPOT, LANDSAT y el programa Google Earth (Figura 3). Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación. Las imágenes de mayor resolución espacial de SPOT y Google Earth se emplearon como apoyo para la interpretación y delimitación del hielo cubierto y glaciares de escombros así como para identificar aquellos cuerpos de hielo menores o que se ubiquen en aquellas zonas con mucha sombra de las escenas ASTER. Pese a que las imágenes ASTER seleccionadas para hacer el inventario corresponden al fin del año hidrológico en el sector sur de la cuenca, se detectó nieve estacional. Debido a que no existían otras imágenes cercanas al año 2010 en la base de datos de ASTER se emplearon imágenes de los años 2005/2006 para eliminar los manchones de nieve estacionales. Las imágenes SPOT fueron ortorrectificadas a partir de la imagen LANDSAT. Previo al proceso de georreferenciación se realizó un cambio de tamaño de los píxeles de la imagen Landsat a 10 metros (tamaño de píxel de las imágenes ALOS y

SPOT) a fin de homogeneizar el tamaño espacial de todas las imágenes y evitar deformaciones por la diferencia de tamaño de pixel entre las imágenes. (Anexo 7.1). Cabe destacar que las imágenes SPOT sólo se usaron para obtener mayor información del terreno, debido a que por ser de fecha 2012, no se consideran disponibles para la realización del presente inventario, ya que se ha tomado como premisa el uso de imágenes dentro del período 2005-2010. En la Tabla 1 se mencionan las imágenes utilizadas como base para realizar el inventario.

Tabla 1: Imágenes del sensor ASTER y ALOS utilizadas como base para inventariar los cuerpos de hielo de las subcuencas del río Futaleufú.

Nombre	ID Escena	Fecha
ASTER	AST_L1A.003:2041992228	28 marzo 2007
ASTER	AST_L1A.003:2041992230	28 marzo 2007
ASTER	AST_L1A.003:2041992232	28 marzo 2007
ASTER	AST_L1A.003:2042077771	04 abril 2007
ASTER	AST_L1A.003:2042077781	04 abril 2007
ASTER	AST_L1A.003:2042077810	04 abril 2007
ASTER	AST_L1A.003:2071124419	04 febrero 2008
ASTER	AST_L1A.003:2071124476	04 febrero 2008
ALOS	ALAV2A16622450	08 marzo 2009
ALOS	ALAV2A16622460	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 provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) y las imágenes ALOS y SPOT fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina y las ALOS 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). A nivel internacional, el sistema de referencia adoptado para la realización del inventario es UTM, para zona de estudio se utilizó la franja UTM 19 Sur, sobre el elipsoide WGS 84. Las imágenes de base fueron rectificadas a partir de una escena Landsat. La ortorrectificación se realizó a partir de la toma de 29 puntos de control, obteniendo un error medio cuadrático inferior a 1 pixel.

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.

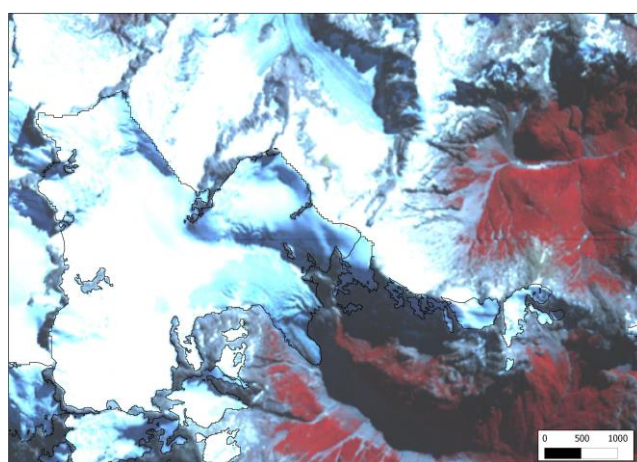


Figura 5: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo de glaciares cubiertos por detritos y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la mejor metodología utilizada a nivel internacional (Stokes *et al.* 2007). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo. Para ello, además de las imágenes ASTER empleadas como base de este inventario, utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de media resolución AVNIR (ALOS) y las imágenes disponibles en Google Earth. La digitalización fue realizada con el programa KOSMO (Figura 6).

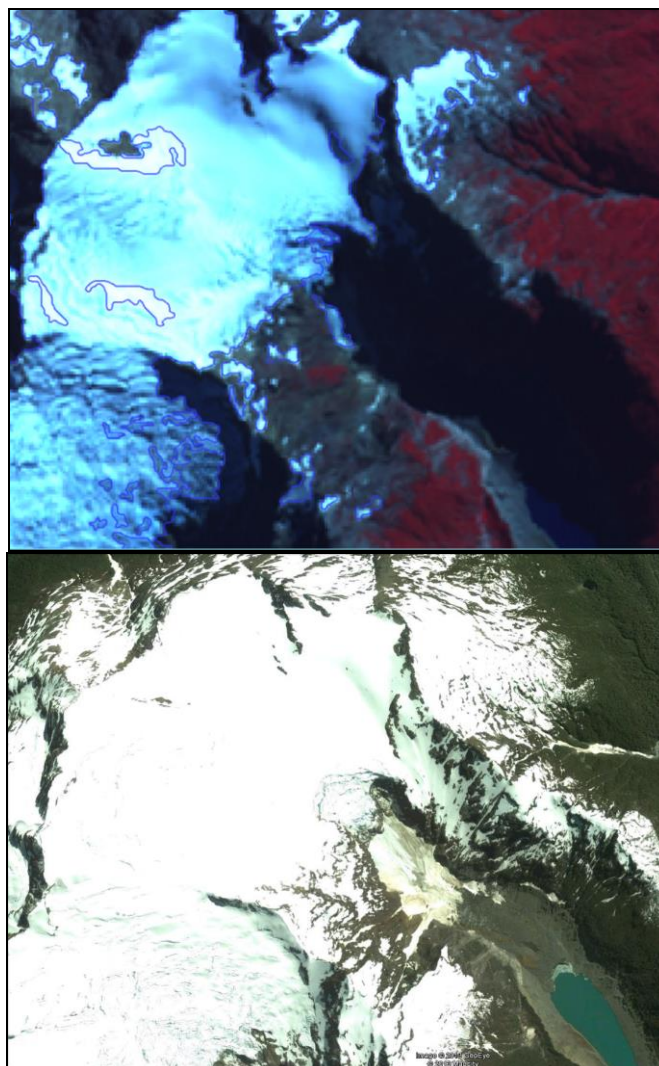


Figura 6: Ejemplo de la importancia de la buena iluminación de las imágenes en la identificación de hielo cubierto. En la imagen superior puede observarse la parte de glaciar cubierto del cerro Torrecillas en una imagen ASTER (15 m de resolución), la zona del glaciar cubierto se encuentra en sombras. En la imagen inferior puede observarse la misma geoforma, sin sombra, en una imagen Geoeye de 0,5 m de resolución (imagen de Google Earth). Esta última se encuentra con nieve estacional, por ellos no es buena para delimitar los cuerpos de hielo y/o nieve perennes.

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la cuenca del río Futaleufú 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 KOSMO.

Para clasificar los glaciares se usaron las normativas internacionales en uso (principalmente del WGMS y GLIMS) con adaptaciones debido a las particularidades de los cuerpos de hielo en los Andes Centrales de Argentina. En esta zona, los glaciares de escombros representan un recurso hídrico de gran importancia. Las clasificaciones internacionales fueron ampliadas para incorporar este tipo de glaciares y sus características.

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

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

Más detalles sobre la clasificación de los cuerpos de hielo se encuentran en la página 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. Quedan excluidos los afloramientos rocosos y nunataks. (Ver definición en http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_a4.pdf).

El código internacional **ID_GLIMS** de un glaciar es generado a partir de las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior del mismo. Cuando las longitudes corresponden al oeste, las mismas son convertidas al este mediante la adición de 360 grados (-

69.232+360 = 290.768). De esta manera se facilita el acceso de la información del inventario a un nivel internacional de referencia.

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

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** (ID de la Figura 7) que consiste en las coordenadas geográficas del ID_GLIMS 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.

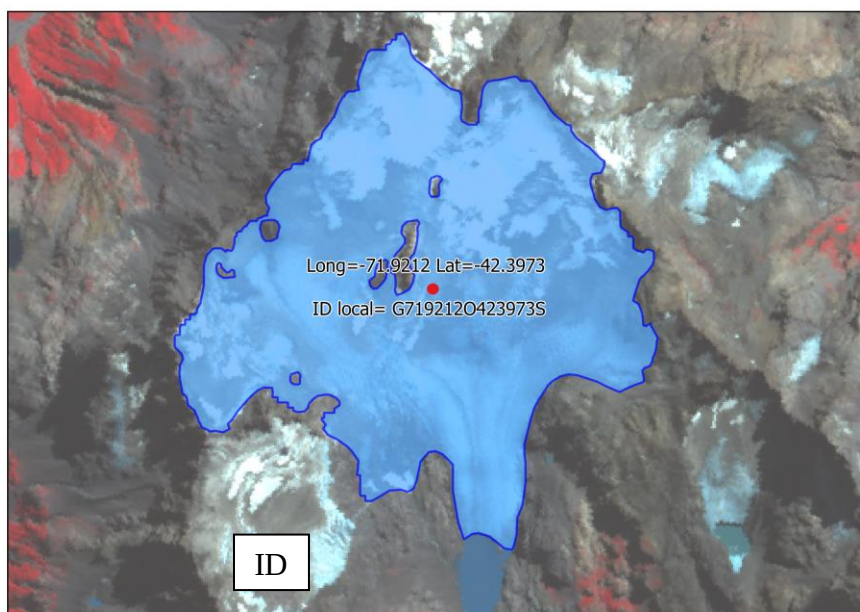


Figura 7: Ejemplo de glaciar con su código identificador ID_Local.

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

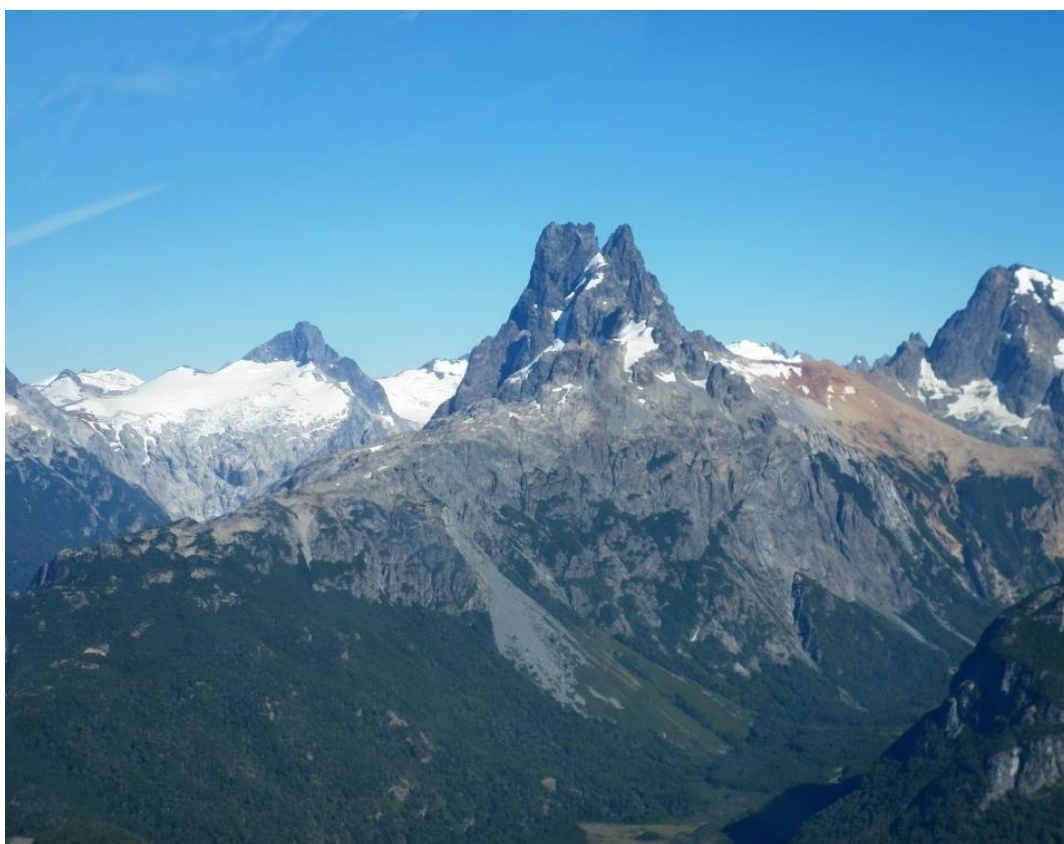


Figura 8: Cerro Dos Picos, vista de los glaciares de la cabecera del río Carrileufú. (Foto: Lucas Ruiz).

5.1. Resultados para la Cuenca del río Futaleufú

El área total de la cuenca es de 7.201 km^2 . Su geografía es bien diferenciada al oeste y al este. En el sector oeste se destacan los altos cordones montañosos con sus cumbres englazadas y los valles en forma de profundas artesas glaciarias, generadas por la acción glaciaria durante el Pleistoceno. En la Figura 8 se puede observar una imagen característica de los glaciares presentes en la cuenca.

Se han inventariado un total de 780 geoformas, que ocupan una superficie de $110,24 \text{ km}^2$, representa tan solo el 1,5% del total de la superficie de la cuenca del río Futaleufú (Figura 9). . Los glaciares descubiertos representan el 73% de los cuerpos inventariados y cubren un área total de $80,19 \text{ km}^2$. El 26% de los cuerpos inventariados corresponden a manchones de nieve y/o glaciaretes, los cuales cubren un área total de $28,54 \text{ km}^2$. Tan solo el 1% corresponde a glaciar cubierto por detritos y cubriendo un área de tan solo $1,48 \text{ km}^2$. En lo que respecta a las reservas de agua asociadas con el ambiente periglacial, tan solo se han reconocido 2 cuerpos

criogénicos, que representan un 0,02% del total de unidades y cubren un área de 0,02 km² (Tabla 2). En la Figura 10 se muestra la distribución con respecto al área que abarcan cada uno de los tipos de geoforma.

Tabla 2: Superficie englazada en la cuenca del río Futaleufú.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	80,19
Manchones de nieve / glaciaretas	28,54
Glaciar cubierto	1,48
Glaciar de escombros	0,02
Totales	110,24

Se identificó una sola geoforma periglacial que ha sido clasificado como glaciar de escombros inactivo. El mismo está ubicado en la cuenca del río Futaleufú en el cordón Esquel (La Hoya). En el cerro Nahuel Pan se ha observado una crioforma periglacial pero su tamaño es menor al umbral de área mínima (0,01 km²) considerado para ser incluido en el Inventario Nacional de Glaciares (IANIGLA, 2010). En el cordón Leleque, cordón Esquel y Co. Nahuel Pan, la distribución de las geoformas periglaciales coincide con las zonas de mayor probabilidad de encontrar permafrost, según el modelo estadístico de Ruiz y Trombotto (2012a).

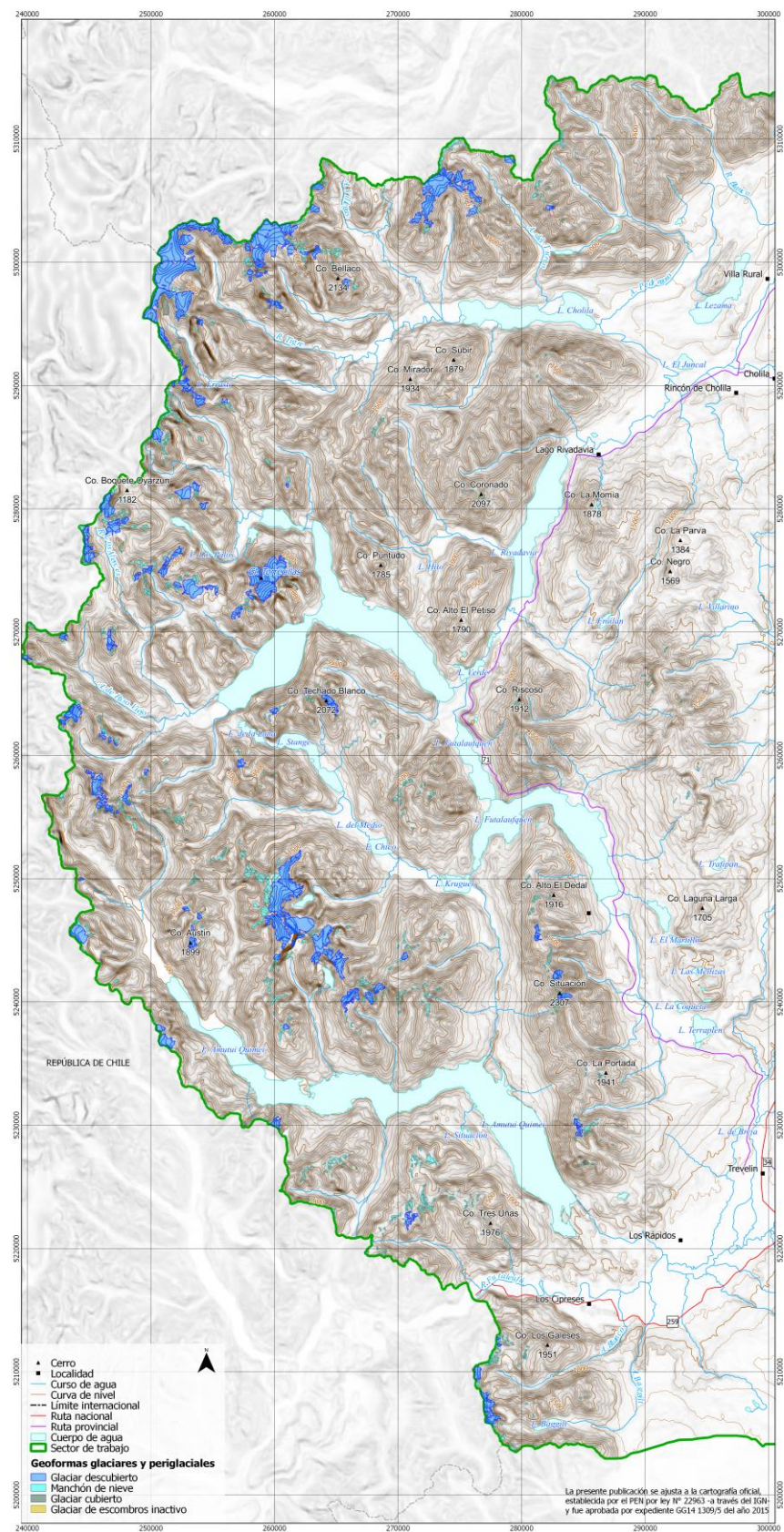


Figura 9: Mapa general del inventario de glaciares de la cuenca del río Futaleufú.

Superficie total cubierta por cuerpos de hielo: 110,24 km²
Total de geoformas inventariadas: 780

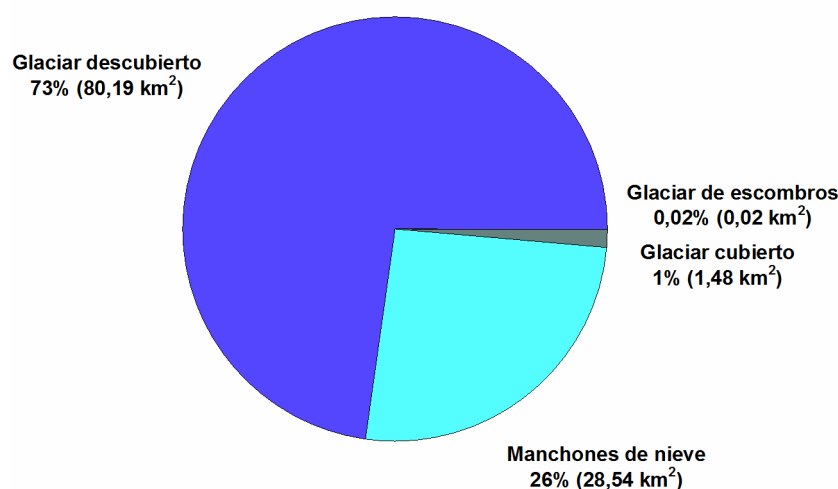


Figura 10: Tipos de glaciares en la cuenca del río Futaleufú.

La orientación predominante de los cuerpos inventariados es hacia el este (E) y sureste (SE) (Figura 11).

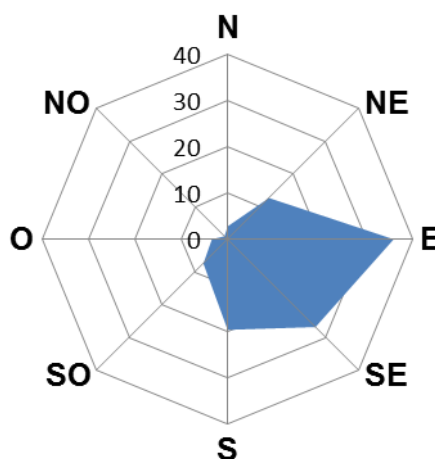


Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en función de su área, Cuenca del río Futaleufú.

El 58% de los cuerpos de hielo inventariados poseen un tamaño entre 0,01-0,05 km² representando un área de 12 km², el 16% de los cuerpos se ubican en el rango 0,05-0,1 km² y representan un área de 9,4 km²; un 21% de las geoformas inventariadas integran el rango 0,1-0,5 km² sumando un área total de 34 km². Tan solo el 2% de los cuerpos inventariados pertenece a la clase 0,5-1 km² y representa un área de 11 km². Por último en el rango 1-5 km² se encuentra el 2 % de los cuerpos inventariados y abarcan un área de 44,6 km². (Figura 12).

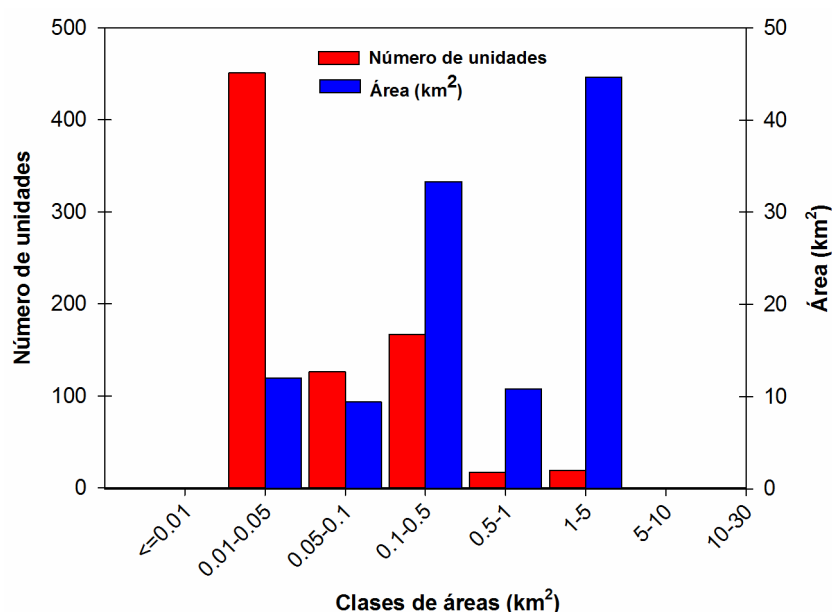


Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías, cuenca del río Futaleufú.

La distribución altitudinal de los cuerpos inventariados se manifiesta entre los 800 y 2.500 msnm, siendo la media los 1.900 msnm. Los manchones de nieve son los que poseen una mayor dispersión altitudinal, se distribuyen en un rango de 983 a 2.335 msnm, encontrándose un máximo entre los 1.800 a 2.000 msnm. Los glaciares con hielo descubierto poseen un rango altitudinal más estrecho que los manchones, la mayor cantidad de los mismos se ubica en el rango 1.800 a 2.100 msnm. Los glaciares cubiertos se ubican en el fondo de los valles, conformando glaciares de descarga. Tienen un rango altitudinal entre los 803 a 1.762 msnm. Los glaciares de escombros se acotan al rango altitudinal de 1.997 a 2.028 msnm. (Figura 13).

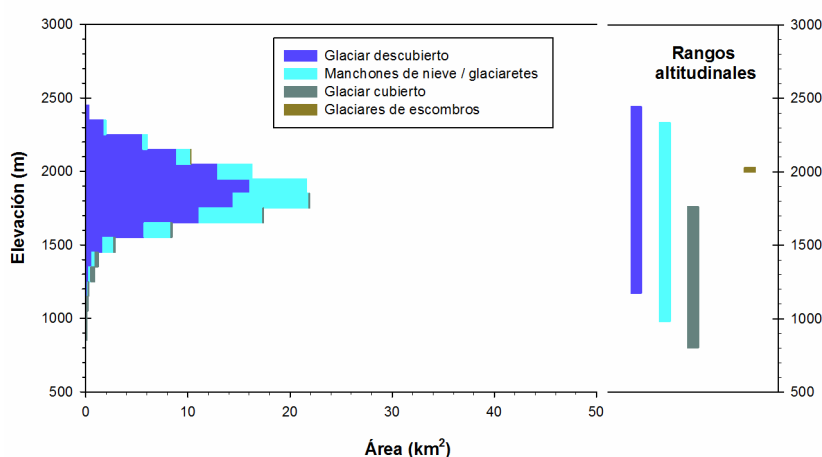


Figura 13: Distribución altitudinal del tipo y superficie de los cuerpos de hielo inventariados, cuenca del río Futaleufú.

Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la cuenca del río Futaleufú.

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	1.173	2.444
Manchones de nieve/glaciaretas	983	2.335
Glaciar cubierto	803	1.762
Glaciar de escombros	1.997	2.028

5.2. Resultados control de campo

Se realizó un control de campo en Febrero de 2013 para validar los resultados del trabajo en gabinete. La campaña consistió en relevamientos sobre el terreno en diferentes sectores del Parque Nacional Los Alerces, en un ascenso al cerro Planchón Nevado y en sobrevuelos en la subcuenca del río Carrileufú.

Se visitaron en campo 29 polígonos 28 geoformas. Principales problemas manchones de nieve estacionales que fueron identificados como permanentes y glaciares descubiertos clasificados como manchones de nieve y viceversa

Para mayor detalle ver Anexo 7.2 donde se describen algunas de las geoformas observadas 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.
- 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.
- 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.
- Caldenius, C.G. 1932. Las glaciaciones Cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego. *Geografiska Annaler Serie 14 A*: 1-164.
- 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.
- Colqui, B.S. y Madejski, M.E., 1952. Contribución al estudio del glaciar Torrecillas (lago Menéndez, Chubut). *Meteoros* 2, 209-214.
- Corte, A. 1976. Rock glaciers. *Biuletyn Peryglacjalny* 26: 175-197.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157 158.
- Corte, A. y Espizúa L.E. 1982. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.

Delgado, S., M. 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.

Feruglio E., 1957. Los glaciares de la cordillera Argentina. Geografía de la República Argentina. Tomo VII (primera parte). 5-89.

Garibotti, I.A., y Villalba, R. 2009. Lichenometric dating using *Rhizocarpon* subgenus *Rhizocarpon* in the Patagonian Andes, Argentina, Quaternary Research 71 (3), 271-283.

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), 87 p., Mendoza.

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

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

Koutche, V., Ladvoat, H.J., 1937. Parque Nacional Los Alerces: Proyecto de reserva para la creación de un Parque Nacional en el Territorio Nacional del Chubut. In: Dirección de Parques Nacionales (eds.), Nuevos Parques Nacionales, Buenos Aires, pp. 35–94.

Lliboutry, L. 1956. Nieve y glaciares de Chile. Fundamentos de glaciología. Ediciones de la Universidad de Chile. Santiago, Chile.

- Masiokas, M.H., Villalba, R., Luckman, B.H., Lascano, M.E., Delgado, S., Stepanek, P., 2008. 20th-century glacier recession and Regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia. *Global and Planetary Change* 60, 85–100.
- 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. & 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*.
- 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).
- Rubulis, S., Suarez, J.A, 1969, Mapa del río Turbio, provincia de Chubut. *Unidad de Geocriología*.
- 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). *Z.Geomorph. n.F. Suppl. Db. Berlin-Stuttgart* 104. 161-173 p.
- 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"). Heidelberg 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.

Trombotto Liaudat, D. 2008. Geocryology of Southern South America. En Jorge Rabassa (Editor) "Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego". *Developments in Quaternary Sciences* 11: 255-268.

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

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 cuenca del río Futaleufú

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de las subcuencas de los ríos Carrileufú, Futaleufú y Región de los Lagos, cuenca del río Futaleufú.

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 marzo 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.
- La identificación de geoformas 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.
- Como ayuda para la interpretación y digitalización de hielo descubierto, manchones y sobretodo del hielo cubierto y glaciares de escombros, se suelen emplear imágenes de sensores de alta resolución, en este caso fueron utilizadas imágenes de resolución media de los satélites ALOS y SPOT, como también las imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth.

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52320902008034COA00	03 febrero 2008	Base georreferenciación
LT52320892008034COA00	09 febrero 1987	Base georreferenciación

Satélite: **TERRA**

Sensor: Aster

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: LP DAAC, USGS <http://lpdaac.usgs.gov> a través de CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales).

En la tabla siguiente se incluyen las imágenes satelitales utilizadas discriminadas por su *número identificador de escena* (ID_imagen).

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST_L1A.003:2041992228	28 marzo2007	Base inventario
AST_L1A.003:2041992230	28 marzo2007	Base inventario
AST_L1A.003:2041992232	28 marzo2007	Base inventario
AST_L1A.003:2042077771	04 abril 2007	Base inventario
AST_L1A.003:2042077781	04 abril 2007	Base inventario
AST_L1A.003:2042077810	04 abril 2007	Base inventario
AST_L1A.003:2071124419	04 febrero2008	Base inventario
AST_L1A.003:2071124476	04 febrero2008	Base inventario
AST_L1A.003:2033086306	2006 febrero 14	Comparar manchones de nieve
AST_L1A.003:2027937051	2005 febrero 27	Comparar manchones de nieve
AST_L1A.003:2027937069	2005 febrero 27	Comparar manchones de nieve
AST_L1A.003:2032667230	2006 enero 13	Comparar manchones de nieve
AST_L1A.003:2032667231	2006 enero 13	Comparar manchones de nieve
AST_L1A.003:2032667232	2006 enero 13	Comparar 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).

Las imágenes han sido utilizadas para aportar mayor detalle e información en aquellos sectores que por sombras o por ser difícil de detectar y reconocer geoformas en las imágenes ASTER.

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALAV2A16622450	08 marzo 2009	Base inventario
ALAV2A16622460	08 marzo 2009	Base inventario

Satélite: **SPOT** (Système Pour l’Observation de la Terre)

Sensor: HRVIR 2

Resolución espacial: 10 m

Proveedor: LP DAAC, USGS <http://lpdaac.usgs.gov> a través de CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales)

ID imagen	Objetivo
4 677-437 12-02-09 14:00:24 2 M	Obtener mayor detalle del terreno
4 677-437 12-02-09 14:00:24 2 I	Obtener mayor detalle del terreno
4 677-436 12-02-09 14:00:15 2 M	Obtener mayor detalle del terreno
4 677-436 12-02-09 14:00:15 2 I	Obtener mayor detalle del terreno
4 677-435 12-02-09 14:00:07 2 M	Obtener mayor detalle del terreno
4 677-435 12-02-09 14:00:07 2 I	Obtener mayor detalle del terreno
4 676-437 12-02-14 14:03:58 1 M	Obtener mayor detalle del terreno
4 676-437 12-02-14 14:03:58 1 I	Obtener mayor detalle del terreno
4 676-436 12-02-14 14:03:50 1 M	Obtener mayor detalle del terreno
4 676-436 12-02-14 14:03:50 1 I	Obtener mayor detalle del terreno
4 676-435 12-02-14 14:03:42 1 M	Obtener mayor detalle del terreno
4 676-435 12-02-14 14:03:42 1 I	Obtener mayor detalle del terreno

7.2. Control de campo

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

2. Logística

Para cumplir con los objetivos se realizó una planificación de los sitios a visitar, poniendo énfasis en poder relevar la mayor cantidad y tipos de glaciares mapeados (descubiertos, cubiertos, de escombros y manchones de nieve).

Debido a que la mayoría de los glaciares de la cuenca del río Futaleufú se encuentran en zonas de difícil acceso o prácticamente inaccesibles, la accesibilidad a los sitios fue uno de los factores determinantes para definir la logística de la campaña.

La decisión final fue ascender a puntos panorámicos de los cordones montañosos de la cuenca del río Futaleufú para poder tener una visión panorámica de la zona, fotografiar los cuerpos, comparar las imágenes satelitales llevadas a campo con el cuerpo observado, corregir y anotar diferencias. Para aquellos cuerpos inventariados que se encuentran en zonas de relativamente fácil acceso también se realizó, con equipos GPS, la georreferenciación de los cuerpos de hielo, y sus frentes.

La campaña se inició en la ciudad de Esquel, en la provincia del Chubut. Como primer sitio se visitó el centro de Esquí La Hoya para poder corroborar la existencia de un glaciar de escombros. Luego se partió hacia el Parque Nacional Los Alerces. Desde allí se visitó la laguna Escondida y se realizaron ascensos al Co. Alto El Petiso y al glaciar Torrecillas. También se efectuaron caminatas por la zona del río Arrayanes, lago Rivadavia y lago Verde.

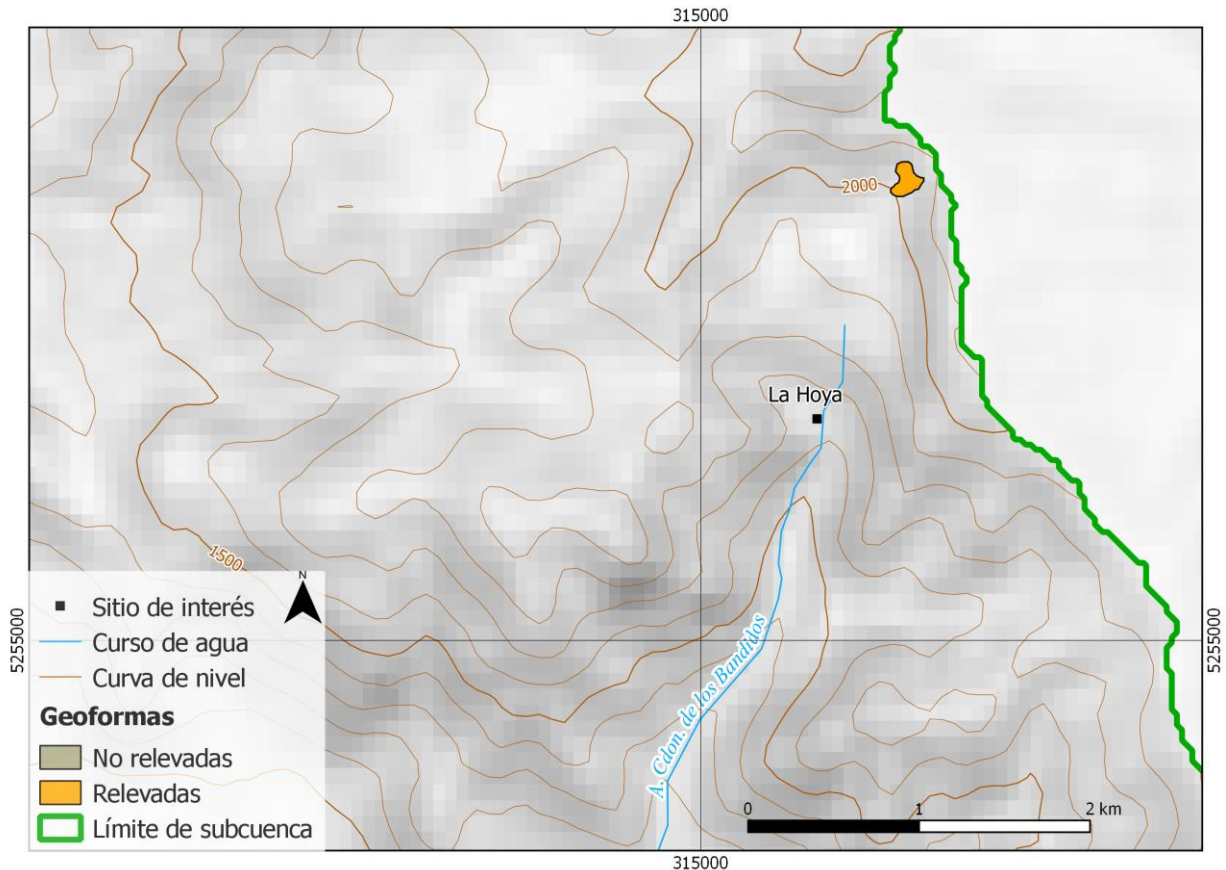
El control de campo del sector norte de la cuenca del río Futaleufú fue realizado por Lucas Ruiz (2010, 2012) y contó con la visita al glaciar Planchón Nevado y el relevamiento, mediante avioneta, de un sector de la subcuenca del río Carrileufú.

3. Resultados

3.1. Geoformas relevadas

3.1.1. Subcuenca río Futaleufú

Centro de esquí La Hoya



Geoforma relevada en las proximidades del centro de esquí La Hoya

Geoforma G712480O428113S

En el sector izquierdo de la fotografía presentada a continuación se ven signos de solifluxión (zona oscura). En el centro de la imagen se encuentra un glaciar de escombros (indicado por la flecha) con un lóbulo sobrepuesto, el cual fue clasificado como inactivo por presentar un talud de 20° y formas de degradación. Su orientación es hacia el sur. El valle está también orientado hacia el S y por eso es muy frío y tiene poco sol. El límite inferior del cuerpo mencionado es de 2.005 msnm.



Vista panorámica del glaciar de escombros



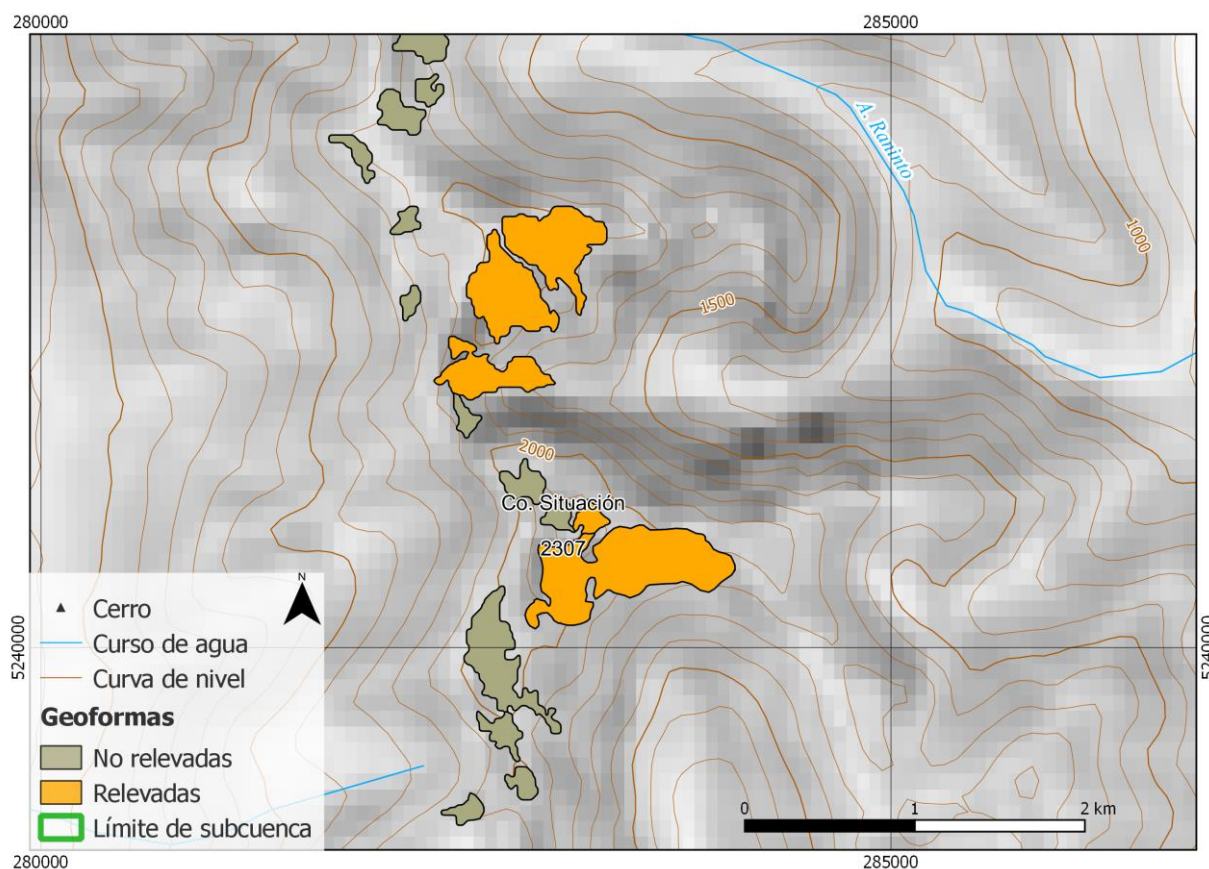
Perfil del glaciar escombros inactivo

La zona presenta permafrost de montaña representado por un único glaciar de escombros. Se ha comprobado en el campo que el glaciar de escombros G7124800428113S es inactivo. No se observan en la región otras crioformas con permafrost rico en hielo.

3.1.2. Subcuenca Región de Lagos

Cordón Situación

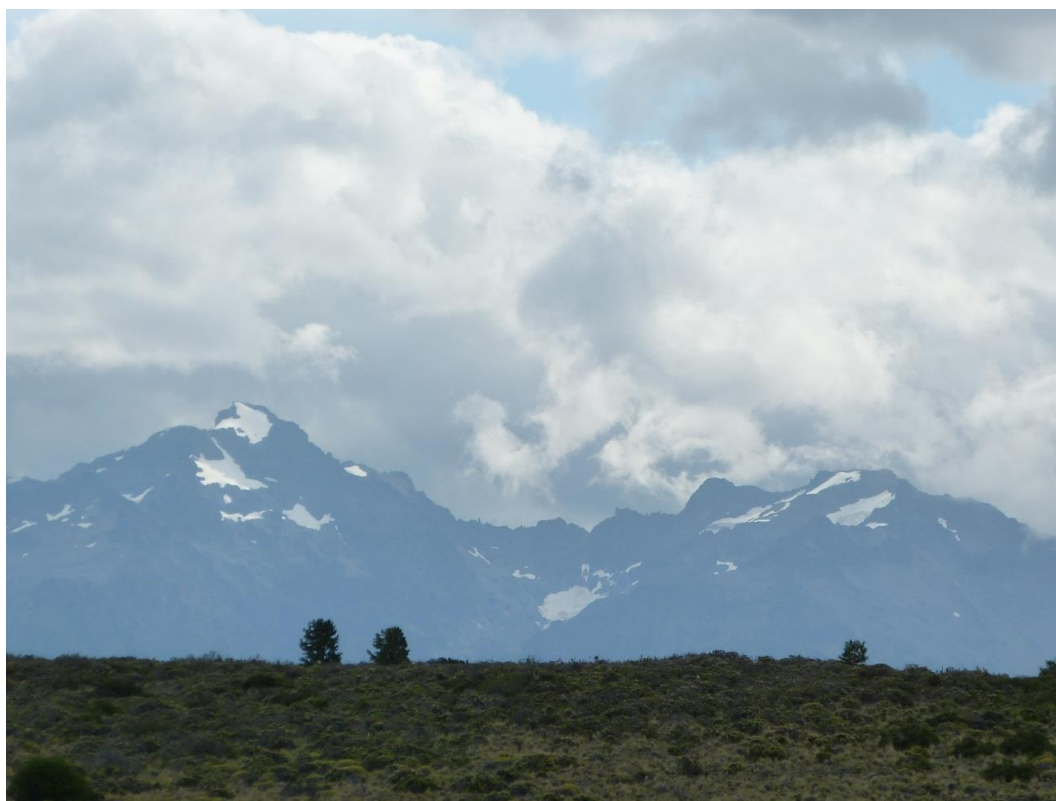
Estos cuerpos ubicados en el cordón Situación fueron visualizados desde la laguna La Zeta.



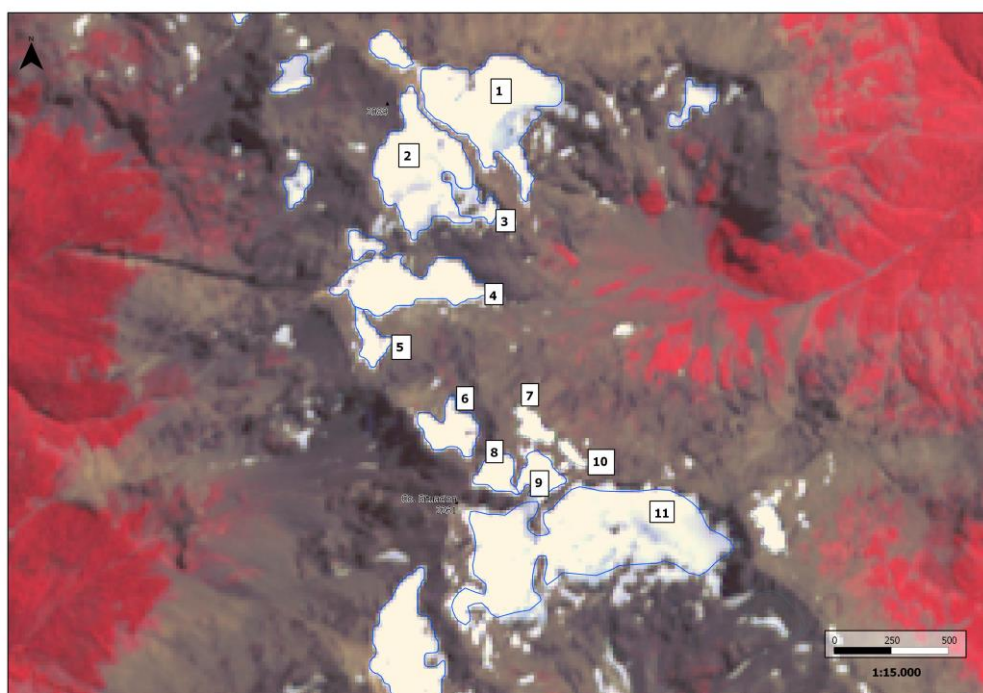
Geoformas relevadas en el cordón Situación

Geoformas G716594O429404S (1), G716629O429430S (2), G716644O429471S (4), G716575O429550S (9), G716551O429577S (11)

En el año 2013, la geoforma identificada como 1 en la figura anterior presentaba un tamaño menor al inventariado en gabinete con la imagen 2008. El manchón de nieve 3 no fue observado en campo y fue eliminado. El manchón de nieve 4 redujo sustancialmente su tamaño, se calcula que presentaba a la fecha de la campaña la mitad de la superficie mapeada. Los cuerpos 5,6 y 8 no fueron observados. La geoforma 7 no se encontró en el campo y fue eliminada del inventario. El cuerpo 9 fue observado y corroborada su clasificación como glaciar descubierto. El cuerpo 10 no se identificó en el campo, con lo que se deduce que se trata un manchón de nieve estacional y fue eliminado del inventario. El cuerpo 11 fue visualizado y corroborada su clasificación, pero su tamaño decreció en un 50% aproximadamente.

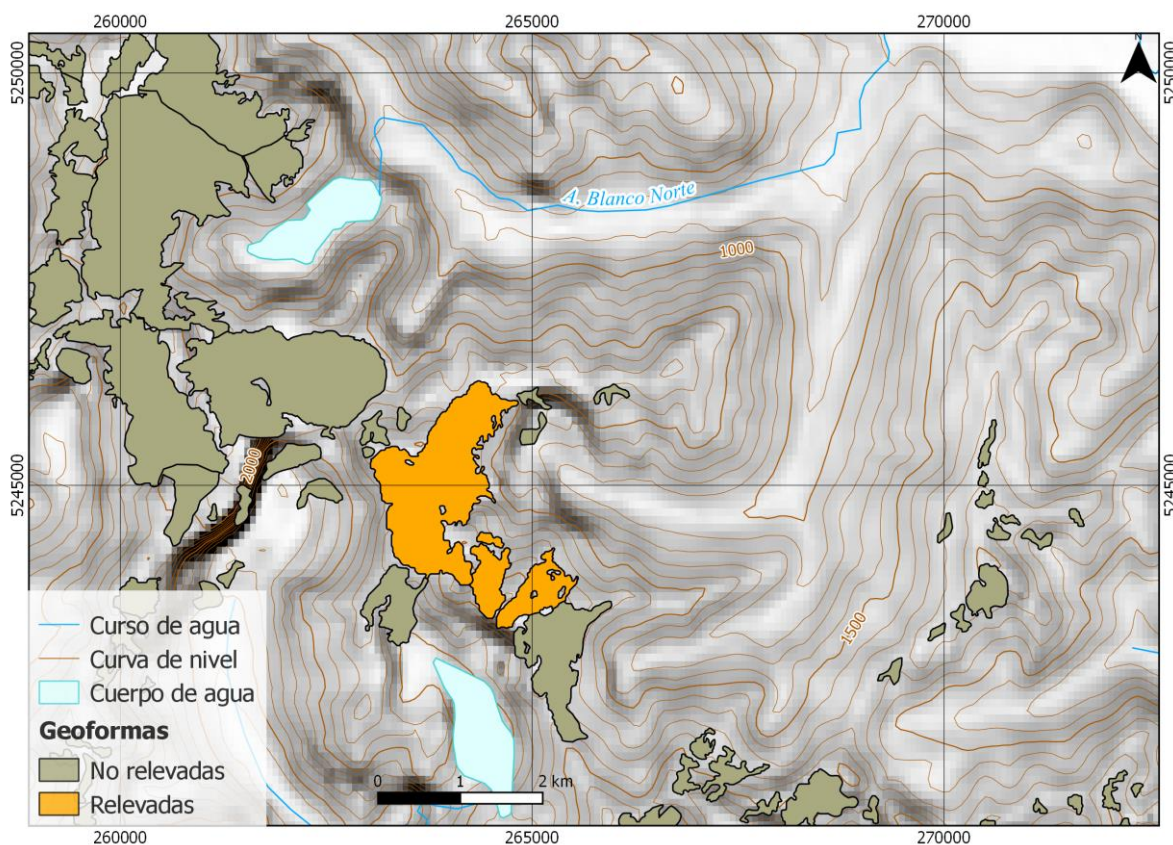


Vista panorámica de las geoformas relevadas en un sector del cordón Situación



Geoformas del cordón Situación que se observaron en campo desde la laguna La Zeta. Las geoformas han sido superpuestas sobre una imagen ASTER AVNIR del año 2008 utilizada como base cartográfica.

Cordón de las Pirámides



Geoformas relevadas en el cordón de las Pirámides

Geoformas G718927O429109S, G718858O429215S, G718787O429231S, G718855O429172S

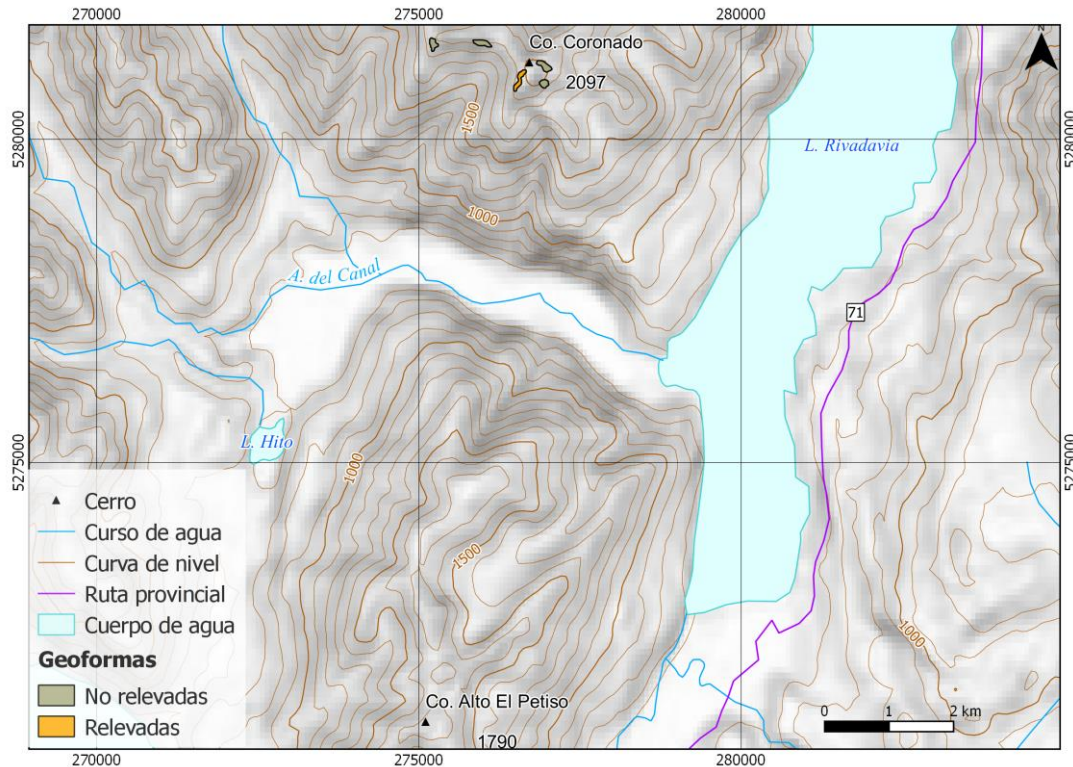
Las geoformas G718927O429109S (1), G718858O429215 (2), G718787O429231S (3) estaban clasificadas como manchón de nieve, en campo se vieron grietas, por lo cual se decidió reclasificar a glaciar descubierto. En el caso del manchón de nieve G718855O429172S (4) se corroboró su clasificación.



Cordón de las Pirámides desde Puerto Bustillo, lago Futalaufquen

Ascenso Co. Alto El Petiso

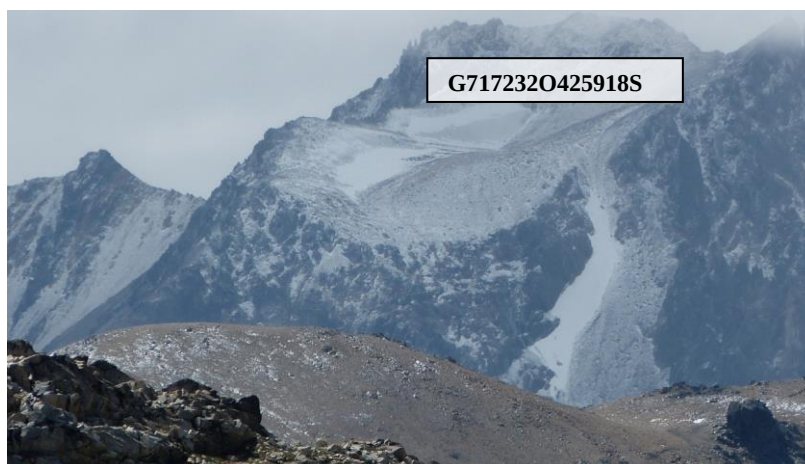
Se realizó el ascenso al cerro Alto El Petiso ya que permitía una vista panorámica del cordón Techado Blanco, Co. Coronado, cordón del Torrecillas y parte del cordón de las Pirámides. La alta nubosidad del día impidió una buena visualización de las geoformas inventariadas.



Geoforma relevada en el Co. Coronado desde el Co. Alto Petiso

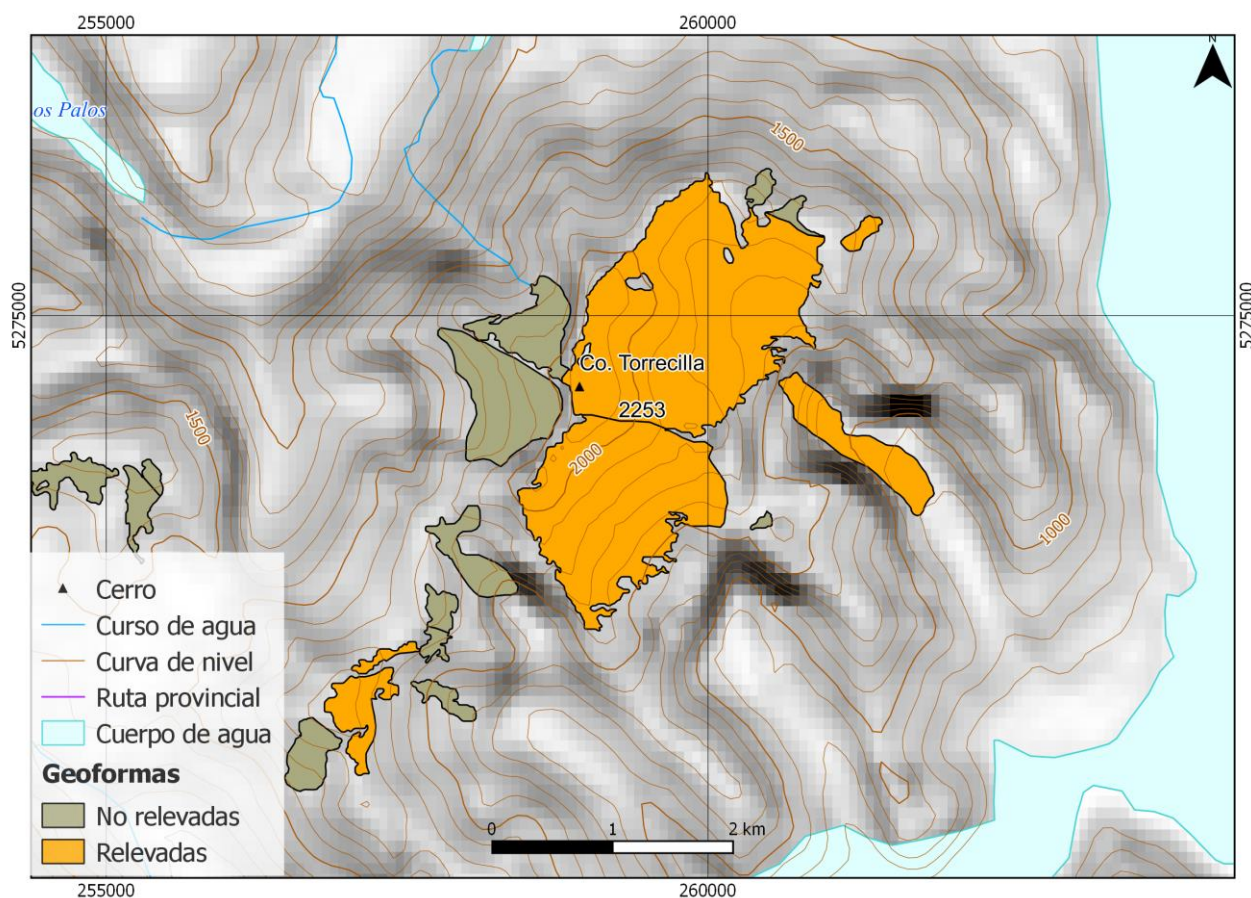
Geoforma G717232O425918S

Esta geoforma ubicada en el Co. Coronado fue clasificada en el inventario como manchón de nieve y corroborada su identificación y clasificación en el campo. La misma fue observada desde el punto panorámico del Co. Alto Petiso



Vista del cerro Coronado desde la cumbre del Co. Alto El Petiso

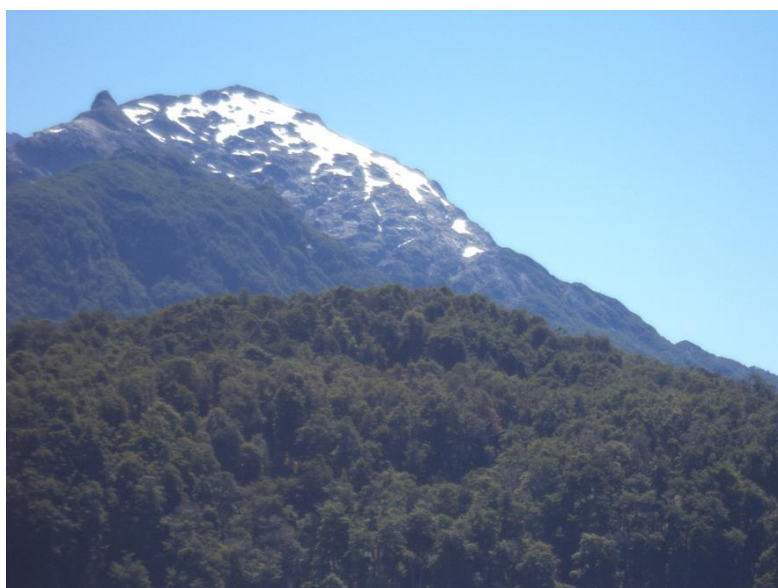
Co. Torrecilla



Geoformas relevadas en el área próxima al Co. Torrecilla

Geoforma G719115O426343S

Manchón de nieve en la falda noreste del Co. Torrecilla. Fue corroborada la identificación y clasificación realizada en gabinete.



Geoforma G719371O426540S

Glaciar descubierto del Torre Meiling. Fue corroborada la identificación y clasificación realizada en gabinete.



Geoforma G719289O426400S

Esta geoforma correspondiente al glaciar Torrecilla tiene una parte descubierta y una parte cubierta en la lengua.



En la fotografía se puede observar el glaciar colgante del Co. Torrecilla



Sector cubierto del glaciar del Co. Torrecilla

A continuación se realiza una comparación fotográfica del glaciar del Co. Torrecillas. La foto de 1899 pertenece a la expedición de Perito Moreno, la de 1937 fue tomada por Koutche y Ladvocat y la del 2001 pertenece a Ricardo Villalba (IANIGLA). La fotografía del año 2007 pertenece a Darío Trombotto y la del 2013 a Juan Pablo Scarpa.



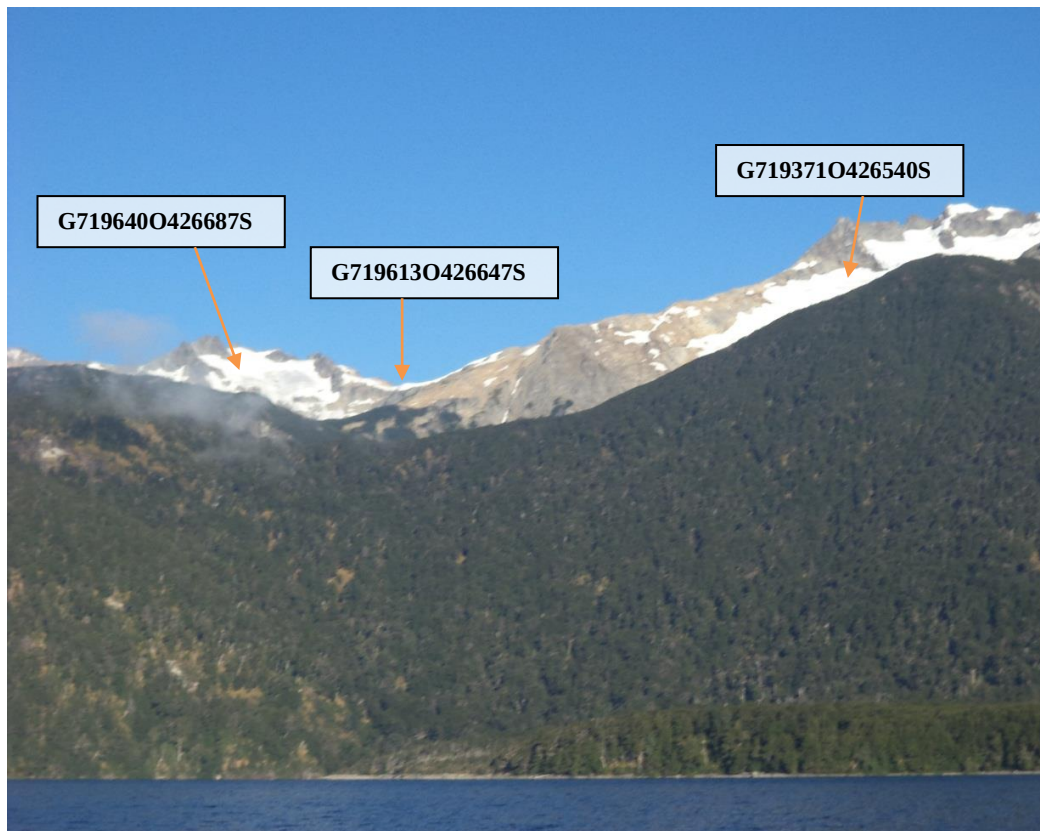
Comparación fotografías históricas glaciar Torrecilla. Masiokas et al (2008)



Comparando las imágenes de los últimos años se puede notar que el glaciar cubierto se está regenerado a partir de un cuerpo superior en el Co. Torrecilla que está desconectado físicamente de la parte inferior. La última conexión antes de 2007 era una canaleta de hielo que lo unía con el glaciar superior descubierto (ver foto 2007). Actualmente (2013) se alimenta del hielo caído y de avalanchas desde el glaciar superior.

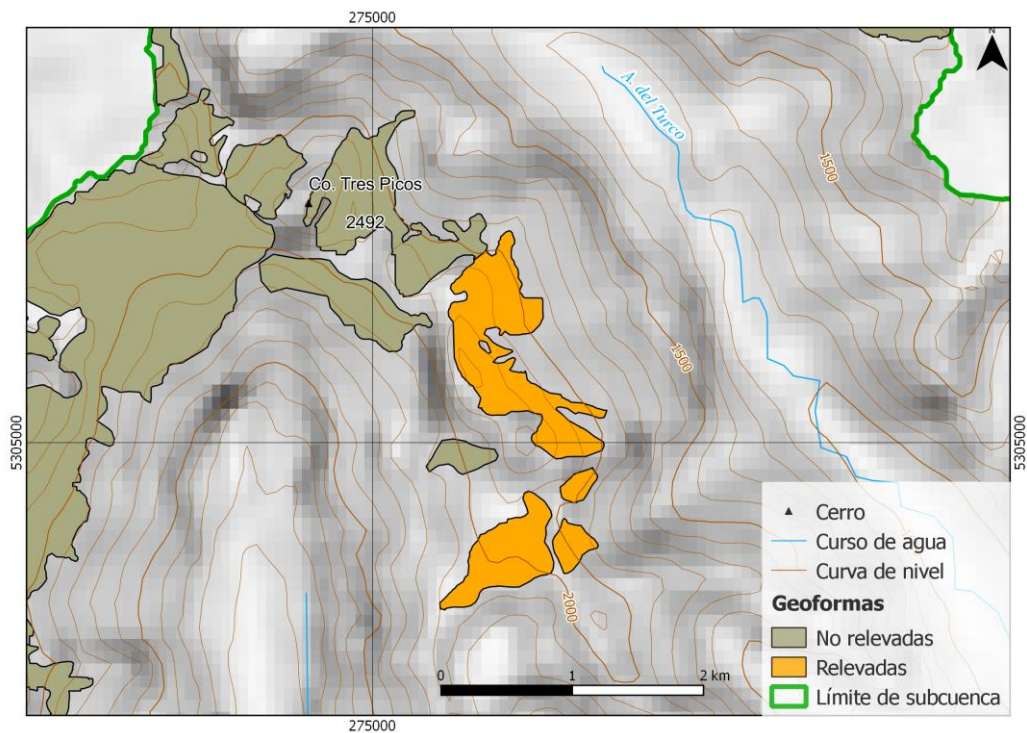
Geoformas G719640O426687S y G719613O426647S

Estas geoformas fueron identificadas a la distancia. En la foto, presentada a continuación observamos a la izquierda un glaciar descubierto, en el centro vemos un manchón de nieve y a la derecha el glaciar del Torre Meiling (descrito anteriormente). Existe en este caso una coincidencia entre lo mapeado en gabinete y lo observado en el campo.



3.1.3 Subcuenca del río Carrileufú

Zona del Co. Tres Picos



Vista panorámica de las geoformas visualizadas en las cercanías del Co. Tres Picos desde la Ruta 71

Geoforma G717207O423828S

Glaciar descubierto de montaña ubicado en un pequeño circo orientado hacia el sur. Si bien la geoforma fue observada a la distancia se pueden apreciar en la misma rasgos de movimientos compatibles con un glaciar que permitieron corroborar la clasificación realizada en gabinete.

Geoforma G717147O423822S

Manchón de nieve de forma irregular con orientación hacia el este. No se observaron rasgos de movimiento por lo que se corroboró la clasificación realizada en gabinete como manchón de nieve.

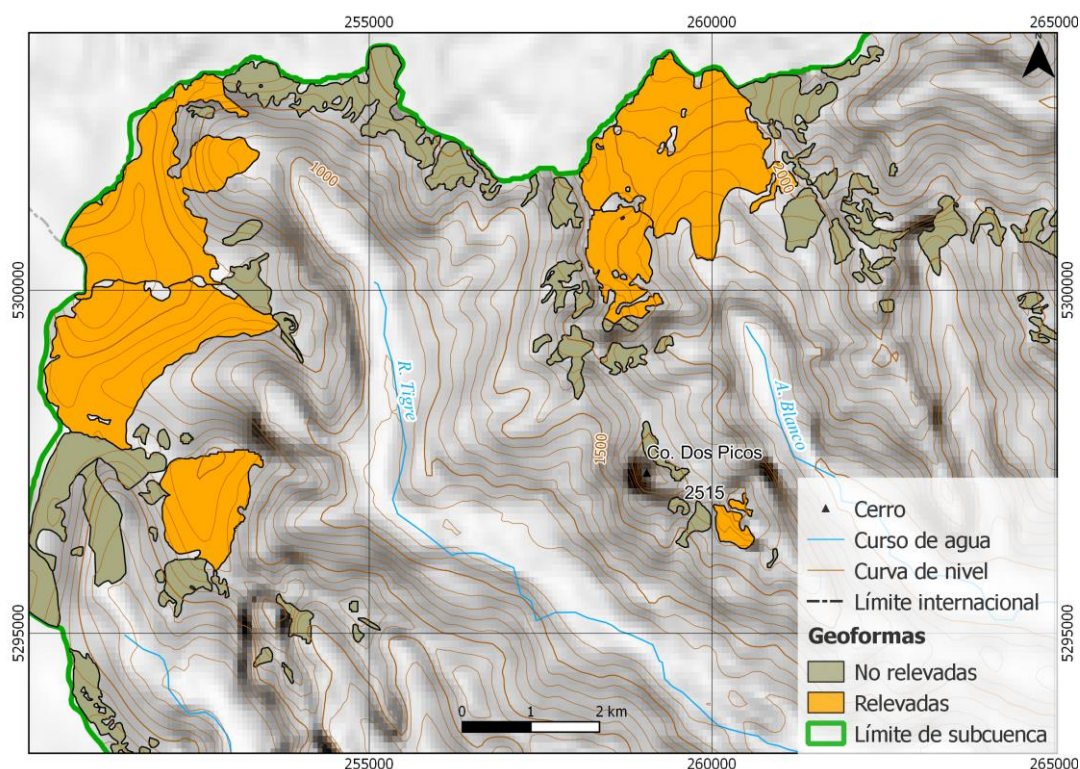
Geoforma G717139O423781S

Manchón de nieve de orientación sudeste ubicado en un pequeño nicho. No se observaron rasgos de movimiento en el campo y dado su permanencia en el campo se corroboró la clasificación realizada en gabinete como manchón de nieve.

Geoforma G717233O423696S

Esta geoforma corresponde a un glaciar descubierto de montaña con orientación noreste. La geoforma no se puede observar de manera completa sin embargo se puede apreciar señales de movimientos compatibles con un glaciar descubierto por lo que se corrobora la clasificación en gabinete. Sin embargo se puede apreciar una reducción en el área y sectores en el glaciar que comienzan a desconectarse.

Zona del río Tigre y arroyo Blanco



Geoformas relevadas en el nacimiento del río Tigre y del arroyo Blanco

Geoforma G719327O424107S

Glaciar descubierto de montaña ubicado en las nacientes del arroyo Blanco con orientación al este. En el campo se observaron grietas características de glaciares descubiertos. Las características observadas en campo coinciden con el trabajo en gabinete.



Geoforma G719212O423973S

En la foto a continuación se puede observar el glaciar del Planchón Nevado ubicado en las nacientes del arroyo Blanco y orientado hacia el sur. Se trata del glaciar más grande la cuenca con presencia de grietas y claramente diferenciadas las zonas de ablación y acumulación. Las características observadas en campo coinciden con el trabajo en gabinete.



Geoforma G720076O424407S

Glaciar descubierto de montaña con orientación sudeste. Fue observado a la distancia, sin embargo fue posible apreciar grietas y rasgos de movimiento propios de los glaciares descubiertos. Las características observadas en campo coinciden con el trabajo en gabinete.



Geoformas G719147O424465S y G719131O424435S

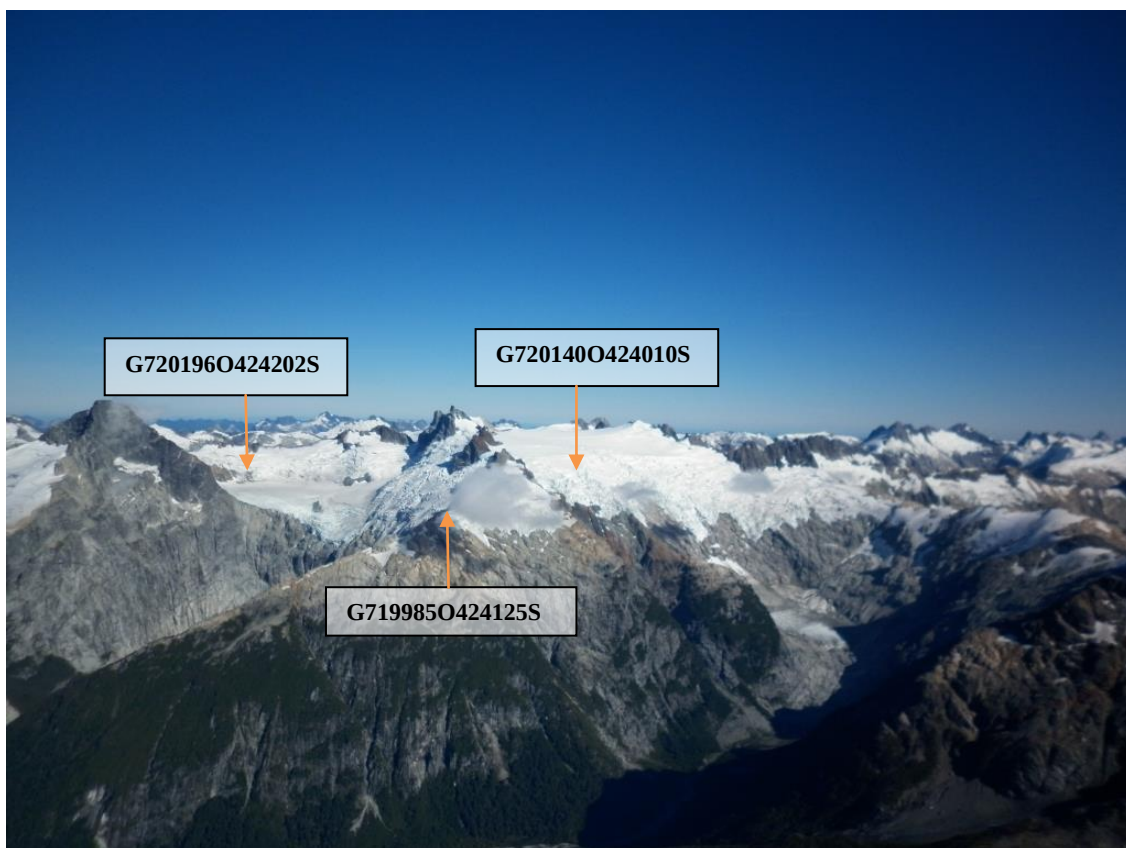
La geoforma G719147O424465S corresponde a un pequeño glaciar de montaña orientado hacia el sur protegido de la insolación. A pesar de su tamaño conserva grietas propias de glaciares descubiertos. La identificación y clasificación de este glaciar coincide con lo observado en gabinete.

El manchón de nieve G719131O424435S tiene una orientación hacia el este. No se observa en la foto grietas características de glaciares descubiertos por lo que se concluye que se trata de un manchón de nieve. Esta observación coincide con la interpretación realizada en gabinete.

Geoformas G720140O424010S, G720196O424202S y G719985O424125S

La geoforma G720140O424010S corresponde al glaciar descubierto conocido como Tigre. Tiene una orientación predominante hacia el este. Es uno de los más grandes la cuenca y se aprecian grietas características de glaciares descubiertos. La observación en campo coincide con el trabajo realizado en gabinete. La geoforma G720196O424202S es un glaciar de montaña con orientación predominante hacia el SE. Es el segundo más grande la cuenca y presenta rasgos característicos de glaciares descubiertos. La observación en campo coincide con la interpretación realizada en gabinete.

El glaciar descubierto identificado como G719985O424125S tiene un tamaño menor a los presentados anteriormente, sin embargo tiene rasgos característicos que identifican a los glaciares descubiertos como la presencia de grietas. Coincide la clasificación realizada en gabinete con lo observado en el campo.



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**
3. **Cuenca**
4. **Subcuenca**
5. **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.

6. **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.
7. **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 recrystalización de la nieve y/o hielo, sin cobertura detrítica

significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias), y de un área mayor o igual a 0,01 km² (una hectárea).

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

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

GE-Glaciario de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea). Los glaciares de escombros dependen fuertemente del aporte de detritos, nieve y hielo.

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos (GEA)**, **inactivos (GEI)** y **fósiles (GEF)** (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.

GCGE-Glaciario 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) 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.

8. 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.

9. Nombre común: si lo hubiere.

10. 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.

11. Forma:

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

7. Colgante
8. Grupo
9. Remanente

12. 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 descubierta o cubierta.
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. C U Y O
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

A partir del trabajo realizado por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), con la coordinación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, se han inventariado 16.078 glaciares y geoformas periglaciares en la cordillera de Los Andes y 890 en las Islas del Atlántico Sur, los cuales ocupan una superficie de 5.769 y 2.715 km² respectivamente. El Inventario Nacional de Glaciares describe por primera vez, en un instrumento sistematizado, todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional, con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de la cuenca del río Futaleufú, provincia del Chubut.

