



**INVENTARIO
NACIONAL
DE GLACIARES**

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

 Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de las cuencas del río
Grande, lago Fagnano
y Canal Beagle**

**Provincia de Tierra del Fuego,
Antártida e Islas del Atlántico Sur**

Vista hacia el Cañadón Negro, tributario del valle de Andorra desde el portezuelo Roy-Abismo (Foto:P. Pitte)

**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE
PRESIDENCIA DE LA NACIÓN**

**Autoridad Nacional de Aplicación – Ley 26.639 – Régimen de Presupuestos
Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial**

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

Secretario de Política Ambiental en Recursos Naturales: Lic. Diego Moreno

Director Nacional de Gestión Ambiental del Agua y los Ecosistemas Acuáticos: Dr. Javier García Espil

Coordinador de Gestión Ambiental del Agua: Dr. Leandro García Silva

Responsable Programa Protección de Glaciares y Ambiente Periglacial: M.Sc. María Laila Jover

**IANIGLA – CONICET
Inventario Nacional de Glaciares (ING)**

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Director técnico: Ing. Rodolfo Iturraspe

Profesionales: Téc. Mariano Castro, 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 de inventario	8
4. Materiales y métodos	10
4.1 Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	10
4.2 Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	11
4.3 Delimitación del hielo descubierto	14
4.4 Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	15
4.5 Base de datos de las geoformas inventariadas	15
4.6 Control de campo.....	17
5. Resultados	18
5.1 Resultados para las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle	18
5.2 Control de campo.....	23
6. Bibliografía.....	25
7. Anexos.....	31
7.1 Imágenes utilizadas en el inventario de las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle	31
7.2 Control de campo en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle	33
7.2.1 Objetivos	33
7.2.2 Resultados. Geoformas relevadas	34
7.3 Descripción de la base de datos	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Glaciares de escombros en las laderas del Co. Francisco Seguí, Tierra del Fuego (Foto: M. Castro).	3
Figura 2: Campaña del IANIGLA y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Tierra del Fuego en la cuenca del Canal Beagle, Tierra del Fuego, 2015 (Foto: M. Castro).....	6
Figura 3: Inventario de glaciares en la provincia de Tierra del Fuego (Iturraspe et al 2015).	7
Figura 4: Sector de trabajo para la realización del inventario de glaciares en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle en la isla de Tierra del Fuego.	10
Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología usada.	13
Figura 6: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.	14
Figura 7: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen SPOT (10 m de resolución). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una imagen de mayor resolución espacial del aplicativo Google Earth.	15
Figura 8: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de montaña sobre una imagen ALOS. En la parte derecha se muestra este glaciar con las diferentes subunidades que lo componen (parte de hielo descubierto y parte de hielo cubierto con glaciar de escombros). Todas las subunidades tendrán el mismo código de identificación (ID).	17
Figura 9: Glaciares en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.	20
Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.....	21
Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.....	21
Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías, las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.	22
Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.	22
Figura 14: Aproximación a los glaciares del cerro Francisco Seguí, cuenca Canal Beagle.	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.....	11
Tabla 2: Superficie englazada en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle. ...	19
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.	23

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBERS: China Brazil Earth Resources Satellite

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GCGE: Glaciar cubierto con glaciar de escombros

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GEA: Glaciar de escombros activo

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LANDSAT: LAND=tierra y SAT=satélite

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

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

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 las 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 glaciares en surge pueden ocasionar eventos potencialmente catastróficos para las poblaciones humanas e infraestructuras ubicadas aguas abajo. Los glaciares en surge son eventos de corta duración, donde un glaciar rápidamente comienza a fluir con velocidades 100 veces más rápidas que el flujo normal y los avances son de kilómetros por mes (Benn y Evans 1998). Típicamente un surge comienza en la parte superior del glaciar y se propaga en forma de onda hacia la parte inferior del mismo; su comportamiento no responde a factores climáticos. 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 hasta la ladera opuesta 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 (Helbling 1919). En febrero de 1984 el glaciar experimentó un nuevo surge, avanzó 2,7 km y formó un lago de 2,8 km de longitud por 1,1 km de ancho que afortunadamente drenó en forma gradual a través de un túnel subglacial formado en el dique de hielo (Espizúa y Bengochea 1990; Llorens y Leiva 1995; Leiva 2006). En 2007 el mismo glaciar experimentó un nuevo avance o surge que atravesó el valle del río del Plomo pero en esta ocasión se formó un lago pequeño que drenó lentamente debido probablemente a la presencia de un túnel subglacial (Ferri y Espizua 2010).



Figura 1: Glaciares de escombros en las laderas del Co. Francisco Seguí, Tierra del Fuego (Foto: M. Castro).

Considerando que los glaciares son muy sensibles a los cambios climáticos, a su alto grado de vulnerabilidad y a los riesgos asociados a sus variaciones, los glaciares y geoformas periglaciales son elementos muy valiosos a lo largo de los Andes que deben ser estudiados, monitoreados y protegidos.

Dada la importancia que tienen los glaciares y las crioformas ricas en hielo como recurso hídrico 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 verían alterados por las distintas actividades humanas que se desarrollen en sus cercanías?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

crioformas a lo largo del país. Mientras que el objetivo del nivel 3 es establecer los factores ambientales que regulan el comportamiento y determinar la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina.

En el presente informe se describen los resultados del inventario realizado en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle, en la isla de Tierra del Fuego. Estas cuencas contienen a la totalidad de los glaciares de la isla en territorio argentino. La Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación en su delimitación de cuencas describe para el caso de la Isla de Tierra del Fuego a solamente a dos cuencas: cuencas Varias de Tierra del Fuego y lago Fagnano. En el caso del anexo 2 del cronograma se mantiene esta división pero se incluyen a las Subcuencas Atlánticas y a Canal de Beagle como subcuencas de la cuencas Varias de Tierra del Fuego. Con fines metodológicos en el inventario se siguió la mencionada división, pero en el caso de las cuencas Varias de Tierra del Fuego se desagregó aún más utilizando una subdivisión mayor en la zona norte (cuenca del río Grande) y manteniendo la subdivisión de la subcuenca en su sector sur (Canal Beagle). Posteriormente se optó por trabajar estos tres sectores en forma conjunta debido a la distribución espacial que presentan los glaciares de esta región: principalmente se encuentran agrupados en la zona en donde confluyen las tres cuencas, son relativamente pocos y de pequeño tamaño. Si bien los resultados se obtienen de la totalidad los glaciares, en el mapa se encuentran señaladas cada una de las cuencas. En este trabajo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle (subcuencas atlánticas y Lago Fagnano según el cronograma del inventario, IANIGLA 2010) fue elaborado en julio 2015 y aprobado según resolución N° RESOL-2017-32-APN-MAD del 17 de enero de 2017, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

El IANIGLA agradece al Ing. Rodolfo Iturraspe por la importante tarea que viene realizando en el estudio de los glaciares de Tierra del Fuego y en especial por su colaboración tanto en las tareas de campo como de gabinete.

2. Antecedentes

En general, los antecedentes sobre trabajos de inventarios de glaciares constituyen indudablemente un valioso material de base, sin embargo, en la mayoría de los casos se trata de trabajos de carácter regional, parciales, y/o se encuentran desactualizados. Por otra parte, como la mayoría de estos inventarios regionales en los Andes han empleado vuelos fotogramétricos de las décadas de 1960 y comienzos de 1970, es posible que algunos de los glaciares más pequeños inventariados en esas décadas hayan desaparecido. Asimismo, los frentes de los glaciares han retrocedido desde la Pequeña Edad de Hielo y en las últimas décadas, como ha sido demostrado en varios estudios realizados sobre las fluctuaciones de ciertos glaciares a lo largo de la Cordillera de los Andes (Espizua 1986; Espizua y Maldonado 2007; Espizua y Pitte 2009; Masiokas et al. 2009), produciendo cambios importantes en las áreas cubiertas por los cuerpos de hielo.



Figura 2: Campaña del IANIGLA y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Tierra del Fuego en la cuenca del Canal Beagle, Tierra del Fuego, 2015 (Foto: M. Castro).

Con respecto a la isla de Tierra del Fuego en su sector argentino, los estudios de glaciares se han basado, desde hace varios años, en trabajos de balance de masa en los glaciares Martial y Vinciguerra, ambos próximos a la ciudad de Ushuaia. El último, junto con un conjunto importante de turberas del valle de Andorra conforma un grupo de humedales que constituyen el nuevo sitio RAMSAR más austral del mundo, declarado en 2009. Desde 2008 se monitorea también el cuerpo central del glaciar Martial y el glaciar Alvear. Los resultados indican un fuerte comportamiento recesivo de todos los glaciares, manifestado desde comienzos del siglo

XX. El glaciar Martial Este, uno de los cuerpos situados en el circo de los montes Martial, pierde en promedio 0,5 m de espesor de hielo por año, mientras que en el Vinciguerra el déficit es el doble de este valor, debido a que presenta una zona de ablación más extendida, con un frente situado 200 msnm más abajo que el del Martial. El retroceso del frente de este glaciar ha sido de 11,5 m/año entre 1970 y 2002 y de 19,5 m/año entre 2002 y 2008. Un primer inventario de glaciares en la isla de Tierra del Fuego fue realizado por Iturraspe en 2011 en el que describió en una primera aproximación un total de 105,6 km² de área ocupada por glaciares de los que sólo el 19,6 km² correspondió al sector argentino de la isla. Cabe mencionar que las cuencas en esta región son binacionales, es decir el límite internacional político atraviesa a estas sin seguir un criterio geográfico como por ejemplo el de la divisoria de cuencas. En la isla de Tierra del Fuego es relevante mencionar el gran contraste que hay entre las zonas englazadas de Chile y Argentina, siendo la primera la de mayor tamaño ocupando aproximadamente el 86% del área englazada total en relación con el 19,6% que se encuentra en territorio argentino.

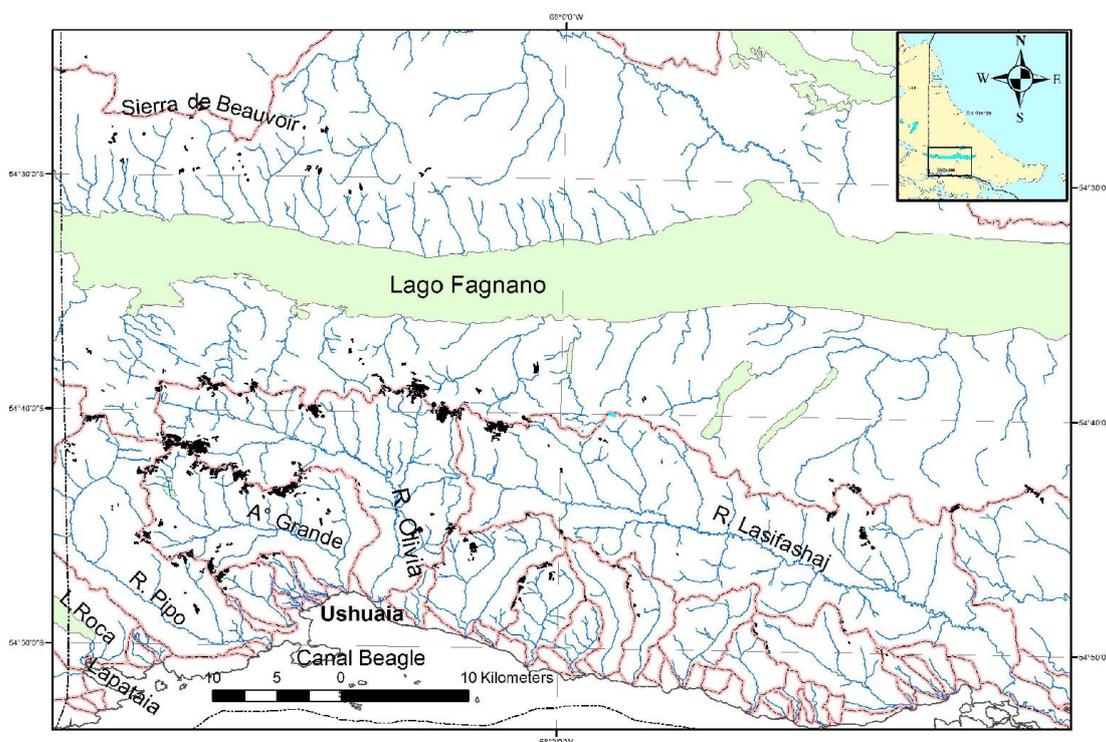


Figura 3: Inventario de glaciares en la provincia de Tierra del Fuego (Iturraspe et al 2015).

Recientemente (Junio de 2015) se publicaron los resultados del inventario de glaciares de Tierra del fuego realizado por la Dirección General de Recursos hídricos y la Universidad Nacional de Tierra del Fuego (Iturraspe et al. 2015) en el que se describen 323 unidades que cubren un área de 19,26 km² entre las que se diferencian además de glaciares descubiertos, manchones de nieve perenne, glaciares cubiertos, glaciares cubiertos con glaciares de escombros y glaciares de escombros. Además, a partir de este trabajo realizado con imágenes del período 2012-2013 es que se pudieron realizar comparaciones de área cubierta por cuerpos de hielo descubiertos con respecto al inventario de los mismos autores que se realizó en 2002 revelando una reducción de los glaciares de un 16%.

3. Definiciones a los fines de 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 (IANIGLA 2010)** (http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wpcontent/uploads/legales/fundamentos_cronograma_de_ejecucion.pdf), definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos de hielo a inventariar dentro del ambiente glacial y periglacial de Argentina. El objetivo de estas definiciones es aclarar las características básicas de las diferentes geoformas identificadas en las imágenes satelitales y los procesos que las originan. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo para las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle en la isla del Tierra del Fuego aquí presentado.

En el territorio de la República Argentina podemos diferenciar las reservas hídricas estratégicas en estado sólido en dos grandes grupos: glaciares (descubiertos y cubiertos) y glaciares de escombros. Estos grupos contienen, tanto en volumen como en superficie cubierta, las mayores reservas hídricas en estado sólido de la cordillera. No existe en la actualidad información precisa sobre la relevancia hidrológica de otras crioformas presentes en la Cordillera de los Andes, pero se estima que la misma es significativamente inferior comparada con los glaciares (descubiertos y cubiertos) y los glaciares de escombros. Por ello se ha propuesto estudiar, a través de las investigaciones relacionadas con el Nivel 3 del Inventario Nacional de Glaciares, el aporte de los suelos congelados y otras crioformas al caudal de los ríos andinos. En el caso de establecerse que la contribución hidrológica de otras crioformas sea relevante, las mismas serán incluidas en futuros inventarios.

Si bien las definiciones que aquí se presentan son más amplias que otras utilizadas para estudios específicos, las mismas concuerdan por un lado con los lineamientos generales dados por el WGMS (World Glacier Monitoring Service) y la IPA (International Permafrost Association), y además cumplen con la propiedad principal que debe tener un cuerpo de hielo para ser incluido en el Inventario, su condición de reserva de agua en estado sólido. Es respetando estos dos conceptos, que se proponen las siguientes definiciones:

Glaciar (descubierto y cubierto): cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve y/o hielo, con o sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no (*) y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea).

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

Glaciar de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado

con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea). Los glaciares de escombros dependen fuertemente del aporte de detritos, nieve y hielo.

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en *activos*, *inactivos* y *fósiles* (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 2003; 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; Arenson 2010; Brenning y Azócar 2010; Azócar y Brenning 2010). Es precisamente el alto contenido de hielo el que favorece su desplazamiento pendiente abajo (Haeberli 1985; Barsch 1996). Este movimiento es el que genera los rasgos característicos superficiales (crestas y surcos, crestas laterales) que permiten identificar a los glaciares de escombros en las imágenes satelitales (Haeberli 1985; Trombotto 1991; Barsch 1996; Ikeda y Matsuoka 2002). Por otra parte, es importante aclarar que la distribución de hielo dentro de los glaciares de escombros no es homogénea, ya que existen variaciones tanto horizontales como verticales, de allí la importancia de identificar la totalidad del cuerpo (Barsch 1996; Gruber y Haeberli 2009; Arenson y Jakob 2010; Otto et al. 2010).

4. Materiales y métodos

La ejecución del Inventario Nacional de Glaciares sigue las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS 1967 y posteriores; UNESCO-IAHS 1970; Müller 1977) y su programa World Glacier Inventory (WGI), normativas del Programa Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS: Racoviteanu et al. 2009), la IPA (International Permafrost Association), y directivas empleadas en inventarios previos en los Andes Centrales y Patagónicos (Corte y Espizúa 1981; Delgado et al. 2010).

Este informe corresponde al inventario de glaciares de las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle, pertenecientes a la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. Estas tres cuencas ocupan en total 9.450 km² de superficie y han sido consideradas en forma agrupada con fines prácticos para organizar mejor el trabajo en áreas en donde la superficie englazada es muy pequeña (Figura 4).

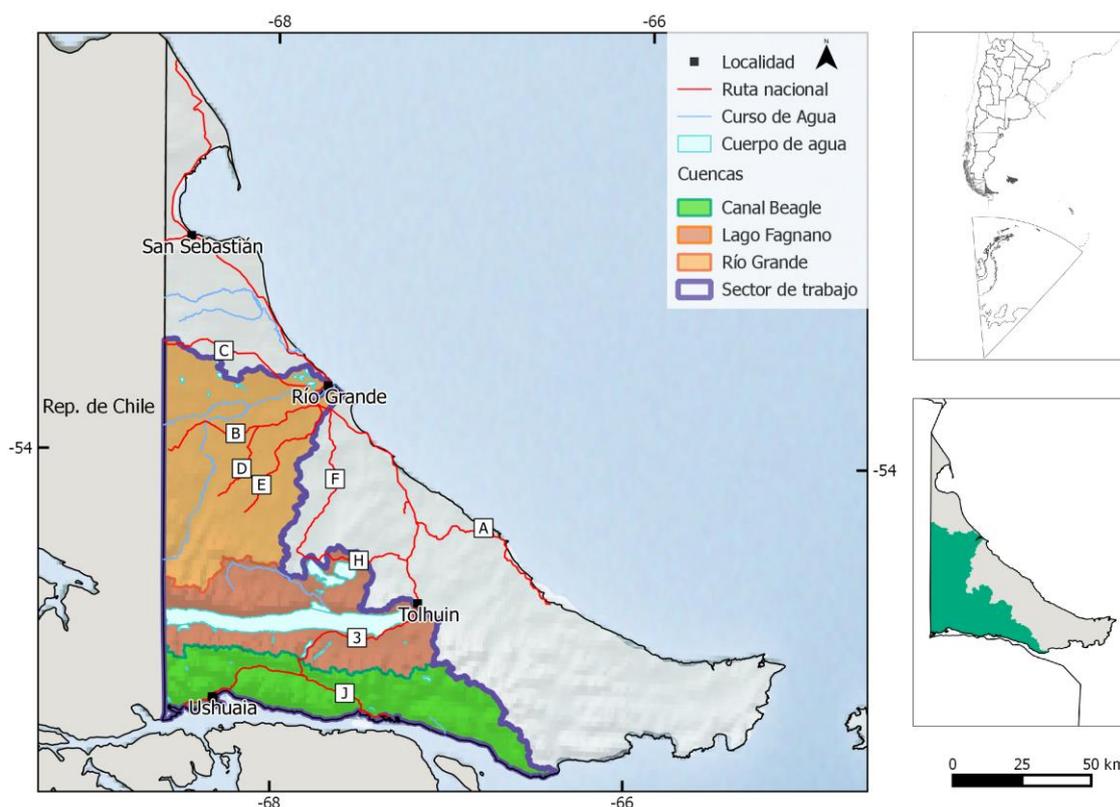


Figura 4: Sector de trabajo para la realización del inventario de glaciares en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle en la isla de Tierra del Fuego.

4.1 Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación

La delimitación de cuencas hidrográficas en la isla de Tierra del Fuego se basó en información proveniente de modelos digitales de elevación (MDE). De los MDE disponibles se decidió trabajar con el SRTM v4 (resolución espacial 90 m).

Empleando el programa Quantum Gis (software libre) se delimitaron las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de SRTM v4. Los pasos básicos para obtener las cuencas hidrográficas en Quantum Gis consisten en primer lugar en el llenado de sumideros y posteriormente delimitar el tamaño mínimo de la cuenca que viene dado en base al número de celdas que seleccionemos. Cada cuenca delimitada fue posteriormente editada y corregida manualmente, en aquellos casos en que no hubo un buen ajuste entre el MDE y la imagen. La edición manual de las cuencas fue realizada empleando el programa KOSMO¹ (software libre).

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 las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle se utilizaron como base imágenes del satélite LANDSAT 8 (30 m de resolución espacial) y SPOT 5 (10 m de resolución espacial) aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo LANDSAT 5, SPOT 5 y el aplicativo Google Earth. Las imágenes de apoyo sirven para determinar el estado permanente de los manchones de nieve. Las imágenes de mayor resolución espacial (SPOT) fueron importantes para la detección de hielo cubierto y glaciares de escombros.

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Landsat 8	LC82260982013117LGN01	27 abril 2013
Spot 5	5 694-461 12/03/20 14:02:28 2J S0 L2A	20 marzo 2012

Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) y las imágenes SPOT fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina.

Para la selección de imágenes se siguieron las sugerencias establecidas por GLIMS que tienen en cuenta la disponibilidad de imágenes, la ausencia de nubes y la cobertura de nieve en las mismas. Para minimizar los posibles errores que introduce la cobertura de nieve, que dificulta la delimitación de los cuerpos de hielo, se eligieron casi exclusivamente imágenes correspondientes al final del año de balance de masa (Cogley et al. 2011). En el caso de glaciares extratropicales, el final del año de balance de masa coincide con el fin del verano, 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).

¹ <http://www.opengis.es/>

En este trabajo, las coordenadas están referidas al sistema de referencia global WGS84, y el sistema de proyección elegido es el UTM (Universal Transversal Mercator). Este sistema de referencia y proyección es utilizado internacionalmente, lo que permitirá comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con información de otros países. Las superficies están expresadas en km² y como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes están expresadas en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

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

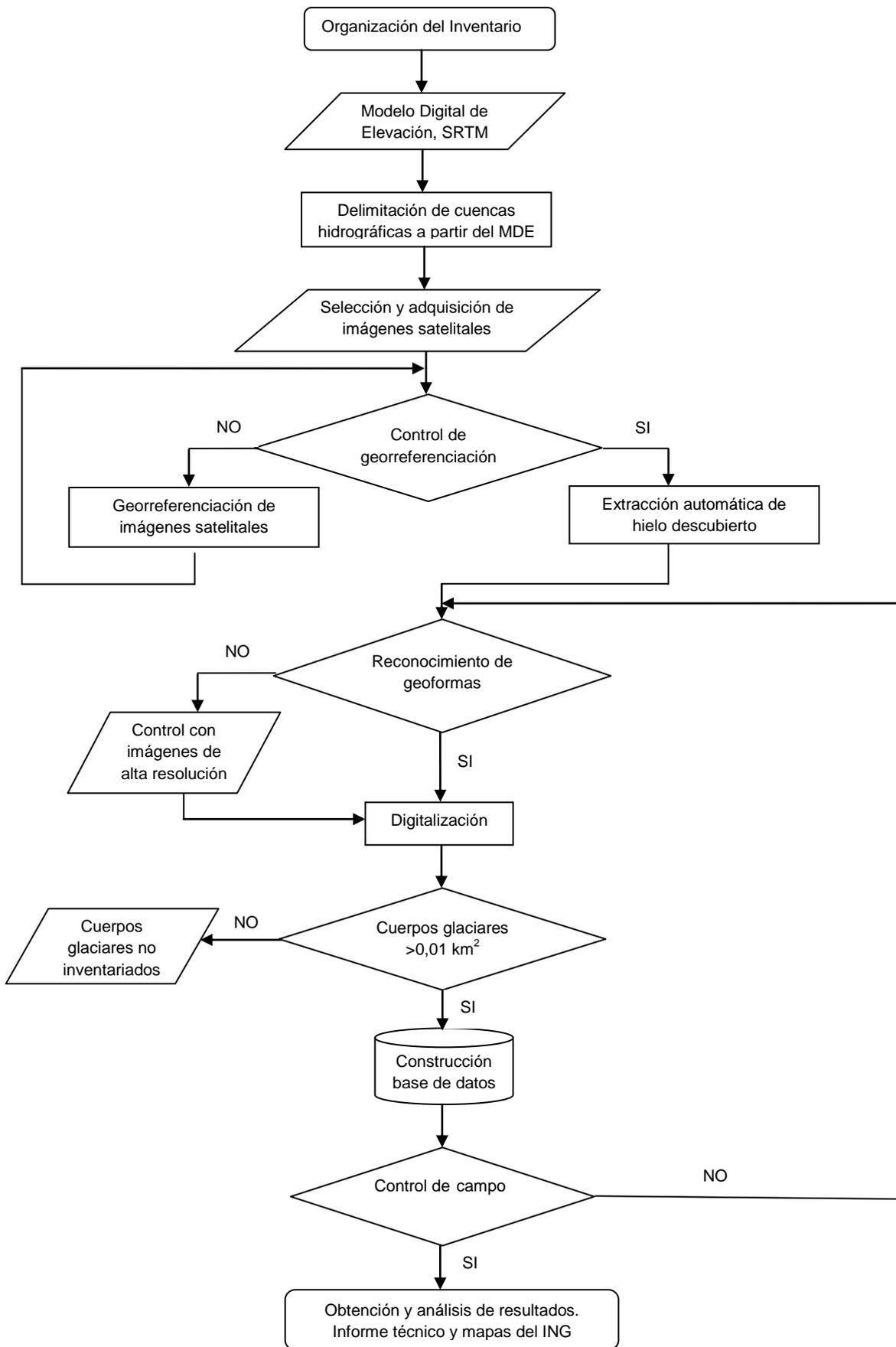


Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología usada.

4.3 Delimitación del hielo descubierto

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 6). 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.

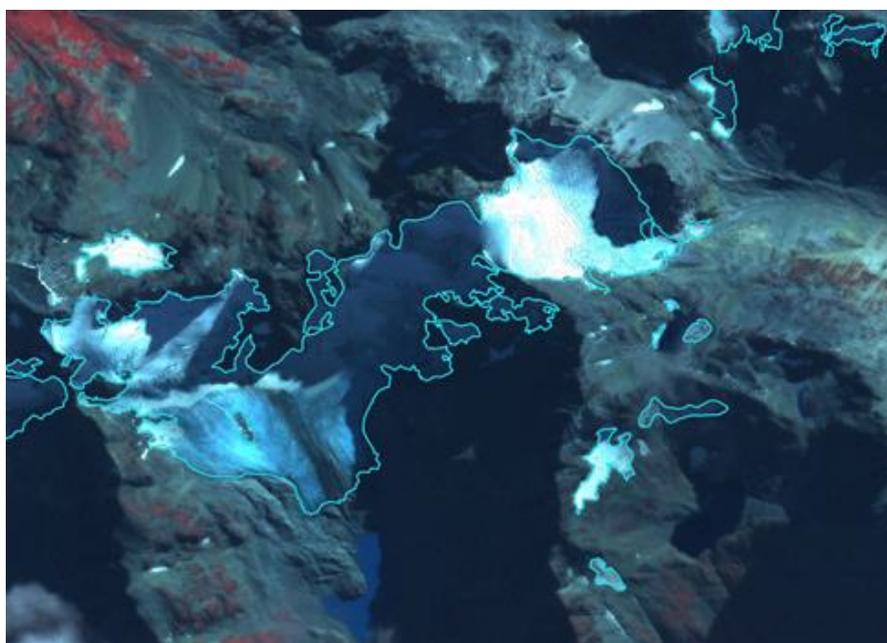


Figura 6: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

4.4 Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo para glaciares cubiertos de detrito y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la metodología más 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 SPOT empleadas como base de este inventario, utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth. La digitalización fue realizada con el programa KOSMO.

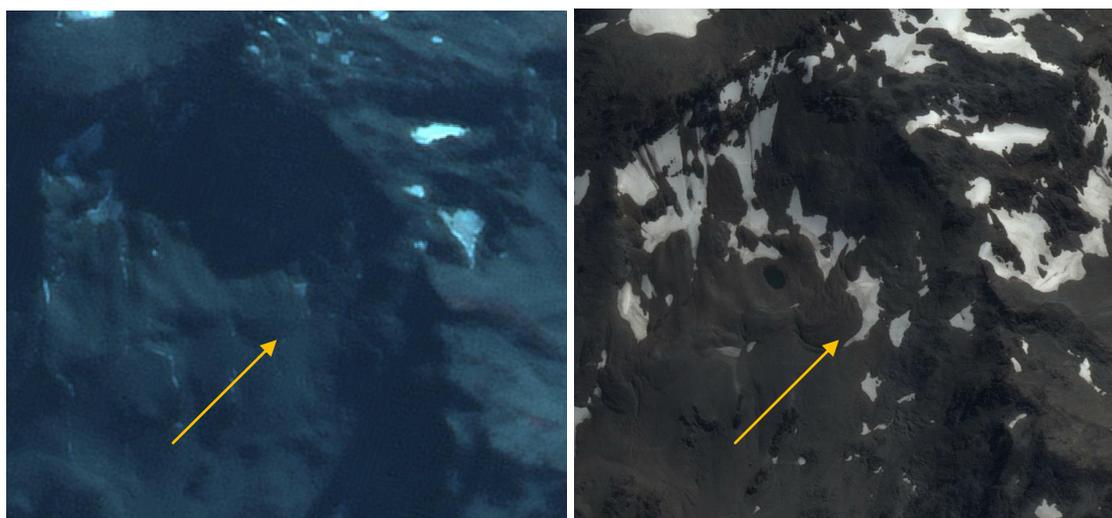


Figura 7: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen SPOT (10 m de resolución). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una imagen de mayor resolución espacial del aplicativo Google Earth.

4.5 Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle en la isla de Tierra del Fuego incluye la identificación de cada uno de los glaciares, su clasificación morfológica, y parámetros de índole física tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total entre otros (Ver Anexo 7.3). Las bases de datos también se construyeron con el programa KOSMO.

Para clasificar los glaciares se usaron las normativas internacionales en uso (principalmente del WGMS y GLIMS) con algunas adaptaciones, debido a las particularidades de los cuerpos de hielo presentes mayormente en los Andes Centrales de Argentina. En esta región en particular, los glaciares de escombros representan un recurso hídrico de gran importancia, no obstante se han identificado este tipo de geoformas en las diferentes regiones de los Andes argentinos. Las clasificaciones internacionales fueron ampliadas para incorporar este tipo de glaciares y sus características.

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

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

Más detalles sobre la clasificación de los cuerpos de hielo se encuentran en la página web http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf

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

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

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

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

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** (ID de la Figura 8 representado por un círculo rojo) que consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma (similar al ID_GLIMS salvo que en el caso del ID_local la longitud está referida al Oeste). Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud Sur.

La información de posición de cada geoforma viene dada por un código de cuenca, que provee información sobre la provincia, la cuenca y sub-cuencas donde se encuentra el cuerpo de hielo inventariado.

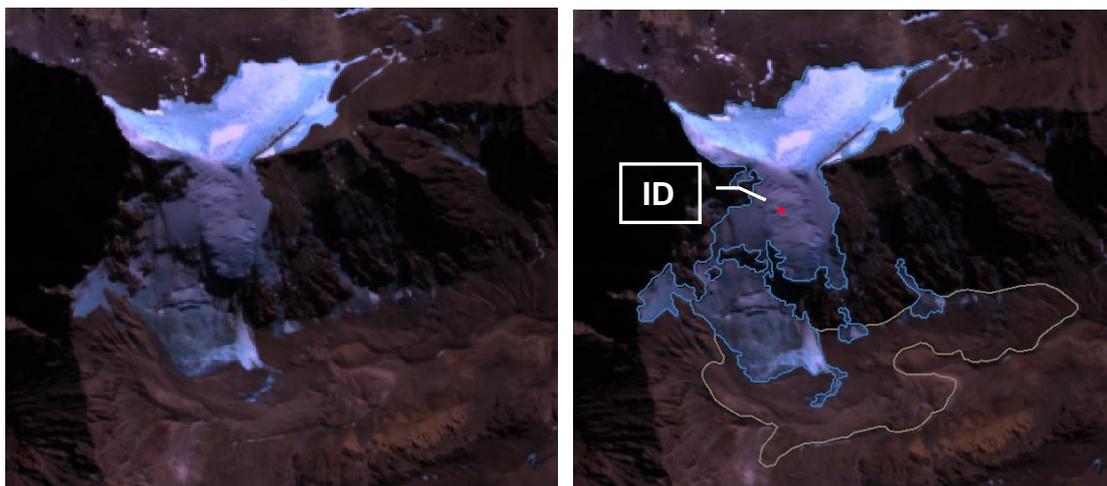


Figura 8: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de montaña sobre una imagen ALOS. En la parte derecha se muestra este glaciar con las diferentes subunidades que lo componen (parte de hielo descubierto y parte de hielo cubierto con glaciar de escombros). Todas las subunidades tendrán el mismo código de identificación (ID).

4.6 Control de campo

Los glaciares argentinos se ubican a lo largo de la Cordillera de los Andes, en lugares inaccesibles, a gran altura y en zonas carentes de infraestructura vial, por lo que aun hoy encontramos zonas montañosas inexploradas. Las campañas del nivel 1 del ING tienen como objetivo relevar y documentar la presencia y el estado de glaciares, particularmente de aquellos para los que no existe o se tiene muy poca información. Además de obtener información en forma directa se busca generar un banco fotográfico que servirá para dar a conocer y monitorear un gran número de glaciares.

5. Resultados

5.1 Resultados para las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle

El sector de trabajo compuesto por las tres cuencas en el que se realizó el inventario abarca la totalidad del territorio englazado en la isla Grande de Tierra del Fuego en su porción argentina. Al oeste limita con la república de Chile y desemboca en el canal Beagle en su sector sur. Hacia el norte desemboca en el océano Atlántico cercano al sector de la Bahía de San Sebastián.

Es relevante destacar que en esta zona la cordillera de los Andes cambia rotundamente de dirección y orientación estableciéndose en un sentido oeste-este diferenciándose del sentido norte-sur que predomina en toda América. Las particularidades de la cordillera en el sector chileno o “Cordillera Darwin”, con cumbres que sobrepasan en mil metros de altura a las del sector nacional, generan las condiciones propicias para que en ella se desarrollen los glaciares más extensos de la isla de Tierra del Fuego. En el sector oriental o argentino, ya más bajo en altura, adquiere el nombre de “Cordillera Fueguina Oriental” y el área englazada es mucho menor con un predominio marcado de glaciares pequeños. La cumbre más alta de la Cordillera Fueguina es el cerro Vinciguerra alcanzando una altura de 1.450 msnm y se encuentra en la cuenca del canal Beagle cercano a la divisoria de aguas con la cuenca del lago Fagnano.

Las líneas divisorias de aguas entre estas tres cuencas se encuentran ubicadas en forma paralela siguiendo las crestas de los principales cordones montañosos de la isla Grande de Tierra del Fuego en territorio argentino. Entre ellos se pueden enumerar, de norte a sur los siguientes: la sierra de Beauvior al norte del lago Fagnano, al sur del mismo la Sierra de Alvear, paralela a esta la Sierra del Vinciguerra destacando entre estas últimas el valle de Carbajal. Siguiendo más hacia el sur y de forma paralela se destaca el Valle de Andorra. Por último el cordón Martial del que drenan sus aguas hacia el Canal Beagle al sur. Además un poco más hacia el este, siguiendo esta orientación predominante, se encuentra el Cordón de Sorondo en donde se albergan algunas de las cumbres más emblemáticas de Tierra del Fuego como son el Monte Olivia y el cerro Cinco Hermanos.

Con respecto a las zonas englazadas, las más importantes desde el punto de vista de su extensión se encuentran en la cuenca del Canal Beagle, en las crestas divisorias de aguas con la cuenca del lago Fagnano, más precisamente en las Sierras Alvear y Vinciguerra. Hacia el norte, los pequeños cuerpos de hielo restantes se ubican en la sierra de Beauvior en la vertiente sur del cordón divisorio entre las cuencas del lago Fagnano y la cuenca del río Grande, en este sector predominan los glaciares de escombros pequeños; por último en la vertiente norte de la sierra de Beauvior, ya en la cuenca del río Grande, se encuentran las geofomas restantes que están representadas fundamentalmente por algunos manchones de nieve perennes.

Se han inventariado un total de 443 glaciares, ocupando una superficie de 21,18km² (Figura 9), por tanto se puede destacar que el 0,22% del sector de trabajo ubicado en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle está cubierto por glaciares.

Tabla 2: Superficie englazada en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.

Tipo de geofoma inventariada	Área (km²)
Glaciar descubierto	12,06
Manchones de nieve/glaciaretos	3,81
Glaciar cubierto	0,04
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	0,07
Glaciar de escombros	5,20
Total	21,18

Superficie total cubierta por cuerpos de hielo: 21,18 km²
Total de geoformas inventariadas: 443

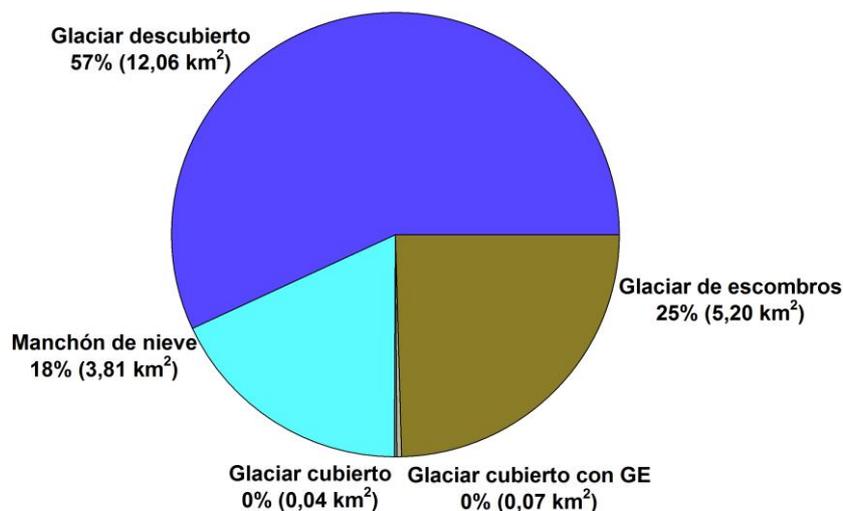


Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.

Los análisis de la orientación media (Figura 11) de los cuerpos inventariados en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle, muestran que la orientación predominante es hacia el sur. Esta orientación y la orientación sureste se repiten en casi todas las cuencas que han sido inventariadas en el país, coincidiendo con que estas laderas de exposición predominantemente sur son las de menor insolación en el Hemisferio Sur. Al ser menos expuestas a la radiación solar son más frías que las laderas que miran al norte, manteniendo por períodos más prolongados la nieve del invierno y favoreciendo los procesos que dan origen a los glaciares y crioformas.

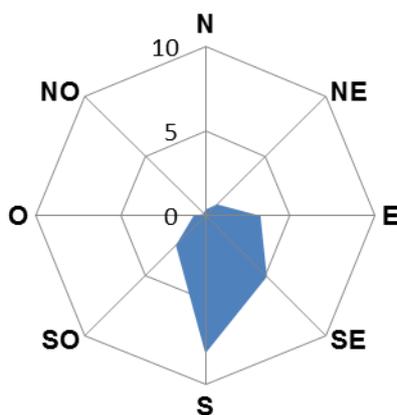


Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.

En la Figura 12 podemos observar que más de la mitad de las geoformas inventariadas tienen un área comprendida entre 0,01 y 0,05 km² y en suma agrupan a la mayor superficie englazada del sector de trabajo. Por otro lado los glaciares que tienen un tamaño superior a los 0,1 km² son muy escasos y en sumatoria no alcanzan a cubrir áreas englazadas significativas.

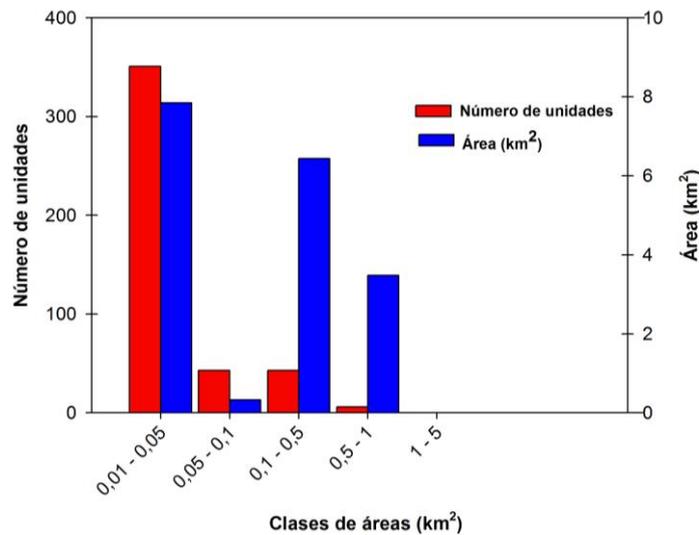


Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías, las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.

Se puede observar en la Figura 13 que los glaciares descubiertos y manchones de nieve ocupan los rangos altitudinales mayores alcanzando las cumbres más altas de la región que en algunos casos que llegan a alturas de 1.400 msnm. Hacia abajo estas geoformas ya dejan de estar presentes a menos de 800 msnm aproximadamente.

Por debajo de los 1.200 msnm empiezan a aparecer el resto de geoformas, glaciares cubiertos, cubiertos con glaciar de escombros y glaciares de escombros propiamente dichos.

En el caso de los glaciares de escombros, las menores altitudes a las que llegan estos cuerpos se deben a la presencia de geoformas inactivas, las cuales se distribuyen en un rango altitudinal inferior al de los glaciares de escombros activos, en este caso alcanzando los 523 msnm.

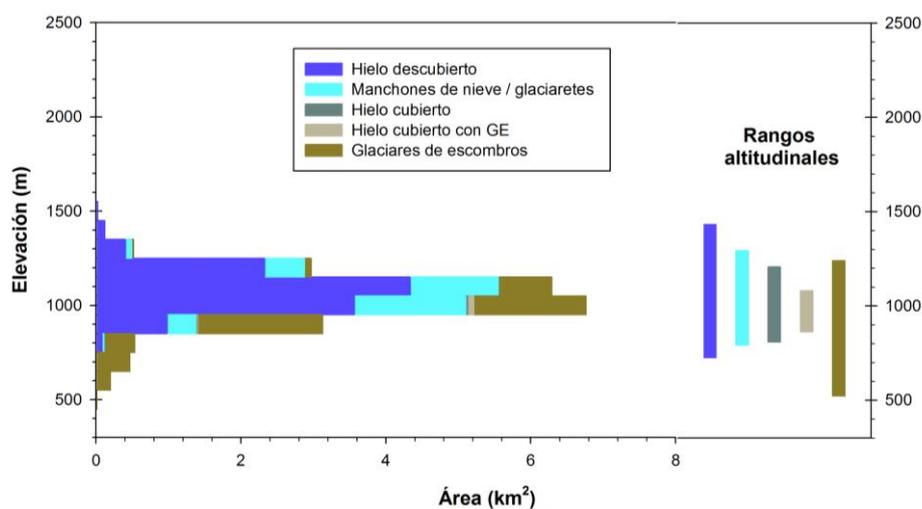


Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.

Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle.

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	725	1.435
Manchones de nieve/glaciaretos	793	1.294
Glaciar cubierto	808	1.207
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	863	1.081
Glaciar de escombros	523	1.239

5.2 Control de campo

El trabajo de campo para las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle fue realizado en las cabeceras del valle del arroyo Buena Esperanza, en el Cordón Martial, en las laderas del cerro Francisco Seguí y en el valle de la laguna Margot a finales de marzo del año 2015.

En una primera etapa del trabajo de campo se recorrió el valle del arroyo Buena Esperanza en el cordón Martial, siendo este uno de los más visitados de la provincia de Tierra del Fuego debido a su cercanía con la ciudad de Ushuaia, dando la posibilidad a los visitantes de conocer unos de los glaciares más accesibles de la República Argentina, el glaciar Martial. Se recorrió además la zona de la laguna Margot, ubicada en el valle de aproximación al cerro Del Medio, otra de las zonas más frecuentadas por los caminantes. Por último también se escogieron para el trabajo de campo las laderas del cerro Francisco Seguí en las que se encuentra una de las zonas más interesantes debido a la presencia de glaciares descubiertos, cubiertos y glaciares de escombros tanto activos como inactivos (Figura 14).



Figura 14: Aproximación a los glaciares del cerro Francisco Seguí, cuenca Canal Beagle.

En total se observaron en el campo 18 geofomas (Anexo 7.2) que fueron comparadas con la cartografía realizada en gabinete. De las geofomas visitadas el número más importante correspondió a glaciares descubiertos. El trabajo reveló una alta correspondencia entre las geofomas observadas en el terreno y las identificadas a través de métodos indirectos. En el caso de la identificación de geofomas glaciares y periglaciares se obtuvo un 94 % de coincidencias y un 88 % en la clasificación. En cuanto a la clasificación el error observado fue que en gabinete habían sido considerados como activos algunos sectores de glaciares de escombros con características inactivas o fósiles. En la identificación el error estuvo dado por la omisión de un glaciar de escombros activo que no había sido mapeado debido a que se encontraba en sombra en la imagen satelital. Esta diferencia observada en el terreno fue corregida posteriormente en gabinete.

6. Bibliografía

- Arenson, L. and 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: p. 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: p. 42 - 53.
- Barsch, D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *Third International Conference on Permafrost, Ottawa, Canada. Proceedings*, 1: p. 349-353.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, Berlin: 331 pp.
- Benn, D.I. and Evans, D.J.A 1998. *Glaciers and glaciation*. London, Arnold.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16: p. 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: p. 54 - 66.
- Cogley, J.G., Hock, R., Rasmussen, L.A., Arendt, A.A., Bauder, A., Braithwaite, R.J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson L. y Zemp, M. 2011. *Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms*, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.
- Corte, A. 1976. Rock glaciers. *Biuletyn Peryglacjalny*, 26: p. 175-197.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology*, 17: p.157-158.
- Corte, A. y Espizúa, L.E. 1981. *Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza*. IANIGLA-CONICET, Mendoza; 64 pp.
- Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P. y Villalba R. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. *International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS*.
- Espizúa, L.E. 1986. Fluctuations of the río del Plomo Glaciers. *Geografiska Annaler*, 68A (4): p. 317-327.

- Espizúa, L.E. y Bengochea, J.D. 1990. Surge of Grande del Nevado Glacier (Mendoza, Argentina), in 1984: Its Evolution Through Satellite Images. *Geografiska Annaler*. 72A (3-4): p. 255-259.
- Espizúa, L.E. y Maldonado G. 2007. Glacier variations in the Central Andes (Mendoza province, Argentina) from 1896 to 2005. En: *Environmental change and rational water use*. Scarpati, O. and Jones, A. (Ed.), Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires: p. 353-366.
- Espizúa, L.E. y Pitte, P. 2009. The Little Ice Age advance in the Central Andes (35° S), Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4): p. 345-350.
- Ferri, L. y Espizúa, L.E. 2010. A new surge event of Grande del Nevado glacier, Mendoza. *Internacional Glaciological Conference. Ice and Climate Change: A view from the South*. Valdivia, Chile, 1- 3 February 2010. Abstract Book. Centro de Estudios Científicos: p. 37.
- Gruber, S. y Haeberli, W. 2009. Mountain Permafrost, in *Permafrost Soils* (ed) R. Margesin, *Soil Biology* 16. springer-Verlag Berlin: p. 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: p. 142.
- Helbling, R. 1919. *Beitrage zur Topographischen Erschliessung der Cordilleras de los Andes zwischen Aconcagua und Tupungato: Sonderabdruck aus dem XXIII Jahresberitch des Akademischen Alpenclub*. Zürich 1918.
- IANIGLA 2010. *Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución*, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza.
- Ikeda, A. y Matsuoka, N. 2002. Degradation of Talus-derived Rock Glaciers in the Upper Engadin, Swiss Alps. *Permafrost Periglac. Process.*, 13: p. 145–161.
- Ikeda, A. 2004. *Rock glacier dynamics near the lower limit of mountain permafrost in the Swiss Alps*.
- Iturraspe, R., Iturraspe, R., Hidalgo, M. y Camargo, S. 2015. *Inventario de Glaciares de Tierra del Fuego*. Conagua 2015, XXV Congreso Nacional del Agua. Paraná, Entre Ríos.
- Iturraspe, R. J. 2011. *Glaciares de Tierra del Fuego*. Ed. Dunquen, Buenos Aires. 184 pp.
- Leiva, J.C. 2006. *Assesment Climate Change Impacts on the Water Resources at the Northern Oases of Mendoza Province, Argentine*. En: *Global Change in Mountain Regions*. Price, M. (Ed.), Sapiens Publishing, Wiltshire, Gran Bretaña: p. 81-83.
- Llorens, R. y Leiva, J.C. 1995. *Glaciological Studies in the High Central Andes Through Digital Processing of Satellite Images*. *Mountain Research and Development*, Vol. 15, No. 4, 1995: p. 323 - 330.

- Masiokas, M.H., Rivera, A., Espizúa, L.E., Villalba, R., Delgado, S. y Aravena, J.C. 2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4): p. 242-268.
- Müller, F. et al. 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory. TTS/WGI, Department of Geography, ETH. Zurich.: p. 19.
- Otto, J-Ch., Götze, J., Keuschnig, M., Hartmeyer I., Trombotto D. y Schrott, L. 2010. Geomorphological and geophysical investigation of a complex rock glacier system - Morenas Coloradas valley (Cordon del Plata, Mendoza, Argentina). *Geophysical Research Abstracts*, EGU2010-3625, Vol. 12.
- Racoviteanu, A.E., Paul, F., Raup, B., Khalsa, S.J.S. y Armstrong, R. 2009. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) workshop, Boulder, Colorado, USA. *Annals of Glaciology* 50 (53).
- Schrott, L. 1996. Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). *Zeitschrift für Geomorphologie NF Suppl.-Bd.*, 104: p. 161-173.
- Stokes, C. R., Popovnin, V., Aleynikov, A., Gurney, S. D. y Shahgedanova, M. 2007. Recent glacier retreat in Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra-proglacial lake development. *Annals of Glaciology*, 46: p. 95-213.
- Trombotto, D. 1991. Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentinie. ("Investigaciones sobre geofomas y sedimentos periglaciales en la 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentina"). *Heidelberger Geographische Arbeiten*, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg, Alemania (ver en www.geog.uni-heidelberg.de/hga).
- WGMS 1967. Fluctuations of glaciers 1959-1965, Vol. I. IAHS (ICSU)/UNEP/UNESCO. Paris. 52 pp.
- WGMS 2007. Global Glacier Changes: Facts and Figures, World Glacier Monitoring Services, United Nations Environmental Programme, Geneva.
- Williams, R.S. y Ferrigno, J.G. (eds.) 1999. Satellite Image Atlas of Glaciers of the World – South America. USGS Professional Paper 1386-I.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Brenning, A. y Trombotto, D. 2006. "Logistic regression modelling of rock glacier and glacier distribution: Topographic and climatic controls in the semi-arid Andes". *Geomorphology*, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 81: p. 141-154.
- Buk, E. 1983. Glaciares de Escombros y su Significación Hidrológica. *Acta Geocriogénica*, Mendoza, 1: p. 22-38.
- Buk, E. 2002. Hidrología de ambientes periglaciales Cuenca morenas Coloradas-Vallecitos, Cordón del Plata, Cordillera Fontal, Mendoza. En: IANIGLA, 30 años de Investigación básica y aplicada en ciencias Ambientales. Trombotto, D. y Villalba, R. (Ed.), Zeta Editores., Mendoza, Argentina: p.73-76.
- Castro, M. y Trombotto D. 2010. The rockglaciers of the Cordillera del Tigre, Mendoza, Argentina. *International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS. Abstract Book*: p. 40.
- Castro, M. 2010. "Mapeo de criofomas y ambiente periglacial en la Cordillera del Tigre, Mendoza, Argentina. Seminario de la Tecnicatura Universitaria en Sistemas de Información Geográfica, Cartografía y Teledetección (Geografía, Universidad Nacional de Cuyo), Mendoza: 55 pp.
- Cobos, D. 1983. Inventario de glaciares de la cuenca del río Atuel. IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina: 29 pp.
- Cobos, D. 1985. Inventario de los cuerpos de hielo en la cuenca del río Malargüe, Provincia de Mendoza, República Argentina. Bases para un racional manejo de los recursos naturales en ecosistemas desérticos. IANIGLA-CONICET: p. 20.
- Corte, A. 1953. Contribución a la morfología periglacial de la alta cordillera con especial mención del aspecto criopedológico. *Anales del Departamento de Investigaciones Científicas*, Tomo 1, (2): p.1-54.
- Corte, A. 1978. Rock glaciers as permafrost bodies with debris cover an active layer. A hydrological approach, Andes de Mendoza, Argentina. *Proceedings, Third International Conference on Permafrost*, 1: p. 263-269.
- Espizúa, L.E. 1983. Glacier and moraine inventory on the eastern slopes of Cordón del Plata and Cordón del Portillo, Central Andes, Argentina. *INQUA Symposia on the genesis and lithology of Quaternary deposits. USA, Argentina. 1981-1982. A. Balkema*: p. 381-395.
- Espizúa, L.E. 1983. Diferencia altitudinal entre el límite inferior de los glaciares de escombros activos, entre laderas norte y sur, de los Cordones del Plata y Portillo, Provincia de Mendoza. *Actas de la primera reunión del Grupo Periglacial Argentino. IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina, 1: p. 79-87.*

- Espizúa, L.E., Pitte, P. y Ferri, L. 2008. Horcones Inferior. Glacier surge (AR5006). p. 43. *Fluctuations of Glaciers 2000-20005*. Vol. IXI ICSU (FAGS) – IUGG (IACS) – UNEP-UNESCO – WGMS. Compiled for the WGMS. Suiza.
- Fujisada, H., Bailey, G. B., Kelly, G. G., Hara, S., y Abrams, M. J. 2005. ASTER DEM performance, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43: p. 2707-2714.
- Leiva, J.C., Lenzano, L.E., Cabrera, G.A. y Suarez, J.A. 1989. Variations of the Rio Plomo glaciers, Andes Centrales Argentinos. En: *Glacier Fluctuations and Climatic Change*. Oerlemans, J. (Ed.), Kluwer Academic Publishers, dordrecht, HOLANDA: p. 143 – 151.
- Leiva, J.C., Cabrera, G.A. y Lenzano, L.E. 2007. 20 years of mass balances on the Piloto glacier, Las Cuevas river basin, Mendoza, Argentina. *Global and Planetary Change (2007)*, 59: p. 10 – 16.
- Lenzano, M. G., Leiva, J. C. y Lenzano, L.E. 2010. Recent variation of the Las Vacas Glacier Mt. Aconcagua region, Central Andes, Argentina, based on ASTER stereoscopic images. *Advanced in Geosciences*. EGU (European Geoscience Union), Vol. 8: p. 1-5.
- Lenzano, M. G., Leiva, J. C., Trombotto, D. y Lenzano, L.E. 2011. Satellite images and geodetic measurements applied to the monitoring of the Horcones Inferior Glacier, Mendoza, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Geoacta* 36: p. 13-25.
- Lliboutry, L. 1999. *Glaciers of Chile and Argentina. Satellite image atlas of glaciers of the world. South America*. R.S. Williams y J.G. Ferrigno. Denver, USA, USGS. 1386-I.
- Post, A. 1969. Distribution of surging glaciers in western North America. *J. Glac.*, 8 (53): p. 229-240.
- Travassos, Menezes J., Chaves Stael, G. & Trombotto Liaudat, D. 2008. Detection of degraded mountain permafrost with the help of GPR profiling at Mesón San Juan, Mendoza, Argentina. *Revista Brasileira de Geofísica (RBGf)*, 26 (4): p. 519-526.
- Trombotto, D., Lenzano, L.E. y Bruce, R. 1984. Estudios Periglaciales (Geocriogénicos) en la Lagunita del Plata. Segunda Reunión del Grupo Periglacial Argentino, San Juan, Acta Geocriogénica, Mendoza, Nr. 2: p. 232 245.
- Trombotto, D. 1988. Geocryogenic Geomorphology, East Flank of the Andes Mendoza, at 33 S.L.". Vth International Conference on Permafrost, Trondheim, Proceedings, Vol. 1: p. 263 267, Noruega.
- Trombotto, D., Buk, E. y Hernández, J. 1999. Rock glaciers in the Southern Central Andes (appr. 33 S.L.), Mendoza, Argentina: a review. *Bamberger Geographische, Schriften Selbstverlag des Faches Geographie an der Universität Bamberg, Alemania*, 19: p. 145-173.

Trombotto, D. 2007. Profundización del tope de permafrost y tendencias en la dinámica criogénica, a partir de 1989, en el glaciar de escombros compuesto del valle de Morenas Coloradas, Mendoza, Argentina. *Boletín Geográfico*, Neuquén, Año XXIX, Nr. 30: p. 71-83.

Trombotto, D. y Borzotta, E. 2009. Indicators of present global warming through changes in active layer-thickness, estimation of thermal difussivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rock glacier, Central Andes of Mendoza, Dry Andes, Argentina. *Cold Regions Science and Technology*, Elsevier, The Netherlands, 55: p. 321-330.

Trombotto, D., Penas, P. y Blöthe, J. 2009. Análisis térmico inicial de la caldera y cumbre del complejo volcánico Peteroa, Mendoza – Argentina. *T J.H. Acta de Resúmenes*: p. 126-128.

Trombotto, D. y Alonso, V. 2010. Maqueta del mapa geomorfológico del entorno de la Laguna del Diamante (Andes Centrales, Argentina). XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén 2011. Sesión Especial: Ciencias de la Criósfera.

Trombotto, D., Lenzano, M.G. y Castro, M. 2012. Inventory and monitoring of cryoforms and cryogenic processes in the Central Andes of Mendoza, Argentina: birth and extinction of a periglacial lake. Tenth International Conference on Permafrost, Proceedings, Salekhard, Russia, Vol 1: p. 419-424.

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

UNESCO-IASH. 1970. Perennial ice and snow masses. A guide for compilation and assemblage of data for a world inventory. Technical papers in hydrology 1. UNESCO. France. 56 pp.

Unger, C., Espizúa, L. E., y Bottero, R. 2000. Untersuchung von Gletscherständen im Tal des Río Mendoza (zentralargentinische Anden) – Kartierung eines Surge-Vorsosses des Horcones Inferior. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*. Universitätsverlag Wagner – Innsbruck. Band 36, S: p. 151-157.

Zemp, M., Zumbühl, H.J., Nussbaumer, S.U., Masiokas, M.H., Espizúa, L.E. y Pitte, P. 2011. Extending glacier monitoring into the Little Ice Age and beyond. *PAGES News*, 19 (2): p. 67-69.

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario del sector de trabajo en la isla Grande de Tierra del Fuego.

Para las imágenes que se utilizaron como base del inventario, la selección final se realizó teniendo en cuenta aquéllas de fechas más recientes, que tuvieran poca cobertura de nieve estacional (meses de ablación, desde febrero a abril para estas latitudes) y ausencia de nubes. Particularmente en esta región del país, debido a las características climáticas, fue llevada a cabo una ardua tarea para la búsqueda y selección de las imágenes más apropiadas para los fines del inventario.

El resto de las imágenes se seleccionaron teniendo en cuenta diversos objetivos:

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

Satélite: **LANDSAT 8**

Sensor: OLI (Operational Land Imager)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LC82260982013117LGN01	27 abril 2013	Base inventario y base georreferenciación

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52270982006041COA00	10 febrero 2006	Apoyo en la identificación de Manchones de nieve perennes
LT52260982004045COA00	14 febrero 2004	Apoyo en la identificación de Manchones de nieve perennes

Satélite: **SPOT 5** (Satellite Pour l'Observation de la Terre)

Sensor: HRVIR

Resolución espacial: 10 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
5 694-461 12/03/20 14:02:28 2J S0 L2A	20 marzo 2012	Base inventario
5 694-446 12/03/10 13:55:01 J S0 L2A	10 marzo 2012	Apoyo en la digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros

7.2. Control de campo en las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle

El trabajo de campo fue realizado en conjunto con el grupo de glaciología de la Dirección General de Recursos Hídricos de la provincia de Tierra del Fuego y con el Ing. Rodolfo Iturraspe, de la Universidad Nacional de Tierra del Fuego, quien dirige las actividades de inventario. La campaña se realizó a mediados del mes de marzo de 2015 en la zona sur del sector de trabajo que corresponde a la cuenca Canal Beagle en las zonas del cordón Martial, cerro Francisco Seguí y el valle de la laguna Margot.

7.2.1. Objetivos

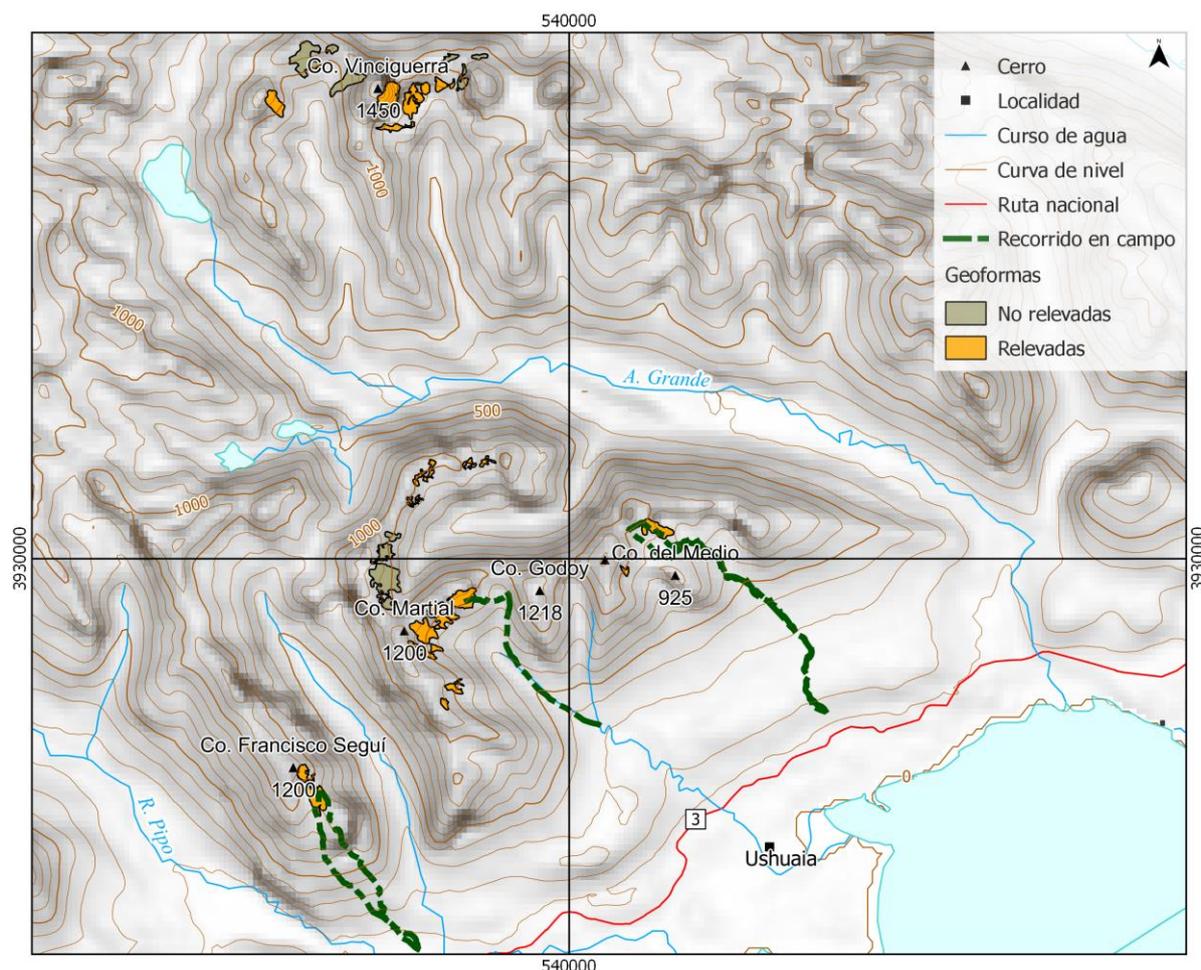
Los objetivos de la campaña fueron:

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



Preparativos para los trabajos de campo en el centro de esquí del glaciar Martial.

Glaciares relevados en el terreno. Sector de la cuenca Canal Beagle.



7.2.2. Resultados. Geofomas relevadas

Geofoma G684039O547813S (Glaciar Martial)

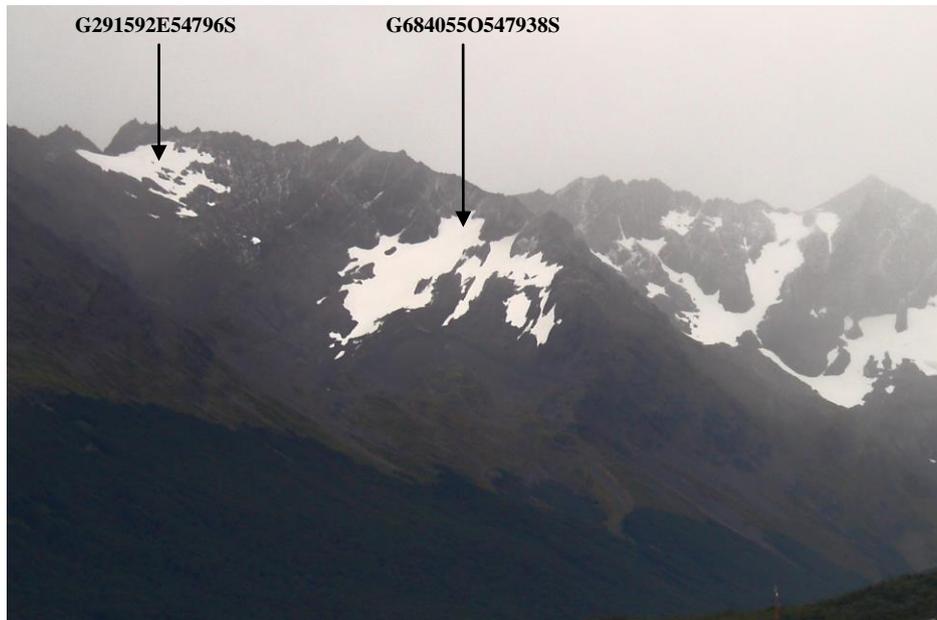
Glaciar de montaña, de circo, situado en el cordón Martial en la cabecera del valle del arroyo Buena Esperanza, una de las fuentes de provisión de agua de la ciudad de Ushuaia. Es el más visitado de los glaciares fueguinos por su fácil acceso. Está integrado por tres cuerpos principales situados en la cabecera del valle: Martial Oeste, Martial Central y Martial Este (de izquierda a derecha en la imagen). Se destacan las morenas de la Pequeña Edad del Hielo que indican el máximo desarrollo alcanzado en ese período, en el que la extensión de estas unidades (que se mantuvo hasta comenzar el siglo XX) triplicaba la actual. A pocos metros del frente del glaciar Martial Este una estación climática registra temperatura, humedad, precipitación, radiación solar (PIR) y velocidad y dirección del viento. En este cuerpo, la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia, en conjunto con la Universidad Nacional de Tierra del Fuego realiza balance de masa y otras observaciones glaciológicas desde el año 2000 y desde 2008 en el Martial Oeste.



Glaciar Martial desde la pista de esquí

Geoformas G291592E54796S y G684055O547938S

Estas dos geoformas, denominadas glaciar Martial Sur, están ubicadas en el sector sur de la pequeña cuenca del Martial, presentan un estado muy recesivo próximo a su extinción. Actualmente estos pequeños cuerpos de hielo se remiten a los sectores más altos de la ladera.



Vista general de las geoformas

Geoforma G684391O548083S (Glaciar Francisco Seguí)

Unidad que comprende en la parte superior a un glaciar descubierto, en la parte media a un glaciar cubierto y en la parte más baja a un glaciar de escombros; además se observa un manchón de nieve permanente entre la parte de hielo descubierto y la de hielo cubierto. Se ubica en la ladera sur del cerro Francisco Seguí por lo que lo que la unidad adquiere esta denominación. En la parte más baja la unidad está representada por un glaciar de escombros que posee en el frente un talud frontal bien definido con una pendiente de aproximadamente 35° de inclinación. Se observó que la geoforma posee partes inactivas sobre todo en su sector este, con presencia de líquenes sobre la superficie de los detritos. En el mapeo realizado se había incluido un sector que en la corroboración de campo se identificó como glaciar de escombros fósil, por lo que luego del trabajo de campo se estableció la corrección al respecto.



Vista de la totalidad de la geoforma G684391O548083S



Parte de hielo descubierto y manchón de nieve perenne



**Parte de glaciar cubierto. Obsérvese un termokarst típico en la zona de hielo cubierto del glaciar
G6843910548083S**



Sector de glaciar de escombros en la parte más baja

Geoforma G683467O547698S

Pequeño glaciar de escombros activo. Está ubicado en un sector en sombra en la base de una de las paredes que conforman el valle en donde se ubica la laguna Margot. Tiene un talud de gran tamaño e inclinación y se observan bloques grandes en su superficie. Este glaciar de escombros activo no estaba mapeado inicialmente debido a que en las imágenes de la zona se encuentra en sombra este sector del valle. Luego de la identificación en campo se incluyó en el inventario.



Talud frontal del glaciar de escombros

Geoforma G683577O547712S

Inicialmente esta geoforma estaba mapeada como un glaciar de escombros activo en su totalidad. Luego de la corroboración en campo se identificó que la parte inferior del glaciar de escombros poseía características inactivas mientras que la parte superior características activas, es decir, sobre la superficie del sector más alto se evidencia que el material se encuentra dispuesto en forma caótica y removido, a diferencia de su parte inferior en donde los bloques se encuentran más estables y con presencia de vegetación. Es por esto que la geoforma pasó a dividirse en dos partes, activa e inactiva.



Obsérvese el detalle de la superficie de la parte activa del glaciar de escombros G683577O547712S



Talud del glaciar de escombros G683577O547712S (parte inactiva)

Geoforma G683642O547775S

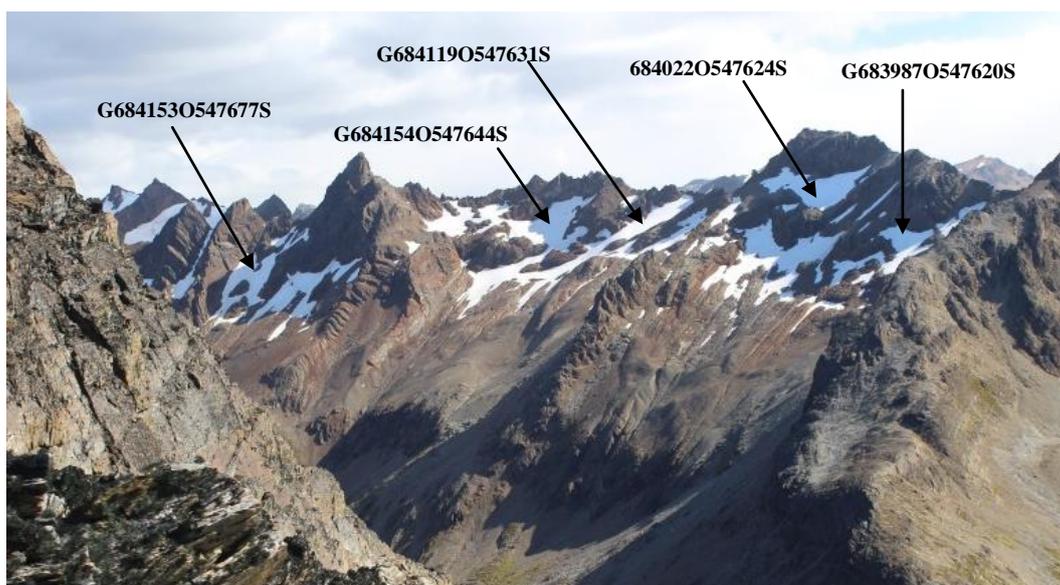
Pequeño glaciar de nicho. Este glaciar, situado en la cara sur del cerro Roy, es el cuerpo de hielo permanente más oriental del cordón Martial, en un evidente estado recesivo, fragmentado por la aparición de afloramientos ante la reducción de su espesor. Presenta morenas de la Pequeña Edad del Hielo situadas por debajo de su frente. Se encuentra aislado del resto de los otros glaciares, ocupando un cuenco rocoso que favorece su persistencia.



Vista desde el valle de la laguna Margot

Geoformas G684153O547677S, G684154O547644S, G684119O547631S, 684022O547624S, G683987O547620S

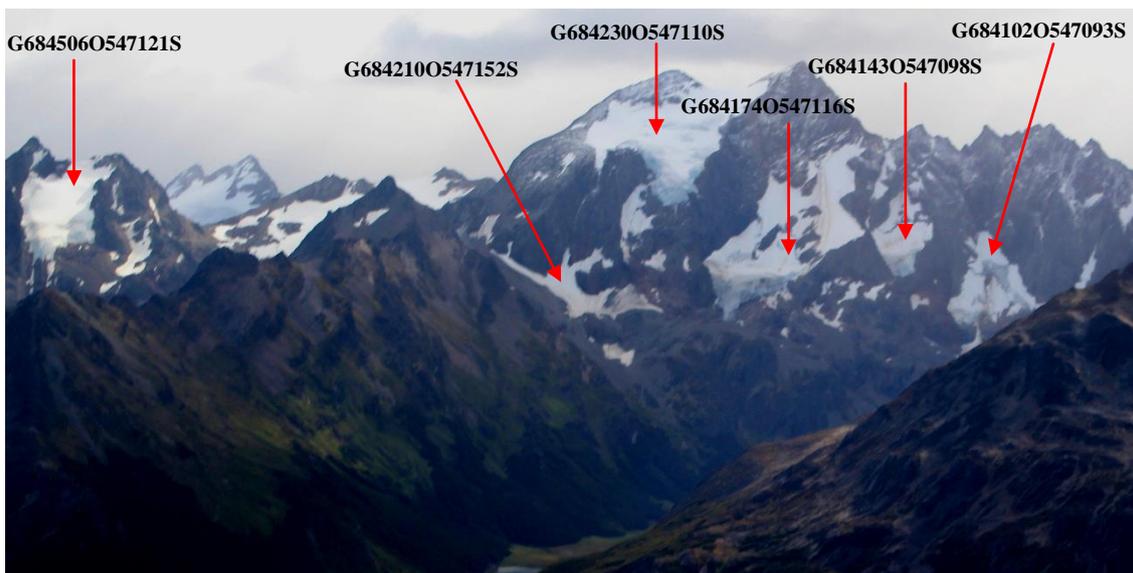
Manchones de nieve y glaciares remanentes que en 1970 conformaban glaciares de mayor tamaño. En el trabajo de campo se pudo corroborar en la identificación y clasificación el mapeo de los cuerpos que se realizó previamente.



Vista desde el portezuelo entre los cerros Roy y Abismo hacia el NO

Geoformas G684506O547121S, G684210O547152S, G684230O547110S, G684174O547116S, G684143O547098S y G684102O547093S

Los glaciares de este sector representan una de las zonas más importantes de la cuenca del Canal Beagle. Se destaca el glaciar colgante del cerro Vinciguerra (en el centro de la imagen) ubicado en el valle de Andorra (no confundir con el glaciar Vinciguerra). Aparece junto a otros glaciares y manchones de nieve perennes más pequeños, emplazados en la pared sur del macizo, todos ellos colgantes. En el extremo izquierdo de la imagen, se aprecia otro importante glaciar situado en el valle tributario adyacente.



Vista general de las geoformas

7.3. Descripción de la base de datos

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

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

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

M0550000

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

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

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

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

5. **ID_local:** código único identificador de cada glaciar que incluye las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma. En el ID_local, dichas coordenadas están expresadas en grados decimales de longitud y latitud con cuatro decimales. Por ejemplo, el ID_local “G6999210328801S” corresponde a un glaciar ubicado a 69.9921° de longitud Oeste y 32.8801° de latitud Sur.
6. **Tipo_geoforma:** esta columna agrupa a cada una de las geoformas inventariadas en base a su tipo principal. Los tipos de geoforma pueden ser:

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

por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias), y de un área mayor o igual a 0,01 km² (una hectárea).

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

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

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

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

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

con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada glaciar cubierto con glaciar de escombros que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

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

8. Nombre común: si lo hubiere.

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

0. Incierto

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

2. Campo de hielo: masa de hielo glaciar, confinada topográficamente, de superficie relativamente plana, y de la cual fluyen glaciares de descarga, y cuya superficie es menor a 50.000 km².

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

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

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

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

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

10. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta

3. Cuenca simple
4. Circo
5. Nicho
6. Cráter
7. Colgante
8. Grupo
9. Remanente

11. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

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

14. Actividad de la Lengua

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

15. Morena_1

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

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

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

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

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

22. Estructura II

0. Incierto

1. Una raíz: una única fuente de alimentación.

2. Multiraíz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.

23. Longitud: coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).

24. Latitud: coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).

25. Área: área de cada polígono expresada en km².

26. Largo_total: largo de cada unidad, considerando la línea de flujo más larga de todo el glaciar, desde la zona más alta, atravesando la unidad hasta el frente de la misma, siempre lo más perpendicular posible a las curvas de nivel. Se expresa en metros (m).

27. H_max_total: Altura máxima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

28. H_med_total: Altura media total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

29. H_min_total: Altura mínima total de la unidad Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm)

30. Pendiente: (Se expresa en grados).

31. Orientación: Correspondiente a los 8 puntos cardinales.

32. H_max_parcial: Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

33. H_med_parcial: Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

34. H_min_parcial: Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

35. Img_ba_F: Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.

36. Img_ba_S: tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc.).

37. Img_ap_F: Fecha de la imagen de apoyo utilizada.

38. Img_ap_S: tipo de sensor que capta la imagen de apoyo empleada.



**Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación**

IANIGLA



CONICET

U. N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de las cuencas del río Grande, lago Fagnano y Canal Beagle en la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.





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

Hoja Adicional de Firmas
Informe gráfico

Número:

Referencia: ING Tierra del Fuego

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 55 pagina/s.