



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de las subcuencas del río
Mayer y lago san Martin
Cuenca del río Mayer y lago
San Martin**

Provincia de Santa Cruz



Monte Tetris, Sierra de las Vacas (Foto: M. Giménez)

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

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

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

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

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

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

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Director técnico: Dr. Mariano Masiokas

Co-Director: Ing. Boris G. Díaz

Profesionales: Ing. Melisa Giménez

Colaboradores: Ing. Leandro Caparros, Lic. Laura Zalazar, Dr. Pierre Pitte, Ing. Silvia Delgado,

Lic. Lidia Ferri Hidalgo, Dr. Daniel Falaschi y Dr. Darío Trombotto

Revisor externo: Dr. Hernán de Angelis

Stockholm University, Suecia

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 2241/5 del año 2015***

Foto de portada: Glaciar Narvaez (Foto: M. Giménez)

AGRADECIMIENTOS

El inventario de la región abarcada en el presente informe ha sido realizado gracias al financiamiento provisto por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), bajo la coordinación técnica y operativa del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA).

Las imágenes satelitales utilizadas en el inventario fueron provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de la República Argentina (CONAE), el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) de Estados Unidos, y el programa internacional Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS).

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que han cooperado para el logro de este inventario, sin cuyo apoyo no hubiese sido posible alcanzar las metas pautadas:

- Ing. Gustavo Costa, Coordinador del Inventario Nacional de Glaciares, por su apoyo constante en la gestión de este proyecto.
- Silvia Delgado, Lidia Ferri, Pierre Pitte y Laura Zalazar por sus contribuciones en los trabajos de campo y gabinete.
- Daniel Falaschi y Darío Trombotto por sus aportes en la digitalización de glaciares de escombros en la región.
- Al propietario de la Estancia Los Nevados, Diego Griel, a Enrique Reichert, propietario de las Estancias El Portezuelo y La Ensenada, a los propietarios de la Estancia Tucutucu, familia Arcal, a Rosario Nahuelpan, puestero de “El 19” de Estancia Bella Vista, al personal del Destacamento “El Bello” de la Gendarmería Nacional, en especial al Comandante Oiene, quienes nos permitieron ingresar a las tierras de la región en estudio y supieron indicarnos las rutas apropiadas para el acceso a los glaciares.

ÍNDICE

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario	9
4.	Materiales y métodos.....	11
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	12
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	12
4.3.	Delimitación del hielo descubierto	15
4.4.	Digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros.....	15
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas	16
4.6.	Control de campo.....	18
5.	Resultados.....	19
5.1.	Cuerpos de hielo de las subcuencas río Mayer – lago San Martín	19
5.2.	Control de campo.....	23
6.	Bibliografía.....	24
7.	Anexos	27
7.1.	Imágenes utilizadas en el Inventario de las subcuencas río Mayer y lago San Martín	27
7.2.	Control de campo de las subcuencas río Mayer y lago San Martín.....	29
7.2.1.	Objetivos.....	29
7.2.2.	Resultados. Geoformas relevadas	29
7.3.	Descripción de la base de datos	43
7.4.	Revisión externa	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Frente del glaciar Narváez	7
Figura 2: Variaciones del área cubierta por glaciares en la Sierra de Sangra entre 1984 y 2005.....	8
Figura 3: Mapa del área de estudio en la provincia de Santa Cruz.....	11
Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología utilizada.	14
Figura 5: Ejemplo de la delimitación de hielo descubierto	15
Figura 6: Ejemplos de glaciares vistos en imagen ASTER del 20 de febrero de 2005 (izquierda), y clasificados en hielo descubierto y hielo cubierto por detrito (derecha)	16
Figura 7: Mapa del Inventario de Glaciares de las subcuencas río Mayer – lago San Martín.	20
Figura 8: Distribución porcentual de los cuerpos de hielo inventariados.....	21
Figura 9: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas río Mayer – lago San Martín.	21
Figura 10: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas río Mayer – lago San Martín	22
Figura 11: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en las subcuencas río Mayer – lago San Martín.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes satelitales de base utilizadas para realizar el inventario de cuerpos de hielo de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín.	13
Tabla 2: Superficie total inventariada en las subcuencas río Mayer – lago San Martín.....	19
Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en las subcuencas río Mayer y lago San Martín.	22

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBERS: China Brazil Earth Resources Satellite

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GCGE: Glaciar cubierto con glaciar de escombros

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GEA: Glaciar de escombros activo

GE: Glaciar de escombros

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media

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 partes que se descongelan de las crioformas tienen una contribución muy importante al caudal de los ríos andinos ya que aportan volúmenes significativos de agua de deshielo a la escorrentía ayudando a minimizar los impactos de las sequías en las actividades socio-económicas de los oasis de regadío. Por ello, la información detallada sobre el número, área y distribución espacial de los cuerpos de hielo no sólo brinda una estimación de las reservas hídricas en estado sólido existentes en las diferentes cuencas andinas, sino también información básica para conocer la capacidad reguladora de dichos cuerpos sobre los caudales de nuestros ríos en condiciones climáticas extremas.

Los glaciares de Argentina constituyen además elementos emblemáticos del paisaje andino, realzando la belleza de los principales atractivos turísticos y generando ingresos significativos para la economía nacional. El ejemplo más claro lo constituye el glaciar Perito Moreno, en el Parque Nacional Los Glaciares, provincia de Santa Cruz, que atrae a cientos de miles de turistas cada año. Los glaciares que rodean a la localidad de El Chaltén (glaciar Torre, Piedras Blancas, y de los Tres, entre otros) también constituyen importantes atractivos turísticos dentro del mismo Parque Nacional, y realzan las imponentes vistas del cerro Torre y Monte Fitz Roy o Chaltén. Otros glaciares muy visitados son los glaciares del Monte Tronador en el Parque Nacional Nahuel Huapi, provincia de Río Negro. El más conocido es tal vez el

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

Los cuerpos de hielo cordilleranos también constituyen excelentes laboratorios naturales para estudios científicos. Además de muchos estudios de índole hidrológica y geológica que pueden desarrollarse utilizando estos laboratorios naturales, los glaciares ocupan un lugar destacado a nivel mundial como indicadores de cambios climáticos pasados y presentes. En efecto, el rápido retroceso de los glaciares en los Andes y otras regiones montañosas del mundo es generalmente considerado como uno de los signos más claros del calentamiento que ha experimentado el planeta en las últimas décadas.

Por otra parte, los cambios relativamente rápidos en los cuerpos de hielo pueden ocasionar eventos potencialmente catastróficos para las poblaciones humanas e infraestructura ubicadas aguas abajo. En la provincia de Mendoza, el evento más conocido ocurrió entre 1933 y 1934 cuando el Glaciar Grande del Nevado del Plomo (ubicado en la subcuenca del río Tupungato) avanzó repentinamente y atravesó el valle del río del Plomo provocando el endicamiento del río y la formación de un lago de aproximadamente 3 km de largo. El 10 de enero de 1934 la presión del agua rompió el dique natural de hielo y originó un aluvión de agua, hielo y rocas que se desplazó por el valle del río del Plomo y continuó por los valles de los ríos Tupungato y Mendoza provocando graves destrozos (el famoso Hotel Cacheuta, por ejemplo, quedó completamente destruido) e incluso víctimas fatales. En 1984 el glaciar avanzó nuevamente y formó un lago de 2,8 km de longitud que afortunadamente drenó en forma gradual a través de una abertura formada en el dique de hielo. En 2007 el mismo glaciar experimentó un nuevo avance que atravesó el valle del río del Plomo pero no formó ningún lago debido a la presencia de un túnel subglacial.

Considerando los servicios ambientales que nos brindan, su alto grado de vulnerabilidad y los riesgos asociados a sus variaciones, los glaciares y geoformas periglaciales son generalmente concebidos como elementos muy valiosos del paisaje que deben ser estudiados, monitoreados y protegidos para poder conocerlos y preservarlos. SE SACÓ PARRAFO AQUÍ FIJARSE!

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

Conscientes de la importancia nacional y regional de los cuerpos de hielo en nuestra Cordillera, entre junio y octubre de 2010 las Honorables Cámaras de Diputados y Senadores

de Argentina convirtieron en Ley un Proyecto de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y el Ambiente Periglacial”, que contempla entre otras medidas, la creación de un Inventario Nacional de Glaciares. El 28 de Octubre de 2010 fue promulgada la Ley 26.639 de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”, la cual establece:

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

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

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

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

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

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

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

El IANIGLA por disposición transitoria (Artículo 15) de la Ley 26.639, creó el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de

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

El presente informe del Inventario Nacional de Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1 en las subcuencas del río Mayer y del lago San Martín. En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares y glaciares de escombros en las subcuencas del río Mayer y del lago San Martín fue elaborado en septiembre de 2013 y aprobado según resolución N°1142/15 del 9 de diciembre de 2015. Este trabajo se realizó siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

2. Antecedentes

A pesar de la importancia que revisten los glaciares y crioformas a lo largo de la Cordillera en Argentina, es difícil entender que todavía no exista información precisa, completa y detallada sobre el número, ubicación y tamaño de dichos cuerpos de hielo. Los escasos inventarios existentes, que representaron los primeros intentos para cuantificar la abundancia de cuerpos de hielo en el país, son mayormente de carácter regional, parciales y, aun cuando constituyen un valioso material de base, muchos de ellos están desactualizados. Aún hoy en la Cordillera de los Andes hay cuencas de gran importancia hidrológica sin ninguna información glaciológica.

El primer inventario de glaciares de Argentina fue realizado por Mario Bertone, del Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico (Bertone 1960). Este inventario incluyó un relevamiento de los cuerpos de hielo en la vertiente argentina de los Andes entre los paralelos 47°30' y 51°S en la provincia de Santa Cruz. Lamentablemente, dada la pequeña escala utilizada (1:500.000), la carta glaciológica elaborada por Bertone sólo incluye los glaciares de mayores dimensiones, en tanto que los restantes glaciares solamente fueron mencionados en fichas anexas que acompañan dicha carta. El tamaño de los cuerpos de hielo fue estimado a partir de un relevamiento aerofotográfico realizado en el año 1947, en tanto que la superficie cubierta por glaciares menores fue establecida por apreciación directa de los operadores durante los trabajos de campo relacionados con el inventario (Bertone 1960). Este inventario proveyó información relacionada con la posición geográfica (latitud y longitud), tipo morfológico, alturas aproximadas del frente, límite superior del englazamiento y superficie estimada de 356 cuerpos de hielo.

Más recientemente, y gracias a la existencia de imágenes satelitales, Aniya y colaboradores (1996) realizaron un inventario de los mayores glaciares en el Campo de Hielo Patagónico Sur. Basados en un mosaico de imágenes Landsat TM de Enero de 1986, los autores determinaron las áreas totales, de acumulación y de ablación para 48 glaciares localizados en ambas vertientes del Campo de Hielo. El área total de hielo ascendía en 1986 a 11259 km² y se establecía al glaciar chileno Pío XI con 1265 km² de extensión como el más grande en América del Sur. Skvarca y De Angelis (2002) actualizaron este trabajo, documentando las fluctuaciones de 39 glaciares durante el periodo 1986-2001. Muchos estudios posteriores han mejorado sensiblemente los conocimientos sobre los grandes glaciares del Campo de Hielo Sur, pero aún existe un gran vacío de información sobre los numerosos glaciares que están ubicados en otros sectores de los Andes del sur de la Patagonia.

Los estudios glaciológicos en la zona del lago San Martín y río Mayer son muy escasos y están principalmente focalizados en la Sierra de Sangra, a unos 50 km al este del límite norte del Campo de Hielo Sur. Hatcher recorrió la zona en 1897 con una expedición científica de la Universidad de Princeton y publicó excelentes fotografías del frente del glaciar Narváez, el cuerpo de hielo más grande de la zona (Hatcher 1903). Estas fotografías han resultado muy útiles como referencia histórica para poder analizar los grandes cambios ocurridos en el frente

de hielo durante el último siglo (Figura 2). En 1966 el famoso geólogo y glaciólogo estadounidense John Mercer también visitó el glaciar Narváez y reportó que debido al retroceso reciente del glaciar se había formado un lago proglacial de unos 2 km de largo que estaba endicado por una morena terminal sin vegetación (Mercer 1968). Las fotografías históricas tomadas por la expedición de Hatcher en 1897 le sugirieron que este lago habría comenzado a formarse hacia fines del siglo XIX. Mercer también encontró al menos dos morenas más antiguas con árboles de unos 200 años creciendo sobre la más externa de ellas. En base a esta evidencia, Mercer estimó que la morena que cerraba el lago se habría formado alrededor del año 1880 mientras que las otras dos morenas datarían del siglo XVII.

En 1998 y 2001 miembros del IANIGLA visitaron este sitio y encontraron numerosos troncos de árboles que habían sido sepultados por una morena durante un avance glaciario y que estaban siendo expuestos por el arroyo que nace del glaciar. Esta morena fue inicialmente asociada a las morenas del siglo XVII descritas por Mercer, pero cuatro dataciones radiocarbono del material enterrado indican que en realidad estos árboles fueron sepultados por uno o varios eventos más antiguos, que aparentemente ocurrieron entre los siglos XII y XIV (Masiokas et al. 2001, 2009). Aproximadamente a unos 700 y 1000 metros valle abajo de estas morenas, Mercer (1968) reporta la existencia de dos sistemas morénicos más, ambos cubiertos por bosque maduro. En base a una datación radiocarbono de una muestra tomada en la base de una turbera ubicada sobre la más externa de estas morenas, Mercer estimó que estos depósitos tendrían una edad mínima de 4300 ± 100 años.

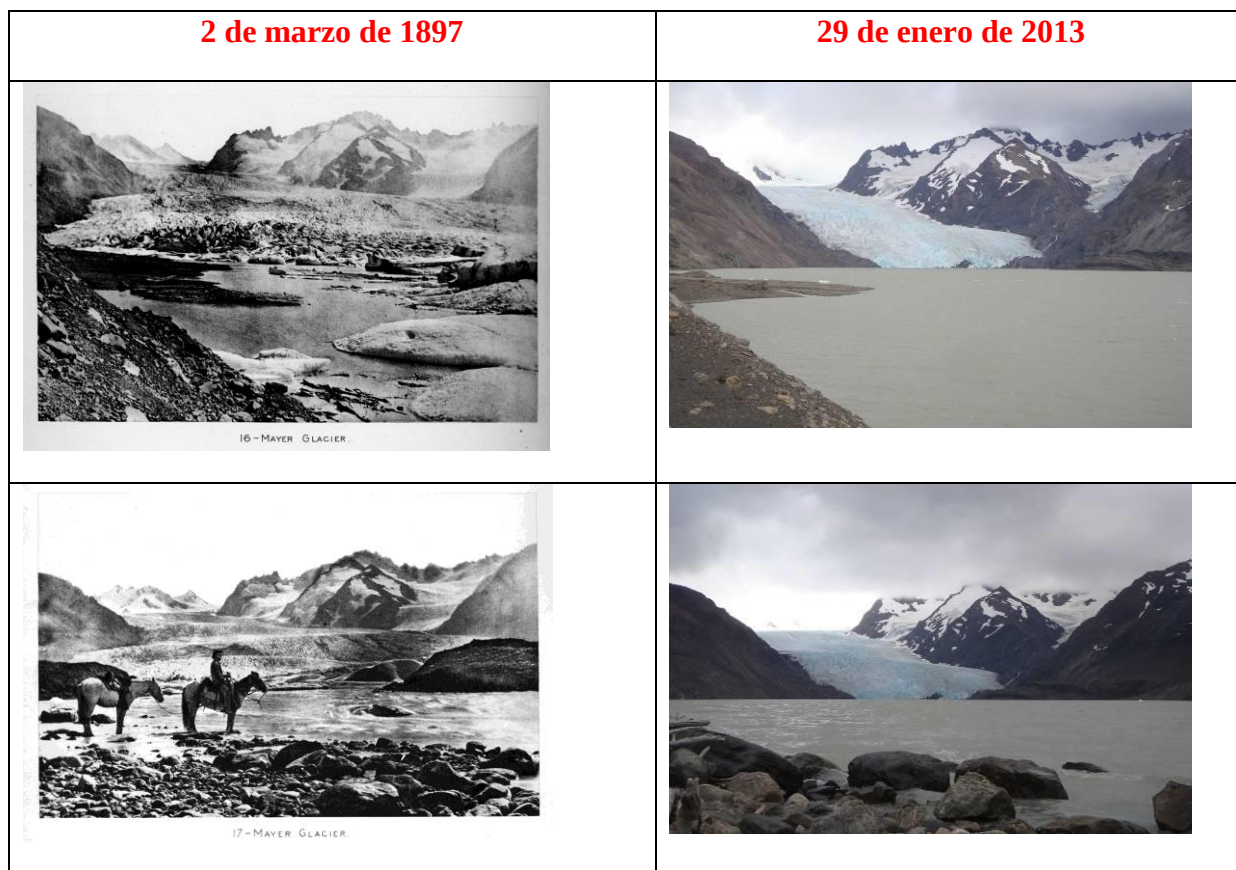


Figura 1: El frente del glaciar Narváez (originalmente llamado Mayer) ha retrocedido marcadamente durante los últimos 116 años. Las fotos de la izquierda fueron tomadas por la expedición científica de Hatcher en 1897 (publicadas en 1903), mientras que las fotos de la derecha fueron tomadas por personal del IANIGLA y SIT Santa Cruz el 29 de enero de 2013.

Los cuerpos de hielo en las subcuencas lago San Martín – río Mayer se encuentran mayormente concentrados en la Sierra de Sangra, en el noroeste del área de estudio. En este cordón montañoso, compartido con Chile, se ubican los cerros Hatcher (1895 m) y Narváez (1850 m). En base a análisis de imágenes satelitales LANDSAT, Delgado et al. (2006) determinaron que entre 1984 y 2005 el área total cubierta por glaciares en la Sierra de Sangra había disminuido de 152 a 125 km², es decir un 18,3% en poco más de dos décadas (Figura 3).

Análisis de imágenes satelitales LANDSAT, 1984-2005

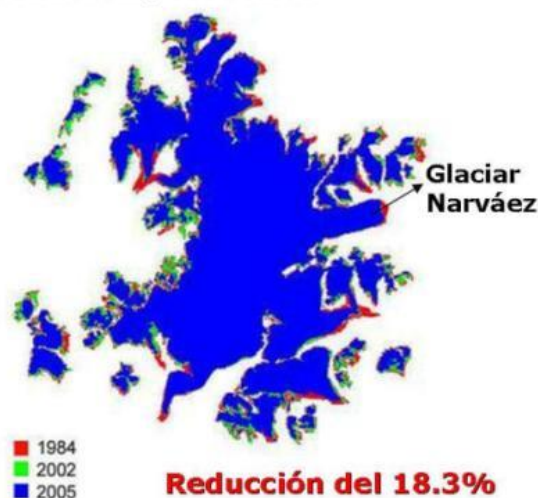


Figura 2: Variaciones del área cubierta por glaciares en la Sierra de Sangra entre 1984 y 2005, en base a mapeos sobre imágenes LANDSAT (Delgado et al. 2006).

Además de la Sierra de Sangra, en el sector norte del área de estudio se destacan los cerros Mayer (2.049 m) y Punta de las Vacas (1.510 m). Las picos más importantes de la porción sur del área de estudio son el cerro Chacabuco (1.479 m), el cerro y meseta del Moro (1.410 m), el cerro Kach Aike (1008 m), y los cerros Bonete (2.122 m), Astillado (2.005 m), Cordón (1.879 m), y Pana (2.012 m). El río Mayer, el más importante de la región, recibe el aporte de numerosos tributarios antes de cruzar el límite internacional entre los hitos N°60 y 61. Entre los principales afluentes del sector argentino del río Mayer se destacan los ríos Carbón, Tucu Tucu, Capón, Narváez, Colón, Ñires y Carrera. Este último río desagua la subcuenca que incluye el sistema lacustre de los lagos Nansen y Belgrano, en la parte norte de la cuenca del río Mayer y lago San Martín (Figura 1). El lago San Martín (O'Higgins en Chile) domina la porción sur del área de estudio y podría describirse como una extensa depresión lacustre de varios brazos circundados por abruptos relieves cordilleranos. El brazo nororiental del lago oficia de límite internacional entre Argentina y Chile en esta porción de los Andes y es el que recibe, ya en territorio chileno, las aguas del río Mayer. El río Pascua nace en el brazo noroccidental del lago y desagua esta cuenca binacional al Océano Pacífico. Para mayores detalles sobre la extensa cuenca hidrográfica del río Mayer - lago San Martín, ver informe preparado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH 2005)¹.

¹ http://www.hidricosargentina.gov.ar/documentos/referencias_i8/80_nueva.pdf

3. Definiciones a los fines del Inventario

A los fines específicos y operativos del Inventario Nacional de Glaciares, el IANIGLA propuso en el documento: “**Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución**”, (http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/fundamentos_cronograma_ejecucion.pdf IANIGLA 2010) definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos de hielo a inventariar dentro del ambiente glacial y periglacial de Argentina. El objetivo de estas definiciones es aclarar las características básicas de los diferentes cuerpos identificados en las imágenes satelitales y los procesos que las originan, para que puedan ser reconocidos por los operadores sin lugar a ambigüedades. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín.

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

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

Glaciar (descubierto y cubierto): Cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve, con o sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea). Dentro de esta definición de glaciar se incluyen a los **manchones de nieve permanentes o glaciaretas** que como no tienen evidencia de movimiento, en general no se consideran glaciares. Sin embargo, dado que los manchones de nieve permanentes o 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 2002; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

Glaciar cubierto con glaciar de escombros. En los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciar de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciar) y el glaciar de escombros glacigénico (ambiente periglacial) en base a sensores remotos, en particular si no se cuenta con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada “glaciar cubierto con glaciar de escombros” que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

Cabe aclarar que en el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo, son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (Corte 1976; Schrott 1996; 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), el programa World Glacier Inventory (WGI), las normativas del Programa Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS), (Racoviteanu et al. 2009), la IPA (International Permafrost Association), y directivas empleadas en inventarios previos en los Andes Centrales y Patagónicos (Corte y Espizúa 1981; Delgado et al. 2010).

Con el fin de facilitar las tareas de inventario de los cuerpos de hielo en la extensa cuenca hidrográfica del río Mayer y lago San Martín, la misma fue dividida originalmente en tres subcuencas: lago San Martín, río Mayer y lago Nansen (IANIGLA 2010). El presente informe se focaliza en el inventario de los cuerpos de hielo de las subcuencas río Mayer y lago San Martín, en la porción sur de la cuenca homónima (ver Figura 3). La subcuenca restante incluye el extenso sistema lacustre de los lagos Nansen, Belgrano y Burmeister, y concentra la mayor cantidad de cuerpos de hielo en el sector sureste del Monte San Lorenzo.

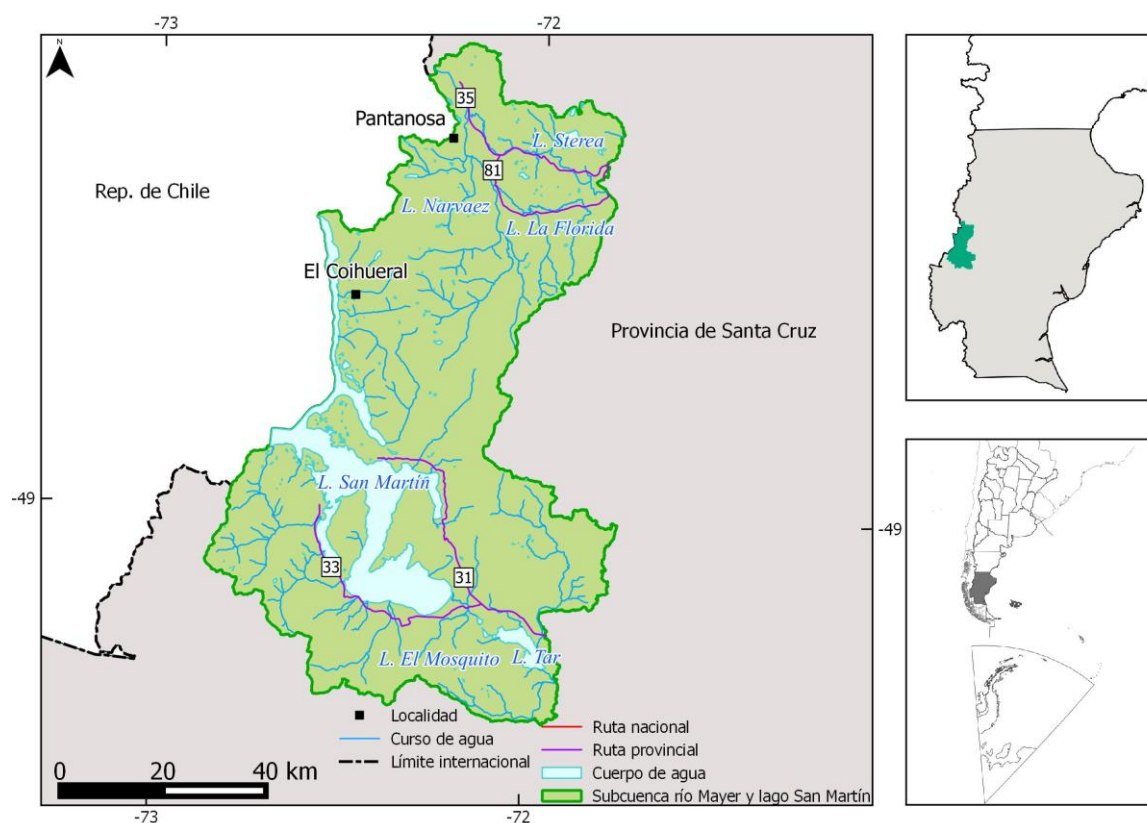


Figura 3: Mapa del área de estudio en la provincia de Santa Cruz, en los Andes del sur de la Patagonia, Argentina.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas se basó en información proveniente de modelos digitales de elevación (MDE) disponibles gratuitamente a través de internet. Los MDE generalmente recomendados para trabajos de mapeo e inventario de glaciares son el SRTM (90 m de resolución) originado en base a imágenes radar, y el GDEM (30 m resolución) desarrollado en base a imágenes estereoscópicas ASTER (Tucker et al. 2004; Fujisada et al. 2005; Racoviteanu et al. 2009). Entre éstos, se decidió trabajar con el GDEM v2 por presentar las características más apropiadas y una mejor resolución espacial que permitió delinear correctamente las cuencas hidrográficas en la zona de estudio.

El programa QGIS (software libre)² fue utilizado para delimitar automáticamente las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de GDEM v2. Para ello se emplearon las herramientas de “eliminación de sumideros”, “análisis de cuencas”, “delimitación de las áreas de acumulación”, “dirección de drenaje”, “segmentos de corrientes” y finalmente la “delimitación de cuencas”. Luego de transformar el resultado de esta delimitación a formato vectorial, se utilizó el programa KOSMO (software libre)³ para la edición y corrección manual de algunos sectores de las cuencas con pequeñas discrepancias entre el límite identificado automáticamente y las evidencias observadas en las imágenes disponibles.

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

La selección de las imágenes satelitales más adecuadas para la detección y mapeo de los glaciares fue realizada siguiendo las normativas establecidas por GLIMS (Racoviteanu et al. 2009; Cogley et al. 2011). Principalmente, se analizaron las imágenes satelitales disponibles en base a su resolución espacial, nivel de contraste, ausencia de nubes, y escasa / nula cobertura de nieve estacional. Para minimizar los posibles errores de mapeo que podría introducir la existencia de nieve en laderas y sectores aledaños a los cuerpos de hielo, se prestó especial atención en la selección de imágenes para que las mismas fueran cercanas al final del verano, cuando la mayor cantidad de nieve del invierno ha desaparecido.

Luego de una evaluación cuidadosa de las opciones disponibles, se decidió realizar el mapeo de cuerpos de hielo sobre un mosaico de imágenes Terra/ASTER de 15 m de resolución espacial tomadas el 20 de febrero de 2005 (Tabla 1). Estas imágenes poseen un excelente contraste y nula o escasísima cobertura de nubes y nieve estacional fuera de los glaciares, lo que facilita enormemente las tareas de mapeo y asegura la calidad y confiabilidad de los resultados finales. Lamentablemente al inicio de las tareas no se contaba con escenas más

² <http://www.qgis.org>

³ <http://www.opengis.es/>

recientes que igualaran o superaran la excelente calidad de las imágenes ASTER del 2005. Pequeñas variaciones en la georreferenciación de las escenas ASTER se corrigieron utilizando como base imágenes Landsat 7 ETM+ (Tabla 1), las cuales son internacionalmente aceptadas como referencia (Tucker et al. 2004). Las imágenes disponibles en el geoservicio online de Google Earth© incluyen imágenes SPOT y GEOEYE de alta resolución y fueron utilizadas como complemento de los mapeos. Este aplicativo permite visualizar en 3D la topografía y detalles del sector de trabajo y constituye una herramienta muy útil sobre todo en el mapeo de los cuerpos de hielo cubierto por detritos y glaciares de escombros. El procedimiento de georreferenciación se realizó con el programa ENVI (ENvironment for Visualizing Images).

En las tareas de mapeo e inventario se utilizó el sistema de referencia global WGS84 y el sistema de proyección UTM (Universal Transversal Mercator) faja 18 Sur. Estos sistemas de referencia y proyección son utilizados internacionalmente, lo que permitirá comparar los resultados obtenidos con estudios realizados en otros países. Las superficies de los cuerpos de hielo están expresadas en kilómetros cuadrados como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes obtenidas a partir del GDEM v2 están referidas al geoide EGM96 y expresadas en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

Tabla 1: Imágenes satelitales de base utilizadas para realizar el inventario de cuerpos de hielo de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha	Resolución espacial	Uso
Terra / ASTER	AST_L1A.003:2028179494	20 febrero 2005	15 m	Base de inventario
	AST_L1A.003:2028179509			
	AST_L1A.003:2028179492			

Las imágenes del sensor ASTER fueron obtenidas gratuitamente a través del NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (http://lpdaac.usgs.gov/get_data), gracias a un convenio entre el proyecto internacional GLIMS y el IANIGLA. Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS).

En la Figura 4 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.

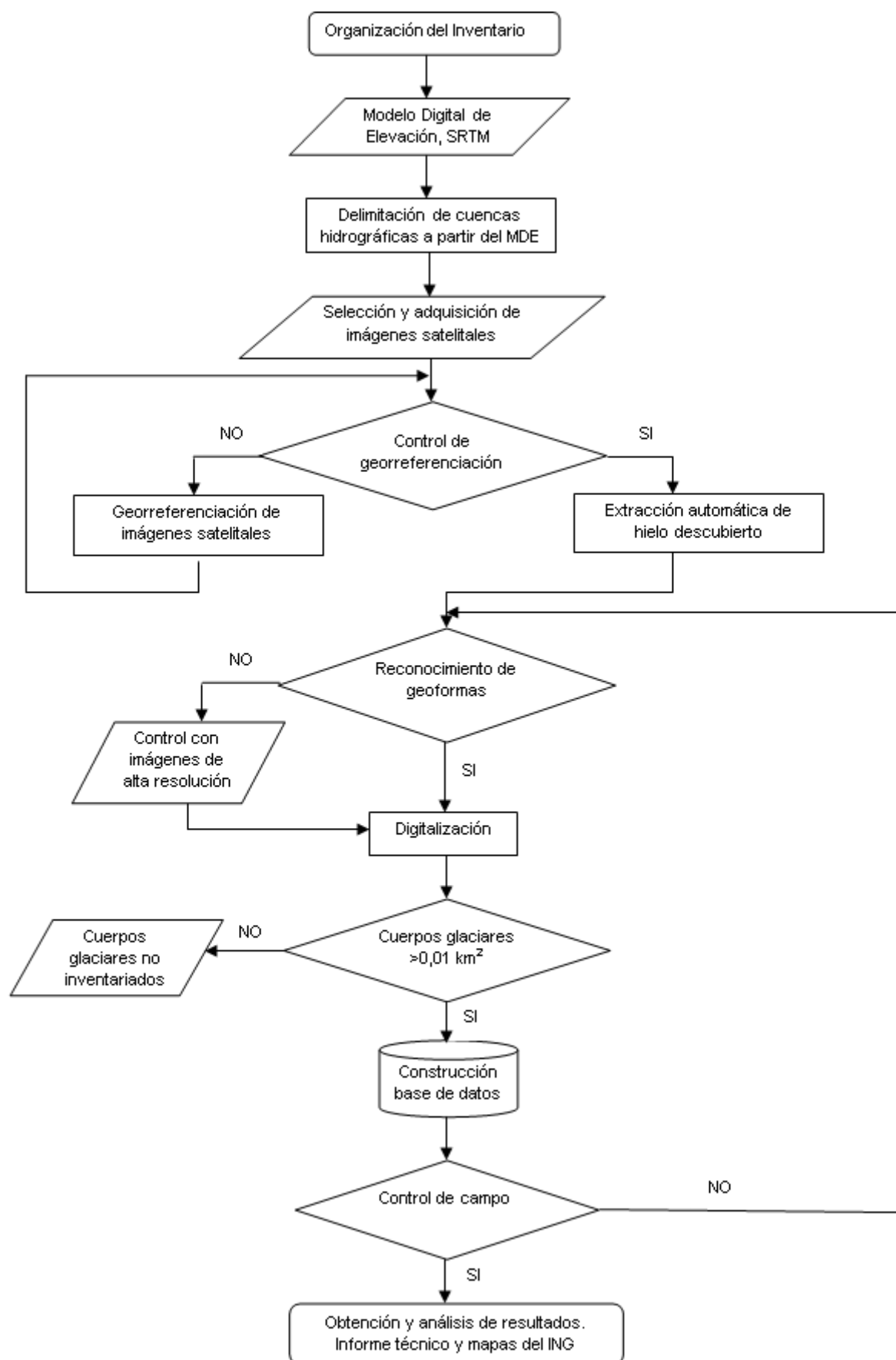


Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología utilizada.

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 (Figuras 5 y 6).

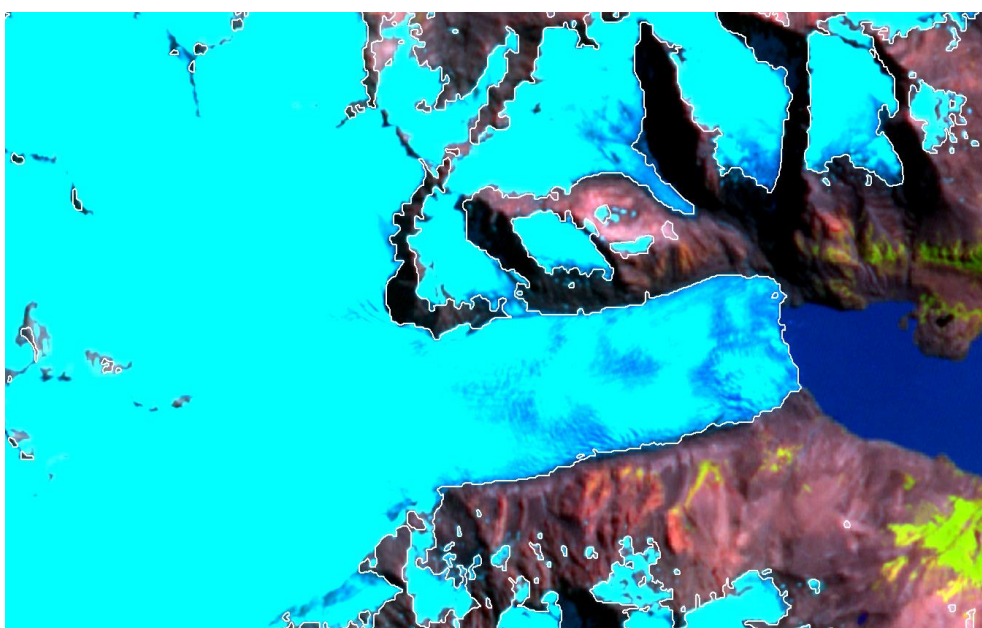


Figura 5: Ejemplo de la delimitación de hielo descubierto (línea blanca) a partir de una clasificación supervisada por objetos. En la imagen se aprecia el frente del glaciar Narváez y otros glaciares menores correctamente identificados. Sólo pequeños sectores en sombra, cubiertos de detrito o clasificados erróneamente como hielo descubierto debieron corregirse posteriormente en forma manual.

4.4. Digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros

Para el mapeo de sectores de glaciares cubiertos por detritos y glaciares de escombros, que no pueden detectarse automáticamente a través de un proceso simple como en el caso del hielo descubierto, la digitalización manual sigue siendo la metodología más utilizada a nivel internacional (Stokes et al. 2007; Racoviteanu et al. 2009). En la subcuenca del río Mayer y lago San Martín los cuerpos con cobertura detrítica son muy escasos, y fueron delimitados manualmente utilizando el programa KOSMO sobre el mosaico ASTER como base. A modo

de complemento, también se utilizaron las imágenes y vistas 3D disponibles en Google Earth©.

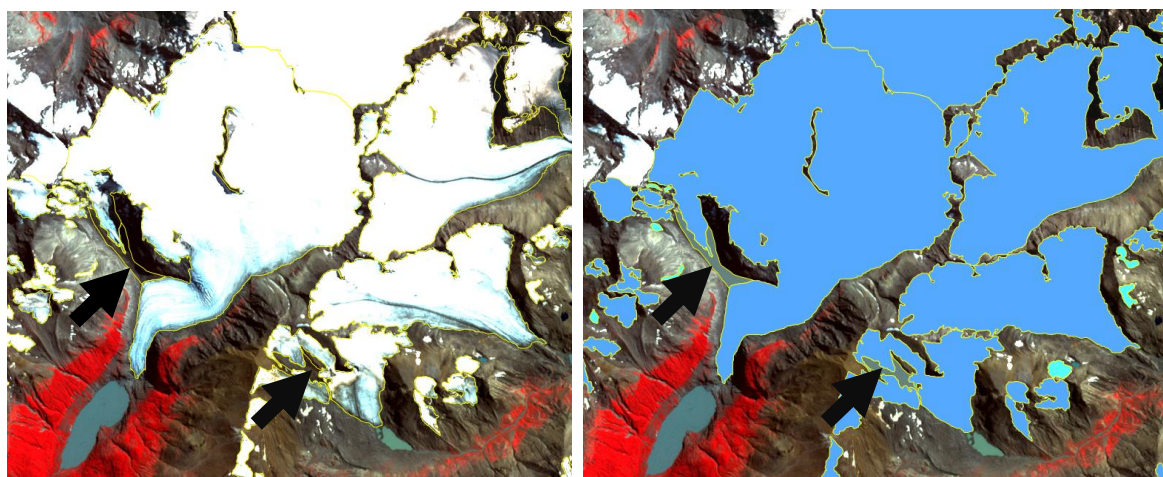


Figura 6: Ejemplos de glaciares vistos en la imagen ASTER del 20 de febrero de 2005 (izquierda), y clasificados en hielo descubierto y hielo cubierto por detrito (derecha). Los sectores de hielo cubierto están marcados con flechas negras.

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín fue desarrollada con el programa KOSMO e incluye la identificación de cada uno de los cuerpos de hielo, su clasificación morfológica, y parámetros específicos como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total (ver Anexo 7.3).

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 de los cuerpos de hielo se ordena en diversos campos de la Base de Datos tal como se detalla en el Anexo 7.3. La clasificación morfológica se basa en la forma y características propias de los cuerpos de hielo. Basándonos en GLIMS las formas primarias son:

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

Mayores detalles sobre la clasificación de los cuerpos de hielo puede encontrarse en Rau et al. (2005)⁴.

Según GLIMS un glaciar o masa de hielo perenne debe ser identificado por un único ID (código identificador), y 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 de identificación de un glaciar (“ID_local” en la base de datos) es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados, y fue generado a partir de las coordenadas geográficas (longitud y latitud) de un punto ubicado en el interior del mismo. Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud Sur. Por ejemplo, el glaciar identificado con el ID_local “G72316O48468S” corresponde al glaciar que contiene un punto situado en los 72,316° de longitud Oeste y 48,468° de latitud Sur.

El código internacional de un glaciar (“ID_GLIMS” en la base de datos) es generado de la misma manera que el identificador local pero referido a las coordenadas de longitud Este 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. Para el ejemplo anterior las coordenadas de longitud referidas al Este serían - 72,316 + 360 = 287,684, y su correspondiente ID_GLIMS “G287684E48468S”. De esta manera se facilita el acceso de la información del inventario a un nivel internacional de referencia. La información sobre la posición geográfica de cada geoforma está indicada además con un código específico que provee información sobre la provincia, la cuenca y

⁴ http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf

subcuenca donde se encuentra el cuerpo de hielo inventariado. Cabe aclarar que en algunos casos, las unidades inventariadas pueden estar compuestas por varias subunidades que identifican distintos tipos de superficies (por ejemplo hielo descubierto y hielo cubierto por detritos) pero que comparten un único ID (Figura 5). Por esta razón el número de glaciares no coincide estrictamente con el número de polígonos o subunidades observados en el mapa.

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. Cuerpos de hielo de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín

La superficie combinada de las subcuencas del río Mayer – lago San Martín es de aproximadamente 5.783 km², de los cuales el 2,64 % (152,81 km²) está cubierta por cuerpos de hielo (Tabla 2 y Figura 7). En total, en el área de estudio se identificaron 453 cuerpos principalmente compuestos por hielo descubierto (91% de la superficie total inventariada). Sólo se detectaron unos pocos sectores de hielo cubierto por detritos, que no alcanzan el 1% de la superficie inventariada. Los manchones de nieve / glaciaretes son bastante numerosos y ocupan en conjunto casi 13 km² (cerca del 9% de la superficie inventariada).

Dentro del ambiente periglacial sólo se incluyó en el inventario a un pequeño glaciar de escombros. Durante el análisis de gabinete de las imágenes satelitales disponibles se identificaron varios “posibles” glaciares de escombros de pequeño tamaño, pero sólo dos de ellos cubrían un área mayor a 0,01 km². Estos dos cuerpos fueron examinados en el campo y uno de ellos fue descartado dado que no presentaba las características morfológicas típicas de estas crioformas. El único glaciar de escombros de esta subcuenca cubre 0,02 km², aproximadamente el 0,01% del total del área inventariada (Tabla 2).

Como se dijo anteriormente, los cuerpos de hielo más grandes se encuentran sobre la conocida Sierra de Sangra. El glaciar Narváez es el de mayor tamaño (28,72 km²) seguido por un glaciar sin nombre con orientación Suroeste (24,44 km²), el glaciar conocido localmente como Hosco (12,28 km²), el glaciar del valle del Capón (6,97 km²) y el glaciar llamado por estancieros de la zona “Narváez Chico” (5,18 km²). Es interesante destacar que sólo estos cinco cuerpos suman 77,13 km², lo que equivale casi al 50,47% del área total inventariada.

Tabla 2: Superficie total inventariada en las subcuencas del río Mayer y lago San Martín.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	139,09
Manchones de nieve/glaciaretes	12,91
Glaciar cubierto	0,79
Glaciar de escombros	0,02
Total	152,81

Nota: (*) No se encontraron sectores de transición que pudieran clasificarse como “glaciar cubierto con glaciar de escombros”.

inventariadas en estas subcuencas es Sureste (Figura 9), lo que coincide con otras regiones de los Andes donde las laderas con menor insolación contienen la mayor cantidad de glaciares y otros cuerpos de hielo.



Figura 8: Distribución porcentual de los cuerpos de hielo inventariados.

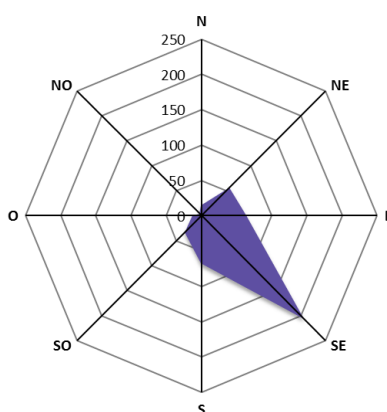


Figura 9: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas río Mayer – lago San Martín.

La Figura 10 muestra resultados interesantes, en concordancia con resultados observados en otras regiones e inventarios de glaciares, en la zona de estudio se observó que los cuerpos de pequeño tamaño representan un porcentaje muy importante en cuanto a cantidad de unidades, pero un porcentaje muy bajo en cuanto a la superficie cubierta total. En la zona de estudio, más del 95% de los 453 cuerpos inventariados tienen un tamaño inferior a 1 km², pero en conjunto sólo cubren el 32,1% del área total. En cambio, los cuerpos más grandes son relativamente pocos, pero cubren proporcionalmente una gran superficie. Los cinco glaciares más grandes de la zona de estudio tienen una superficie promedio de 15 km² y ocupan la mitad del área total inventariada.

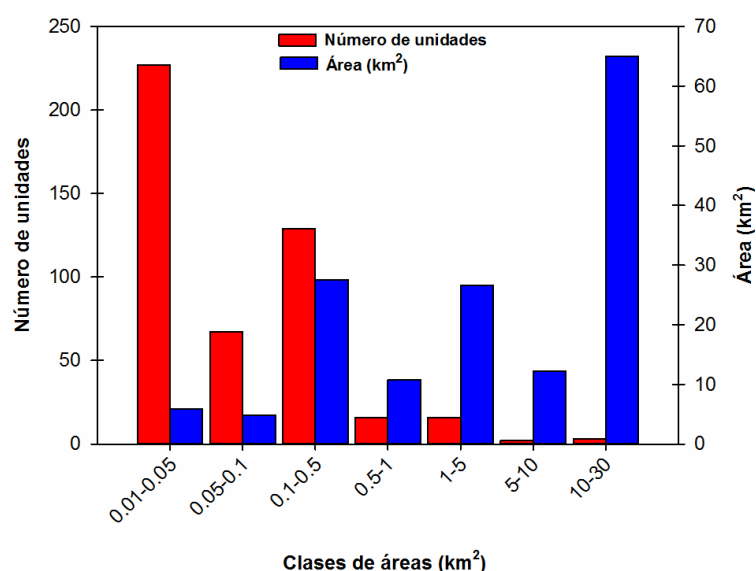


Figura 10: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas del río Mayer y lago San Martín, clasificada en categorías de acuerdo al tamaño de cada unidad.

Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en las subcuencas del río Mayer y lago San Martín.

Tipo de geoforma	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	624	2.207
Manchón de nieve / glaciarete	1.109	2.117
Glaciar cubierto	624	2.037
Glaciar de escombros (GE)	1.571	1.668

Los cuerpos de hielo de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín se encuentran entre los 624 y 2.207 msnm (Tabla 3). Si bien el hielo descubierto se extiende a lo largo de todo este rango altitudinal, la mayor concentración de hielo ocurre entre los 1.500 y 1.800 msnm (Figura 11). Los manchones de nieve / glaciaretes y el hielo cubierto también cubren un extenso rango altitudinal pero en general el hielo cubierto es más abundante en las porciones terminales de algunos glaciares. El único glaciar de escombros inventariado se encuentra entre los 1.600 y 1.700 msnm.

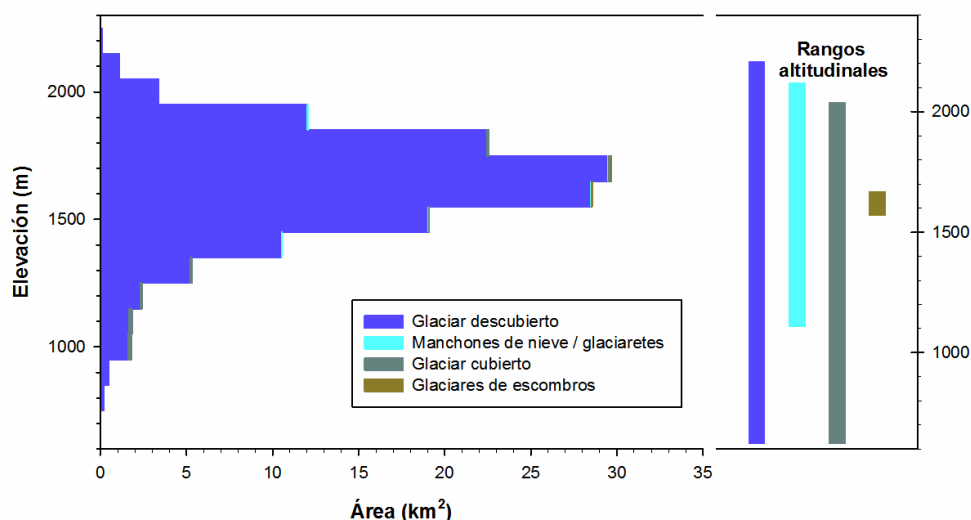


Figura 11: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en las subcuencas del río Mayer y lago San Martín. Nótese la existencia de hielo cubierto sólo en zonas bajas, es decir en las partes terminales de los glaciares.

5.2. Control de campo

El control de campo realizado en el verano de 2013 permitió analizar y evaluar los análisis y mapeos previos realizados en gabinete. Los relevamientos se realizaron en la zona norte y este de la Sierra de Sangra (valle del glaciar Narváez, valle del cerro Hosco y el Cordón de las Vacas), donde se observaron un total de 27 geoformas que, en superficie, representan cerca del 36% del total inventariado.

Los relevamientos de campo demostraron que en general, los resultados de identificación y mapeo de los glaciares no presentan errores importantes. Esto se debe principalmente a que en las subcuencas del río Mayer y lago San Martín la mayor proporción de hielo es del tipo descubierto, y la calidad de la imagen ASTER utilizada es excelente con nula cobertura nubosa y mínima presencia de nieve estacional fuera de los glaciares. Por ello, en general, las tareas de identificación, mapeo y clasificación de las geoformas para el inventario no presentaron mayores problemas. Las modificaciones que se realizaron estuvieron focalizadas principalmente en sectores en sombra o cubiertos por detritos que no habían sido correctamente delimitados en gabinete. Asimismo, en base a la observación directa de campo se decidió excluir un posible glaciar de escombros que había sido identificado en gabinete. El Anexo 7.3. muestra ejemplos de fotografías de los glaciares tomadas en el campo, y de los mismos cuerpos vistos en la imagen ASTER 2005 base del inventario. También se agregan datos relevantes de estos cuerpos y comentarios sobre correcciones o detalles que surgieron durante las tareas de inventario en cada caso.

6. Bibliografía

- Aniya, M., H. Sato, R. Naruse, P. Skvarca, G. Casassa. 1996. The use of satellite and airborne imagery to inventory outlet glaciers of the Southern Patagonia Icefield, South America. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 62, N° 12, 1361-1369.
- Arenson, L., M. Jakob. 2010. The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes – A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 286 - 288.
- Arenson, L. y Jakob, M. 2010. The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes – A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 286 - 288.
- Azócar, G.F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 42 - 53.
- Barsch D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *Third International Conference on Permafrost, Proceedings 1*, 349-353 p. Ottawa, Canada.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, 331 p. Berlin.
- Bertone, M. 1960. Inventario de los glaciares existentes en la vertiente Argentina entre los paralelos 47°30' y 51° S 3. Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico. Buenos Aires, Argentina. 103 p.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16, 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 54 - 66.
- Camara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Garrido, J. 1996. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157 158.
- Corte, A. y Espizúa L.E. 1981. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.

Delgado, S., Villalba, R., Masiokas, M.H. 2006. Remote sensing monitoring of glacier fluctuations in the Patagonian Andes. CONCORD Symposium on Climate Change: “Organizing the Science in the American Cordillera”. Mendoza, Argentina. 4-6 Abril, 2006.

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.

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

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

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

Hatcher, J.B. 1903. Narrative of the Princeton University Expedition to Patagonia, March 1896 to September 1897, Princeton University Press, Princeton (1903) 314 pp.

IANIGLA. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución, (2010) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza.

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

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

Masiokas, M., R. Villalba, S. Delgado, D. Trombotto, B. Luckman, A. Ripalta and J. Hernandez, 2001. Dendrogeomorphological reconstruction of glacier variations in northern Patagonia during the past 1000 years. In: M. Kaennel Dobbertin and O.U. Bräker, Editors, Abstracts from the International Conference on Tree Rings and People, Davos, Switzerland (2001), p. 177.

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), 242-268.

Mercer, J.H. 1968. Variations of some Patagonian glaciers since the Late-Glacial, American Journal of Science 266 (1968), pp. 91–109.

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

Otto, J-Ch., Götz, J., Keuschnig, M., Hartmeyer I., Trombotto D. y Schrott, L. 2010. Geomorphological and geophysical investigation of a complex rock glacier system - Morenas

Coloradas valley (Cordon del Plata, Mendoza, Argentina). Geophysical Research Abstracts, EGU2010-3625, Vol. 12.

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

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

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

Skvarca, P., H. De Angelis. 2002. Fifteen Year Changes of Southern Patagonia Icefield Glaciers, Argentina-Chile, Detected from Landsat TM Mosaics. *Proceedings of 29th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Bs. As., Abril 8-12, 2002.

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

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

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

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

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

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

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

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

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el Inventario de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el Inventario de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín..

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

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

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

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
L71231094_09420050227	27 febrero 2005	Base georreferenciación
L71231094_09420080119	19 enero 2008	Base georreferenciación

Satélite: **TERRA**

Sensor: ASTER

Resolución espacial: 15 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST_L1A.003:2028179494	20 febrero 2005	Base Inventario
AST_L1A.003:2028179509	20 febrero 2005	Base Inventario
AST_L1A.003:2028179492	20 febrero 2005	Base Inventario

7.2. Control de campo de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín

7.2.1. Objetivos

Los objetivos de la campaña fueron:

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

En este Anexo se muestran ejemplos de algunos glaciares inventariados en las subcuencas río Mayer – lago San Martín. A la izquierda figuran las fotografías tomadas en la campaña de enero-febrero de 2013, y a la derecha se muestran los mismos glaciares en la escena ASTER del 20 de febrero de 2005. También se incluyen datos relevantes y comentarios relacionados a las tareas de inventario de cada caso.

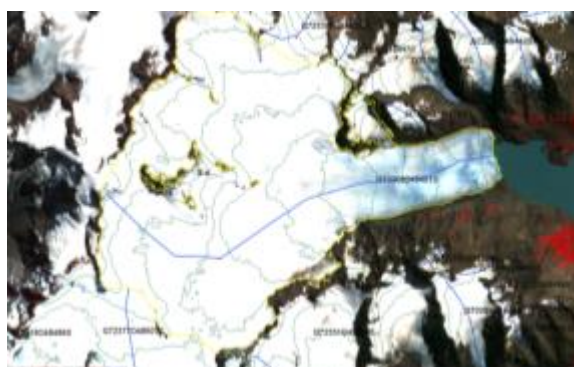
7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

Foto de campo



28 de enero de 2013

Imagen ASTER (20 de febrero de 2005)



ID local: **G72358O48481S**

Nombre común: Glaciar Narváez

Clasificación primaria: Glaciar de valle

Forma: Cuenca compuesta

Frente: de desprendimiento

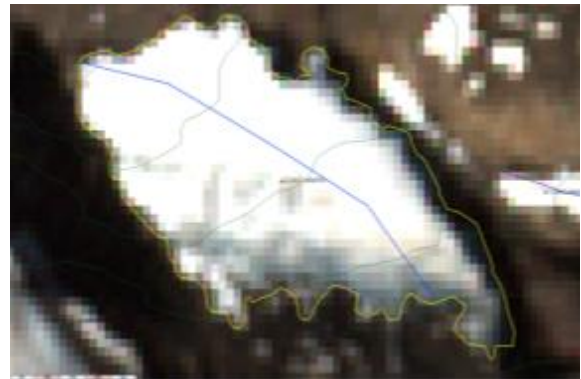
Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 28,9909 km²; Largo total: 9164 m

Latitud: 48,4817 S; Longitud: 72,3588 O

Orientación: NE; Pendiente media: 13°

Comentarios: Sin dificultad para identificar los límites del hielo y clasificar el glaciar.



30 de enero de 2013

ID local: **G72307O48455S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña; Forma: Nicho

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,2851 km²; Largo total: 842 m

Latitud: 48,4556 S; Longitud: 72,3072 O

Orientación: SE; Pendiente media: 28°

Comentarios: Sin dificultad para identificar los límites del hielo y clasificar el glaciar. Nótese la presencia de nieve estacional en la fotografía de 2013.



28 de enero de 2013

ID local: **G72299O48455S**

Nombre común: No posee

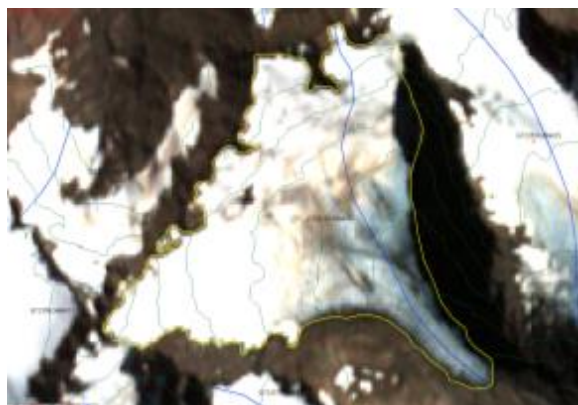
Clasificación primaria: Manchón de nieve/glaciarete

Área: 0,0311 km²

Latitud: 48,4555S; Longitud: 72,2991O

Orientación: SE; Pendiente media: 27°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites ni en la clasificación del glaciarete.



30 de enero de 2013

ID local: **G72306O48446S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña; Forma: Cuenca simple

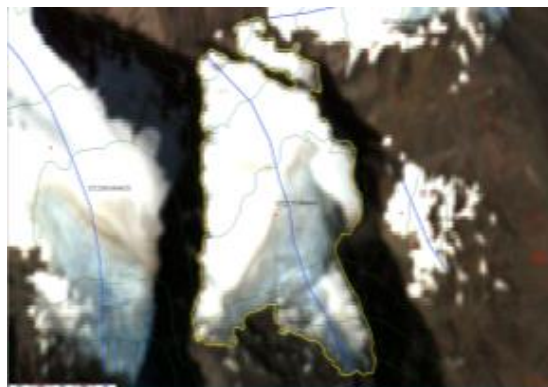
Cobertura de la lengua: Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)

Área: 1,7778km²; Largo total: 2075 m

Latitud: 48,4464S; Longitud: 72,306 O

Orientación: SE; Pendiente media: 24°

Comentarios: Sin mayores dificultades en la clasificación del glaciar. En gabinete se había clasificado la cobertura de lengua sin detritos pero en campo se observó la presencia de éstos sobre la porción terminal de la lengua. Pequeña porción en sombra en la zona de acumulación fue digitalizada a mano.



30 de enero de 2013

ID local: **G72275O48444S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,7827km²; Largo total: 1484 m

Latitud: 48,4447S; Longitud: 72,2751°

Orientación: SE; Pendiente media: 21°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar. Notar la presencia de nieve estacional en la fotografía de 2013.



28 de enero de 2013

ID local: **G72267O48444S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Manchón de nieve/glaciarete

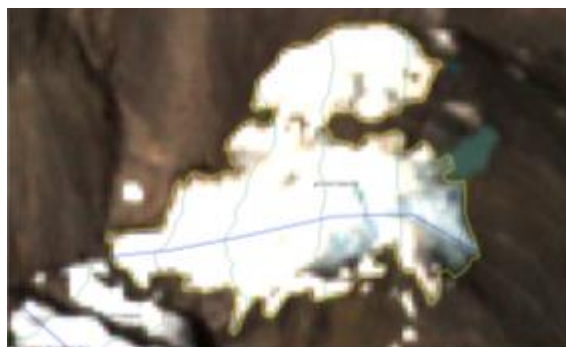
Área: 0,1148 km²

Latitud: 48,4444 S; Longitud: 72,2672O

Orientación: SE; Pendiente media: 31°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites ni en la clasificación del glaciarete.

Notar la presencia de nieve estacional en la fotografía de campo.



1 de febrero de 2013

ID local: **G72267O48435S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Circo

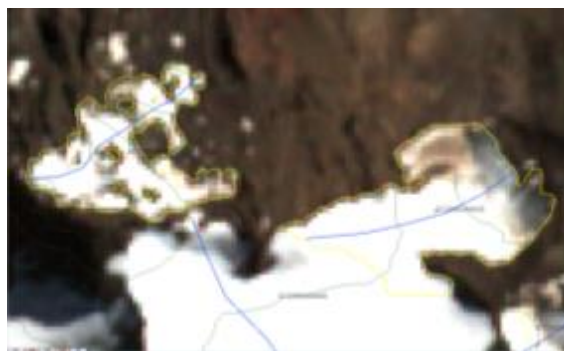
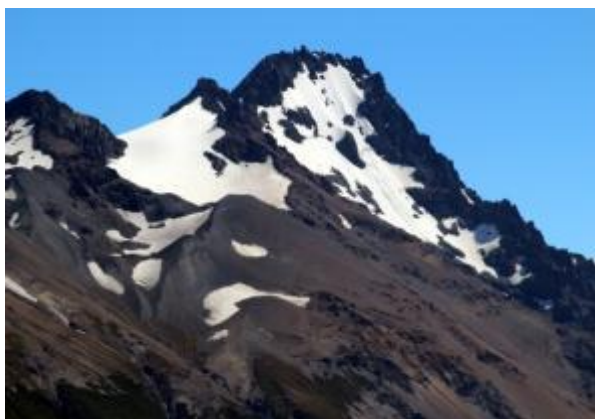
Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,5614 km²; Largo total: 1173 m

Latitud: 48,4353S; Longitud: 72,2677O

Orientación: SE; Pendiente media: 26°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



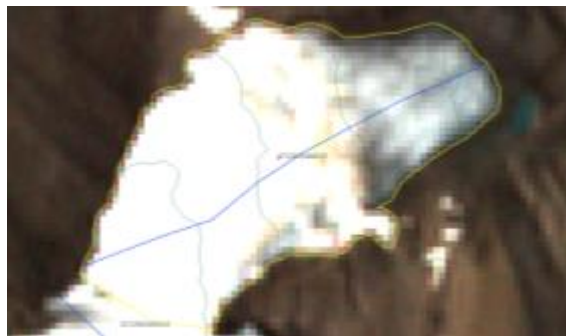
28 de enero de 2013

ID local:	G72297O48480S (al Oeste en la imagen satelital)	G72284O48482S (al Este en imagen satelital)
Nombre común:	No posee	No posee
Clasificación primaria:	Glaciar de montaña	Glaciar de montaña
Forma:	Colgante	Colgante
Cobertura de la lengua:	Sin detrito	Sin detrito
Área:	0,1626 km ²	0,2404 km ²
Largo total:	657 m	712 m
Latitud:	48,4808S	48,4821S
Longitud:	72,298 O	72,2847°
Orientación:	N	NE
Pendiente media:	41°	24°
Comentarios:	Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación de estos glaciares.	



28 de enero de 2013

ID local:	G72276O48484S (primero desde el Norte en imagen satelital)	G72280O48485S (segundo desde el Norte)	G72277O48488S (tercero desde el Norte)
Nombre común:	No posee	No posee	No posee
Clasificación primaria:	Manchón de nieve / glaciarete	Glaciar de montaña	Glaciar de montaña
Forma:	No aplica	Nicho	Nicho
Cobertura de la lengua:	No aplica	Sin detrito	Sin detrito
Área:	0,0284km ²	0,0551 km ²	0,0918km ²
Largo total:	No aplica	252 m	494 m
Latitud:	48,4849S	48,4858 S	48,4889 S
Longitud:	72,2762°	72,2801 O	72,2772 O
Orientación:	NE	NE	NE
Pendiente media:	22°	30°	31°
Comentarios:	Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación de estos cuerpos.		



1 de febrero de 2013

ID local: **G72291O48432S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,4465km²; Largo total: 1089 m

Latitud: 48,4323 S; Longitud: 72,291 O

Orientación: NE; Pendiente media: 23°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



1 de febrero de 2013

ID local: **G72293O48394S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Manchón de nieve/glaciarete

Área: 0,1417 km²

Latitud: 48,5989 S; Longitud: 72,3394 O

Orientación: NE; Pendiente media: 22°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites ni en la clasificación del glaciarete.



1 de febrero de 2013



ID local: **G72294O48388S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Circo; Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,2194 km²; Largo total: 646 m

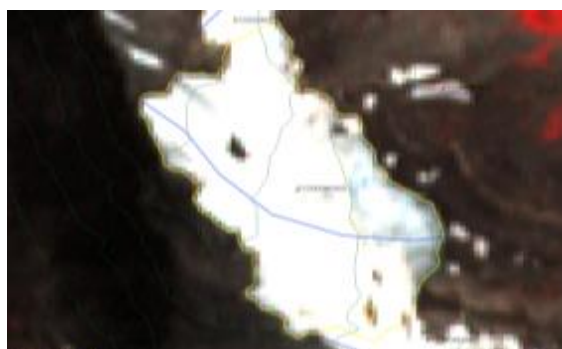
Latitud: 48,3889 S; Longitud: 72,2944 O

Orientación: SE; Pendiente media: 21°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



1 de febrero de 2013



ID local: **G72300O48383S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña / Forma: Nicho

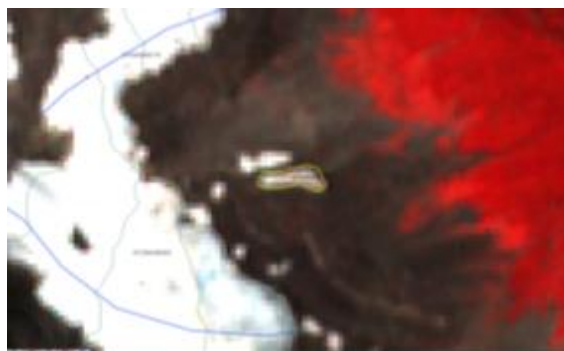
Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,4862 km²; Largo total: 1077 m

Latitud: 48,3833 S; Longitud: 72,3002 O

Orientación: SE; Pendiente media: 23°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



1 de febrero de 2013

ID local: **G72294O48380S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Manchón de nieve/glaciarete

Área: 0,0101 km²

Latitud: 48,3804 S; Longitud: 72,2943 O

Orientación: SE; Pendiente media: 24°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciarete.



1 de febrero de 2013

ID local: **G72302O48377S**

Nombre común: No posee.

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Colgante

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,1586 km²; Largo total: 632 m

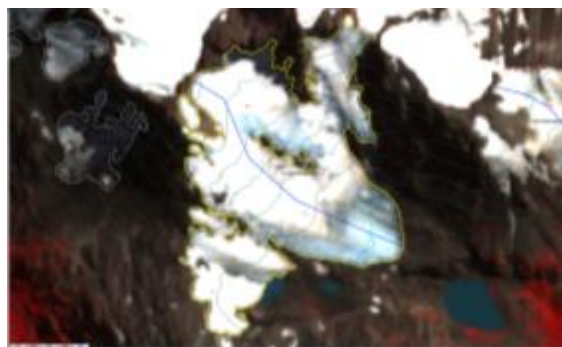
Latitud: 48,3779 S; Longitud: 72,3027 O

Orientación: SE; Pendiente media: 30°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



1 de febrero de 2013



ID local: **G72315O48359S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 1,5967 km²; Largo total: 1.768 m

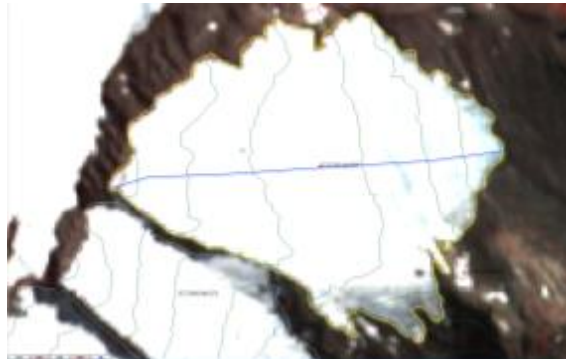
Latitud: 48,359 S; Longitud: 72,315O

Orientación: SE; Pendiente media: 26°

Comentarios: Excepto por algunos sectores en sombra que se delimitaron manualmente, sin mayores dificultades en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar. .



1 de febrero de 2013



ID local: **G72376O48405S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña / Forma: Circo

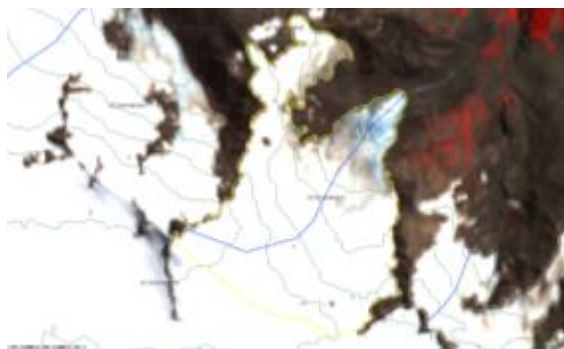
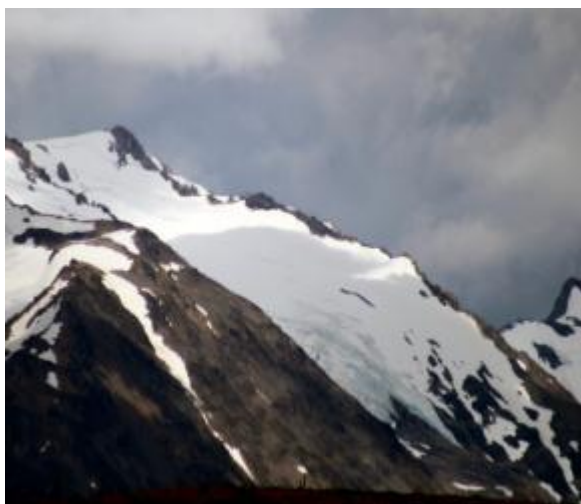
Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 1,8418 km²; Largo total: 1.936 m

Latitud: 48,4058 S; Longitud: 72,376 O

Orientación: SE; Pendiente media: 21°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación.



1 de febrero de 2013

ID local: **G72338O48442S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 1,5624 km²; Largo total: 18807 m

Latitud: 48,4427 S; Longitud: 72,3389 O

Orientación: NE; Pendiente media: 26°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



30 de enero de 2013

ID local: **G72270O48488S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Manchón de nieve/glaciarete

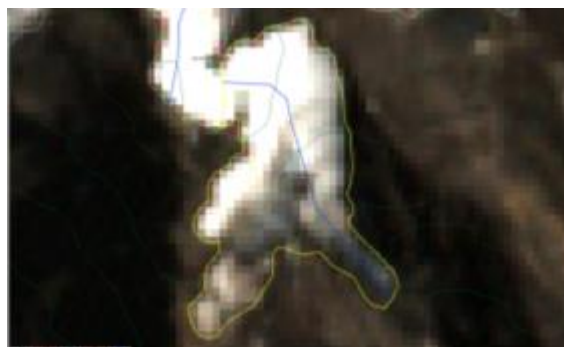
Area: 0,027 km²

Latitud: 48,4888 S; Longitud: 72,2704 O

Orientación: SE; Pendiente media: 30°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites ni en la clasificación del glaciarete.

Notar la presencia de nieve estacional en la fotografía.



30 de enero de 2013

ID local: **G72274O48492S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

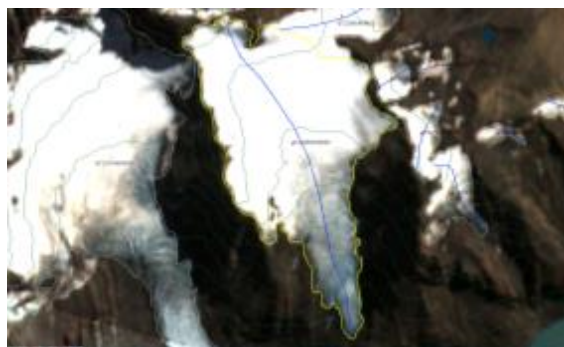
Cobertura de la lengua: Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)

Área: 0,1471 km²; Largo total: 620 m

Latitud: 48,4924 S; Longitud: 72,2744°

Orientación: SE; Pendiente media: 34°

Comentarios: Sin mayores dificultades en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar. Pequeño sector cubierto por detrito delimitado manualmente.



30 de enero de 2013

ID local: **G72288O48489S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

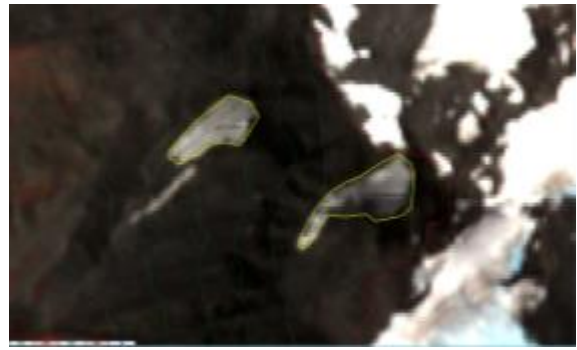
Perfil longitudinal: Cascada

Cobertura de la lengua: Sin detrito / Área: 1,4451 km²; Largo total: 2.305 m

Latitud: 48,4898 S; Longitud: 72,2887 O

Orientación: S; Pendiente media: 21°

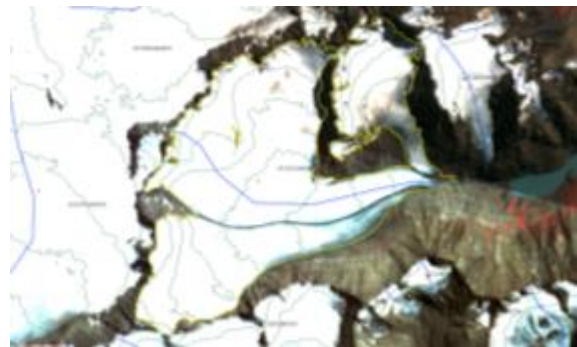
Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación. En la fotografía sólo puede verse el frente del glaciar debido a la pendiente de la ladera.



1 de febrero de 2013

ID local:	G72124O48244S (al Oeste en la imagen satelital)	G72116O48247S (al Este en imagen satelital)
Nombre común:	No posee	No posee
Clasificación primaria:	Manchón de nieve/glaciarete	Manchón de nieve/glaciarete
Area:	0,0452 km ²	0,0687 km ²
Latitud:	48,2448 S	48,247 S
Longitud:	72,1243 O	72,1161 O
Orientación:	SO	SO
Pendiente media:	25°	23°
Comentarios:	Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación de estos glaciaretes.	

1



2



3



30 de enero de 2013

ID local: **G72331O48505S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de valle

Forma: Cuenca compuesta

Perfil longitudinal: Coalescente no contribuyente

Cobertura de la lengua: Parcialmente cubierta de detrito (10-50%)

Area: 12,2764 km²

Largo total: 4798 m

Latitud: 48,5051 S

Longitud: 72,3312O

Orientación: E

Pendiente media: 17°

Comentarios: Sin mayores dificultades en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar. Foto 1: Porción terminal de la lengua principal del glaciar. Pequeños sectores cubiertos por detrito fueron mapeados a mano. En las fotos 2-3 se observa el sector de hielo cubierto (morena central) donde confluyen la lengua secundaria y la lengua principal del glaciar.

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

9. Cuenca

10. Subcuenca

11. 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.

12. ID_local: código único identificador de cada glaciar que incluye las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma. En el ID_local, dichas coordenadas están expresadas en grados decimales de longitud y latitud con cuatro decimales. Por ejemplo, el ID_local “G699921O328801S” corresponde a un glaciar ubicado a 69.9921° de longitud Oeste y 32.8801° de latitud Sur.

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

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

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

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

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

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

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

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

14. 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.

15. Nombre común: si lo hubiere.

16. 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.

17. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta

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

18. 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 km^2 .
26. **Largo_total:** largo de cada unidad, considerando la línea de flujo más larga de todo el glaciar, desde la zona más alta, atravesando la unidad hasta el frente de la misma, siempre lo más perpendicular posible a las curvas de nivel. Se expresa en metros (m).
27. **H_max_total:** Altura máxima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
28. **H_med_total:** Altura media total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
29. **H_min_total:** Altura mínima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
30. **Pendiente:** (Se expresa en grados).
31. **Orientación:** Correspondiente a los 8 puntos cardinales.
32. **H_max_parcial:** Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
33. **H_med_parcial:** Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
34. **H_min_parcial:** Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
35. **Img_ba_F:** Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.
36. **Img_ba_S:** tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc.).
37. **Img_ap_F:** Fecha de la imagen de apoyo utilizada.
38. **Img_ap_S:** tipo de sensor que capta la imagen de apoyo empleada.

7.4. Revisión externa

Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial

Formulario de Evaluación del Inventario

1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre y Apellido del Evaluador/a	Hernán De Angelis
Institución	Universidad de Estocolmo, Estocolmo, Suecia
Profesión y experiencia en inventarios de glaciares (ADJUNTAR CV)	Glaciólogo, investigador y docente universitario. Ver CV adjunto.
Subcuenca evaluada	Rio Mayer y Lago San Martín
Provincia	Santa Cruz
Fecha de recepción del material	2013-08-13
Fecha de entrega del material evaluado	2013-09-09

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las imágenes son adecuadas para el tipo de trabajo	SI	NO
Si, la imagen ASTER del 2005-02-20 es excelente y probablemente la mejor que existe disponible hasta el momento con esa resolución.		
El MDE es adecuado para el tipo de trabajo	SI	NO
Si, el GDEM es adecuado para este fin.		
La metodología propuesta le parece apropiada	SI	NO

Si. La metodología está acorde con las prácticas recomendadas y reconocidas internacionalmente.

3. INVENTARIO

La clasificación de hielo descubierto es adecuada	SI	NO
Si, el mapeo e interpretación son excelentes.		
La digitalización manual está bien realizada	SI	NO
Si.		
La base de datos se adapta a lo requerido por un inventario de estas características	SI	NO
Si, casi toda la información relevante está presente, aunque no me fue posible encontrar la denominación común de los glaciares en el archivo Shape.		

4. INFORME

El informe es claro y explica bien el objetivo del trabajo	SI	NO
Si, el informe está muy bien escrito y es muy claro.		

5. RESULTADOS

Comentarios y observaciones del inventario
Es adecuada la información provista
Si, la información es relevante y está muy bien presentada. El informe es fácil de leer y entender.
Considera necesario proveer más información
No, no es necesario.

6. EVALUACIÓN

Cómo evaluaría el producto final obtenido
Aprobado
Aprobado con observaciones
Falta añadir a la base de datos del archivo Shape los nombres comunes de los glaciares.
Rechazado

Estocolmo, Suecia, 2013-09-010



Dr. Hernán De Angelis

.....
LUGAR Y FECHA
ACLARACIÓN

FIRMA Y



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



CONICET

U. N. C U Y O
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín, cuenca del río Mayer y lago San Martín, provincia de Santa Cruz.

