



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de la subcuenca del
río Chico Alto
Cuenca del río Chico**

Provincia de Santa Cruz

**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. Lucas Ruiz

Profesional: Ing. Melisa Giménez

Colaboradores: Lic. Daniel Falaschi, Lic. Lidia Ferri Hidalgo, Ing. Francisco Mattenet, Téc. Juan

Pablo Scarpa, Dr. Darío Trombotto y Lic. Laura Zalazar

Mayo 2018

***La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial, establecida por el PEN por ley N°
22963 -a través del IGN- y fue aprobada por expediente GG15 2241.3/5 del año 2016***

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario	7
4.	Materiales y métodos	9
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación.....	10
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación.....	11
4.3.	Delimitación del hielo descubierto.....	12
4.4.	Digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros	13
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas	14
4.6.	Control de campo	16
5.	Resultados	18
5.1.	Cuerpos de hielo de la subcuenca del río Chico Alto, cuenca del río Chico.	18
5.2.	Control de campo.....	22
6.	Bibliografía.....	23
7.	Anexos.....	26
7.1.	Imágenes utilizadas en el Inventario de la subcuenca del río Chico Alto.....	26
7.2	Control de campo de la subcuenca del río Chico Alto.	28
7.2.1.	Objetivos	28
7.2.2.	Resultados. Geoformas relevadas	29
7.3.	Descripción de la base de datos.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Subcuenca del río Chico Alto, provincia de Santa Cruz, en los Andes del sur de la Patagonia, Argentina.	10
Figura 2: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.	13
Figura 3: Ejemplo de la importancia que tienen las imágenes de alta resolución para delimitar geoformas pequeñas. A la izquierda puede observarse, en una imagen ASTER de 15 m de resolución, un pequeño glaciar de escombros. A la derecha la misma crioforma, con mucha mayor definición, en una imagen PRISM de 2,5 m de resolución.	13
Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología utilizada.	17
Figura 5: Mapa general de la subcuenca del río Chico Alto con las geoformas inventariadas.	19
Figura 6: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Chico Alto.	20
Figura 7: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Chico Alto.	20
Figura 8: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Chico Alto, clasificada en categorías de acuerdo al tamaño de cada unidad.	21
Figura 9: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en la subcuenca del río Chico Alto.	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes satelitales utilizadas para realizar el inventario de cuerpos de hielo de la subcuenca del río Chico Alto.	12
Tabla 2: Superficie total inventariada en la subcuenca del río Chico Alto.	18
Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en la subcuenca del río Chico Alto.	21

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBERS: China-Brazil Earth Resources Satellite

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GCGE: Glaciar cubierto con glaciar de escombros

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GE: Glaciar de escombros

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media de la geoforma

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales

IPA: International Permafrost Association

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil

LANDSAT: Serie de satélites de observación terrestre manejados por la NASA y el USGS

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

NASA: National Aeronautics and Space Administration (Estados Unidos)

PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina

USGS: United States Geological Survey

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

1. Introducción

Argentina es uno de los pocos países del mundo que cuenta con varios miles de kilómetros cuadrados de glaciares y permafrost de montaña rico en hielo en su territorio. Según cálculos aproximados, Sudamérica tendría cerca de 25.500 km² cubiertos por glaciares, con un 15% del área total ubicada en Argentina (Williams y Ferrigno 1999; WGMS-UNEP 2007). Nuestro país ocupa el segundo lugar después de Chile, que contiene el 75% del área total de glaciares sudamericanos. Estos porcentajes colocan tanto a Chile como a la Argentina en una posición privilegiada con respecto a otros países, pero también les otorgan un mayor grado de responsabilidad para el estudio, monitoreo y protección de los glaciares en esta región del planeta. Sin embargo, a pesar de la gran extensión de hielo que existe en nuestro país y su clara importancia socio-económica, geopolítica, ambiental y científico-académica, el conocimiento actual sobre los glaciares y el ambiente periglacial en la Argentina es muy limitado. Si bien en las últimas décadas se ha avanzado significativamente en el estudio de nuestros cuerpos de hielo, aún hoy sólo un puñado de sitios han sido analizados en detalle, y en la actualidad no existe información sobre la ubicación, área total, significancia hidrológica o la historia reciente de los glaciares y geoformas periglaciales (también llamadas crioformas) a lo largo de vastas porciones de la Cordillera de los Andes.

Entre otros atributos, los cuerpos de hielo constituyen componentes cruciales del sistema hidrológico de montaña y son reconocidos como “reservas estratégicas” de agua para las zonas bajas adyacentes y gran parte de la diagonal árida del país. Si bien la nieve que se acumula cada invierno en la Cordillera de los Andes constituye la principal fuente de agua para los ríos del oeste argentino, en años “secos” o con baja precipitación nival, los glaciares y partes que se descongelan de las crioformas tienen una contribución muy importante al caudal de los ríos andinos ya que aportan volúmenes significativos de agua de deshielo a la escorrentía ayudando a minimizar los impactos de las sequías en las actividades socio-económicas de los oasis de regadío. Por ello, la información detallada sobre el número, área y distribución espacial de los cuerpos de hielo no sólo brinda una estimación de las reservas hídricas en estado sólido existentes en las diferentes cuencas andinas, sino también información básica para conocer la capacidad reguladora de dichos cuerpos sobre los caudales de nuestros ríos en condiciones climáticas extremas.

Los glaciares de Argentina constituyen además elementos emblemáticos del paisaje andino, realzando la belleza de los principales atractivos turísticos y generando ingresos significativos para la economía nacional. El ejemplo más claro lo constituye el glaciar Perito Moreno, en el Parque Nacional Los Glaciares, provincia de Santa Cruz, que atrae a cientos de miles de turistas cada año. Los glaciares que rodean a la localidad de El Chaltén (glaciares Torre, Piedras Blancas y de los Tres, entre otros) constituyen otros ejemplos de importantes atractivos turísticos dentro del mismo Parque Nacional, realzando las imponentes vistas del cerro Torre y Monte Fitz Roy o Chaltén. Los cuerpos de hielo cordilleranos también constituyen excelentes laboratorios naturales para estudios científicos. Además de muchos

estudios de índole hidrológica y geológica que pueden desarrollarse utilizando estos laboratorios naturales, los glaciares ocupan un lugar destacado a nivel mundial como indicadores de cambios climáticos pasados y presentes. En efecto, el rápido retroceso de los glaciares en los Andes y otras regiones montañosas del mundo es generalmente considerado como uno de los signos del calentamiento que ha experimentado la superficie terrestre en las últimas décadas.

Por otra parte, los cambios relativamente rápidos en los cuerpos de hielo pueden ocasionar eventos potencialmente catastróficos para las poblaciones humanas e infraestructura ubicadas aguas abajo. Considerando los servicios ambientales que nos brindan, su alto grado de vulnerabilidad y los riesgos asociados a sus variaciones, los glaciares y geoformas periglaciales son generalmente concebidos como elementos muy valiosos del paisaje que deben ser estudiados, monitoreados y protegidos para poder conocerlos y preservarlos.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

El presente informe del Inventario Nacional de Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1 en la subcuenca del río Chico Alto (cuenca del río Chico según Anexo 2 del cronograma del inventario, IANIGLA 2010). En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

La subcuenca río Chico Alto forma parte de la cuenca del río Chico, ubicada en la provincia de Santa Cruz en la región de los Andes del Sur de la Patagonia Argentina, posee una vertiente atlántica y recorre la meseta patagónica hasta desaguar en el brazo norte de la ría Santa Cruz, en la cual también vierte sus aguas el río homónimo. La subcuenca del río Chico Alto se ubica en la zona de recarga, al noroeste de la cuenca (Figura 1).

El sector noroeste de esta subcuenca, incluyendo el lago Burmeister y parte del valle del río Blanco pertenece al Parque Nacional Perito Moreno.

El trabajo de identificación de glaciares y glaciares de escombros en la subcuenca del río Chico Alto fue elaborado en julio de 2014 y aprobado según resolución N° RESOL-2017-32-APN-MAD del 17 de enero de 2017, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

El inventario de la región abarcada en el presente informe ha sido realizado gracias al financiamiento provisto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable 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 los guardaparques del Parque Nacional Perito Moreno, en especial a Mariano Spisso y Agustín Villegas, quienes supieron indicarnos los caminos de acceso a los sitios de estudio y se mostraron con una gran predisposición para ayudar en todo momento.

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 altitudinal de los glaciares 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 11.259 km² y se establecía al glaciar chileno Pío XI con 1.265 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.

Falaschi y colaboradores (2013) realizaron el primer inventario de glaciares en la zona del Monte San Lorenzo (47°35'S, 72°18'W) en los Andes del Sur de la Patagonia Argentina (dentro del Parque Nacional Perito Moreno) y Chile. El sector argentino se ubica en la subcuenca de los lagos Nansen y Belgrano, cuenca del río Mayer y lago San Martín; posee una vertiente pacífica y se encuentra al oeste de la subcuenca del río Chico Alto. Estos autores

identificaron un total de 213 glaciares que cubren un área total de 207 km², año 2005-2008. Determinaron una reducción del área glaciaria total del 18,6% en los últimos 20 años.

Hasta el momento no existe ningún estudio sobre los glaciares de la subcuenca del río Chico Alto.

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 la subcuenca del río Chico Alto.

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 recrystalización de la nieve, con o sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea). Dentro de esta definición de glaciar se incluyen a los **manchones de nieve permanentes 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; 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).

El presente informe se focaliza en el inventario de los cuerpos de hielo de la cuenca del río Chico. Debido a que la cuenca atraviesa la provincia en sentido oeste-este hasta desembocar en el océano Atlántico y los glaciares se encuentran únicamente en la parte alta se ha decidido generar la subcuenca del río Chico Alto, la cual corresponde a la zona de recarga y tiene como punto de cierre hidrológico la unión del río Chico y Belgrano (Figura 1). Dicha subcuenca se encuentra limitada al oeste por la sierra de las Vacas (2.230 msnm), siendo la zona de recarga del río Lista de dirección sur. Antes de llegar a la estancia Los Faldeos, este río recibe un pequeño arroyo con rumbo hacia el este, cambiando de nombre a río Chico, luego recibe al río Capitán emisario de los lagos Quiroga. En Ea. Las Horquetas, el río Chico recibe por la margen izquierda a su afluente más importante, el río Belgrano, el cual es alimentado principalmente por el río Roble proveniente del lago Burmeister.

El régimen hídrico de esta subcuenca es principalmente de tipo permanente y presenta un drenaje joven pobremente desarrollado (Figura 1).

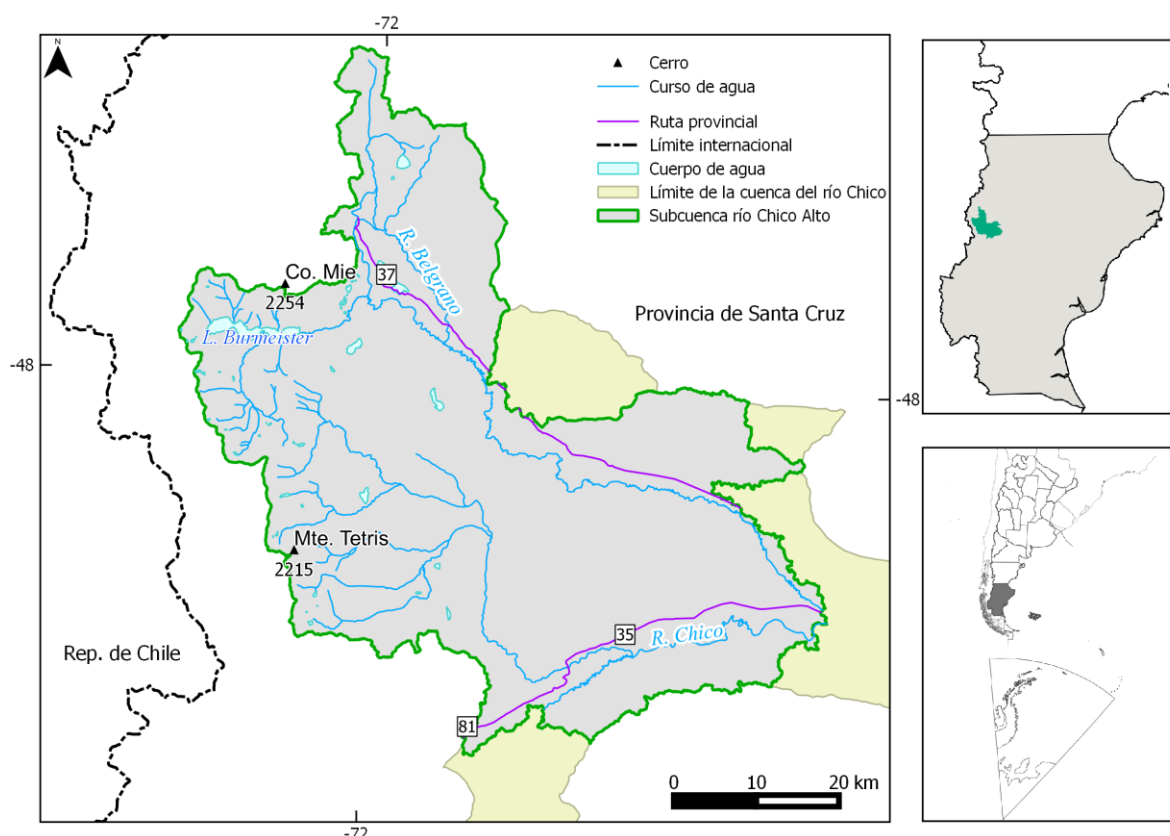


Figura 1: Subcuenca del río Chico Alto, provincia de Santa Cruz, en los Andes del sur de la Patagonia, Argentina.

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). Los MDE generalmente recomendados para trabajos de mapeo e inventario de glaciares son el SRTM (90 m de resolución) originado en imágenes de 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 una mejor resolución espacial que permitió delinear correctamente las cuencas hidrográficas en la zona de estudio.

El programa QGIS (software libre)¹ fue utilizado para delimitar automáticamente las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de GDEM v2. Para ello se emplearon las herramientas de “eliminación de sumideros”, “análisis de cuencas”, “delimitación de las áreas de acumulación”, “dirección de drenaje”, “segmentos de corrientes” y finalmente la “delimitación de cuencas”. Luego de transformar el resultado de esta delimitación a formato vectorial, se utilizó el programa KOSMO (software libre)² para la edición y corrección

¹ <http://www.qgis.org>

² <http://www.opengis.es/>

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.

Para realizar el Inventario en la subcuenca del río Chico Alto se utilizaron de base imágenes ASTER del satélite TERRA de 15 m de resolución espacial tomadas el 20 de febrero de 2005 y 7 Marzo de 2008 (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. Pequeñas variaciones en la georreferenciación de las escenas ASTER se corrigieron utilizando como base imágenes Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ (Anexo7.1), las cuales son internacionalmente aceptadas como referencia (Tucker et al. 2004). Las imágenes empleadas como apoyo para la detección de hielo cubierto y glaciares de escombros fueron ALOS PRISM. 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 utilizadas como base para el inventario de cuerpos de hielo de la subcuenca del río Chico Alto (ver anexo 7.1. para mayor información).

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2072183495	07 marzo 2008
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2028179494	20 febrero 2005
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2028179497	20 febrero 2005

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). Las imágenes ALOS fueron proporcionadas por CONAE (Argentina).

4.3. Delimitación del hielo descubierto

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

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

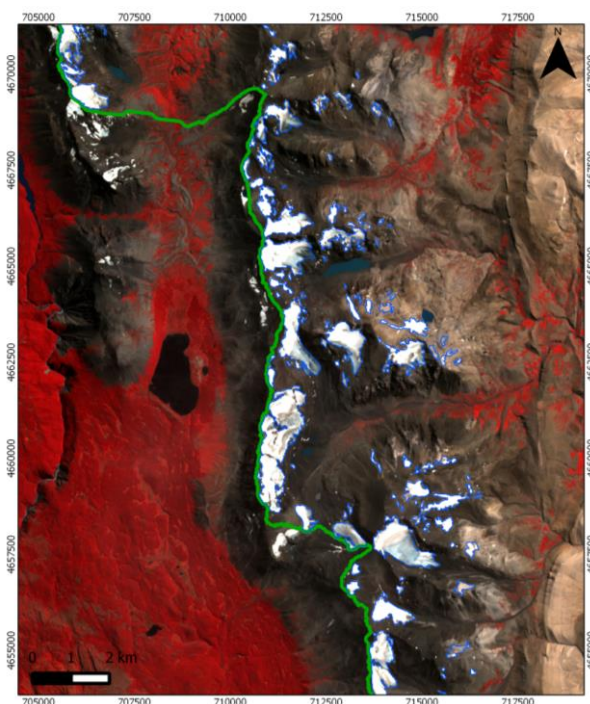


Figura 2: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

4.4. Digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros

Para el mapeo de sectores de glaciares cubiertos por detritos y glaciares de escombros, que no pueden detectarse automáticamente a través de un proceso automático o semiautomático 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 cuenca del río Chico los cuerpos con cobertura detrítica 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© y la escena PRISM (ALOS) del 29 de marzo de 2008 (Figura 3).

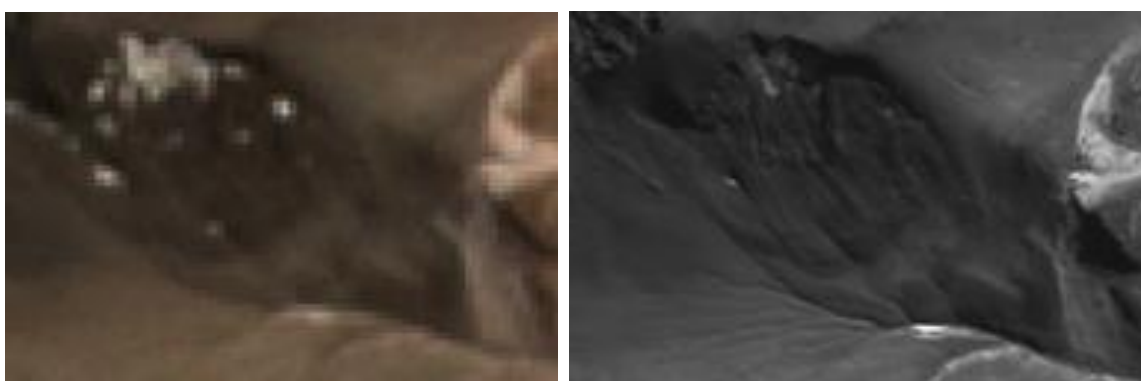


Figura 3: Ejemplo de la importancia que tienen las imágenes de alta resolución para delimitar geoformas pequeñas. A la izquierda puede observarse, en una imagen ASTER de 15 m de resolución, un pequeño glaciar de escombros. A la derecha la misma crioforma, con mucha mayor definición, en una imagen PRISM de 2,5 m de resolución.

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la cuenca del río Chico 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)³.

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:

³ http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.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 “G722827O479037S” corresponde al glaciar que contiene un punto situado en los 72,2827° de longitud Oeste y 47,9037° de latitud Sur.

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

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

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

La información de posición de cada geoforma viene dada por un código de cuenca, que provee información sobre la provincia, la cuenca y sub-cuencas donde se encuentra el cuerpo de hielo inventariado. La Figura 4 presenta un resumen gráfico de las tareas metodológicas realizadas en el inventario de cuerpos de hielo.

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.

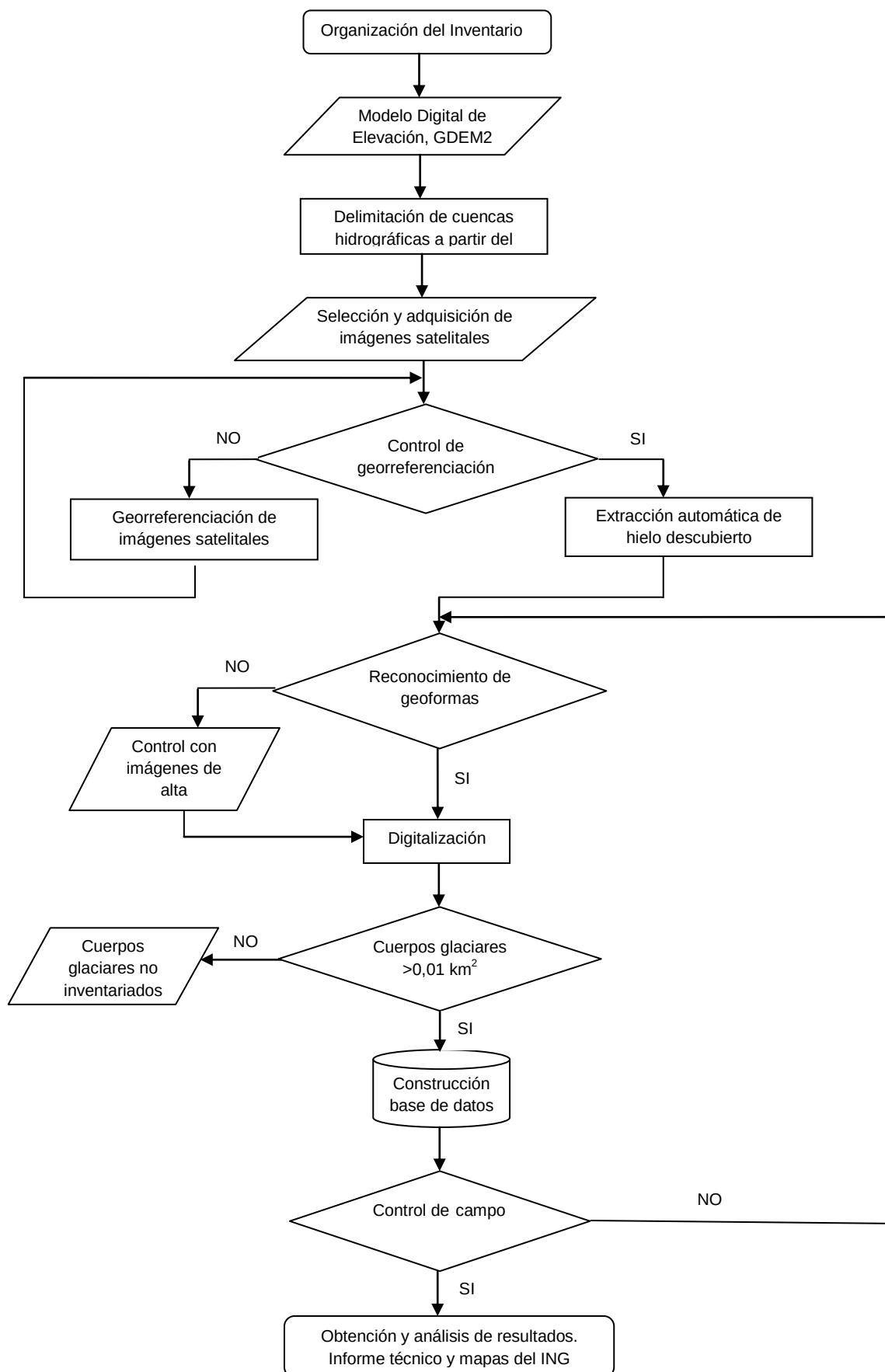


Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología utilizada.

5. Resultados

5.1. Cuerpos de hielo de la subcuenca del río Chico Alto, cuenca del río Chico

La superficie de la subcuenca río Chico Alto es de aproximadamente 3.016 km², de los cuales el 0,83 % (25 km²) está cubierta por cuerpos de hielo (Tabla 2 y Figura 5). En total, en el área de estudio se identificaron 181 cuerpos principalmente compuestos por hielo descubierto (80% de la superficie total inventariada). No se detectaron sectores de hielo cubierto por detritos, los manchones de nieve / glaciaretes identificados son generalmente muy pequeños y numerosos y ocupan en conjunto casi 5 km² (cerca del 18% de la superficie inventariada). Además se identificaron 13 glaciares de escombros de pequeño tamaño, siendo el más grande de 0,13 km², estos representan el 2,5% del total del área inventariado (Tabla 2).

Todos los cuerpos de hielo se ubican en el sector oeste de la subcuenca y ninguno de ellos posee toponimia oficial ni conocida.

Tabla 2: Superficie total inventariada en la subcuenca del río Chico Alto.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	19,92
Manchones de nieve/glaciaretes	4,48
Glaciar de escombros	0,62
Total	25,02

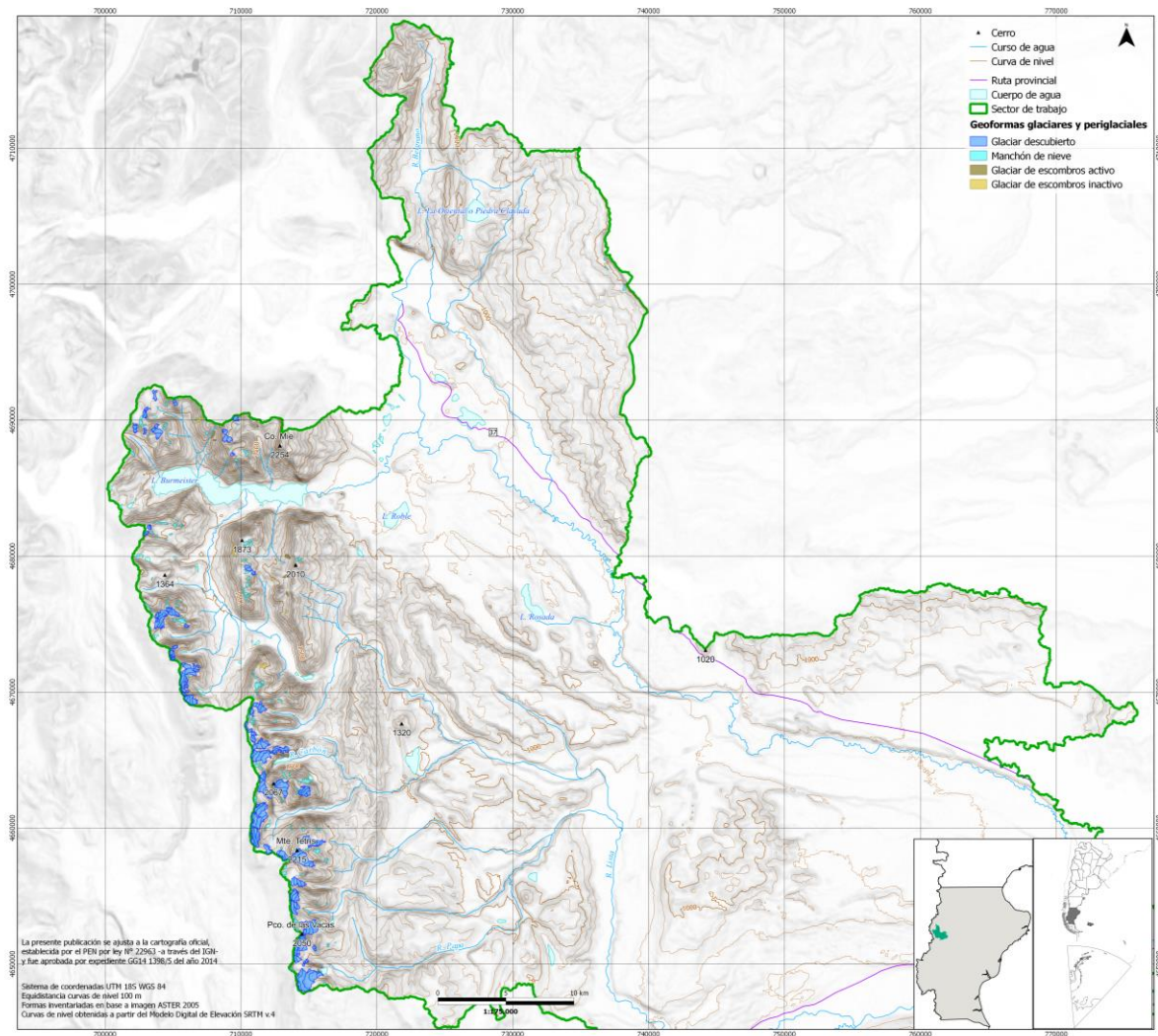


Figura 5: Mapa general de la subcuenca del río Chico Alto con las geoformas inventariadas.

Existe un claro predominio del hielo descubierto sobre otras geoformas inventariadas en el área de estudio, concretamente el 80% (Figura 6). Tan solo el 2,49% corresponde a pequeños glaciares de escombros.



Figura 6: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Chico Alto.

La orientación predominante de las geoformas inventariadas es sureste y este (Figura 7).

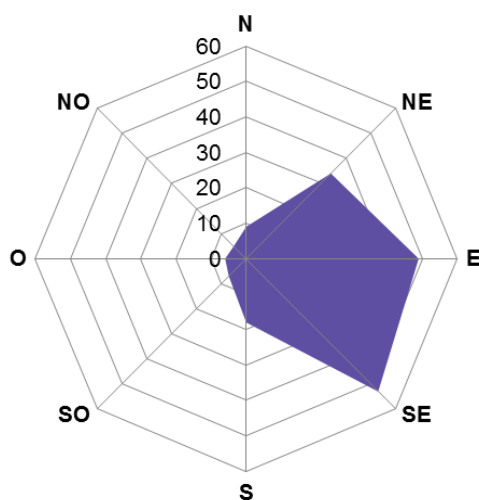


Figura 7: Orientación predominante de los glaciares de la subcuenca del río Chico Alto.

Los glaciares de menor 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 cambio, los cuerpos de mayor área son relativamente pocos, pero cubren proporcionalmente una gran superficie. En la zona de estudio el 52 % de las geoformas inventariadas presentan un área menor a 0,05 km² y en conjunto representan 10 % del área enlazada. Solo doce cuerpos de hielo con un área de 0,5 a 5 km² contribuyen un 45% del área total inventariada (Figura 8).

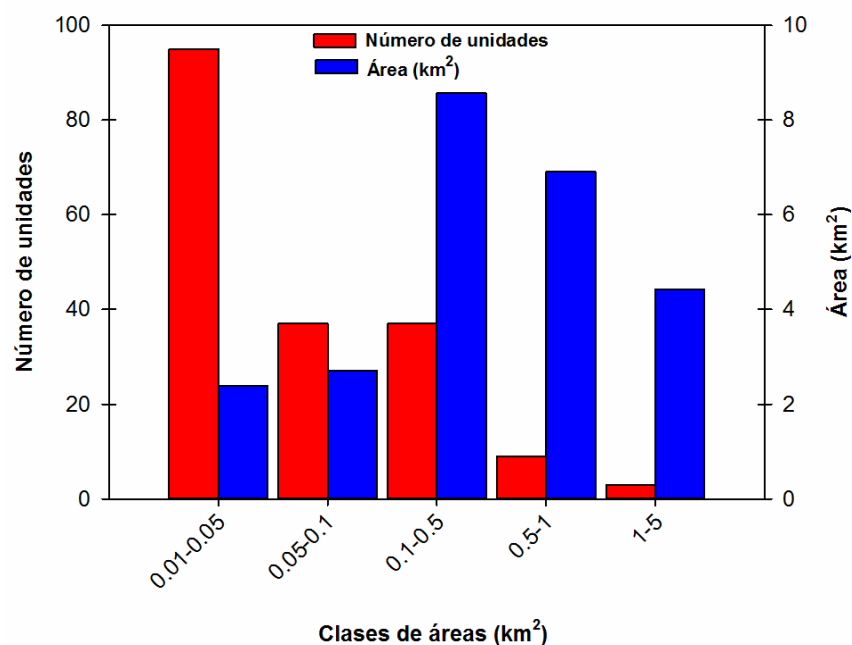


Figura 8: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Chico Alto.

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

Tipo de geoforma	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	1.326	2.141
Manchones de nieve / glaciaretos	1.337	2.204
Glaciar de escombros (GE)	1.366	1.810

Los cuerpos de hielo de la subcuenca río Chico Alto se encuentran entre los 1.326 y 2.204 msnm (Tabla 3). Si bien el hielo descubierto se extiende casi a lo largo de todo este rango altitudinal, la mayor concentración de hielo ocurre entre los 1.650 y 1.950 msnm (Figura 9). Los manchones de nieve / glaciaretos cubren todo el rango altitudinal. Por su parte, los glaciares de escombros se extienden desde los 1.300 a los 1.800 msnm.

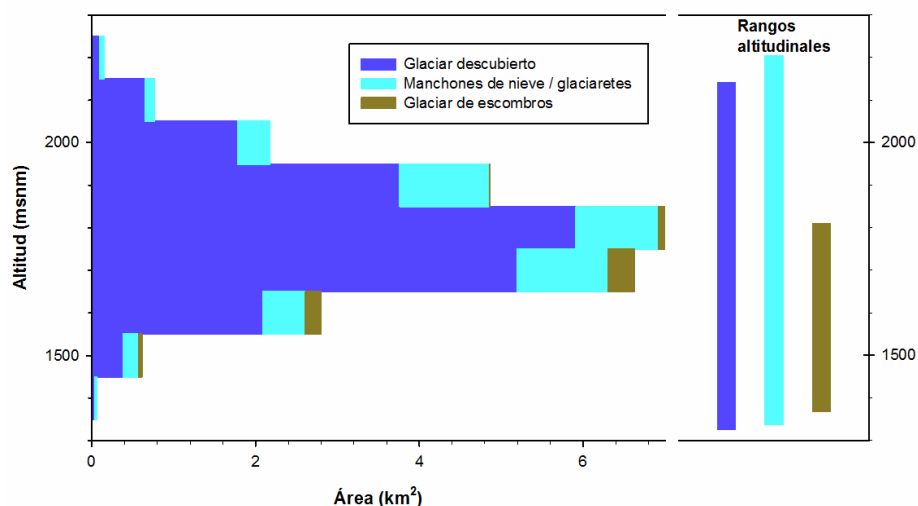


Figura 9: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en la subcuenca del río Chico Alto.

5.2. Control de campo

El control de campo, realizado en el verano de 2014, permitió analizar y evaluar los análisis y mapeos previos realizados en gabinete. Los relevamientos de campo se realizaron en la zona de lago Burmeister y el valle del río Blanco, dentro del Parque Nacional Perito Moreno. Se observaron un total de 9 geoformas que, sobre el total de polígonos relevados (181) representan un 5%.

La delimitación y clasificación de las geoformas relevadas coincidieron con las realizadas previamente en gabinete. Durante el control de campo se observó una gran cantidad de nieve estacional.

El Anexo 7.2 muestra ejemplos de fotografías tomadas en el campo y una breve descripción de algunas de las geoformas vistas en el terreno.

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.
- 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*. 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*.
- Falaschi, D., Bravo, C., Masiokas M., Villalba R. y Rivera A., 2013. First Glacier Inventory and Recent Changes in Glacier Area in the Monte San Lorenzo Region (47°S), Southern

Patagonian Andes, South America. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 45, No. 1, pp. 19–28.

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.

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

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

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

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

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

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 la subcuenca del río Chico Alto

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

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>

Satélite: **LANDSAT 7**

Sensor: ETM+ (Enhanced Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LE72310932008067EDC00	7 marzo 2008	Base georreferenciación y comparar manchones de nieve
LT52310932011051COA00	20 febrero 2011	Comparar manchones de nieve

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.003:2072183495	07 marzo 2008	Base inventario
AST_L1A.003:2028179494	20 febrero 2005	Base Inventario
AST_L1A.003:2028179497	20 febrero 2005	Base Inventario

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

Sensor: PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)

Resolución espacial: 2,5 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALPSMN116044575	29 marzo 2008	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y GE. Comparar manchones de nieve.
ALPSMN116044570	29 marzo 2008	

7.2 Control de campo de la subcuenca del río Chico Alto



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

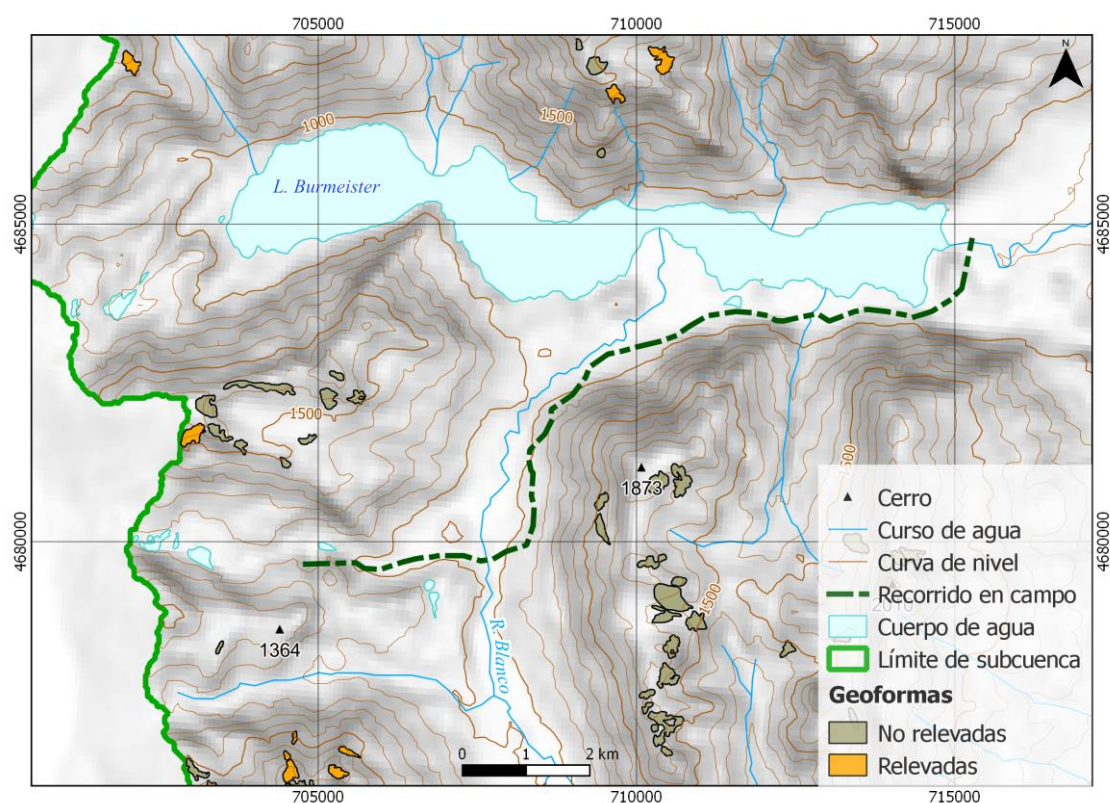


Figura 10: Mapa de ubicación de los glaciares observados en la subcuenca del río Chico Alto.

7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

Geoforma G721807O479903S

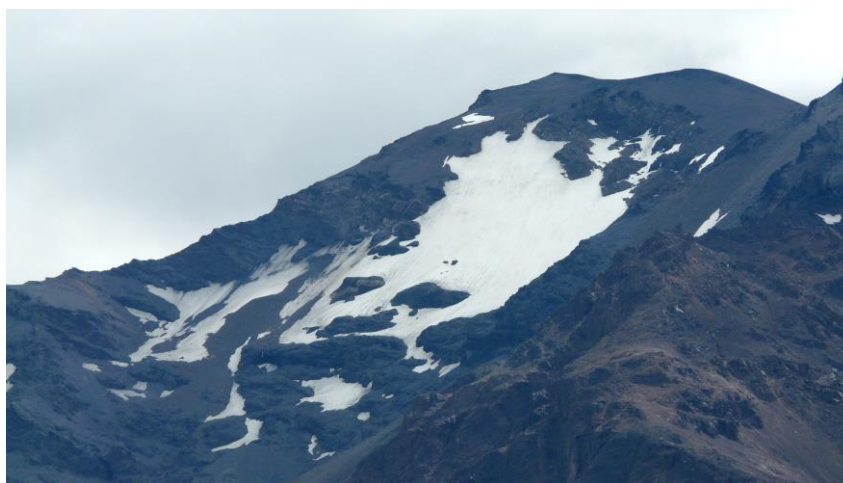
Manchón de nieve o glaciarete al norte del lago Burmeister, se observa algo de nieve estacional alrededor del manchón de nieve perenne. Su orientación predominante es hacia el SE. No hubo inconvenientes en la identificación y clasificación de la geoforma.



Manchón de nieve G721807O479903S

Geoforma G722827O479037S

Manchón de nieve o glaciarete al norte del lago Burmeister. La orientación predominante de la geoforma es hacia el SE. No hubo inconvenientes en la identificación y clasificación de la geoforma. Nótese la presencia de nieve estacional alrededor del manchón de nieve perenne.



Manchón de nieve G722827O479037S

Geoforma G722713O480492S

Manchón de nieve o glaciarete al oeste del lago Burmeister. Predomina la orientación SE. No hubo inconvenientes en la identificación y clasificación de la geoforma.



Manchón de nieve G722713O480492S

Geoformas G721572O481696S, G720990O481918S y G721340O481424S

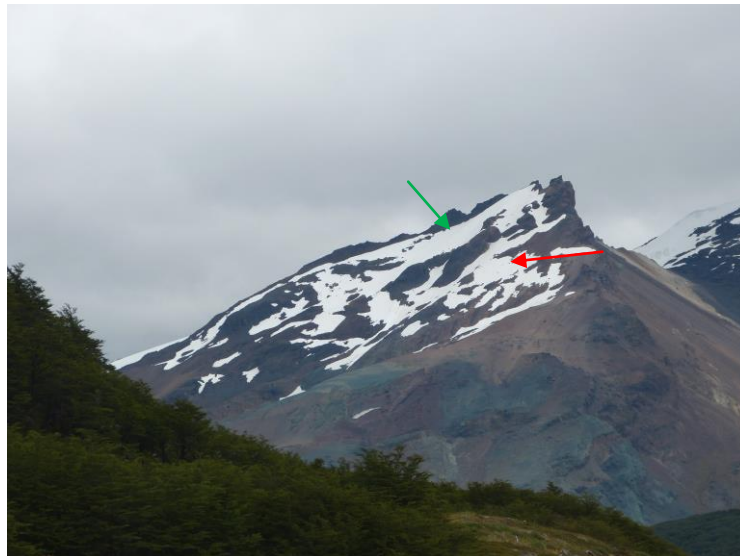
Manchones de nieve sobre el valle del río blanco con orientación NE. Los manchones están rodeados por algo de nieve estacional, pero la nieve perenne se puede observar en cada uno de los casos.



Manchones de nieve indicados en rojo G721572O481696S, en verde G720990O481918S y en azul G721340O481424S

Geoformas G721342O481908S y G722460O480329S

Manchones de nieve sobre el valle del río blanco. Nótese la presencia de nieve estacional. La orientación de la geoforma G721342O481908S es hacia el E y la de G722460O480329S hacia el NE.



Manchones de nieve, indicados en rojo G721342O481908S y en verde G722460O480329S

Geoforma G721820O480017S

Se trata de un glaciar de montaña, con forma de nicho. Tiene una orientación hacia el S y su rango altitudinal de distribución va desde los 1.691 a 1.600 msnm. Se observan pequeñas grietas en su área de acumulación que sirve para corroborar su clasificación como glaciar y no como manchón de nieve perenne. No hubo inconvenientes en la identificación y clasificación de la geoforma.



Geoforma G721820O480017S

7.3. Descripción de la base de datos

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

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

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

M0550000

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8. **Nombre común:** si lo hubiere.

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

0. Incierto

1. Sábana de hielo continental: es una gran masa de hielo que cubre un continente o gran parte del mismo. En la actualidad sólo existen las de Antártida y Groenlandia. Las sábanas de hielo no están totalmente controladas por la topografía subglacial y se caracterizan por ser más activas en sus bordes y a lo largo de las corrientes de hielo. Las partes más altas y abombadas llamadas domos tienen escasa pendiente y flujo de hielo muy limitado.
2. Campo de hielo: masa de hielo glaciar, confinada topográficamente, de superficie relativamente plana, y de la cual fluyen glaciares de descarga, y cuya superficie es menor a 50.000 km².
3. Calota de hielo: masa de hielo no confinada con forma de domo, que fluye en todas las direcciones.
4. Glaciar de descarga: glaciar que fluye desde el interior de un campo de hielo, calota de hielo y/o sábana de hielo, transfiriendo masa hacia las zonas más bajas.
5. Glaciar de valle: glaciar con el área de acumulación bien definida, cuya lengua está encauzada y fluye valle abajo.
6. Glaciar de montaña: un glaciar que se encuentra confinado por la topografía del terreno montañoso que lo rodea; frecuentemente localizado en un circo o nicho (Müller et al., 1977). Incluye glaciares de circo, de nicho y de cráter.

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

10. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta

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

11. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

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

14. Actividad de la Lengua

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

15. Morena_1

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

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

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

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

o sobrepuestos.

22. Estructura II

0. Incierto

1. Una raíz: una única fuente de alimentación.

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

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

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

25. Área: área de cada polígono expresada en km^2 .

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

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

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

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

30. Pendiente: (Se expresa en grados).

31. Orientación: Correspondiente a los 8 puntos cardinales.

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

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

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

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

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

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

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



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



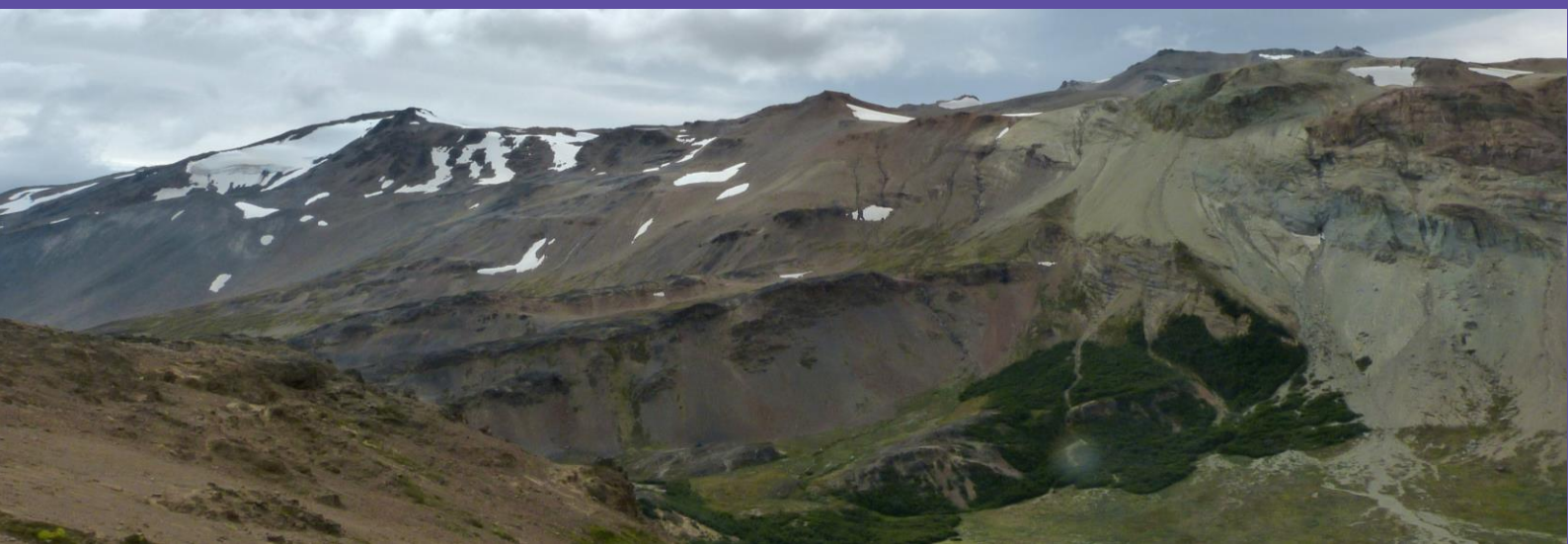
CONICET

U. N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del río Chico Alto, cuenca del río Chico, provincia de Santa Cruz.





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

Hoja Adicional de Firmas
Informe gráfico

Número:

Referencia: ING Río Chico Alto

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 45 pagina/s.