



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
de los ríos Manso,
Villegas y Foyel
Cuenca de los ríos
Manso y Puelo**

Provincia de Río Negro

Manso y Castaño Overa (Foto: J.P. Scarpa)

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

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

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

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

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

IANIGLA – CONICET

Inventario Nacional de Glaciares (ING)

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Directores técnicos: Dr. Lucas Ruiz, Lic. Daniel Falaschi y Dr. Darío Trombotto

Profesionales: Lic. Gustavo Aloy y Lic. Ivanna Pecker Marcosig

Colaboradores: Lic. Laura Zalazar, Lic. Lidia Ferri Hidalgo, Téc. Mariano Castro, Lic. Pierre Pitte,
Ing. Silvia Delgado y Dr. Mariano Masiokas

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.....	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 glaciares cubiertos y glaciares de escombros.....	16
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas.....	16
4.6.	Control de campo	18
5.	Resultados.....	19
5.1.	Resultados para las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.....	19
5.2.	Resultados trabajo de campo.....	24
6.	Bibliografía	25
7.	Anexos	29
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo	29
7.2.	Control de campo	31
7.3.	Descripción de la base de datos	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Glaciar Ventisquero Negro. Monte Tronador.	6
Figura 2: Subcuencas y sectores de trabajo en los que se dividió la cuenca de los ríos Manso y Puelo para la realización del Inventario de Glaciares.	11
Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada.	14
Figura 4: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.	15
Figura 5: La figura de la izquierda muestra una unidad o cuerpo a inventariar sobre un mosaico de imágenes ALOS. A la derecha se muestra esta misma unidad con todas las subunidades que la componen. Todas las subunidades tienen el mismo código de identificación (ID).	17
Figura 6: Inventario de glaciares de las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.	21
Figura 7: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.	22
Figura 8: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.	22
Figura 9: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías, subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.	23
Figura 10: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo (Ver anexo 7.1. para mayor información).13	
Tabla 2: Superficie total inventariada en las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.	21
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.	24

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBERS: China-Brazil Earth Resources Satellite

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GCGE: Glaciar cubierto con glaciar de escombros

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GEA: Glaciar de escombros activo

GE: Glaciar de escombros

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media de la geoforma

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

IPA: International Permafrost Association

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil

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

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

NASA: National Aeronautics and Space Administration (Estados Unidos)

PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina

USGS: United States Geological Survey

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

1. Introducción

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

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

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

durante todo el año. En la provincia de Mendoza, los glaciares colgantes de la pared sur del Cerro Aconcagua y los glaciares Horcones Superior, Horcones Inferior y de los Polacos son los glaciares más conocidos. Miles de visitantes llegan cada año al Parque Provincial Aconcagua para escalar o simplemente admirar estas imponentes moles de roca y hielo.

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

Por otra parte, los glaciares en surge pueden ocasionar eventos potencialmente catastróficos para las poblaciones humanas e infraestructuras ubicadas aguas abajo. Los glaciares en surge son eventos de corta duración, donde un glaciar rápidamente comienza a fluir con velocidades 100 veces más rápidas que el flujo normal y los avances son de kilómetros por mes (Benn y Evans 1998). Típicamente un surge comienza en la parte superior del glaciar y se propaga en forma de onda hacia la parte inferior del mismo; su comportamiento no responde a factores climáticos. En la provincia de Mendoza, el evento más conocido ocurrió entre 1933 y 1934 cuando el Glaciar Grande del Nevado del Plomo (ubicado en la subcuenca del río Tupungato) avanzó repentinamente y atravesó el valle del río del Plomo hasta la ladera opuesta provocando el endicamiento del río y la formación de un lago de aproximadamente 3 km de largo. El 10 de enero de 1934 la presión del agua rompió el dique natural de hielo y originó un aluvión de agua, hielo y rocas que se desplazó por el valle del río del Plomo y continuó por los valles de los ríos Tupungato y Mendoza provocando graves destrozos (el famoso Hotel Cacheuta, por ejemplo, quedó completamente destruido) e incluso víctimas fatales (Helbling 1919). En febrero de 1984 el glaciar experimentó un nuevo surge, avanzó 2,7 km y formó un lago de 2,8 km de longitud por 1,1 km de ancho que afortunadamente drenó en forma gradual a través de un túnel subglacial formado en el dique de hielo (Espizúa y Bengochea 1990; Llorens y Leiva 1995; Leiva 2006). En 2007 el mismo glaciar experimentó un nuevo avance o surge que atravesó el valle del río del Plomo pero en esta ocasión se formó un lago pequeño que drenó lentamente debido probablemente a la presencia de un túnel subglacial (Ferri y Espizua 2010).

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

Dada la importancia que tienen los glaciares y las crioformas ricas en hielo como recurso hídrico para nuestro país, resulta imperioso desarrollar planes y estrategias de estudio y monitoreo de estas masas de hielo que permitan responder a preguntas básicas pero extremadamente relevantes como: ¿Cuántos cuerpos de hielo hay en nuestro país? ¿Qué volumen equivalente en agua tienen? ¿Qué cantidad de agua están aportando a las cuencas de nuestros ríos? ¿Qué cambios han experimentado en el pasado y qué podría esperarse en

respuesta a los distintos escenarios de cambios climáticos propuestos para el siglo XXI? ¿Cómo se verían alterados por las distintas actividades humanas que se desarrollen en sus cercanías?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En el presente informe se describen los resultados del inventario realizado en las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo, ubicadas en la provincia de Río Negro, en la región Patagonia Norte, la cual presenta una vertiente hidrográfica pacífica. 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 en la cuenca de los ríos Manso y Puelo fue elaborado en julio de 2013 y aprobado según resolución N°RESOL-2017-40-APN-MAD del 19 de enero de 2017, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4 Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

Se agradece a Juan Pablo Scarpa del Instituto Argentino de Nivología y Glaciología y Ciencias Ambientales, por ser nuestro guía, pero ante todo un gran compañero en la montaña, durante la campaña realizada en el mes de febrero de 2013 a la cuenca de los ríos Manso y Puelo.

Además a todo el cuerpo de Guardaparques del Parque Nacional Nahuel Huapi y Alerce por brindarnos todo su apoyo en terreno.

2. Antecedentes

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

Si bien existen registros de la existencia de glaciares en estas latitudes por lo menos desde finales del siglo XIX (Moreno 1900), la gran mayoría de estos cuerpos de hielo no han sido estudiados en detalle hasta el momento. Lliboutry (1956), realizó un análisis de la distribución de los glaciares a lo largo de la Cordillera de los Andes, entre Argentina y Chile. Para los Andes de la Región de los Lagos, este autor señala que además de los glaciares asociados a los centros volcánicos (Tronador, Osorno, Hornopiren, Michimahuida), y gracias a un relevamiento aéreo, se han descubierto numerosos glaciares al sur del Seno Reloncaví, los cuales resultan prácticamente inaccesibles a pie debido a lo tupido de la vegetación.

Feruglio (1957) también realizó un análisis sobre la distribución de glaciares a lo largo de los Andes argentinos. Este autor indica que al sur de los 41° 8'S (Monte Tronador) y hasta los 46°S en la vertiente argentina de la cordillera de los Andes se suceden muy próximos centros de glaciación de tipo alpino. Estos centros presentan glaciares de valle más o menos desarrollados y una multitud de glaciares de circo, que nunca se reúnen en campos o casquetes muy extensos, aunque destaca que la zona interior de la cordillera entre los 41° S y 46° S se encuentra prácticamente desconocida. Según este autor, la altitud del límite de las nieves en el Monte Tronador (41,08°S) no desciende de los 2.000 o 2.100 msnm, aunque no indica si este dato se refiere a un año en particular o a un promedio de varios años.

Más recientemente, Lliboutry (1998; <http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/>) actualizó y mejoró los análisis y precisiones sobre la distribución y características generales de los glaciares del sur de Sudamérica. Allí se consignan por ejemplo datos y observaciones sobre algunos glaciares de la zona del Monte Tronador.

Rabassa et al., (1978) presentaron el primer inventario preliminar de glaciares de los Andes del norte de la Patagonia argentina en base a fotografías aéreas del año 1972 y datos de campo del año 1978. En el mismo identificaron un total de 235 glaciares entre los 39°S y los 42° 20'S. Estos autores señalan que este número de glaciares corresponde aproximadamente al 15% del total real de glaciares en esta zona. En total estos 235 glaciares representa un área englazada total de 138,88 km², la mayor parte de ellos en los volcanes Tronador y Lanín (en la provincia del Neuquén) (Rabassa et al. 1981). Según estos autores los glaciares más comunes son del tipo de montaña, con numerosos cuerpos de hielo y nieve, pequeños y aislados, y solo algunos glaciares de valle y descarga, los cuales se concentran principalmente en los aparatos volcánicos. Cerca del 90% de los glaciares (211 de 235 inventariados) tenían menos de 1 km² de extensión. El 91% de los mismos tenía una elevación media entre los

1.600 y 2.300 msnm. Rabassa et al. (1981), a partir de una combinación de observaciones directas y derivadas de fotografías aéreas, también realizaron el primer estudio de la distribución de la altura de la línea de nieve para fines de verano de 1978. En el mismo encontraron un fuerte gradiente oeste-este.

En esta región también existen estudios focalizados en las fluctuaciones glaciarias de los últimos 1000 años (por ejemplo Rabassa et al. 1984, Villalba et al. 1990, Masiokas et al. 2009, 2010), donde la evidencia disponible suele ser relativamente abundante, bien conservada y más fácil de datar. Existe, una rica colección de fotografías históricas de los glaciares de esta región, la cual ha sido utilizada con éxito para documentar los cambios históricos en estos cuerpos de hielo (por ejemplo Rabassa 2007, Masiokas et al. 2008).

El primer estudio glaciológico detallado en la zona del Monte Tronador fue realizado por Lawrence y Lawrence (1959), quienes estudiaron la cronología de las morenas del glaciar Río Manso (también conocido como Ventisquero Negro) utilizando los registros de anillos de árboles y cenizas volcánicas. Si bien varios estudios posteriores se han centrado en éste y otros glaciares del Tronador (por ejemplo Rabassa et al. 1978, 1984, Villalba et al. 1990, Bown 2004, Bown y Rivera 2007, Masiokas et al. 2010), actualmente sólo existen cronologías detalladas de fluctuaciones de los últimos siglos para los glaciares Frías (ubicado en la cuenca del Río Limay), Río Manso y Castaño Overa.

El glaciar Río Manso (también conocido como Ventisquero Negro) es uno de los glaciares más fácilmente accesibles de Sudamérica y una de las grandes atracciones del Parque Nacional Nahuel Huapi.

La parte superior del glaciar Río Manso desciende desde la cumbre del Monte Tronador y está formado por “hielo limpio” debido a la falta de detritos o sedimentos. Esta sección superior del glaciar se encuentra interrumpida por acantilados de varios cientos de metros de altura que generan gran cantidad de avalanchas y desprendimientos. El estruendo de las frecuentes avalanchas de hielo, nieve y rocas que se precipitan desde los acantilados, ha dado origen al nombre “Tronador” para este hermoso cerro. El material proveniente de estas avalanchas alimenta a la lengua inferior “reconstituída” del glaciar, la cual transporta una importante carga de detritos y rocas que le confieren un aspecto sucio (de ahí el nombre local “Ventisquero Negro”).



Figura 1: Glaciar Ventisquero Negro. Monte Tronador.

Según Lawrence y Lawrence (1959), la morena terminal más externa que encierra el lago proglacial del Ventisquero Negro tendría más de 2.200 años de antigüedad. Este depósito ha resistido el paso del tiempo y ha sido sólo parcialmente sobrepasado por distintos avances del frente de hielo ocurridos durante el último milenio. Recientemente Masiokas et al. (2010) realizó un estudio de detalle y revisión de la cronología de las fluctuaciones desde la Pequeña Edad de Hielo, en base a información de estudios previos y análisis dendrogeomorfológicos de madera de árboles vivos y subfósiles. Según esta evidencia, la máxima expansión durante la Pequeña Edad de Hielo ocurrió en el glaciar Río Manso entre fines de 1.700 y 1.830-40 cuando la lengua inferior del glaciar engrosó considerablemente y avanzó sobre los bosques adyacentes. Con excepción del sistema morénico frontal (aparentemente depositado hace más de 2.240 años), y de una pequeña cresta morénica lateral que tiene por lo menos 300 años de edad, el avance de principios del siglo XIX destruyó casi por completo toda evidencia superficial asociada a eventos glaciarios anteriores al máximo avance de la Pequeña Edad de Hielo (Masiokas et al. 2010).

Durante los últimos 150 años, si bien la lengua inferior del glaciar Río Manso ha adelgazado significativamente, se han identificado varios períodos breves de avances o estabilidad cerca de 1870, 1890, 1900, 1920, 1950 y a mediados de 1970. En las últimas décadas la lengua inferior del glaciar ha experimentado una pérdida significativa de hielo que puede apreciarse muy claramente en comparaciones fotográficas de documentos históricos (Masiokas et al. 2010).

El glaciar Castaño Overa se encuentra unos pocos kilómetros al este del glaciar Río Manso, hasta mediados de la década de los 80, la parte inferior del glaciar Castaño Overa era un cono de hielo regenerado por debajo de un acantilado de 200 metros de altura, el cual podía ser visitado por medio un sendero, pero en las últimas décadas este cono se ha desintegrado casi por completo (Rabassa 2007, Masiokas et al. 2008).

Rabassa et al. (1984) identificaron una serie de morenas terminales y laterales valle abajo de este cono en el margen sur del glaciar, y basados en estimaciones de las edades de los árboles que crecen en estos depósitos, llegaron a la conclusión de que el evento más extenso asociado a la Pequeña Edad de Hielo se produjo a principios del siglo XIX. Estos autores también identificaron cuatro sistemas de morenas más internos que fueron tentativamente asignados a los años 1842, 1857, 1884 y 1902. Este glaciar al igual que le resto de los glaciares argentinos del Tronador registra un pequeño re-avance durante la década del '70 (Masiokas et al. 2009).

Los diques naturales formados por morenas o depósitos glaciarios, como las del Ventisquero Negro, son propensos a fallar. La ruptura abrupta de estos diques naturales desencadena el desplazamiento de enormes volúmenes de agua y sedimentos hacia zonas más bajas, generando aluviones capaces de producir importantes daños materiales y poner en riesgo la vida de los habitantes ubicados a la vera de los ríos.

El 21 de mayo de 2009 se produjo la rotura del dique natural de morenas terminales que contenía a este lago lo que causó un aluvión sin precedentes en la zona. Worni et al. (2012) realizaron un estudio muy interesante, detallado y pionero para los Andes Patagónicos donde analizaron y modelaron los posibles mecanismos que influyeron en la catastrófica

desintegración del lago proglacial del Ventisquero Negro. Estos autores indican que la ruptura de la morena fue causada muy probablemente por un aumento del nivel del lago debido a excesivas precipitaciones, que provocaron un aumento del caudal y una erosión gradual y luego irreversible de la morena terminal que contenía dicho lago. El evento duró sólo 3 horas, en las que se descargó un volumen de agua de aproximadamente 10 millones de metros cúbicos, con caudales pico de unos 4.100 m^3 por segundo.

3. Definiciones a los fines del Inventario

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

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

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

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

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

Glaciar de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea). Los glaciares de escombros dependen fuertemente del aporte de detritos, nieve y hielo. Por este motivo en el mapeo se incluye una zona de aporte, que se considera como el área principal de alimentación del glaciar de escombros.

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; Brenning 2005). Esta 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 & 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; Otto et al., 2010).

4. Materiales y métodos

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

El presente informe corresponde al Inventario de Glaciares de las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo. En el Anexo II del Cronograma del inventario (IANIGLA 2010) esta subcuenca correspondía al río Manso.

La cuenca ocupa 2.817 km² de superficie y ha sido dividida en la siguiente agrupación de subcuencas para los fines de organizar el trabajo en áreas de superficie total y englazada relativamente equivalentes (Figura 2):

- **Subcuenca del río Manso** (incluye las subcuencas del río Manso Superior, río Manso Medio y río Manso Inferior, en total 1.959 km²).
- **Subcuenca de los ríos Villegas y Foyel** (858 km²).

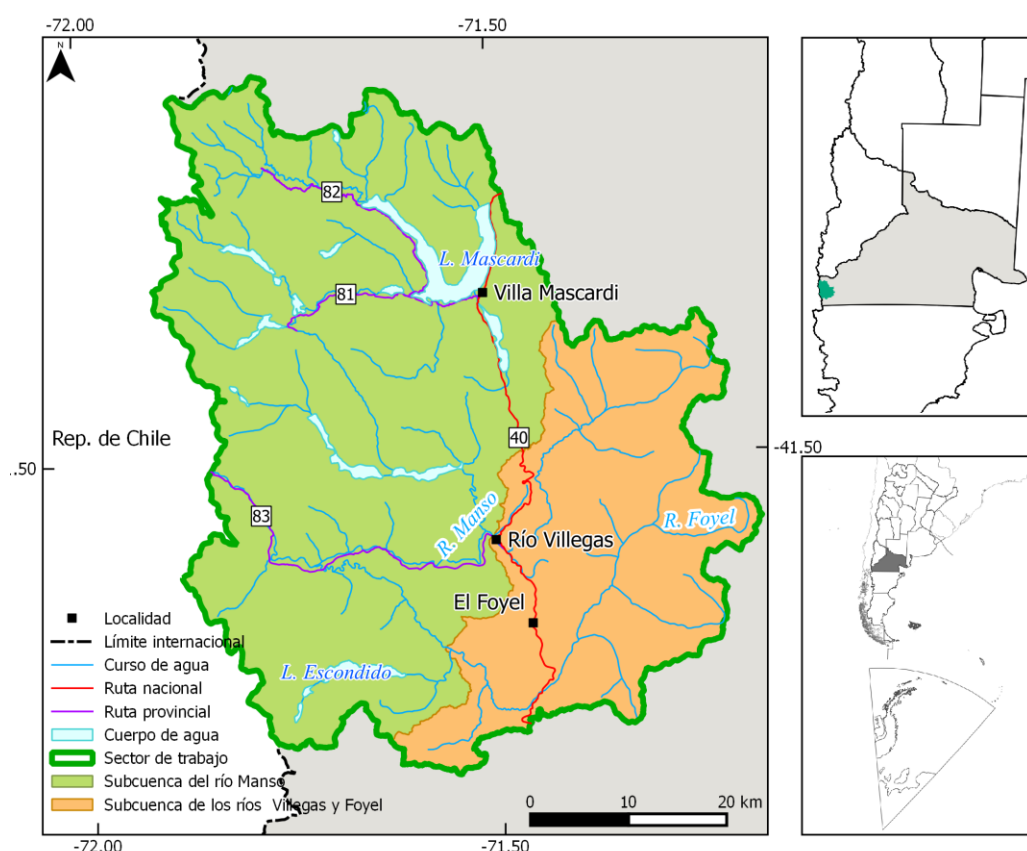


Figura 2: Subcuencas y sectores de trabajo en los que se dividió la cuenca de los ríos Manso y Puelo para la realización del Inventario de Glaciares.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo se basó en información proveniente de modelos digitales de elevación (MDE). De los MDE disponibles se decidió trabajar con el GDEM2 (resolución espacial 30 m.) que al momento de empezar este Inventario es considerado más adecuado que otros, incluyendo el SRTM v4.1.

Este MDE se confeccionó a partir de imágenes estereoscópicas del sensor ASTER, montado sobre el satélite TERRA. Se empleó el programa QGIS¹ para la delimitación de las cuencas.

Luego de obtener los límites de cuenca preliminares, se procedió a la superposición con las imágenes satelitales de base. Luego se realizó la edición manual de los polígonos con los programas KOSMO y GVSIG. Debido a que la cuenca de los ríos Manso y Puelo es una cuenca bi-nacional, los límites dentro del territorio Argentino no son estrictamente hidrológicos. En aquellas zonas de alta montaña, donde existe la presencia de cuerpos de hielo, el límite de la cuenca fue corregido manualmente según la divisoria de cuenca, en el valle o zonas de pasos fronterizos se utilizó el límite internacional según las cartas 1:250.000 del Instituto Geográfico Nacional.

En el sector limítrofe entre Argentina y Chile, la cuenca fue adaptada de acuerdo al límite acordado por ambos países según datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el Inventario en las subcuencas de los ríos Manso y de los ríos Villegas y Foyel se utilizaron como base imágenes del sensor ASTER del Satélite TERRA e imágenes del Satélite ALOS y del Satélite WorldView-2, aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo LANDSAT y el servidor de imágenes Google Earth.

El criterio de selección de las imágenes, se basó en la elección de fechas correspondientes al fin del período de ablación para la zona de estudio (marzo – abril), esto con el fin de evitar la presencia de nieve estacional.

Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación y las WorldView-2 para la detección de glaciares de escombros.

Las imágenes del Satélite ALOS se utilizaron para corroborar y editar los vectores de los cuerpos de hielo clasificados en una primera instancia con las imágenes ASTER, las cuales si bien son imágenes obtenidas al final del año hidrológico presentaban nieve estacional.

En las subcuencas Foyel y Villegas debido a que no se pudo contar con otras imágenes para la interpretación, la misma fue realizada solo con las imágenes ASTER.

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo (Ver anexo 7.1. para mayor información).

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	2007144126	21 marzo 2007
Terra/ASTER	2007144135	21 marzo 2007
Terra/ASTER	2007145336	03 abril 2007
ALOS	ALAV2A166224430	08 marzo 2009
ALOS	ALAV2A166224440	08 marzo 2009

Los datos ASTER fueron provistos por el 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 con el programa GLIMS.

Las imágenes obtenidas por el Satélite WorldView-2 fueron suministradas por gentileza de la empresa Digital Globe. En cuanto a las imágenes ALOS, éstas fueron adquiridas por gentileza del Dr. Jinro Ukita de la Universidad de Niigata (Japón).

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

La georreferenciación es el conocimiento de la posición de los objetos en la superficie terrestre con respecto a un sistema único de referencia, en lo posible mundial, que permite comparar la información proveniente de distintas épocas, fuentes y temas. Las imágenes ASTER y ALOS utilizadas como base para la delimitación de los cuerpos de hielo tuvieron que ser corregidas geométricamente, utilizando como base una escena compuesta de imágenes LANDSAT 5 TM. Estas imágenes, generadas por el USGS (United States Geological Survey) son internacionalmente aceptadas como base de referencia (Tucker et al. 2004). El procedimiento de georreferenciación se realizó con el programa GVSig¹. En la figura 3 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología implementada para la realización del Inventario.

¹ www.gvsig.com

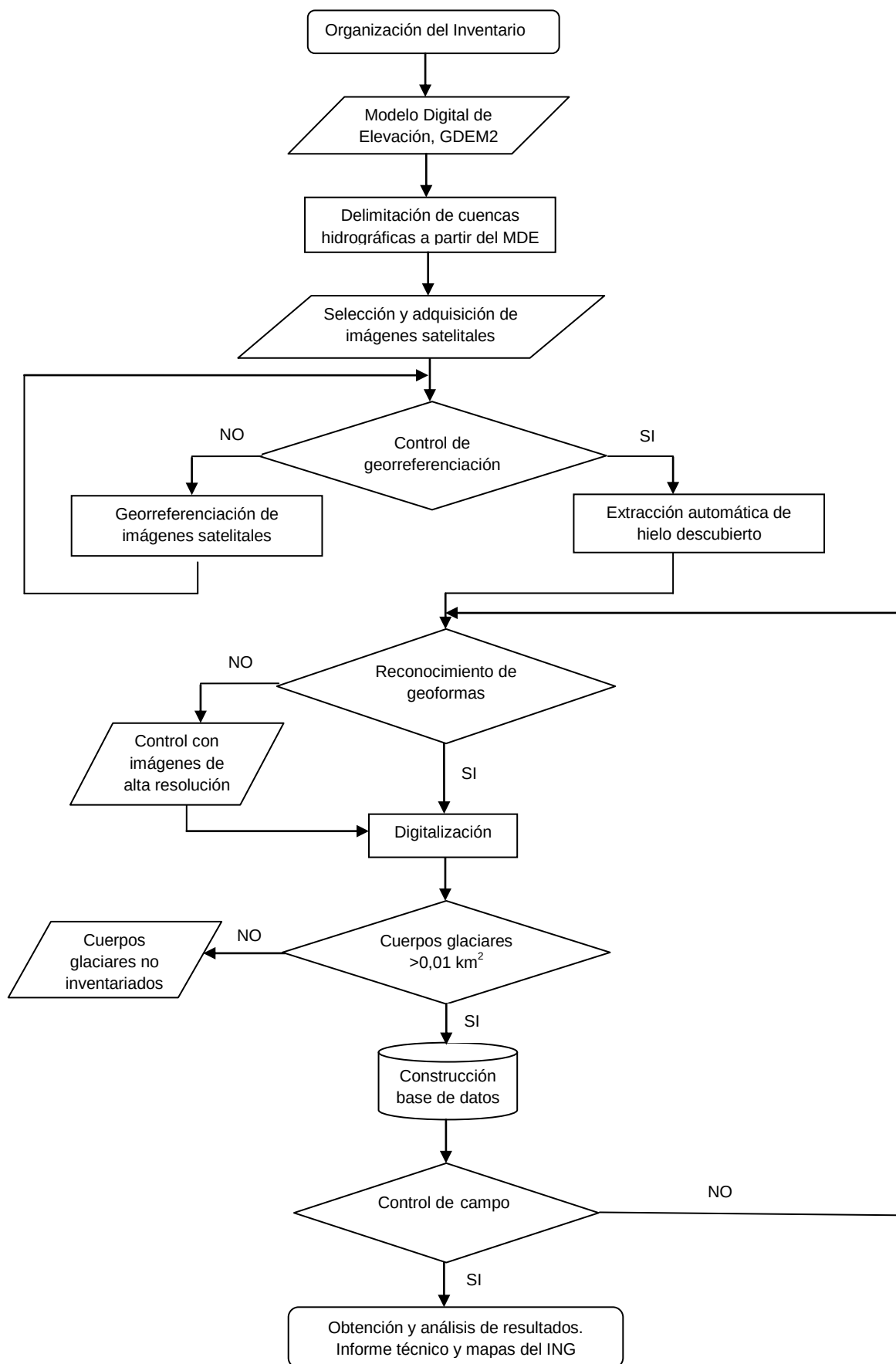


Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada.

4.3. Delimitación del hielo descubierto

El paso posterior a la determinación de las cuencas hidrográficas es la delimitación automática del hielo descubierto. Para ello se realizó una clasificación por objetos a partir de las bandas 1, 2 y 3 de las imágenes de base citadas en la Tabla 1. Dicha clasificación fue realizada con el programa SPRING provisto por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil, INPE (Camara et al. 1996). Una clasificación por objetos utiliza además de la información espectral de cada píxel la información espacial que envuelve la relación entre los píxeles y sus vecinos. Este tipo de clasificación intenta imitar el comportamiento de un fotointérprete al reconocer áreas homogéneas de las imágenes basándose en las propiedades espectrales y espaciales de las mismas. Como resultado de esta clasificación se obtuvieron los polígonos que corresponden al hielo descubierto, incluyendo glaciares y manchones de nieve (ver figura 4). Posteriormente el vector obtenido se edita manualmente para corregir pequeñas diferencias que puedan existir, como por ejemplo el hielo no identificado por estar localizado en sectores en sombra en la imagen o para eliminar la nieve estacional que pueda estar presente en la imagen.

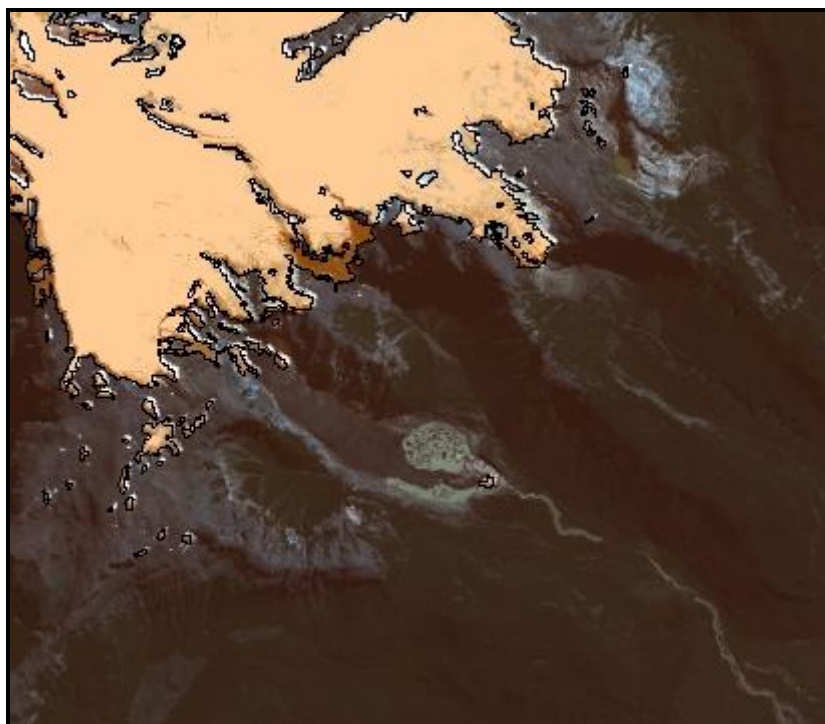


Figura 4: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del Inventario para glaciares cubiertos de detrito y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la mejor metodología utilizada a nivel internacional (Stokes et al, 2007). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo. Para ello, además de las imágenes ASTER y ALOS, se utilizó, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución del Satélite WorldView-2 y las imágenes disponibles en Google Earth. La digitalización vectorial fue realizada con el programa de aplicación KOSMO.

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo incluye la identificación de cada uno de los cuerpos de hielo, su clasificación morfológica, y parámetros de índole física tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total entre otros (ver Anexo 7.3). La base de datos también se construyó con el programa KOSMO.

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

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

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

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

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

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

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

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

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** (ID de la Figura 5 representado por un círculo rojo) que consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma (similar al ID_GLIMS salvo que en el caso del ID_local la longitud está referida al Oeste). Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud Sur.

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

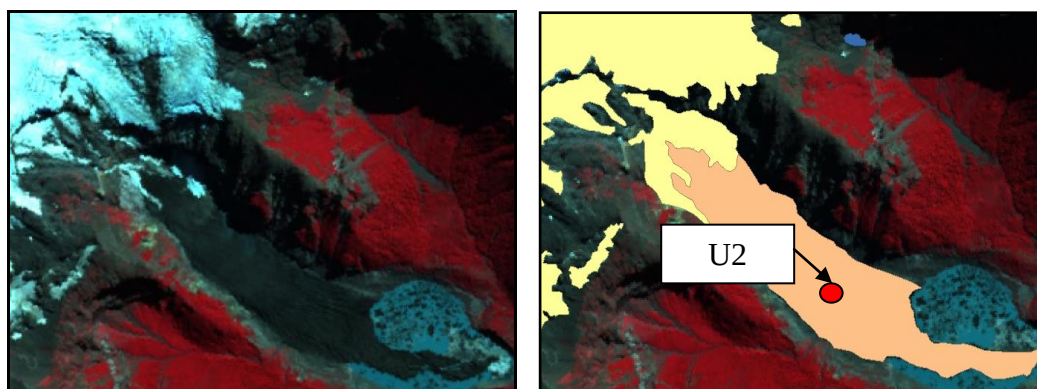


Figura 5: La figura de la izquierda muestra una unidad o cuerpo a inventariar sobre un mosaico de imágenes ALOS. A la derecha se muestra esta misma unidad con todas las subunidades que la componen. Todas las subunidades tienen el mismo código de identificación (ID).

4.6. Control de campo

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

5. Resultados

5.1. Resultados para las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo

La cuenca del río Manso está formada por dos subcuencas, la subcuenca del río Manso y la subcuenca de los ríos Villegas Foyel.

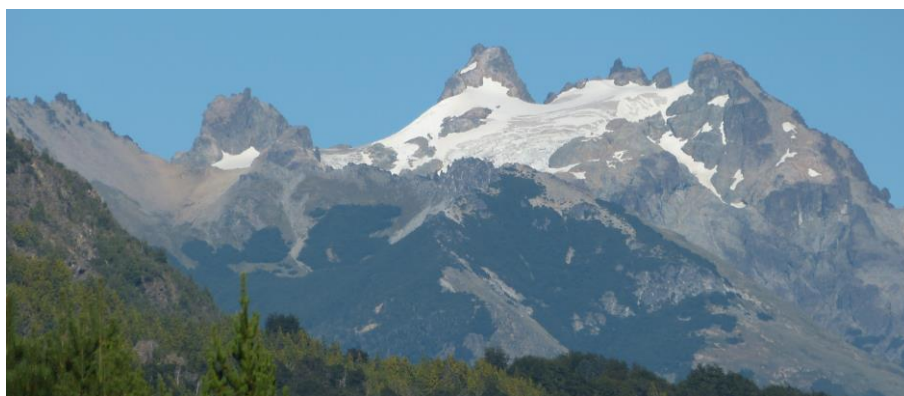
La subcuenca del río Manso se encuentra ubicada al sudoeste de la provincia de Río Negro, limitada por los paralelos 41°08' y 41°45' de latitud sur, y los meridianos 71°28' y 71°54' de longitud oeste. Está situada en su totalidad, en el departamento de Bariloche y gran parte de su superficie se encuentra dentro de la jurisdicción del Parque Nacional Nahuel Huapí. La principal localidad ubicada dentro de la subcuenca es la Villa Mascaridi.

Las mayores precipitaciones se dan en las partes más altas en forma de lluvia y nieve, durante el otoño e invierno, gracias a los vientos húmedos provenientes del Pacífico. Las cuales van disminuyendo hacia el este de la subcuenca.

La vegetación está distribuida según la heterogeneidad climática y topográfica. Así los bosques de *Nothofagus* son los más característicos dentro de la subcuenca, los cuales se alternan con praderas, vegas (también conocidos localmente como mallines) y pastizales de altura.

El turismo representa la actividad económica de mayor importancia en la región. Otros emprendimientos vinculados a la agricultura (producción de fruta fina, ganadería, forestal y pesquera) son importantes pero a menor escala.

Justamente entre los atractivos turísticos de esta subcuenca se encuentran formaciones montañosas que albergan glaciares en sus laderas (Monte Tronador (3.478 msnm), el Cerro Bonete (2.257 msnm), el Cerro Ventisquero (2.298 msnm) y el Cerro Grande o Venzano (2.294 msnm).



Glaciar del Cerro Ventisquero. Foto J. P. Scarpa (IANIGLA-CONICET).

La subcuenca de los ríos Villegas y Foyel se encuentra ubicada al sudoeste de la provincia de Río Negro, limitada por los paralelos 41°22' y 41°47' de latitud sur, y los meridianos 71°10' y 71°34' de longitud oeste. Está situada casi en su totalidad, en el departamento de Bariloche, con la excepción de sus límites extremos orientales que se ubican en los departamentos de Pilcaniyeu y Norquinco. El extremo noroeste de la subcuenca se encuentra bajo la jurisdicción del Parque Nacional Nahuel Huapi. La principal localidad dentro de la subcuenca es El Foyel.

Las mayores precipitaciones se dan en las partes más altas en forma de lluvia y nieve, durante el otoño e invierno, gracias a los vientos húmedos provenientes del Pacífico. Las cuales van disminuyendo hacia el este de la subcuenca.

Dominan las formas de relieve más moderadas, con planicies y valles amplios separados por serranías muy suaves.

La vegetación está distribuida acorde a la heterogeneidad climática y topográfica. Así los bosques de *Nothofagus* son los más característicos dentro de la subcuenca, los cuales se alternan con praderas, vegas y pastizales de altura.

Las actividades económicas más importantes están relacionadas con la explotación forestal, la producción de frutas finas (frambuesas, frutillas), la ganadería y el turismo.

Justamente entre los atractivos turísticos de esta subcuenca se encuentran formaciones montañosas que albergan glaciares en sus laderas y cumbres (Cerro Perito Moreno 2.206 msnm). En las laderas de este cerro se ubica el centro de esquí homónimo.



Glaciar del Cerro Perito Moreno. Foto J. P. Scarpa (IANIGLA-CONICET).

Toda la cuenca del río Manso ocupa una superficie de 2.817 km², en la cual se han inventariado un total 104 glaciares, ocupando un área de 19,69 km² (0,69 % de toda la cuenca). Ver Tabla 2 y Figura 6.

Tabla 2: Superficie total inventariada en las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	15,949
Manchón de nieve/glaciaretos	2,4864
Glaciar cubierto	1,1346
Glaciar de escombros	0,1222
Total	19,69

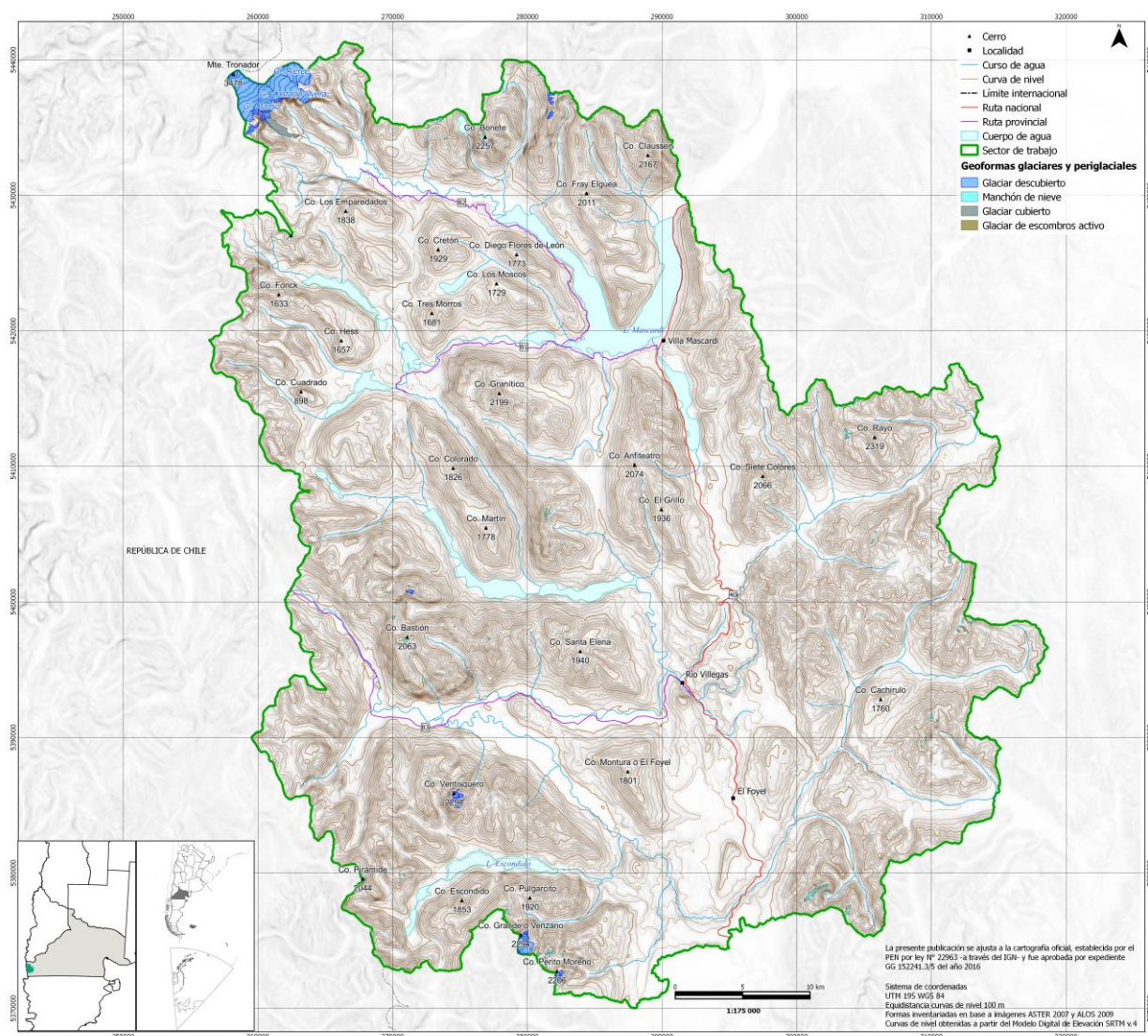


Figura 6: Inventario de glaciares de las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.

La Figura 7 muestra como el área ocupada por hielo descubierto representa el 81% del área englazada, esto se debe a las grandes masas de hielo que presenta el Monte Tronador, con sus glaciares Manso, Castaño Overa y Alerce. El 12% corresponde a manchones de nieve perenne, que ocupan 2,5 km² de superficie. Cabe destacar que el total del hielo cubierto pertenece al Ventisquero Negro, el cual es un glaciar reconstituido a partir de los desprendimientos del Glaciar Manso. Este glaciar representa el 6% de la superficie total inventariada. Los glaciares de escombros activos que aparecen en la región expresan la presencia de un nivel periglacial con permafrost rico en hielo a partir de los 1.800 msnm. Si bien estas crioformas –los glaciares de escombros- no ocupan una gran superficie en la zona inventariada, el 1%, son relevantes porque expresan los restos de sistemas criosféricos pasados importantes y su convivencia con las áreas englazadas.

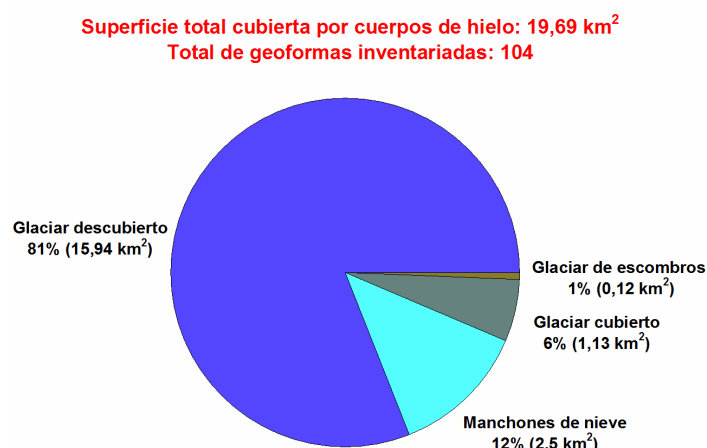


Figura 7: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.

El análisis de la orientación media de los cuerpos inventariados en esta cuenca (Figura 8) indica que la mayoría presenta una exposición sureste, es decir, se ubican en las laderas de menor insolación en el Hemisferio Sur. Estas laderas menos expuestas a la radiación solar tienden a ser más frías que aquellas con orientación norte, manteniendo por periodos más prolongados la nieve del invierno y favoreciendo los procesos que dan origen a los glaciares y crioformas.

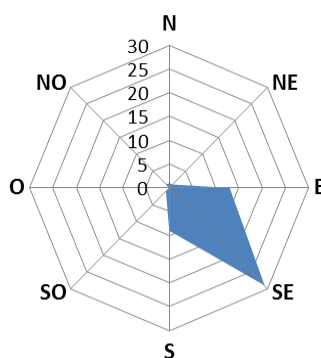


Figura 8: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.

En cuanto a la distribución relativa por tamaño de los distintos cuerpos de hielo, en la Figura 9 se puede observar que los cuerpos de pequeño tamaño ($<0,5 \text{ km}^2$) son claramente más numerosos que los cuerpos de mayor tamaño. Sin embargo, cuando se analizan las superficies relativas cubiertas por las distintas clases de áreas, se puede observar que a pesar de ser muy pocos, los cuerpos más grandes de la cuenca ($1-10 \text{ km}^2$) cubren una superficie considerablemente más extensa que la gran cantidad de cuerpos pequeños de la cuenca.

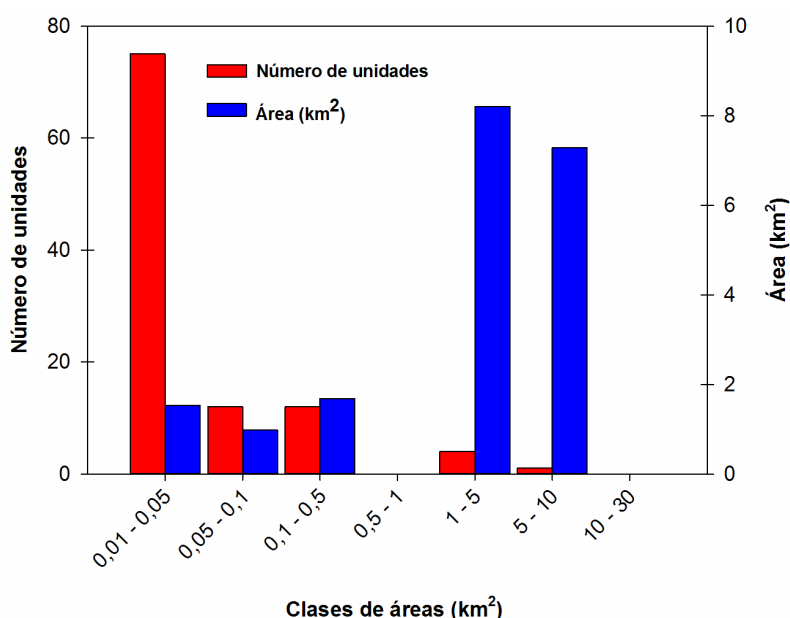


Figura 9: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.

El hielo descubierto presenta una distribución altitudinal que abarca desde los 1.200 msnm hasta los 3.200 msnm debido a que cubren inclusive las laderas más altas del Monte Tronador. Para los glaciaretos (o manchones de nieve) el rango varía desde los 1.300 hasta los 2.300 msnm. En el caso del hielo cubierto, éste se presenta en un rango que va de los 980 a los 1.374 msnm, perteneciendo al Ventisquero Negro del Monte Tronador. Debe destacarse que los casos con mayores áreas cubiertas pertenecen a los glaciares descubiertos y en mayor medida a los manchones de nieve o glaciaretos (ver Figura 10 y Tabla 3).

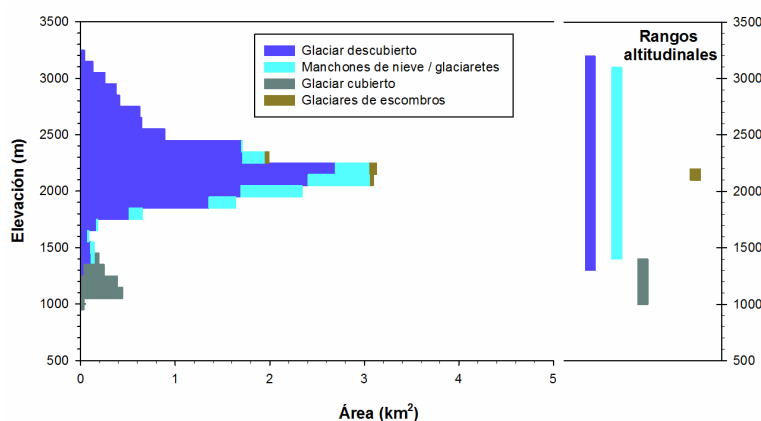


Figura 10: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.

Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	1.191	3.238
Manchón de nieve	1.301	2.300
Glaciar cubierto	981	1.374
Glaciar de escombros	1.900	2.287

5.2. Resultados trabajo de campo

El control de campo se realizó durante el mes de febrero de 2013 en el Cerro Perito Moreno, en el Cerro Ventisquero, sector Cerro Bonete y en el Monte Tronador. El control de campo fue fundamental para corregir las zonas con nieve estacional. Se visitaron un total de 11 geoformas correspondientes a las categorías de glaciares descubiertos, manchones de nieve y glaciar cubierto. En todos los casos hubo coincidencia entre lo identificado y clasificado en gabinete y las observaciones realizadas en el campo. Para mayor detalle ver Anexo 7.2. donde se describen algunas de las geoformas vistas en el terreno.

6. Bibliografía

- Azócar, G.F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: p. 42 - 53.
- Barsch, D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *Third International Conference on Permafrost*, Ottawa, Canada. *Proceedings*, 1: p. 349-353.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, Berlin: 331 pp.
- Bown, F., 2004. Cambios climáticos en la Región de Los Lagos y respuestas recientes del Glaciar Casa Pangué (41°08'S). M.Sc. Thesis, Universidad de Chile, 131 pp.
- Bown, F., Rivera, A., 2007. Climate changes and recent glacier behaviour in the Chilean Lake District. *Global and Planetary Change* 59, 79–86.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16: p. 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: p. 54 - 66.
- Corte, A. y Espizúa, L.E. 1981. *Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza*. IANIGLA-CONICET, Mendoza; 64 pp.
- Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P. y Villalba R. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. *International Ice and Climate Conference*, Valdivia, Chile, CECS.
- Garleff, K. und Stingl, H. 1986. Geomorphologische Aspekte aktuellen und vorzeitlichen Permafrostes in Argentinien. *Zentralblatt fuer Geologie und Palaeontologie*, Teil I: Allgemeine, Angewandte, Regionale und Historische Geologie Heft 9/10, 1367–1374.
- Garleff, K. und Stingl, H. 1988. Geomorphologische Untersuchungen in der nivalen und subnivalen Stufe der argentinischen Anden –Ergebnisse und paläoklimatische Interpretation. *Deutscher Geographentag München*, Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen, 46, Stuttgart, 419-425.
- Gruber, S. y Haeberli, W. 2009. Mountain Permafrost, in *Permafrost Soils* (ed) R. Margesin, *Soil Biology* 16. Springer-Verlag Berlin: p. 33-44p.
- Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitt. d. Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, Vol. 77: p. 142.

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

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

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.

Lawrence, D.B., and Lawrence, E.G., 1959. Recent glacier variations in southern South America. American Geographical Society Southern Chile Expedition Technical Report, Office of Naval Research Contract 641(04), New York, USA, 39 pp.

Lliboutry, L. 1956. Nieves y glaciares de Chile, fundamentos de glaciología. Universidad de Chile, 472 p., Santiago de Chile.

Lliboutry, L., 1998. Glaciers of Chile and Argentina. In: Williams, R.S., Ferrigno, J.G., (eds.), Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: South America. USGS Professional Paper 1386-I, Online version 1.02.

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

Masiokas, M., Villalba, R., Luckman, B., Lascano, M., Delgado, S., Stepanek, P., 2008. 20th century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia. *Global and Planetary Change* 60, 85–100.

Masiokas, M.H., Rivera, A., Espizua, L.E., Villalba, R., Delgado, S., Aravena, J.C., 2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281, 242–268.

Masiokas, M.H.; Luckman, B.H.; Villalba, R.; Delgado, S.; Rabassa, J. 2010. Little Ice Age fluctuations of Glaciar Río Manso in the north Patagonian Andes of Argentina. *Quaternary Research* 73 (1), 96-106.

Masiokas, M.H. y colaboradores del IANIGLA y de otras instituciones. “*Glaciares de Argentina*”. Creación de sitio web dedicado a difundir estudios e información sobre los glaciares argentinos en la Cordillera de los Andes. URL: <http://www.glaciares.org.ar>

Moreno, F. P., 1900. Exploraciones en Patagonia. *Boletín del Instituto Geográfico Argentino*, XX: 342- 394. Buenos Aires.

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

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

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

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

Rabassa, J., Rubulis, S., Suarez, J., 1978. Los glaciares del Monte Tronador. Anales de Parques Nacionales XIV, 259–318.

Rabassa, J., S. Rubulis, J. Suarez. 1978. Glacier inventory of the northern Patagonian andes, Argentina, Between Latitude 39°00' and Latitude 42°20' S. Río Negro, Argentina. Fundación Bariloche.

Rabassa, J., Rubulis, S., Suárez, J., 1979. Rate of formation and sedimentology of (1976–1978) push-moraines, Frías Glacier, Mount Tronador (41°10'S; 71°53' W), Argentina. In: Schluechter, C. (Ed.), Moraines and Varves. A.A. Balkema, pp. 65–79.

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).

Röthlisberger, F., 1986. 10,000 Jahre Gletschergeschichte der Erde. Verlag Sauerländer, Aarau.

Ruiz L. and Trombotto Liaudat, D., 2012a. Mountain Permafrost Distribution in the Andes of Chubut (Argentina) based on a Statistical Model. 10th International Permafrost Conference. Salekhard, Yamal-nenets Russia, Vol. I, 365-370.

Ruiz, L. and Trombotto Liaudat, D., 2012b. Descubrimiento de glaciares de Escombros Fósiles en la cordillera y Precordillera Patagónica, su significado paleoclimático. Revista de la Asociación Geológica Argentina. (En Prensa).

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

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

Trombotto, D. 1991. Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentinie. ("Investigaciones sobre geoformas y sedimentos periglaciales en la 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentina"). *Heidelberger Geographische Arbeiten*, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg, Alemania (ver en www.geog.uni-heidelberg.de/hga).

Trombotto, D. 2000. Survey of Cryogenic Processes, Periglacial Forms and Permafrost Conditions in South America. *Revista do Instituto Geológico* 21: p. 33-55.

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

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

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

Villalba, R., Leiva, J.C., Rubulis, S., Suarez, J., Lenzano, L.E., 1990. Climate, tree-ring, and glacial fluctuations in the Río Frías Valley, Río Negro, Argentina. *Arctic and Alpine Research* 22 (3), 215–232.

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

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

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

Worni, R., Stoffel, M., Huggel, C., Volz C., Casteller, A., Luckman, B.H. 2012. Analysis and dynamic modeling of a moraine failure and glacier lake outburst flood at Ventisquero Negro, Patagonian Andes (Argentina). *Journal of Hydrology* 444-445, 134-145.

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo

Se presentan las tablas con las imágenes utilizadas en el inventario de las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo.

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

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

- Como base de georreferenciación, 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 de la ablación 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
L5232089_08919870902	09 febrero 1987	Base georreferenciación

Satélite: **Terra**

Sensor: **Aster**

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: Los datos ASTER data fueron obtenidos en internet del Data Pool at the 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 con el programa GLIMS.

ID imagen	Fecha	Objetivo
2007144126	21 marzo 2007	Base inventario
2007144135	21 marzo 2007	Base inventario
2007145336	03 abril 2007	Comparar manchones nieve

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

Sensor: AVNIR-2

Resolución espacial: 10 m

Imágenes gentileza Dr. Jinro Ukita, Niigata University, Japan

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALAV2A166224430	08 marzo 2009	Base inventario
ALAV2A166224440	08 marzo 2009	Base inventario

Satélite: **WV02 (WorldView 2)**

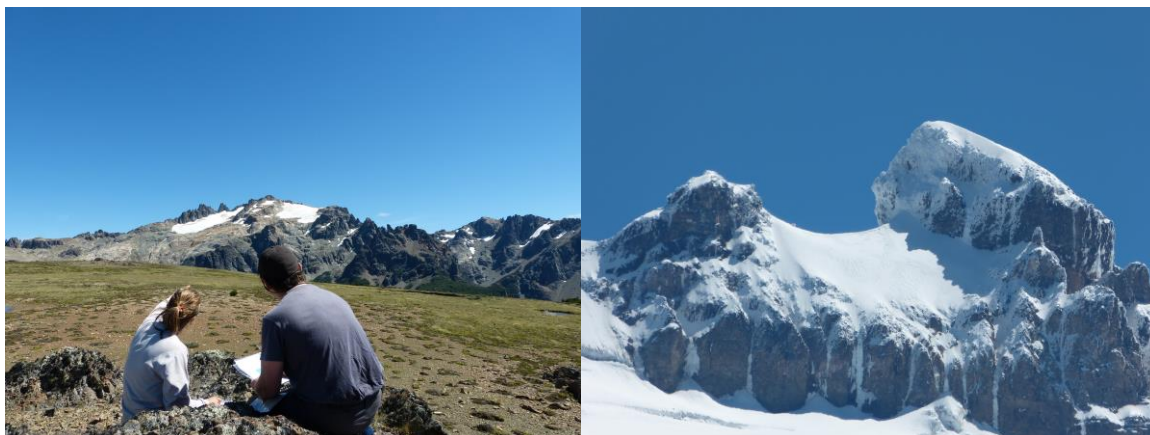
Sensor:

Resolución espacial: 50 cm

Imágenes gentileza Digital Globe (Worldwide High-Res Imagery)

ID imagen	Fecha	Objetivo
sd.	27 febrero 2011	Base de inventario (Glaciares de escombros)

7.2. Control de campo



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 Sistemas de Posicionamiento Satelital (Señal Navstar y Glonass) vinculados a equipos con capacidad de realizar “Map Moving”,

7.2.2. Metodología de trabajo de campo

La metodología de trabajo en terreno consistió:

- ✓ Detección de geoformas glaciares sobre las que existían dudas sobre límites y características. Elección de glaciares a visitar de acuerdo con un porcentaje de geoformas, áreas englazadas y unidades representativas, sobre el total.
- ✓ Elección del sector a visitar, teniendo en cuenta la accesibilidad a los mismos: Terreno a transitar, existencia de senderos, contar con servicio de transporte lacustre y permiso para ingresar en terrenos privados o bajo jurisdicción de Parques Nacionales.
- ✓ Toma de fotografías desde puntos panorámicos (geoformas que no se podía acceder con facilidad). Y toma de fotografías, observación de los detalles morfológicos y verificación de la clasificación de los cuerpos glaciares a los cuales si se podía acceder.

- ✓ Utilización de tecnología GPS para toma de puntos de referencia, empleo de cartografía digital visualizada en equipos de telefonía celular con antenas GPS incorporados, los cuales permitieron realizar una navegación mas fiable en terreno y se le incorporó al Navegador Satelital GPS, cartografía vectorial en formato propietario de Garmin (*.img). Ver figuras A1 – A2 – A3 y A4 (capturas de pantalla de los dispositivos utilizados).



Figura A1 - A2: Capturas de pantalla de la aplicación Oziexplorer para sistema Android.
Figura A3: Captura de pantalla del Navegador Satelital GPS Garmin, utilizando cartografía digital.
Figura A4: Programa Oruxmaps para sistema Android.

Figura A1

Figura A2

Figura A3

Figura A4

7.2.3 Sectores relevados en la subcuenca del río Manso y resultados del trabajo de campo

7.2.3.1 Sector Cerro Perito Moreno

A este sector se accedió desde la base del Centro de Esquí “Perito Moreno” y luego de una caminata de 3 horas se llegó al “Plateau” donde se realizó la verificación de la clasificación de las geoformas inventariadas (Figura A5 (mapa de ubicación)).

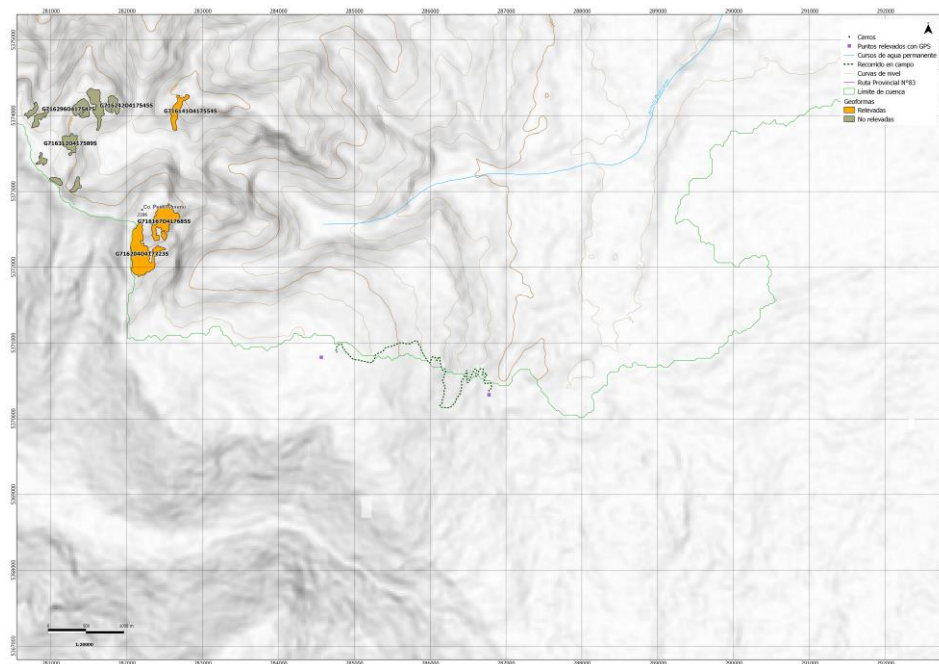


Figura A5: Mapa de ubicación del sector Cerro Perito Moreno con las geoformas inventariadas.

Geoforma G716204O417723S

El Glaciar Sur Del Cerro Perito Moreno, es clasificado como un glaciar de montaña y posee un frente normal. El largo total del mismo es de 727 m. En las tareas de campo se corroboró su clasificación. Fecha: 21/02/2013.



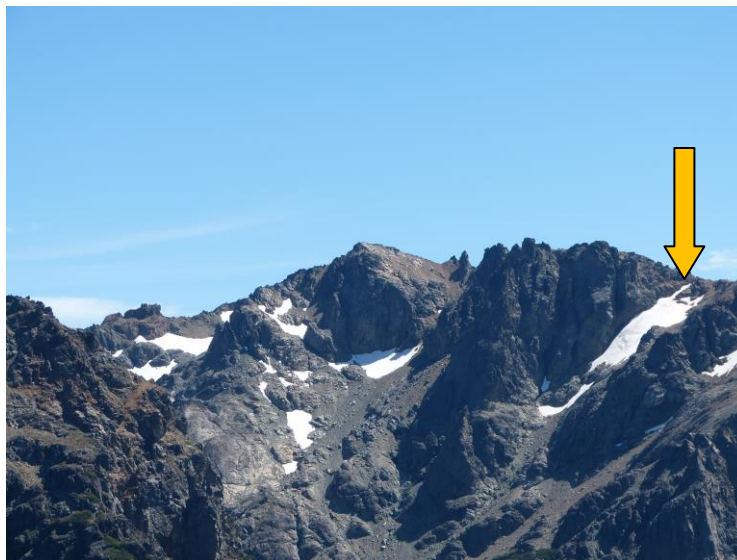
Geoforma G716167O417685S

El Glaciar Norte del Cerro Perito Moreno, se clasificó como un glaciar de montaña y posee un frente normal. El largo total del mismo es de 303 m. En las tareas de campo se corroboró su clasificación. Fecha: 21/02/2013.



Geoforma G7161410417554S

Manchones de nieve situados al norte de los Glaciares del Cerro Perito Moreno. Se corroboró en terreno la geoforma inventariada (señalada con flecha naranja) y se observan en la imagen varios manchones de nieve estacionales, los cuales no han sido inventariados. Fecha: 21/02/2013.



7.2.3.2 Sector Cerro Ventisquero

A este sector se accedió desde la Ruta Provincial N°83, hasta llegar a visualizar los cuerpos glaciarios de este macizo. (Figura A6 (mapa de ubicación)).

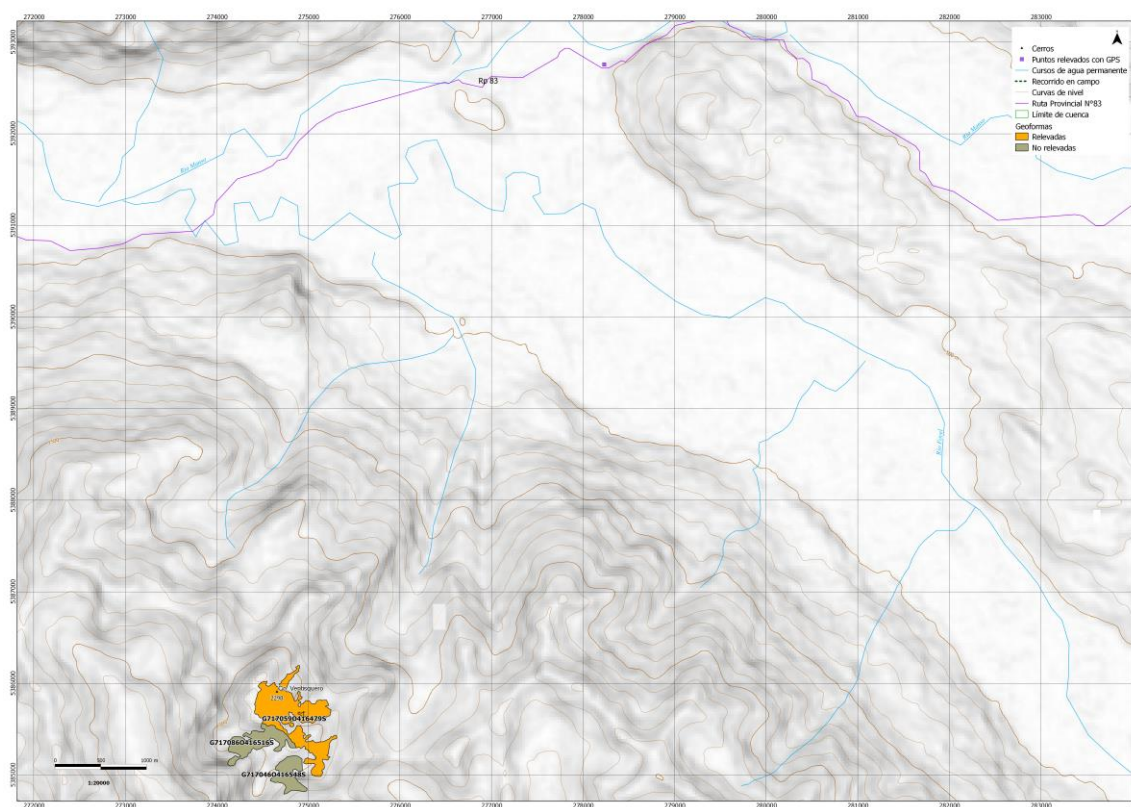


Figura A6: Mapa de ubicación del sector Cerro Ventisquero con las geoformas inventariadas.

Geoforma G717059O416479S

Los glaciares del Cerro Ventisquero fueron corroborados a partir de la toma de fotografías. En la imagen se observa el glaciar de montaña inventariado. Fecha: 26/02/2013.



7.2.3.3 Sector Cerro Bonete

A este sector se accedió desde la Ruta Provincial N°82, llegando a visualizar los cuerpos glaciarios de este cerro y sus adyacencias. (Figura A7 (mapa de ubicación)).

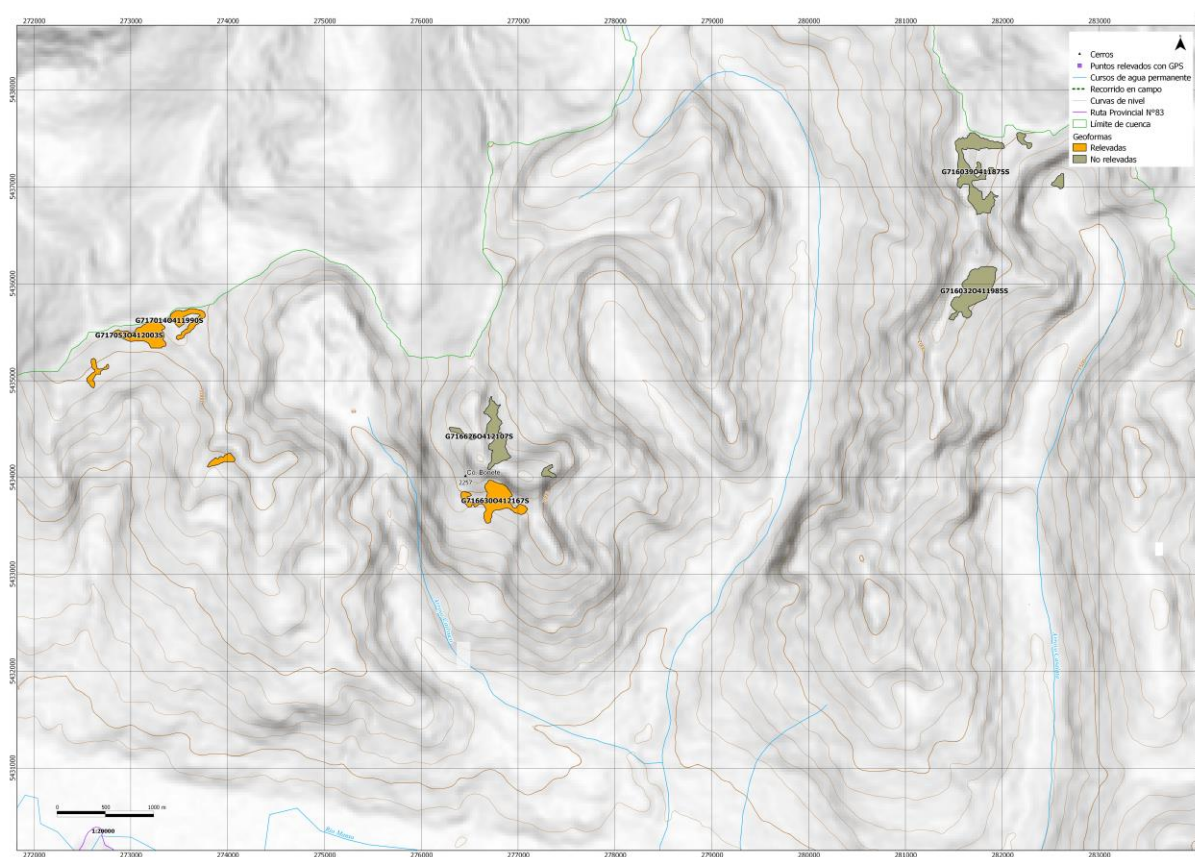
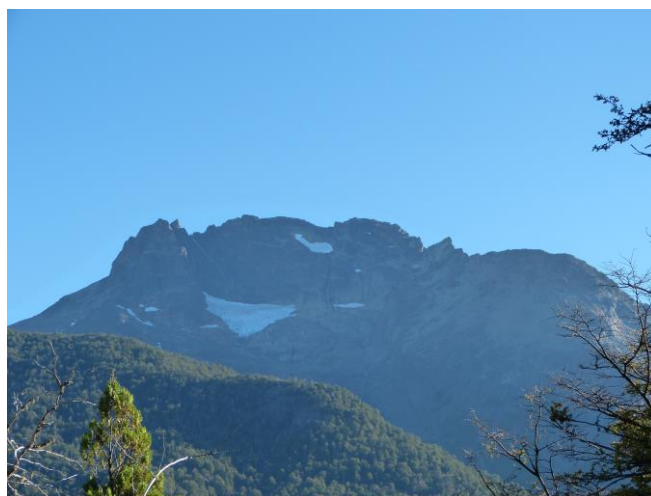


Figura A7: Mapa de ubicación del sector Cerro Bonete con las geoformas inventariadas.

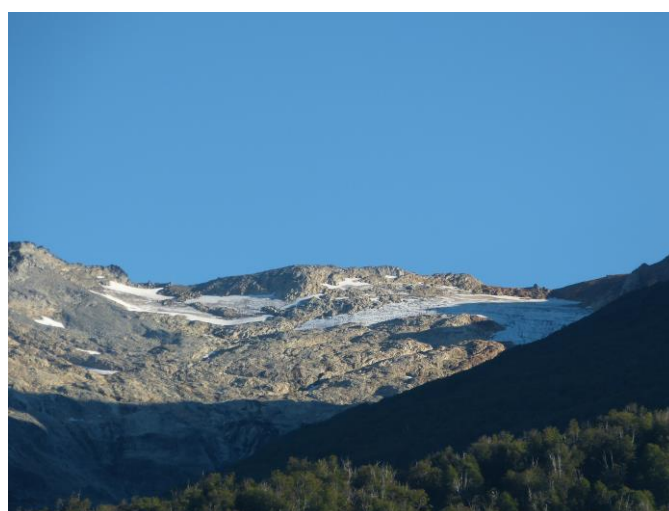
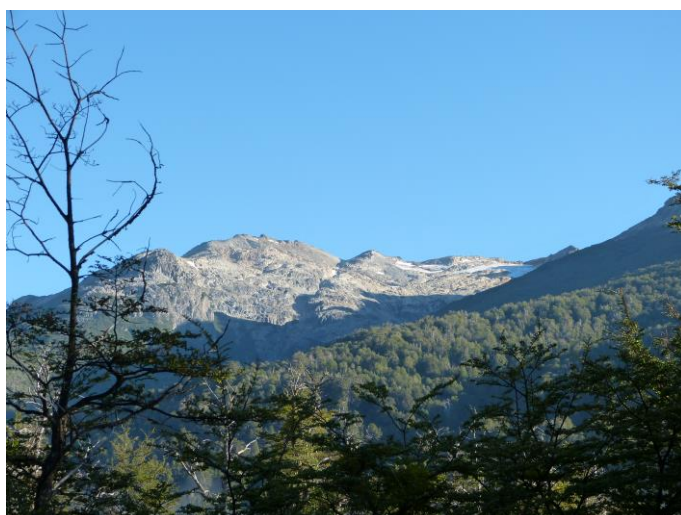
Geoforma G716630O412167S

Glaciar de circo en el cerro Bonete. Fecha: 26/02/2013.



Geoformas G717053O412003S - G717014O411990S

Manchones de nieve ubicados al Noroeste del Cerro Bonete. Fecha: 26/03/2013



Zoom a las geoformas inventariadas

7.2.3.4 Sector Monte Tronador

A este sector se accedió desde la Ruta Provincial N°82, hasta llegar al Paraje “Pampa Linda”. Desde allí se recorre un sendero de montaña, el cual luego de transitar por 5 horas se arriba al refugio del Club Andino Bariloche “Otto Meiling”. Desde este punto se visualizaron los cuerpos glaciarios de este cerro. (Figura A8 (mapa de ubicación)).

También se visitó el mirador del Ventisquero Negro para realizar la verificación de este glaciar cubierto.

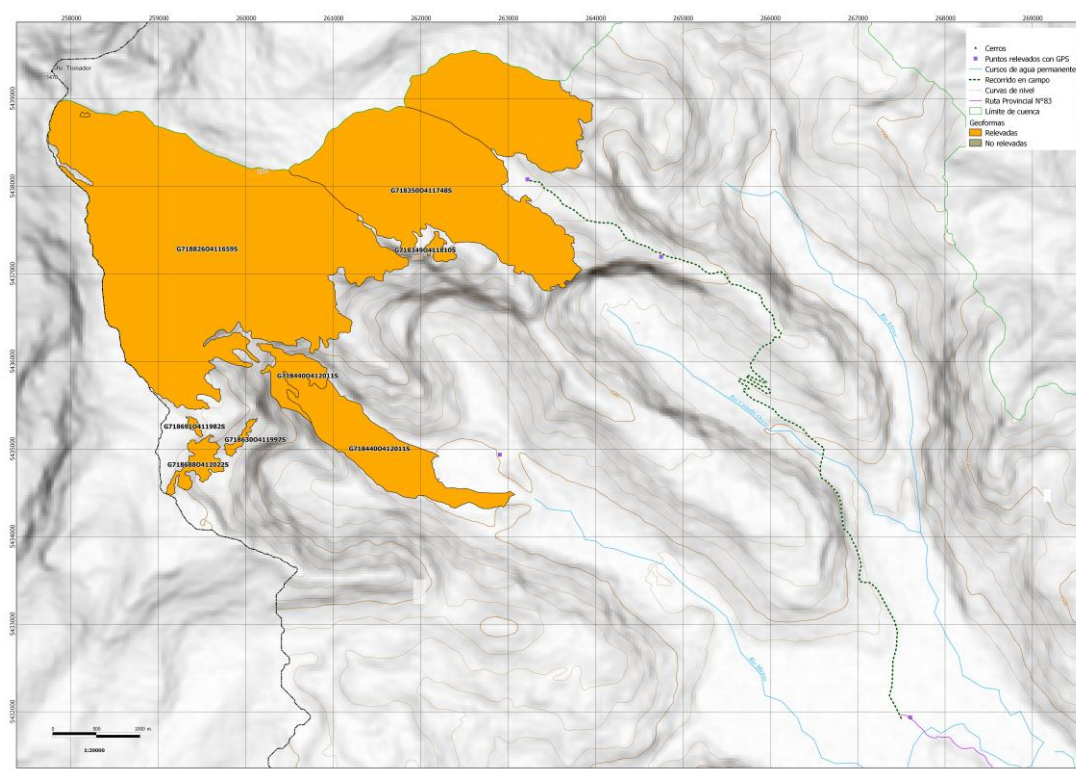


Figura A8: Mapa de ubicación del sector Monte Tronador y Ventisquero Negro con las geoformas inventariadas.

Geoforma G718826O411659S

Vista sobre el glaciar Manso. Monte Tronador. Fecha: 25/03/2013



.Geoforma G718350O411748S

Vista sobre el glaciar Castaño Overa desde el sendero de acceso al refugio Otto Meiling. Monte Tronador. Fecha: 25/03/2013.



Geoforma G718255O411666S

Zona de “dry calving” y seracs del glaciar Alerce. Monte Tronador. Fecha: 25/03/2013.



Geoforma G718440O412011S

Glaciar cubierto Ventisquero Negro visto desde el playón de estacionamiento. En primer plano se observa en el vértice inferior izquierdo de la figura, parte de su laguna proglacial. Monte Tronador. Fecha: 25/03/2013.



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

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



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



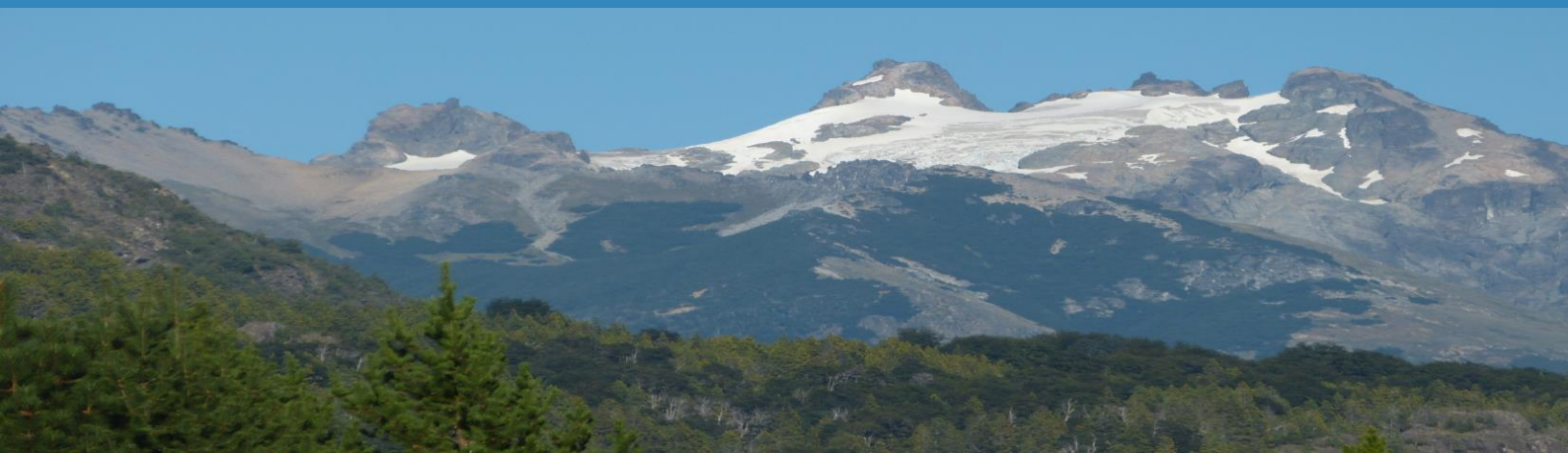
CONICET

U. N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de las subcuencas de los ríos Manso, Villegas y Foyel, cuenca de los ríos Manso y Puelo, Provincia de Río Negro.





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

Hoja Adicional de Firmas
Informe gráfico

Número:

Referencia: ING - Río Manso

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 53 pagina/s.