



**INVENTARIO
NACIONAL
DE GLACIARES**

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de la subcuenca
del lago Puelo Inferior
Cuenca de los ríos
Manso y Puelo**

Provincias del Chubut y Río Negro



Glaciar Don Vedo, en la sub-subcuenca del río Turbio (Foto: L. Ruiz)

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

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

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

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

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

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

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Directores técnicos: Dr. Lucas Ruiz y Dr. Darío Trombotto

Profesionales: Dr. Lucas Ruiz y Lic. Ivanna Pecker Marcosig

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

Mayo 2018

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

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes	6
3.	Definiciones a los fines del Inventario	9
4.	Materiales y métodos	11
4.1	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación.....	12
4.2	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación.....	13
4.3	Delimitación de hielo descubierto.....	16
4.4	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	18
4.5	Base de datos de las geoformas inventariadas	19
4.6	Control de campo	20
5.	Resultados	21
5.1.	Subcuenca lago Puelo Inferior	22
5.2.	Resultados trabajo de campo.....	26
6.	Bibliografía	27
7.	Anexos.....	31
7.1	Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca lago Puelo Inferior.....	31
7.2	Control de campo	33
7.3	Descripción de la base de datos	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Áreas naturales protegidas dentro del área de estudio.....	4
Figura 2: Sectores de trabajo a partir de la agrupación de sub- subcuencas de la subcuenca del lago Puelo Inferior.....	12
Figura 3: Fuentes de información utilizadas para la realización del inventario.....	14
Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada.	15
Figura 5: Ejemplo de la metodología para la vectorización de los cuerpos de hielos en base a la escena ASTER.	
Figura 6: Ejemplo de la importancia de la buena iluminación de las imágenes en la identificación de hielo en sombra.	18
Figura 7: Código identificador ID_local de un glaciar.	20
Figura 8: Glaciar Esperanza Norte, subcuenca lago Puelo Inferior. (Foto: Lucas Ruiz, 2010)...	21
Figura 9: Mapa general de la subcuenca Lago Puelo Inferior con las geoformas inventariadas.	23
Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados en área y porcentajes. Subcuenca lago Puelo Inferior.	23
Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en función de su superficie. Subcuenca lago Puelo Inferior.	24
Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías. Subcuenca lago Puelo Inferior.	24
Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca lago Puelo Inferior.	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes del sensor ASTER y LANDSAT utilizadas como base para el inventario de la subcuenca Lago Puelo Inferior.	13
Tabla 2: Tipo de geoforma y superficie total en la subcuenca Lago Puelo Inferior.	22
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en subcuenca Lago Puelo Inferior.	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

GE: Glaciar de escombros

GEA: Glaciar de escombros activo

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

GI: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media de la geoforma

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

IPA: International Permafrost Association

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil

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

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

NASA: National Aeronautics and Space Administration (Estados Unidos)

PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina

USGS: United States Geological Survey

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

1. Introducción

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

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

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

Horcones Inferior, y de los Polacos son los glaciares más conocidos. Miles de visitantes llegan cada año al Parque Provincial Aconcagua para escalar o simplemente admirar estas imponentes moles de roca y hielo.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

comportamiento y determinar la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina. En este informe se describen los trabajos realizados para la identificación e inventario de los cuerpos de hielo en la subcuenca del Lago Puelo Inferior, perteneciente a la cuenca de los ríos Manso y Puelo, provincias del Chubut y Río Negro en la región de Patagonia Norte. El inventario ha sido realizado siguiendo lineamientos internacionales (GLIMS) adaptados a condiciones locales y regionales a partir de la metodología elaborada en el IANIGLA (detallada más adelante) que sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

En esta cuenca además de los glaciares, el imponente bosque andino patagónico cobra gran relevancia paisajística y ecológica, es por ello que existen a lo largo de toda la cuenca áreas naturales protegidas de diversa categoría que albergan más del 60% de las geoformas glaciares inventariadas. En la Figura 1 se presentan las áreas naturales protegidas presentes en la subcuenca del Lago Puelo Inferior.

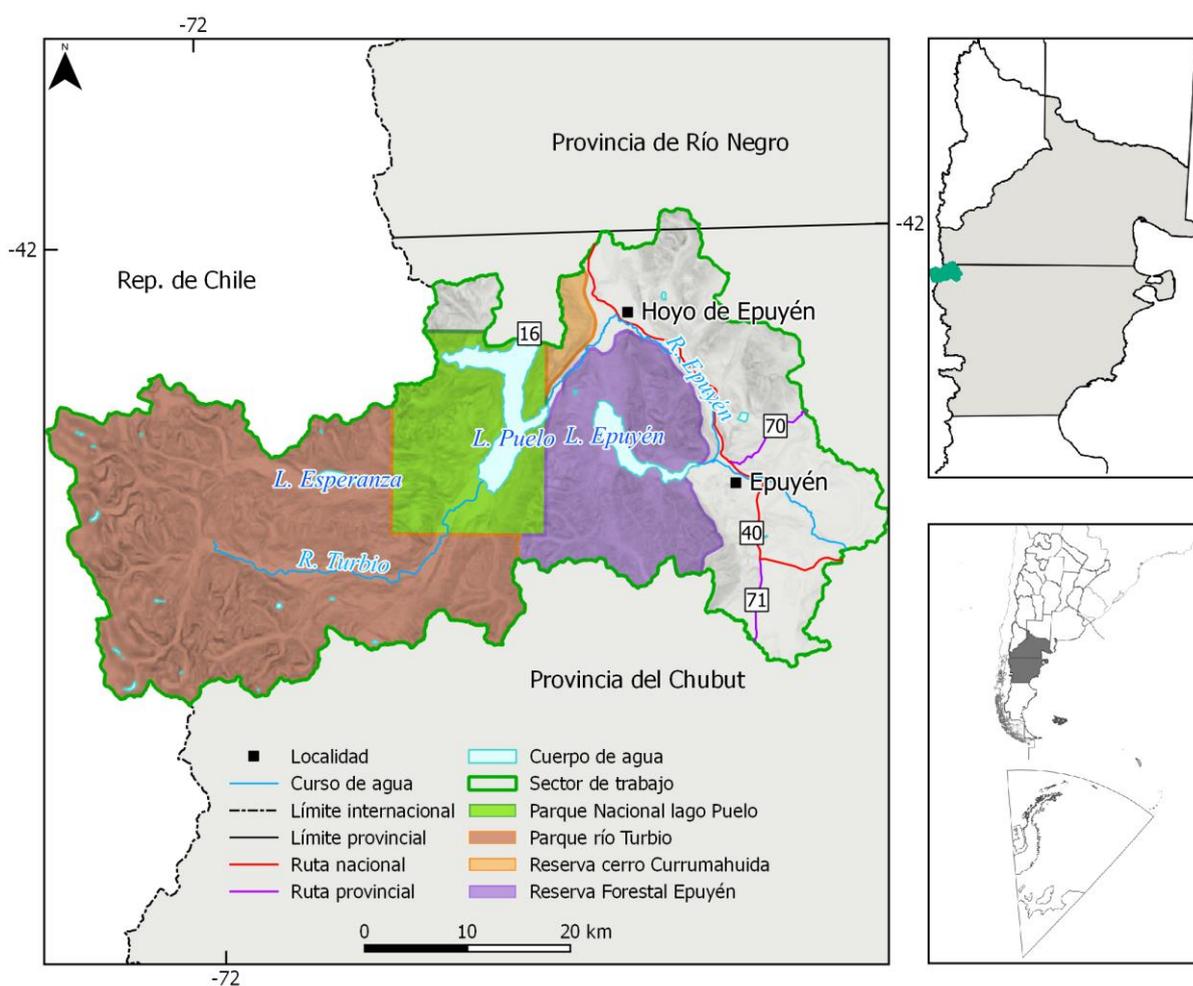


Figura 1: Áreas naturales protegidas dentro del área de estudio.

El presente informe del Inventario Nacional de Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1 en la subcuenca del lago Puelo Inferior, cuenca de los ríos Manso y Puelo. 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 subcuenca del lago Puelo Inferior (subcuenca río Turbio en Anexo 2 del cronograma del inventario, IANIGLA 2010) fue elaborado en octubre de 2014 y aprobado según resolución N°RESOL-2017-32-APN-MAD del 17 de enero de 2017, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

Se agradece a la Dirección General de Bosques de la Provincia del Chubut por la logística durante el control de campo de la subcuenca del río Turbio. El apoyo prestado por Andrés Milani y su avión durante el control de campo de la cuenca del río Turbio.

2. Antecedentes

Si bien existen registros de la existencia de glaciares en estas latitudes por los menos desde finales del siglo XIX (Moreno 1900), los mismos no han sido estudiados en detalle hasta el momento.

Lliboutry (1956), realizó el primer análisis de la distribución de los glaciares a lo largo de la Cordillera de los Andes, entre Argentina y Chile. Para los Andes de la Región de los Lagos, 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. Este autor, citando los trabajos de diversos exploradores (e.j. Neumayer 1949), indica que en el Cordón del Pico Alto o CABA (2.435 msnm), cabecera de la sub-subcuenca del río Turbio, el límite de las nieves eternas se halla cercano a los 1.700 msnm. También indica que en el río Esperanza (o Alerzal) norte, se encuentra un glaciar de unos 6 km de largo que termina en un lago proglacial a 800 msnm de altitud (glaciar Esperanza Norte). Por último Lliboutry (1956) también señala que, más al oeste existe otro gran glaciar, de dimensiones análogas al glaciar Esperanza Norte, que da nacimiento al río Turbio Primero.

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. Feruglio (1957) también destaca la presencia de un importante centro de glaciación en la cabecera del río Turbio y la presencia de otros centros glaciarios en el estero Vududahué, donde los hielos descienden hasta alturas de 800 msnm, en Chile. Por otro lado, Feruglio (1957), menciona que en las montañas al este de la Cordillera Central, en los nacimientos del Río Foyel y Chubut (Precordillera), conservan algunos manchones de nieve al abrigo de las cimas más elevadas (2.200-2.350 msnm), pero no de glaciares. Rabassa et al., (1978), presentaron el primer inventario preliminar de glaciares para 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 total englazada de 138,88 km², la mayor parte de ellos en los volcanes Tronador y Lanín (al norte de la zona de estudio) (Rabassa et al. 1981). Según estos autores el tipo de glaciares existentes son de montaña, con numerosos cuerpos de hielo y nieve, pequeños y aislados y solo algunos glaciares de valle y descarga, los cuales se concentran principalmente en los aparatos volcánicos. Dentro de la subcuenca del Puelo Inferior, estos autores, identificaron solo 3 glaciares (Esperanza Norte, Filo Dentado A y B).

Rabassa et al. (1981), a partir de una combinación de observaciones directas y derivadas de fotografías aéreas, 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 y claro gradiente oeste-este y uno mucho más suave norte-sur.

En el año 2009, la Dirección General de Aguas de Chile (DGA, 2009) realizó un inventario preliminar de los glaciares de la región de Chiloé Continental, al oeste de la zona de estudio a partir de escenas Landsat 7 de los años 2003-2009. Entre los 41° 29' S y los 44° 01' S identificaron un total de 2.552 glaciares que cubren una superficie aproximada de 737,81 km².

Existen también en los Andes Húmedos un creciente número de trabajos relacionados con las fluctuaciones de los glaciares en los últimos 1.000 años (Masiokas et al. 2009). En este contexto, Lawrence y Lawrence (1952), Rabassa et al., (1984), presentaron las primeras dataciones de morenas en la zona del Monte Tronador. Villalba et al. (1990), Masiokas et al. (2008) y Masiokas et al. (2010) analizaron las cronologías, de los últimos 400 años, de varios glaciares de la vertiente Argentina del Monte Tronador a partir de técnicas dendrocronológicas y documentos históricos. Garibotti et al. (2009) presentaron la cronología de las morenas recientes del glaciar Torrecillas en el Parque Nacional los Alerces. Por su parte Bown (2004) analizó las fluctuaciones del glaciar Casa Pangue, en Chile, para los últimos 100 años.

Más recientemente, Ruiz et al. (2012) reconstruyeron las fluctuaciones de los últimos 400 años del glaciar Esperanza Norte y las compararon con las del glaciar Frías (Leclercq et al. 2012), encontrando una marcada similitud entre ambas. Esta similitud indica que ambos glaciares, por más que estén separados más de 100 km, están influenciados por los mismos forzantes climáticos. Rivera et al. (2012) analizaron las fluctuaciones de diferentes tipos de glaciares en el sector chileno y su relación con la actividad volcánica en la zona para los últimos 40 años, encontrando respuestas disímiles.

Con respecto al ambiente periglacial actual, Garleff y Stingl (Garleff 1977, Garleff y Stingl 1986, 1988, etc.) distinguen fenómenos periglaciales actuales en los Andes Australes estableciendo transectas a lo largo de toda la Cordillera de los Andes, desde las máximas alturas hasta la estepa. Estos autores remarcan que los fenómenos periglaciales y la presencia del permafrost andino-patagónico dependen fundamentalmente de la temperatura como criofactor generador más importante.

De acuerdo a mediciones de temperaturas con perforaciones superficiales y al levantamiento geomorfológico llevado a cabo por Trombotto (2000, 2002), se puede esperar la presencia de permafrost en la región de los Andes Patagónicos por sobre los 2.000 msnm. Garleff (1977) reconoció diversas microformas criogénicas actuales en los Andes Australes de esta región; también el autor reconoció pendientes sedimentarias criogénicas, terrazas o lóbulos de solifluxión con frentes rocosos, suelos estructurados, guirnaldas y krummholz. Trombotto (2000, 2008) señala que a la latitud del lago Vintter (44°S) existen hallazgos de permafrost a 2.060 m de altura, también existen señales de permafrost en el Cordón de las Agujas, Chubut.

Recientemente, Ruiz y Trombotto (2012a) han realizado el primer modelo estadístico de distribución de permafrost de montaña para los Andes de la Región de los Lagos, más precisamente

en los cordones Rivadavia (divisoria interna de la cuenca Futaleufú), Esquel y Leleque (divisoria de la cuenca Futaleufú). Según los resultados del modelo estadístico existen condiciones de permafrost en una pequeña proporción del área por encima del límite superior del bosque. La presencia del permafrost según el modelo está restringida a las zonas entre 1.750 y 2.100 msnm que reciben muy poca radiación solar. Si bien la presencia de permafrost todavía debe ser corroborada con datos de temperatura del suelo, existe una alta coincidencia entre las zonas con mayor posibilidad de contener permafrost y la distribución de prótalus ramparts y prótalus lobulados en el Cordón Leleque (Ruiz y Trombotto 2012b).

3. Definiciones a los fines del Inventario

A los fines específicos y operativos del Inventario Nacional de Glaciares, el IANIGLA propuso en el documento: “**Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución**”, (http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/fundamentos_cronograma_ejecucion.pdf IANIGLA 2010) definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos de hielo a inventariar dentro del ambiente glacial y periglacial de Argentina. El objetivo de estas definiciones es aclarar las características básicas de los diferentes cuerpos identificados en las imágenes satelitales y los procesos que las originan, para que puedan ser reconocidos por los operadores sin lugar a ambigüedades. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo para la subcuenca del lago Puelo Inferior, 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, las mismas concuerdan por un lado con los lineamientos generales dados por el WGMS (World Glacier Monitoring Service) y la IPA (International Permafrost Association), y además cumplen con la propiedad principal que debe tener un cuerpo de hielo para ser incluido en el Inventario, su condición de reserva de agua en estado sólido. Es respetando estos dos conceptos que se proponen las siguientes definiciones:

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

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

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

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

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

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

Cabe aclarar que en el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo, son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (Corte 1976; Schrott 1996; Brenning y Azócar 2010; Azócar y Brenning 2010). Es precisamente el alto contenido de hielo el que favorece su desplazamiento pendiente abajo (Haeberli 1985; Barsch 1996). Este movimiento es el que genera los rasgos característicos superficiales (crestas y surcos, crestas laterales) que permiten identificar a los glaciares de escombros en las imágenes satelitales (Haeberli 1985; Trombotto 1991; Barsch 1996; Ikeda y Matsuoka 2002). Por otra parte es importante aclarar que la distribución de hielo dentro de los glaciares de escombros no es homogénea, ya que existen variaciones tanto horizontales como verticales, de allí la importancia de identificar la totalidad del cuerpo (Barsch 1996; Gruber y Haeberli 2009; Arenson y Jakob 2010; Otto et al. 2010).

4. Materiales y métodos

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

El presente informe corresponde al Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del lago Puelo Inferior ubicada en el sector sur de la cuenca de los ríos Manso y Puelo. Esta subcuenca está formada a su vez por dos sub-subcuencas. A continuación se describen sus características, mientras que en la Figura 2 se observa la ubicación dentro de la cuenca total.

1- Sub- subcuenca del río Turbio: incluye los ríos Turbio I, II, III y IV, Alerzal, Derrumbe y arroyo Jara. Tales cursos poseen sus nacientes en los altos cordones montañosos ubicados al oeste de la cuenca. El río Turbio es el más importante de la subcuenca y en él descargan sus aguas los ríos Alerzal y Derrumbe. Luego todos los cursos desaguan en el lago Puelo.

2- Sub- subcuenca del río Epuyén: incluye los arroyos que desciende del cerro Pirque y del cerro Epuyén al lago homónimo, los ríos Pedregoso y de las Minas, arroyos Cascada Mercedes, Pedregoso, Catarata o Corbata Blanca, además de los pequeños arroyos que desciende de la vertiente SE del cerro Currumahuida.

A fines prácticos, los resultados del inventario de la subcuenca lago Puelo Inferior (ver sección 5) se presentan juntos para la totalidad de dicha subcuenca.

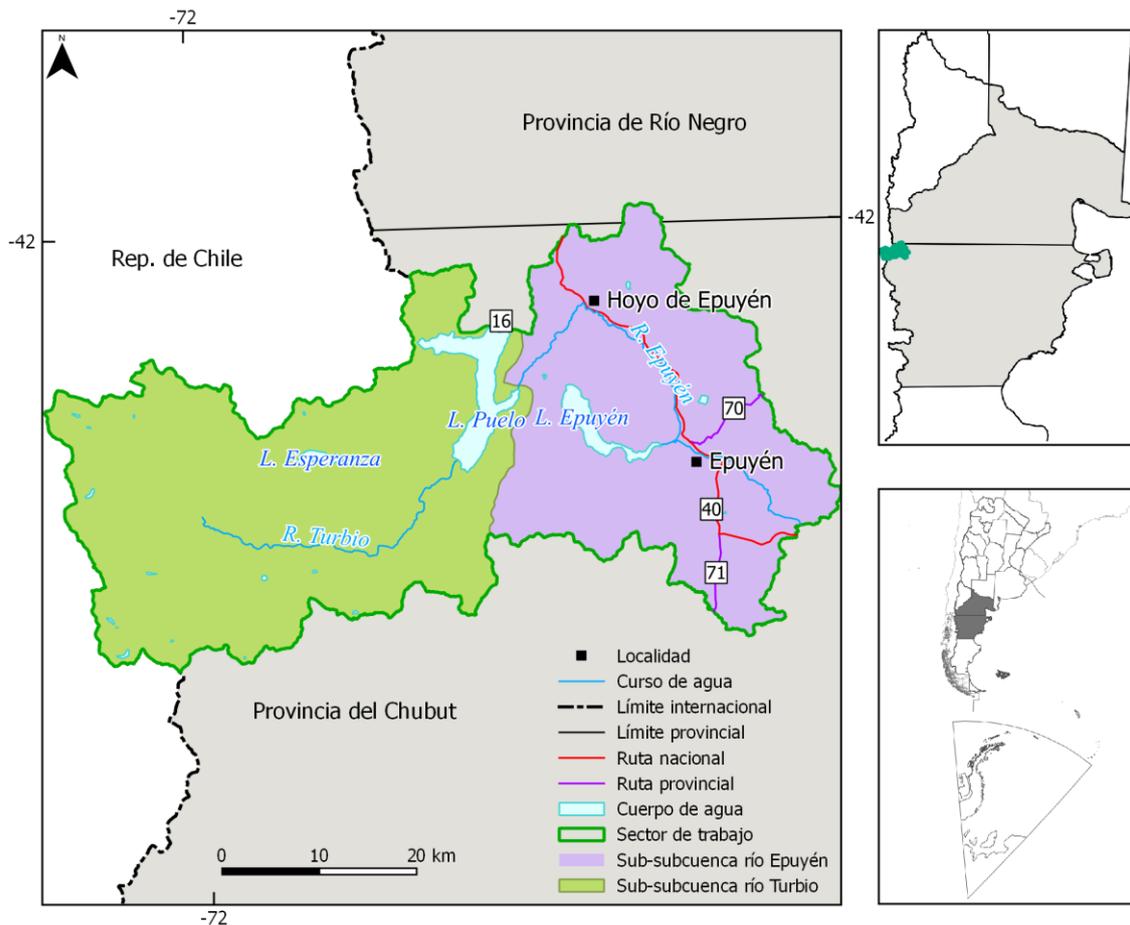


Figura 2: Sectores de trabajo a partir de la agrupación de sub- subcuencas de la subcuenca del lago Puelo Inferior.

4.1 Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación

El proceso de trabajo comienza con la búsqueda de un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) para realizar la delimitación de cuencas y subcuencas.

El objetivo de la delimitación de cuencas es generar una red de drenaje para la zona de estudio, a fin de poder delimitar los cuerpos pertenecientes a cada unidad hidrológica y así poder asignar su dirección de descarga y aporte a los cursos de agua.

El DEM utilizado para este inventario fue el ASTER GDEMv2, el cual está confeccionado a partir de imágenes estereoscópicas del satélite ASTER. Las bandas utilizadas son VNIR 3N (Nadir) y VNIR 3B (Back).

A partir del uso de Sistemas de Información Geográfica (SAGA, QGIS) se han realizado procesos automáticos sobre el Modelo Digital de Terreno (DEM) a fin de obtener los límites de cuencas y subcuencas sobre los cuales se va a trabajar para inventariar los glaciares y manchones de nieve.

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 subcuenca del lago Puelo Inferior se encuentra

dentro de una cuenca bi-nacional, los límites dentro del territorio Argentino no son estrictamente hidrológicos.

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

4.2 Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el Inventario en la subcuenca del lago Puelo Inferior se utilizaron de base imágenes ASTER del satélite TERRA y del satélite ALOS AVNIR, aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo LANDSAT y el programa Google Earth (Figura 3). La imagen Landsat se utilizó como base de georreferenciación. Las imágenes de mayor resolución espacial de Google Earth se emplearon como apoyo para la interpretación y delimitación del hielo cubierto y glaciares de escombros así como para identificar aquellos cuerpos de hielo menores o que se ubiquen en aquellas zonas con mucha sombra de las escenas ASTER. Para validar la presencia de “manchón de nieve/ glaciarete” de manchones de nieve estacionales es necesario contar a su vez con imágenes de por lo menos dos años anteriores a la imagen empleada en el inventario para asegurarse que se trata de manchones de nieve permanentes, para ello se empleó una imagen ASTER del año 2005 (para más detalles ver Anexo 7.1.).

Tabla 1: Imágenes de los sensores ASTER y ALOS utilizadas como base para el inventario de la subcuenca lago Puelo Inferior.

Nombre	ID Escena	Fecha
ALOS	ALAV2A16622440	08 marzo 2009
ASTER	AST_L1A_00302042008144120	04 febrero 2008
ASTER	AST_L1A_00302042008144129	04 febrero 2008
ASTER	AST_L1A_00303212007144144	21 marzo 2007
ASTER	AST_L1A_00304042007145354	04 abril 2007

Los datos ASTER fueron obtenidos de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (http://lpdaac.usgs.gov/get_data) a través del Convenio entre el programa GLIMS y el IANIGLA. Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) y las imágenes ALOS fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina y por el Dr. Jinro Ukita, Niigata University, a través del proyecto JICA-IANIGLA “Desarrollo de un inventario de glaciares en los Andes Argentinos empleando imágenes ALOS de alta resolución” dirigido por el Dr. M. Masiokas.

Para la selección de imágenes se siguieron las sugerencias establecidas por GLIMS que tienen en cuenta la disponibilidad de imágenes, la ausencia de nubes y la cobertura de nieve en las mismas. Para minimizar los posibles errores que introduce la cobertura de nieve, que dificulta la delimitación de los cuerpos de hielo, se eligieron casi exclusivamente imágenes correspondientes

al final del año de balance de masa (Cogley et al 2011). En el caso de glaciares extratropicales, el final del año de balance de masa coincide con el fin del verano, es decir principios de otoño (Marzo/Abril), mientras que para los glaciares tropicales se aproxima con el final de la temporada seca (fines de agosto y principios de septiembre).

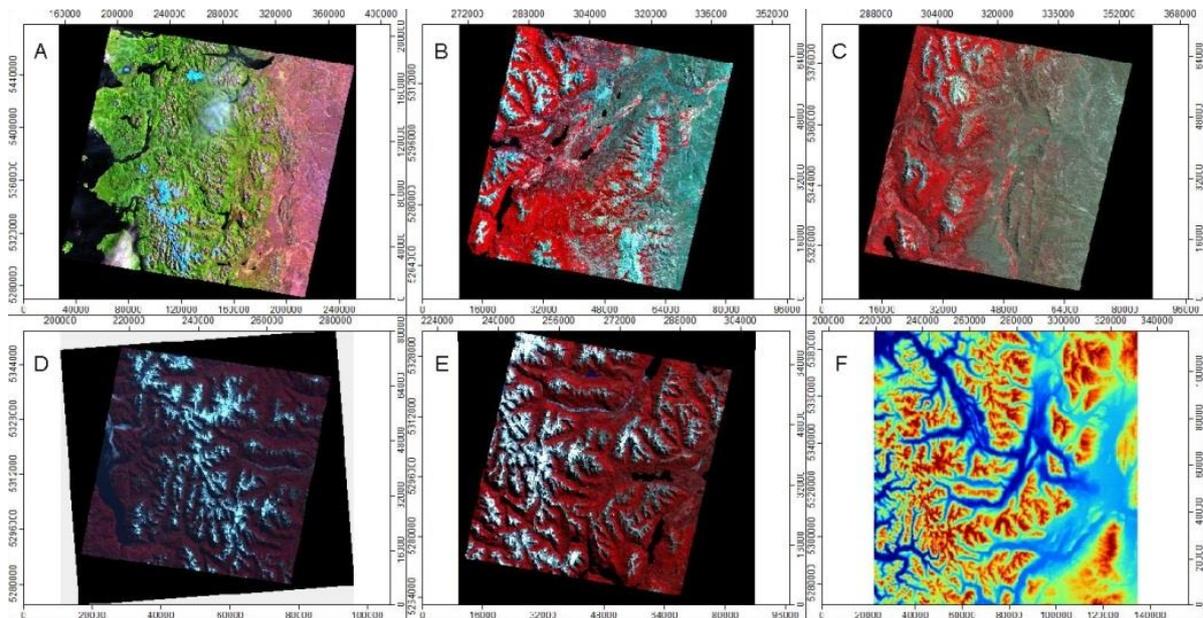


Figura 3: Fuentes de información utilizadas para la realización del inventario. A) Landsat TM año 1987; B) ASTER 144120 año 2008; C) ASTER 144129 año 2008; D) ASTER 144144 año 2007; E) ASTER 145354 año 2007; F) Recorte del MDE ASTER GDEM v2, utilizado para realizar la divisoria de aguas y para la extracción de los parámetros 3D.

Las imágenes de base fueron rectificadas a partir de una escena Landsat. Para ello se utilizaron 10 puntos de control identificados tanto en las escenas ASTER y ALOS como en la Landsat con un RMSE (Root Mean Square Error) menor a 1 píxel en cada imagen.

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 km^2 y como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes están expresadas en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

Se incluye a continuación (Figura 4) un organigrama con los pasos metodológicos que forman parte del proceso de realización del Inventario Nacional de Glaciares.

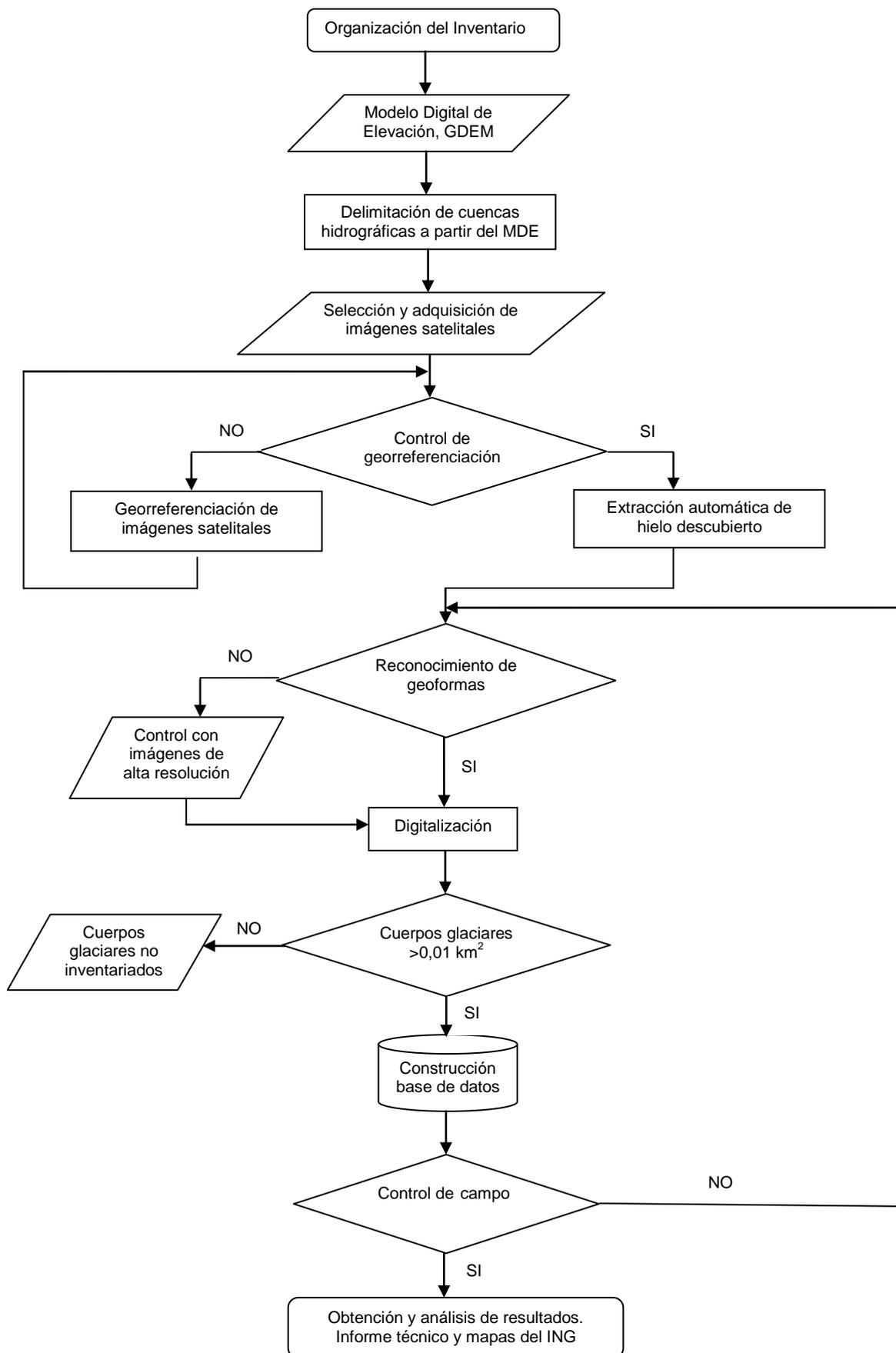


Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada.

4.3 Delimitación de hielo descubierto

Para la identificación y mapeo de cuerpos de hielo se realizó una clasificación por medio de un umbral de cociente de bandas a partir de los números digitales en crudo, de las bandas V2/S4 (ASTER). Este método se basa en la diferencia espectral entre la nieve y el hielo en el infrarrojo cercano en comparación con otras superficies. Es un método simple de aplicar, robusto y muy acertado para zonas con hielo sin cobertura de detritos (Paul et al., 2002). En este inventario se trabajó con una única resolución espacial de 30 m. En este sentido, la banda S4 y el MDE utilizado para derivar los parámetros morfométricos tiene una resolución espacial de 30 m, mientras que la banda V2 de ASTER tiene una resolución espacial de 15m. Por lo tanto esta última fue re-muestreada, utilizando el método de vecino más cercano, a 30 m. A partir del resultado del cociente de banda V2/S4 se realizó un muestro interactivo del valor de umbral en las zonas más sensibles (muy sombreadas) para evitar el trabajo de post-procesamiento. El valor de umbral que incluía la mayor cantidad de hielo en sombra es de 5. Este umbral tan bajo se debe a que debido a la fuerte topografía de la zona de los glaciares (grandes paredes verticales en valles angostos), existen zonas muy sombreadas. Debido a este bajo umbral la mayoría de los lagos proglaciales fueron mal clasificados como glaciares. Gracias a que las escenas no contenían nubes, no fue necesario realizar ningún ajuste por cobertura de nubes.

Un filtro medio (3x3 kernel) para la reducción de ruido fue utilizado para mejorar el resultado de la clasificación. Luego de aplicar el filtro se observó: (1) reducción en el ruido en las zonas con sombra, (2) remoción de píxeles aislados (en general pequeños manchones de nieve) y (3) cerramiento de pequeños agujeros (zonas con sombra, seracs, o zonas de hielo cubierto) en la superficie de los glaciares. Siguiendo los lineamientos propuestos por IANIGLA en el Cronograma de Ejecución del Inventario, se trabajó con un tamaño mínimo de cuerpo de hielo de 0,01km² o 1 ha. Este umbral si bien no se encuentra establecido formalmente, es el tamaño mínimo que se propone informalmente para inventarios recientes (Paul et al., 2010). Cuerpos con áreas menores pueden ser tomados como manchones de nieves estacionales.

Una vez que se realiza la clasificación, las áreas seleccionadas que corresponde a los glaciares son vectorizadas, es decir convertidas a polígonos. Para separar los diferentes cuerpos de hielo y/o glaciares se utilizó un criterio de cuencas hidrológicas, para ello fue necesario realizar una delimitación automática de cuencas hidrológicas, la cual se realizó a partir del software SAGA GIS con el modelo digital GDEM v2. Se eligió este modelo ya que es el único que cuenta con información continua en toda la subcuenca del Puelo Inferior.

Una vez que se obtuvieron los polígonos de las zonas seleccionadas como hielo y/ nieve se procedió a la inspección y corrección manual de los límites de los glaciares. Es una de las etapas que requieren mayor cantidad de tiempo, depende del criterio y conocimiento del intérprete, y consisten en la eliminación de áreas mal seleccionadas (para este caso en particular, lagos proglaciales) y de la adición de áreas no seleccionadas (para este caso en particular, zonas con mucha sombra, zonas de hielo cubierto por detrito). Esta tarea, indefectiblemente, debe ser realizada mediante una digitalización en pantalla. Para estos se utilizó la siguiente combinación de bandas en RGB, 321 (ASTER), con diferentes contrastes. Al utilizar diferentes contrastes es posible realzar información de las zonas con baja luminosidad. Cuando los bordes de los glaciares coincidían con el de las imágenes (la mayoría de los casos) no se realizó ninguna corrección. De

esta manera es posible conocer de forma directa donde se ha realizado la corrección manual (Figura 5).

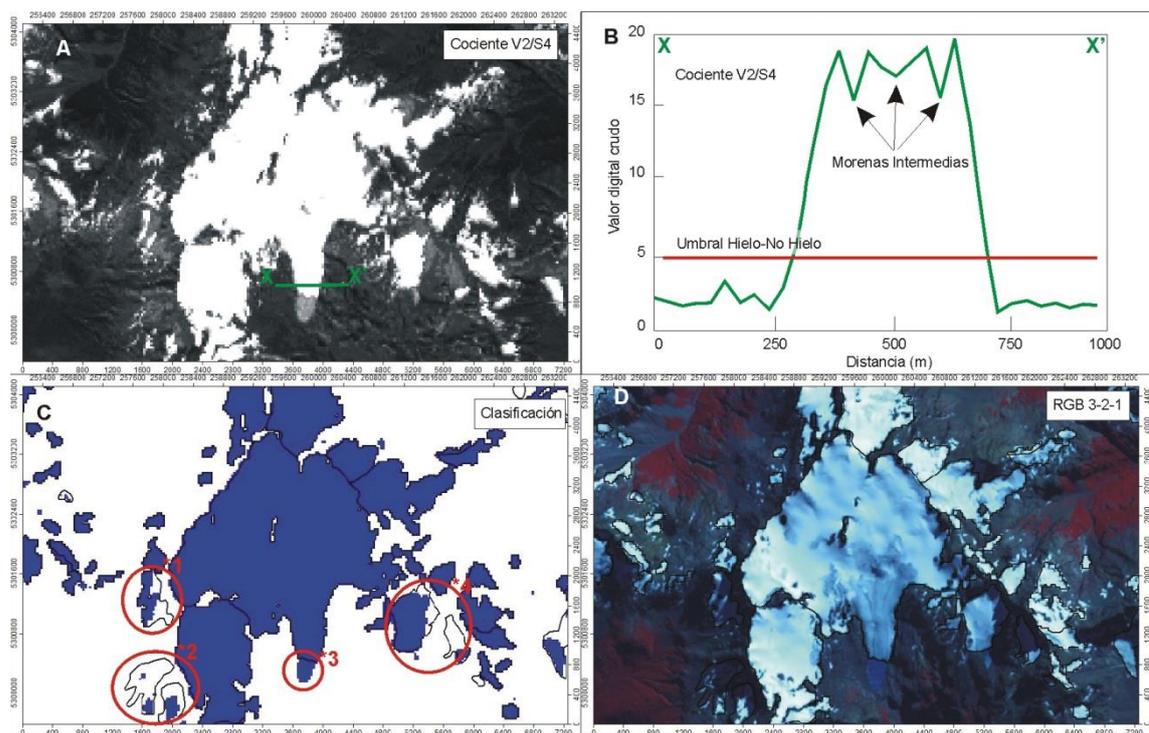


Figura 5: Ejemplo de la metodología para la vectorización de los cuerpos de hielos en base a la escena ASTER. La zona que se muestra corresponde al Cordón Planchón Nevado. A) Resultado del cociente de banda V2/S4 en escala de grises, en verde transecta X-X'. B) Transecta X-X', en Y valor resultante del cociente de banda, en X distancia a lo largo de la transecta. Se indica el umbral utilizado para separar la clase hielo/nieve de la clase no hielo/no nieve. Nótese el alto contraste entre las zonas cubiertas con hielo con respecto al resto, las variaciones menores dentro de la superficie del glaciar se corresponde con morenas intermedias (concentraciones de detritos). C) Resultado de la clasificación semiautomática en azul, línea negra continua= contorno de los cuerpos de hielo luego de la corrección manual. *1, *2 y *4 cuerpos de hielo parcialmente cubiertos por sombra, estos no son capturados por el umbral, subestimando la superficie de los mismos. *3 lago proglacial, mal clasificado como glaciar, sobre estimando la superficie del cuerpo de hielo. D) Composición RGB en falso color bandas V3-V2-V1, utilizada para la corrección manual, para capturar los cuerpos que tienen mucha sombra topográfica es necesario usar diferentes contraste. Línea negra continua ídem C. Tomado de Ruiz (2013).

4.4 Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo de 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 empleadas como base de este inventario, utilizamos las imágenes disponibles en Google Earth. La digitalización fue realizada con el programa KOSMO (Figura 6).

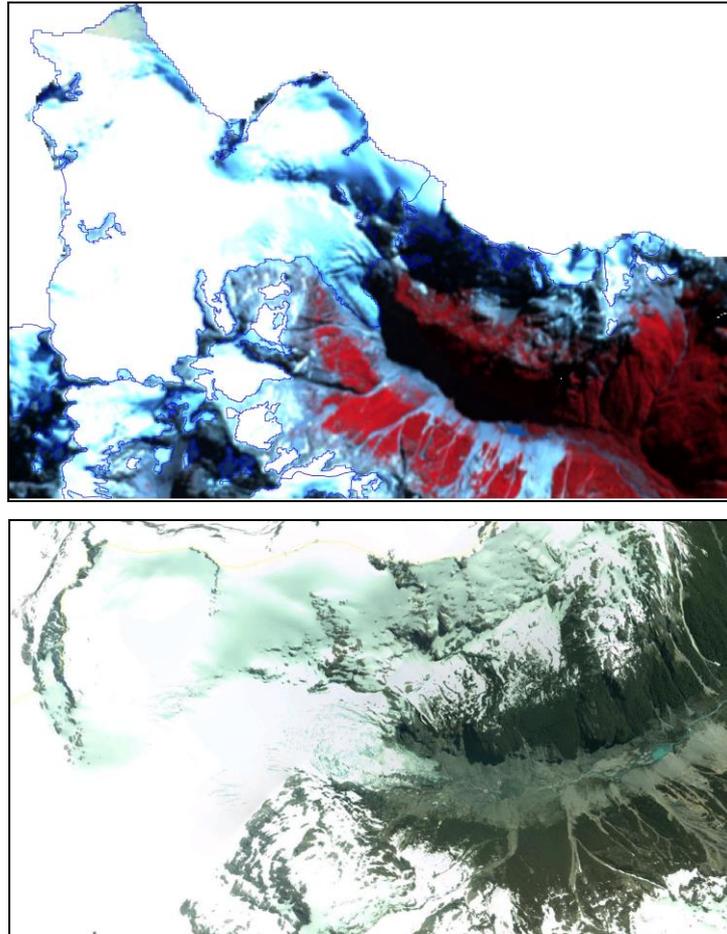


Figura 6: Ejemplo de la importancia de la buena iluminación de las imágenes en la identificación de hielo en sombra. En la imagen superior puede observarse el glaciar Esperanza Norte en una imagen ASTER (15 m de resolución), parte de la imagen está en sombras y no se puede visualizar la extensión del cuerpo. En la imagen inferior puede observarse la misma geoforma, con mucha mayor claridad, en una imagen Geoeye de 0,5 m de resolución (imagen de Google Earth).

4.5 Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del lago Puelo Inferior incluye la identificación de cada uno de los glaciares, su clasificación morfológica, y parámetros de índole física tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total (ver Anexo 7.3). La base de datos también se construyó con el programa KOSMO.

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

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

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

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

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

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

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

Hay que aclarar que en algunos casos las geoformas glaciarias descritas en este informe, pueden estar compuestas por secciones de más de un tipo de glaciar (por ejemplo descubierto, cubierto y de escombros) formando parte de una sola unidad glaciaria, 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** (Figura 7) 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.

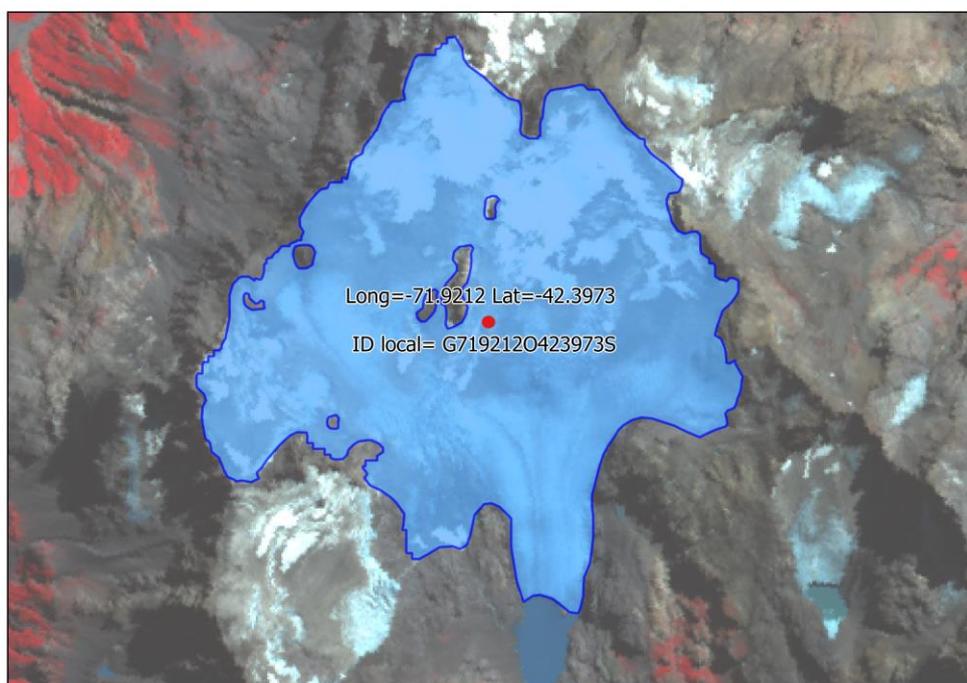


Figura 7: Código identificador ID_local de un glaciar.

4.6 Control de campo

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

5. Resultados



Figura 8: Glaciar Esperanza Norte, subcuenca del lago Puelo Inferior. (Foto: Lucas Ruiz, 2010).

5.1. Subcuenca lago Puelo Inferior

La subcuenca del lago Puelo Inferior se encuentra en el sudoeste de la provincia del Río Negro y noroeste de la provincia del Chubut, es parte del límite sur de la cuenca de los ríos Manso y Puelo. Sus límites son al norte la subcuenca lago Puelo Superior, siendo el río Azul -emisario del arroyo Quemquemtreu- el curso que otorga el mayor aporte de caudal al lago Puelo desde el sector noroccidental. El límite oeste lo ejerce la cordillera andina, al sur se ubica la cuenca de río Futaleufú y al este la cuenca del río Chubut.

El área total de la subcuenca es de 2.195 km². Su geografía se caracteriza por cordones montañosos que rondan los 2.000 msnm, valles formados por acción glaciaria y numerosos lagos de origen glaciario.

Gran parte de los cuerpos de hielo se encuentran dentro de áreas protegidas entre las que se destaca la Reserva Provincial del río Turbio. Posee la mayor cantidad de cuerpos de hielo de toda la subcuenca lago Puelo Inferior. También existen en esta zona el Parque Nacional lago Puelo, la Reserva Forestal Epuyén y la Reserva del Cerro Currumahuida.

El glaciar Esperanza Norte (Figura 8), ubicado en la sub-subcuenca del río Turbio, con un área de 10,7 km², es el más importante de la subcuenca lago Puelo Inferior y de toda la provincia del Chubut.

En la Figura 9 se puede visualizar la distribución de los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca.

Se han inventariado un total de 281 unidades que ocupan una superficie de 95,90 km², es decir el 4,6% del total de la superficie de la cuenca del lago Puelo Inferior. A partir de la clasificación primaria establecida por GLIMS, el 94% de los cuerpos inventariados pertenecen a glaciares descubiertos, sumando un área de 90,62 km². Los glaciares cubiertos representan el 3% del total de las geoformas mapeadas y cubren un área de 2,83 km². Los manchones de nieve representan el 3% de los cuerpos inventariados y representan un área de 2,83 km². Hay presencia de un glaciar de escombros que posee un área de 0,01 km² (Tabla 2 y Figura 10).

Tabla 2: Tipo de geoforma y superficie total en la subcuenca lago Puelo Inferior.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierta	90,62
Manchones de nieve / glaciaretas	2,83
Glaciar cubierta	2,45
Glaciar de escombros	0,01
Total	95,90

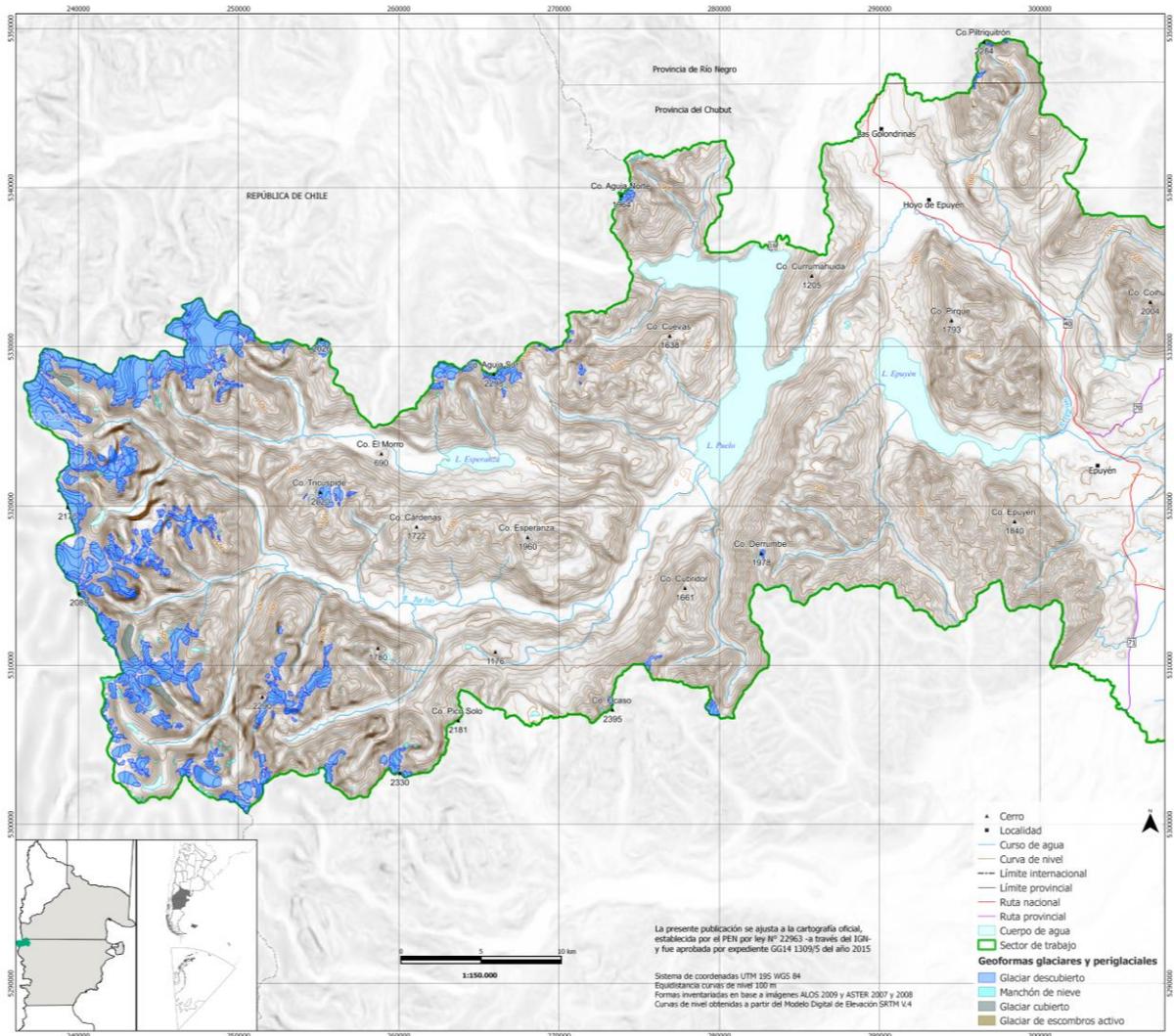


Figura 9: Mapa general de la subcuenca Lago Puelo Inferior con las geoformas inventariadas.

Superficie total cubierta por cuerpos de hielo: 95,90 km²
Total de geoformas inventariadas: 281

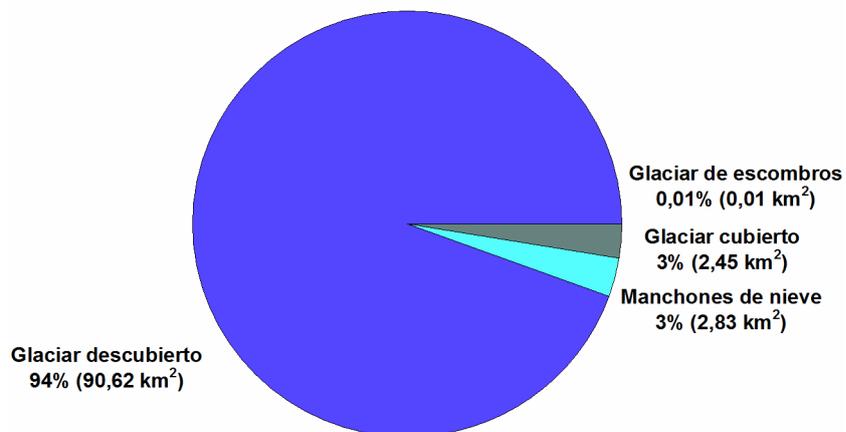


Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados en área y porcentajes. Subcuenca lago Puelo Inferior.

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

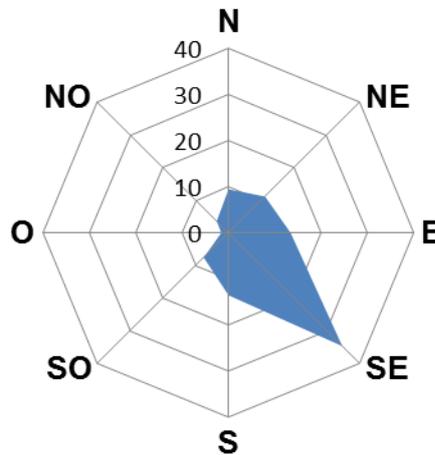


Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en función de su superficie. Subcuenca lago Puelo Inferior.

El 33% de los cuerpos de hielo inventariados poseen un tamaño entre 0,01-0,05 km² representando un área de 2,5 km²; el 16% de los cuerpos se ubican en el rango 0,05-0,1 km² y representan un área de 3,31 km², un 33% de las geoformas inventariadas integran el rango 0,1-0,5 km² sumando un área total de 20 km². Entre 0,5-1 km² pertenece el 9% de los cuerpos con un área de 17 km². En el rango 1-5 km² cubriendo un área de 36 km² se encuentra el 8% de los cuerpos de hielo inventariados. En el rango 5-10 km² se ha inventariado 1 cuerpo (0,36%) que representan un área de 5,53 km². Por último en el rango 10-30 km² se encuentra sólo un cuerpo de hielo con una extensión de 10,31 km². (Figura 12).

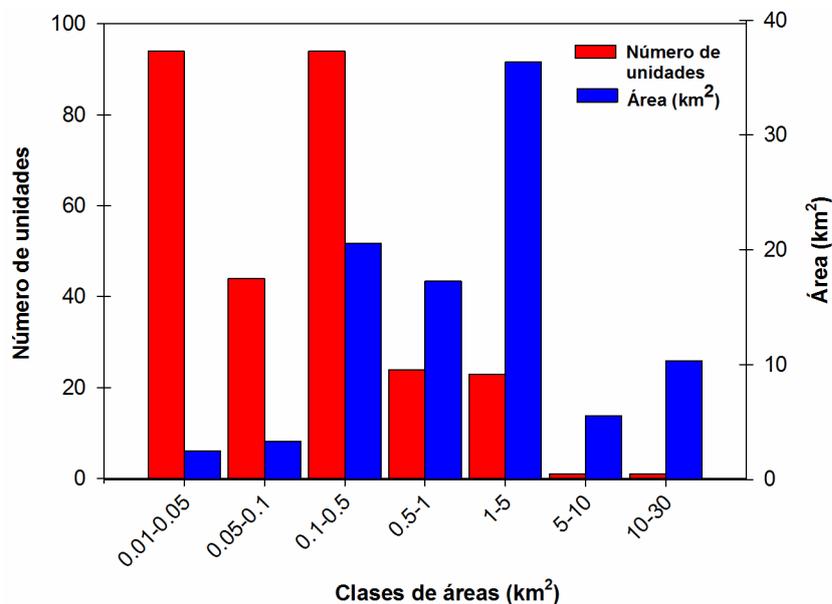


Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados. Subcuenca lago Puelo Inferior.

Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en subcuenca lago Puelo Inferior.

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	901	2.423
Manchones de nieve/glaciaretos	1.043	2.178
Glaciar cubierto	941	1.674
Glaciar de escombros	1.948	2.015

La distribución altitudinal se manifiesta aproximadamente entre los 900-2.500 msnm, siendo la media los 1.900 msnm. Los glaciares descubiertos poseen una distribución entre los 901 y 2.423 msnm, encontrándose en su mayor parte en el rango 1.500-2.000 msnm. Los manchones de nieve se distribuyen entre los 1.043 a 2.178 msnm. Los glaciares cubiertos se encuentran en un rango entre 941-1.674 msnm, ya que su aporte en hielo proviene del hielo descubierto superior. El glaciar de escombros se presenta en el rango altitudinal 1.948 – 2.015 msnm. (Tabla 3 – Figura 13).

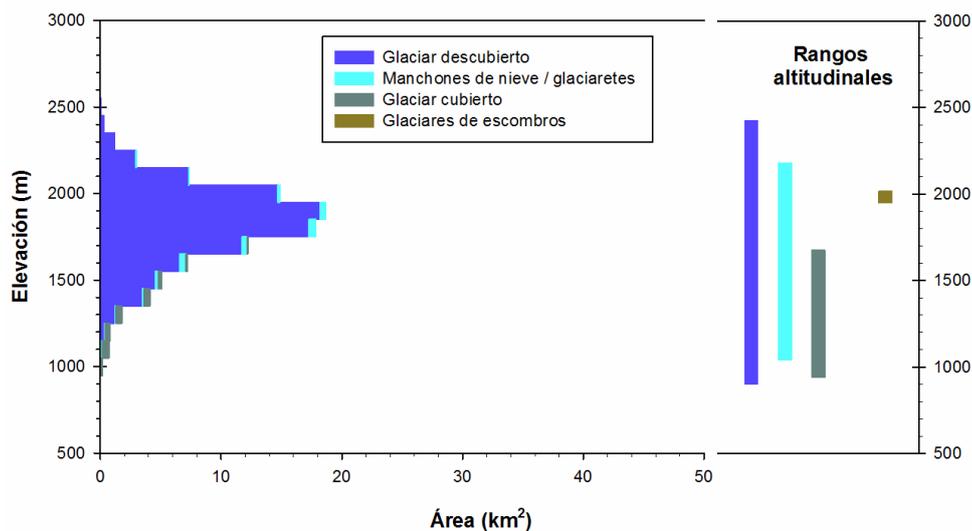


Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca lago Puelo Inferior.

5.2. Resultados trabajo de campo

Las campañas de reconocimiento de glaciares en la subcuenca lago Puelo Inferior se realizaron entre enero y febrero de 2012 y consistieron en relevamiento por terreno al valle donde se ubica el Glaciar Esperanza, uno de los glaciares más representativos de la cuenca. Para acceder al lugar se llega caminando y es necesario cruzar el río Turbio. Además, se realizó un vuelo en avioneta por las cuencas del río Turbio y río Alerzal y se ingresó a los valles y nacientes de los cursos de agua principales. Es importante destacar el difícil acceso que presenta esta cuenca, por lo que a parte de la campaña realizada en el valle del glaciar esperanza, el sobrevuelo por la zona permitió observar en detalle muchos glaciares presentes en la zona.

En total se vieron 16 geoformas (unidades), principalmente glaciares de hielo descubierto (dos unidades presentaban una parte de hielo cubierto que se pudo observar en el terreno) y algunos manchones de nieve. Las geoformas estaban correctamente clasificadas con respecto al trabajo previo realizado en gabinete. Para mayor detalle ver Anexo 7.2.

6. Bibliografía

- Arenson, L. y Jakob, M. 2010. The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes – A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 286 - 288.
- Azócar, G.F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27° - 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 42 - 53.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16, 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 54 – 66
- Barsch D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *Third International Conference on Permafrost, Proceedings 1*, 349-353 p. Ottawa, Canada.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, 331 p. Berlin.
- Bown, F., 2004. Cambios climáticos en la Región de Los Lagos y respuestas recientes del Glaciar Casa Pangué (41°08'S). MSc Thesis, Universidad de Chile, Santiago, 131 pp.
- Cogley, J.G., Hock, R., Rasmussen, L.A., Arendt, A.A., Bauder, A., Braithwaite, R.J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson L. y Zemp, M. 2011. Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157-158.
- Corte, A. E. and L. E. Espizúa. 1981. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.
- DGA 2009. Inventario de glaciares de Chiloé Continental cuencas de los Ríos Puelo, Yelcho y zonas costeras adyacentes. Informe Preliminar. Unidad de Glaciología y Nieves de la Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, República de Chile (Inédito), 15p. Santiago de Chile.
- Delgado, S., M. Masiokas, et al. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. *International Ice and Climate Conference*. Valdivia, Chile. CECS.
- Feruglio E., 1957. Los glaciares de la cordillera Argentina. *Geografía de la República Argentina*. Tomo VII (primera parte). 5-89.
- Garibotti, I.A., y Villalba, R. 2009. Lichenometric dating using *Rhizocarpon* subgenus *Rhizocarpon* in the Patagonian Andes, *Quaternary Research* 71 (3), 271-283.

Garleff, K. 1977. Höhenstufen der argentinischen Anden in Cuyo, Patagonien und Feuerland. Göttinger Geographische Abhandlungen, 68, Göttingen, 150 p.

Garleff, K. und Stingl, H. 1986. Geomorphologische Aspekte aktuellen und vorzeitlichen Permafrostes in Argentinien. Zentralblatt fuer Geologie und Palaeontologie, Teil I: Allgemeine, Angewandte, Regionale und Historische Geologie Heft 9/10, 1367–1374.

Garleff, K. und Stingl, H. 1988. Geomorphologische Untersuchungen in der nivalen und subnivalen Stufe der argentinischen Anden –Ergebnisse und paläoklimatische Interpretation. Deutscher Geographentag München, Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen, 46, Stuttgart, 419-425.

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

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

IANIGLA, 2010. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (www.glaciares.org.ar), 87 p., Mendoza.

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

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

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.

Leclerq, P.W., Pitte, P., Giesen, R. H., Masiokas, M. H. and Oerlemans, J. 2012. Modelling and climatic interpretation of the length fluctuations of Glaciar Frías (north Patagonian Andes, Argentina) 1639–2009AD. Clim. Past, 8, 1385–1402, 2012.

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

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.; Espizúa, 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 (3-4), 242-268.

Masiokas M. H., Luckman B.H., Villalba, R., Ripalta A., Rabassa J. 2010. Little Ice Age fluctuation of Glaciar Río Manso in the north Patagonian Andes of Argentina, Quaternary Res., 73, 96-106.

- Moreno, F. P., 1900. Exploraciones en Patagonia. Boletín del Instituto Geográfico Argentino, XX: 342- 394. Buenos Aires.
- Müller, F., T. Caflisch, et al. 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory. TTS/WGI, Department of Geography, ETH. Zurich. 19 p.
- Neumeyer, J.J., 1949. En el valle del Río Esperanza (Chubut). Anuario del Club Andino Bariloche 17, 47–50.
- Otto, J-Ch., Götz, J., Keuschnig, M., Hartmeyer I., Trombotto D. & Schrott, L. 2010. Geomorphological and geophysical investigation of a complex rock glacier system - Morenas Coloradas valley (Cordon del Plata, Mendoza, Argentina). Geophysical Research Abstracts, EGU2010-3625, Vol. 12.
- Paul, F., Hugger, C., Andreas, K., Kellenberger, T. and max,M. 2002. Comparison of TM-derived glacier areas with higher resolution data sets. Remote sensing of ice and snow, 15-21.
- Paul, F., Barry, R.G., Cogley, J.G., Frey, H., Haeberli, W., Ohmura, A., Ommanney, C.S.L., Raup, B., Rivera, A., Zemp, M., 2010. Recommendations for the compilation of glacier inventory data from digital sources, Annals of Glaciology, 50 (53), 119-126.
- 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., 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., Brandani, A., Boninsegna, J.A., Cobos, D.R., 1984. Cronología de la “Pequeña Edad del Hielo” en los glaciares Río Manso y Castaño Overo, Cerro Tronador, Provincia de Río Negro. Actas Noveno Congreso Geológico Argentino 3, 624–639.
- Racoviteanu, A. E., Paul, F., Raup, B., Khalsa, S.J.S., Armstrong, R. 2009. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) workshop, Boulder, Colorado, USA. Annals of Glaciology 50 (53).
- Rivera, A., Bown, F., Carrión, D., Zenteno, P. 2012. Glacier responses to recent volcanic activity in Southern Chile, Environ. Res. Lett. 7 014036, doi:10.1088/1748- 9326/7/1/014036.
- 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).
- Ruiz, L., Masiokas, M. H., and Villalba, R. 2012. Fluctuations of Glaciar Esperanza Norte in the north Patagonian Andes of Argentina during the past 400 yr, Clim. Past, 8, 1079-1090.

- Schrott, L. 1996. Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). *Zeitschrift für Geomorphologie NF Suppl.-Bd.*, 104, 161-173.
- Stokes, C. R., Popovnin, V., Aleynikov, A., Gurney, S. D. y Shahgedanova, M., 2007. Recent glacier retreat in Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra-/proglacial lake development. *Annals of Glaciology*, 46: 95-213.
- Trombotto, D. 1991. "Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentinien". ("Investigaciones sobre geoformas y sedimentos periglaciales en la 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentina"). *Heidelberger Geographische Arbeiten, Heft 90*: 171 páginas, Heidelberg, Alemania.
- Trombotto, D. 2000. Survey of Cryogenic Processes, Periglacial Forms and Permafrost Conditions in South America. *Revista do Instituto Geológico* 21: 33-55.
- Trombotto, D. 1991. "Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentinien". ("Investigaciones sobre geoformas y sedimentos periglaciales en la 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentina"). *Heidelberger Geographische Arbeiten, Heft 90*: 171 páginas, Heidelberg, Alemania.
- Trombotto, D. 2002. "Inventory of fossil cryogenic forms and structures in Patagonia and the mountains of Argentina beyond the Andes". *South African Journal of Science*, 98: 171-180, Review Articles, Pretoria, Sudáfrica.
- Trombotto Liaudat, D. 2008. Geocryology of Southern South America. En Jorge Rabassa (Editor) "Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego". *Developments in Quaternary Sciences* 11: 255-268.
- UNESCO-IASH. 1970. Perennial ice and snow masses. A guide for compilation and assemblage of data for a world inventory. *Technical papers in hydrology* 1. UNESCO. France. 56 p.
- 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 p.
- WGMS-UNEP, 2007. *Global Glacier Changes: Facts and Figures*, World Glacier Monitoring Services, United Nations Environmental Programme, Geneva.
- Williams, R.S., Jr., Ferrigno, J.G. (eds.) 1999. *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World – South America*. USGS Professional Paper 1386-I.

7. Anexos

7.1 Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del lago Puelo Inferior

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca lago Puelo Inferior.

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 (meses de ablación desde febrero a abril para estas latitudes) y ausencia de nubes.

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

- Como base de georreferenciación, se empleó una imagen del satélite Landsat.
- La identificación de geformas de ambiente glaciar y periglacial fue realizada a partir de imágenes ASTER.
- Para identificar manchones de nieve perenne se emplearon imágenes de por lo menos dos años anteriores a la imagen utilizada como base para el inventario. Pueden ser de cualquier satélite, y también deben corresponder a fechas próximas al fin del verano para minimizar la existencia de la nieve estacional.
- Como ayuda para la interpretación y digitalización de hielo descubierto, manchones y sobretodo del hielo cubierto y glaciares de escombros, se suelen emplear imágenes de sensores de alta resolución, en este caso fueron utilizadas imágenes ALOS, como también las imágenes de gran resolución que se encuentran en Google Earth.

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52320891987040XXX02	09 febrero 1987	Base georreferenciación

Satélite: **TERRA**

Sensor: Aster

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: LP DAAC, USGS <http://lpdaac.usgs.gov>

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST_L1A_00302042008144120	04 febrero 2008	Base inventario
AST_L1A_00304042007145354	04 abril 2007	Base inventario
AST_L1A_00302042008144129	04 febrero 2008	Base inventario
AST_L1A_00303212007144144	21 marzo 2007	Base inventario
AST_L1A_00302272005144032	27 febrero 2005	Corroboración manchones de nieve
AST_L1A_00301132006143953	27 febrero 2005	Corroboración manchones de nieve

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

Sensor: AVNIR (Advance Visible and Near Infrared Radiometer)

Resolución espacial: 10 m

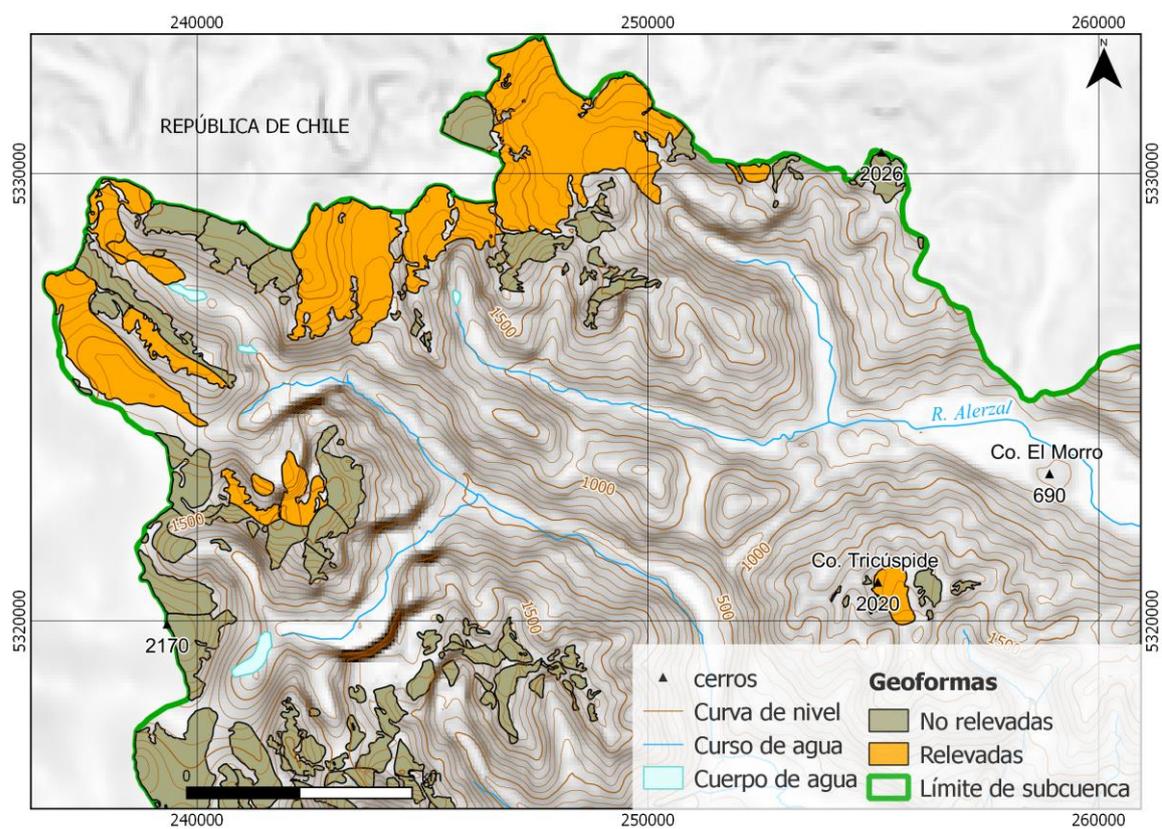
Imágenes gentileza de CONAE (Argentina) y JAXA (Japón) a través de los Dres. Jinro Ukita y Takeo Tadono, obtenidas como parte del proyecto JICA-IANIGLA “Desarrollo de un inventario de glaciares en los Andes Argentinos empleando imágenes ALOS de alta resolución” dirigido por el Dr. M. Masiokas (IANIGLA-CONICET).

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALAV2A16622440	08 marzo 2009	Base inventario

7.2 Control de campo

La metodología de campo consiste en reconocer en el terreno las geoformas mapeadas, corroborar su presencia, sus características, en lo posible su tamaño y aquellos elementos que no pueden ser observados o concluidos desde una imagen satelital. A continuación se describen las geoformas observadas tanto en el terreno como en el sobrevuelo de los valles Turbio y Alerzal en el año 2012.

Geoformas relevadas en el sector norte de la subcuenca



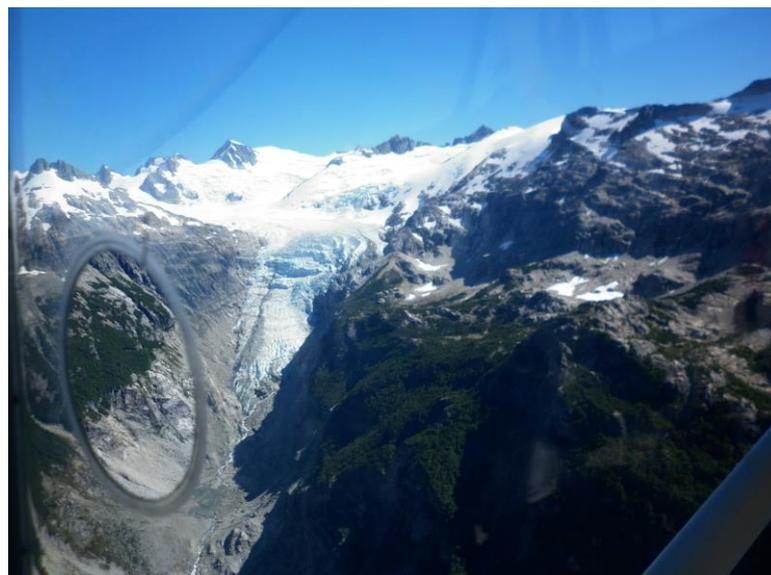
Geoformas G719964O421428S y G720018O421427S

En la foto vemos a la derecha, un glaciar de montaña, de cuenca simple y a la izquierda un manchón de nieve perenne.



Geoforma G720467O421345S

El glaciar Esperanza es uno de los glaciares más estudiados de esta zona. Se han realizado estudios de sus avances y retrocesos desde la pequeña edad de hielo hasta la actualidad, además se han aplicado métodos dendrocronológicos para datar algunas de las morenas depositadas por el glaciar. Se trata de un glaciar de valle de cuenca compuesta. En la foto se observa el límite de la vegetación que marca la cota máxima que alcanzó el glaciar en la última glaciación.



Vista del glaciar Esperanza desde avioneta



Detalle del frente del glaciar Esperanza



Tránsito sobre el glaciar Esperanza

Geoforma G720807O421520S

Glaciar de montaña con forma de circo.



Geoforma G721073O421591S

Glaciar de montaña con cuenca simple de alimentación. Al frente del glaciar se observa una pequeña laguna proglacial. Se observa un cambio de pendiente abrupto en la lengua del glaciar, donde se forman las principales grietas y seracs.



Geoforma G7217120421496S

Glaciar de valle, cuenca simple. Se trata de una unidad compuesta por una parte de hielo descubierto y otra cubierta por detritos, principalmente en su frente. Aguas abajo del glaciar se observan dos lagunas que acumulan el agua de deshielo de los glaciares.



Geoformas G7217200421738S y G7215600421738S

Glaciar Turbio I (G7217200421738S) es un glaciar de valle, su forma es de cuenca simple y presenta un perfil longitudinal colgante. En su frente se forma una laguna proglacial.

El glaciar G7215600421738S es de montaña y de forma colgante.



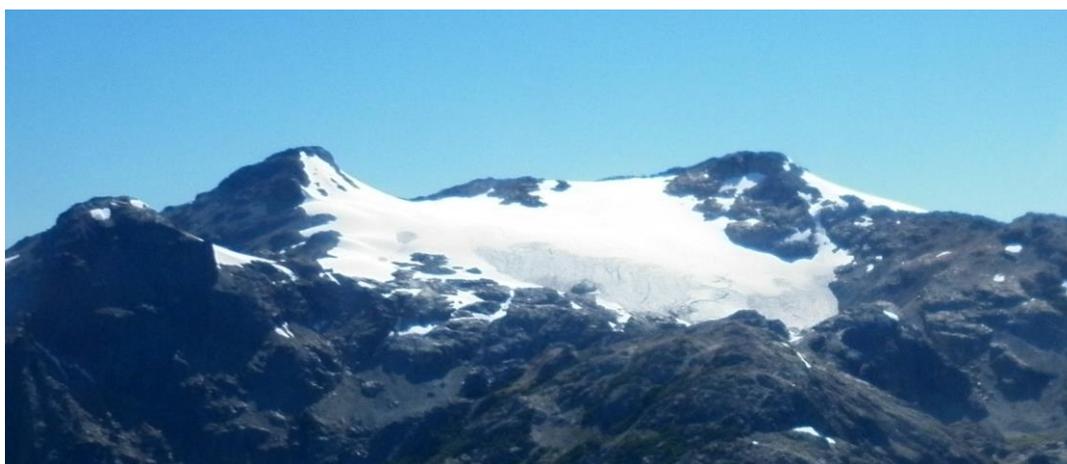
Geoformas G721219O422041S, G721388O422051S y G721318O422022S

Los tres son pequeños glaciares de montaña con forma de circo. En el pasado estos pequeños glaciares probablemente formaban un único glaciar, pero en la actualidad constituyen unidades independientes.

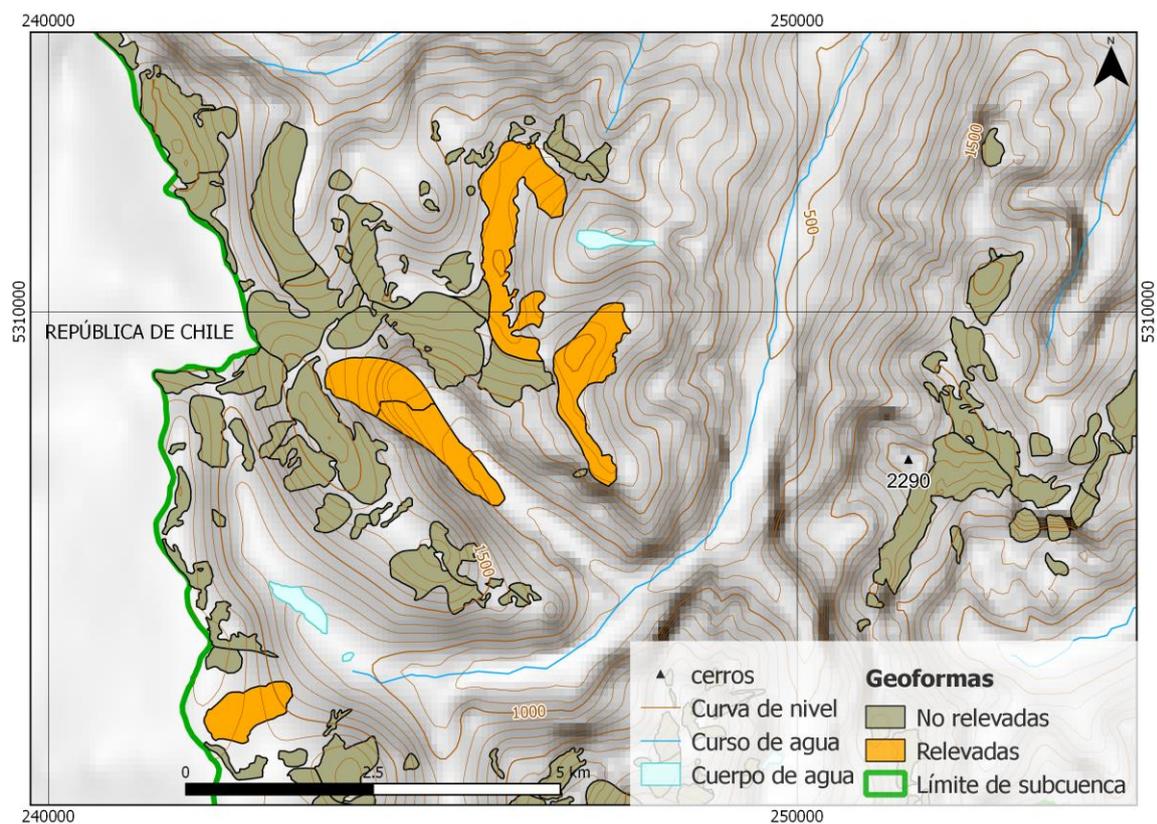


Geoforma G719631O422284S

Glaciar de montaña de cuenca simple.



Geoformas relevadas en el sector sur de la subcuenca



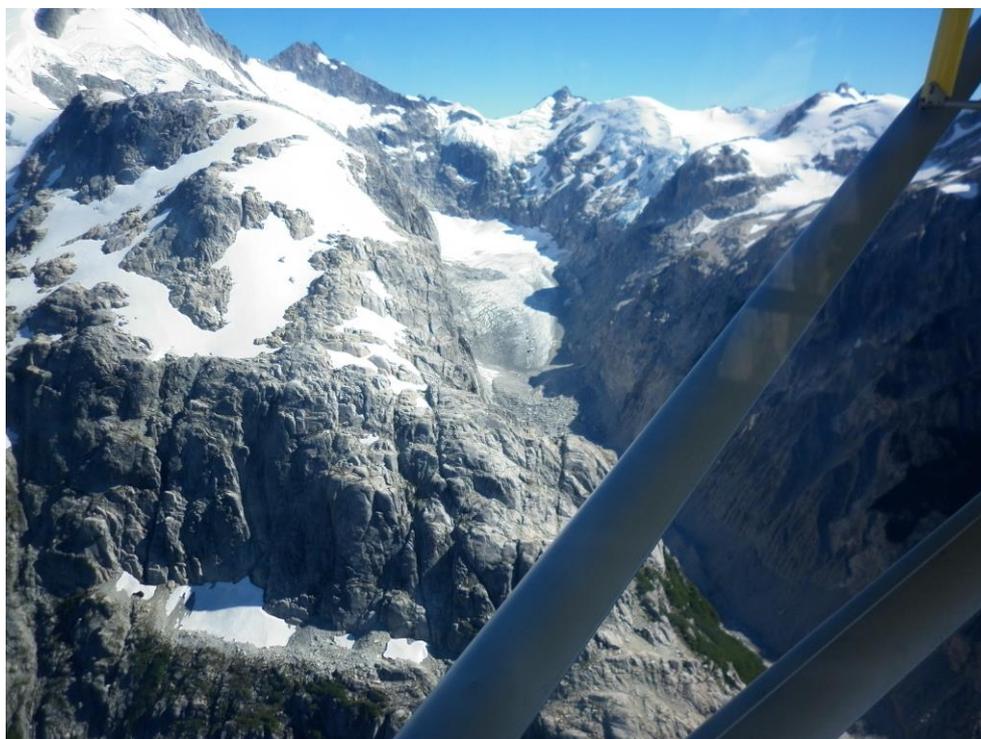
G720793O423120S

Glaciar de montaña con forma de circo. El glaciar ha quedado colgado en la parte alta de dicho circo. En la parte más baja del valle se observa una laguna glacial.



Geoforma G720972O423330S

Esta geoforma se trata de un glaciar de valle, con forma de cuenca simple. Este glaciar está formado por una parte de hielo descubierto y otra cubierta parcialmente por detritos.



Geoforma G721253O423680S

Glaciar de valle de cuenca simple.



Geoforma G720679O423294S

Glaciar de montaña que presenta una forma de cuenca simple de alimentación.



7.3 Descripción de la base de datos

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

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

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

M0550000

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

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

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

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

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

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

MN-Manchón de nieve/glaciarete: pequeñas masas de nieve y hielo de forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones, lechos de ríos y pendientes protegidas. En general se

desarrollan a partir de la nieve barrida por el viento, avalanchas y/o varios años de fuertes acumulaciones. En general no presentan patrones de flujo visibles, y existen al menos por dos años consecutivos. Los manchones de nieve permanentes/glaciaretos son reservas significativas de agua en estado sólido y por ello fueron incluidos en el inventario.

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

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

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

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

- 8. ID_GLIMS:** es el código de identificación del glaciar que sigue las normas internacionales propuestas por GLIMS, el nombre del glaciar está dado por las coordenadas geográficas de

un punto dibujado en su interior. En este código la longitud está referida al Este.

9. Nombre común: si lo hubiere.

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

0. Incierto

1. Sábana de hielo continental: es una gran masa de hielo que cubre un continente o gran parte del mismo. En la actualidad sólo existen las de Antártida y Groenlandia. Las sábanas de hielo no están totalmente controladas por la topografía subglacial y se caracterizan por ser más activas en sus bordes y a lo largo de las corrientes de hielo. Las partes más altas y abombadas llamadas domos tienen escasa pendiente y flujo de hielo muy limitado.
2. Campo de hielo: masa de hielo glaciar, confinada topográficamente, de superficie relativamente plana, y de la cual fluyen glaciares de descarga, y cuya superficie es menor a 50.000 km².
3. Calota de hielo: masa de hielo no confinada con forma de domo, que fluye en todas las direcciones.
4. Glaciar de descarga: glaciar que fluye desde el interior de un campo de hielo, calota de hielo y/o sábana de hielo, transfiriendo masa hacia las zonas más bajas.
5. Glaciar de valle: glaciar con el área de acumulación bien definida, cuya lengua está encauzada y fluye valle abajo.
6. Glaciar de montaña: un glaciar que se encuentra confinado por la topografía del terreno montañoso que lo rodea; frecuentemente localizado en un circo o nicho (Müller et al., 1977). Incluye glaciares de circo, de nicho y de cráter.
7. Manchón de nieve permanente o glaciarete: pequeñas masas de nieve y hielo de forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones, lechos de ríos y pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de la nieve barrida por el viento, avalanchas y/o varios años de fuertes acumulaciones. En general no presentan patrones de flujo visibles, y existen al menos por dos años consecutivos.
8. Barrera de hielo: es la porción flotante de una sábana de hielo, de considerable espesor, que fluye por gravedad sin fricción sobre el mar, y de cuyo frente se desprenden los témpanos tabulares. Se nutre de glaciares, corrientes de hielo, acumulación de la nieve en superficie y por congelación basal. Usualmente tiene gran extensión horizontal y

una superficie plana o suavemente ondulada. Las principales barreras de hielo se encuentran en la Antártida (Ross, Ronne- Filchner, Amery, Larsen, etc.).

9. Glaciar de escombros: el glaciar de escombros es una mesoforma criogénica de permafrost de montaña, sobresaturada en hielo que de ser activa, se mueve pendiente abajo por gravedad y por reptación y deformación del permafrost. Es una manifestación de un tipo de permafrost reptante. En general tiene forma de lengua o lóbulo con morfología superficial similar a la de una colada de lava. Sin embargo, sobre todo en los Andes Centrales de Argentina y Chile, los glaciares de escombros pueden alcanzar morfologías muy complejas, con zonas de aporte o de generación de cuencas compuestas y el desarrollo de más de un lóbulo frontal o una superposición de varios lóbulos.
10. Corriente de hielo: banda angosta de hielo que fluye dentro de una sábana de hielo a una velocidad muy superior al hielo circundante. Existen dos tipos principales de corrientes de hielo, las confinadas y no confinadas. Las corrientes de hielo no están bien delimitadas en todas sus márgenes, que en algunas zonas son más visibles por la presencia de grietas laterales que separan las zonas de flujo muy rápido de aquellas menos activas. Las corrientes de hielo drenan la mayor parte de las sábanas de hielo, siendo las principales abastecedoras de las barreras de hielo en Antártida.

11. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta
3. Cuenca simple
4. Circo
5. Nicho
6. Cráter
7. Colgante
8. Grupo
9. Remanente

12. Frente:

0. Normal
1. Piedemonte
2. Expandido
3. Lobulado

4. De desprendimiento
5. Coalescente no contribuyente
10. De desprendimiento y piedemonte
11. De desprendimiento y expandido
12. De desprendimiento y lobulado
13. Tributario de barrera de hielo
14. Flotante
15. De desprendimiento terrestre
16. Confluente

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

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

14. Actividad de la Lengua

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

15. Morena_1

0. Sin morena

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

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

descubierto o cubierto.

3. Combinado 1 y 2

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

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

22. Estructura II

0. Incierto
1. Una raíz: una única fuente de alimentación.
2. Multiraíz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.

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

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

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

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

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

mar (msnm).

28. **H_med_total:** Altura media total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
29. **H_min_total:** Altura mínima total de la unidad Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm)
30. **Pendiente:** (Se expresa en grados).
31. **Orientación:** Correspondiente a los 8 puntos cardinales.
32. **H_max_parcial:** Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
33. **H_med_parcial:** Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
34. **H_min_parcial:** Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
35. **Img_ba_F:** Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.
36. **Img_ba_S:** tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc.).
37. **Img_ap_F:** Fecha de la imagen de apoyo utilizada.
38. **Img_ap_S:** tipo de sensor que capta la imagen de apoyo empleada.



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

I A N I G L A



CONICET

U. N. C U Y O
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del Lago Puelo Inferior, cuenca de los ríos Manso y Puelo, provincias del Chubut y Río Negro.





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

Hoja Adicional de Firmas
Informe gráfico

Número:

Referencia: ING - Lago Puelo Inferior

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