



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 cuenca de los lagos
Buenos Aires y Pueyrredon**

Provincia de Santa Cruz

Glaciares de escombros al sur de la subcuenca lago Buenos Aires (Foto: M. Giménez)

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

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

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

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

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

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

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Directores técnicos: Lic. Lidia Ferri Hidalgo y Lic. Laura Zalazar

Profesional: Ing. Melisa Giménez

Colaboradores: Lic. Hernán Gargantini, Téc. Mariano Castro e Ing. Silvia Delgado

Mayo 2018

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

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario	7
4.	Materiales y métodos	9
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación.....	10
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación.....	10
4.3.	Delimitación del hielo descubierto.....	12
4.4.	Digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros	13
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas	14
4.6.	Control de campo	15
5.	Resultados	17
5.1.	Cuerpos de hielo de la subcuenca del lago Buenos Aires, cuenca de los lagos BsAs-Pueyrredón	17
5.2.	Cuerpos de hielo de la subcuenca del lago Pueyrredón, cuenca de los lagos BsAs-Pueyrredón.	21
5.3.	Control de campo.....	25
6.	Bibliografía.....	26
7.	Anexos.....	29
7.1.	Imágenes utilizadas en el Inventario de la cuenca de los lagos BsAs-Pueyrredón.	29
7.2.	Control de campo de la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.	31
7.2.1.	Objetivos	31
7.2.2.	Resultados. Geoformas relevadas	32
7.3.	Descripción de la base de datos.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio (Ingo W. Wolff, et al 2012).	6
Figura 2: Meseta Cuadrada: Características identificadas a partir de imágenes de satélite.	6
Figura 3: Subcuencas de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón, cuenca de los lagos homónimos, provincia de Santa Cruz.	9
Figura 4: Delimitación de hielo descubierto obtenido a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.	13
Figura 5: Ejemplo de la importancia que tienen las imágenes de alta resolución para delimitar geoformas cubiertas o glaciares de escombros.	13
Figura 6: Diagrama de flujo de la metodología usada.	16
Figura 7: Mapa general de la subcuenca del lago Buenos Aires, cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.	18
Figura 8: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Buenos Aires.	19
Figura 9: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Buenos Aires.	19
Figura 10: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Buenos Aires.	20
Figura 11: Hipsometría de los cuerpos de hielo en la subcuenca del lago Buenos Aires.	21
Figura 12: Mapa general de la subcuenca del lago Pueyrredón, cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.	22
Figura 13: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Pueyrredón.	23
Figura 14: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Pueyrredón.	23
Figura 15: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Pueyrredón, clasificada en categorías de acuerdo al tamaño de cada unidad.	24
Figura 16: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en la subcuenca del lago Pueyrredón.	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.	11
Tabla 2: Superficie total inventariada en la subcuenca del lago Buenos Aires.	17
Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en la subcuenca del lago Buenos Aires.	20
Tabla 4: Superficie total inventariada en la subcuenca del lago Pueyrredón.	21
Tabla 5: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en la subcuenca del lago Pueyrredón.	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

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media de la geoforma

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales

IPA: International Permafrost Association

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil

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

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

NASA: National Aeronautics and Space Administration (Estados Unidos)

PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina

USGS: United States Geological Survey

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

1. Introducción

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La cuenca se encuentra ubicada en la provincia de Santa Cruz en la región de los Andes del Sur de la Patagonia Argentina y se encuentra conformada por dos subcuencas: lago Buenos Aires, la cual se ubica en el departamento homónimo y ocupa una superficie aproximada de 4.083 km²; y la subcuenca lago Pueyrredón integrada por el lago homónimo y el Posadas, ubicada en el departamento de Río Chico con un área aproximada de 1.822,7 km² (SSRH)¹

El trabajo de identificación de glaciares y glaciares de escombros en la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón fue elaborado en agosto de 2015 y aprobado según resolución N° RESOL-2017-40-APN-MAD de 19 de enero de 2017, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

Deseamos expresar nuestro agradecimiento al estanciero Sr. Mario Citanovich de la Ea. Correntoso quien nos permitió ingresar a las tierras e indicó los caminos apropiados para llegar a los glaciares en estudio.

¹ http://www.hidricosargentina.gov.ar/documentos/referencias_i8/79.pdf

2. Antecedentes

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

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

Más recientemente, y gracias a la existencia de imágenes satelitales, Aniya y colaboradores (1996) realizaron un inventario de los mayores glaciares en el Campo de Hielo Patagónico Sur (Chile-Argentina). Basados en un mosaico de imágenes Landsat TM de Enero de 1986, los autores determinaron las áreas totales, de acumulación y de ablación para 48 glaciares localizados en ambas vertientes del Campo de Hielo. El área total de hielo ascendía en 1986 a 11.259 km² y se establecía al glaciar chileno Pío XI con 1.265 km² de extensión como el más grande en América del Sur. Skvarca y De Angelis (2002) actualizaron este trabajo, documentando las fluctuaciones de 39 glaciares durante el periodo 1986-2001. Muchos estudios posteriores han mejorado sensiblemente los conocimientos sobre los grandes glaciares del Campo de Hielo Sur, pero aún existe un gran vacío de información sobre los numerosos glaciares que están ubicados en otros sectores de los Andes del sur de la Patagonia.

Falaschi y colaboradores (2013) realizaron el primer inventario de glaciares en la zona del Monte San Lorenzo o Cochrane (47°35'S, 72°18'W) en los Andes del Sur de la Patagonia Argentina (dentro del Parque Nacional Perito Moreno) y Chile. El sector argentino se ubica en la subcuenca de los lagos Nansen y Belgrano, cuenca del río Mayer y lago San Martín, y

en la subcuenca del lago Pueyrredón, cuenca del lago Buenos Aires y Pueyrredón. Estos autores identificaron un total de 213 glaciares que cubren un área total de 207 km², año 2005-2008. Determinaron una reducción del área glaciar total del 18,6% en los últimos 20 años.

Dentro de la subcuenca del lago Pueyrredón, Ingo W. Wolf y otros en el año 2012 realizaron un estudio a partir de imágenes satelitales sobre la zona del glaciar ubicado en el monte Zeballos, en la meseta Cuadrada del lago Buenos Aires (Figura 1), llamado por los autores Glaciar de la Meseta Cuadrada. Estimaron que la meseta cuadrada *Palaeo ice cap* en su máxima extensión tendría una zona glaciar de 78 km² equivalente a una masa de hielo de 9,2 km³ y que la altitud de la línea de equilibrio (ELA) se ubicaría a los 2.031 msnm.

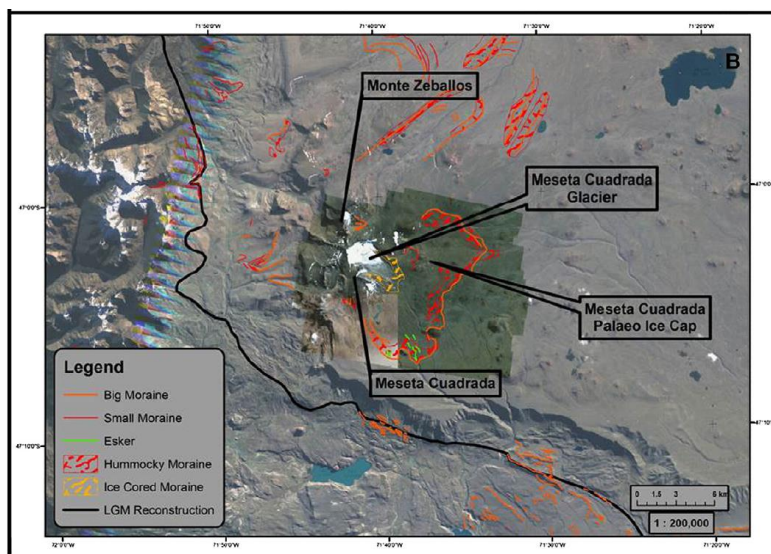


Figura 1: Ubicación del área de estudio (Ingo W. Wolff, et al 2012).

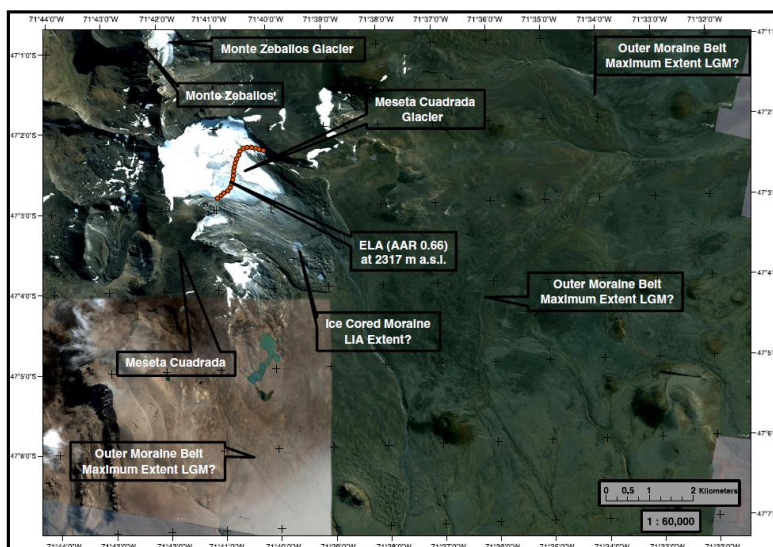


Figura 2: Meseta Cuadrada: Características identificadas a partir de imágenes de satélite. (Ingo W. Wolff, et al 2012).

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 (IANIGLA 2010)** (<http://www.glaciares.org.ar/upload/CronogramaInventarioGlaciaresIANIGLA.pdf>), definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos 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 los originan, para que puedan ser reconocidos por los operadores sin lugar a ambigüedades. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo de la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.

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

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

Glaciar (descubierto y cubierto): Cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recrystalización de la nieve, con o sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea). Dentro de esta definición de glaciar se incluyen a los **manchones de nieve permanentes** o **glaciaretos** que como no tienen evidencia de movimiento, en general no se consideran glaciares. Sin embargo, dado que los manchones de nieve permanentes o glaciaretos 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 1977), el programa World Glacier Inventory (WGI), las normativas del Programa Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS), (Racoviteanu et al. 2009), la IPA (International Permafrost Association), y directivas empleadas en inventarios previos en los Andes Centrales y Patagónicos (Corte y Espizúa 1981; Delgado et al. 2010).

El presente informe corresponde al Inventario de Glaciares de cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón (Ver Figura 3). La subcuenca del lago Buenos Aires tiene una superficie de 4.115 km²; el lago Buenos Aires (841km²) es el cuerpo de agua de mayor tamaño compartido con Chile (denominado lago Carrera), recibe aportes del sector argentino principalmente de los ríos Los Antiguos y Jeinemeni (límite internacional), y escurre hacia el Océano Pacífico a través del río Baker. La subcuenca del lago Pueyrredón tiene una superficie de 4.189 km². El río Oro, es uno de los importantes tributarios del Lago Pueyrredón, el cual recibe aportes de los glaciares que bajan de la cara norte del monte San Lorenzo (SSRH)².

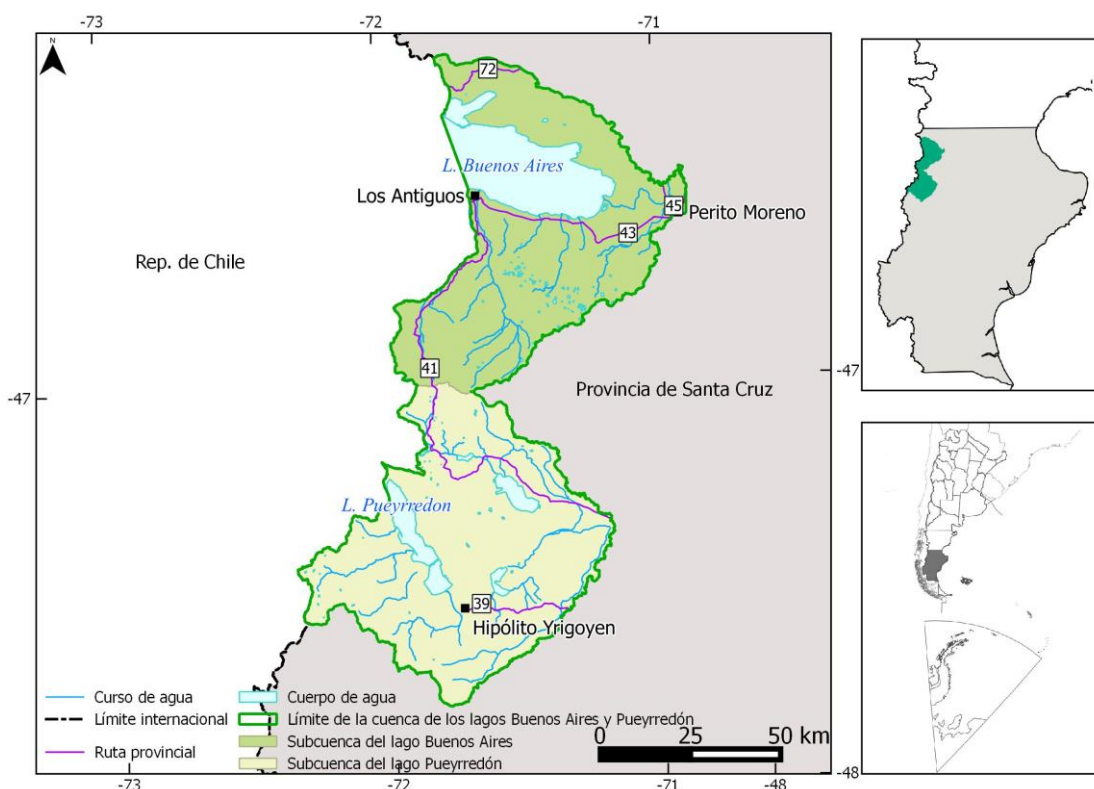


Figura 3: Subcuencas de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón, cuenca de los lagos homónimos, provincia de Santa Cruz.

² http://www.hidricosargentina.gov.ar/documentos/referencias_i8/79.pdf

En el Anexo II del Cronograma del inventario (IANIGLA 2010) figuraban las dos subcuencas por separado, pero la información generada para ambas subcuencas, ha sido compilada en un único informe, puesto que el trabajo de inventario se realizó al mismo tiempo para toda la cuenca que incluye tanto al lago Buenos Aires como al lago Pueyrredón. Sin embargo, se elaboraron dos mapas de inventario para que se puedan observar mejor los glaciares, principalmente debido a una cuestión de escala.

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

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

El programa QGIS (software libre)³ fue utilizado para delimitar automáticamente las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de GDEM v2. Para ello se emplearon las herramientas de “eliminación de sumideros”, “análisis de cuencas”, “delimitación de las áreas de acumulación”, “dirección de drenaje”, “segmentos de corrientes” y finalmente la “delimitación de cuencas”. Luego de transformar el resultado de esta delimitación a formato vectorial, se utilizó el programa KOSMO (software libre)⁴ para la edición y corrección manual de algunos sectores de las cuencas con pequeñas discrepancias entre el límite identificado automáticamente y las evidencias observadas en las imágenes disponibles.

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

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el Inventario en la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón se utilizaron de base imágenes ASTER del satélite TERRA, aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo LANDSAT, ALOS y el programa Google Earth. Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación. Las imágenes de mayor resolución espacial ALOS fueron importantes para la detección de hielo cubierto y glaciares de escombros (ver anexo 7.1. donde se adjunta información de todas las imágenes empleadas para la realización de este inventario).

³ <http://www.qgis.org>

⁴ <http://www.opengis.es/>

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	2027211240	03 Enero 2005
Terra/ASTER	2027211290	03 Enero 2005
Terra/ASTER	2028179499	20 Febrero 2005
Terra/ASTER	2027820484	11 Febrero 2005
Terra/ASTER	2028179494	20 Febrero 2005
Terra/ASTER	2072183495	07 Marzo 2008
ALOS / PRISM	ALPSMN116044550	29 Marzo 2008
ALOS / PRISM	ALPSMN116044560	29 Marzo 2008
SPOT 5	SPOT5_HRG1_2014-02-24_13-53-20_A_680_446_S0_L2A	24 Febrero 2014
Landsat-TM 5	LT52310932011051COA00	20 Febrero 2011

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. 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).

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) 19S. 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 kilómetros cuadrados y como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes están expresadas en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

Con respecto a la georreferenciación, las imágenes ASTER utilizadas como base para la delimitación de los cuerpos de hielo tienen una muy buena ortorrectificación (Fujisada et al. 2005), por lo que la mayoría de las escenas se emplearon sin tener que realizar ningún tipo de corrección. No obstante, en algunas imágenes se corrigieron pequeñas variaciones en la georreferenciación utilizando como base un mosaico compuesto de imágenes LANDSAT 5 TM. Estas imágenes, generadas por el USGS (United States Geological Survey) son internacionalmente aceptadas como base de referencia (Tucker et al. 2004). El procedimiento de georreferenciación se realizó con el programa gvSIG.

4.3. Delimitación del hielo descubierto

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

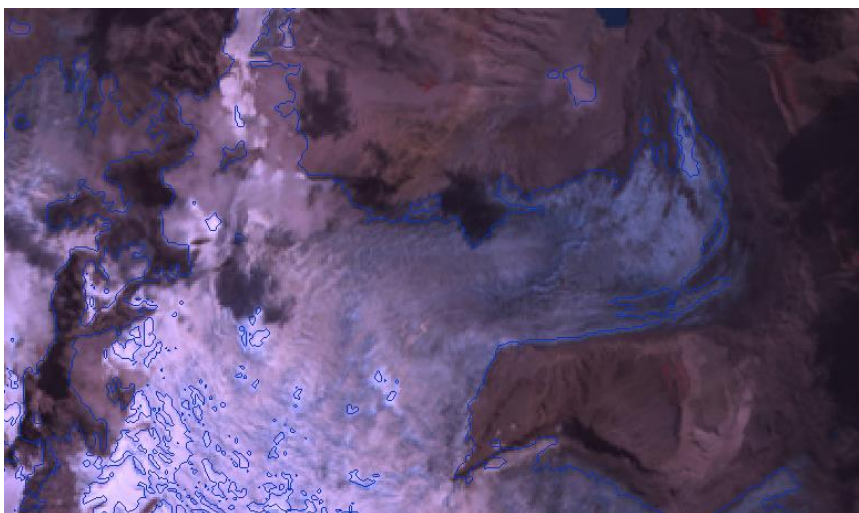


Figura 4: Delimitación de hielo descubierto obtenido a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

4.4. Digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros

Para el mapeo de sectores de glaciares cubiertos por detritos y glaciares de escombros, que no pueden detectarse automáticamente a través de un proceso automático o semiautomático como en el caso del hielo descubierto, la digitalización manual sigue siendo la metodología más utilizada a nivel internacional (Stokes et al. 2007; Racoviteanu et al. 2009). En la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón los cuerpos con cobertura detrítica fueron delimitados manualmente utilizando el programa KOSMO sobre el mosaico ASTER como base. A modo de complemento, también se utilizaron las imágenes disponibles en Google Earth© y la escena PRISM del 29 de marzo de 2008 (Figura 5).

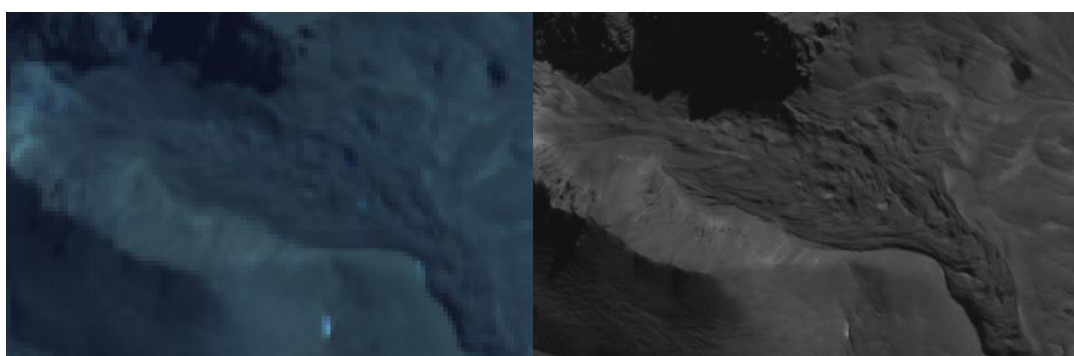


Figura 5: Ejemplo de la importancia que tienen las imágenes de alta resolución para delimitar geoformas cubiertas o glaciares de escombros. A la izquierda puede observarse, en una imagen ASTER de 15 m de resolución, un glaciar de escombros. A la derecha la misma crioforma, con mucha mayor definición,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

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón fue desarrollada con el programa KOSMO e incluye la identificación de cada uno de los cuerpos de hielo, su clasificación morfológica, y parámetros específicos como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total (ver Anexo 7.3).

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

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

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

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 debe ser identificado por un único ID (código identificador), y consiste en un cuerpo de hielo y nieve que se observa al final de la estación de ablación, o en el caso de los glaciares tropicales, cuando no hay nieve transitoria. Esto incluye como mínimo todos los tributarios y masas de hielo que contribuyen a la alimentación del glaciar principal, además de las partes cubiertas de detrito. Según estos lineamientos quedan excluidos los afloramientos rocosos y nunataks. Ver definición en: http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_a4.pdf

El código de identificación de un glaciar (“ID_local” en la base de datos) es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados, y fue generado a partir de las coordenadas geográficas (longitud y latitud) de un punto ubicado en el interior del mismo. Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud

Sur. Por ejemplo, el glaciar identificado con el ID_local “G721782O475430S” corresponde al glaciar que contiene un punto situado en los 72,1783° de longitud Oeste y -47,543° de latitud Sur.

El código internacional de un glaciar (“ID_GLIMS” en la base de datos) es generado de la misma manera que el identificador local pero referido a las coordenadas de longitud Este a partir de las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior del mismo. Cuando las longitudes corresponden al Oeste, las mismas son convertidas al Este mediante la adición de 360 grados. Para el ejemplo anterior las coordenadas de longitud referidas al Este serían $-72,1783^{\circ} + 360 = 287,821$ y su correspondiente ID_GLIMS “G287821E47543S”. De esta manera se facilita el acceso de la información del inventario a un nivel internacional de referencia. La información sobre la posición geográfica de cada geoforma está indicada además con un código específico que provee información sobre la provincia, la cuenca y subcuenca donde se encuentra el cuerpo de hielo inventariado. Cabe aclarar que en algunos casos, las unidades inventariadas pueden estar compuestas por varias subunidades que identifican distintos tipos de superficies (por ejemplo hielo descubierto y hielo cubierto por detritos) pero que comparten un único ID. Por esta razón el número de glaciares puede no coincidir estrictamente con el número de polígonos o subunidades observados en el mapa, aunque no es el caso del presente estudio ya que no se diferenciaron geoformas que conformen una misma unidad.

Se asignó además un código de identificación de las geoformas inventariadas según la provincia, cuenca y subcuenca en la que se encuentra. El código de las provincias es el indicado por la norma ISO 3166, la provincia de Santa Cruz es identificada con la letra “Z” y el código de cuenca es el indicado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación⁵ que identifica con el número 79 a la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.

La Figura 6 presenta un resumen gráfico de las tareas metodológicas realizadas en el inventario de cuerpos de hielo.

4.6. Control de campo

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

⁵ SSRH <http://www.hidricosargentina.gov.ar>

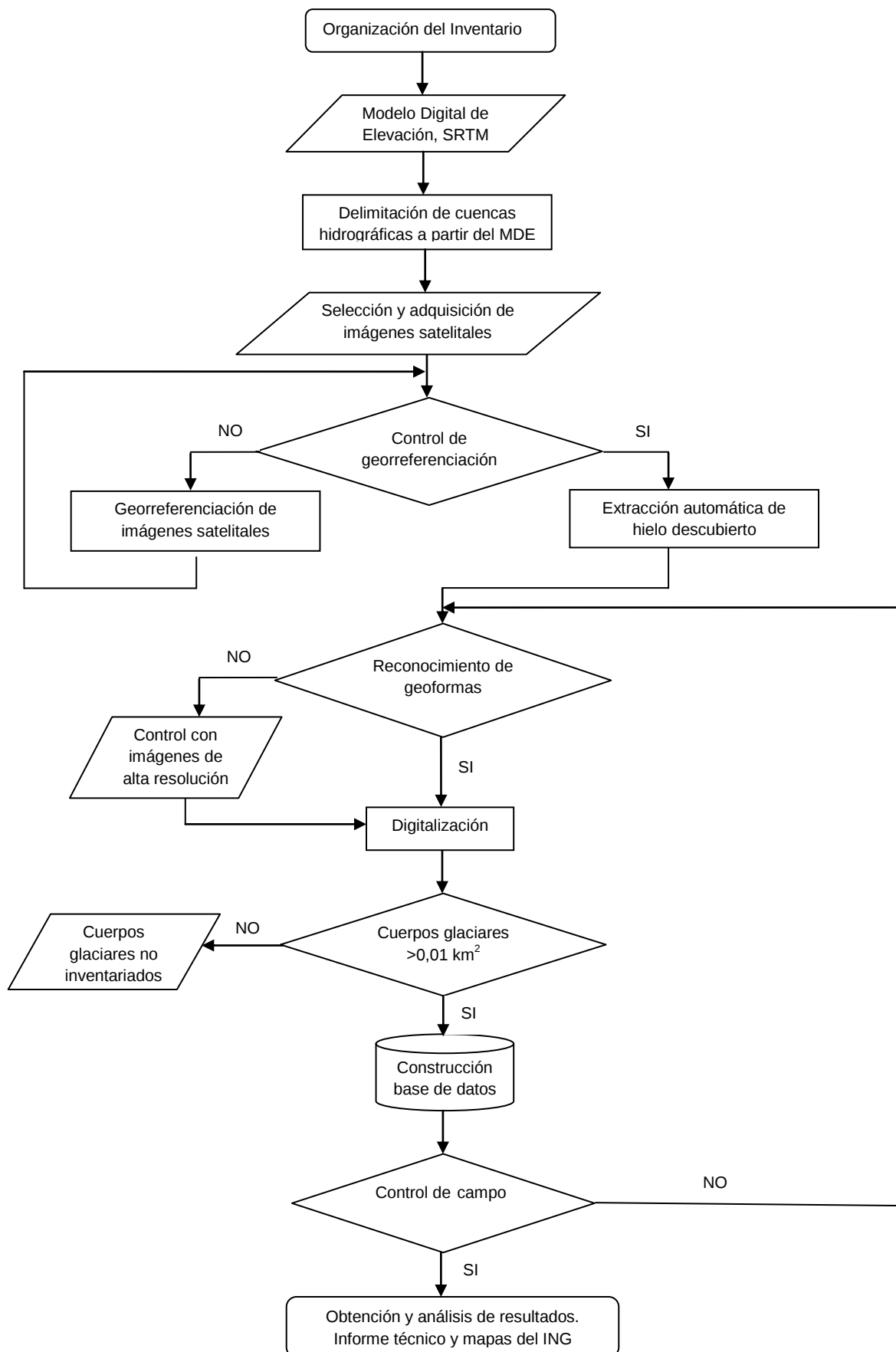


Figura 6: Diagrama de flujo de la metodología usada.

5. Resultados

5.1. Cuerpos de hielo de la subcuenca del lago Buenos Aires, cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón

La superficie de la subcuenca del lago Buenos Aires es de aproximadamente 4.115 km², de la cual el 0,10 % (4,19 km²) está cubierta por cuerpos de hielo (Tabla 2 y Figura 7). En total, en el área de estudio se identificaron 68 glaciares, principalmente glaciares de escombros. Se mapeó un solo glaciar cubierto con glaciar de escombros.

La mayor parte de los cuerpos de hielo se ubican en el sector suroeste de la subcuenca y ninguno de ellos posee toponimia oficial ni conocida.

Tabla 2: Superficie total inventariada en la subcuenca del lago Buenos Aires.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	1,43
Manchones de nieve/glaciaretes	0,27
Glaciar cubierto	0,11
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	0,21
Glaciar de escombros	2,17
Total	4,19

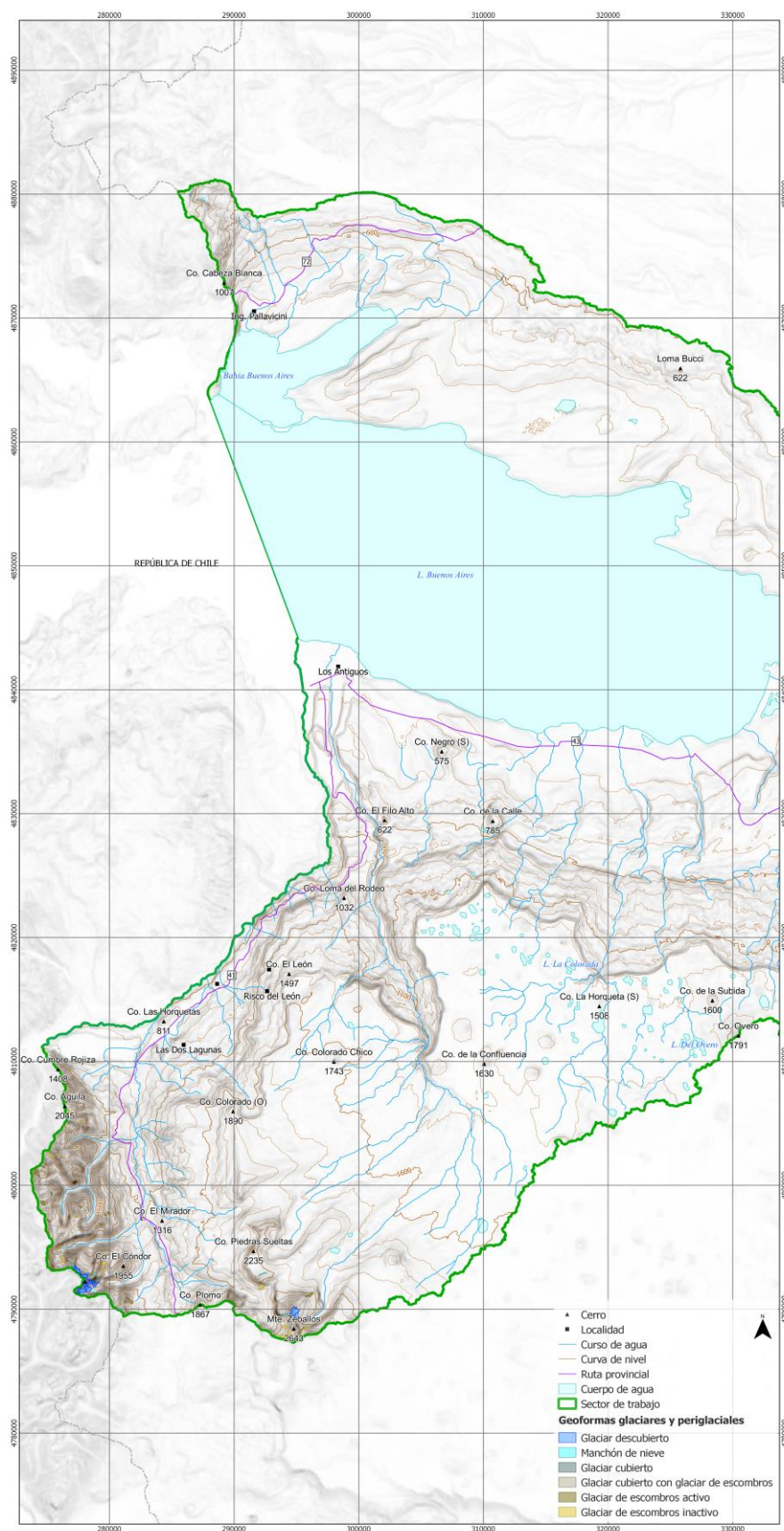


Figura 7: Mapa general de la subcuenca del lago Buenos Aires, cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.

Existe un claro predominio de los glaciares de escombros sobre otras geoformas inventariadas en el área de estudio. Del total de este tipo de glaciares (48 unidades) el 35% corresponde a crioformas activas y el 65 % a inactivas. En cuanto a los glaciares descubiertos se obtuvo un 34% del área glaciaria. Tan solo el 6,4 % se debe a manchones de nieve y casi un 8 % a glaciares cubiertos y cubierto con glaciar de escombros (Figura 8).

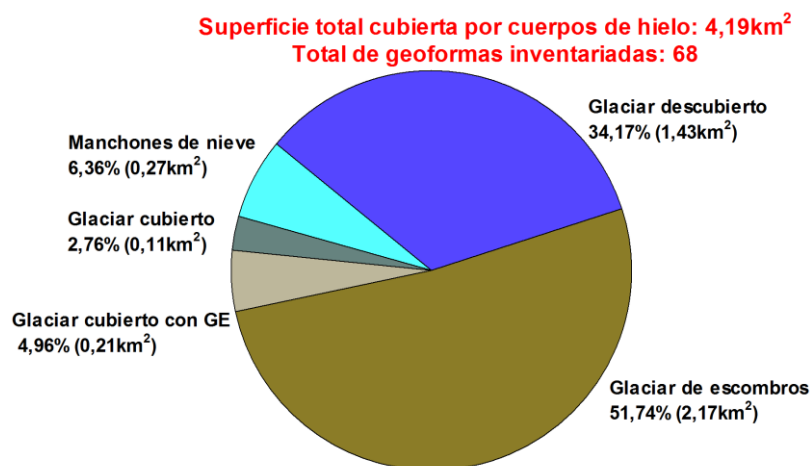


Figura 8: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Buenos Aires.

Las geoformas inventariadas en la subcuenca se encuentran orientadas en varias direcciones, predominando la orientación hacia el sureste (Figura 9), que coincide con la ladera de menor insolación en el hemisferio sur.

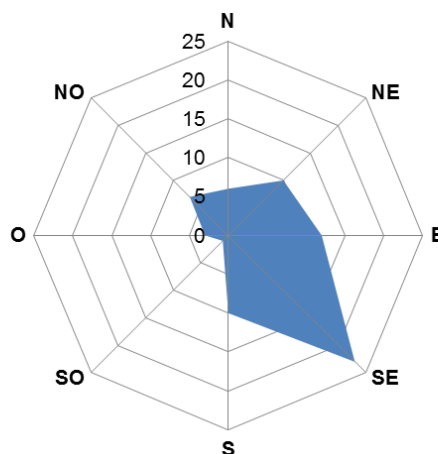


Figura 9: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Buenos Aires.

Los glaciares de muy pequeño tamaño (menores a 0,05 km²) representan un porcentaje muy importante en cuanto a cantidad de unidades (74%), pero solo contribuyen en un tercio a la superficie inventariada total. El 25% de los cuerpos relevados presentan un área comprendida entre los 0,05 y 0,5 km², representando un 58% de la superficie de hielo. Solo un cuerpo contribuye en un poco más del 10% del total del área inventariada por ser el cuerpo de mayor tamaño (Figura 10).

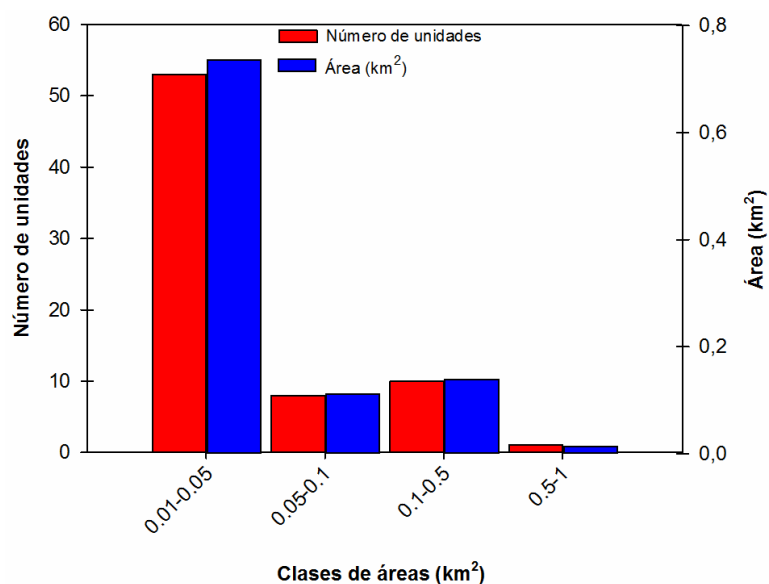


Figura 10: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Buenos Aires.

Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en la subcuenca del lago Buenos Aires.

Tipo de geoforma	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	1.705	2.554
Manchones de nieve / glaciaretos	1.658	2.506
Glaciar cubierto	1.715	2.296
Glaciar de escombros (GE)	1.569	2.468
Glaciar cubierto con GE	1.707	2.041

Los cuerpos de hielo de la subcuenca del lago Buenos Aires se encuentran entre los 1.569 y 2.554 msnm (Tabla 3). Todas las crioformas inventariadas se distribuyen de manera similar a lo largo de todo el rango altitudinal. Se observa una mayor concentración de hielo descubierto por encima de los 2.200 msnm. Esta distribución es similar también para los manchones de nieve. El único glaciar cubierto con glaciar de escombros identificado es la crioforma que menor altitud alcanza (2.041 msnm). Con respecto a los glaciares de escombros se puede apreciar que la mayor superficie se ubica principalmente entre los 1.800 - 2.000 y 2.300 – 2.400 msnm.

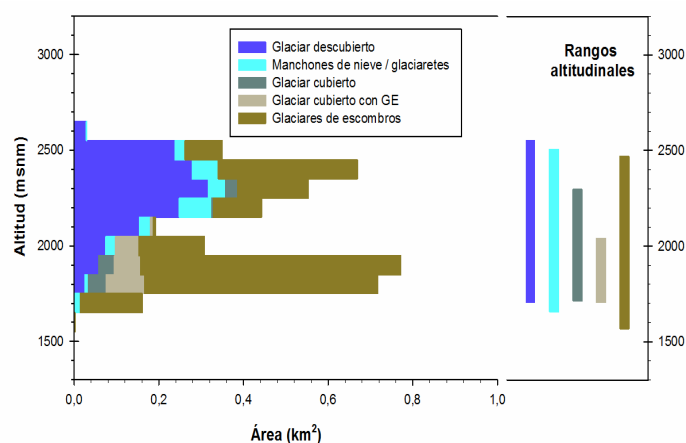


Figura 11: Hipsometría de los distintos cuerpos de hielo en la subcuenca del lago Buenos Aires.

5.2. Cuerpos de hielo de la subcuenca del lago Pueyrredón, cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.

La superficie de la subcuenca del lago Pueyrredón es de aproximadamente 4.189 km², de la cual el 0,9% (37,55 km²) está cubierta por cuerpos de hielo (Tabla 4 y Figura 13).

Se inventariaron 143 cuerpos de hielo, de los cuales el 60,76 % corresponde a glaciares descubiertos. Sólo se detectaron unos pocos sectores de hielo cubierto por detritos que no alcanzan el 5% de la superficie inventariada, mientras que los manchones de nieve/glaciaretes identificados son generalmente muy pequeños y numerosos y ocupan en conjunto 2 km² aproximadamente (cerca del 5,5% de la superficie inventariada). Dentro del ambiente periglacial se inventariaron 67 glaciares de escombros, 27,32% del total del área inventariada (Tabla 2), de los cuales el 69% corresponde a crioformas activas y el 31% inactivas; 20 crioformas son de origen glaciogénico y 47 de origen criogénico.

Los glaciares mapeados se distribuyen a lo largo de toda la subcuenca, siendo la unidad glaciaria de mayor tamaño el conocido glaciar del monte San Lorenzo cara Norte (15,34 km²) el cual se conforma por hielo de tipo descubierto y cubierto. El segundo glaciar de mayor área (5,22 km²) corresponde al más oriental de la provincia de Santa Cruz (47,0384° Latitud Sur y 71,6898 ° Longitud Sur) y se ubica en la cara este del Mte Zeballos formado por hielo descubierto y dos morenas con núcleo de hielo, inventariadas como glaciares de escombros de origen glaciogénico. Estos dos glaciares representan casi un 55% del área total inventariada.

Tabla 4: Superficie total inventariada en la subcuenca del lago Pueyrredón.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	22,82
Manchones de nieve/glaciaretes	2,07
Glaciar cubierto	1,60
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	0,80
Glaciar de escombros	10,26
Total	37,55

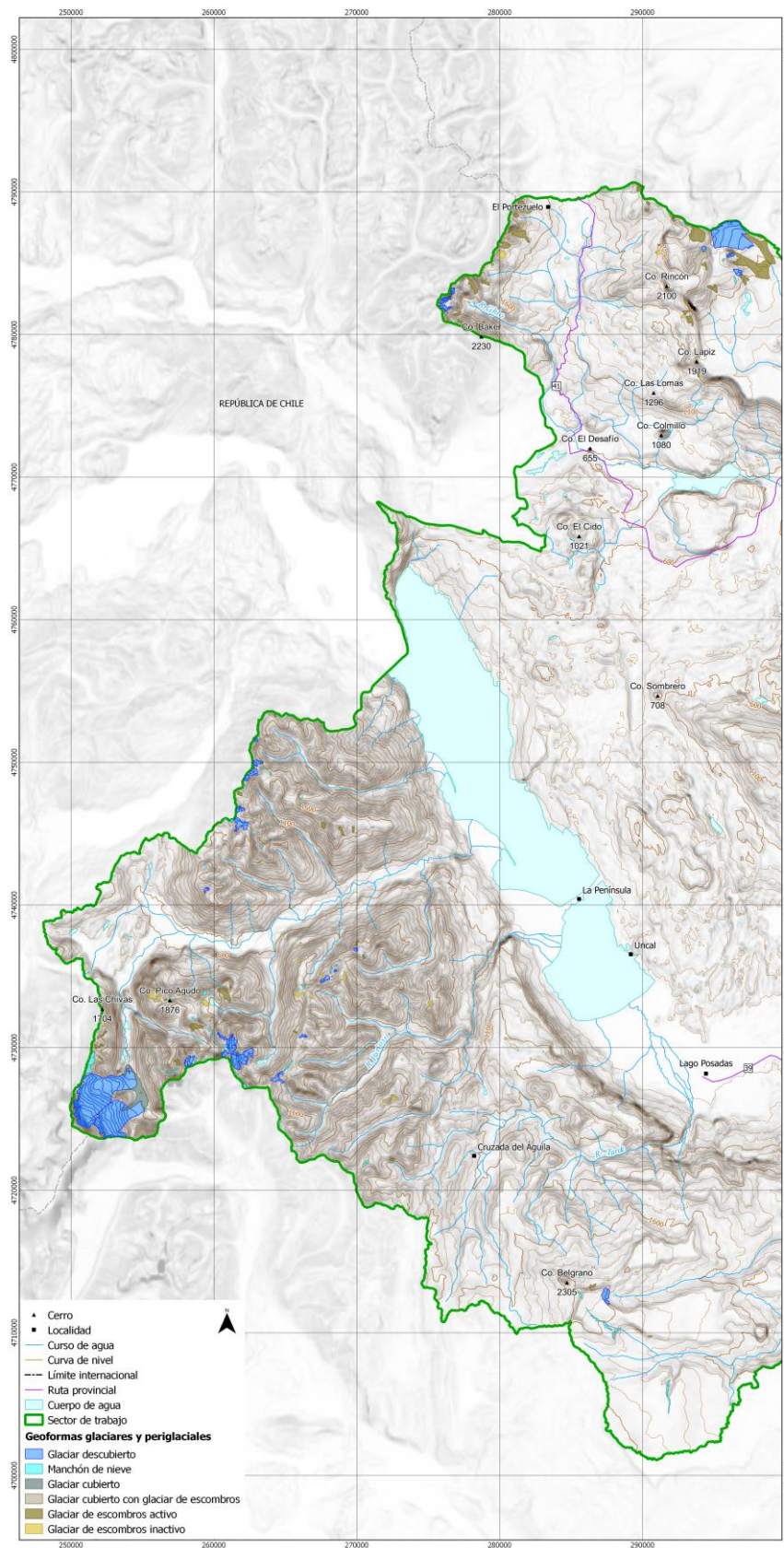


Figura 12: Mapa general de la subcuenca del lago Puyehue, cuenca de los lagos Buenos Aires y Puyehue.

En la Figura 13 se puede observar que más de la mitad del área inventariada corresponde a glaciares descubiertos, seguido por glaciares de escombros (27 % de la superficie) y un poco más del 10% corresponde a dos glaciares (uno cubierto y otro cubierto con GE) y manchones de nieve.

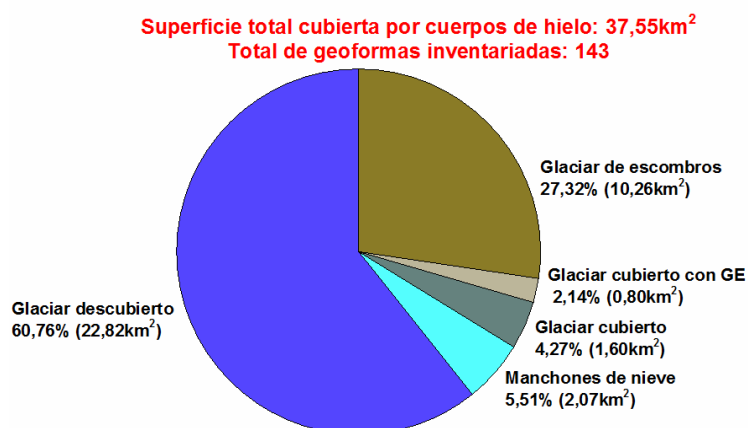


Figura 13: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Pueyrredón.

En el gráfico de orientación media de los cuerpos inventariados se observa que la mayoría de los glaciares presentan una exposición sureste, presentándose también orientaciones hacia el este y noreste.

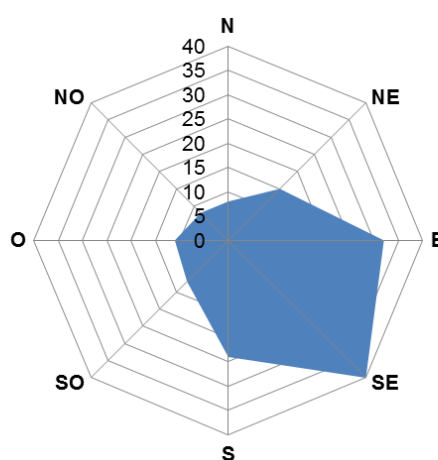


Figura 14: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Pueyrredón.

Con respecto a la distribución relativa por tamaño de los distintos cuerpos mapeados, se puede apreciar que los cuerpos de muy pequeño tamaño (<0,1 km²) son más numerosos (más del 70% de las unidades) que los cuerpos de mayor tamaño, sin embargo el aporte de superficie es muy bajo (11,3%). En cambio los glaciares que presentan un área entre 0,1 y 1 km² contribuyen en un poco más del 28% del área inventariada. Solo un 4% de los glaciares mapeados aporta más del 60% de la superficie de hielo por ser los cuerpos de mayor tamaño.

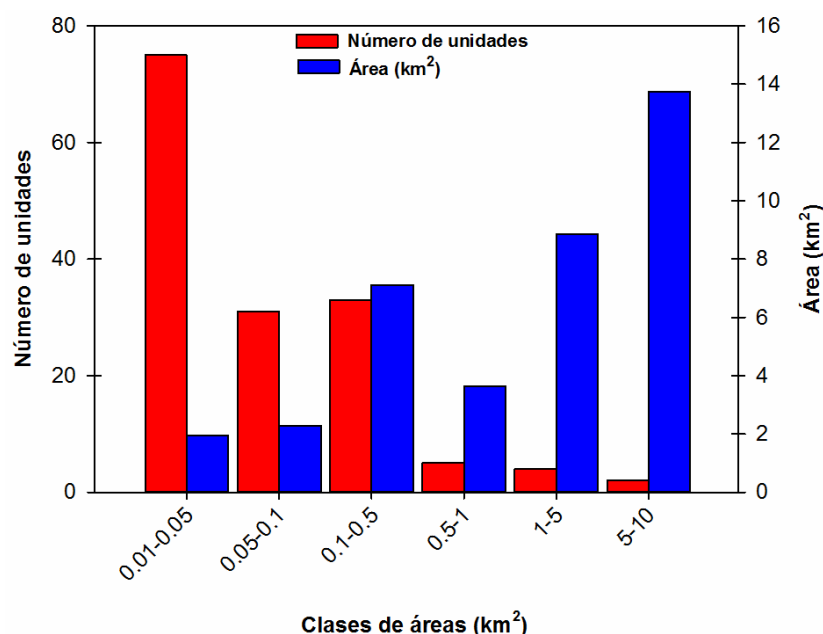


Figura 15: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del lago Pueyrredón, clasificada en categorías de acuerdo al tamaño de cada unidad.

Tabla 5: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en la subcuenca del lago Pueyrredón.

Tipo de geoforma	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	983	3.183
Manchones de nieve / glaciaretos	1.606	2.515
Glaciar cubierto	942	1.460
Glaciar de escombros (GE)	1.319	2.404
Glaciar cubierto con GE	2.073	2.388

Los cuerpos de hielo de la subcuenca del lago Pueyrredón se encuentran entre los 942 y 3.183 msnm (Tabla 3). Los glaciares de tipo descubierto presentan una distribución que abarca todo el rango altitudinal. Los glaciares de escombros se presentan en una altitud algo más acotada (1.319-2.694 msnm) y el glaciar cubierto con glaciar de escombros identificado se encuentra a una altura media de 2.213 msnm. El único glaciar cubierto alcanza menores alturas, llega hasta los 1.460 msnm. Los manchones de nieve presentan el rango altitudinal más acotado, se distribuyen entre los 1.606-2.515 msnm. (Figura 16).

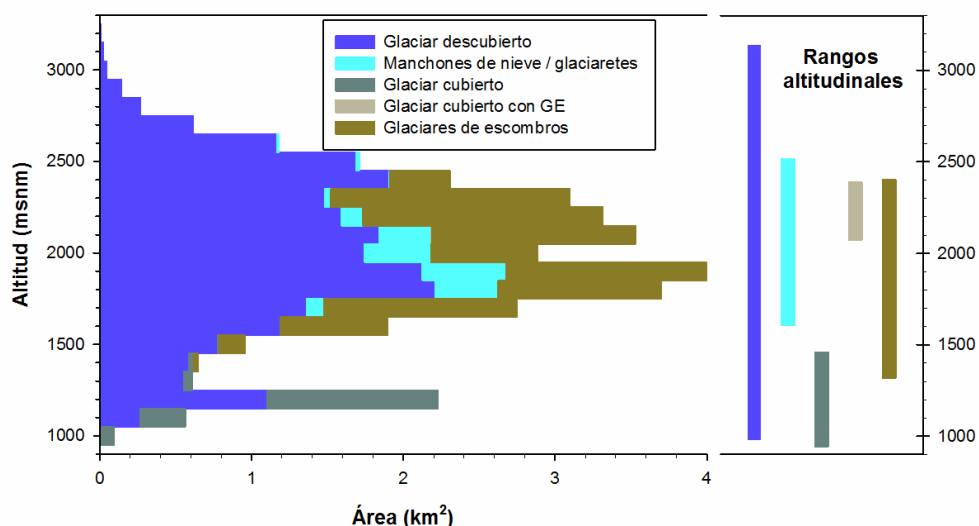


Figura 16: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en la subcuenca del lago Pueyrredón.

5.3. Control de campo

En febrero de 2015 profesionales del IANIGLA realizaron la campaña correspondiente a la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón. Estas visitas permitieron, entre otras cosas, corroborar los mapeos y la clasificación de cuerpos de hielo realizados en gabinete, corregir posibles errores que pueden presentarse sobre todo en sectores donde los límites y características de las crioformas son difíciles de distinguir en las imágenes satelitales. Los sectores recorridos fueron seleccionados de acuerdo a su accesibilidad y número de geoformas presente en cada sitio. En la subcuenca del lago Buenos Aires el control de campo se realizó sobre los valles del lado oeste de las nacientes del río Zeballos. En la subcuenca del lago Pueyrredón se relevaron glaciares de la ladera este de las nacientes del río Ghio y en la zona del Mte. Zeballos.

Se observaron un total de 44 geoformas que, sobre el total de polígonos inventariados (222), representan un 20%. Con respecto a la identificación de geoformas glaciares y periglaciales se obtuvo un 95% de coincidencias, siendo el problema principal la inclusión errónea de 2 geoformas periglaciales como morenas o deslizamientos de detritos. En cuanto a la clasificación se obtuvo un acierto del 5,4 %, siendo el error más común el tipo de actividad de los glaciares de escombros, en general las geoformas observadas en campo e identificadas como activos se modificaron a inactivos. Además se agregaron 3 glaciares de escombros que no estaban mapeados. Para mayores precisiones ver anexo 7.2 en el cual se detallan las geoformas inventariadas en las subcuencas de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.

6. Bibliografía

- Aniya, M., H. Sato, R. Naruse, P. Skvarca, G. Casassa. 1996. The use of satellite and airborne imagery to inventory outlet glaciers of the Southern Patagonia Icefield, South America. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 62, N° 12, 1361-1369.
- Azócar, G.F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 42 - 53.
- Barsch D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *Third International Conference on Permafrost, Proceedings 1*, 349-353 p. Ottawa, Canada.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, 331 p. Berlin.
- Bertone, M. 1960. Inventario de los glaciares existentes en la vertiente Argentina entre los paralelos 47°30' y 51° S 3. Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico. Buenos Aires, Argentina. 103 p.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16, 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 54 - 66.
- Camara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Garrido, J. 1996. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157-158.
- Corte, A. y Espizúa L.E. 1981. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.
- Delgado, S., Villalba, R., Masiokas, M.H. 2006. Remote sensing monitoring of glacier fluctuations in the Patagonian Andes. *CONCORD Symposium on Climate Change: "Organizing the Science in the American Cordillera"*. Mendoza, Argentina. 4-6 Abril, 2006.
- Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P. y Villalba R. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. *International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS*.
- Falaschi, D., Bravo, C., Masiokas M., Villalba R. y Rivera A., 2013. First Glacier Inventory and Recent Changes in Glacier Area in the Monte San Lorenzo Region (47°S), Southern

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

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

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

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

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

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

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

Ingo W. Wolff, Neil F. Glasser, Alun Hubbard. 2012. The reconstruction and climatic implication of an independent palaeo ice cap within the Andean rain shadow east of the former Patagonian ice sheet, Santa Cruz Province, Argentina. Centre for Glaciology, Institute of Geography and Earth Sciences, Aberystwyth University, Llandinam Building, Penglais Campus, Aberystwyth, SY23 3DB, Wales, United Kingdom. Geomorphology 185 (2013) 1–15

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el Inventario de la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el Inventario de la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.

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

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

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

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52310922011051COA00	20 febrero 2011	Base de georreferenciación
LT52310932011051COA00	20 febrero 2011	Base de georreferenciación y base de inventario en zona sin imágenes ASTER.

Satélite: **TERRA**

Sensor: ASTER

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: Los datos ASTER fueron obtenidos del “Data Pool de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and

Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota” (http://lpdaac.usgs.gov/get_data) por convenio del IANIGLA con el programa GLIMS.

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST_L1A.003:2027211240	03 enero 2005	Base inventario
AST_L1A.003:2027211290	03 enero 2005	
AST_L1A.003:2028179499	20 febrero 2005	
AST_L1A.003:2027820484	11 febrero 2005	
AST_L1A.003:2028179494	20 febrero 2005	
AST_L1A.003:2072183495	07 marzo 2008	

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

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

Resolución espacial: 2,5 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALPSMN116044550	29 marzo 2008	Base de inventario en zona de nubes en imágenes ASTER y apoyo para mapeo de hielo cubierto y glaciares de escombros.
ALPSMN116044560	29 marzo 2008	

Satélite: **SPOT** (Satellites Pour l’Observation de la Terre)

Sensor: HRS

Resolución espacial: 5 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
SPOT5_HRG1_2014-02-24_13-53-20_A_680_446_S0_L2A	24 febrero 2014	Base de inventario en zona sin imágenes ASTER y apoyo para mapeo de hielo cubierto y glaciares de escombros.

7.2. Control de campo de la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón



7.2.1. Objetivos

Los objetivos de la campaña fueron:

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

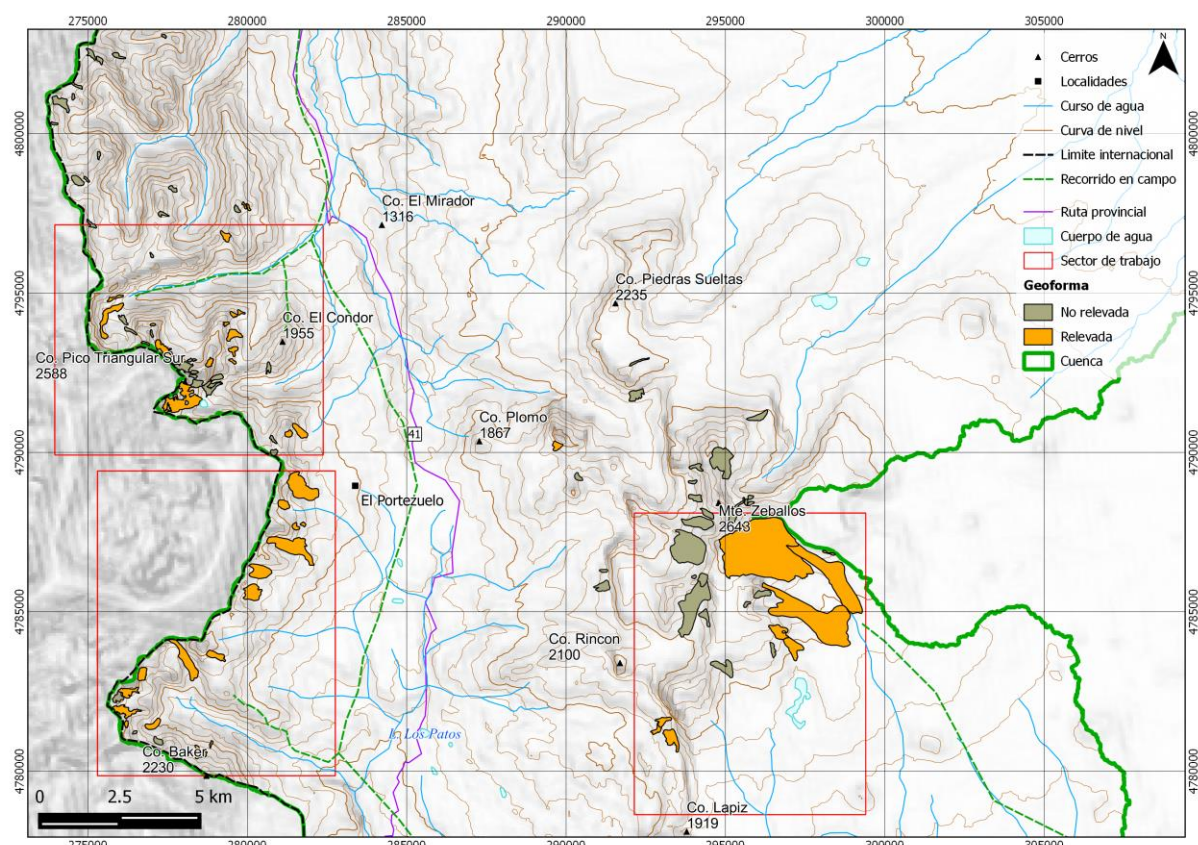


Figura 10: Mapa de ubicación de los glaciares observados en la cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón.

7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

7.2.2.1 Subcuenca del lago Buenos Aires

Geoforma G718982O469736S

Glaciar de escombros originalmente clasificado como activo pasó a ser inactivo. La superficie de la geoforma tiene un aspecto más bien colapsado y un talud con baja pendiente lo que evidencia la inactividad del cuerpo.



Glaciar de escombros inactivo G718982O469736S

Geoforma G718735O470004S

Glaciar de escombros originalmente clasificado como inactivo pasó a ser activo.



Glaciar de escombros activo G718735O470004S. En campo solo se observó la zona superior y el talud de la geoforma

Geoforma G718775O470021S

En el campo se pudo observar este pequeño glaciar de escombros activo que no había sido inventariado en gabinete.



Glaciar de escombros activo G718775O470021S. Vista desde el frente del glaciar

Geoforma G719258O469786S

Glaciar descubierto de montaña.



Glaciar descubierto G719258O469786S

Geoforma G719319O469724S

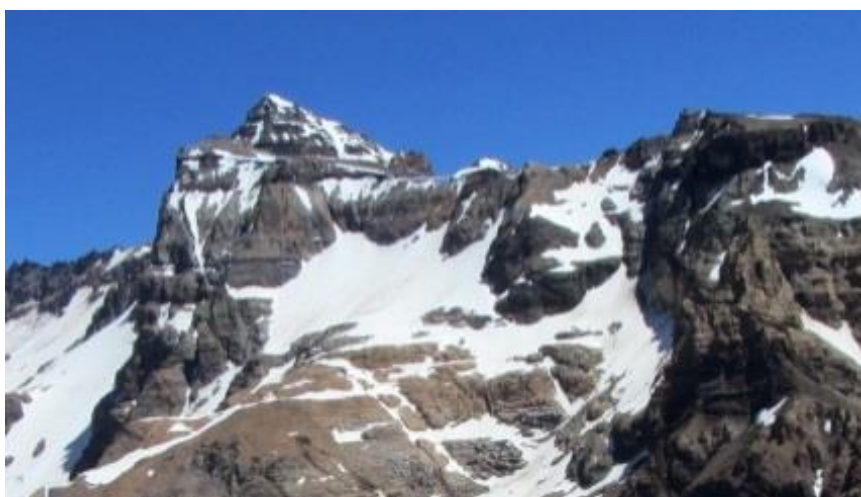
Manchón de nieve o glaciarete.



Manchón de nieve G719319O469724S

Geoforma G719087O469811S

Manchones de nieve o glaciaretes, en gabinete se habían mapeado como dos unidades diferentes, en campo se decidió unirlos en una sola unidad.



Manchón de nieve G719087O469811S

Geoforma G718990O469778S

Glaciar de escombros inactivo. En campo se observó que el glaciar es de mayor tamaño a lo delimitado en gabinete. Se editaron los límites del glaciar en la zona de acumulación y el sector sur de la geoforma.



En verde los sectores que se agregaron al glaciar de escombros inactivo G718990O469778S. Vista desde el frente del glaciar

Geoforma G718991O469808S

Glaciar de escombros inactivo. Luego de la observación en el campo se editaron los límites del glaciar.



Glaciar de escombros inactivo G718991O469808S. Vista del talud norte de la geoforma

Geoforma G718952O469675S

Glaciar de escombros inicialmente clasificado como inactivo pasó a ser activo, se modificó el límite de la zona superior del glaciar.



Glaciar de escombros activo G718952O469675S. Vista hacia el sureste de la geoforma

Geoforma G718983O469676S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Se observa un talud pronunciado y una pequeña laguna en el frente de la geoforma.



Glaciar de escombros activo G718983O469676S. Vista del frente del glaciar

Geoforma G719014O469705S

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico.



Glaciar de escombros G719014O469705S

Geoforma G718901O469373S

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico. En la foto se aprecia la superficie de la geoforma muy colapsada con un talud de baja pendiente.



Glaciar de escombros inactivo G718901O469373S

Geoforma G718919O469368S

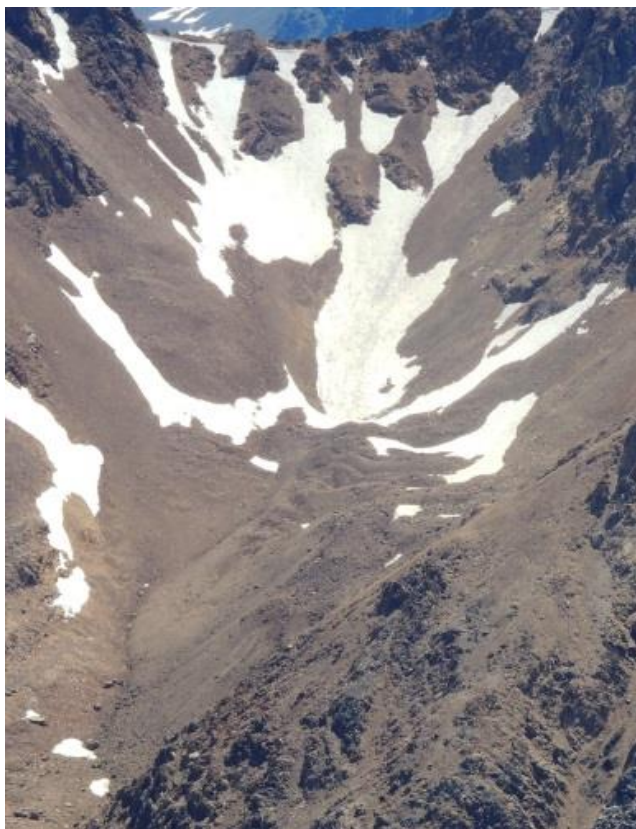
Glaciar de escombros activo de origen criogénico.



Glaciar de escombros activo G718919O469368S. Vista del frente del glaciar

Geoforma G718952O469380S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. En la foto se pueden observar los surcos y crestas y las canaletas nivodetríticas que alimentan la geoforma.



Glaciar de escombros activo G718952O469380S

Geoforma G719007O469452S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico, se observa un talud marcado con selección vertical del sedimento.



Glaciar de escombros activo G719007O469452S. Vista del frente del glaciar

Geoforma G719312O469698S

Manchón de nieve o glaciarete. Se observa que su área está disminuyendo con respecto a la imagen de base utilizada para el inventario (2008), ya que se está separando en dos partes.



Manchón de nieve G719312O469698S

Geoforma G719515O469724S

Glaciar cubierto con glaciarete de escombros. Parte de este glaciar se eliminó porque correspondía a un glaciar de escombros fósil.



En rojo el sector eliminado del glaciar cubierto con GE G719515O469724S. Vista desde el frente del glaciar

Geoforma G719479O469623S

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico, se observa la superficie de la geoforma muy colapsada.



Glaciar de escombros inactivo G719479O469623S

Geoforma G719229O469929S

Glaciar descubierta de montaña, se observa únicamente la zona de acumulación.



Glaciar descubierta G719229O469929S. Vista del sector norte del glaciar

Geoforma G719091O468680S

Este glaciar clasificado como glaciar de escombros inactivo fue eliminado ya que en terreno no se observaron los indicios correspondientes a esta geoforma.



En naranja el glaciar de escombros inactivo eliminado.

7.2.2.2 Subcuenca del lago Pueyrredón

Geoforma G718951O470463S

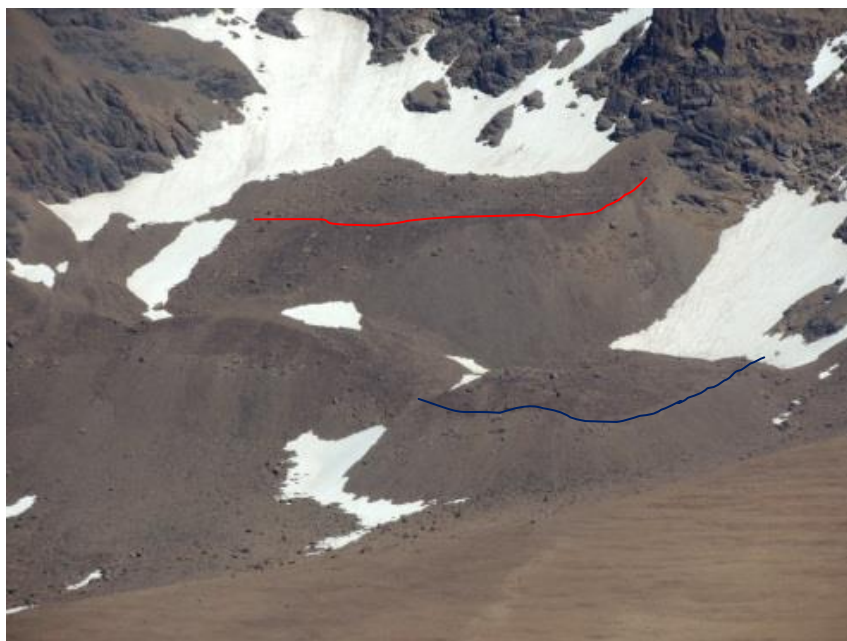
Glaciar de escombros identificado como activo en gabinete, se reclasificó como inactivo de acuerdo a lo observado en el campo.



Vista del sector noreste del frente del glaciar de escombros G718951O470463S

Geoformas G720973O475101S y G720721O474903S

Glaciares de escombros inactivos de origen criogénico.



En azul se ha delimitado el frente del glaciar de escombros G720973O475101S y en rojo el G720721O474903S

Geoforma G718359O477045S

Glaciar de escombros activo de origen glacigénico. Se observa principalmente el talud lateral norte de la geoforma con una pendiente elevada y selección vertical del sedimento.



Talud norte del glaciar de escombros activo G718359O477045S

Geoforma G716731O470661S

Glaciar de escombros activo de origen glacigénico.



Vista este del talud del glaciar de escombros activo G716731O470661S

Geoforma G716559O470411S

Glaciar de escombros activo de origen glacigénico. Presenta una superficie rugoso con surcos y crestas definidos, también se observa en la zona de alimentación las canaletas nivodetríticos.



Sector superior y medio del glaciar de escombros activo G716559O470411S

Geoforma G716803O470678S

Glaciar de escombros activo de origen glacigénico. Se observa en toda la superficie de la geoforma material más grueso y un talud con pendiente mayor a 35°. También se observa la zona de alimentación.



Vista del noreste del glaciar de escombros activo G716803O470678S

Geoforma G721263O473681S

Pequeño glaciar de escombros activo. Esta geoforma no estaba mapeada, se midió el área en gabinete y al presentar un área mayor a una hectárea fue incorporado al inventario.



Glaciar de escombros G721263O473681S

Geoforma G719483O470822S

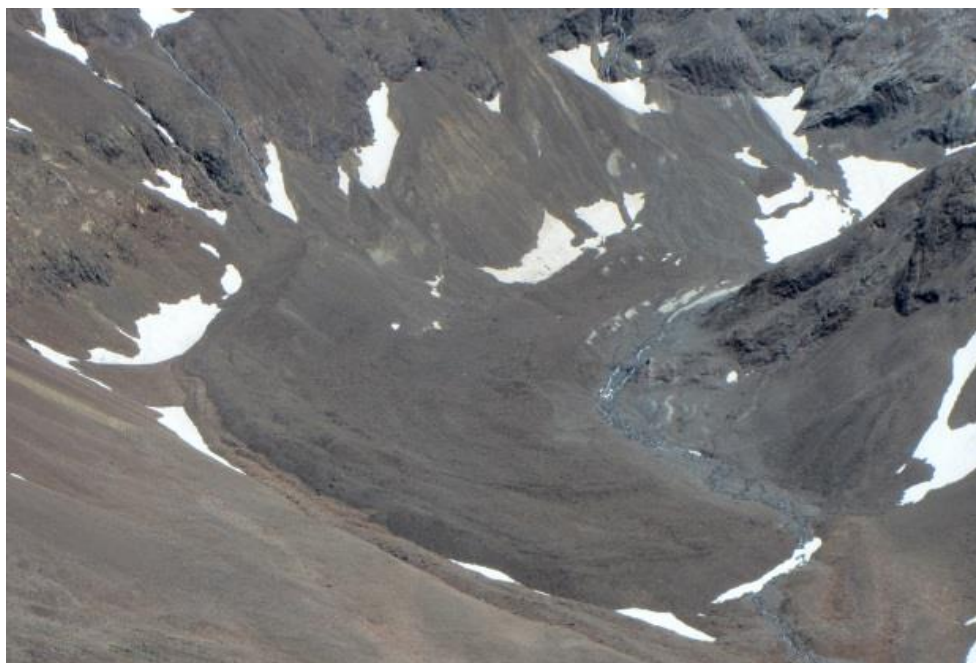
Glaciar de escombros activo, origen criogénico. Se evidencia la selección vertical del sedimento y un talud con una pendiente mayor a 40°.



Glaciar de escombros G719483O470822S

Geoforma G720545O474806S

Glaciar de escombros activo de origen glacigénico.



Vista desde el noreste del glaciar de escombros G720545O474806S

Geoforma G721644O473962S

Manchón de nieve o glaciarete.



Manchón de nieve G721644O473962S

Geoforma G719501O470785S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico



Vista solo del frente del glaciar de escombros G719501O470785S

Geoforma G721342O473648S y G722433O475027S

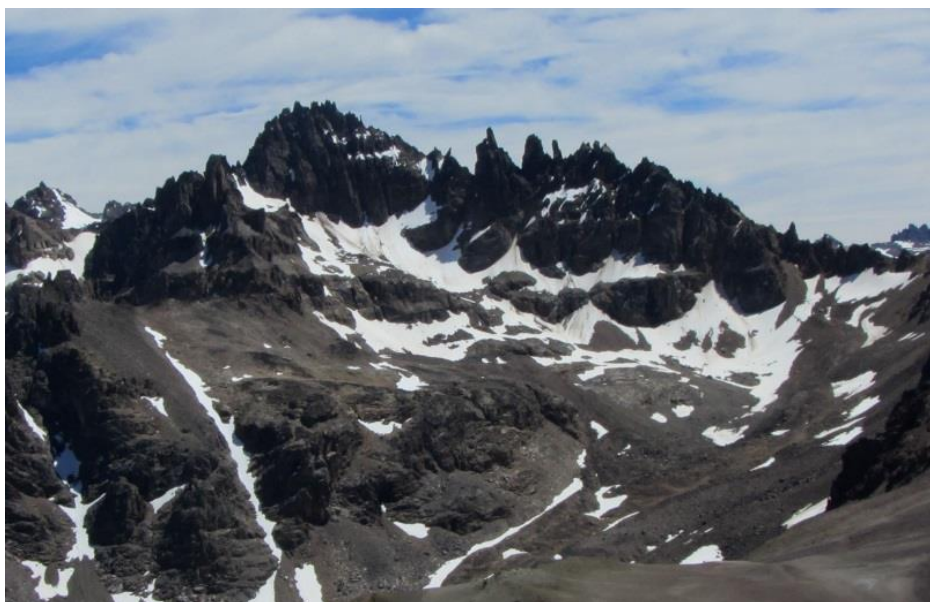
Glaciares descubiertos de montaña, forma circo.



En azul se indica el glaciar G721342O473648S y en rojo G722433O475027S

Geoforma G719452O470848S

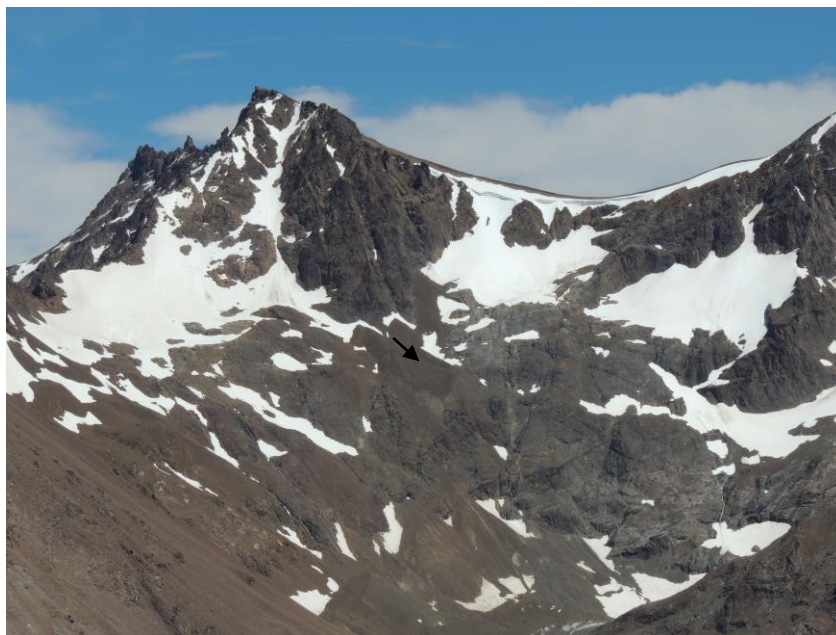
Glaciar descubierto de montaña, forma nicho.



Glaciar descubierto G719452O470848S

Geoforma G721700O473953S

Pequeño glaciar de escombros. Esta geoforma no estaba mapeada, pero se pudieron observar rasgos indicadores de un pequeño glaciar de escombros inactivo.



Vista panorámica donde se encuentra la nueva geoforma G721700O473953S



Vista del glaciar de escombros G721700O473953S

Geoforma G722389O475025S

Glaciar de escombros activo, forma espatulada. Se delimitó un sector del glaciar que corresponde a una parte inactiva, ubicada en el frente de la geoforma.



Vista del glaciar de escombros G722389O475025S, en el frente se indica la parte inactiva

Geoforma G719862O475172S

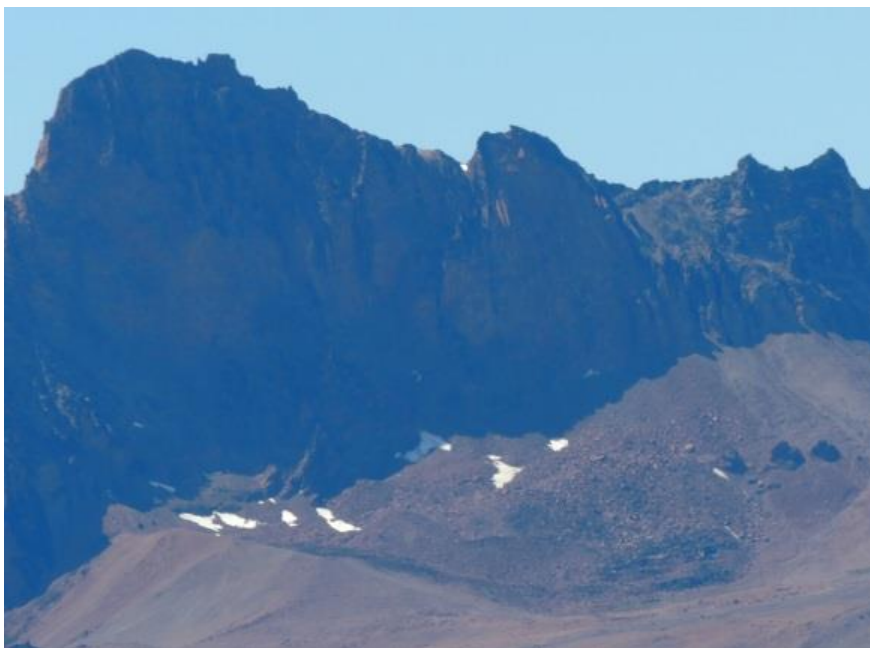
Glaciar de escombros activo de origen criogénico y forma espatulada.



Se indica el frente del glaciar de escombros G719862O475172S

Geoforma G722893O475852S

Glaciar de escombros activo, origen criogénico.



Glaciar de escombros G722893O475852S

Geoforma G723043O475434S

Glaciar descubierta de montaña, nótese la nieve estacional.



Glaciar descubierta G723043O475434S

Geoformas G721782O475430S y G722156O475417S

Glaciar descubierto de valle, cuenca simple. Se pudo observar en campo las morenas laterales con núcleo de hielo, clasificadas como glaciar de escombros de origen glacigénico.



Vista del glaciar descubierto G721782O475430S. La flecha roja indica el GEA G722156O475417S y la verde G721782O475430S

Geoforma G721563O473793S

Glaciar descubierto de montaña; se observa algo de detrito sobre la superficie



Glaciar descubierto G721563O473793S

Geoforma G720815O474977S

Glaciar de escombros activo, origen criogénico.



Glaciar de escombros G720815O474977S

7.3. Descripción de la base de datos

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

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

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

M0550000

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8. **Nombre común:** si lo hubiere.

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

0. Incierto

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

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

10. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta

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

11. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

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

14. Actividad de la Lengua

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

15. Morena_1

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

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

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

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

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

22. Estructura II

0. Incierto

1. Una raíz: una única fuente de alimentación.

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

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

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

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

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

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

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

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

30. Pendiente: (Se expresa en grados).

31. Orientación: Correspondiente a los 8 puntos cardinales.

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

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

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

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

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

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

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



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



CONICET

U. N. 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 cuenca de los lagos Buenos Aires y Pueyrredón, provincia de Santa Cruz.

