



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de las Islas Malvinas
Cuencas varias de Antártida e
Islas del Atlántico Sur, incluidas
las Islas Malvinas**

**Provincia de Tierra del Fuego,
Antártida e Islas del Atlántico Sur**

Vegetación en Bahía Yorke, Islas Malvinas (Foto:A.M. Vega)

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

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

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

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

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

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

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Director técnico: Lic. Lidia Ferri Hidalgo

Profesionales: Lic. Laura Zalazar y Lic. Hernán Gargantini

Mayo 2018

La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial establecida por el Poder Ejecutivo Nacional a través del Instituto Geográfico Nacional por Ley 22963 y ha sido aprobada por Expte. EX – 2017 – 35435428 – APN – DGA#IGN, de fecha 22 de enero de 2018

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Antecedentes	5
3. Definiciones a los fines de 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 de hielo descubierto	13
4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros.....	13
4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas.....	13
4.6. Control de campo	13
5. Resultados	14
5.1. Resultados para las cuencas de las Islas Malvinas	14
6. Bibliografía.....	15
7. Anexos.....	17
7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de las Islas Malvinas	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de las Islas Malvinas. Fuente IGN. ¹	4
Figura 2: Panorámica de circos glaciares en el cerro Alberdi 705 msnm, sin presencia de glaciares en la actualidad (Imagen: Google Earth).....	6
Figura 3: Mapa de ubicación de Islas Malvinas.	9
Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada.	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de las cuencas de Islas Malvinas. ..	10
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBERS: China Brazil Earth Resources Satellite

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GCGE: Glaciar cubierto con glaciar de escombros

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GEA: Glaciar de escombros activo

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LANDSAT: LAND=tierra y SAT=satélite

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

1. Introducción

Argentina es uno de los pocos países del mundo que cuenta con varios miles de kilómetros cuadrados de glaciares y permafrost de montaña rico en hielo en su territorio. Según cálculos aproximados, Sudamérica tendría cerca de 25.500 km² cubiertos por glaciares, con un 15% del área total ubicada en Argentina (Lliboutry 1998; 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 1° — Objeto. La presente ley establece los presupuestos mínimos para la protección de los glaciares y del ambiente periglacial con el objeto de preservarlos como **reservas estratégicas de recursos hídricos** para el consumo humano; para la agricultura y como proveedores de agua para la recarga de cuencas hidrográficas; para la protección de la biodiversidad; como fuente de información científica y como atractivo turístico. Los glaciares constituyen bienes de carácter público.*

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

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

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

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

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

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

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

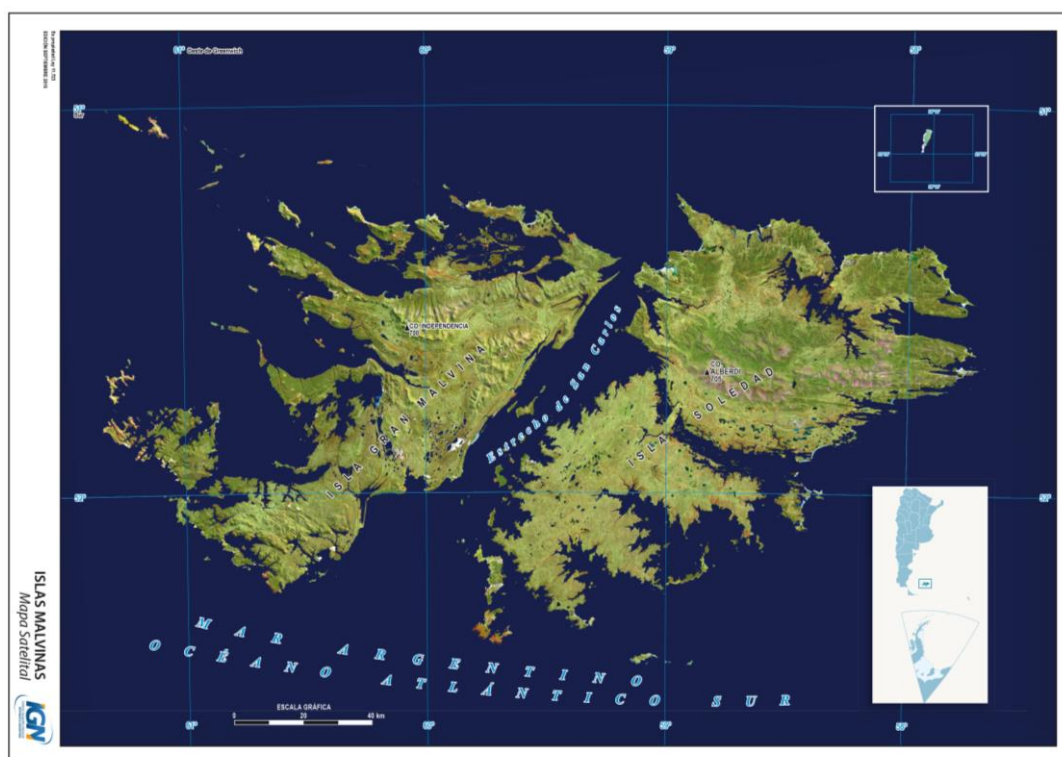


Figura 1: Mapa de las Islas Malvinas. Fuente IGN.¹

En el presente informe se describen los trabajos realizados para la identificación e inventario de los cuerpos de hielo en las Islas Malvinas, cuencas varias de Antártida e islas del Atlántico Sur, incluidas las Islas Malvinas. El trabajo de identificación de glaciares en las Islas Malvinas fue elaborado en enero de 2017 y aprobado según resolución N° RESOL-2018-242-APN-MAD del 16 de abril de 2018, 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.

¹Donde dice “C° Independencia 700”, debe decir “Mte. Independencia 700”.

2. Antecedentes

Con respecto a la isla de Tierra del Fuego en su sector argentino, los estudios de glaciares se han basado, desde hace varios años, en trabajos de balance de masa en los glaciares Martial y Vinciguerra, ambos próximos a la ciudad de Ushuaia. El último, junto con un conjunto importante de turberas del valle de Andorra conforma un grupo de humedales que constituyen el nuevo sitio RAMSAR más austral del mundo, declarado en 2009. Desde 2008 se monitorea también el cuerpo central del glaciar Martial y el glaciar Alvear. Los resultados indican un fuerte comportamiento recesivo de todos los glaciares, manifestado desde comienzos del siglo XX. El glaciar Martial Este, uno de los cuerpos situados en el circo de los montes Martial, pierde en promedio 0,5 m de espesor de hielo por año, mientras que en el Vinciguerra el déficit es el doble de este valor, debido a que presenta una zona de ablación más extendida, con un frente situado 200 msnm más abajo que el del Martial. El retroceso del frente de este glaciar ha sido de 11,5 m/año entre 1970 y 2002 y de 19,5 m/año entre 2002 y 2008. Un primer inventario de glaciares en la isla de Tierra del Fuego fue realizado por Iturraspe en 2011 en el que describió en una primera aproximación un total de 105,6 km² de área ocupada por glaciares de los que sólo el 19,6 km² correspondió al sector argentino de la isla. Cabe mencionar que las cuencas en esta región son binacionales, es decir el límite internacional político atraviesa a estas sin seguir un criterio geográfico como por ejemplo el de la divisoria de cuencas. En la isla de Tierra del Fuego es relevante mencionar el gran contraste que hay entre las zonas englazadas de Chile y Argentina, siendo la primera la de mayor tamaño ocupando aproximadamente el 86% del área englazada total en relación con el 19,6% que se encuentra en territorio argentino.

Recientemente (Junio de 2015) se publicaron los resultados del inventario de glaciares de Tierra del fuego realizado por la Dirección General de Recursos hídricos y la Universidad Nacional de Tierra del Fuego (Iturraspe et al. 2015) en el que se describen 323 unidades que cubren un área de 19,26 km² entre las que se diferencian además de glaciares descubiertos, manchones de nieve perenne, glaciares cubiertos, glaciares cubiertos con glaciares de escombros y glaciares de escombros. Además, a partir de este trabajo realizado con imágenes del período 2012-2013 es que se pudieron realizar comparaciones de área cubierta por cuerpos de hielo descubiertos con respecto al inventario de los mismos autores que se realizó en 2002 revelando una reducción de los glaciares de un 16%.

También está disponible en la página web del Inventario Nacional de Glaciares el trabajo de inventario de Tierra de Fuego, donde se identificaron un total de 443 glaciares, cubriendo una superficie de 21,18 km².

En las Islas Malvinas hay presencia de circos glaciales, los cuales indican que las condiciones glaciales pudieron prevalecer durante el Pleistoceno, época donde tuvieron lugar las grandes glaciaciones (Figura 2).



Figura 2: Panorámica de circos glaciares en el cerro Alberdi 705 msnm, sin presencia de glaciares en la actualidad (Imagen: Google Earth).

También se observa la presencia de otras geoformas como por ejemplo ríos de piedra, los cuales son acumulaciones de rocas de distinto tamaño que se depositan en antiguos cauces de ríos producto de la meteorización y solifluxión ocurrida durante periodos anteriores de clima frío (Figura 3).



Figura 3: Ríos de piedra en Islas Malvinas. (Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos).

No obstante, en la actualidad no hay presencia de glaciares en las Islas Malvinas. Esto también queda documentado en Kargel et al. 2014, donde realizan una delimitación del área subantártica, donde estarían incluidas las Islas Malvinas, y tanto las Islas Malvinas como las Crozet, Campbell, Macquarie, Antipodas y Bounty no tienen presencia de glaciares.

3. Definiciones a los fines de 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.glaciaresargentinos.gob.ar>), definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos de hielo a inventariar dentro del ambiente glacial y periglacial de Argentina. El objetivo de estas definiciones es aclarar las características básicas de las diferentes geoformas identificadas en las imágenes satelitales y los procesos que las originan. Estos criterios han sido empleados en el inventario de las Islas Malvinas aquí presentado.

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

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

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

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

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

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos, inactivos y fósiles** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35°) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (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; Arenson 2010; Brenning y Azócar 2010; Azócar y Brenning 2010). Es precisamente el alto contenido de hielo el que favorece su desplazamiento pendiente abajo (Haeberli 1985; Barsch 1996). Este movimiento es el que genera los rasgos característicos superficiales (crestas y surcos, crestas laterales) que permiten identificar a los glaciares de escombros en las imágenes satelitales (Haeberli 1985; 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).

4. Materiales y métodos

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

Este informe corresponde al inventario de glaciares de las Islas Malvinas, pertenecientes a las cuencas varias de Antártida e islas del Atlántico Sur, incluidas las Islas Malvinas (Figura 3).

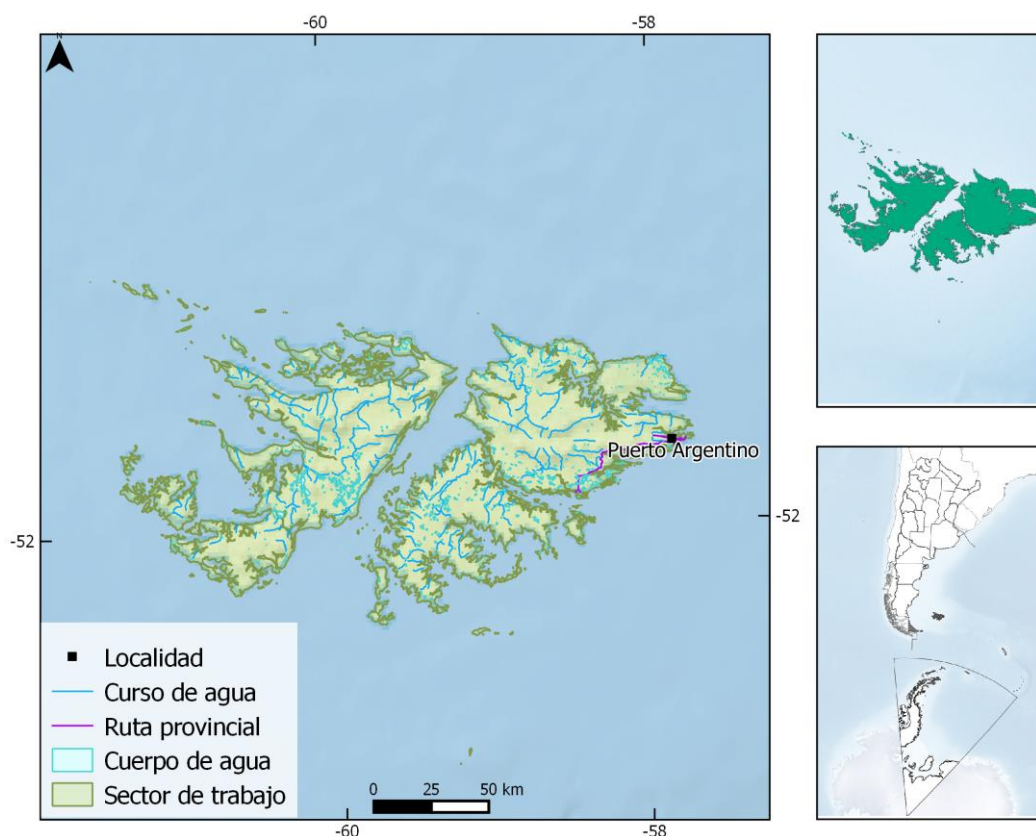


Figura 4: Mapa de ubicación de Islas Malvinas.

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). De los MDE disponibles se decidió trabajar con el SRTM v4 (resolución espacial 90 m).

Empleando el programa QGIS (software libre) se delimitó la subcuenca utilizando como base el SRTM. Los pasos básicos para obtener las cuencas hidrográficas en QGIS consisten en primer lugar en el llenado de sumideros y posteriormente delimitar el tamaño mínimo de la cuenca que viene dado en base al número de celdas que seleccionemos. La cuenca obtenida, fue posteriormente editada y corregida manualmente, en aquellos casos en que no hubo un buen ajuste entre el MDE y la imagen satelital de base. La edición manual de la cuenca fue realizada empleando el programa QGIS.

4.2 Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el inventario en las cuencas de las Islas Malvinas se utilizaron como base imágenes del satélite LANDSAT 5 (30 m de resolución espacial) y se revisaron y utilizaron como apoyo imágenes de Google Earth (Tabla 1).

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de las cuencas de Islas Malvinas.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Landsat 5	LT52210962006047COA00	16 febrero 2006
Landsat 5	LT52220962004097COA00	06 abril 2004

Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS).

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, 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 UTM20S para el sector oeste y 21S para el este (Universal Transversal Mercator). Este sistema de referencia y proyección es utilizado internacionalmente, lo que permitirá comparar los resultados obtenidos en el presente

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

En la Figura 4 se puede ver un organigrama con los pasos metodológicos que forman parte del proceso de realización del Inventario Nacional de Glaciares. En las cuencas en las cuales no se ha detectado presencia de glaciares, algunos de los pasos metodológicos no se han realizado, como la digitalización de geoformas, construcción de base de datos y control de campo.

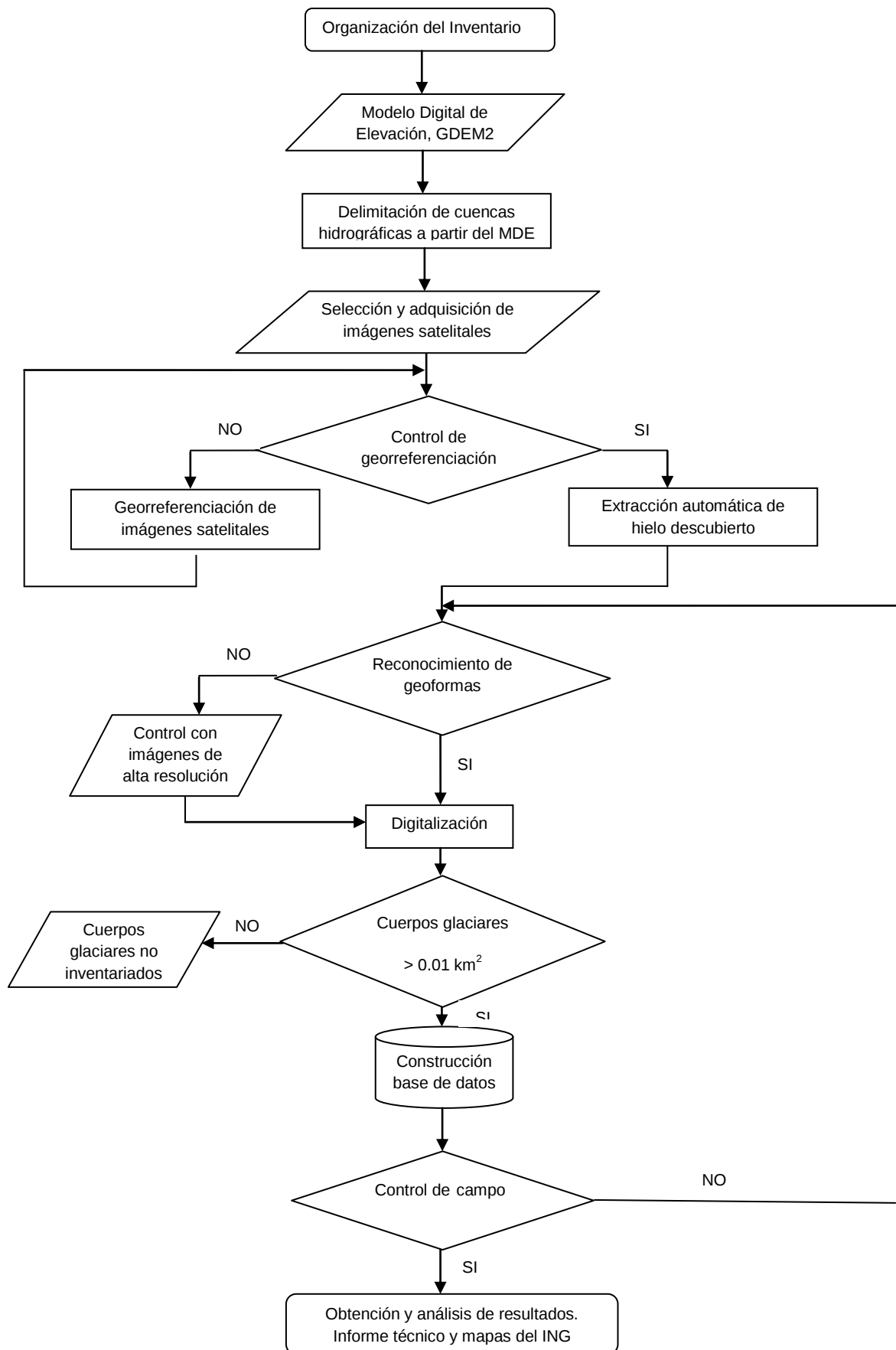


Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología usada.

4.3. Delimitación de hielo descubierto

En esta cuenca no hay glaciares descubiertos ni manchones de nieve perennes, por lo que se omitió el paso de la clasificación supervisada empleada para la delimitación de este tipo de geoformas.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo de glaciares cubiertos por detritos y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la mejor metodología utilizada a nivel internacional (Stokes *et al.* 2007). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo. Se revisaron imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth y no se identificaron tampoco glaciares cubiertos ni glaciares de escombros en las Islas Malvinas.

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

En esta cuenca no se han identificado glaciares, por lo que no ha sido necesario elaborar una base de datos.

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.

En esta cuenca no se han identificado glaciares, por lo que no se ha realizado ningún control en el terreno

5. Resultados

5.1. Resultados para las cuencas de las Islas Malvinas

El relieve de las Islas Malvinas se caracteriza por la presencia de cerros bajos. La cadena más importante se llama Alturas Rivadavia y la cota más alta viene dada por el cerro Alberdi (705 msnm, 51° 42' S 58° 52' W) ubicado en el centro-norte de la isla Soledad. Le sigue el cerro Rivadavia (627 msnm, 51° 44' S 58° 31' W), localizado en el centro de la isla Soledad.

En la otra isla que conforma las Islas Malvinas, denominada Gran Malvina, existen pequeñas agrupaciones montañosas donde se ubica el cerro más elevado de la isla conocido como Monte Independencia (700 msnm, 51° 35' S 60° 05' W).

A pesar de existir estos cerros con cierta elevación para estas latitudes, en la actualidad, después de revisar el material para el sector de las Islas Malvinas, se concluye que no se ha encontrado ninguna evidencia de presencia actual de glaciares ni de crioformas periglaciales.



Fauna típica en las Islas Malvinas (Foto: A.M. Vega)

6. Bibliografía

- Arenson, L. y Jakob, M. 2010. The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes – A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 286 - 288.
- Azócar, G.F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 42 - 53.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, 331 p. Berlin.
- 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.
- Cogley, J.G., Hock, R., Rasmussen, L.A., Arendt, A.A., Bauder, A., Braithwaite, R.J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson L. y Zemp, M. 2011. Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157-158.
- 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.
- Iturraspe, R., Iturraspe, R., Hidalgo, M. y Camargo, S. 2015. Inventario de Glaciares de Tierra del Fuego. Conagua 2015, XXV Congreso Nacional del Agua. Paraná, Entre Ríos.
- Iturraspe, R. J. 2011. *Glaciares de Tierra del Fuego*. Ed. Dunquen, Buenos Aires. 184 pp.

Kargel, J.S., G.J. Leonard, M.P. Bishop, A. Kaab, B. Raup (Eds), 2014, Global Land Ice Measurements from Space (Springer-Praxis). 33 chapters, 876 pages. ISBN: 978-3-540-79817-0.

Lliboutry L (1998) Glaciers of Chile and Argentina. Williams RS and Ferrigno JG eds. *Satellite image atlas of glaciers of the world. South America*. USGS, Denver, USA. 109-206 pp.

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.

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).

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

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

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.

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de las Islas Malvinas

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de las Islas Malvinas.

Para las imágenes que se utilizaron como base del inventario, la selección final se realizó teniendo en cuenta aquellas de fechas más recientes, que tuvieran poca cobertura de nieve estacional (meses de ablación, desde febrero a abril para estas latitudes) y ausencia de nubes. Particularmente en esta región del país, debido a las características climáticas, fue llevada a cabo una ardua tarea para la búsqueda y selección de las imágenes más apropiadas para los fines del inventario.

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 espacial.

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52210962006047COA00	16 febrero 2006	Imagen de base
LT52220962004097COA00	06 abril 2004	Imagen de base



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



CONICET

U. N. C U Y O
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de las Islas Malvinas, cuencas varias de Antártida e Islas del Atlántico Sur, incluidas las Islas Malvinas, en la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.

