



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de las subcuencas de los
ríos de las Vueltas y Túnel
Cuenca del río Santa Cruz
Parque Nacional Los Glaciares**

Provincia de Santa Cruz

Glaciar Torre-Adela- Grande (Foto: P. Pitte)

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

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

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

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

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

IANIGLA – CONICET

Inventario Nacional de Glaciares (ING)

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Director técnico: Dr. Mariano H. Masiokas

Profesionales: Ing. Silvia Delgado

Colaboradores: Dr. Pierre Pitte, Dr. Ricardo Villalba, Lic. Laura Zalazar, Dr. Darío Trombotto, Lic.

Lidia Ferri Hidalgo, Dr. Daniel Falaschi, Dr. Lucas Ruiz

Revisor externo: Ing. Pedro Skvarca,

GLACIARIUM, Museo del Hielo Patagónico

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 GG16 0991/5 del año 2016***

AVISO LEGAL: La inclusión de los glaciares en la zona de Hielos Continentales no prejuzga sobre los trabajos de demarcación de la Comisión Mixta de Límites de la Argentina y Chile ni genera interpretaciones o pretendidos precedentes tendientes a condicionar la labor bilateral de demarcación (conforme lo dispone el “Acuerdo entre la República Argentina y la República de Chile para precisar el recorrido del límite desde el Monte Fitz Roy hasta el Cerro Daudet” de 1998).

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.....	13
4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	14
4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas	14
4.6. Control de campo	16
5. Resultados	17
5.1. Inventario de glaciares de las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel.....	17
5.2. Control de campo	22
6. Bibliografía.....	23
7. Anexos.....	26
7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de glaciares.....	26
7.2. Control de campo	27
7.3. Descripción de la base de datos.....	43
7.4. Revisión externa.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cambios de espesor en el Glaciar Upsala entre 2000 y 2012 (Willis et al. 2012). Notar que el frente del glaciar Upsala ha perdido casi 200 m de espesor en 12 años.....	5
Figura 2: Mapa de ubicación de las subcuencas Vueltas y Túnel.....	9
Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada para realizar el inventario de cuerpos de hielo.....	12
Figura 4: Ejemplo de la delimitación semi-automática de hielo descubierto (línea blanca) para los glaciares Túnel y de Quervain.....	13
Figura 5: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas.....	14
Figura 6: Ejemplo de un glaciar visto en una imagen ASTER que presenta sectores de hielo descubierto y de hielo cubierto por detrito (izquierda, en amarillo).....	16
Figura 7: Inventario de los cuerpos de hielo de las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel.....	18
Figura 8: Distribución porcentual de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas Vueltas-Túnel, provincia de Santa Cruz.....	19
Figura 9: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas Vueltas-Túnel.....	19
Figura 10: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas Vueltas-Túnel, clasificadas en categorías de acuerdo al tamaño de cada unidad.....	20
Figura 11: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en las subcuencas Vueltas-Túnel.....	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes satelitales utilizadas como base para realizar el inventario de cuerpos de hielo de las subcuencas Vueltas-Túnel.....	11
Tabla 2: Superficie total inventariada en las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel...	17
Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en las subcuencas Vueltas-Túnel.....	20

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GEA: Glaciar de escombros activo

GE: Glaciar de escombros

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

GD: Glaciar descubierto

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media de la geoforma

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

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

SPOT: Système Pour l'Observation de la Terre

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 (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. En las últimas décadas se ha avanzado significativamente en el estudio de nuestros cuerpos de hielo, sin embargo aún no se dispone de un inventario actualizado de todos los glaciares existentes a lo largo del país.

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 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; en el caso de la cuenca del río Santa Cruz, ello fue reconocido tempranamente con la creación del Parque Nacional Los Glaciares. En efecto, en 1937, a través del Decreto N^o 105.433, se fijó para distintos territorios en la Patagonia andina la condición de Reservas con destino a la posterior creación de Parques Nacionales. Uno de estos territorios fue el de la Reserva de los Glaciares. En septiembre del año 1942, la Presidencia de la Nación, por Decreto N^o 129.433, amplió el margen costero de la Reserva sobre el Canal de los Témpanos y la costa Norte del Lago Rico. Años más tarde, en abril de 1945, el Decreto Ley N^o 9504, ratificado por la Ley N^o 13.895, declaró Parque Nacional a varias reservas y entre ellas la Reserva Los Glaciares, la cual, a partir de ese momento, asumía la categoría de Parque Nacional.

El Parque Nacional Los Glaciares es el más extenso del Sistema Nacional de Áreas Protegidas Argentinas. Por su espectacular belleza, su interés glaciológico y geomorfológico y las

especies de su fauna en peligro de extinción, en 1981, la UNESCO lo declaró Patrimonio de la Humanidad, convirtiéndose en el primer Parque Nacional en obtener dicha mención.

Los glaciares son además importantes atractivos turísticos, generando ingresos significativos para la economía nacional. El ejemplo más claro lo constituye el glaciar Perito Moreno, que atrae a cientos de miles de turistas cada año.

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 recristalización de nieve, ubicado en diferentes ecosistemas, cualquiera sea su forma, dimensión y estado de conservación. Son parte constituyente de cada glaciar el material detrítico rocoso y los cursos internos y superficiales de agua.

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

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

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

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

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

El IANIGLA por disposición transitoria (Artículo 15) de la Ley 26.639, creó el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución” (IANIGLA, 2010), en donde se desarrolla la estrategia para la realización del

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

En el presente informe se describen los resultados del inventario realizado en las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel (subcuenca río de las Vueltas según documento Cronograma IANIGLA 2010). Las subcuencas inventariadas forman parte del Parque Nacional Los Glaciares (Ley N° 13.895), en la cuenca alta del río Santa Cruz, provincia de Santa Cruz. La cuenca del río Santa Cruz presenta una vertiente hidrográfica atlántica e incluye a la mayor superficie cubierta por hielo en la República Argentina. En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares y glaciares de escombros en las subcuencas Vueltas-Túnel fue elaborado en octubre de 2012 y aprobado según resolución N° RESOL-2018-142-APN-MAD del 8 de marzo 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.

Este inventario ha sido realizado gracias al financiamiento provisto por CONICET, la entonces Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), y los proyectos PICT 2007-0379 y 2010-1438 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

Agradecemos especialmente al glaciólogo Ing. Pedro Skvarca (Director Científico de GLACIARIUM, Museo del Hielo Patagónico) por la revisión detallada del presente informe y del inventario de cuerpos de hielo del área de estudio.

2. Antecedentes

El primer inventario preliminar de glaciares en la vertiente Argentina de los Andes, entre los paralelos 47°30' y 51°S, fue realizado por el Instituto Nacional del Hielo Continental Patagónico (Bertone 1960). Este es un trabajo pionero para el conocimiento de los glaciares de la región. El tamaño de los cuerpos de hielo fue estimado a partir de las fotografías aéreas del año 1947, en tanto que la superficie cubierta por los glaciares menores fue establecida por apreciación directa de los operadores durante los trabajos de campo relacionados con el inventario. Este trabajo provee información básica sobre la posición geográfica (latitud y longitud), tipo morfológico, alturas aproximadas del frente, límite superior del englazamiento, y superficie estimada de 356 cuerpos de hielo.

Tradicionalmente, los estudios de fluctuaciones de glaciares del sur de la Patagonia se han focalizado en los grandes glaciares de descarga. Trabajos recientes muestran un retroceso y/o adelgazamiento glaciar generalizado (Willis et al. 2012), con algunas excepciones notorias como el caso del glaciar Perito Moreno que se ha mantenido relativamente estable, con avances esporádicos, desde principios del siglo XX (Minowa et al. 2017). La mayoría de los estudios que analizaron en forma cuantitativa los cambios recientes de estos glaciares se hizo en base a las diferencias en el área ocupada por el hielo y/o en la posición del frente del hielo durante las últimas décadas (López et al. 2010). Entre otros estudios, Willis et al. (2012) (Figura 1), estimaron las tasas de adelgazamiento de los glaciares principales de la zona. Estos análisis demuestran que el retroceso y la pérdida de masa observados recientemente constituyen un fenómeno generalizado, que incluso se ha acelerado durante los últimos años (Willis et al. 2012).

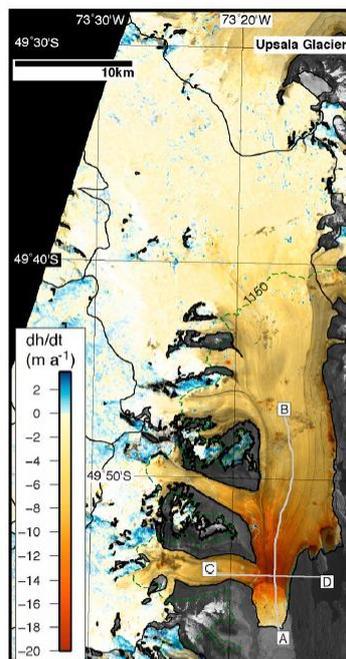


Figura 1: Cambios de espesor en el Glaciar Upsala entre 2000 y 2012 (Willis et al. 2012). Notar que el frente del glaciar Upsala ha perdido casi 200 m de espesor en 12 años.

La disminución en volumen de los glaciares desde el máximo alcanzado durante la Pequeña Edad de Hielo es también claramente evidente en muchos sitios de la Patagonia, donde las líneas de corte de la vegetación (*trimlines*) en las laderas de los valles que rodean a los glaciares, y también las morenas y otros depósitos glaciarios al frente de los mismos, permiten diferenciar fácilmente las distintas posiciones que ocupaba el hielo en los últimos siglos (Masiokas et al. 2009a, b). Sin embargo, si bien estos depósitos o restos de antiguas posiciones de las márgenes de hielo son relativamente fáciles de datar y mapear ya que en muchos casos se encuentran en buen estado de conservación (Masiokas et al. 2009b), muy pocos análisis han cuantificado los cambios en área o longitud de los glaciares más allá del siglo XX (Zemp et al. 2011). En particular, Masiokas et al. (2009a) estudiaron las fluctuaciones de los últimos 500 años de los glaciares Torre-Adela-Grande y Piedras Blancas, y tres glaciares en la margen oeste de Laguna del Desierto, en la subcuenca del río de las Vueltas, mediante la datación dendro-geomorfológica de morenas asociadas a la Pequeña Edad de Hielo.

Estudios más específicos de balance de masa glaciario, que consisten en cuantificar mediante una red de balizas y calicatas las componentes de acumulación y ablación o pérdida de masa en un glaciar a lo largo de un año hidrológico, son extremadamente escasos en la región de las subcuencas Vueltas-Túnel. Popovnin et al. (1999) realizaron estudios de balance de masa del glaciar de los Tres, en la vertiente este del monte Fitz Roy o Chaltén, entre los años 1995 a 1998.

3. Definiciones a los fines del Inventario

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

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

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

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

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

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

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos, inactivos y fósiles** (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 (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 (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 (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 (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; 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.

Toda la cuenca del río Santa Cruz ocupa una superficie de unos 29.700 km² (SSRH), pero para el inventario de glaciares, se seleccionó la parte alta de la cuenca, que es donde se encuentran los glaciares. Esta porción de la cuenca ocupa 12.417 km² y se divide en las siguientes subcuencas:

- **Subcuenca ríos de las Vueltas y Túnel (1.412 km²)**
- **Subcuenca Lago Viedma (3.299 km²)**
- **Subcuenca Brazo Norte del Lago Argentino (3.288 km²)**
- **Subcuenca Brazo Sur del Lago Argentino y río Bote (4.612 km²)**

El presente inventario se focaliza en las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel, al norte del Lago Viedma, en el sector noroeste de la cuenca del río Santa Cruz (Figura 2).

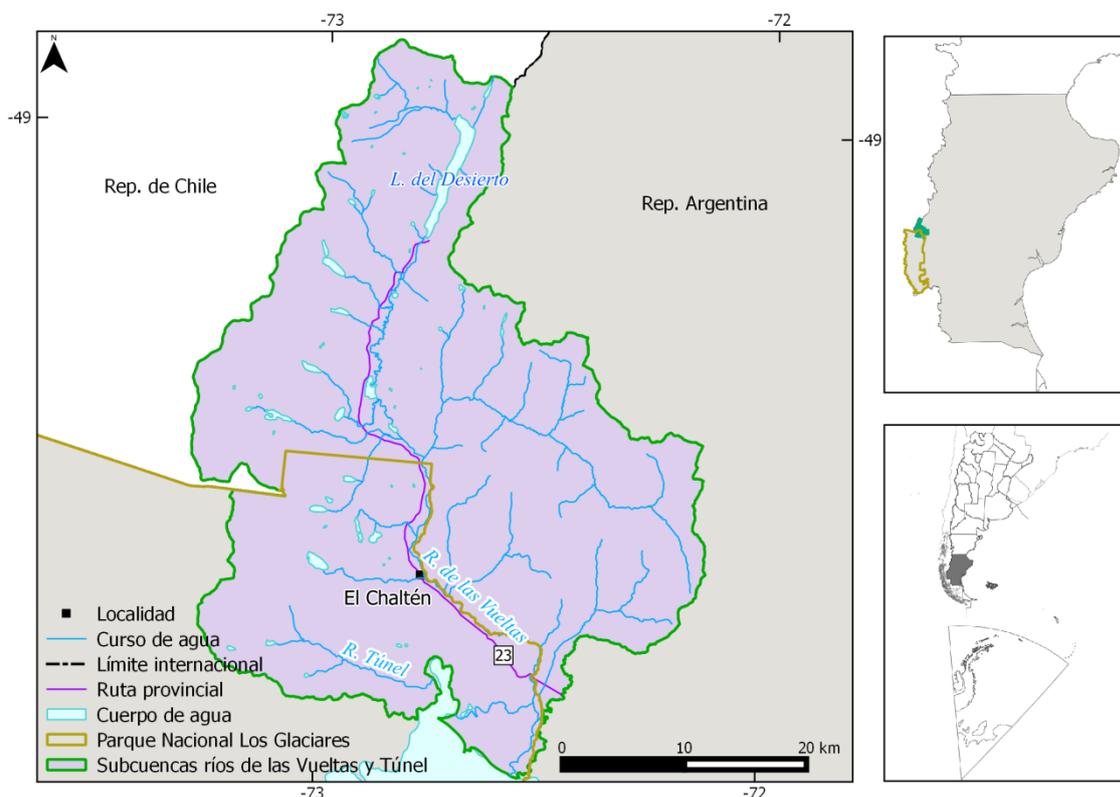


Figura 2: Mapa de ubicación de las subcuencas Vueltas y Túnel.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en las subcuencas de los ríos de Las Vueltas y Túnel, cuenca del río Santa Cruz, se realizó con información proveniente de un modelo digital de elevación (MDE). En este caso, se utilizó el *Global Digital Elevation Map ver. 2* (GDEM 2) que tiene cobertura global y está disponible en forma libre (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Este es un producto generado a partir de estereopares de la banda 3 del satélite ASTER, de múltiples escenas del período 2000-2010. Además, tiene resolución espacial de 30 m de y se encuentra en subescenas de 1° de latitud por 1° de longitud. El error horizontal promedio es de menor de 5 m y el error vertical promedio menor de 15 m. El procesamiento fue realizado en el módulo GRASS del programa libre QGIS (<http://www.qgis.org/>) en el que se delimitaron las cuencas y subcuencas. Cuando se observó un ajuste deficiente entre el MDE y la imagen de base, se procedió a editar y corregir manualmente las subcuencas en base a la imagen. La edición manual de las cuencas fue realizada empleando el programa libre KOSMO (<http://www.opengis.es/>).

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Dada la extensión, variedad e inaccesibilidad de muchas áreas englazadas de nuestro país, las tareas de identificación y mapeo de los cuerpos de hielo deben realizarse necesariamente con técnicas de detección remota que permiten abarcar grandes extensiones de terreno en forma eficiente a costos relativamente bajos. Una vez definidas y delimitadas las subcuencas englazadas en la zona de estudio, se procedió a compilar y seleccionar las imágenes satelitales más adecuadas para la detección y mapeo de los glaciares. Para la selección de imágenes se siguieron las sugerencias establecidas por GLIMS que tienen en cuenta su disponibilidad, resolución espacial, la ausencia de nubes y la cobertura de nieve. Para minimizar los posibles errores inducidos por la cobertura de nieve, que dificulta la delimitación de los cuerpos de hielo, se eligieron casi exclusivamente las imágenes correspondientes al final del año de balance de masa (Racoviteanu et al., 2009; 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). Lamentablemente, debido a las características climáticas de la zona de estudio y de los Andes Patagónicos en general, existen muy pocas imágenes de las subcuencas Vueltas-Túnel con poca o nula cobertura nubosa y mínima nieve estacional al final de la estación de ablación. Para las tareas del presente inventario fueron seleccionadas como imágenes de base escenas ASTER del satélite Terra (Tabla 1). Otras imágenes ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) del satélite Landsat 7 y PRISM del satélite japonés ALOS fueron utilizadas como apoyo. El aplicativo Google Earth permite visualizar en forma rápida la topografía y detalles del sector de trabajo por lo que también fue utilizado como apoyo en el mapeo de los cuerpos de hielo. Al tener una alta resolución espacial, las escenas disponibles en Google Earth fueron especialmente útiles para identificar algunos sectores con hielo cubierto de detritos y glaciares de escombros.

Tabla 1: Imágenes satelitales utilizadas como base para realizar el inventario de cuerpos de hielo de las subcuencas Vueltas-Túnel.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra / ASTER	003:2028179509	20 febrero 2005
Terra / ASTER	003:2028179492	20 febrero 2005

El mapeo de los distintos cuerpos de hielo se realizó casi en su totalidad en base a un mosaico armado con dos imágenes ASTER del 20 de febrero de 2005 (Tabla 1). Las escenas que componen este mosaico cubren desde los 47° a los 50°S y presentan excelentes características para la delimitación de los glaciares en las subcuencas Vueltas-Túnel. Si bien estas imágenes tienen en general una muy buena ortorrectificación (Fujisada et al., 2005), en las escenas disponibles para la zona de estudio se corrigieron pequeñas variaciones en la georreferenciación utilizando como base imágenes Landsat 7 ETM+, internacionalmente aceptadas como base de referencia (Tucker et al. 2004). El procedimiento de georreferenciación se realizó con el programa ENVI (*ENvironment for Visualizing Images*), comúnmente utilizado para el procesamiento y análisis de imágenes satelitales. Una imagen PRISM (2,5 m de resolución) del 29 de marzo de 2008 (Anexo 7.1.), que cubre el sector más árido del área de estudio al este del río de las Vueltas, fue utilizada para corroborar los mapeos de glaciares basados en la escena ASTER, y para identificar y delimitar pequeños glaciares de escombros.

Las coordenadas de los mapas del inventario están referidas al sistema de referencia global WGS-84 (Sistema Geodésico Mundial 1984), y el sistema de proyección es UTM (Universal Transversal Mercator), faja 18 Sur. Como estos sistemas se utilizan internacionalmente, los resultados del presente trabajo podrán ser comparados con la información de otros países. Las superficies proyectadas en un plano horizontal están expresadas en km², mientras que las altitudes en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

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 de un convenio entre el proyecto internacional GLIMS y el IANIGLA. La imagen ALOS PRISM fueron proporcionadas por CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Argentina) y JAXA-JICA (Japón) a través de los Dres. Jinro Ukita y Takeo Tadono, como parte del proyecto JICA-IANIGLA titulado “Desarrollo de un inventario de glaciares en los Andes Argentinos empleando imágenes ALOS de alta resolución” dirigido por el Dr. Mariano Masiokas (IANIGLA-CONICET). Las imágenes LANDSAT fueron provistas por CONAE y por USGS - Earth Resources Observation and Science (EROS). En la Figura 3 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.

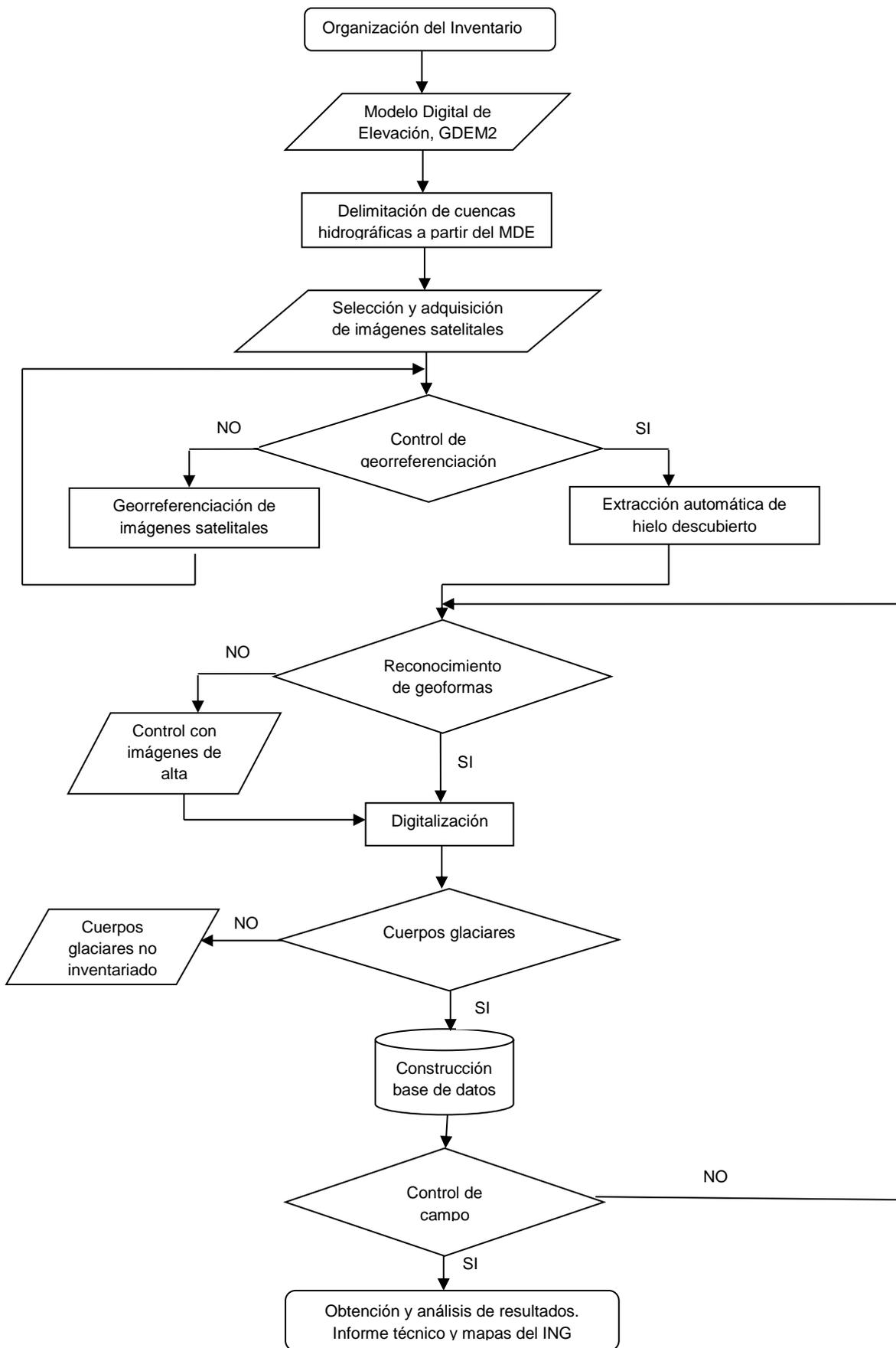


Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada para realizar el inventario de cuerpos de hielo.

4.3. Delimitación del hielo descubierto

La clasificación de glaciares basada en la utilización del cociente de bandas (e.g. bandas Landsat TM5/TM4 o ASTER NIR3/SWIR4) ha demostrado ser un método rápido, robusto y preciso para la detección de hielo descubierto (Paul et al. 2002; Kääb et al. 2003). Los estudios preliminares realizados en IANIGLA indican que, de acuerdo con las recomendaciones de GLIMS, el cociente de las bandas del sensor ASTER NIR3/SWIR4 (banda 3 / banda 4) produce resultados aceptables arrojando superficies comparables a las obtenidas por digitalización manual, con diferencias que oscilan entre 1 y 2,5%. La clasificación automática se realizó con el programa SPRING.

La clasificación del hielo descubierto se realizó de la siguiente manera: primero se calculó un cociente entre las bandas 3 y 4 de ASTER y luego se clasificaron los píxeles de la imagen en dos grupos “hielo descubierto-nieve” y “otras superficies” utilizando un valor límite de 1.1 (hielo descubierto: píxeles con cociente ≥ 1.1 ; otras superficies: píxeles con cociente < 1.1). El valor límite de 1.1 fue determinado en forma interactiva. Esta clasificación permitió identificar en forma rápida, confiable y semi-automática a los glaciares descubiertos, manchones de nieve y glaciaretos en la zona de estudio (Figura 4). Los polígonos obtenidos fueron posteriormente corregidos en base a una interpretación visual de las imágenes, donde se agregaron los sectores faltantes (zonas de hielo en sombra) y/o mal clasificados (porciones de lagos, etc.).

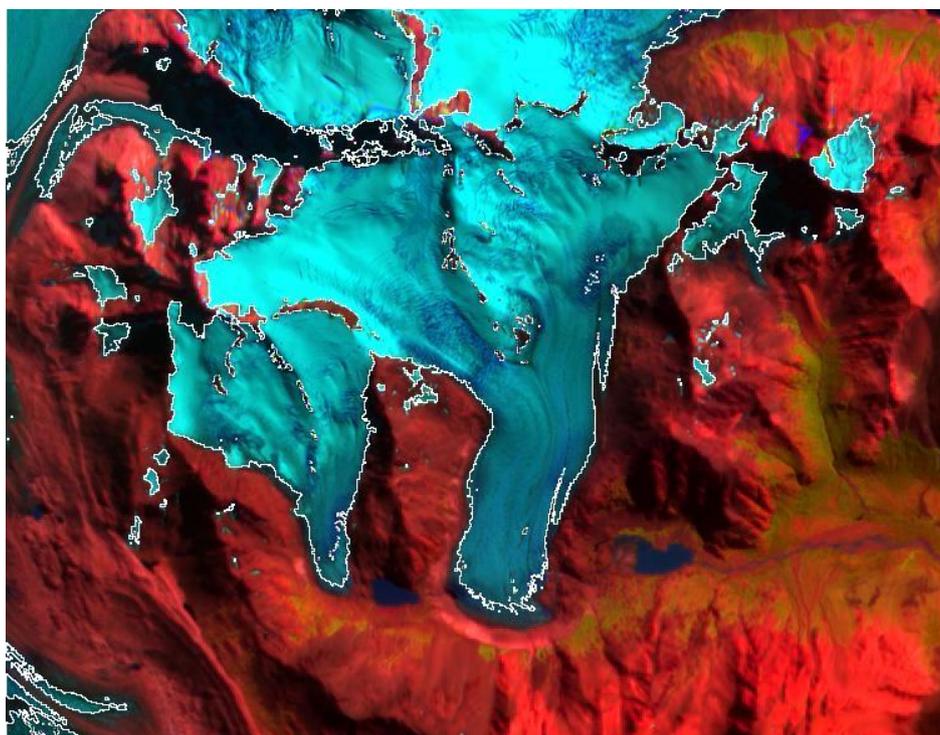


Figura 4: Ejemplo de la delimitación semi-automática de hielo descubierto (línea blanca) para los glaciares Túnel y de Quervain (subcuenca río Túnel), obtenida a partir de un cociente de las bandas 3/4 de la escena ASTER del 20 de febrero de 2005. Nótese la correcta clasificación del hielo descubierto. Pequeños sectores en sombra, cubiertos de detrito o clasificados erróneamente como hielo descubierto se corrigieron manualmente.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

La interpretación visual y digitalización manual por parte de operarios experimentados sigue siendo la mejor metodología utilizada a nivel internacional para identificar y mapear glaciares cubiertos por detrito y glaciares de escombros (Stokes et al. 2007). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo (ver Figura 5). En las subcuencas Vueltas-Túnel existen algunos sectores en la porción terminal de los glaciares cubiertos por detrito y unos pocos glaciares de escombros que fueron delimitados manualmente utilizando el programa de libre acceso KOSMO. Para ello, además de las imágenes ASTER usadas como base del inventario, también se utilizaron como apoyo las imágenes disponibles en Google Earth y la escena PRISM del 29 de marzo de 2008.

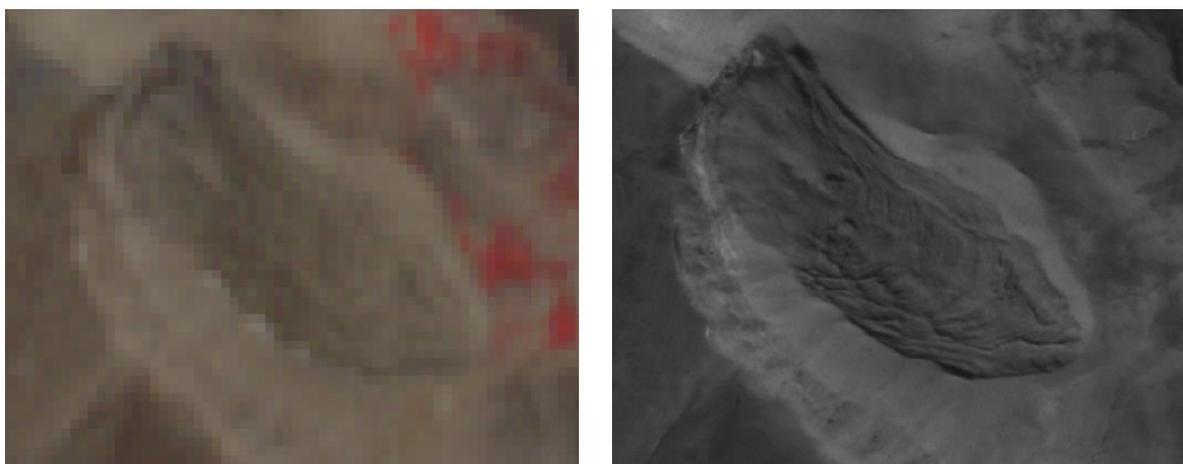


Figura 5: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse en una imagen ASTER de 15 m de resolución un pequeño glaciar de escombros ubicado a unos 12 km al noreste de la localidad de El Chaltén. A la derecha se observa la misma crioforma, pero con mucha mayor claridad, 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 incluye la ubicación e identificación de cada una de las geoformas inventariadas, su clasificación morfológica, y parámetros de índole física tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total entre otros (ver Anexo 7.3). La base de datos del presente inventario se construyó con el programa KOSMO.

La información de la posición geográfica de cada geoforma está indicada en diversos campos de la base de datos, que indican por ejemplo la provincia, cuenca y subcuenca donde se encuentra el cuerpo inventariado. Para clasificar los glaciares se usaron las normativas internacionales en uso, principalmente del WGMS y GLIMS, adaptadas a las particularidades de los cuerpos de hielo en nuestros Andes. En particular, para el Inventario Nacional de Glaciares se incorporaron campos que permitieran clasificar e inventariar a los glaciares de escombros (ambiente periglacial) y sus características específicas. Si bien en el presente

inventario sólo se identificaron tres glaciares de escombros en el área de estudio, en otros sectores de los Andes (sobre todo en Cuyo y en el noroeste de nuestro país) estas criofomas representan un recurso hídrico de gran importancia.

La clasificación de los cuerpos de hielo se establece en diversos campos de la base de datos, tal como se detalla en el Anexo 7.3. La clasificación morfológica se basa en la forma y en las características propias de los cuerpos de hielo. Según 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 identificado por un único ID (código identificador), consiste en un cuerpo de hielo y nieve que se observa al final de la estación de ablación, o en el caso de los glaciares tropicales, después que se derrite la nieve transitoria. Esto incluye como mínimo todos los tributarios y las masas de hielo que contribuyen a la alimentación del glaciar principal, además de las partes cubiertas por detrito. Según estos lineamientos queda excluida toda roca expuesta, incluyendo los nunataks. Ver definición en:

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

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

Hay que aclarar que en algunos casos las geoformas glaciarias descritas en este informe, pueden estar compuestas por secciones de más de un tipo de glaciar (por ejemplo descubierto, cubierto y de escombros) formando parte de una sola unidad glaciar, con un único ID (Figura 6). Por esta razón el número de glaciares no coincide estrictamente con el número de polígonos de hielo observados en el mapa.

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

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

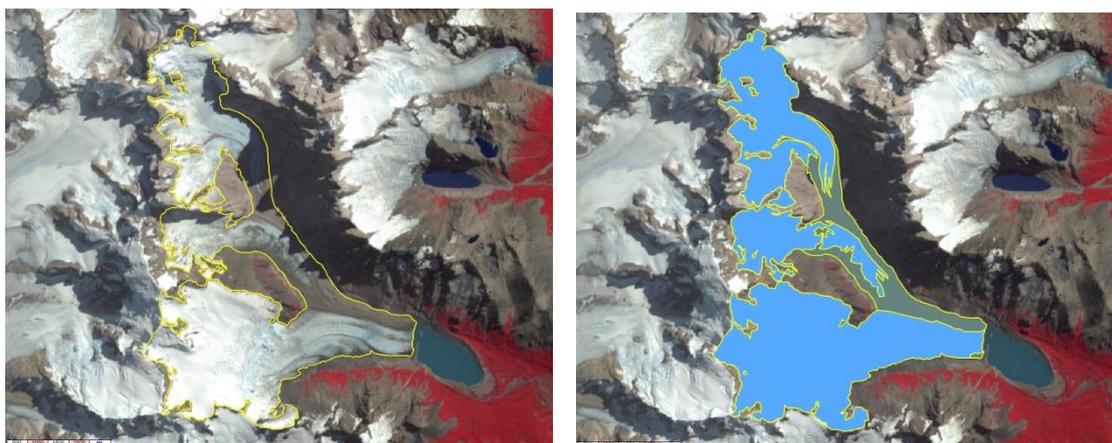


Figura 6: Ejemplo de un glaciar visto en una imagen ASTER que presenta sectores de hielo descubierto y de hielo cubierto por detrito (izquierda, en amarillo). A la derecha puede observarse esta unidad con todas las subunidades que la componen, digitalizadas. Todas las subunidades tienen el mismo código de identificación.

4.6. Control de campo

En general, 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. 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 datos en forma directa se busca generar un banco fotográfico que servirá para dar a conocer y monitorear un gran número de glaciares.

5. Resultados

5.1. Inventario de glaciares de las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel

Las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel abarcan una superficie combinada de 1.427 km² y contienen 249 cuerpos de hielo con un área total de 181,85 km² (13% del área de trabajo). En la subcuenca del río de las Vueltas se han inventariado 231 cuerpos de hielo. En esta zona se encuentran varios glaciares de mediano tamaño que son los más conocidos por los visitantes y escaladores que se acercan cada año a este sector del Parque Nacional Los Glaciares. Entre los glaciares más famosos se destacan el glaciar Torre-Adela-Grande, de los Tres, Piedras Blancas, Marconi y Huemul, entre otros. Los cuerpos de hielo de la subcuenca del río de las Vueltas constituyen casi el 86% (156,1 km²) del área total inventariada (Tabla 2). La subcuenca del río Túnel es menor en tamaño y cuenta con 18 cuerpos de hielo que ocupan una superficie de 25,17 km², es decir algo más del 13% del área englazada total. Los cuerpos de hielo más grandes de estas dos subcuencas se encuentran recostados sobre el sector oeste del área de estudio (Figura 7). A medida que nos alejamos hacia el este, el tamaño de los cuerpos de hielo disminuye notablemente. Esta distribución responde principalmente al origen Pacífico de los vientos y la precipitación, que determinan un fuerte gradiente entre los sectores con altísimas precipitaciones al oeste y los sectores semiáridos ubicados a pocos kilómetros hacia el este (Garreaud 2013).

Tabla 2: Superficie total inventariada en las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	171,9241
Manchones de nieve/Glaciarete	3,7911
Glaciar cubierto	5,7944
Glaciar de escombros (GE)	0,3449
Total	181,85

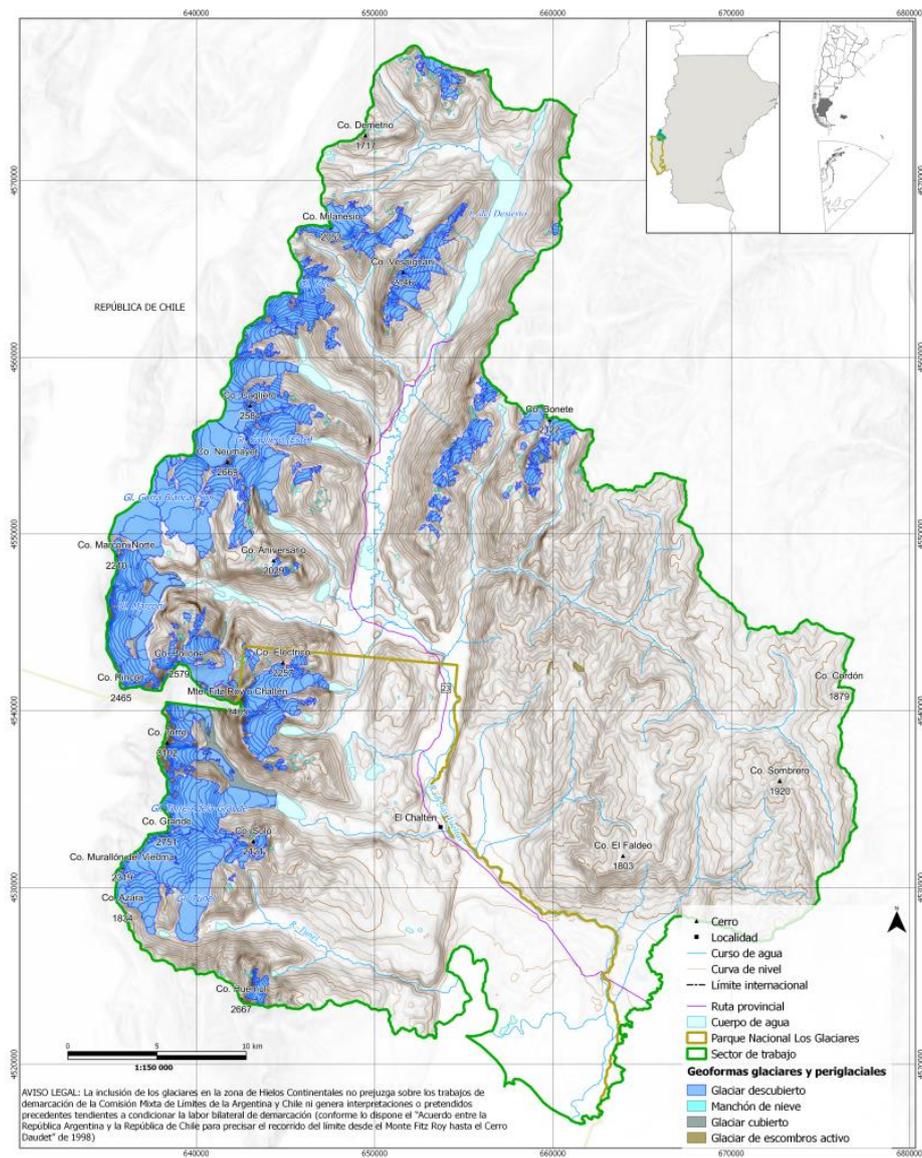


Figura 7: Inventario de los cuerpos de hielo de las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel.

En la Figura 8 se puede ver el predominio del hielo descubierto sobre otras geformas en el área de estudio, con casi el 95% del área total cubierta con glaciares de este tipo. La subcuenca del río de las Vueltas cuenta con 146,51 km² de hielo descubierto, mientras que la del río Túnel contiene 24,84 km² (Tabla 2). Si se suman a estos subtotales la superficie mapeada como hielo cubierto (identificado únicamente en la subcuenca Vueltas), los valores ascienden al 97% de la superficie total inventariada. Los manchones de nieve/glaciaretos ocupan cerca del 2% (aproximadamente 4 km²) del área cubierta por cuerpos de hielo. En la zona de estudio se observó la existencia de algunos glaciares de escombros de pequeño tamaño (el mayor con un área de 0,18 km² y un largo de poco más de 700 m). Si bien estos exponentes del ambiente periglacial son mucho más abundantes en los Andes Centrales y Desérticos de nuestro país, también han sido identificados en distintos sectores de los Andes Patagónicos. Los resultados obtenidos para las subcuencas Vueltas-Túnel indican que los glaciares de escombros identificados hasta el momento cubren en total 0,34 km², es decir el 0,19% del área total inventariada con cuerpos de hielo (Tabla 2 y Figura 8).

Superficie total cubierta por cuerpos de hielo: 181,85 km²
 Total de geoformas inventariadas: 249

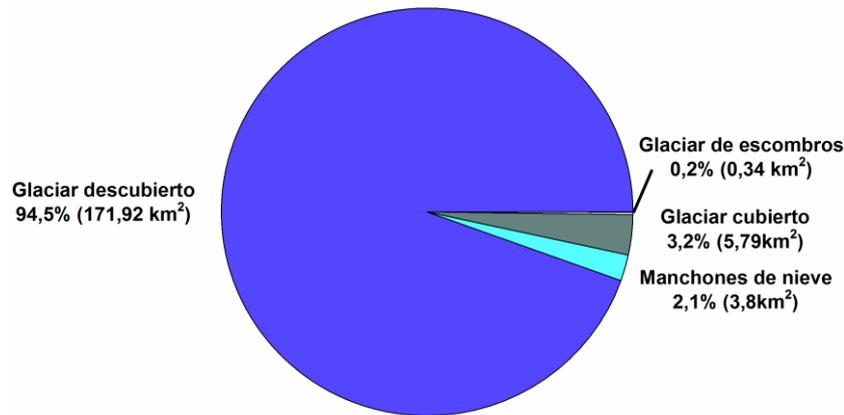


Figura 8: Distribución porcentual de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas Vueltas-Túnel, provincia de Santa Cruz.

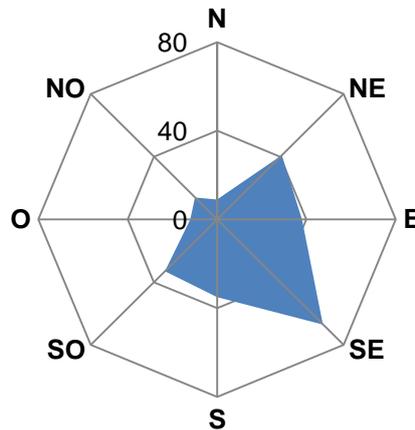


Figura 9: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas Vueltas-Túnel.

La mayoría de los cuerpos inventariados tienen una orientación SE, con proporciones algo menores orientadas al S, al E, SO y NE (Figura 9). Esta disposición coincide con muchos otros estudios efectuados en los Andes y refleja la menor insolación que reciben las laderas orientadas hacia el cuadrante SE en el Hemisferio Sur. Sólo unos pocos cuerpos presentan una orientación predominante hacia el N, NO, u O donde la mayor insolación reduce sustancialmente las posibilidades de albergar cuerpos de hielo permanentes. La superficie mínima de las unidades inventariadas es de 1 hectárea (0,01 km²), mientras que el máximo alcanza casi 22 km² (glaciar Torre-Adela-Grande, Figura 8). Es importante destacar la gran cantidad de unidades de pequeño tamaño y su baja contribución relativa al área total inventariada en ambas subcuencas (Figura 10 y Tabla 2). Por el contrario, los glaciares de mayor tamaño son relativamente pocos, pero representan un porcentaje muy elevado del área total.

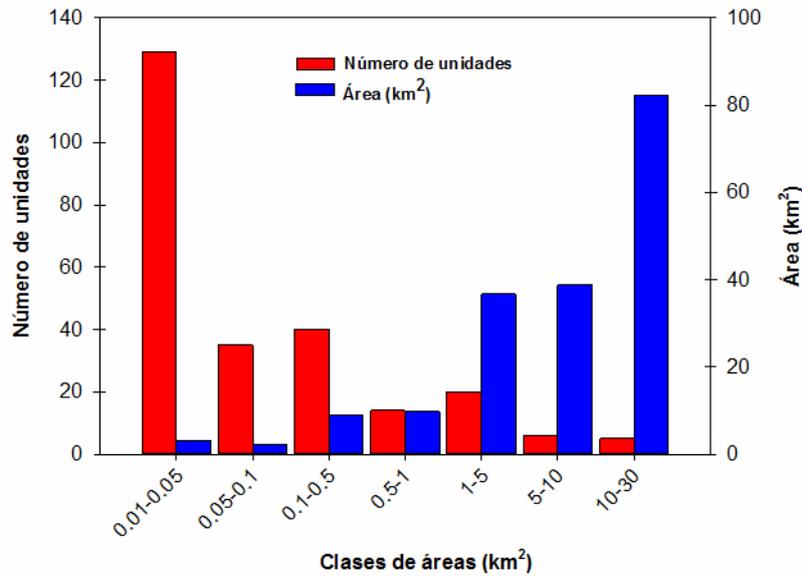


Figura 10: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas Vueltas-Túnel, clasificadas en categorías de acuerdo al tamaño de cada unidad.

Los cuerpos de hielo de las subcuencas Vueltas-Túnel se encuentran entre los 650 y 2.850 msnm (Tabla 3, Figura 11). Dentro de este rango, la mayor concentración de hielo se observa entre los 1.500 y 2.000 msnm. El hielo descubierto abarca el mayor rango altitudinal entre los 650 y los 2.844 msnm. Los glaciaretos y manchones de nieve permanentes cubren una superficie relativamente pequeña, pero se pueden encontrar en un rango altitudinal bastante amplio que va desde los 1.150 hasta los 2.850 msnm. En cambio, el hielo cubierto por detritos se encuentra sólo a menores alturas (entre los 650 y 1.850 msnm), en las porciones terminales de algunos glaciares (Figuras 8 y 13). Los pocos glaciares de escombros identificados en la zona de estudio ocupan un rango altitudinal limitado (450 msnm) entre los 1.350 y los 1.800 msnm.

Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en las subcuencas Vueltas-Túnel.

Tipo de superficie inventariada	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	661	2.793
Manchones de nieve / glaciaretos	1.182	2.834
Glaciar cubierto	666	1.851
Glaciar de escombros (GE)	1.361	1.698

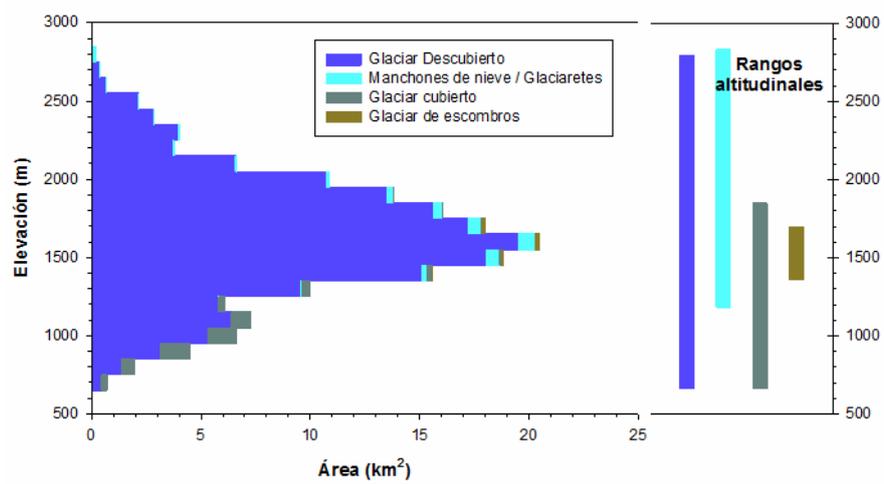


Figura 11: Distribución altitudinal (hypsometría) de los distintos cuerpos de hielo en las subcuencas Vueltas-Túnel. Nótese la predominancia de hielo descubierto y la existencia de hielo cubierto sólo en zonas bajas, es decir en las partes terminales de los glaciares.

5.2. Control de campo

La evaluación de material fotográfico proveniente de numerosas visitas realizadas en años anteriores, junto con el análisis de campo realizado en algunos sitios particulares de las subcuencas Vueltas-Túnel durante los veranos de 2012 y 2013, indican que los resultados de identificación y mapeo de las distintas unidades del inventario no presentan errores de consideración. Esto se debe al hecho que la gran mayoría del hielo inventariado en la zona de estudio corresponde a glaciares descubiertos (fácilmente detectables en las escenas ASTER del 20 de febrero de 2005), y que sólo algunos sectores presentan hielo cubierto por detrito. Los errores más frecuentes encontrados se relacionan con la clasificación de los cuerpos más pequeños, ya que varios casos inicialmente identificados en las imágenes ASTER como manchones de nieve / glaciaretes fueron posteriormente reclasificados como glaciares de montaña dado que presentaban evidencias de movimiento observadas en el terreno. El Anexo 7.2. muestra ejemplos de fotografías de los glaciares tomadas en el campo, y de los mismos cuerpos vistos en la imagen ASTER 2005 base del inventario. También se agregan datos relevantes de estos cuerpos y comentarios sobre las correcciones o detalles que surgieron durante las tareas de inventario en cada caso.

6. Bibliografía

Arenson, L., M. Jakob. 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., A. Brenning. 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.

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.

Bishop, M.P., J.A. Olsenholler, J.F. Shroder, R.B. Barry, B.H. Raup, A.B.G. Bush, L. Copland, J.L. Dwyer, A.G. Fountain, W. Haeberli, A. Kääb, F. Paul, D.K. Hall, J.S. Kargel, B.F. Molnia, D.C. Trabant, R. Wessels. 2004. Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Remote Sensing and GIS investigations on the Earth's cryosphere. *Geocarto International* 19, 57-89.

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., G.F. Azócar. 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.

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.

Garreaud R, Lopez P, Minvielle M y Rojas M. 2013. Large-Scale Control on the Patagonian Climate. *J. Climate* 26(1), 215-230 (doi:10.1175/JCLI-D-12-00001.1).

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. Ph.D Thesis, University of Tsukuba, Japón. 119 p. <http://www.tulips.tsukuba.ac.jp/limedia/dlam/B23/B2364842/1.pdf>
- Ikeda A., N. Matsuoka. 2002. Degradation of Talus-derived Rock Glaciers in the Upper Engadin, Swiss Alps. *Permafrost and Periglacial Processes* 13, 145–161.
- Kääb, A., C. Huggel, F. Paul, R. Wessels, B. Raup, H. Kieffer, J. Kargel. 2003. Glacier monitoring from ASTER imagery; accuracy and applications. *EARSEL Proceedings, LISSIG Workshop*, 11-13 March 2002, Berne, vol 2 43-53.
- 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.
- Lopez, P., P. Chevallier, V. Favier, B. Pouyaud, F. Ordenes, J. Oerlemans. 2010. A regional view of fluctuations in glacier length in southern South America. *Global and Planetary Change*, 71(1–2), 85–108.
- Masiokas, M.H., B.H. Luckman, R. Villalba, S. Delgado, P. Skvarca, A. Ripalta, A. 2009a. Little Ice Age fluctuations of small glaciers in the Monte Fitz Roy and Lago del Desierto areas, south Patagonian Andes, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4), 351-362.
- Masiokas, M.H., A. Rivera, L.E. Espizúa, R. Villalba, S. Delgado, J.C. Aravena. 2009b. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4), 242-268.
- Minowa M, Sugiyama S, Sakakibara D and Skvarca P 2017. Seasonal Variations in Ice-Front Position Controlled by Frontal Ablation at Glaciar Perito Moreno, the Southern Patagonia Icefield. *Front. Earth Sci.* 5:1. doi: 10.3389/feart.2017.00001
- Müller, F., T. Caflisch, G. Müller. 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory. TTS/WGI, Department of Geography, ETH. Zurich. 19 p.
- Paul, F., A. Kääb, M. Maisch, T. Kellenberger, W. Haerberli. 2002. The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods, *Annals of Glaciology* 34: 355–361.
- Popovnin, V., T.A. Danilova, D.A. Petrakov. 1999. A pioneer mass balance estimate for a Patagonian glacier: Glaciar De los Tres, Argentina. *Global and Planetary Change* 22, 1–4, 255-267.
- Racoviteanu, A.E., F. Paul, B. Raup, S.J.S. Khalsa, R. Armstrong. 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). *Z.Geomorph. n.F. Suppl. Db. 104.* 161-173 . Berlin-Stuttgart.

Stokes, C.R., V. Popovnin, A. Aleynikov, S.D. Gurney, M. Shahgedanova. 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. 2002. El ambiente criogénico actual y el paleopermafrost en el extremo austral de América del sur. IANIGLA, 30 años de investigación básica y aplicada en ciencias ambientales. D. Trombotto and R. Villalba (Ed.). IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina. 65-69 pp.

Tucker, C.J., D.M. Grant, J.D. Dykstra. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrametic Engineering & Remote Sensing* 70(3): 313-322.

UNEP, 2007. Global Glacier Changes: Facts and Figures. United Nations Environment Programme, DEWA/GRID-Europe. 88 p. <http://www.grid.unep.ch/glaciers/>

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 (ICSI)/UNEP/UNESCO. Paris. 52 p.

WGMS 1988. Fluctuations of glaciers 1980-1985, Vol. V. IAHS (ICSI)/UNEP/UNESCO. Paris. 290 p.

WGMS 1989. World Glacier Inventory. Status 1998. IAHS(ICSI)/UNEP/UNESCO. Teufen, Schweiz. 443 p.

Willis, M.J., A.K. Melkonian, M.E. Pritchard, A. Rivera. 2012. Ice loss from the Southern Patagonian Icefield, South America, between 2000 and 2012. *Geophysical Research Letters*, doi:10.1029/2012GL053136.

Zemp, M., H.J. Zumbühl, S.U. Nussbaumer, M.H. Masiokas, L.E. Espizúa, y P. Pitte. 2011. Extending glacier monitoring into the Little Ice Age and beyond. *PAGES news*, 19 (2): p. 67-69.

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de glaciares

Se presentan las tablas, ordenadas por satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de las subcuencas de los ríos Vueltas-Túnel, cuenca del río Santa Cruz.

Las imágenes que se utilizaron como base del inventario, fueron seleccionadas teniendo en cuenta aquéllas de fechas más recientes, con cobertura completa de la subcuenca, 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 imágenes del satélite Landsat.
- Para identificar manchones de nieve perenne se emplearon otras imágenes dentro del período de referencia 2005-2010.
- Como ayuda para la interpretación y digitalización del hielo cubierto y glaciares de escombros, se emplearon imágenes de sensores de alta resolución.

Satélite: **LANDSAT 7**

Sensor: **ETM+** (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
231094_09420050227	27 febrero 2005	Base georreferenciación
231094_09420080119	19 enero 2008	Comparación manchones de nieve

Satélite: **Terra**

Sensor: **ASTER**

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: USGS <http://glovis.usgs.gov/> y <http://earthexplorer.usgs.gov/>, por convenio del IANIGLA-CONICET a través del programa GLIMS.

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST_L1A003:2028179509	20 febrero 2005	Base inventario
AST_L1A 003:2028179492	20 febrero 2005	Base inventario

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

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

Resolución espacial: 2,5 m

Proveedor: CONAE y JAXA (Japón) a través del proyecto JICA-IANIGLA-CONICET “Desarrollo de un inventario de glaciares en los Andes Argentinos empleando imágenes ALOS de alta resolución” dirigido por el Dr Jinro Ukita (JICA) y el Dr. Mariano Masiokas (IANIGLA).

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALPSMN116044600	29 marzo 2008	Manchones y GE

7.2. Control de campo

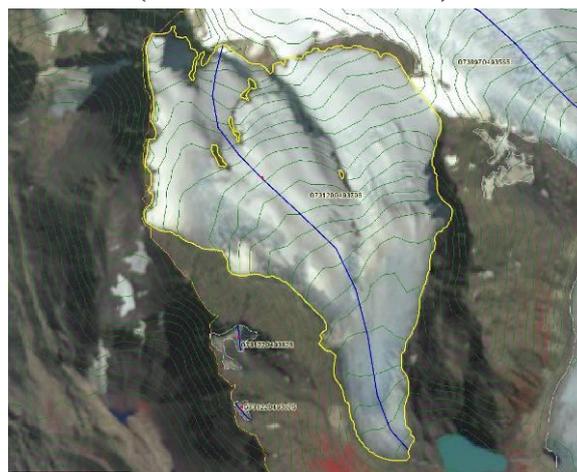
En este anexo se muestran ejemplos de algunos glaciares inventariados en las subcuencas Vueltas-Túnel. A la izquierda figuran las fotografías tomadas en distintas campañas de campo, y a la derecha se muestran los mismos glaciares en la escena ASTER del 20 de febrero de 2005. También se incluyen datos relevantes y comentarios relacionados a las tareas de inventario de cada caso.

Fotografía de campo



30 de enero de 2013

Imagen satelital ASTER (20 de febrero de 2005)



ID local: **G731176O493717S**

Nombre común: Glaciar de Quervain

Clasificación primaria: Glaciar de valle;

Forma: Cuenca compuesta

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 5,252 km²; Largo total: 3963 m

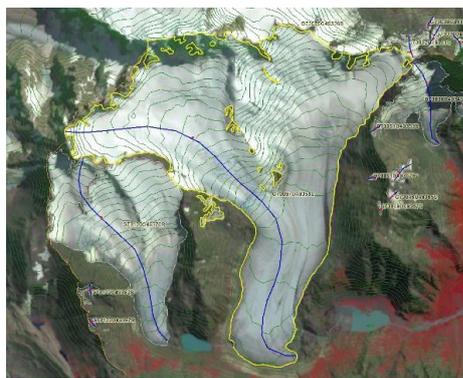
Latitud: 49,3717 S; Longitud: 73,1177 O

Orientación: SE; Pendiente media: 19°

Comentarios: Sin dificultad para identificar los límites del hielo y clasificar el glaciar.



30 de enero de 2013



ID local: **G7310310493551S**

Nombre común: Glaciar Túnel

Clasificación primaria: Glaciar de valle; Forma: Cuenca compuesta

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 16,996 km²; Largo total: 7636 m

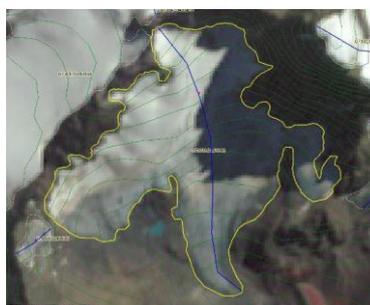
Latitud: 49,3563 S; Longitud: 73,0978 O

Orientación: S; Pendiente media: 18°

Comentarios: Sin mayores dificultades para identificar los límites del hielo y clasificar el glaciar. Pequeños sectores del frente del glaciar están cubiertos por detrito y fueron mapeados manualmente.



18 de enero de 2011



ID local: **G7303790493479S**

Nombre común: Glaciar Solo (Oeste)

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca compuesta

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 1,210 km²

Largo total: 1664 m

Latitud: 49,3479 S

Longitud: 73,0380 O

Orientación: S

Pendiente media: 29°

Comentarios: Sin mayores dificultades para identificar los límites del hielo y clasificar el glaciar. La parte de la zona de acumulación que se encuentra en sombra y pequeños sectores cubiertos por detrito en el frente del glaciar fueron delimitados manualmente.



22 de enero de 2013



ID local: **G730231O494176S**

Nombre común: Glaciar Huemul (del valle río Túnel)

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Placa de hielo

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 1,178 km²

Largo total: 1744 m

Latitud: 49,4177 S

Longitud: 73,0231 O

Orientación: NE

Pendiente media: 38°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



6 de febrero de 2011



ID local: **G7302260493419S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Placa de hielo

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,502 km²

Largo total: 1234 m

Latitud: 49,3419 S, Longitud: 73,0227 O

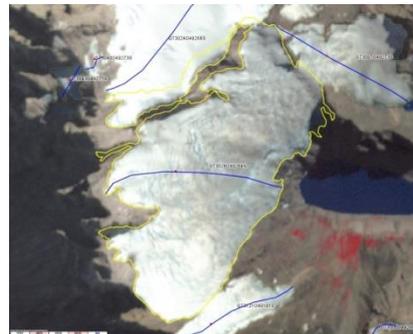
Orientación: NE

Pendiente media: 29°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



30 de enero de 2008



ID local: **G7302460492841S**

Nombre común: Glaciar Río Blanco

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Circo

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 4,006 km²

Largo total: 1928 m

Latitud: 49,2842 S

Longitud: 73,0247 O

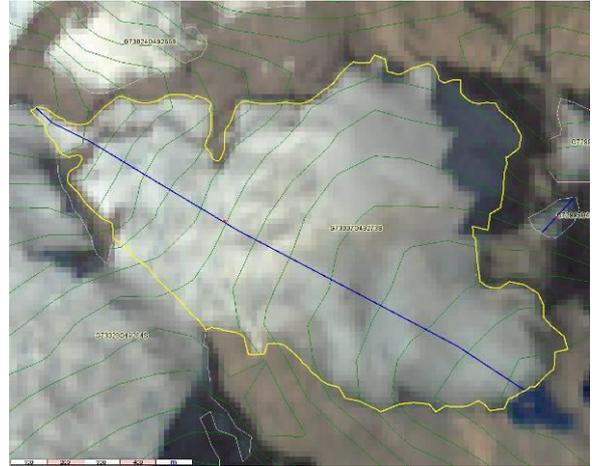
Orientación: E

Pendiente media: 28°

Comentarios: Las fotos de campo y los MDE permitieron determinar que el sector colgante contribuye hielo a través de avalanchas, por lo que forma parte del glaciar.



10 de febrero de 2012



ID local: **G7300570492736S**

Nombre común: Glaciar de los Tres

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,854 km²

Largo total: 1562 m

Latitud: 49,2736 S

Longitud: 73,0057 O

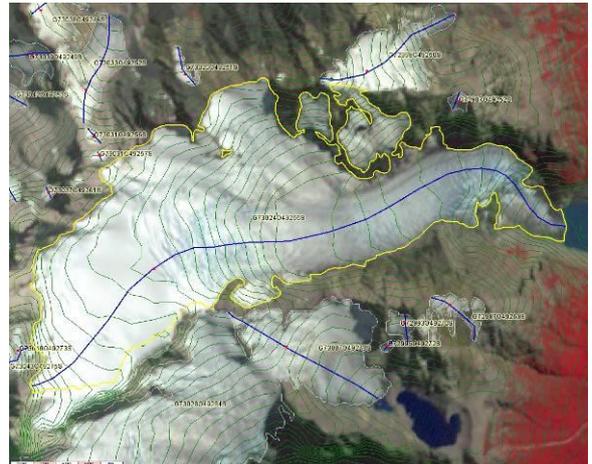
Orientación: SE

Pendiente media: 25°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



Febrero de 2013



ID local: **G7301290492646S**

Nombre común: Glaciar Piedras Blancas

Clasificación primaria: Glaciar de valle

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 6,186 km²

Largo total: 5669 m

Latitud: 49,2646 S

Longitud: 73,0130 O

Orientación: E

Pendiente media: 24°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



7 de febrero de 2013



ID local: **G7299590492493S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,445 km²

Largo total: 1390 m

Latitud: 49,2493 S

Longitud: 72,9959 O

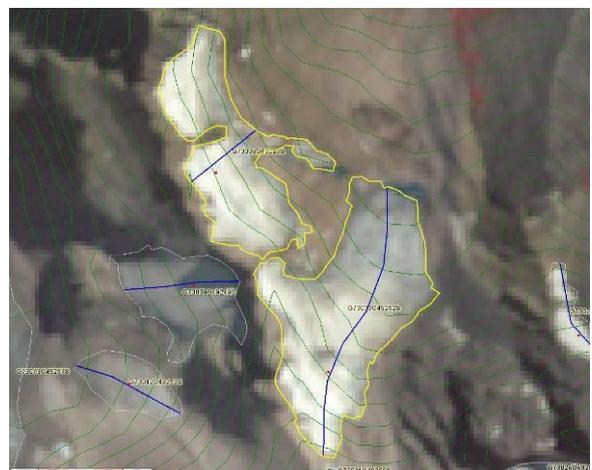
Orientación: NE

Pendiente media: 30°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo. La fotografía de campo ha sido de utilidad para determinar la forma y clasificar el glaciar.



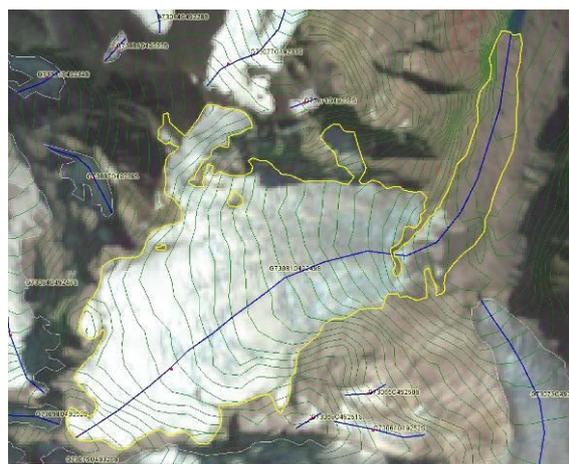
10 de febrero de 2011



ID local:	G7303200492510S (al Sur en imagen satelital)	G7303800492456S (al Norte en imagen satelital)
Nombre común:	No posee	No posee
Clasificación primaria:	Glaciar de montaña	Glaciar de montaña
Forma:	Cuenca simple	Nicho
Cobertura de la lengua:	Sin detrito	Sin detrito
Área:	0,325 km ²	0,212 km ²
Largo total:	1017 m	297 m
Latitud:	49,2511 S	49,2456 S
Longitud:	73,0320 O	73,0379 O
Orientación:	NE	NE
Pendiente media:	23°	29°
Comentarios:	Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación de estos dos pequeños glaciares.	



7 de febrero de 2013



ID local: **G7307340492448S**

Nombre común: Glaciar Pollone

Clasificación primaria: Glaciar de valle

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)

Área: 2,356 km²

Largo total: 3807 m

Latitud: 49,2448 S

Longitud: 73,0734 O

Orientación: NE

Pendiente media: 31°

Comentarios: Sector cubierto con detrito mapeado manualmente y corroborado por observación de campo.



7 de febrero de 2013



ID local: **G7312510492263S**

Nombre común: Glaciar Marconi

Clasificación primaria: Glaciar de valle

Forma: Cuenca compuesta

Cobertura de la lengua: Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)

Área: 16,663 km²

Largo total: 4891 m

Latitud: 49,2263 S

Longitud: 73,1251 O

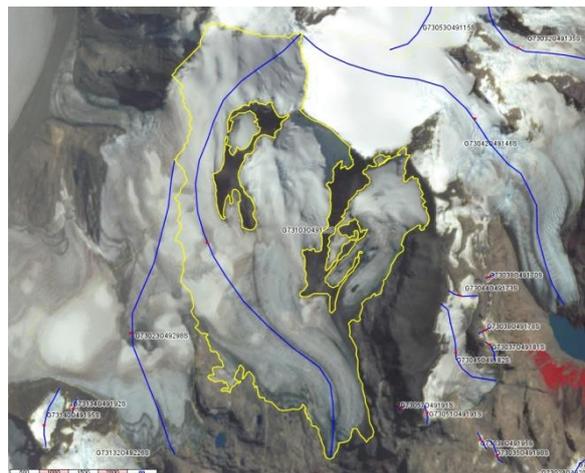
Orientación: E

Pendiente media: 25°

Comentarios: Sin mayores dificultades en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar; algunos sectores cubiertos por detrito fueron delimitados manualmente.



11 de enero de 2009 (foto Pedro Skvarca)



ID local: **G730887O491687S**

Nombre común: Glaciar Gorra Blanca (Sur)

Clasificación primaria: Glaciar de valle; Forma: Cuenca compuesta

Cobertura de la lengua: Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)

Área: 14,188 km²

Largo total: 8857 m

Latitud: 49,1687 S

Longitud: 73,0887 O

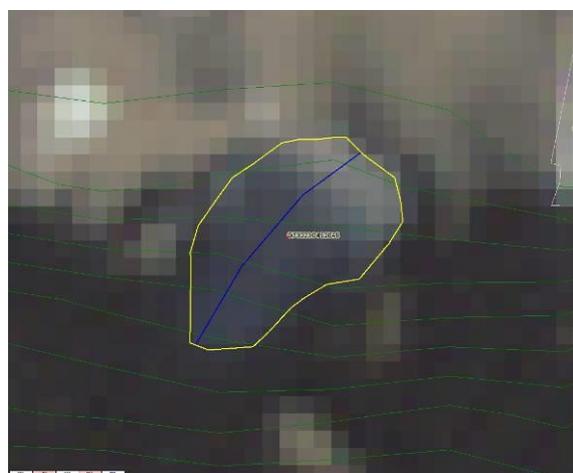
Orientación: S

Pendiente media: 14°

Comentarios: La divisoria del hielo en el sector Oeste del glaciar fue identificada automáticamente utilizando el Modelo Digital de Elevación como base. Algunos sectores cubiertos por detrito en el frente del glaciar fueron delimitados manualmente.



7 de febrero de 2013



ID local: **G730231O492043S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Nicho

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,023 km²

Largo total: 224 m

Latitud: 49,2044 S

Longitud: 73,023 O

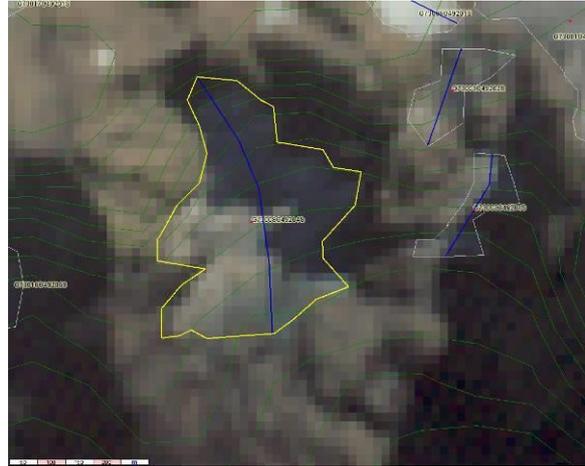
Orientación: SO

Pendiente media: 41°

Comentarios: Cuerpo en sombra, mapeado manualmente. Clasificado inicialmente como "manchón de nieve/glaciarete", cambiado a "glaciar de montaña" luego de observar evidencias de movimiento.



10 de febrero de 2011



ID local: **G7300850492042S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Circo

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,110 km²

Largo total: 498 m

Latitud: 49,2042 S

Longitud: 73,0086 O

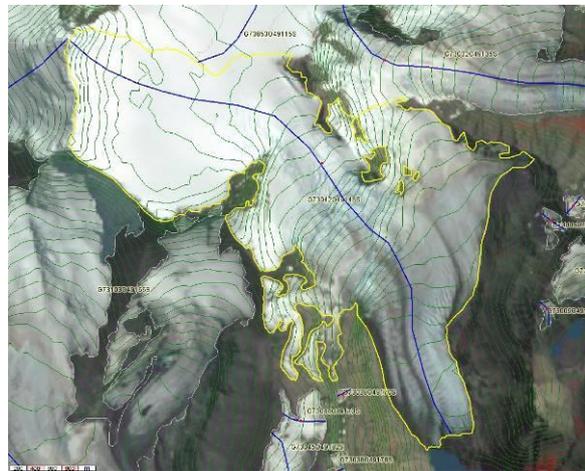
Orientación: S

Pendiente media: 46°

Comentarios: Pequeño cuerpo con sector en sombra fue delimitado mayormente a mano.



7 de febrero de 2011



ID local: **G7304480491447S**

Nombre común: Glaciar Cagliero (Sur)

Clasificación primaria: Glaciar de valle

Forma: Cuenca compuesta

Cobertura de la lengua: Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)

Área: 12,55 km²

Largo total: 7010 m

Latitud: 49,1447 S

Longitud: 73,0448 O

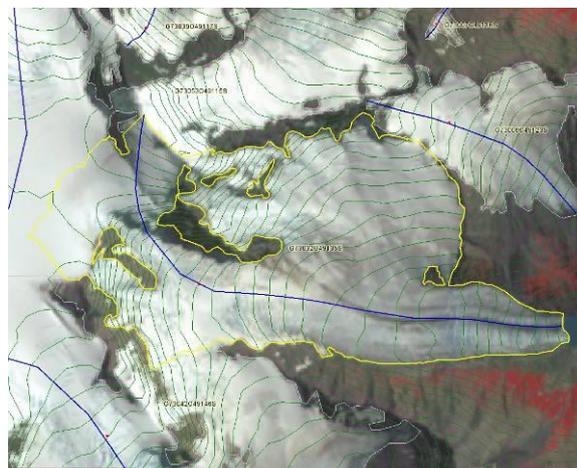
Orientación: SE

Pendiente media: 18°

Comentarios: Sin mayores dificultades en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar; algunos sectores cubiertos por detrito fueron delimitados manualmente.



26 de febrero de 2005



ID local: **G7302690491356S**

Nombre común: Glaciar Cagliario (Este)

Clasificación primaria: Glaciar de valle

Forma: Cuenca compuesta

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 5,102 km²

Largo total: 4448 m

Latitud: 49,1356 S

Longitud: 73,0270 O

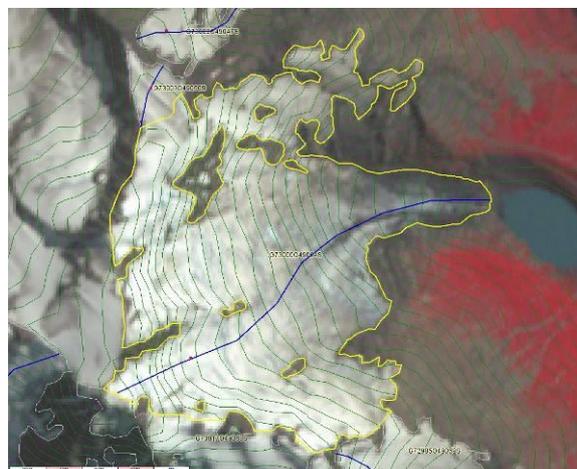
Orientación: E

Pendiente media: 24°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



15 de enero de 2012



ID local: **G7299400490613S**

Nombre común: Glaciar Toro

Clasificación primaria: Glaciar de valle

Forma: Cuenca compuesta

Cobertura de la lengua: Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)

Área: 2,606 km²

Largo total: 2445 m

Latitud: 49,0613 S

Longitud: 72,9940 O

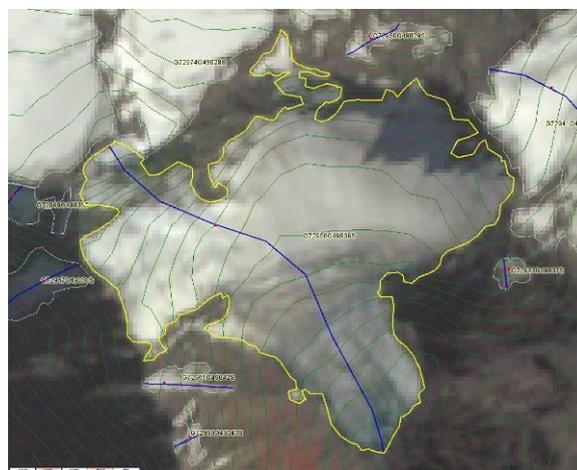
Orientación: NE

Pendiente media: 33°

Comentarios: Sin mayores dificultades en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar; algunos sectores cubiertos por detrito fueron delimitados manualmente.



16 de enero de 2012



ID local: **G7295570490370S**

Nombre común: Glaciar Milanesio

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 1,310 km²

Largo total: 1696 m

Latitud: 49,0371 S

Longitud: 72,9556 O

Orientación: SE

Pendiente media: 27°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



2 de febrero de 2011



ID local: **G7293880490327S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)

Área: 0,809 km²

Largo total: 1170 m

Latitud: 49,0327 S

Longitud: 72,9388 O

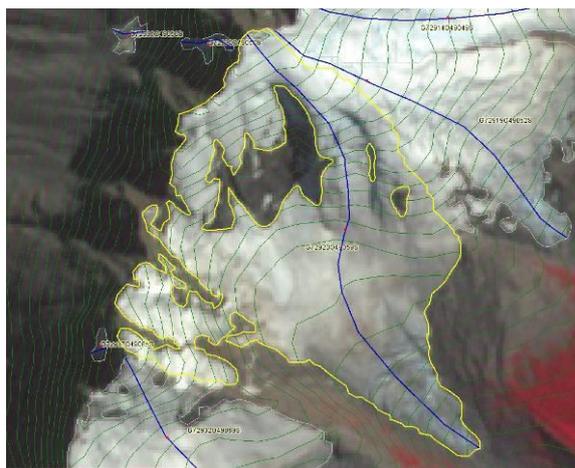
Orientación: SE

Pendiente media: 22°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar. Pequeño sector cubierto por detrito fue delimitado manualmente. Cabe notar la presencia de nieve estacional en la fotografía de campo de 2011.



Marzo de 2006



ID local: **G7292090490596S**

Nombre común: Huemul (de L. del Desierto)

Clasificación primaria: Glaciar de valle

Forma: Cuenca compuesta

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 1,957 km²

Largo total: 2640 m

Latitud: 49,0596 S

Longitud: 72,9209 O

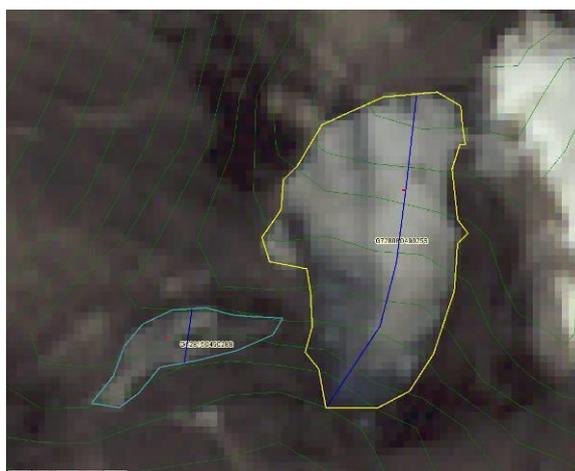
Orientación: SE

Pendiente media: 27°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar.



12 de febrero de 2011



ID local: **G7280880490266S**

Nombre común: No posee

Clasificación primaria: Glaciar de montaña

Forma: Cuenca simple

Cobertura de la lengua: Sin detrito

Área: 0,197 km²

Largo total: 704 m

Latitud: 49,0267 S

Longitud: 72,8088 O

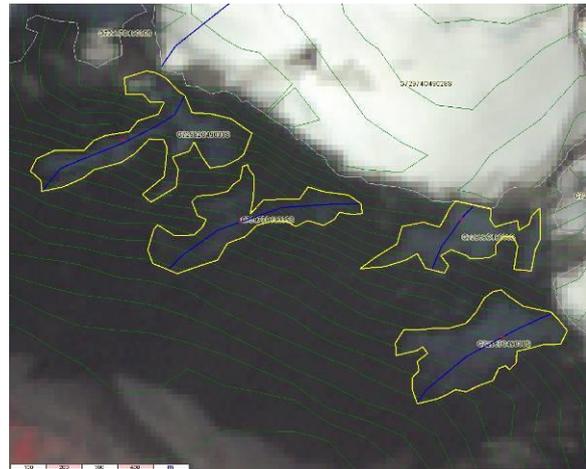
Orientación: S

Pendiente media: 29°

Comentarios: Sin dificultad en la identificación de los límites del hielo ni en la clasificación del glaciar. Nótese la presencia de nieve estacional en la fotografía de campo de 2011.



15 de enero de 2012



	G72979204903	G72977904903	G72969304903	G72968604903
ID local:	38S (primero desde el Oeste en imagen satelital)	58S (segundo desde el Oeste)	61S (tercero desde el Oeste)	88S (cuarto desde el Oeste)
Nombre común:	No posee	No posee	No posee	No posee
Clasificación primaria:	Manchón de nieve/ glaciarete	Glaciar de montaña	Manchón de nieve/ glaciarete	Glaciar de montaña
Forma:	No aplica	Nicho	No aplica	Colgante
Cobertura de la lengua:	No aplica	Sin detrito	No aplica	Sin detrito
Área:	0,076 km ²	0,062 km ²	0,048 km ²	0,074 km ²
Largo total:	501 m	594 m	219 m	462 m
Latitud:	49,0338 S	49,0359 S	49,0362 S	49,0389 S
Longitud:	72,9793 O	72,9779 O	72,9694 O	72,9686 O
Orientación:	SO	SO	S	SO
Pendiente media:	46°	43°	23°	30°
Comentarios:	Estos pequeños cuerpos en sombra sobre ladera de orientación Sur-Oeste fueron delimitados a mano. Los cuatro cuerpos fueron clasificados inicialmente como “manchón de nieve/glaciarete”, pero luego de las observaciones de campo, dos de ellos (segundo y cuarto desde el Oeste) fueron re-clasificados como “glaciar de montaña” por presentar señales de movimiento.			

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 recristalización de la nieve y/o hielo, sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento

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

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

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

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

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos (GEA)**, **inactivos (GEI)** y **fósiles (GEF)** (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 glaciario de escombros fósil (Trombotto 2002; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

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

escombros que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

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

8. Nombre común: si lo hubiere.

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

0. Incierto

1. Sábana de hielo continental: es una gran masa de hielo que cubre un continente o gran parte del mismo. En la actualidad sólo existen las de Antártida y Groenlandia. Las sábanas de hielo no están totalmente controladas por la topografía subglacial y se caracterizan por ser más activas en sus bordes y a lo largo de las corrientes de hielo. Las partes más altas y abombadas llamadas domos tienen escasa pendiente y flujo de hielo muy limitado.

2. Campo de hielo: masa de hielo glaciar, confinada topográficamente, de superficie relativamente plana, y de la cual fluyen glaciares de descarga, y cuya superficie es menor a 50.000 km².

3. Calota de hielo: masa de hielo no confinada con forma de domo, que fluye en todas las direcciones.

4. Glaciar de descarga: glaciar que fluye desde el interior de un campo de hielo, calota de hielo y/o sábana de hielo, transfiriendo masa hacia las zonas más bajas.

5. Glaciar de valle: glaciar con el área de acumulación bien definida, cuya lengua está encauzada y fluye valle abajo.

6. Glaciar de montaña: un glaciar que se encuentra confinado por la topografía del terreno montañoso que lo rodea; frecuentemente localizado en un circo o nicho (Müller et al., 1977). Incluye glaciares de circo, de nicho y de cráter.

7. Manchón de nieve permanente o glaciarete: pequeñas masas de nieve y hielo de forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones, lechos de ríos y pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de la nieve barrida por el

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

10. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta
3. Cuenca simple
4. Circo
5. Nicho
6. Cráter

7. Colgante
8. Grupo
9. Remanente

11. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

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

14. Actividad de la Lengua

0. Incierto
1. Marcado retroceso
2. Leve retroceso
3. Estacionario

4. Leve avance
5. Marcado avance
6. Posible pulso (surge)
7. Pulso (surge) conocido
8. Oscilante
9. Adelgazante

15. Morena_1

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

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

5. Parcialmente cubierto de detrito con glaciar de escombros (GE) (10-50%)
6. Mayormente cubierto de detrito con GE (50-90%)
7. Completamente cubierto por detrito con GE (>90%)

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

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

22. Estructura II

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

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

7.4. Revisión externa

Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial

Formulario de Evaluación del Inventario

1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre y Apellido del Evaluador/a	Pedro Skvarca
Institución	Glaciarium, Museo del Hielo Patagónico El Calafate, Prov. Santa Cruz www.glaciarium.com
Profesión y experiencia en inventarios de glaciares (ADJUNTAR CV)	Ing. Geodesta-Geofísico, especializado en Glaciología, con 40 años de investigación polar. Experiencia: inventario de glaciares de las islas James Ross y Vega en Península Antártica, y primer inventario de glaciares del Campo de Hielo Patagónico Sur basado en imágenes satelitales. Se adjunta CV.
Subcuenca evaluada	Ríos de las Vueltas y Túnel
Provincia	Santa Cruz
Fecha de recepción del material	Agosto 2012
Fecha de entrega del material evaluado	Junio 2013 (Observaciones: El proceso de evaluación incluyó cuatro etapas de revisión en las que se incorporaron las sugerencias y recomendaciones propuestas al texto del informe, a los mapeos y a la base de datos del Inventario de Glaciares).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las imágenes son adecuadas para el tipo de trabajo	SI	
Observaciones		
El MDE es adecuado para el tipo de trabajo	SI	
Observaciones		
La metodología propuesta le parece apropiada	SI	
Observaciones		

3. INVENTARIO

La clasificación de hielo descubierto es adecuada	SI	
Observaciones		
La digitalización manual está bien realizada	SI	
Observaciones		
La base de datos se adapta a lo requerido por un inventario de estas características	SI	
Observaciones		

4. INFORME

El informe es claro y explica bien el objetivo del trabajo	SI	
Observaciones: es un informe muy claro que describe en detalle los antecedentes, procedimientos, materiales y los métodos utilizados, y constituye una valiosa base de datos.		

5. RESULTADOS

Comentarios y observaciones del inventario
Es adecuada la información provista: SI
Considera necesario proveer más información: NO

6. EVALUACIÓN

Cómo evaluaría el producto final obtenido
Aprobado

Buenos Aires, 29 de Julio 2013
LUGAR Y FECHA



Skvarca
FIRMA Y ACLARACIÓN



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

I A N I G L A



CONICET

U. N. C U Y O
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de las subcuencas de los ríos de las Vueltas y Túnel, Parque Nacional Los Glaciares, cuenca del río Santa Cruz, provincia de Santa Cruz.





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

Hoja Adicional de Firmas
Informe gráfico

Número:

Referencia: ING Ríos-Las Vueltas y Túnel

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 59 pagina/s.