



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de la subcuenca
del río Castaño
Cuenca del río San Juan**

Provincia de San Juan



Cuesta y portezuelo divisor entre las cuencas de los ríos Castaño y Calingasta (Foto:M. Castro)

**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: Téc. Mariano Castro

Profesionales: Lic. Lidia Ferri Hidalgo y Lic. Laura Zalazar

Mayo 2018

***La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial, establecida por el PEN por ley N° 22963
-a través del IGN- y fue aprobada por expediente GG15 2241/5 del año 2015***

AGRADECIMIENTOS

A CONAE, GLIMS y JICA-JAXA por las imágenes satelitales provistas, en base a las cuales se realizaron los diferentes inventarios.

A la Lic. en Diseño Gráfico Montserrat Ternicien por el diseño original de los informes.

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes	6
3.	Definiciones a los fines del Inventario	10
4.	Materiales y métodos	12
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	13
4.2.	Selección de imágenes satelitales	14
4.3.	Delimitación del hielo descubierto	17
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	18
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas	18
4.6.	Control de campo	20
5.	Resultados	21
5.1.	Resultados para la subcuenca río de Castaño	21
5.2.	Control de campo	25
6.	Bibliografía.....	27
7.	Anexos.....	33
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del río Castaño	33
7.2.	Control de campo en la subcuenca del río Castaño	35
7.2.1	Objetivos	35
7.2.2.	Resultados. Geoformas relevadas	36
7.3.	Descripción de la base de datos	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Glaciares de escombros en las nacientes del río Cerrado, San Juan (Foto: M. Castro).	3
Figura 2: Glaciar del Caballito en la década de 80. (Foto: R. Bottero).	6
Figura 3: Inventario de glaciares de las cuencas de los ríos Castaño, Blanco y de los Patos, en la Provincia de San Juan, Bottero 2002.	8
Figura 4: Subcuencas y sectores de trabajo en los que se dividió la cuenca del río San Juan para la realización del Inventario Nacional de Glaciares.	13
Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología usada.	16
Figura 6: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.	17
Figura 7: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen ASTER (15 m de resolución). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una imagen PRISM (2,5 m de resolución).	18
Figura 8: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de montaña sobre una imagen ALOS. En la parte derecha se muestra este glaciar con las diferentes subunidades que lo componen (parte de hielo descubierto y parte de hielo cubierto con glaciar de escombros). Todas las subunidades tendrán el mismo código de identificación (ID).	20
Figura 9: Glaciares en la subcuenca del río Castaño (para mayor detalle ver mapa impreso del sector de estudio, adjunto en contratapa).	22
Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Castaño.	23
Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Castaño.	23
Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías, Subcuenca del río Castaño.	24
Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Castaño.	25
Figura 14: Camino de acceso a las nacientes del río Cerrado en la Subcuenca del río Castaño.	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes del sensor ALOS utilizadas para como base para el inventario de la subcuenca del río Castaño.	14
Tabla 2: Superficie englazada en la subcuenca del río Castaño.	21
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del río Castaño.	25

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBERS: China Brazil Earth Resources Satellite

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GCGE: Glaciar cubierto con glaciar de escombros

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GEA: Glaciar de escombros activo

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LANDSAT: LAND=tierra y SAT=satélite

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

1. Introducción

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

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

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

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

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

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



Figura 1: Glaciares de escombros en las nacientes del río Cerrado, San Juan (Foto: M. Castro).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

crioformas a lo largo del país. Mientras que el objetivo del nivel 3 es establecer los factores ambientales que regulan el comportamiento y determinar la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina.

El presente informe del Inventario Nacional de Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1 de la subcuenca del río Castaño. 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.

Esta subcuenca forma parte de la cuenca del río San Juan, la cual limita al norte con la cuenca del río Jáchal, al sur con la cuenca del río Mendoza y al oeste con la República de Chile. Está ubicada en la provincia de San Juan, en la región de los Andes Centrales de Argentina.

El trabajo de identificación de glaciares en la subcuenca del río Castaño fue elaborado en octubre de 2014 y aprobado según resolución N°RESOL-2016-365-E-APN-MAD del 29 de septiembre de 2016, 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.

IANIGLA agradece a la Secretaría de Ambiente de San Juan, por su colaboración en la logística de las campañas realizadas en la provincia dentro del marco del Inventario Nacional de Glaciares.

También al INGEO de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, por su apoyo y colaboración en las campañas realizadas en la provincia de San Juan.

2. Antecedentes

En general, los antecedentes sobre trabajos de inventarios de glaciares constituyen indudablemente un valioso material de base, sin embargo, en la mayoría de los casos se trata de trabajos de carácter regional, parciales, y/o se encuentran desactualizados. Por otra parte, como la mayoría de estos inventarios regionales han empleado vuelos fotogramétricos de las décadas de 1960 y comienzos de 1970, es posible que algunos de los glaciares más pequeños inventariados en esas décadas hayan desaparecido. Asimismo, los frentes de los glaciares han retrocedido desde la Pequeña Edad de Hielo y en las últimas décadas, como ha sido demostrado en varios estudios realizados sobre las fluctuaciones de ciertos glaciares a lo largo de la Cordillera de los Andes (Espizua 1986; Espizua y Maldonado 2007; Espizua y Pitte 2009; Masiokas et al. 2009), produciendo cambios importantes en las áreas cubiertas por los cuerpos de hielo.

En el año 1974, las distintas entidades patrocinantes del IANIGLA le encomendaron a sus profesionales la realización de un relevamiento de los cuerpos de hielo en los Andes Centrales de Argentina. Como resultado de esta iniciativa se realizaron una serie de inventarios en diferentes sectores de la provincia de Mendoza y San Juan (Corte y Espizua 1981).

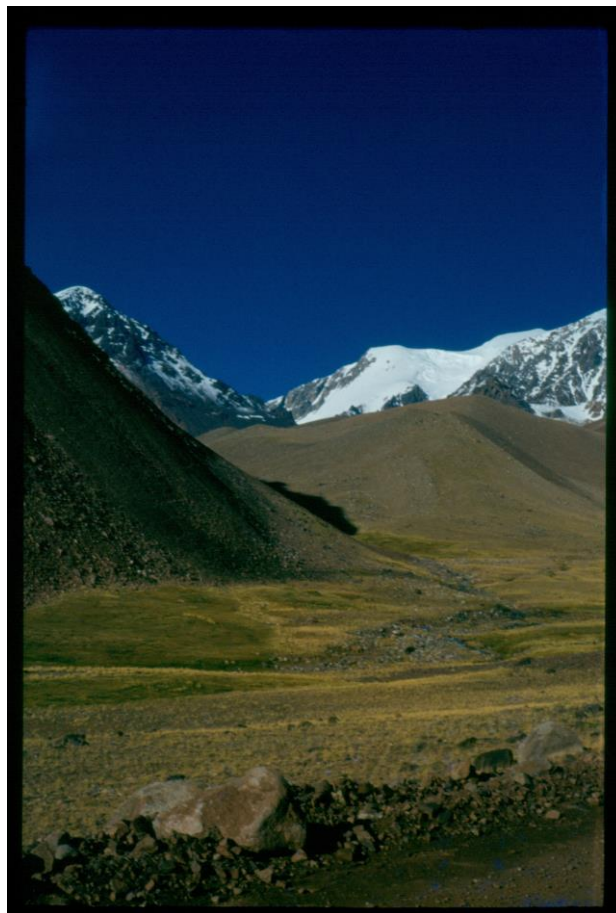


Figura 2: Glaciar del Caballito en la década de 80. (Foto: R. Bottero).

Con respecto a la cuenca del río San Juan, se realizó un inventario de glaciares y morenas de la subcuenca del río de Los Patos (Espizúa inédito). Según Espizúa, un total de 808 cuerpos de hielo y nieve perenne fueron inventariados en base a fotografías aéreas de los meses de abril y mayo de 1963. Estos cuerpos ocupaban una superficie de $175,24 \text{ km}^2$ de los cuales el 27,96% correspondía a hielo descubierto y el 72,04% a hielo cubierto.

Bottero (2002) recopiló la información existente sobre los inventarios de glaciares en otras cuencas del río San Juan. De este trabajo, se desprenden por primera vez, la superficie de cuerpos de hielo inventariada en el río Castaño de $93,24 \text{ km}^2$, en el río Blanco de $286,90 \text{ km}^2$ y en el río de los Patos de $175,88 \text{ km}^2$, lo que arrojaba un total de $556,02 \text{ km}^2$ para la cuenca superior del río San Juan .

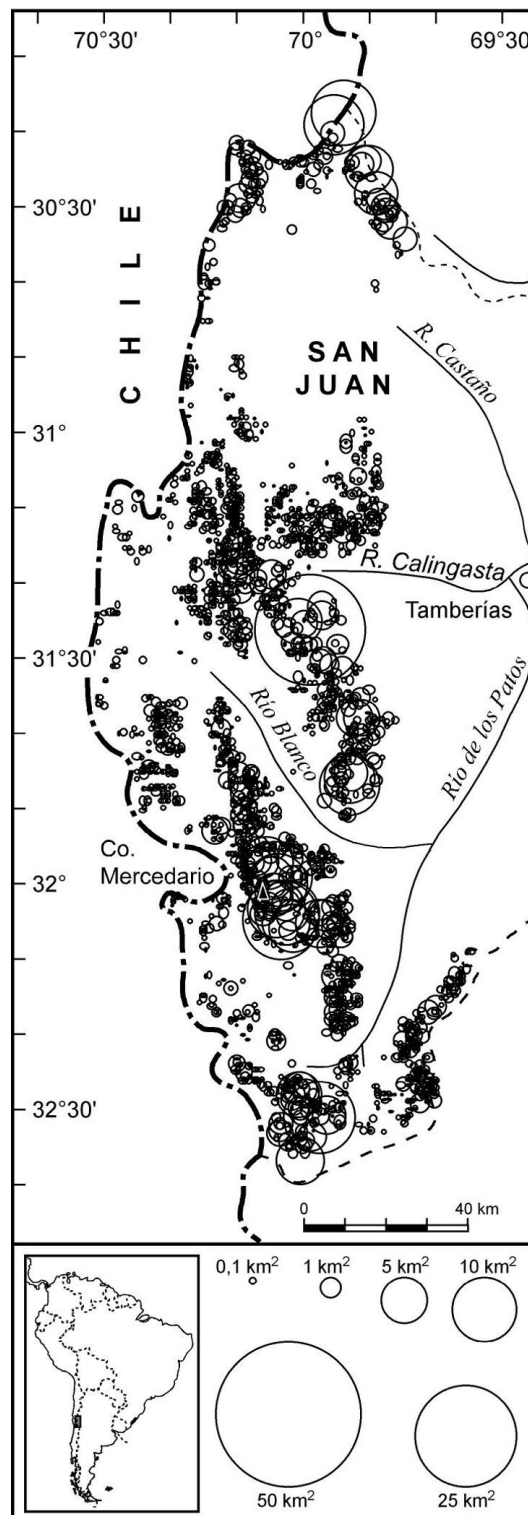


Figura 3: Inventario de glaciares de las cuencas de los ríos Castaño, Blanco y de los Patos, en la Provincia de San Juan, Bottero 2002.

Más recientemente y dentro del marco de un convenio realizado entre el Gobierno de la Provincia de San Juan y la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, se realizó un informe con un relevamiento inicial de los glaciares descubiertos de la Provincia de San Juan, el cual fue desarrollado bajo la

responsabilidad institucional del Director del INGENO, Dr. Silvio Peralta, y la dirección científico-técnica del Dr. Juan Pablo Milana (INGEO-UNSJ 2010).

Finalmente, concurrente con el presente inventario del IANIGLA, un inventario de los cuerpos de hielo en el río San Juan, está siendo realizado por el INGENO-FCEFN-UNSJ, en respuesta al convenio firmado entre el Gobierno de la Provincia de San Juan y la Universidad Nacional de San Juan. En esta ocasión la Universidad incluyó en el inventario además de los glaciares descubiertos, los glaciares cubiertos y glaciares de escombros (INGEO-UNSJ 2012-2014).

Con respecto a los antecedentes existentes específicos para el ambiente periglacial, son pocos los trabajos realizados en esta cuenca. Cabe destacar una publicación donde se caracterizan dos glaciares de escombros en la subcuenca del río Blanco realizada por Arenson et al. (2010). Este estudio proporciona una información valiosa sobre los glaciares de escombros en los Andes áridos que servirá de base para estudios futuros.

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 las diferentes geoformas identificadas en las imágenes satelitales y los procesos que las originan. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo para la subcuenca del río Castaño aquí presentado.

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

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

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

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

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

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos, inactivos y fósiles** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35°) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 2003; 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 glacigénico (ambiente periglacial) en base a sensores remotos, en particular si no se cuenta con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada glaciar cubierto con glaciar de escombros que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

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

4. Materiales y métodos

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

Este informe corresponde al Inventario de Glaciares de la subcuenca del río Castaño, perteneciente a la cuenca del río San Juan. Dicha cuenca ocupa 22.853 km² de superficie y ha sido dividida, a fines prácticos, en la siguiente agrupación de subcuencas, para organizar mejor el trabajo en áreas de superficie englazada relativamente equivalentes (Figura 4):

- **Subcuenca río Castaño** (7.243 km²)
- **Subcuenca río Calingasta** (1.537 km²)
- **Subcuenca río Blanco** (4.871 km²)
- **Subcuenca río Ansilta** (5.631 km²)
- **Subcuenca río de Los Patos** (3.571 km²)

En el presente informe se presentan los resultados de la subcuenca del río Castaño (Figura 4).

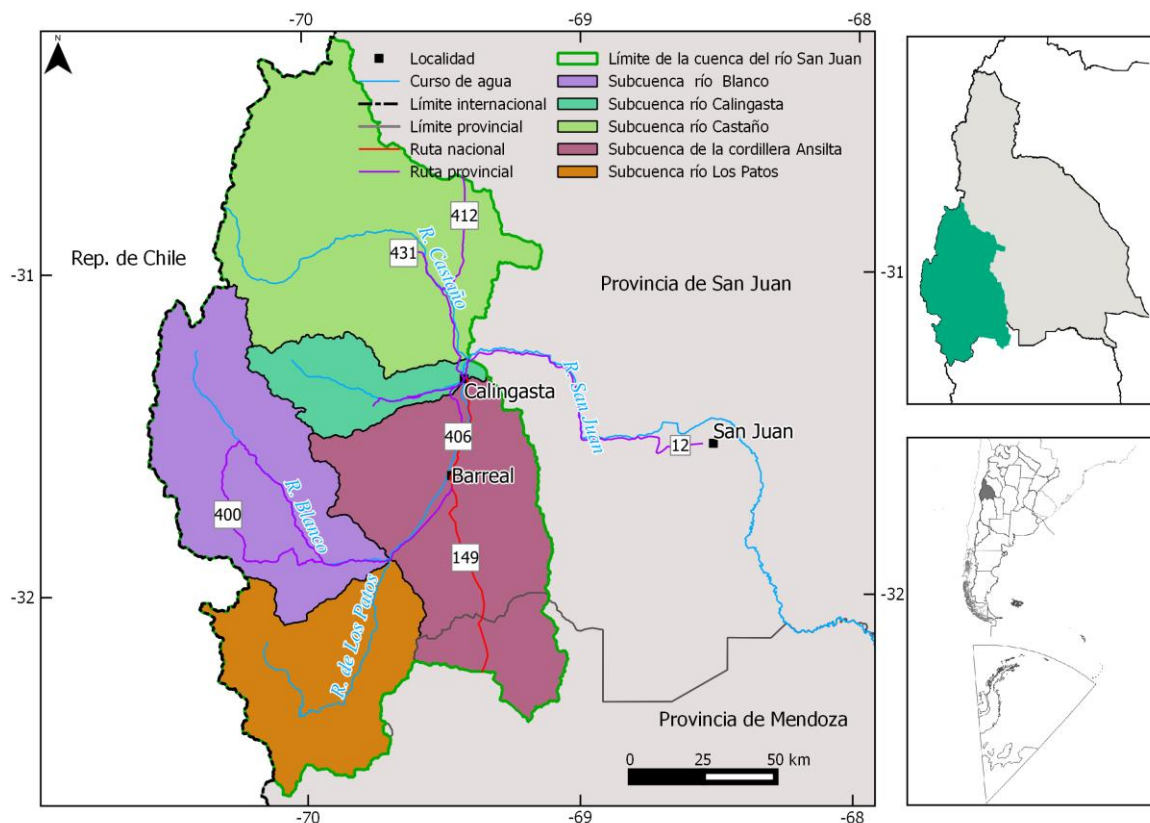


Figura 4: Subcuencas y sectores de trabajo en los que se dividió la cuenca del río San Juan para la realización del Inventario Nacional de Glaciares.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en la cuenca del río San Juan se basó en información proveniente de modelos digitales de elevación (MDE). De los MDE disponibles se decidió trabajar con el SRTM v4 (resolución espacial 90 m).

Empleando el programa QGIS (software libre) se delimitaron las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de SRTM v4. Los pasos básicos para obtener las cuencas hidrográficas en QGIS consisten en primer lugar en el llenado de sumideros y posteriormente delimitar el tamaño mínimo de la cuenca que viene dado en base al número de celdas que seleccionemos. Cada cuenca delimitada fue posteriormente editada y corregida manualmente, en aquellos casos en que no hubo un buen ajuste entre el MDE y la imagen. La edición manual de las cuencas fue realizada empleando el programa KOSMO¹ (software libre).

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

¹ <http://www.opengis.es/>

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el inventario en la subcuenca del río Castaño se utilizaron como base imágenes ALOS AVNIR (10 m de resolución espacial) aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo, LANDSAT, PRISM (ALOS) y el aplicativo Google Earth. Las imágenes LANDSAT se utilizaron como base de georreferenciación y en algunos casos para determinar el estado permanente de los manchones de nieve. Las imágenes de mayor resolución espacial (PRISM) fueron importantes para la detección de hielo cubierto y glaciares de escombros.

Tabla 1: Imágenes del sensor ALOS utilizadas como base para el inventario de la subcuenca del río Castaño.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
ALOS/AVNIR	AV2AD430423001B2	14 abril 2010
ALOS/AVNIR	AV2AD430422001B2	14 abril 2010
ALOS/AVNIR	AV2AD431421001B2	17 diciembre 2010
ALOS/AVNIR	AV2AD431422001B2	17 diciembre 2010

Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) y las imágenes ALOS fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina.

Para la selección de imágenes se siguieron las sugerencias establecidas por GLIMS que tienen en cuenta la disponibilidad de imágenes, la ausencia de nubes y la cobertura de nieve en las mismas. Para minimizar los posibles errores que introduce la cobertura de nieve, que dificulta la delimitación de los cuerpos de hielo, se eligieron casi exclusivamente imágenes correspondientes al final del año de balance de masa (Cogley et al. 2011). En el caso de glaciares extratropicales, el final del año de balance de masa coincide con el fin del verano, principios de otoño (Marzo/Abril), mientras que para los glaciares tropicales se aproxima con el final de la temporada seca (fines de agosto y principios de septiembre). En este caso particular se usaron como base dos imágenes ALOS/AVNIR del mes de diciembre, fueron elegidas porque a pesar de no corresponder con las fechas de fines de verano, corresponden a un año bastante seco, por lo que no presentaban nieve estacional y podían ser usadas para el inventario.

En este trabajo, las coordenadas están referidas al sistema de referencia global WGS84, y el sistema de proyección elegido es el UTM (Universal Transversal Mercator). Este sistema de referencia y proyección es utilizado internacionalmente, lo que permitirá comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con información de otros países. Las superficies

están expresadas en km² y como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes están expresadas en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

Las imágenes ALOS AVNIR utilizadas como base de inventario para la delimitación de los cuerpos de hielo fueron ortorrectificadas a partir de imágenes Landsat y el modelo digital de elevación SRTM. Estas imágenes Landsat, generadas por el USGS (United States Geological Survey), son internacionalmente aceptadas como base de referencia (Tucker et al. 2004).

En la Figura 5 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.

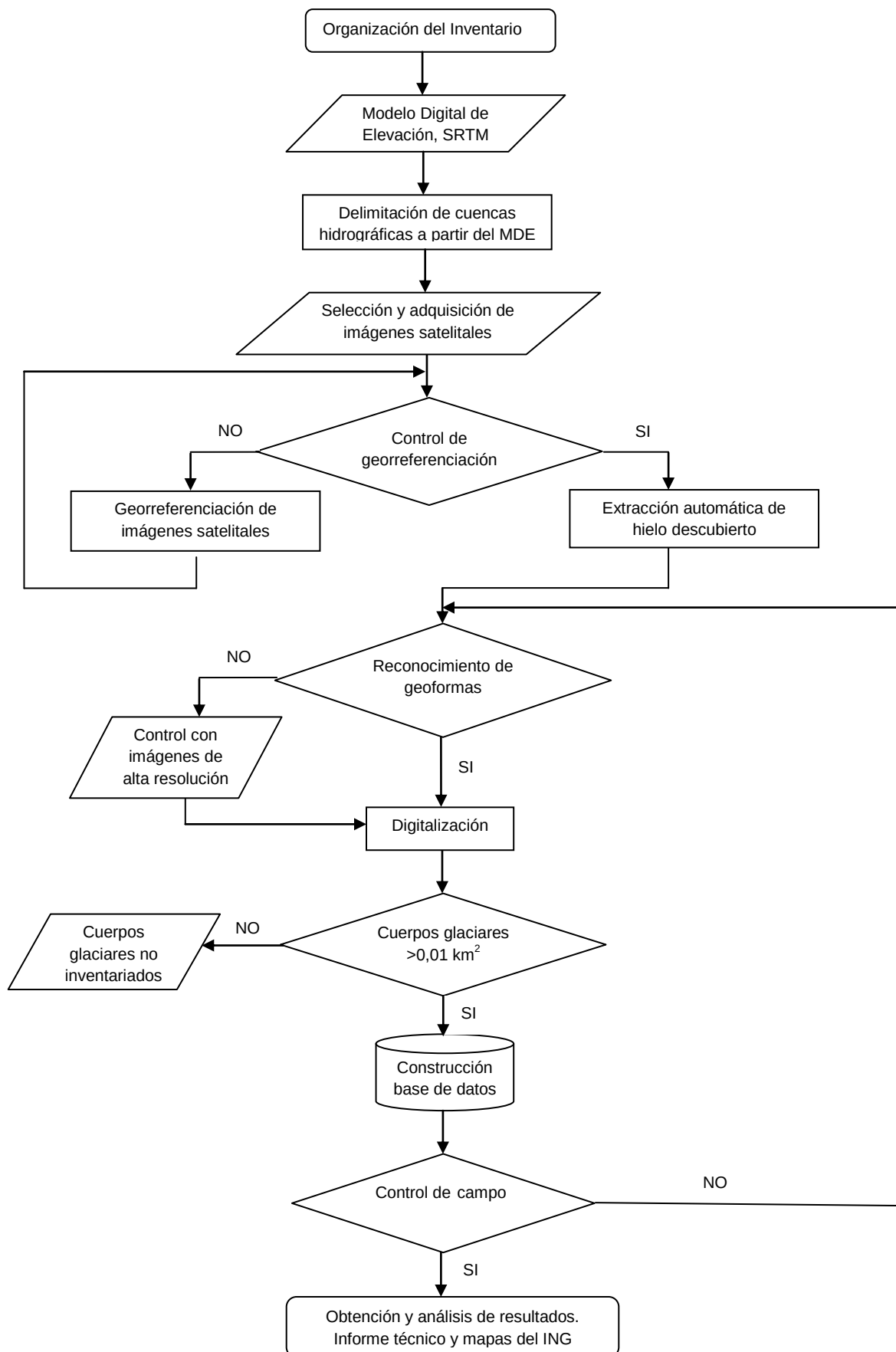


Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología usada.

4.3. Delimitación del hielo descubierto

El paso posterior a la determinación de las cuencas hidrográficas es la delimitación automática del hielo descubierto. Para ello se realizó una clasificación por objetos a partir de las bandas 1, 2 y 3 de las imágenes de base citadas en la Tabla 1. Dicha clasificación fue realizada con el programa SPRING provisto por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil, INPE (Camara et al. 1996). Una clasificación por objetos utiliza además de la información espectral de cada píxel la información espacial que envuelve la relación entre los píxeles y sus vecinos. Este tipo de clasificación intenta imitar el comportamiento de un fotointérprete al reconocer áreas homogéneas de las imágenes basándose en las propiedades espectrales y espaciales de las mismas. Como resultado de esta clasificación se obtuvieron los polígonos que corresponden al hielo descubierto, incluyendo glaciares y manchones de nieve (ver Figura 6). Posteriormente el vector obtenido se edita manualmente para corregir pequeñas diferencias que puedan existir, como por ejemplo el hielo no identificado por estar localizado en sectores en sombra en la imagen o para eliminar la nieve estacional que pueda estar presente en la imagen.

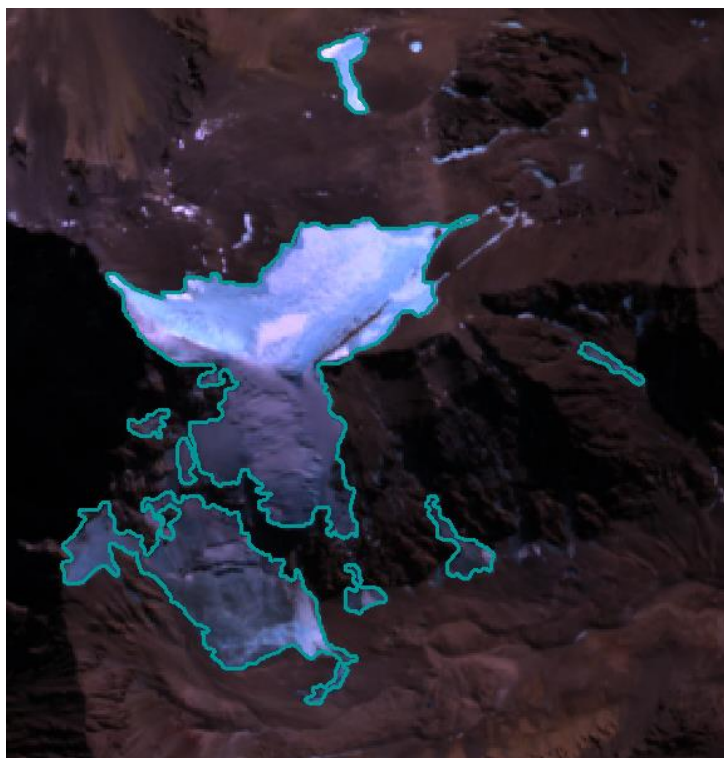


Figura 6: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo para glaciares cubiertos de detrito y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la metodología más utilizada a nivel internacional (Stokes et al. 2007). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo (Figura 7). Para ello, además de las imágenes ALOS AVNIR empleadas como base de este inventario, utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución PRISM (ALOS) y las imágenes disponibles en Google Earth. La digitalización fue realizada con el programa QGIS.

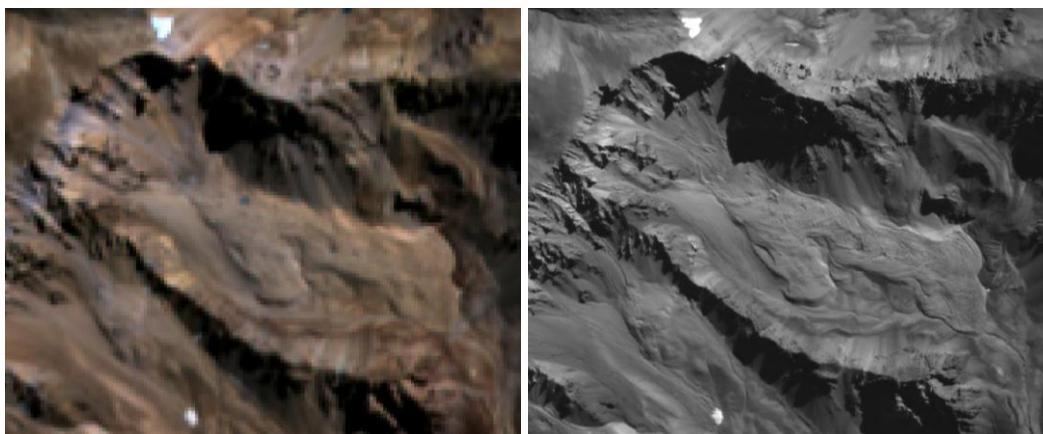


Figura 7: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen ASTER (15 m de resolución). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una imagen PRISM (2,5 m de resolución).

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca río de Castaño incluye la identificación de cada uno de los glaciares, su clasificación morfológica, y parámetros de índole física tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total entre otros (Ver Anexo 7.3). Las bases de datos también se construyeron con el programa QGIS.

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

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

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

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

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

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

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

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. Por esta razón el número de glaciares no coincide estrictamente con el número de polígonos de hielo observados en el mapa.

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** (ID de la Figura 8 representado por un círculo rojo) que consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma (similar al ID_GLIMS salvo que en el caso del ID_local la longitud está referida al Oeste). Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud Sur.

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

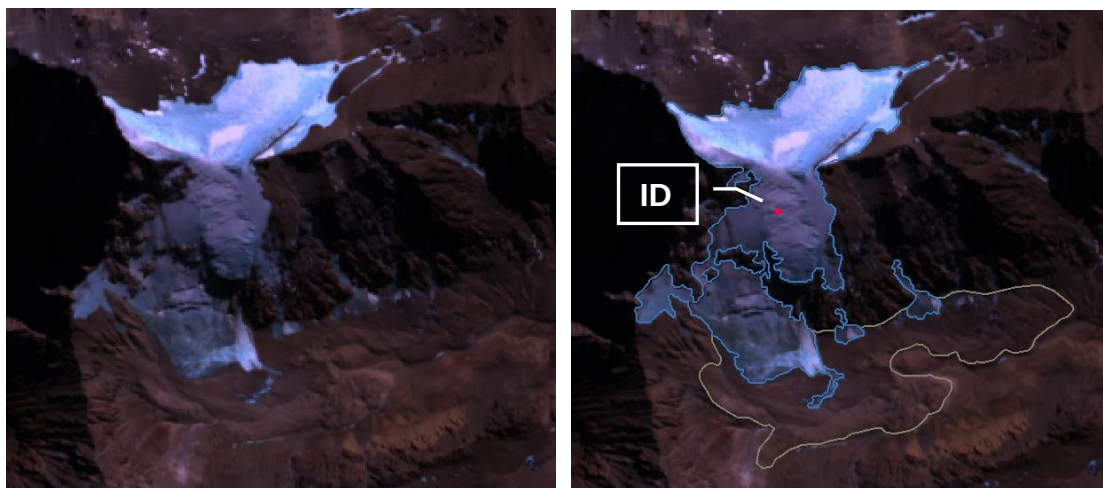


Figura 8: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de montaña sobre una imagen ALOS. En la parte derecha se muestra este glaciar con las diferentes subunidades que lo componen (parte de hielo descubierto y parte de hielo cubierto con glaciar de escombros). Todas las subunidades tendrán el mismo código de identificación (ID).

4.6. Control de campo

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

5. Resultados

5.1. Resultados para la subcuenca del río Castaño

El río Castaño es uno de los afluentes más importantes del río San Juan, que al juntarse con el río de Los Patos dan origen al río San Juan.

La cuenca del río Castaño es la más grande de las cinco subcuencas en que dividimos la gran cuenca del río San Juan para el estudio de sus cuerpos de hielo. Se ubica en el extremo norte de la cuenca del río San Juan, limitando al oeste con la República de Chile, al sur con la subcuenca del río Calingasta y al norte con la cuenca del río Jáchal, la otra gran cuenca en la provincia de San Juan.

Numerosos ríos y arroyos componen la cuenca del río Castaño, entre los que podemos nombrar al río Valle Hermoso, el río Melchor, el río Blanco, el río Atutía entre otros.

Las alturas más importantes de la cuenca se encuentran en los límites sur, oeste y norte de la subcuenca, siendo los cordones que contienen estas cumbres los que actúan como divisorias de aguas con las cuencas circundantes, sobrepasando en algunos casos alturas de 6.000 msnm. Además, las laderas de estas cumbres contienen las zonas englazadas más importantes de la subcuenca.

Se han inventariado un total de 887 glaciares, ocupando una superficie de 87,33 km² (Figura 10), indicando que el 1,2% de la subcuenca del río Castaño está cubierto por glaciares.

Tabla 2: Superficie englazada en la subcuenca del río Castaño.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	21,07
Manchones de nieve/glaciaretes	9,91
Glaciar cubierto	0,37
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	4,59
Glaciar de escombros	51,38
Total	87,33

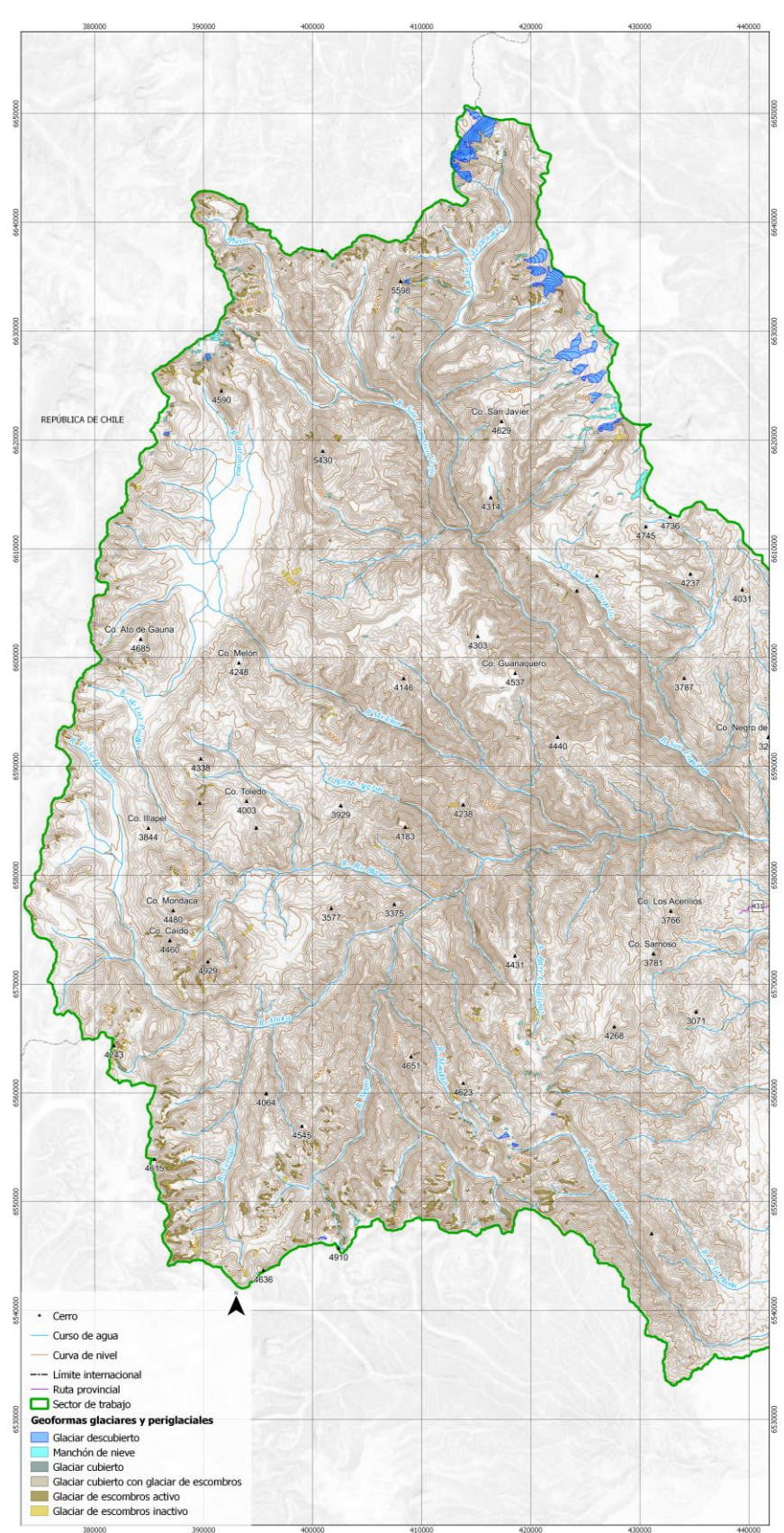


Figura 9: Glaciares en la subcuenca del río Castaño.

Se observa en la Figura 10 que la superficie ocupada por glaciares descubiertos y manchones de nieve suma el 35% del área total de cuerpos inventariados en la subcuenca. El resto (65%) corresponde a glaciares cubiertos, glaciares cubiertos con glaciar de escombros y a glaciares de escombros. Se puede concluir que en esta subcuenca predominan los glaciares de escombros y geoformas con coberturas detríticas por sobre aquellas con hielo descubierto.

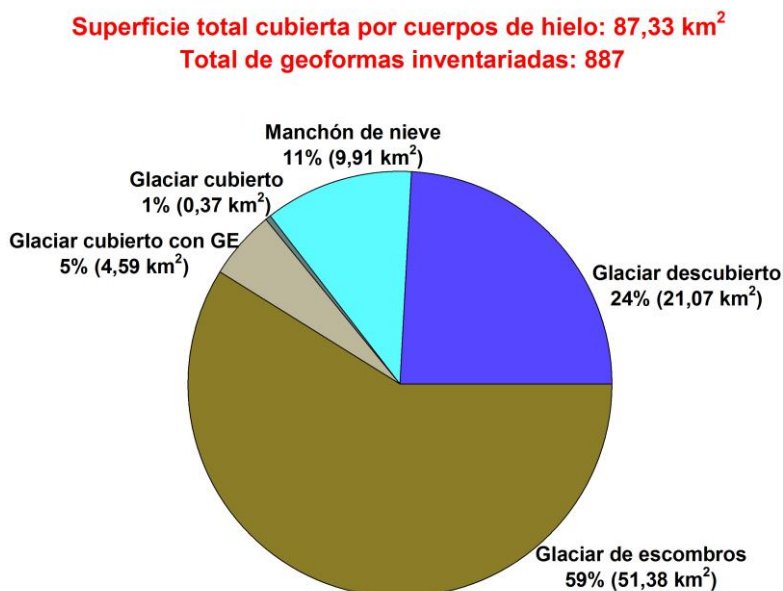


Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Castaño.

Los análisis de la orientación media (Figura 11) de los cuerpos inventariados en la subcuenca del río Castaño, muestran que la orientación predominante es hacia el sureste. Esto se repite en casi todas las subcuencas que han sido inventariadas, coincidiendo con que estas laderas de exposición predominantemente sur son las de menor insolación en el Hemisferio Sur. Al ser menos expuestas a la radiación solar son más frías que las laderas que miran al norte, manteniendo por períodos más prolongados la nieve del invierno y favoreciendo los procesos que dan origen a los glaciares y crioformas.

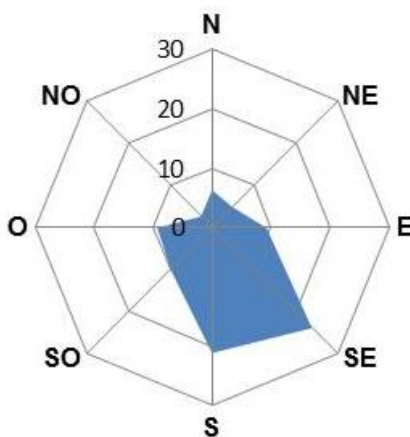


Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Castaño.

En la Figura 12 podemos observar que más de la mitad de las geoformas inventariadas tienen un área comprendida entre 0,01 y 0,05 km². Los glaciares mayores a 0,5 km² son menos frecuentes, pero ocupan mayores superficies.

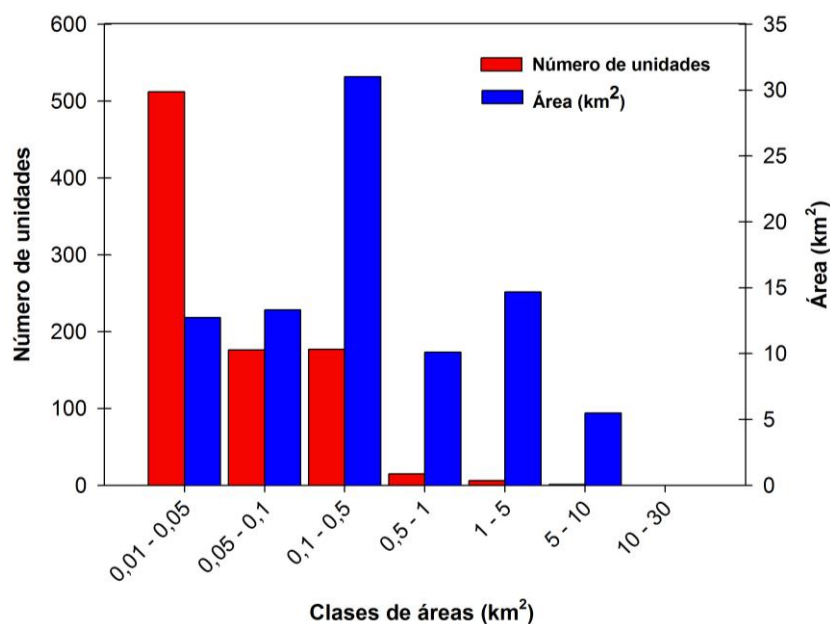


Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Castaño.

Se puede observar en la Figura 13 que los glaciares descubiertos y los manchones de nieve ocupan los rangos altitudinales mayores, superando los 6.000 msnm en algunos casos. Esto es debido a la presencia de montañas de gran altitud en esta subcuenca.

Por debajo de los 5.000 msnm empiezan a aparecer el resto de geoformas, glaciares cubiertos y glaciares de escombros. En el caso de los glaciares de escombros, las menores altitudes a las que llegan estos cuerpos se deben a la presencia de geoformas inactivas, las cuales se distribuyen en un rango altitudinal inferior al de los glaciares de escombros activos, que en esta subcuenca llegan hasta los 3.295 msnm.

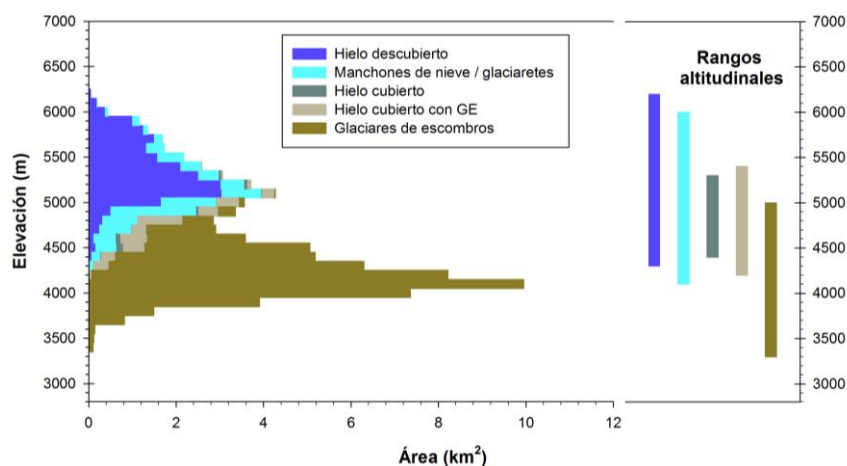


Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Castaño.

Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del río Castaño.

Tipo de geoforma inventariada	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	4.290	6.158
Manchones de nieve/glaciaretos	4.035	6.013
Glaciar cubierto	4.415	5.297
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	4.154	5.410
Glaciar de escombros	3.295	5.037

5.2. Control de campo

En primer lugar agradecemos a la Secretaría de Ambiente de San Juan, por su colaboración en la logística de las campañas realizadas en la provincia dentro del marco del Inventario Nacional de Glaciares.

También al INGEO de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, por su apoyo y colaboración en las campañas realizadas en la provincia de San Juan.

El trabajo de campo para la subcuenca del río Castaño fue realizado a finales de Abril del año 2014 en las nacientes de los cursos de agua que dan origen al río Cerrado. Se eligió esta zona por ser una de las más accesibles del lugar, ya que cuenta con una red de caminos de uso minero que facilitan el acceso a las geoformas inventariadas.

Para acceder al lugar, se remontó el valle del río Calingasta utilizando el camino que se dirige al proyecto minero “Los Azules”. El camino recorre la cuenca del río Calingasta hasta atravesar la divisoria de aguas en la parte más alta para acceder luego a la cuenca del río Castaño (Figura 14).



Figura 14: Camino de acceso a las nacientes del río Cerrado en la Subcuenca del río Castaño.

En total se observaron en el campo 15 geoformas (para tener mayor detalle ver anexo 7.2. donde se describen algunas de las geoformas visitadas en el trabajo de campo) que fueron comparadas con la cartografía realizada en gabinete. De las geoformas visitadas el número más importante correspondió a glaciares de escombros activos. El trabajo reveló una alta correspondencia entre las geoformas observadas en el terreno y las identificadas a través de métodos indirectos (imágenes satelitales). En el caso de la identificación de geoformas glaciares y periglaciales se obtuvo un 93% de coincidencias y un 87% en la clasificación. En cuanto a la clasificación, el error observado se relacionó con clasificar en el gabinete como activos algunos sectores de glaciares de escombros con características inactivas. En la identificación se incluyó un glaciar de escombros inactivo que luego en el campo fue considerado como fósil, por lo que no fue incorporado en el inventario. Estas diferencias observadas en el terreno fueron corregidas posteriormente en gabinete.

6. Bibliografía

- Arenson, L. y Jakob, M. 2010. The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes – A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: p. 286 - 288.
- Azócar, G.F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: p. 42 - 53.
- Barsch, D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *Third International Conference on Permafrost, Ottawa, Canada. Proceedings*, 1: p. 349-353.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, Berlin: 331 pp.
- Benn, D.I. y Evans, D.J.A 1998. *Glaciers and glaciation*. London, Arnold.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16: p. 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: p. 54 - 66.
- Buk, E. 1983. Glaciares de Escombros y su Significación Hidrológica. *Acta Geocriogénica*, Mendoza, 1: p. 22-38.
- Buk, E. 2002. Hidrología de ambientes periglaciales Cuenca morenas Coloradas-Vallecitos, Cordón del Plata, Cordillera Fontal, Mendoza. En: IANIGLA, 30 años de Investigación básica y aplicada en ciencias Ambientales. Trombotto, D. y Villalba, R. (Ed.), Zeta Editores., Mendoza, Argentina: p.73-76.
- Cogley, J.G., Hock, R., Rasmussen, L.A., Arendt, A.A., Bauder, A., Braithwaite, R.J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson L. y Zemp, M. 2011. Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.
- Corte, A. 1976. Rock glaciers. *Biuletyn Peryglacjalny*, 26: p. 175-197.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology*, 17: p.157-158.
- Corte, A. y Espizúa, L.E. 1981. *Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza*. IANIGLA-CONICET, Mendoza; 64 pp.

Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P. y Villalba R. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS.

Espizúa, L.E. 1983. Glacier and moraine inventory on the eastern slopes of Cordón del Plata and Cordón del Portillo, Central Andes, Argentina. INQUA Symposia on the genesis and lithology of Quaternary deposits. USA, Argentina. 1981-1982. A. Balkema: p. 381-395.

Espizúa, L.E. 1983. Diferencia altitudinal entre el límite inferior de los glaciares de escombros activos, entre laderas norte y sur, de los Cordones del Plata y Portillo, Provincia de Mendoza. Actas de la primera reunión del Grupo Periglacial Argentino. IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina, 1: p. 79-87.

Espizúa, L.E. 1986. Fluctuations of the río del Plomo Glaciers. *Geografiska Annaler*, 68A (4): p. 317-327.

Espizúa, L.E. y Bengochea, J.D. 1990. Surge of Grande del Nevado Glacier (Mendoza, Argentina), in 1984: Its Evolution Through Satellite Images. *Geografiska Annaler*. 72A (3-4): p. 255-259.

Espizúa, L.E. y Maldonado G. 2007. Glacier variations in the Central Andes (Mendoza province, Argentina) from 1896 to 2005. En: Environmental change and rational water use. Scarpati, O. and Jones, A. (Ed.), Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires: p. 353-366.

Espizúa, L.E. y Pitte, P. 2009. The Little Ice Age advance in the Central Andes (35° S), Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4): p. 345-350.

Ferri, L. y Espizúa, L.E. 2010. A new surge event of Grande del Nevado glacier, Mendoza. International Glaciological Conference. Ice and Climate Change: A view from the South. Valdivia, Chile, 1- 3 February 2010. Abstract Book. Centro de Estudios Científicos: p. 37.

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

Gargantini, H. 2008. Fluctuaciones de los glaciares de la cuenca del Tunuyán Sur. Tesis de grado de Licenciatura en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina: p. 55.

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

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

Helbling, R. 1919. Beiträge zur Topographischen Erschliessung der Cordilleras de los Andes zwischen Aconcagua und Tupungato: Sonderabdruck aus dem XXIII Jahresbericht des Akademischen Alpenclub. Zürich 1918.

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

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

INGEO-UNSJ. 2010. Relevamiento inicial de los glaciares de San Juan. Informe final. Instituto de Geología, Universidad Nacional de San Juan. 88 p.

INGEO-UNSJ 2012-2014. Inventario de glaciares cuenca del río San Juan. Convenio: Gobierno de la Provincia de San Juan-Universidad Nacional de San Juan.

Leiva, J.C. 2006. Assesment Climate Change Impacts on the Water Resources at the Northern Oases of Mendoza Province, Argentine. En: *Global Change in Mountain Regions*. Price, M. (Ed.), Sapiens Publishing, Wiltshire, Gran Bretaña: p. 81-83.

Lliboutry, L. 1999. Glaciers of Chile and Argentina. Satellite image atlas of glaciers of the world. South America. R.S. Williams y J.G. Ferrigno. Denver, USA, USGS. 1386-I.

Llorens, R. y Leiva, J.C. 1995. Glaciological Studies in the High Central Andes Through Digital Processing of Satellite Images. *Mountain Research and Development*, Vol. 15, No. 4, 1995: p. 323 - 330.

Masiokas, M.H., Rivera, A., Espizúa, L.E., Villalba, R., Delgado, S. y Aravena, J.C. 2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (3-4): p. 242-268.

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

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

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

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

- Stokes, C. R., Popovnin, V., Aleynikov, A., Gurney, S. D. y Shahgedanova, M. 2007. Recent glacier retreat in Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra-proglacial lake development. *Annals of Glaciology*, 46: p. 95-213.
- Travassos, Menezes J., Chaves Stael, G. & Trombotto Liaudat, D. 2008. Detection of degraded mountain permafrost with the help of GPR profiling at Mesón San Juan, Mendoza, Argentina. *Revista Brasileira de Geofísica (RBGf)*, 26 (4): p. 519-526.
- Trombotto, D. 1988. Geocryogenic Geomorphology, East Flank of the Andes Mendoza, at 33 S.L.". Vth International Conference on Permafrost, Trondheim, Proceedings, Vol. 1: p. 263-267, Noruega.
- Trombotto, D. 1991. Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentinie. ("Investigaciones sobre geoformas y sedimentos periglaciales en la 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentina"). *Heidelberger Geographische Arbeiten*, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg, Alemania (ver en www.geog.uni-heidelberg.de/hga).
- Trombotto, D., Buk., E. y Hernández, J. 1997. Monitoring of Mountain Permafrost in the Central Andes, Argentina. *Permafrost and Periglacial Processes*, Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK. Vol. 8: p. 123 –129.
- Trombotto, D., Travassos, J y Stael, G. 2008. Detection of Degradated Mountain Permafrost with the Help of GPR Profiling at Mesón San Juan, Mendoza, Argentina. Ninth International Conference on Permafrost, Extended abstracts. University of Alaska, Fairbanks.
- Tucker, C.J. et al. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70(3): p. 313-322.
- UNESCO-IASH. 1970. Perennial ice and snow masses. A guide for compilation and assemblage of data for a world inventory. Technical papers in hydrology 1. UNESCO. France. 56 pp.
- WGMS. 1967. Fluctuations of glaciers 1959-1965, Vol. I. IAHS (ICSU)/UNEP/UNESCO. Paris. 52 pp.
- WGMS, 2007. Global Glacier Changes: Facts and Figures, World Glacier Monitoring Services, United Nations Environmental Programme, Geneva.
- Williams, R.S. y Ferrigno, J.G. (eds.) 1999. Satellite Image Atlas of Glaciers of the World – South America. USGS Professional Paper 1386-I.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Brenning, A. y Trombotto, D. 2006. "Logistic regression modelling of rock glacier and glacier distribution: Topographic and climatic controls in the semi-arid Andes". *Geomorphology*, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 81: p. 141-154.
- Castro, M. y Trombotto D. 2010. The rockglaciers of the Cordillera del Tigre, Mendoza, Argentina. *International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS. Abstract Book*: p. 40.
- Castro, M. 2010. "Mapeo de crioformas y ambiente periglacial en la Cordillera del Tigre, Mendoza, Argentina. Seminario de la Tecnicatura Universitaria en Sistemas de Información Geográfica, Cartografía y Teledetección (Geografía, Universidad Nacional de Cuyo), Mendoza: 55 pp.
- Cobos, D. 1983. Inventario de glaciares de la cuenca del río Atuel. IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina: 29 pp.
- Cobos, D. 1985. Inventario de los cuerpos de hielo en la cuenca del río Malargüe, Provincia de Mendoza, República Argentina. Bases para un racional manejo de los recursos naturales en ecosistemas desérticos. IANIGLA-CONICET: p. 20.
- Corte, A. 1953. Contribución a la morfología periglacial de la alta cordillera con especial mención del aspecto criopedológico. *Anales del Departamento de Investigaciones Científicas*, Tomo 1, (2): p.1-54.
- Corte, A. 1978. Rock glaciers as permafrost bodies with debris cover an active layer. A hydrological approach, Andes de Mendoza, Argentina. *Proceedings, Third International Conference on Permafrost*, 1: p. 263-269.
- Espizúa, L.E., Pitte, P. y Ferri, L. 2008. Horcones Inferior. Glacier surge (AR5006). p. 43. *Fluctuations of Glaciers 2000-20005. Vol. IXI ICSU (FAGS) – IUGG (IACS) – UNEP-UNESCO – WGMS. Compiled for the WGMS. Suiza.*
- Leiva, J.C., Lenzano, L.E., Cabrera, G.A. y Suarez, J.A. 1989. Variations of the Rio Plomo glaciers, Andes Centrales Argentinos. En: *Glacier Fluctuations and Climatic Change*. Oerlemans, J. (Ed.), Kluwer Academic Publishers, dordrecht, HOLANDA: p. 143 – 151.
- Leiva, J.C., Cabrera, G.A. y Lenzano, L.E. 2007. 20 years of mass balances on the Piloto glacier, Las Cuevas river basin, Mendoza, Argentina. *Global and Planetary Change* (2007), 59: p. 10 – 16.
- Lenzano, M. G., Leiva, J. C. y Lenzano, L.E. 2010. Recent variation of the Las Vacas Glacier Mt. Aconcagua region, Central Andes, Argentina, based on ASTER stereoscopic images. *Advanced in Geosciences. EGU (European Geoscience Union), Vol. 8: p. 1-5.*

Lenzano, M. G., Leiva, J. C., Trombotto, D. y Lenzano, L.E. 2011. Satellite images and geodetic measurements applied to the monitoring of the Horcones Inferior Glacier, Mendoza, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas*, Geoacta 36: p. 13-25.

Post, A. 1969. Distribution of surging glaciers in western North America. *J. Glac.*, 8 (53): p. 229-240.

Trombotto, D., Lenzano, L.E. y Bruce, R. 1984. Estudios Periglaciales (Geocriogénicos) en la Lagunita del Plata. Segunda Reunión del Grupo Periglacial Argentino, San Juan, Acta Geocriogénica, Mendoza, Nr. 2: p. 232-245.

Trombotto, D., Buk, E. y Hernández, J. 1999. Rock glaciers in the Southern Central Andes (appr. 33° S.L.), Mendoza, Argentina: a review. *Bamberger Geographische, Schriften Selbstverlag des Fachs Geographie an der Universität Bamberg, Alemania*, 19: p. 145-173.

Trombotto, D. 2003. Mapping of permafrost and the periglacial environments, Cordón del Plata, Argentina. Eighth International Conference on Permafrost, ICOP, Zürich, Suiza.

Trombotto, D. 2007. Profundización del tope de permafrost y tendencias en la dinámica criogénica, a partir de 1989, en el glaciar de escombros compuesto del valle de Morenas Coloradas, Mendoza, Argentina. *Boletín Geográfico, Neuquén*, Año XXIX, Nr. 30: p. 71-83.

Trombotto, D. y Borzotta, E. 2009. Indicators of present global warming through changes in active layer-thickness, estimation of thermal diffusivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rock glacier, Central Andes of Mendoza, Dry Andes, Argentina. *Cold Regions Science and Technology*, Elsevier, The Netherlands, 55: p. 321-330.

Trombotto, D., Penas, P. y Blöthe, J. 2009. Análisis térmico inicial de la caldera y cumbre del complejo volcánico Peteroa, Mendoza – Argentina. *T J.H. Acta de Resúmenes*: p. 126-128.

Trombotto, D. y Alonso, V. 2010. Maqueta del mapa geomorfológico del entorno de la Laguna del Diamante (Andes Centrales, Argentina). XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén 2011. Sesión Especial: Ciencias de la Criósfera.

Trombotto, D., Lenzano, M.G. y Castro, M. 2012. Inventory and monitoring of cryoforms and cryogenic processes in the Central Andes of Mendoza, Argentina: birth and extinction of a periglacial lake. Tenth International Conference on Permafrost, Proceedings, Salekhard, Russia, Vol 1: p. 419-424.

Unger, C., Espizúa, L. E., y Bottero, R. 2000. Untersuchung von Gletscherständen im Tal des Río Mendoza (zentralargentinische Anden) – Kartierung eines Surge-Vorsosses des Horcones Inferior. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*. Universitätsverlag Wagner – Innsbruck. Band 36, S: p. 151-157.

Zemp, M., Zumbühl, H.J., Nussbaumer, S.U., Masiokas, M.H., Espizúa, L.E. y Pitte, P. 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 la subcuenca del río Castaño

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del río Castaño, cuenca del río San Juan.

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

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

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

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52330812011033CUB00	02 febrero 2011	Base georreferenciación
LT52330822011033CUB00	02 febrero 2011	Base georreferenciación
LT52330812009123COA01	05 marzo 2009	Apoyo en la identificación de Manchones de nieve perennes

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

Sensor: AVNIR (Advance Visible and Near Infrared Radiometer)

Resolución espacial: 10 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
AV2AD430423001B2	14 abril 2010	Base inventario
AV2AD430422001B2	14 abril 2010	Base inventario
AV2AD431421001B2	17 diciembre 2010	Base inventario
AV2AD431422001B2	17 diciembre 2010	Base inventario

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

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

Resolución espacial: 2,5 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALOS PSM F D4304170-1 1B2	14 abril 2010	Apoyo en la digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALOS PSM B D4314265 0 1B2	19 marzo 2011	Apoyo en la digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALOS PSM B D4314275 0 1B2	19 marzo 2011	Apoyo en la digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALOS PSM B D4314280 0 1B2	19 marzo 2011	Apoyo en la digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALOS PSM N D4304225 0 1B2	30 noviembre 2010	Apoyo en la digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros

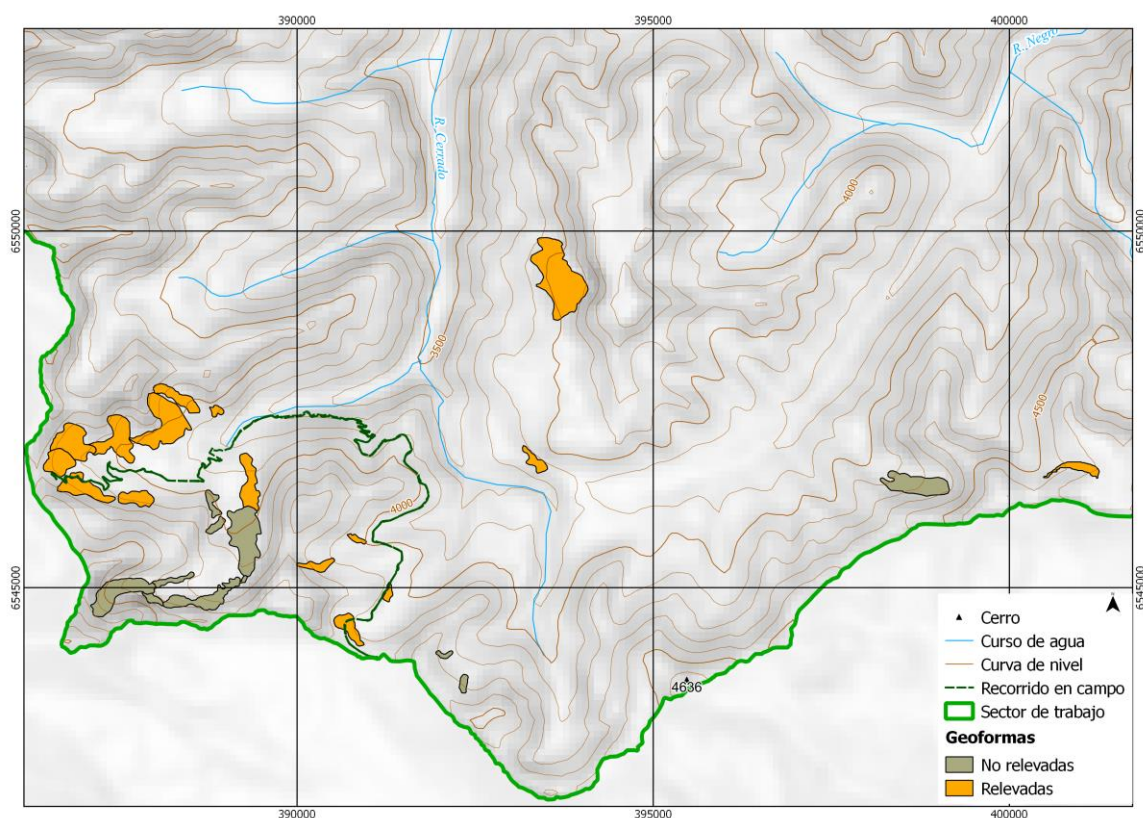
7.2. Control de campo en la subcuenca del río Castaño

El control de campo en este sector se realizó a finales del mes de Abril del 2014. Para realizar esta campaña se contó con el apoyo de la Secretaría de Ambiente de la Provincia de San Juan en la logística, tanto en la planificación como en la gestión de los permisos de circulación por los caminos mineros de montaña.

7.2.1 Objetivos

Los objetivos de la campaña fueron:

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



Glaciares relevados en el terreno. Sector de la subcuenca del río Castaño.

7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

Geoforma G701784O312124S

Glaciar de escombros activo. Se pudo observar desde lejos este cuerpo congelado. Nótese el detalle del talud de la geoforma.



Geoforma G701863O312111S

Unidad compuesta por un glaciar de escombros activo y otro inactivo. La parte superior de este glaciar de escombros presenta signos de actividad mientras que la parte inferior signos de inactividad. Entre estas dos partes se encuentra el camino de servidumbre minera para el proyecto “Los Azules” que atraviesa el talud frontal de la parte activa de la geoforma. En el terreno se pudieron corroborar estas dos partes midiendo las pendientes de los frentes de las partes. En la parte activa el talud presenta una inclinación de unos 38° , mientras que en la parte inactiva una inclinación de no más de 30° .





Geoforma G701898O312078S

Glaciar de escombros inactivo. En el terreno se corroboró el estado inactivo de esta geoforma. En su superficie se observa que el material detrítico está bastante estable debido a la inactividad de la misma. Además el talud frontal tiene una inclinación menor a los 35°.



Geoforma G701665O312015S

Glaciar de escombros activo de forma coalescente. Se observa un talud de gran inclinación. Además se pueden ver bloques de mayor tamaño en su superficie.



Geoforma G701811O312049S

Glaciar de escombros activo. En la parte de mayor inclinación de sus taludes presenta aproximadamente 40° de pendiente. En la parte más baja de su lengua principal se observan algunos signos de inactividad que quedan reclusos a pequeños sectores de la geoforma.



Geoforma G701877O312053S

Glaciar de escombros activo. Se observa un gran talud con una inclinación mayor a los 35°. Se encuentra en contacto con la geoforma G701811O312049S.



Geoforma G701721O311998S

Glaciar de escombros activo. Se alcanzó a observar desde lejos. Comparten la misma zona de alimentación que la geoforma G701742O312029S.



Geoforma G701742O312029S

En la fotografía se puede observar que esta geoforma presenta algunas características de inactividad en algunos taludes que se encuentran por debajo de los activos. Este cuerpo de hielo fue clasificado como activo debido a que la mayor parte del mismo tiene características de GE activo. En su talud SO la inclinación del mismo llega a ser mayor a los 40°. Véase detalle en la siguiente imagen.



Detalle del talud de la geoforma G701742O312029S

Geoforma G701414O312248S

Glaciar de escombros inactivo. Se encuentra atravesado por el camino de servidumbre minera en sus raíces. Los taludes de esta geoforma se encuentran muy deprimidos con inclinaciones menores a los 35°.



Detalle del camino que atraviesa a la geoforma G701414O312248S

Geoforma G701518O312212S

Esta geoforma estaba mapeada y clasificada como glaciar de escombros activo. Se pudo observar que la misma corresponde por sus características (talud y superficie más suaves y estables) a un glaciar de escombros inactivo por lo que luego del control de campo la misma fue reclasificada en la nueva categoría.



Geoforma G701458O312180S

Glaciar de escombros fósil. Esta geoforma estaba mapeada como glaciar de escombros inactivo. Luego de la observación en el campo se clasificó como fósil, por lo que no va a ser incluida en el inventario. Su relieve se encuentra muy deprimido y suavizado.



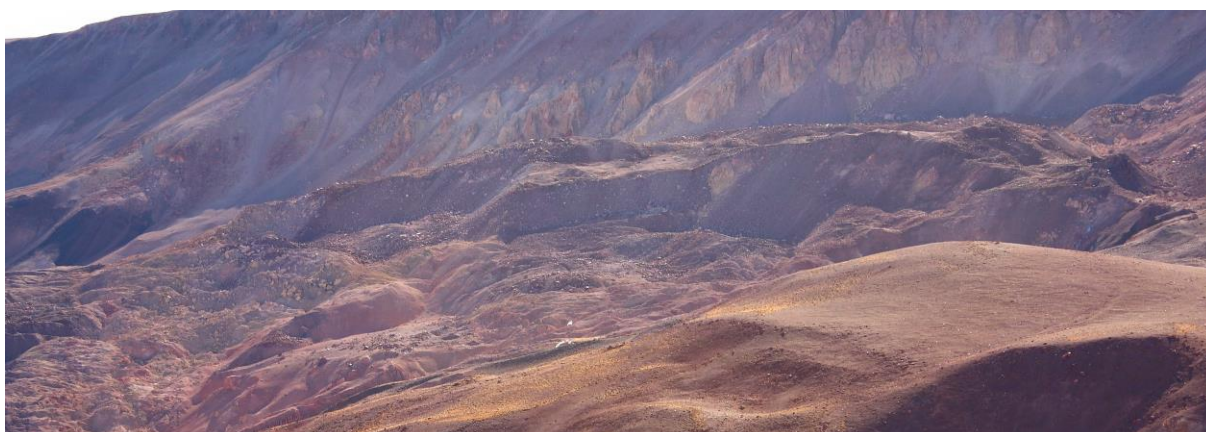
Geoforma G701484O312282S

Esta geoforma estaba mapeada como una gran glaciar de escombros inactivo. En el campo se observó que gran parte de ella no tenía las características propias de los glaciares de escombros por lo que se redujo considerablemente el área abarcando solamente zonas arriba del camino cercanas a las raíces.



Geoforma G701158O311851S

Glaciar de escombros activo. Se corroboró en el campo esta geoforma. Obsérvese el gran talud frontal que presenta la misma. La inclinación de este es de aproximadamente 40°.



Geoforma G701197O312086S

Glaciar de escombros activo e inactivo. Inicialmente esta geoforma estaba mapeada como un glaciar de escombros activo en su totalidad. Luego del control de campo se clasificó la parte más baja como inactiva quedando el mismo como una unidad con una parte activa y otra inactiva.



Geoforma G701617O312108S

Glaciar de escombros inactivo. Se observó desde lejos esta geoforma. Se pueden ver en ella características propias de los glaciares de escombros inactivos como taludes con pendientes suavizadas y superficies que no presentan indicadores de movimiento evidente.



Geoforma G700395O312098S

Pequeño glaciar descubierto. Se pudo ver a lo lejos esta geoforma corroborando las características de su forma. El mismo se encuentra limitado en una zona cóncava de la parte alta de la ladera que lo contiene.



7.3. Descripción de la base de datos

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

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

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

M0550000

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8. **Nombre común:** si lo hubiere.

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

0. Incierto

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

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

10. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta

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

11. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

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

14. Actividad de la Lengua

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

15. Morena_1

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

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

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

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

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

22. Estructura II

0. Incierto

1. Una raíz: una única fuente de alimentación.

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

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

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

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

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

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

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

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

30. **Pendiente:** (Se expresa en grados).

31. **Orientación:** Correspondiente a los 8 puntos cardinales.

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

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

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

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

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

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

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



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



CONICET

U. N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del río Castaño, cuenca del río San Juan, provincia de San Juan.

