



**Informe de la subcuenca  
del río de la Palca  
Cuenca del río Jáchal**



**INVENTARIO  
NACIONAL  
DE GLACIARES**

IANIGLA  
CONICET

U. N. CUYO  
GOBIERNO  
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sustentable  
Presidencia de la Nación

**Provincia de San Juan**

*Glaciar Potrerillos, subcuenca río de la Palca (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. Pierre Pitte

Profesionales: Lic. Lidia Ferri Hidalgo y Téc. Mariano Castro

Colaboradores: Lic. Laura Zalazar y Lic. Ivanna Pecker

**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 realizó el Inventario Nacional de Glaciares.

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 .....	9
4.	Materiales y métodos .....	11
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación .....	12
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación .....	12
4.3.	Delimitación del hielo descubierto .....	15
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros .....	16
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas .....	16
4.6.	Control de campo .....	18
5.	Resultados .....	19
5.1.	Subcuenca del río de la Palca .....	19
5.2.	Resultados del trabajo de campo .....	23
6.	Bibliografía .....	25
7.	Anexos .....	27
7.1.	Imágenes satelitales .....	27
7.2.	Control de campo .....	29
7.2.1.	Objetivos .....	29
7.2.2.	Logística .....	29
7.2.3.	Resultados .....	31
7.3.	Descripción de la base de datos .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Detalle de hielo glaciar estratificado (capas anuales) y con sedimentos (materiales finos y bloques) en el Glaciar Canito (foto 1 abril 2014).....	4
Figura 2: Balance de masa acumulado de 3 glaciares en la cuenca del río Jáchal (Cabrera y Leiva 2012; Cabrera y Leiva 2012).....	7
Figura 3: Retroceso de 4 glaciares en la cuenca del río Jáchal (Pitte <i>et al.</i> 2009; Pitte 2014)...	7
Figura 4: Mapa de ubicación de las subcuencas del río Jáchal. ....	11
Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología empleada. ....	14
Figura 6: Clasificación de hielo descubierto mediante digitalización manual a) Sector del Monte Pissis de la escena original ALOS-AVNIR 2 del 28-04-2009. b) Detalle del glaciar noroeste con la digitalización inicial. c) Mapa de inventario con la clasificación del hielo descubierto e información topográfica. ....	15
Figura 7: Mapa del inventario de glaciares. ....	20
Figura 8: Área total por tipo de geoforma. ....	21
Figura 9: Número de unidades por clase de área. ....	22
Figura 10: Orientación de los glaciares. ....	22
Figura 11: Hipsometría de los glaciares. ....	23
Figura 12: Mapa de campo, subcuenca del río de las Taguas. ....	31
Figura 13: Mapa de campo, subcuenca río del Cura. ....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de la subcuenca del río de la Palca (ver anexo 7.1. para mayor información). ....	13
Tabla 2: Área de los glaciares. ....	21
Tabla 3: Altura máxima y mínima por tipo de geoforma. ....	23

## **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: Programa de satélites de observación terrestre

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

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 km<sup>2</sup> 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 geofomas periglaciales (también llamadas criofomas) 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 criofomas tienen una contribución muy importante al caudal de los ríos andinos ya que aportan volúmenes significativos de agua de deshielo a la esorrentía ayudando a minimizar los impactos de las sequías en las actividades socio-económicas de los oasis de regadío. Por ello, la información detallada sobre el número, área y distribución espacial de los cuerpos de hielo no sólo brinda una estimación de las reservas hídricas en estado sólido existentes en las diferentes cuencas andinas, sino también información básica para conocer la capacidad reguladora de dichos cuerpos sobre los caudales de nuestros ríos en condiciones climáticas extremas.

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

durante todo el año. En la provincia de Mendoza, los glaciares colgantes de la pared sur del Cerro Aconcagua y los glaciares Horcones Superior, Horcones Inferior y de los Polacos son los glaciares más conocidos. Miles de visitantes llegan cada año al Parque Provincial Aconcagua para escalar o simplemente admirar estas imponentes moles de roca y hielo.

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

Por otra parte, los 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).

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

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

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

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

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

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

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

El presente informe del Inventario Nacional del Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1, donde se describen los resultados del inventario de glaciares de la subcuenca del río de la Palca, que forma parte de la cuenca del río Jáchal ubicada en la provincia de San Juan, en la región de los Andes Áridos. En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares en la subcuenca del río de la Palca fue elaborado en noviembre 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.



**Figura 1: Detalle de hielo glaciar estratificado (capas anuales) y con sedimentos (materiales finos y bloques) en el Glaciar Canito (foto 1 abril 2014).**

Agradecemos al Lic. Raúl Tello, Secretario de Estado de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de San Juan, por gestionar los permisos de acceso a la zona y facilitar las gestiones en la Provincia de San Juan para realizar el trabajo de campo. Queremos agradecer a los Sres. José Luis Fornés, y al Sr Ivan Ortiz, por su colaboración con el trabajo de campaña. También queremos agradecer al Sr. Silvio Andino, por colaborar con su experiencia en seguridad de montaña y su buena voluntad durante el trabajo en el Cordón Ortigas.

Queremos agradecer a la Ing. Zulma Mena y al Ing. Omar del Castillo, de la Universidad Nacional de San Juan, con quienes tenemos una colaboración exitosa desde el año 2012.

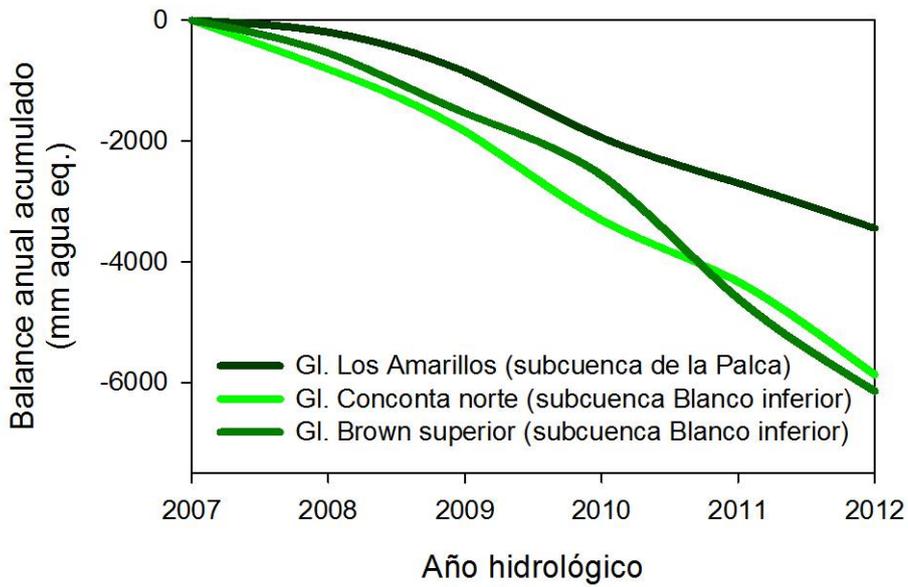
## 2. Antecedentes

Existen pocos estudios específicos de glaciares en la cuenca del río Jáchal, aunque desde 2005 se han publicado distintos trabajos incluyendo dos inventarios.

El primer estudio detallado se realizó para las subcuencas Los Amarillos, Turbio, Canito y Potrerillos en la subcuenca del río de la Palca (Espizua *et al.* 2006). Luego se publicaron inventarios preliminares de en las zonas de cerro el Potro (Perucca y Esper Angillieri 2008) y Nevado de Colanguil (Esper Angillieri 2009), donde se documentó la presencia de glaciares, manchones de nieve y glaciares de escombros por encima de los 3.500 msnm.

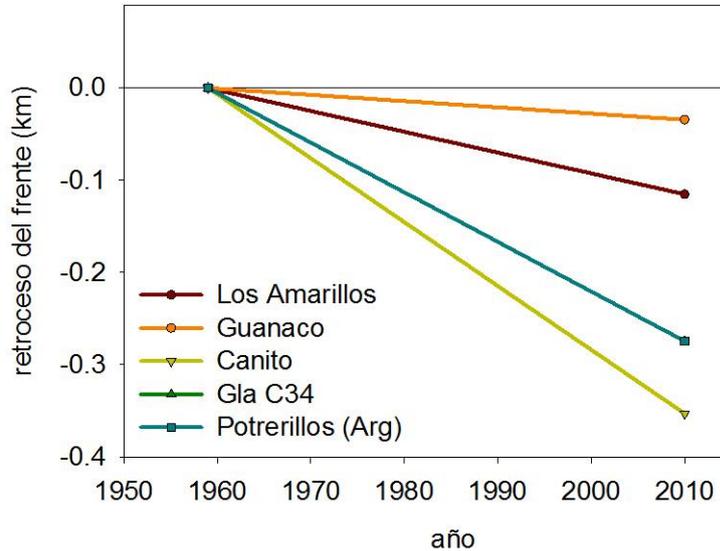
En 2010 la Secretaría de Estado de Minería de la Provincia de San Juan encargó al Instituto de Geología de la Universidad Nacional de San Juan (INGEO-UNSJ) la realización del inventario de glaciares de la provincia, en el que se mapeó únicamente el hielo descubierto (INGEO-UNSJ 2010). Tres años más tarde el gobierno provincial encargó la realización de un nuevo inventario a la UNSJ. En esta oportunidad el territorio fue dividido en dos sectores. La cuenca del río San Juan fue estudiada por el INGEO-UNSJ, mientras que la cuenca del río Jáchal fue relevada por el Instituto de Investigaciones Hidráulicas (IDIH-UNSJ). La zona inventariada incluyó únicamente los glaciares de la provincia de San Juan, es decir que se excluyó la parte de la cuenca ubicada en las Provincias de La Rioja y Catamarca.

Por otra parte, en la cuenca del río Jáchal se están realizando estudios de balance de masa en los glaciares: los Amarillos, Brown superior y Conconta norte (Cabrera y Leiva 2012; Cabrera y Leiva 2012). El objetivo de estas mediciones es conocer la variación de la masa (cantidad de hielo) de un glaciar a lo largo del tiempo. El balance de masa permite estudiar la relación entre el comportamiento de los glaciares y el clima, así como cuantificar la contribución hidrológica de los glaciares a la escorrentía regional. El método clásico, llamado glaciológico, consiste en realizar mediciones de campo en la superficie del glaciar. Para ello se mide la acumulación de nieve al final del invierno y el derretimiento de nieve y hielo al final del verano. Los resultados se expresan en mm de agua equivalente, es decir como una variación promedio en toda la superficie del glaciar. Los glaciares estudiados en la cuenca del Jáchal han tenido balances de masa anuales persistentemente negativos, con pérdidas totales de entre -3,5 y -6,2 m de agua equivalente para el período 2007-2012 (Figura 2) (Cabrera y Leiva 2012; Cabrera y Leiva 2012).



**Figura 2: Balance de masa acumulado de 3 glaciares en la cuenca del río Jáchal (Cabrera y Leiva 2012; Cabrera y Leiva 2012).**

Las variaciones recientes de superficie y largo de algunos glaciares del sector, también han sido estudiadas. La posición del frente de los glaciares ha retrocedido entre 50 y 350 m (Figura 3), y se observó una pérdida de área superior al 30% para el período 1959-2010 (Pitte *et al.* 2009; Pitte 2014).



**Figura 3: Retroceso de 4 glaciares en la cuenca del río Jáchal (Pitte *et al.* 2009; Pitte 2014).**



**Hielo cubierto de sedimentos y pequeño manchón de nieve estacional en el Cordón Ortigas. El hielo cubierto es difícil de detectar con imágenes satelitales y debe estudiarse con métodos de campo. En este caso no llega a la superficie mínima de 1 ha para ser incluido en el inventario (foto 1 abril 2014).**

### 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](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 el inventario de cuerpos de hielo para la subcuenca del río de la Palca.

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

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

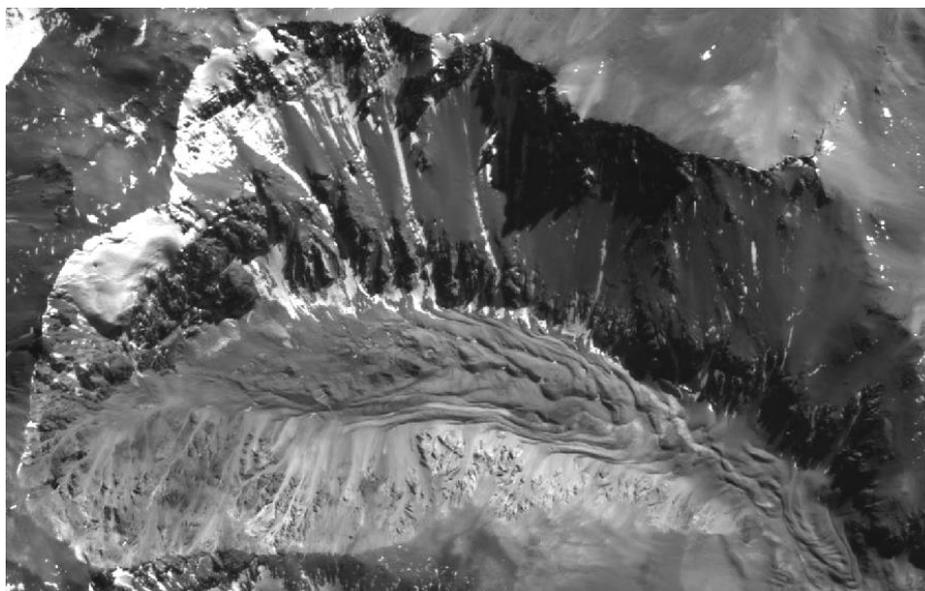
**Glaciar (descubierto y cubierto):** cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve, con o sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no (\*) y de un área mayor o igual que 0,01 km<sup>2</sup> (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 km<sup>2</sup> (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 geformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 2002; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

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



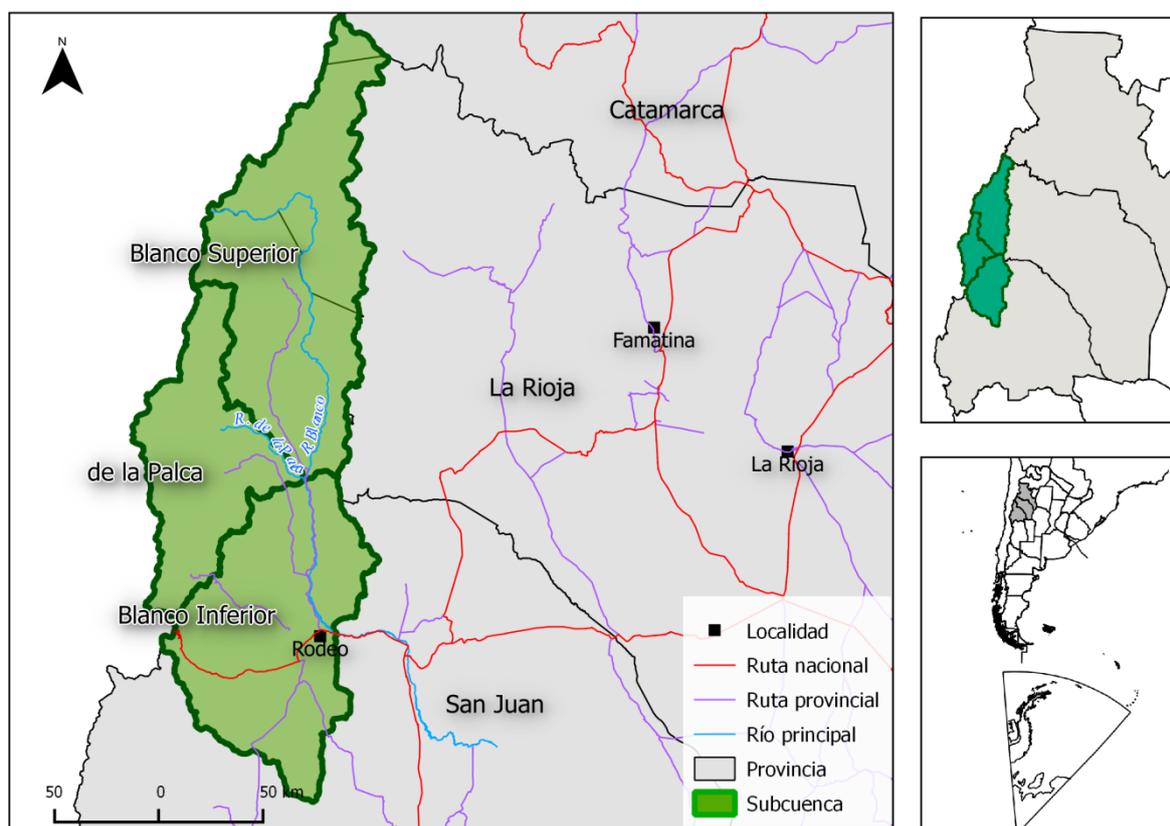
**Circo en la vertiente este del Cordón La Ortiga donde se aprecia un pequeño glaciar de montaña con frente colgante y un glaciar de escombros de 2,5 km de largo. Se trata de una unidad multiraíz que se inicia como un glaciar cubierto, con presencia de *thermokarst*, y luego se transforma en un glaciar de escombros con aportes de gran parte de la ladera sur (ID G698054O292740S y G697909O292782S, imagen ALOS AVNIR del 28 abril 2009).**

## 4. Materiales y métodos

La ejecución del Inventario Nacional de Glaciares sigue las normativas internacionales establecidas por el *World Glacier Monitoring Service* (Müller *et al.* 1977; WGMS 2012) y las normativas del Programa *Global Land Ice Measurements from Space* (Raup *et al.* 2007; Racoviteanu *et al.* 2009).

El presente informe corresponde al Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del río de la Palca, que forma parte de la cuenca del río Jáchal. La cuenca alta del río Jáchal ocupa una superficie de unos 24.662 km<sup>2</sup> y, para el inventario de glaciares, se han considerado las siguientes subcuencas o sectores (Figura 4):

- **Subcuenca río Blanco Superior (10.246 km<sup>2</sup>)**
- **Subcuenca río de la Palca (5.597 km<sup>2</sup>)**
- **Sector río Blanco Inferior (8.819 km<sup>2</sup>)**



**Figura 4: Mapa de ubicación de las subcuencas del río Jáchal.**

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

La delimitación de cuencas hidrográficas se realizó con información proveniente del modelo digital de elevación (MDE) *Shuttle Radar Topography Mission ver. 4* (SRTM v.4), que tiene una cobertura cuasi-global y está disponible en forma libre (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). El SRTM fue generado a partir de datos obtenidos con un radar de apertura sintética, banda C, montado en un transbordador, que realizó las observaciones durante 15 días en febrero del año 2000. La resolución espacial nominal de 3" por 3" representa un píxel de 90 m y se encuentra organizado en subescenas de 5° de latitud por 5° de longitud. El error horizontal es de unos 20 m y el error vertical es de unos 9 m (Farr *et al.* 2007).

El procesamiento del SRTM 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 la subcuencas en base a la imagen, que tiene una mayor resolución espacial. La edición manual de las cuencas fue realizada empleando el programa libre KOSMO (<http://www.opengis.es/>).

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

#### **4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación**

El inventario se realizó empleando imágenes de base del *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER-VNIR) y del *Advanced Land Observing Satellite* ALOS-AVNIR 2 (Tabla 1). Como apoyo se utilizaron otras imágenes ASTER-VNIR, ALOS-PRISM y LANDSAT-5TM. Estas últimas se emplearon como base de georreferenciación ya que han sido procesadas por la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) de manera uniforme a escala global (Tucker *et al.* 2004). Las imágenes de mayor resolución espacial fueron utilizadas para identificar glaciares de escombros y para distinguir glaciares de manchones de nieve.

Las escenas ASTER fueron obtenidas de la base de datos Earthexplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) mediante un convenio del IANIGLA-CONICET con el programa GLIMS. Las imágenes ALOS (AVNIR y PRISM) fueron provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y por la *Japan Aerospace Exploration Agency*. (JAXA) mediante un proyecto con la *Japan International Cooperation Agency* (JICA). Las escenas LANDSAT fueron obtenidas gratuitamente del USGS/*Earth Resources Observation and Science* (EROS).

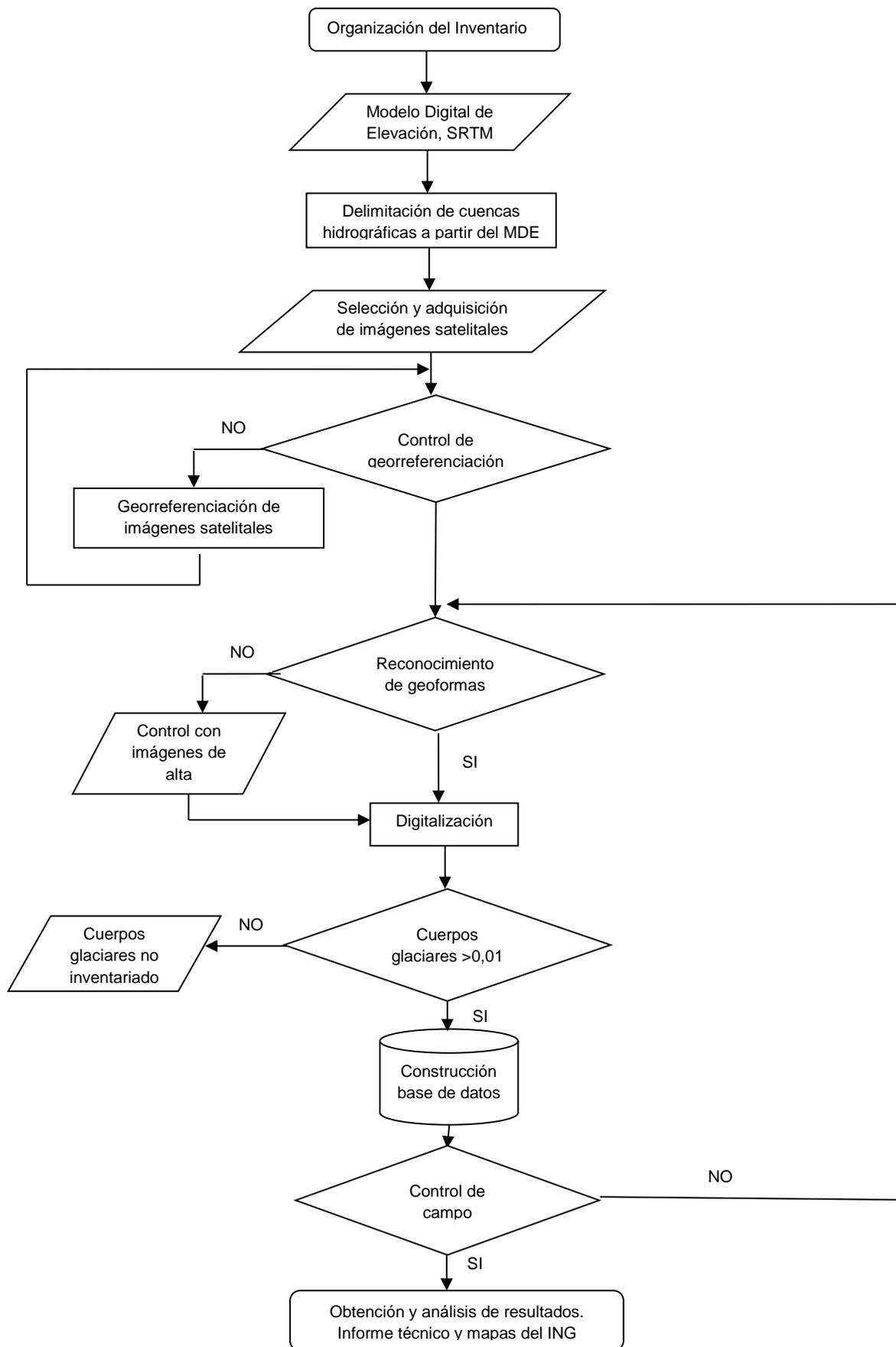
En la selección de imágenes se buscaron las escenas disponibles coincidentes con el fin del año de balance de masa, que en la zona de la cuenca del río Jáchal, corresponde los meses Febrero-Abril. Se priorizaron las escenas con la menor presencia de nieve estacional y con la menor cobertura de nubes posible, ya que ambos factores dificultan la identificación de los glaciares y manchones de nieve perennes.

**Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de la subcuenca del río de la Palca (ver anexo 7.1. para mayor información).**

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
ASTER-VNIR	00302042009145049	04 febrero 2009
ASTER-VNIR	00302042009145058	04 febrero 2009
ASTER-VNIR	00302042009145107	04 febrero 2009
ASTER-VNIR	00304252009145103	25 abril 2009
ASTER-VNIR	00304252009145055	25 abril 2009
ALOS-AVNIR	ALAV2A224864200	14 abril 2010
ALOS-AVNIR	ALAV2A224864210	14 abril 2010

En este trabajo las coordenadas están referidas al sistema de referencia global *World Geodetic System 1984* (WGS 84), y el sistema de proyección es *Universal Transverse Mercator* (UTM), zona 19 sur. Este sistema de referencia y proyección es utilizado internacionalmente, lo que permitirá integrar los resultados obtenidos en el presente trabajo con información de otras regiones del país y del mundo. Las superficies están expresadas en kilómetros cuadrados y como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes están expresadas en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

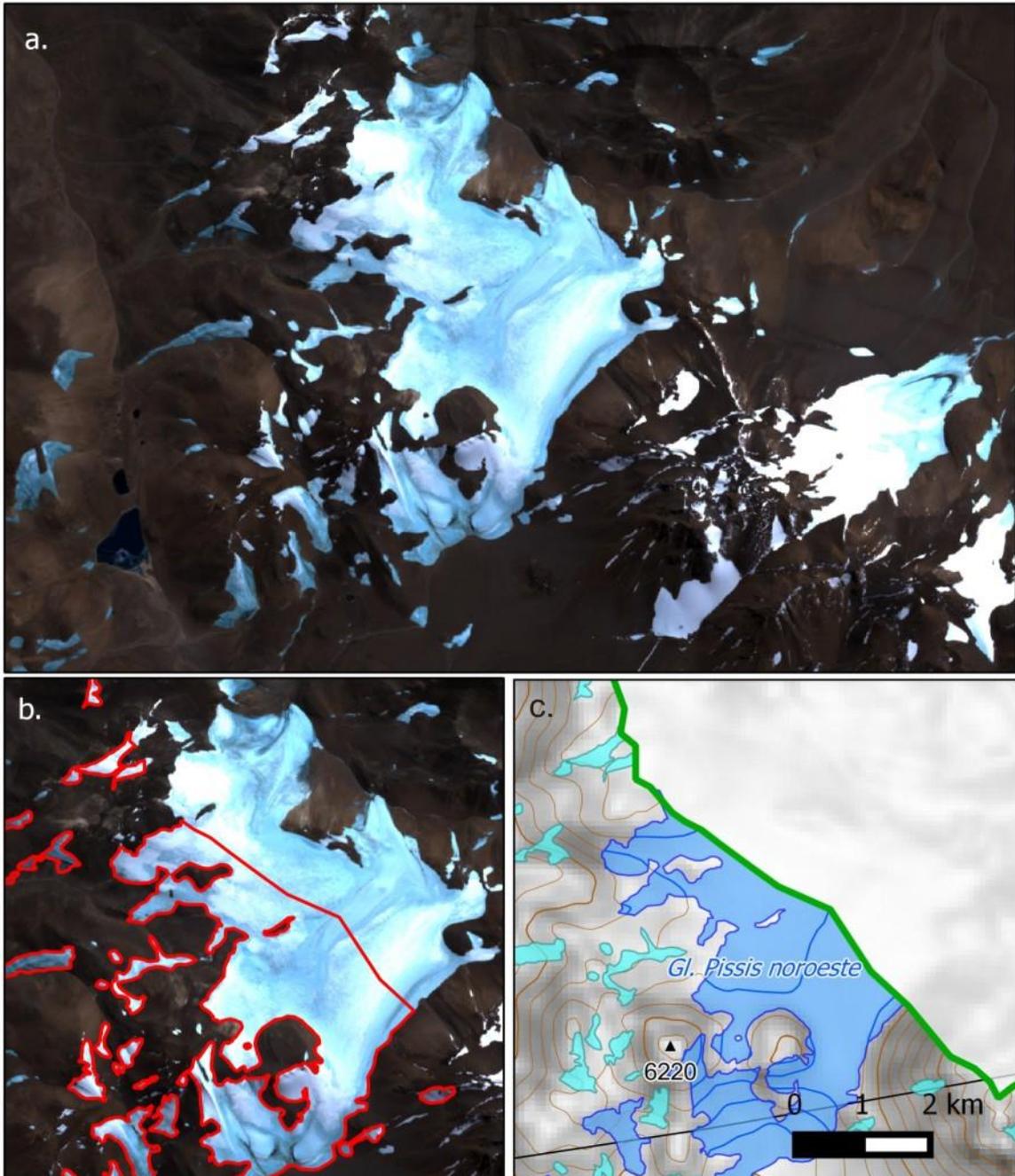
Con respecto a la georreferenciación, se emplearon como base dos escenas LANDSAT 5TM con fecha del 12/02/2009. Las distintas etapas de la metodología utilizada se indican en el diagrama de flujo de la Figura 4.



**Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología empleada.**

### 4.3. Delimitación del hielo descubierto

Las geoformas de hielo descubierto (glaciares y manchones de nieve) fueron digitalizadas manualmente sobre la imagen de base. La Figura 5 ilustra las etapas principales en la identificación y clasificación de hielo descubierto. La información derivada de la imagen se combina con la información derivada del modelo de elevación SRTM para obtener el mapa final de inventario.



**Figura 6: Clasificación de hielo descubierto mediante digitalización manual a) Sector del Monte Pissis en una escena ALOS-AVNIR 2. b) Detalle del glaciar noroeste con la digitalización inicial. c) Mapa de inventario con la clasificación del hielo descubierto e información topográfica.**

#### **4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros**

En el caso del mapeo de glaciares cubiertos de detrito y glaciares de escombros, también se utilizó la digitalización manual que es un método robusto y sencillo (Stokes *et al.* 2007). En este sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo. Para ello, además de las imágenes ASTER empleadas como base de este inventario, utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución PRISM (ALOS). La digitalización, al igual que en el caso de la edición de las subcuencas, fue realizada con el programa libre KOSMO.

#### **4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas**

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del río de la Palca incluye la identificación de cada uno de los glaciares, su clasificación morfológica, y parámetros morfométricos tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total (ver Anexo

7.3. Descripción de la base de datos). La base de datos también se construyó con el programa libre KOSMO.

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

La clasificación morfológica se basa en la forma y características propias de los cuerpos de hielo:

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

Los detalles sobre la clasificación de los cuerpos de hielo se encuentran en la página web de GLIMS (<http://www.glims.org/>). De acuerdo con estas directivas, 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. 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. Quedan excluidos los afloramientos rocosos y *nunataks*.

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 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, con un único ID. Por esta razón el número de glaciares no coincide con el número de polígonos de la base de datos.

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. En el Inventario Nacional de Glaciares se ha definido un identificador (**ID\_local**) que consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma, preferentemente en el área de acumulación. Es similar al ID\_GLIMS salvo que en el caso del ID\_local la longitud está referida al Oeste y se expresa con 4 decimales. 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. El código de las provincias es el indicado por la norma ISO 3166, donde por ejemplo la provincia de San Juan es identificada con la “J” mientras que el código de cuenca es el indicado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH, <https://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/info-mapas.php>) que identifica con el número 53 a la cuenca del río Jáchal.



**Glaciar Canito, subcuenca río de la Palca. Se aprecia una cobertura total de penitentes típica de los Andes Áridos (ID G700086O293673S, foto 5 abril 2009).**

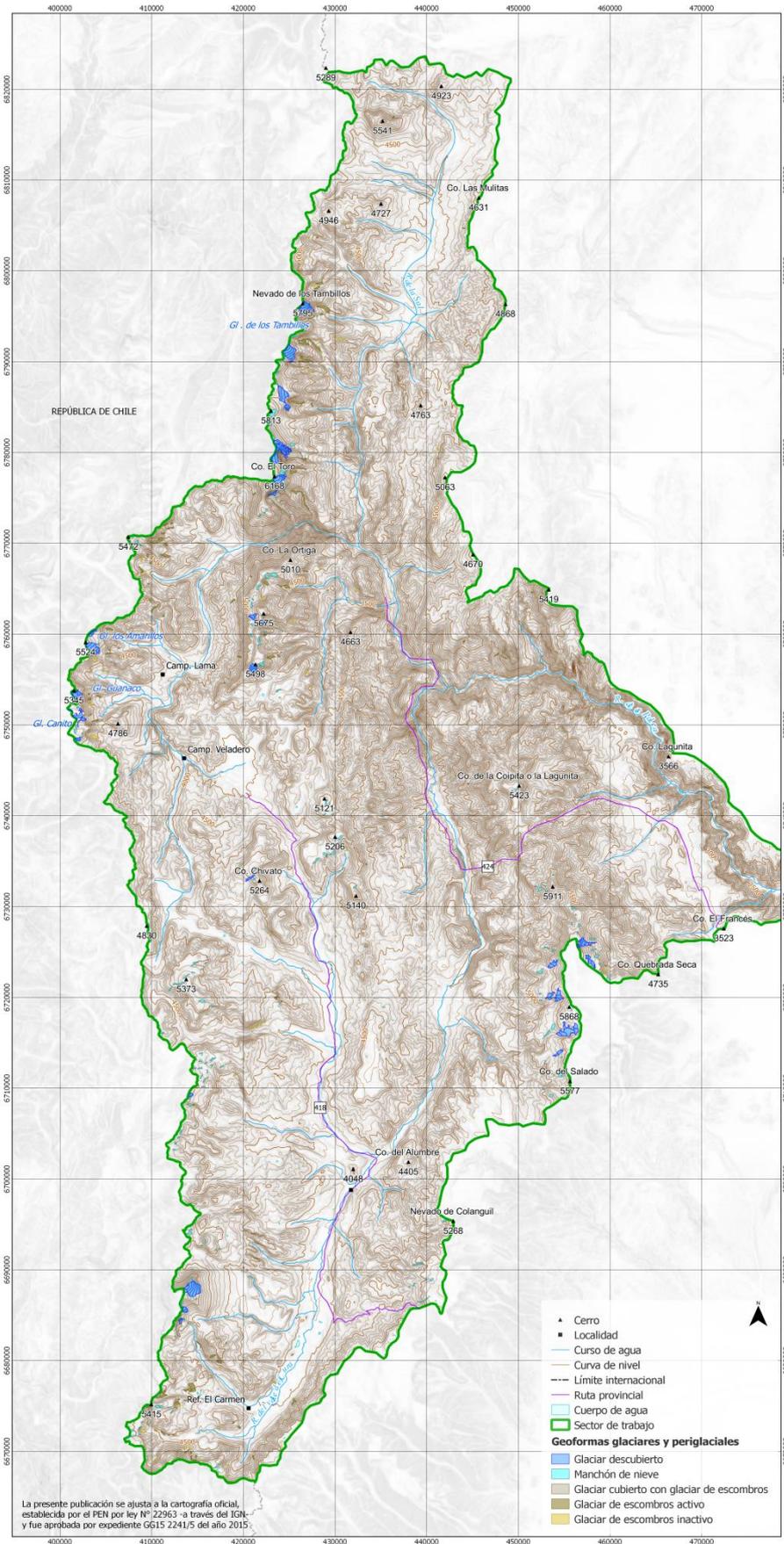
#### **4.6. Control de campo**

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. Subcuenca del río de la Palca

La subcuenca del río de la Palca, con punto de cierre en la confluencia con el río Blanco Superior (2.200 msnm), abarca 5.597 km<sup>2</sup>. La divisoria entre ambas cuencas es de 130 km y pasa, hacia el noroeste, por el Cerro Lagunitas (3.566 msnm) y dos cerros sin nombre de 5.419 y 5.063 msnm. En el Cordón de San Guillermo la divisoria toma rumbo norte para incluir la subcuenca del río La Sal, pasando por el Cerro Las Mulitas (4.631 msnm), el Cordón Las Caranchas hasta el Portezuelo del Inca. Allí la divisoria tuerce hacia el oeste unos 20 km hasta el límite con Chile. En todo este vasto sector solo se observaron 7 glaciares de escombros asociados a las cumbres más elevadas. La subcuenca del río de la Palca incluye unos 190 km de límite con Chile entre el Paso Rincón de la Flecha (4.741 msnm) y los Nevados de Mondaca (5.100-5.300 msnm). En el tramo de 40 km hasta el Nevado de los Tambillos (5.795 msnm) la altura de la Cordillera se incrementa progresivamente y comienzan a observarse glaciares de escombros, como los de la cuenca del Arroyo de los Tambos. Entre el Nevado de los Tambillos y el Cerro El Toro (6.168 msnm) la Cordillera se convierte en una barrera formidable de 5.000-6.000 msnm para los vientos que traen humedad del Océano Pacífico. En este sector se ubican 5 glaciares de más de 1 km<sup>2</sup> así como varios glaciares de escombros en las laderas y en el fondo de los valles. El Cerro El Toro es parte de los santuarios de altura de la cultura Inca. En 1964 se encontró una momia con su fardo funerario a más de 6.100 msnm (Schobinger 2008). Desde el Cerro El Toro hasta el Cordón del Zancarrón la Cordillera se hace más baja y solo supera los 5.000 msnm en algunos cerros dando origen a glaciares como Los Amarillos (1,07 km<sup>2</sup>) y Guanaco (1,82 km<sup>2</sup>). Este sector corresponde a la subcuenca del río de las Taguas que limita, hacia el este, con el Cordón de la Ortiga cuyos cerros de más de 5.500 msnm también tienen glaciares y glaciares de escombros. Por su parte, el Cordón del Zancarrón con alturas entre 5.000 y 5.300 msnm se encuentra salpicado de manchones de nieve. Unos 35 km más al sur se encuentra el imponente Cerro Las Tórtolas (6.160 msnm) que también es parte de los santuarios de altura Inca (Gabriel *et al.* 2006). El glaciar que se desarrolla en su vertiente este cubre 2 km<sup>2</sup> y es el mayor de la subcuenca del río de la Palca. Más al sur, la subcuenca pasa por el Nevado de Mondaca donde tuerce hacia el noreste y, pasando por todo el Cordón de Colangüil y termina en la confluencia con el río Blanco Superior. El Cordón de Colangüil tiene varios cerros que superan los 5.000 y 6.000 msnm. En el sector sur las laderas tienen exposición noroeste y la mayoría de los glaciares drenan a la vecina cuenca del río Blanco Inferior. En cambio, hacia el norte, entre los cerros del Salado (5.577 msnm) y Quebrada Seca (4.735 msnm) se encuentran los últimos glaciares, manchones de nieve y glaciares de escombros.

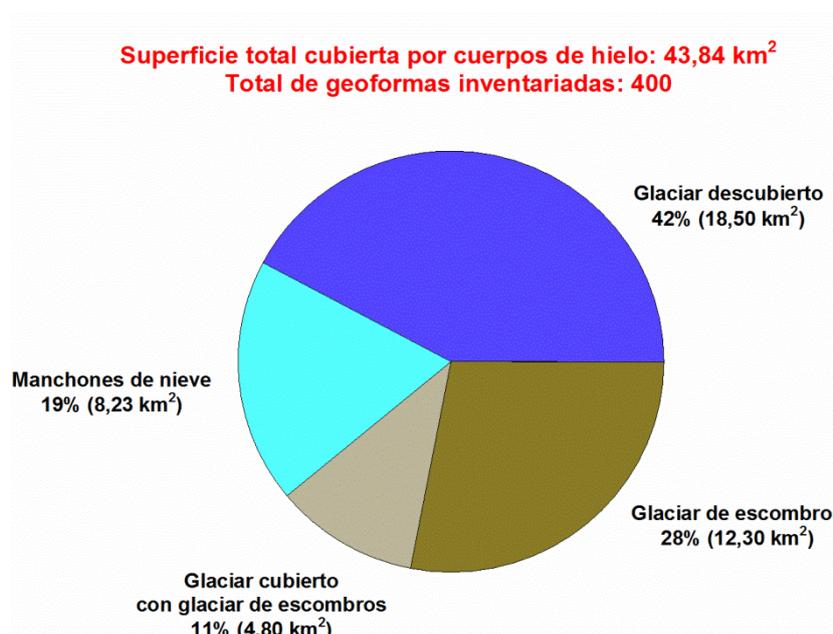


**Figura 7: Mapa del inventario de glaciares.**

Se han inventariado un total de 400 glaciares (43,84 km<sup>2</sup>), que ocupan 0,78% de la subcuenca (Tabla 2 y Figura 8).

**Tabla 2: Área de los glaciares.**

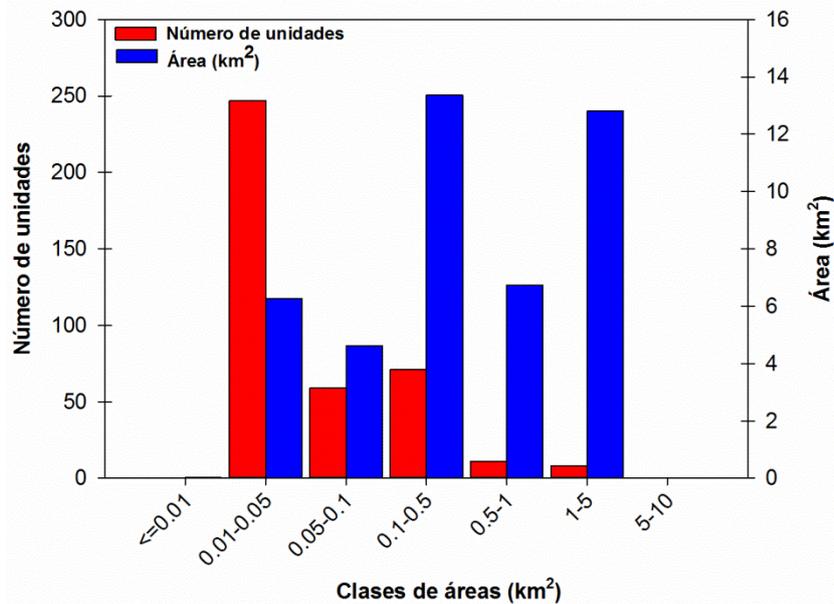
Tipo de geoforma inventariada	Área (km <sup>2</sup> )
Glaciar descubierto	18,50
Manchones de nieve/glaciaretos	8,23
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	4,80
Glaciar de escombros	12,30
Total	43,84



**Figura 8: Área total por tipo de geoforma.**

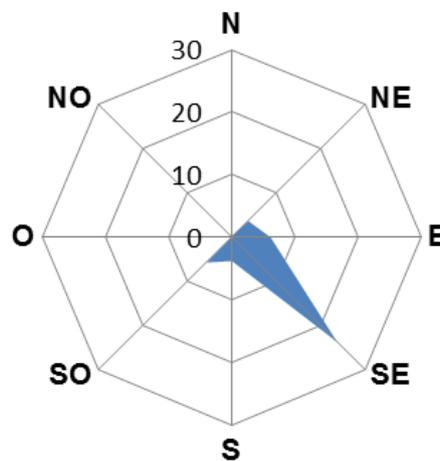
Los glaciares descubiertos representan el 42% de la superficie total y son de tamaño pequeño ya que no superan los 2 km<sup>2</sup>. En importancia siguen los glaciares de escombros con 28% de la superficie total. Los glaciares de escombros también son pequeños, de algunas hectáreas y no alcanzan el desarrollo que se observa en los Andes Centrales. Los manchones de nieve solo representan un 19% del total. Finalmente los glaciares cubiertos con glaciar de escombros tienen superficies de varias decenas de hectáreas y representan 11% de la superficie de la subcuenca.

El 63% de los glaciares inventariados tienen un área comprendida entre 0,01-0,05 km<sup>2</sup>, cubriendo una superficie de 6,3 km<sup>2</sup>. El 32% de las geoformas tienen áreas de entre 0,05-0,5 km<sup>2</sup>. Al igual que en otras regiones de los Andes argentinos, un pequeño número de glaciares, el 5%, ocupa el 44% de la superficie cubierta por glaciares, constituyendo la reserva hídrica principal.



**Figura 9: Número de unidades por clase de área.**

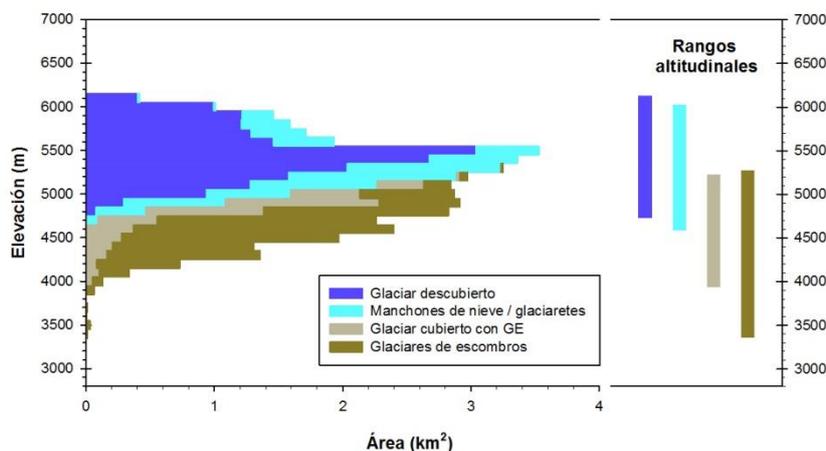
Los glaciares se orientan de manera predominante hacia el sudeste (Figura 10) por dos motivos: Por un lado, la cuenca tiene una orientación predominante hacia el este con las nacientes en la Cordillera de los Andes y la desembocadura en el embalse Cuesta del Viento, más al este. Por el otro, las laderas sur (frías) se hayan protegidas de la radiación solar, lo que favorece la preservación de la nieve y del hielo.



**Figura 10: Orientación de los glaciares.**

La hipsometría (Figura 10 y Tabla 3) es una representación gráfica de la distribución de la superficie de los glaciares con la altitud. Se puede observar que los glaciares descubiertos y manchones de nieve ocupan el mayor rango altitudinal, entre los 4.583 y 6.131 msnm. El hielo cubierto y los glaciares de escombros se localizan en altitudes menores, entre 3.354 y 5.279 msnm. Las cotas más bajas corresponden a glaciares de escombros inactivos, que fueron observados hasta 3.354 msnm, a esa altitud las temperaturas más elevadas no

favorecen la preservación de la nieve y el hielo, por lo que las geoformas no presentan evidencias de movimiento.



**Figura 11: Hipsometría de los glaciares.**

**Tabla 3: Altura máxima y mínima por tipo de geoforma.**

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	4.728	6.131
Manchones de nieve/glaciaretos	4.583	6.031
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	3.938	5.231
Glaciar de escombros	3.354	5.279

## 5.2. Resultados del trabajo de campo

Agradecemos al Lic. Raúl Tello, Secretario de Estado de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de San Juan, por gestionar los permisos de acceso a la zona y facilitar las gestiones en la Provincia de San Juan para realizar el trabajo de campo. También se agradece la colaboración del Ing. Omar del Castillo (IDIH-UNSJ) en el trabajo de campo.

El trabajo de campo se realizó entre el 31 de marzo y el 5 de abril de 2014. En ese período se obtuvo información de campo de 36 geoformas: 7 glaciares, 11 manchones de nieve y 18 glaciares de escombros (Para tener mayor detalle ver anexo 7.2. donde se describen las geoformas visitadas en el trabajo de campo). Esto implica una validación de un 9% de las geoformas inventariadas. Las geoformas relevadas en el campo se encuentran en la subcuenca del río del Cura (Cerro Las Tórtolas y Cordón de Colangüil) y subcuenca del río de las Taguas (Cordón de la Ortiga).



**Cascada congelada a 5.000 msnm en el Cordón de la Ortiga (foto 2de abril de 2014).**

## 6. Bibliografía

- Cabrera, G. A. y J. C. Leiva. 2012. Monitoreo de glaciares Amarillo y Los Amarillos. Pascua-Lama, Chile-Argentina. 2011-2012. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. 42 pp.
- Cabrera, G. A. y J. C. Leiva. 2012. Monitoreo de glaciares del paso de Conconta, Iglesia, San Juan, Argentina. 2011-2012. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. 61 pp.
- Esper Angillieri, M. Y. 2009. A preliminary inventory of rock glaciers at 30°S latitude, Cordillera Frontal of San Juan, Argentina. *Quaternary International* 195. p. 151-157.
- Espizua, L. E., L. Ferri Hidalgo, H. Gargantini, et al. 2006. Ambiente y procesos glaciales y periglaciales en Lama-Veladero, San Juan, Argentina. IANIGLA-CONICET, Mendoza. 80 pp.
- Farr, T. G., P. A. Rose, E. Caro, et al. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics* 45. p. 33.
- Gabriel, A., R. Jordan, H. Millar, et al. 2006. Los 6000s de Chile. Rutas de ascenso a las cumbres sobre 6000 m. Vertical, Santiago, Chile. pp.
- Grupo glaciología de CEAZA. 2009. Investigaciones glaciológicas sobre el glaciar Guanaco en las cercanías del Proyecto Pascua-Lama. Períodos 2007-2008. CEAZA, La Serena, Chile. 24 pp.
- IANIGLA-CONICET. 2010. Inventario Nacional de glaciares y ambiente periglacial. Fundamentos y cronograma de ejecución. IANIGLA-CONICET, Mendoza, Argentina. 87 pp.
- INGEO-UNSJ. 2010. Relevamiento inicial de los glaciares de San Juan. Informe final. Instituto de Geología, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina. 88 pp.
- Müller, F., T. Caflisch y G. Müller. 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory. TTS/WGI, Department of Geography, ETH, Zurich, Switzerland. 19 pp.
- Perucca, L. y M. Y. Esper Angillieri. 2008. A preliminary inventory of periglacial landforms in the Andes of La Rioja and San Juan, Argentina, at about 281S. *Quaternary International* 190. p. 171-179.
- Pitte, P. 2014. Fluctuaciones de los glaciares en los últimos 50 años en las cuencas Los Amarillos, Turbio, Canito y Potrerillos, San Juan, Argentina. PdD, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. 238 pp.
- Pitte, P., L. E. Espizua, L. Ferri Hidalgo y H. Gargantini. 2009. Recent changes in some glacier in the Desert Andes (29°20'S) and its relationship with climatic variations. 3rd Open Science Meeting: Retrospective views on our planet's future, Corvallis, USA. p. 86.
- Racoviteanu, A. E., F. Paul, B. Raup, et al. 2009. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global LandIce Measurements from Space (GLIMS) workshop, Boulder, Colorado, USA. *Annals of Glaciology* 50 (53). p. 53-69.

Raup, B., A. E. Racoviteanu, S. J. Singh Khalsa, et al. 2007. The GLIMS geospatial glacier database: A new tool for studying glacier change. *Global and Planetary Change* 56. p. 101-110.

Schobinger, J., Ed. 2008. *La momia del Cerro El Toro*. Segunda edición. Colección Cumbre Andina. Mendoza, Argentina, Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras. 289 pp.

Stokes, C. R., V. Popovnin, A. Aleynikov, et al. 2007. Recent glacier retreat in the Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra/proglacial lake development. *Annals of Glaciology* 46 (1). p. 195-203.

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

WGMS. 2012. *Fluctuations of glaciers 2005-2010*. Vol. X. ICSU (WDS), IUGG (IACS), UNEP, UNESCO, WMO, Zurich. pp.

## 7. Anexos

### 7.1. Imágenes satelitales

Se presenta la lista de las imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del río de la Palca, cuenca del río Jáchal. El material está organizado en distintas tablas, ordenadas por satélite y sensor, donde se indican los identificadores (ID) y las fechas de adquisición.

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 5**

Sensor: **TM** (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52330802009043COA02	12 febrero 2009	Base georreferenciación
LT52330812009043COA02	12 febrero 2009	Base georreferenciación

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
00302042009145049	04 febrero 2009	Base inventario
00302042009145058	04 febrero 2009	Base inventario
00302042009145107	04 febrero 2009	Base inventario
00304252009145103	25 abril 2009	Base inventario
00304252009145055	25 abril 2009	Base inventario
00302092005144907	09 febrero 2005	Comparar manchones de nieve
00302092005144915	09 febrero 2005	Comparar manchones de nieve
00302092005144924	09 febrero 2005	Comparar manchones de nieve

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

Sensor: **AVNIR** (Advance Visible and Near Infrared Radiometer)

Resolución espacial: 10 m

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

<b>ID imagen</b>	<b>Fecha</b>	<b>Objetivo</b>
ALAV2A173664190	28 abril 2009	Comparar manchones de nieve
ALAV2A224864200	14 abril 2010	Base inventario
ALAV2A224864210	14 abril 2010	Base inventario

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

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

Resolución espacial: 2.5 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).

<b>ID imagen</b>	<b>Fecha</b>	<b>Objetivo</b>
ALPSMN224864195	14 abril 2010	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALPSMN224864200	14 abril 2010	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALPSMN224864205	14 abril 2010	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALPSMN173664180	28 abril 2009	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALPSMN173664185	28 abril 2009	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALPSMN173664190	28 abril 2009	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALPSMN173664195	28 abril 2009	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALPSMN173664200	28 abril 2009	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros

## **7.2. Control de campo**

### **7.2.1. Objetivos**

Los objetivos de la campaña fueron:

- Identificar en el campo las geoformas inventariadas en gabinete una primera etapa a través de imágenes satelitales
- Verificar la clasificación de glaciares realizada
- Tomar fotografías de las diferentes geoformas
- Tomar puntos y tracks con navegador GPS

### **7.2.2. Logística**

Entre los días 31 de marzo y 5 de abril de 2014 se realizó el trabajo de control de campo del inventario, donde se obtuvo información de los cuerpos de hielo en el Cordón de Colangüil (inmediaciones del Paso de Conconta), quebradas de los Arroyos Los Amarillos, Turbio, Canito y Potrerillos (sector de los Proyectos Veladero y Pascua-Lama), Cordón de Ortigas (vertiente oeste) y nacientes del río del Cura-Cerro Las Tórtolas (sector del Proyecto El Carmen).

Para acceder a la cuenca de la Palca se utilizó el itinerario más frecuente: San Juan-Talacasto (RN 40, 50 km), Talacasto-Iglesia (RN 149, 25 km), Iglesia-Las Flores (RP 436, 25 km), Las Flores Tudcum (15 km, RP 436), Tudcum-Campamento Veladero (150 km, RP 436). A partir de Tudcum el camino es de acceso restringido debido a la presencia de los proyectos mineros Veladero (Minera Argentina Gold SA, MAGSA) y Pascua-Lama (Barrick Exploraciones Argentina SA, BEASA).

El permiso de acceso a la zona y la logística se gestionó a través de la Secretaría de Estado de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de San Juan.

El personal de la campaña fueron el Dr. Pierre Pitte (IANIGLA-CONICET) y el Ing. Omar del Castillo (IDIH-UNSJ).

En esta región los glaciares de escombros se encuentran por encima de los 3.500 msnm mientras que los glaciares descubiertos se encuentran encima de los 4.800 msnm, por lo que el trabajo de campo es duro y se encuentra fuertemente condicionado por las condiciones meteorológicas. La campaña se realizó en otoño y la presencia de nieve fresca y nubes dificultaron las tareas previstas.



**Ing. Omar del Castillo cruzando un depósito de nieve en el acceso al Glaciar Canito. Las campañas de verificación de inventario deben realizarse durante el verano (estación seca en la Provincia de San Juan), para reducir el riesgo de nevadas que dificultan en tránsito en la montaña y cubren las geformas que se estudian.**



**Sr. Silvio Andino en el primer levantamiento de campo del Cordón Ortigas. A más de 5.100 msnm las temperaturas debajo de 0°C y la falta de oxígeno (un 45% del disponible a nivel del mar) son persistentes y exigen un equipo, preparación y logística especiales.**



**Dr. Pierre Pitte levantando un punto de control GPS para monitorear un manchón de nieve en el Cordón Conconta. El trabajo realizado en el campo para el Nivel I (inventario) del Inventario Nacional de Glaciares permite adquirir información necesaria para el nivel II (fluctuaciones).**

### 7.2.3. Resultados

#### Geformas relevadas en la subcuenca del río de la Palca

##### Subcuenca río de las Taguas (Proyectos Pascua-Lama y Veladero)

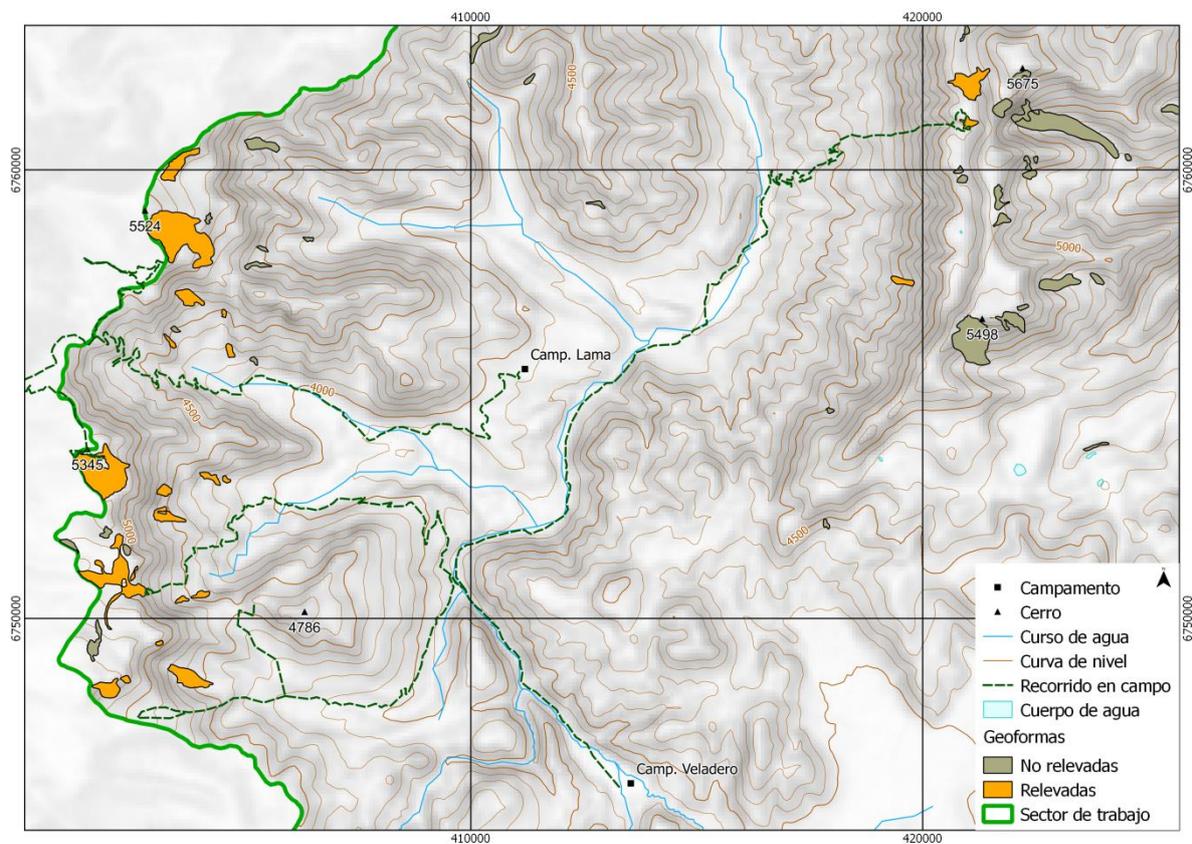
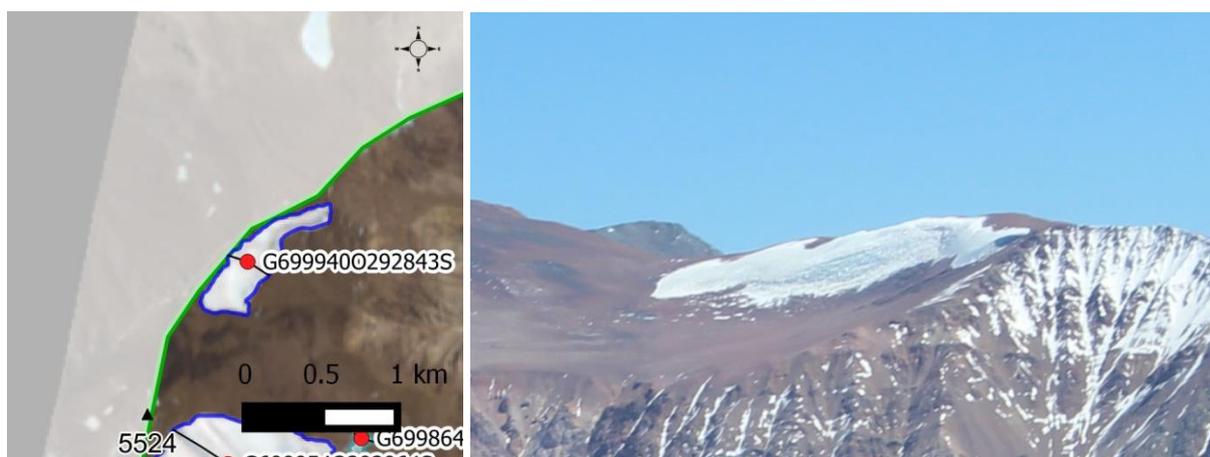


Figura 12: Mapa de campo, subcuenca del río de las Taguas.

#### Geforma G6999400292843S



Glaciar ubicado al norte del glaciar Los Amarillos.

### Geoforma G6999540292964S Glaciar Los Amarillos



El Glaciar Los Amarillos drena a las subcuencas Los Amarillos y Turbio. Es un glaciar de montaña de forma irregular, con una superficie de 1,07 km<sup>2</sup>, un espesor máximo de 63 m y es uno de los 7 glaciares de Argentina con estudios de balance de masa (2. Antecedentes). En la foto inferior se pueden apreciar, en el sector proximal, las grietas transversales que se producen por el movimiento del hielo.

### Geoforma G6997600293238S



Pequeño glaciar de escombros de talud en la cuenca del Arroyo Turbio.

**Geoforma G6998170293217S**



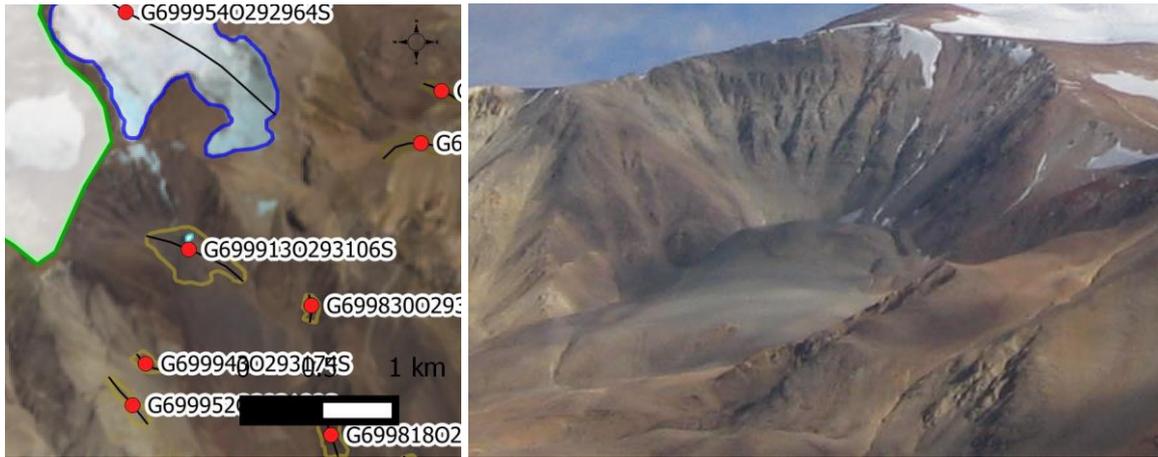
Glaciar de escombros activo en un pequeño circo.

**Geoforma G6998300293140S**



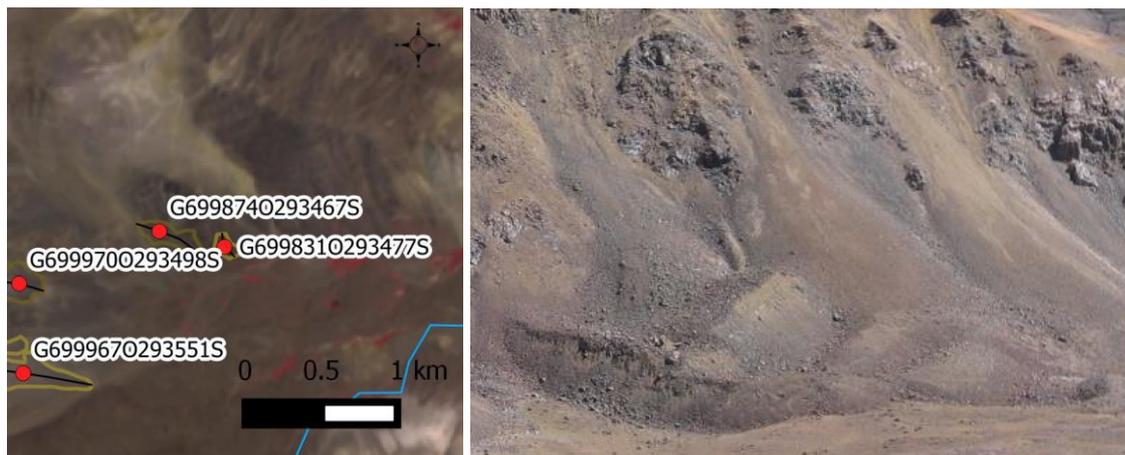
Pequeño glaciar de escombros, de talud.

## Geoforma G6999130293106S



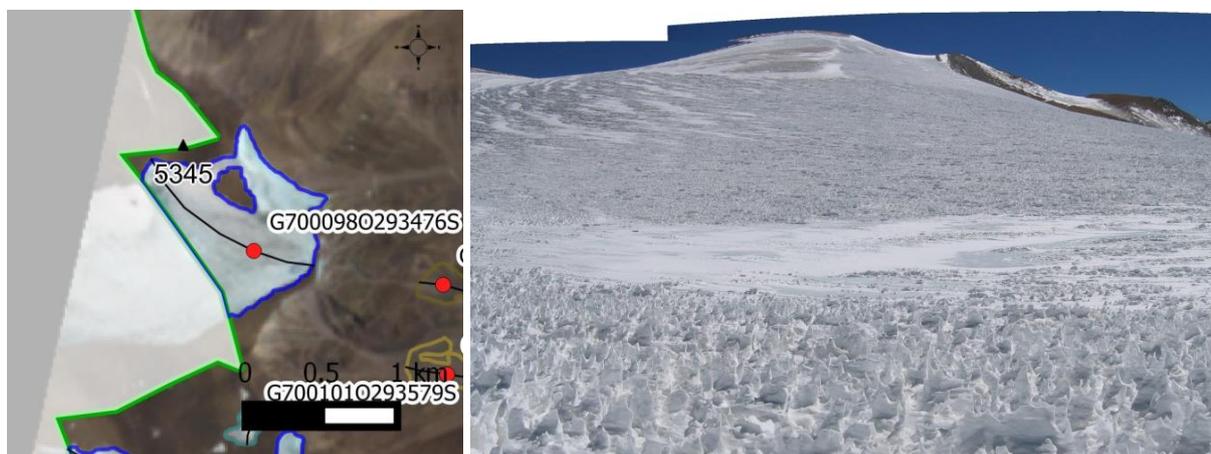
Glaciar de escombros inactivo dentro de un circo bien definido y, probablemente, es de origen glaciar. Tiene una pequeña laguna, en el sector proximal, formada por el derretimiento del hielo (thermokarst). Los manchones de nieve en el sector superior del circo no llegan a la superficie mínima (1 ha).

### Geoforma G6998310293477S



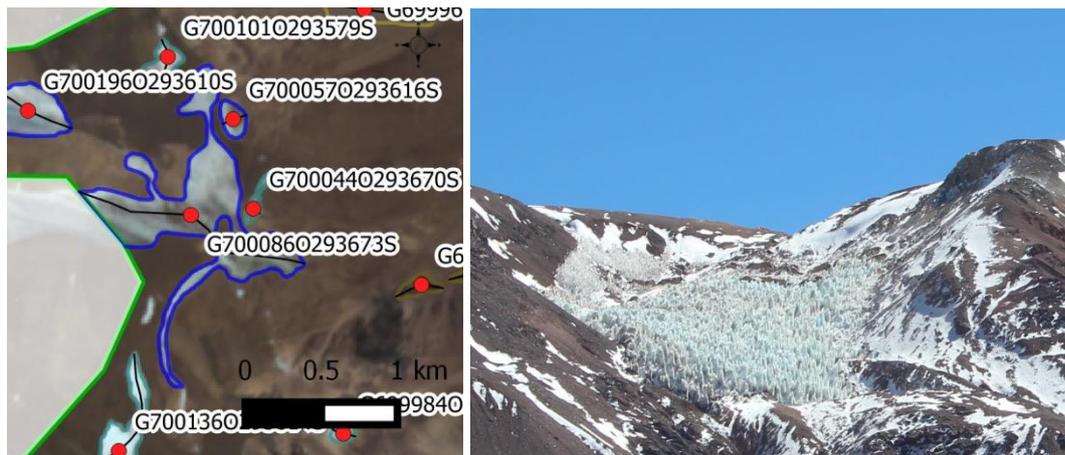
Glaciar de escombros inactivo que presenta una secuencia con facies inactivas-fósiles.

### Geoforma G7000980293476S Glaciar Guanaco



El Glaciar Guanaco en las nacientes del Arroyo Turbio, es un glaciar de montaña, con una superficie de 1,82 km<sup>2</sup> de los cuales 0,77 drenan a la cuenca del río de la Palca mientras que los restantes drenan hacia el río Huasco (Chile). Este glaciar es monitoreado desde 2007 y tiene un espesor máximo de 120 m (Grupo glaciología de CEAZA 2009).

### Geoforma G7000860293673S Canito



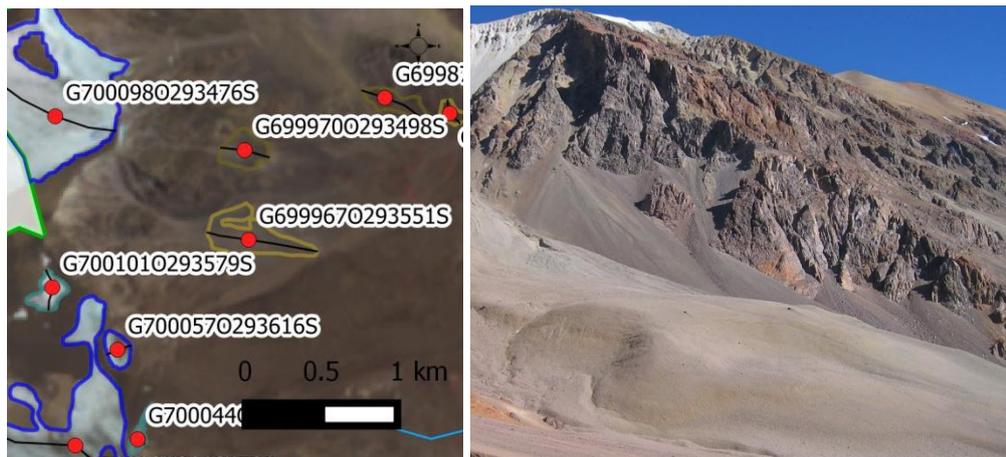
El Canito es un glaciar de valle ya que su frente se encuentra encauzado a pesar de que su parte superior es de forma irregular. Al igual que el resto de los glaciares de los Andes Desérticos se encuentra cubierto de penitentes, en este caso, de varios metros de altura.

### Geoforma G6998740293467S



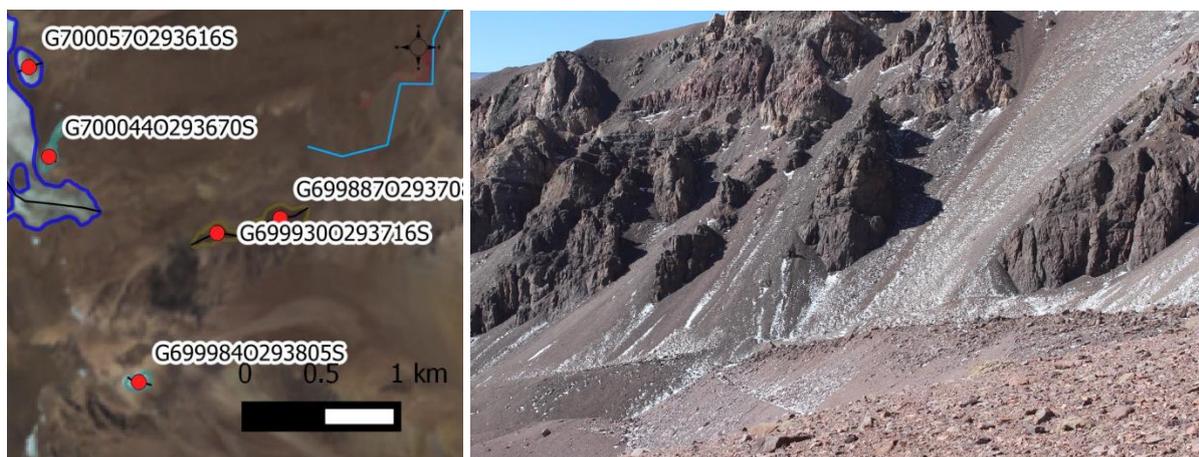
Glaciar de escombros con indicadores muy claros de su actividad como: fuerte pendiente del talud y crestas longitudinales.

### Geoforma G6999670293551S



Glaciar de escombros inactivo ubicado en un circo en las nacientes del Arroyo Turbio. Probablemente sea de origen glaciar.

### Geoforma G6999300293716S



Glaciar de escombros activo. Se destaca la capa de bloques que componen la capa activa.

### Geoforma G699887O293708S



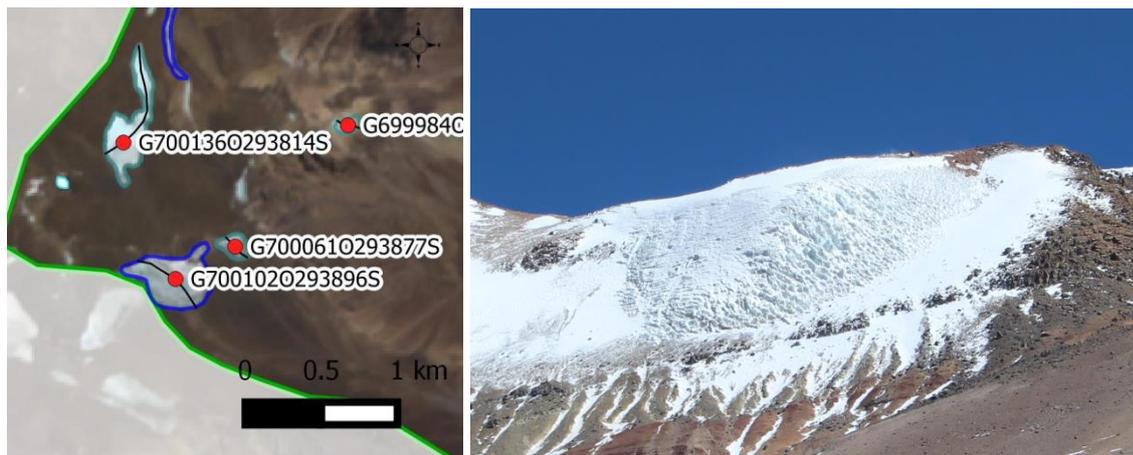
Glaciar de escombros activo, de talud. Se destaca la capa de bloques que componen la capa activa.

### Geoforma G699984O293804S



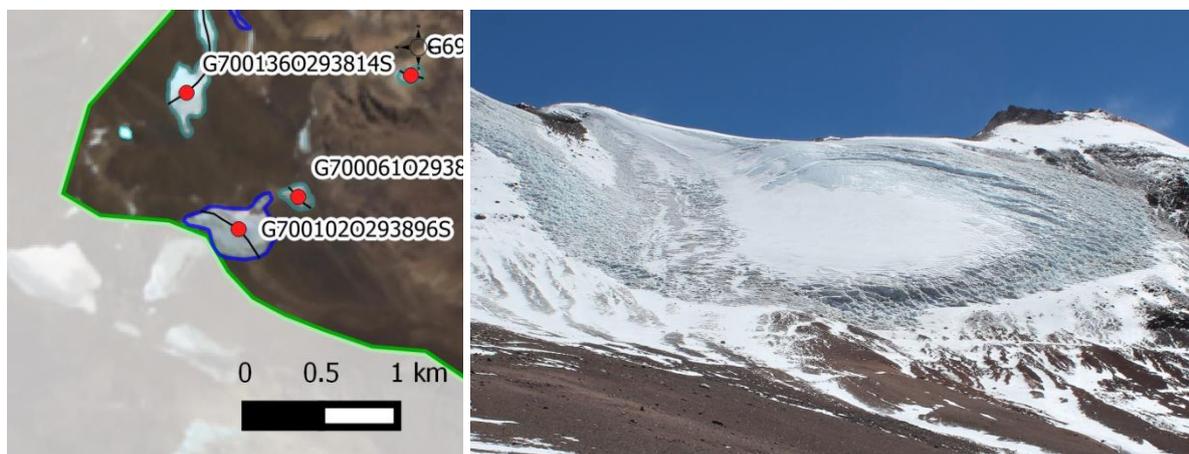
Pequeño manchón de nieve en la subcuenca Potrerillos.

**Geoforma G700061O293877S**



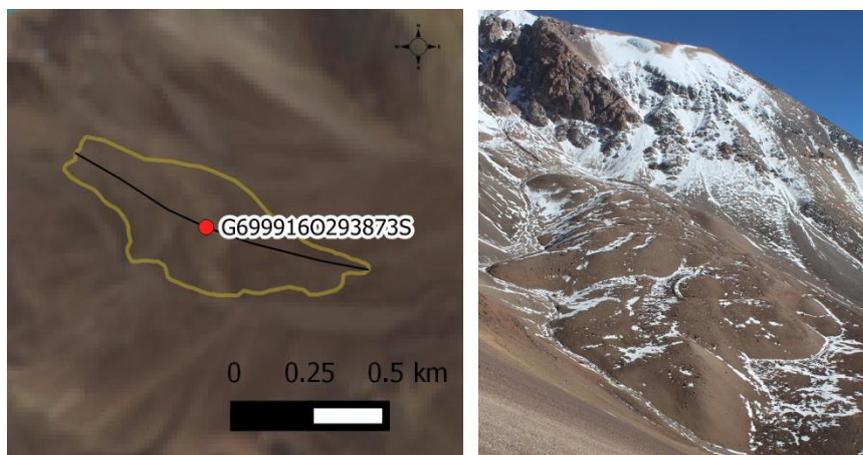
Pequeño manchón de nieve al este del glaciar Potrerillos.

**Geoforma G700102O293896S Potrerillos**



Glaciar de montaña Potrerillos. Las grietas longitudinales en el sector proximal son una indicación del movimiento del hielo.

**Geoforma G699916O293873S**



Glaciar de escombros inactivo en el valle Potrerillos.

## Sector Cordón La Ortiga

### Geoforma G6981270292691S



Glaciar de montaña con forma irregular. La fotografía cercana al frente es el primer registro de campo detallado de este glaciar.

### Geoforma G6981290292770S





Manchón de nieve con evidencia de una intensa deformación producto de su movimiento pasado. La línea negra marca un plano de discordancia entre un cuerpo de hielo más antiguo en la parte inferior y uno más nuevo en la parte superior.

## Subcuenca río del Cura, sector Cerdón de Colangüil y Cerro Las Tórtolas

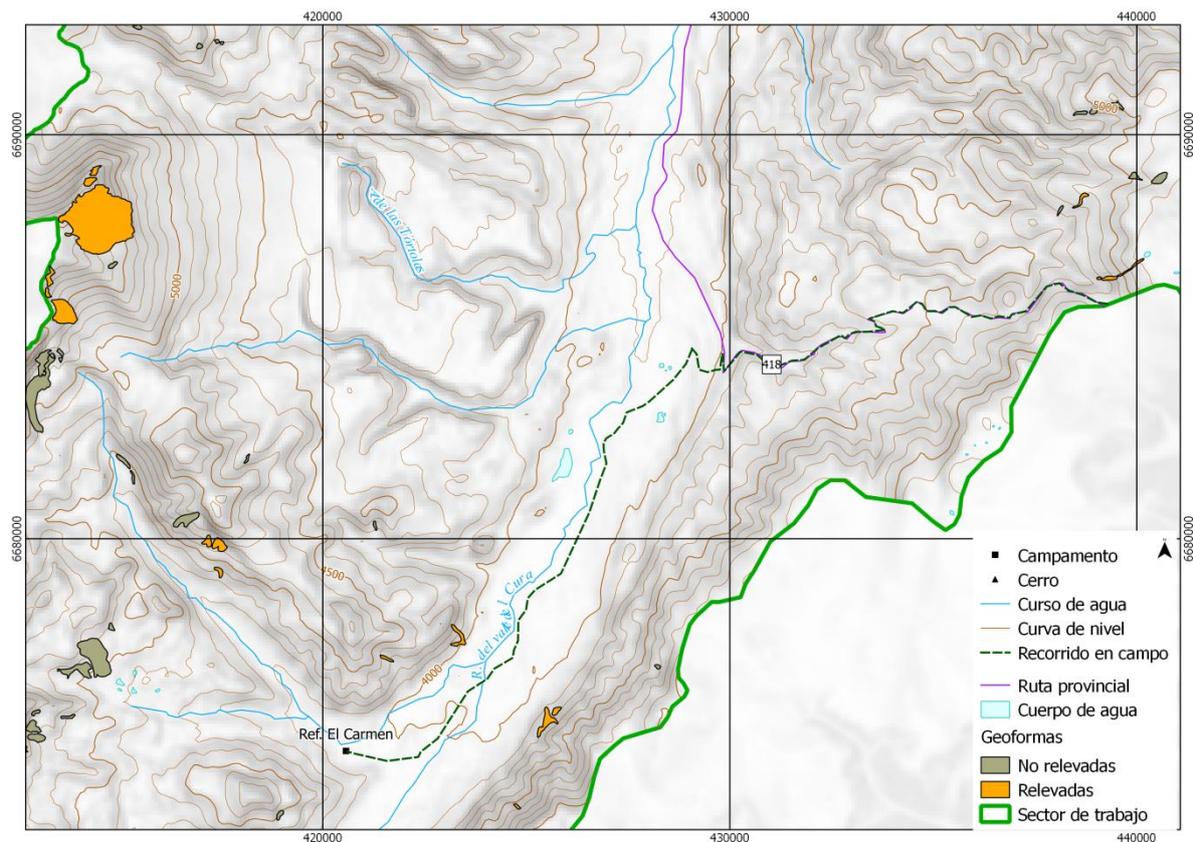
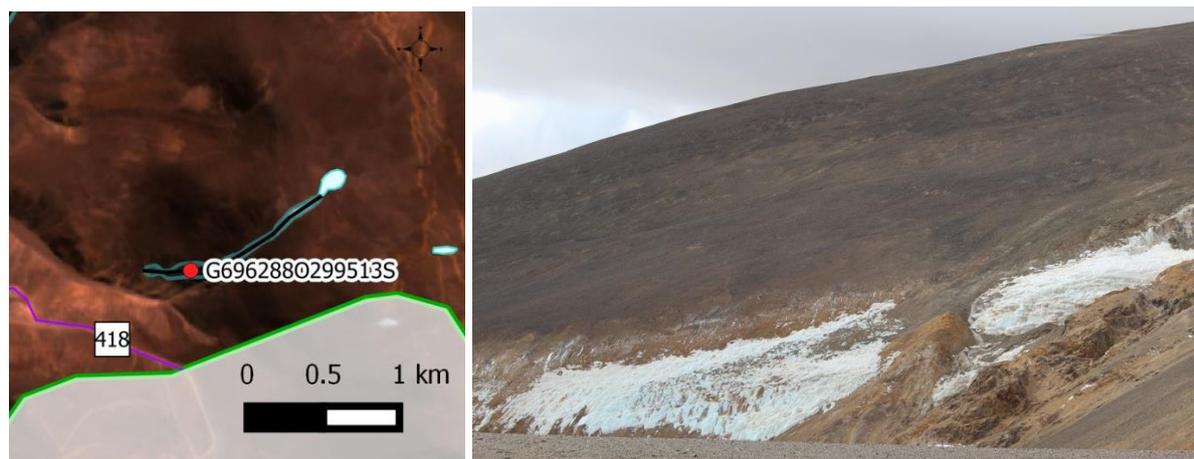


Figura 13: Mapa de campo, subcuenca río del Cura.

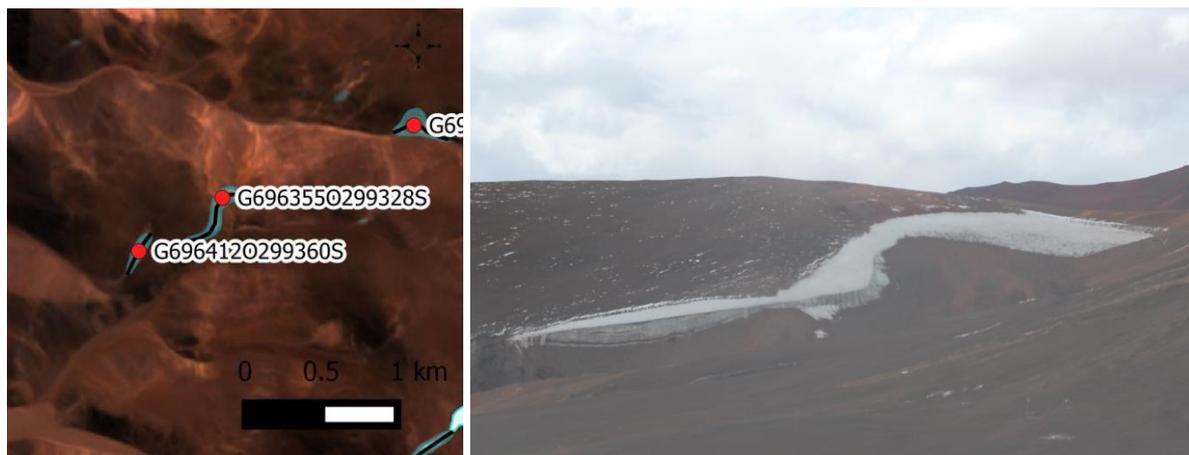
### Sector Cerdón de Colangüil

#### Geoforma G6962880299513S



Manchón de nieve con forma de cornisa, en el oeste del Cerdón de Colangüil.

**Geoforma G6963550299328S**



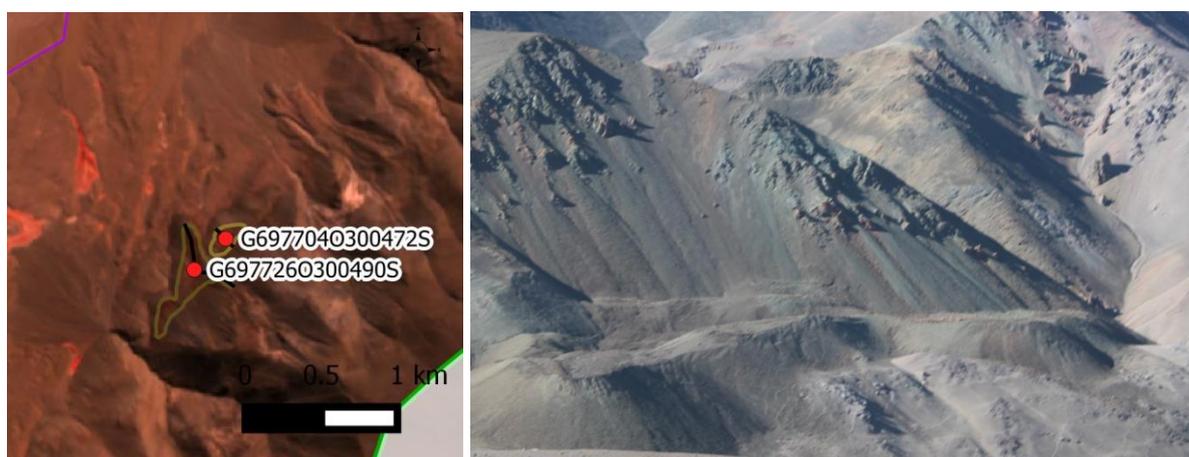
Manchón de nieve con forma de cornisa, en el oeste del Cordón de Colangüil.

**Geoforma G6977040300472S**



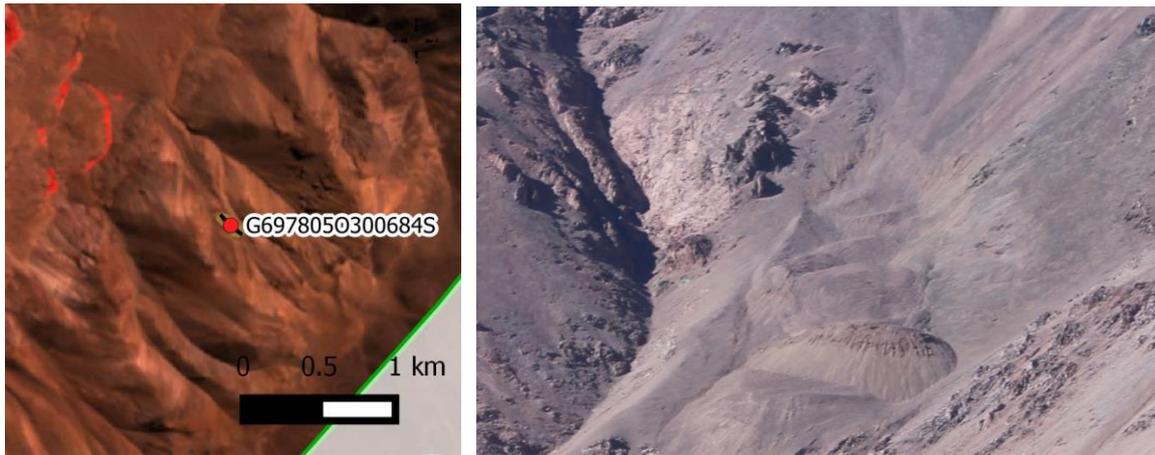
Glaciar de escombros inactivo, de talud, en la vertiente noroeste del Cordón de Colangüil.

**Geoforma G6977260300490S**



Glaciar de escombros activo, de talud, en la vertiente noroeste del Cordón de Colangüil.

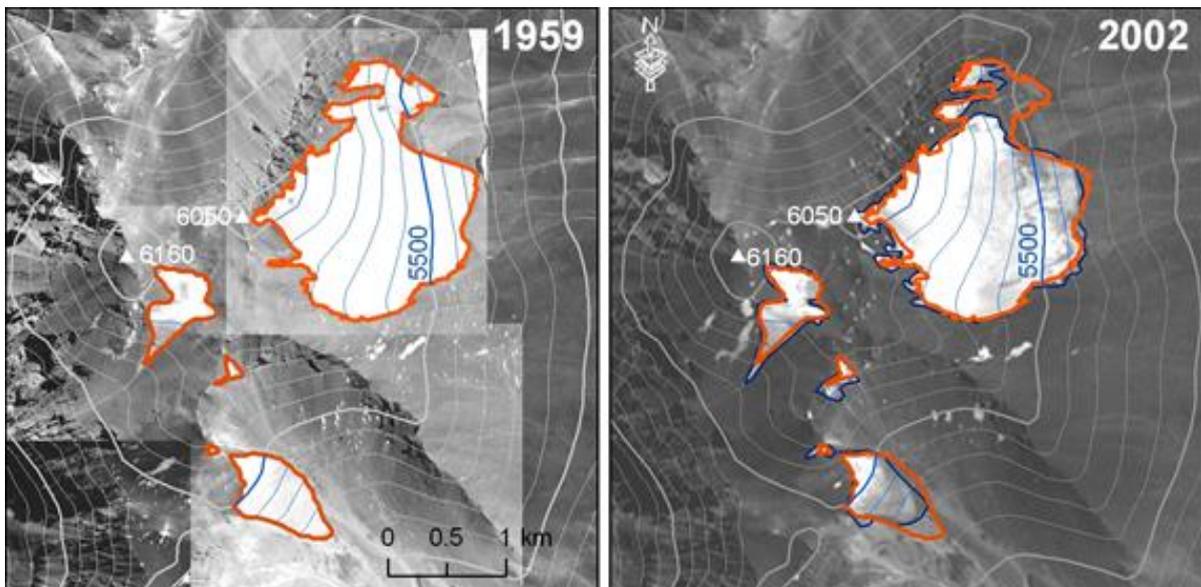
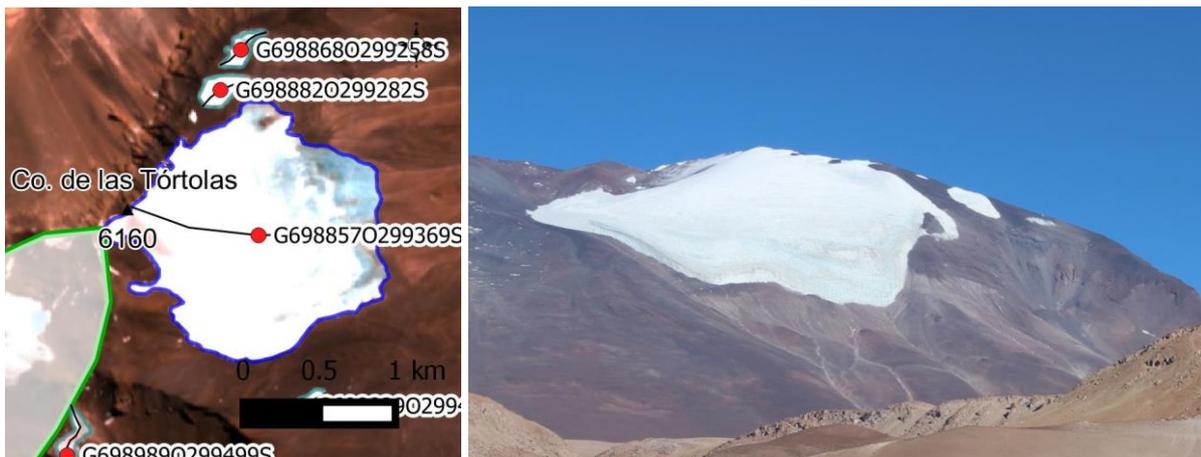
**Geoforma G6978050300684S**



Pequeño glaciar de escombros inactivo, de talud, en la vertiente noroeste del Cordón de Colangüil.

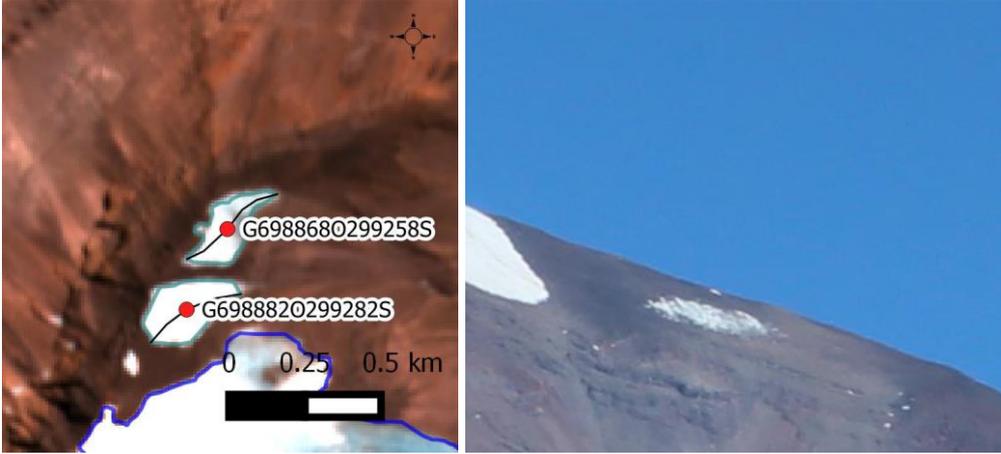
**Sector Cerro Las Tórtolas**

**Geoforma G6988570299369S Las Tórtolas**



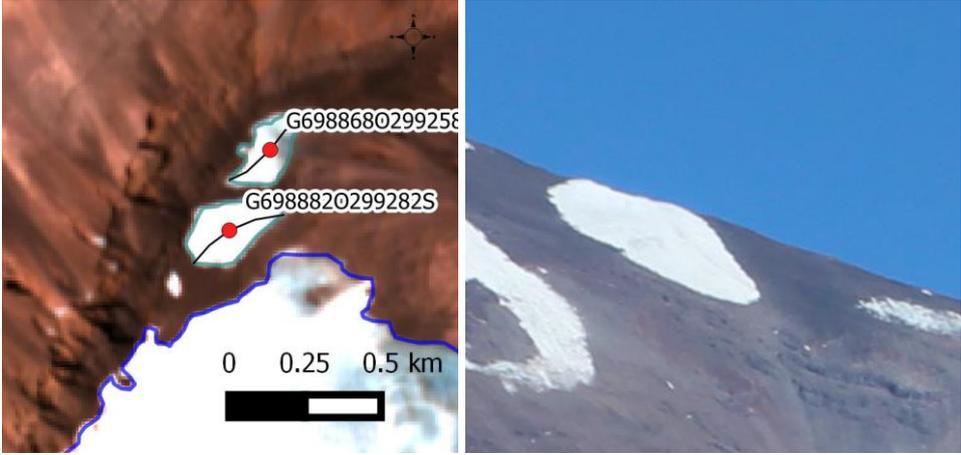
Las Tórtolas es un glaciar de cráter y, con una superficie de 2 km cuadrados, es el más grande de la subcuenca del río de la Palca. El glaciar principal del Cerro Las Tórtolas no ha retrocedido significativamente desde 1959 debido a que se encuentra por encima de los 5.300 msnm (Pitte 2014).

**Geoforma G698868O299258S**



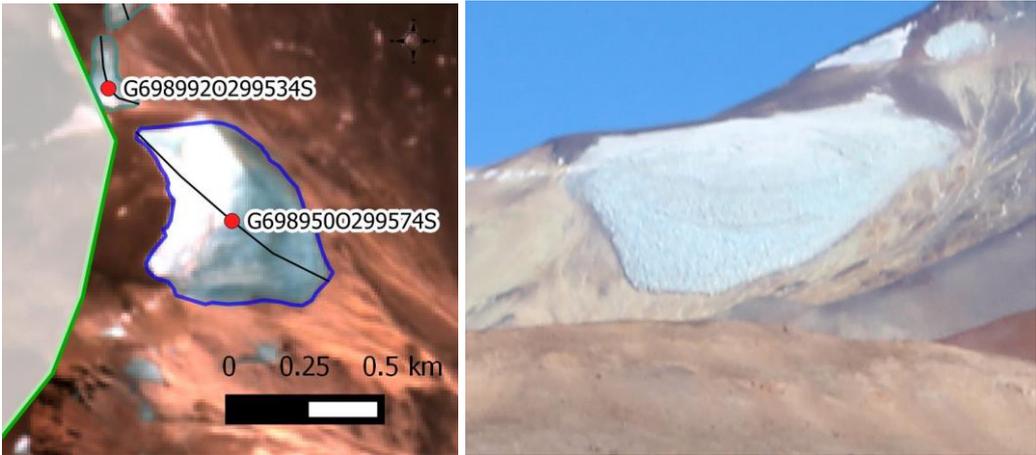
Pequeño manchón de nieve al norte del Glaciar Las Tórtolas.

**Geoforma G698882O299282S**



Manchón de nieve al norte del Glaciar Las Tórtolas.

**Geoforma G6989500299574S**



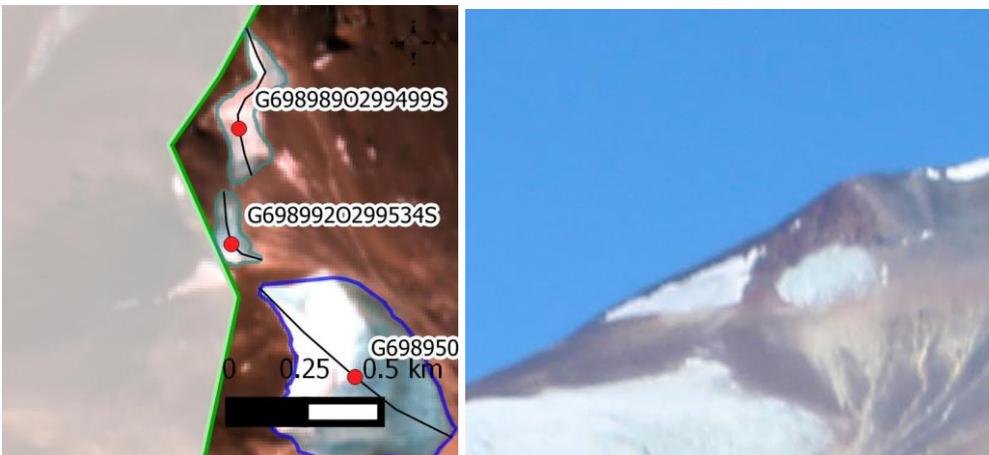
Glaciar de circo al sur del Cerro Las Tórtolas con grietas transversales y penitentes.

**Geoforma G6989890299499S**



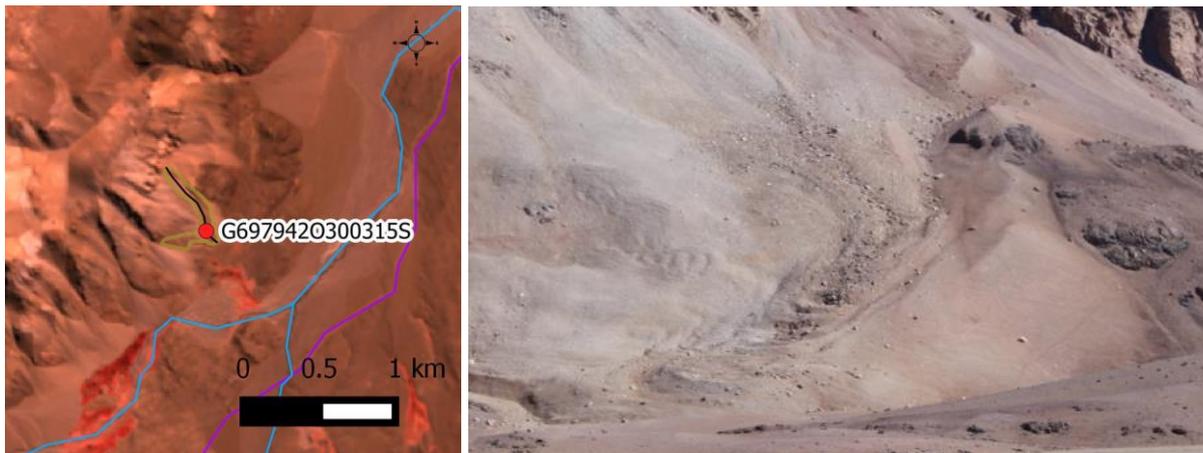
Pequeño manchón de nieve al sur de la cumbre del Cerro Las Tórtolas.

**Geoforma G6989920299534S**



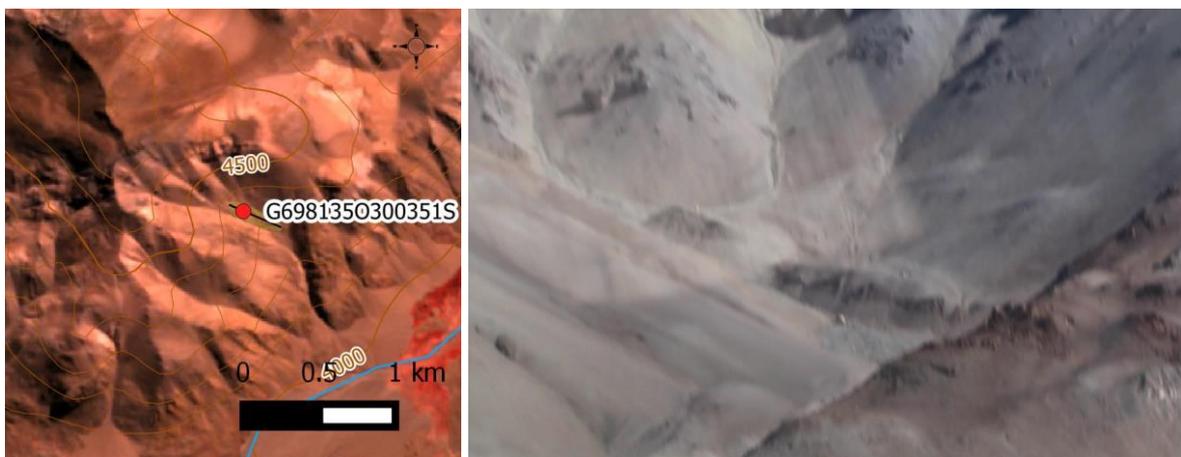
Pequeño manchón de nieve al sur del Cerro Las Tórtolas.

### Geoforma G6979420300315S



Glaciar de escombros inactivo, de talud. Esta geoforma tiene surcos transversales bien desarrollados pero el ángulo del frente es moderado lo que indica inactividad.

### Geoforma G6981350300351S



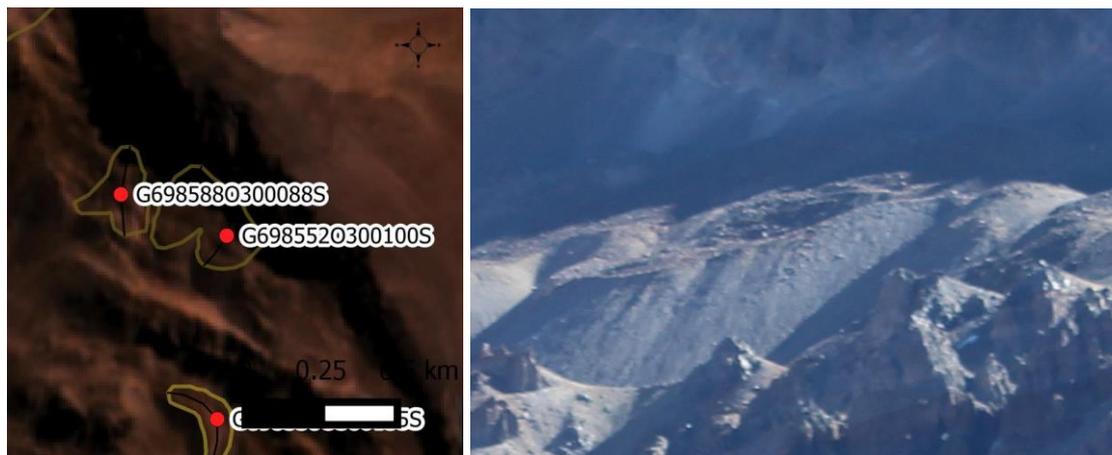
Glaciar de escombros inactivo.

### Geoforma G6985560300155S



Pequeño glaciar de escombros inactivo, de talud.

**Geoforma G698552O300100S**



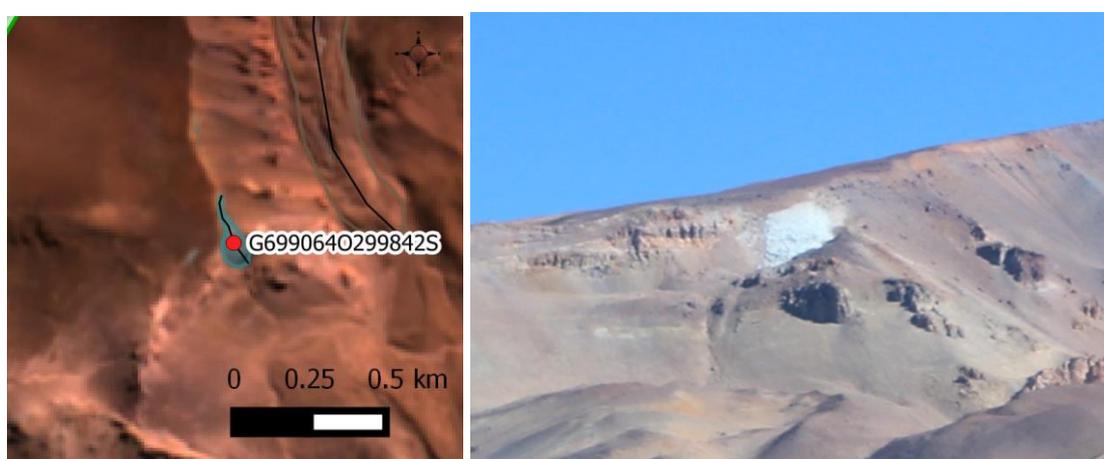
Pequeño glaciar de escombros activo, de talud.

**Geoforma G698588O300088S**



Pequeño glaciar de escombros activo, de talud.

**Geoforma G699064O299842S**



Pequeño manchón de nieve en el extremo sur del Cerro Las Tórtolas.

### 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 km<sup>2</sup> (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 km<sup>2</sup> (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 km<sup>2</sup> (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 glaciario 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 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 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](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 km<sup>2</sup>.

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 sobrepuesto

#### **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 km<sup>2</sup>.
26. **Largo\_total:** largo de cada unidad, considerando la línea de flujo más larga de todo el glaciar, desde la zona más alta, atravesando la unidad hasta el frente de la misma, siempre lo más perpendicular posible a las curvas de nivel. Se expresa en metros (m).
27. **H\_max\_total:** Altura máxima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
28. **H\_med\_total:** Altura media total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
29. **H\_min\_total:** Altura mínima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
30. **Pendiente:** (Se expresa en grados).
31. **Orientación:** Correspondiente a los 8 puntos cardinales.
32. **H\_max\_parcial:** Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
33. **H\_med\_parcial:** Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
34. **H\_min\_parcial:** Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
35. **Img\_ba\_F:** Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.
36. **Img\_ba\_S:** tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc.).
37. **Img\_ap\_F:** Fecha de la imagen de apoyo utilizada.
38. **Img\_ap\_S:** tipo de sensor que capta la imagen de apoyo empleada.



Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sustentable  
Presidencia de la Nación

I A N I G L A



CONICET

U. N. C U Y O  
GOBIERNO  
DE MENDOZA

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

A partir del trabajo realizado por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), con la coordinación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, se han inventariado 16.078 glaciares y geoformas periglaciares en la cordillera de Los Andes y 890 en las Islas del Atlántico Sur, los cuales ocupan una superficie de 5.769 y 2.715 km<sup>2</sup> 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 de la Palca, cuenca del río Jáchal, provincia de San Juan.





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

**Hoja Adicional de Firmas**  
**Informe gráfico**

**Número:**

**Referencia:** ING río de la Palca

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 63 pagina/s.