



# **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 Grande  
(Sectores norte y sur)  
Cuenca del río Colorado**

**Provincia de Mendoza**



*Manchones de nieve y glaciares de escombros en río Grande (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: Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Patricia Holzman

Secretario de Política Ambiental en Recursos Naturales: Diego Moreno

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

Coordinador de Gestión Ambiental del Agua: Leandro García Silva

Responsable Programa Protección de Glaciares y Ambiente Periglacial: 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. Darío Trombotto

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

Colaboradores: Téc. Mariano Castro, Dr. Lucas Ruiz 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 GG 1917/5 del año 2016***

## ÍNDICE

1. Introducción .....	1
2. Antecedentes .....	5
3. Definiciones a los fines del Inventario .....	9
4. Materiales y métodos .....	13
4.1. Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos digitales de elevación ..	14
4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación .....	14
4.3. Delimitación del hielo descubierto .....	18
4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros .....	19
4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas .....	19
4.6. Control de campo .....	21
5. Resultados .....	22
5.1. Subcuenca del río Grande .....	22
5.1.1. Sector río Grande norte .....	24
5.1.2. Subcuenca río Grande sur .....	28
5.2. Control de campo .....	32
6. Bibliografía .....	33
7. Anexos .....	39
7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del río Grande .....	39
7.2. Control de campo .....	42
7.2.2 Resultados. Geoformas relevadas .....	42
7.3. Descripción de la base de datos .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Frente de un glaciar de escombros en Valle Hermoso, subcuenca del río Grande.....	2
Figura 2: En la foto 2a vemos el glaciar Azufre, en una foto tomada en el año 1900 por Burckhardt. 2b, en febrero de 2014 se retomó esta foto, donde se puede observar la pérdida de hielo con respecto a la otra fotografía. ....	5
Figura 3: En la figura vemos el mismo glaciar, en este caso la foto fue tomada desde una posición más cercana al frente del glaciar.....	6
Figura 4: Lugares de muestreo para dataciones radiocarbónicas en los valles del Peñón y Azufre.....	7
Figura 5: Morenas correspondientes a la Pequeña Edad de Hielo en el valle de El Peñón. ....	7
Figura 6: Fluctuaciones de área de los glaciares Peñón y Azufre. ....	8
Figura 7: Imagen del 21 de septiembre de 2010 donde se observa la pluma eruptiva del volcán Peteroa con dirección al sureste. (Foto tomada de Haller y Risso 2011).....	9
Figura 8: Columna eruptiva que tuvo lugar durante la erupción del volcán Peteroa del año 2010. Foto tomada de Haller y Risso 2D. Trombotto. En la parte alta se observan los glaciares de la cumbre del volcán.....	10
Figura 9: Subcuenca del río Grande, con su división en dos subcuencas una hacia el norte y la otra hacia el sur, donde se realizó el Inventario de Glaciares. ....	13
Figura 10: Diagrama de flujo de la metodología usada. ....	17
Figura 11: En la línea punteada de color amarillo se observa la delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING. ....	18
Figura 12: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas.....	19
Figura 13: Ejemplo de una unidad vista en una escena ALOS PRISM sin digitalizar (izquierda) y con todos los polígonos que la componen digitalizados (derecha).....	21
Figura 14: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Grande. ....	23
Figura 15: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande. ....	23
Figura 16: Inventario de glaciares de la subcuenca del río Grande norte. ....	25
Figura 17: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Grande norte. ....	26
Figura 18: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande norte.....	26
Figura 19: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande norte. ....	27
Figura 20: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Grande norte. ....	27
Figura 21: Inventario de glaciares de la subcuenca del río Grande sur.....	29
Figura 22: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Grande sur. ....	30
Figura 23: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande sur. ....	30
Figura 24: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande sur. ....	31
Figura 25: Hipsometría de los glaciares presentes en el sector Grande sur. ....	31



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de la subcuenca del río Grande (ver anexo 7.1. para mayor información). .....	15
Tabla 2: Superficie total de glaciares inventariados en la subcuenca del río Grande. ....	22
Tabla 3: Superficie total de glaciares inventariados en la subcuenca del río Grande norte. ....	24
Tabla 4: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del río Grande norte. ....	27
Tabla 5: Superficie total de glaciares inventariados en la subcuenca del río Grande sur. ....	28
Tabla 6: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del río Grande sur. ....	31

## **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

GE: Glaciar de escombros

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: Pancromático Remoto con Sensor de Instrumento para 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 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 geoformas periglaciales (también llamadas crioformas) a lo largo de vastas porciones de la Cordillera de los Andes.

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

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



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

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

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



**Figura 1: Frente de un glaciar de escombros en Valle Hermoso, subcuenca del río Grande (Foto: M. Castro, IANIGLA-CONICET).**

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

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

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

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

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

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

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

*ARTÍCULO 4º — Información registrada. El Inventario Nacional de Glaciares deberá contener la información de los glaciares y del ambiente periglacial por cuenca hidrográfica, ubicación, superficie y clasificación morfológica de los glaciares y del ambiente periglacial.*

*Este inventario deberá actualizarse con una periodicidad no mayor de CINCO (5) años, verificando los cambios en superficie de los glaciares y del ambiente periglacial, su estado de avance o retroceso y otros factores que sean relevantes para su conservación.*

*ARTÍCULO 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.

En el presente informe se describen los resultados del inventario de la subcuenca del río Grande, sectores norte y sur (subcuenca río Grande según cronograma del inventario, IANIGLA 2010), perteneciente a la cuenca del río Colorado. En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros (Figura 1) 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 Grande fue elaborado en octubre de 2014 y aprobado según resolución N°RESOL-2017-32-APN-MAD del 17 de enero de 2017, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.



## 2. Antecedentes

Los glaciares de la cuenca del río Grande han atraído la atención de diversos exploradores y científicos desde finales del siglo XIX (Burckhardt 1900; Gerth 1931). Estos autores realizaron los primeros estudios geológicos de la cordillera Argentina-Chilena en la zona del río Grande y Diamante. Como parte de sus investigaciones documentaron numerosos glaciares mediante fotografías, las que hoy en día representan documentos históricos de gran valor, ya que nos permiten estudiar las variaciones de los glaciares y el efecto de los cambios climáticos (Figuras 2 y 3).



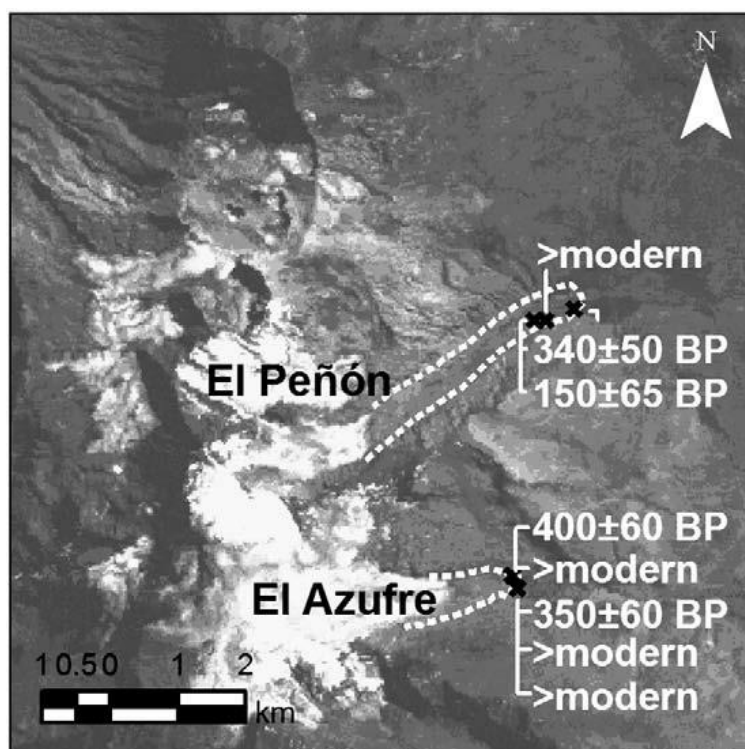
**Figura 2:** En la foto 2a vemos el glaciar Azufre, en una foto tomada en el año 1900 por Burckhardt. 2b, en febrero de 2014 se retomó esta foto (Autor: M. Castro IANIGLA-CONICET), donde se puede observar la pérdida de hielo con respecto a la otra fotografía.



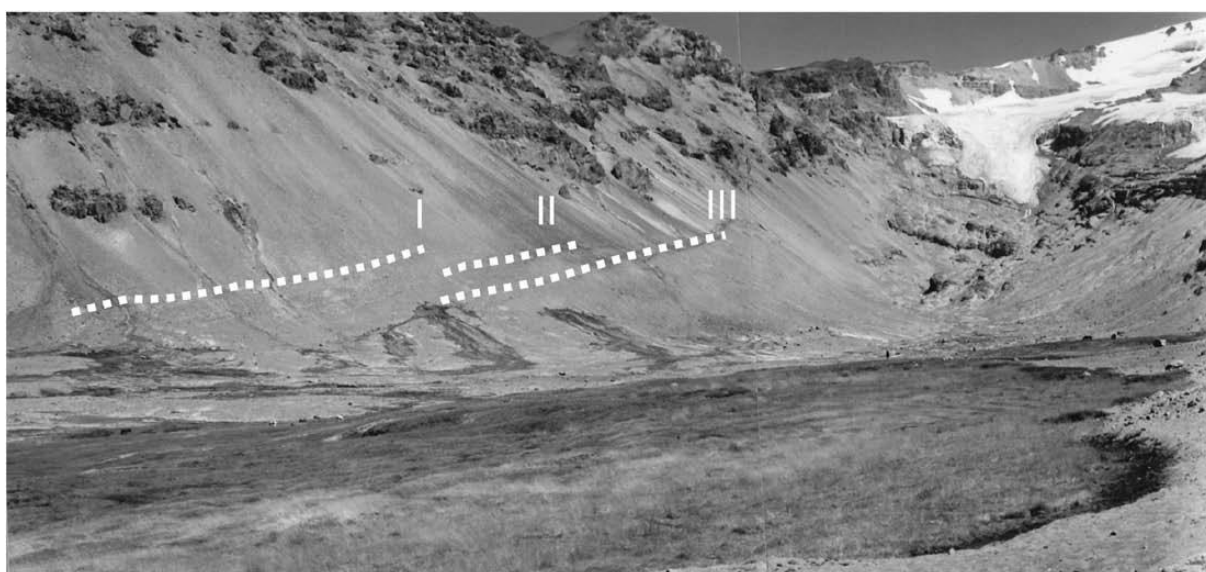
**Figura 3:** En la figura vemos el mismo glaciar, en este caso la foto fue tomada desde una posición más cercana al frente del glaciar. La foto superior 3a fue tomada en 2003 (Espizua, L.) y la de abajo 3b en 2014 (Castro, M.) donde se puede observar el retroceso del frente del glaciar.

La Pequeña Edad de Hielo (PEH) para esta zona y en los valles cercanos de Las Choicas y Las Damas, fue determinado a partir de análisis geomorfológicos y dataciones de radiocarbono de muestras basales obtenidas de vegas adyacentes a morenas terminales y laterales (Espizua 2004; Espizua 2005; Espizua 2008; Espizua y Pitte 2009). En base a estos resultados interpretaron que el avance máximo de la PEH tuvo lugar entre los años 1550 y 1720, con un posterior avance en torno a 1830. Los resultados de las dataciones relativamente similares, el paisaje glacial presente y la proximidad a los glaciares existentes, permiten concluir que estos avances podrían corresponder a una reactivación glacial relativamente sincrónica durante la PEH en los cuatro valles de la subcuenca del río Grande (Figuras 4 y 5).





**Figura 4: Lugares de muestreo para dataciones radiocarbónicas en los valles del Peñón y Azufre.**

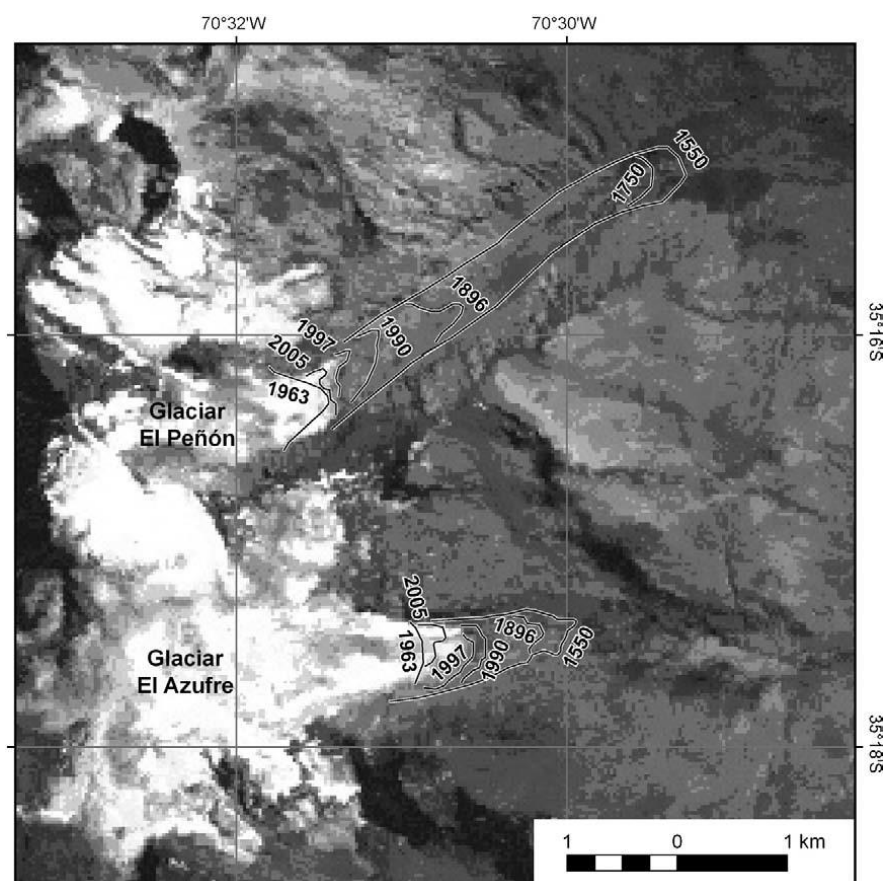


**Figura 5: Morenas correspondientes a la Pequeña Edad de Hielo en el valle de El Peñón.**

Trombotto et al. (2012, 2014) hacen notar que la actividad del complejo volcánico Peteroa tiene que haber afectado la posición de los frentes glaciarios, ya que hay, por ejemplo, registros muy claros de actividad volcánica de varios tipos como freatomagmática, o estromboliana para los siglos XVIII, XIX y XX. También existen referencias de actividad volcánica anterior o neoglacial (Tormey et al, 1989, Naranjo et al., 1999). En consecuencia, Trombotto et al. (2014) manifiestan en su trabajo que esta importante actividad volcánica, podría influir en la posición altitudinal y edades de los depósitos de till encontrados, además remarca que habría que tener en cuenta los efectos del alto grado geotérmico local.



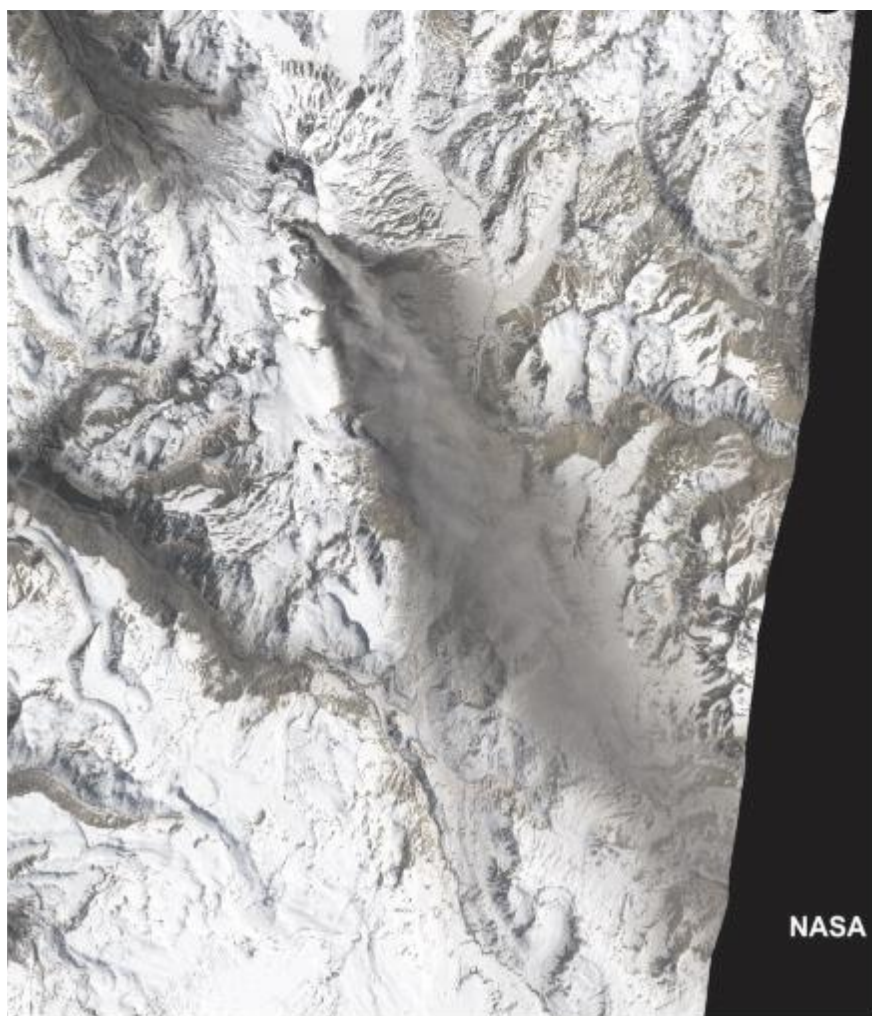
Otro tipo de estudios glaciológicos realizados en esta cuenca, incluyen estudios de fluctuaciones de los últimos 100 años aproximadamente de los glaciares El Peñón, ubicado en el complejo Co. del Planchón – Vn. Peteroa 4.113 msnm, y el glaciar El Azufre situado en otro valle ubicado inmediatamente al sur. Según Espizua y Maldonado (2007), si bien la tendencia general de estos glaciares fue de un fuerte retroceso durante el periodo comprendido entre 1894 y 2005, se observaron algunos años en los que los glaciares avanzaron o permanecieron estacionarios. En la Figura 6 se puede ver el cambio de superficie de los glaciares Peñón y Azufre entre el año 1897 y 2007.



**Figura 6: Fluctuaciones de área de los glaciares Peñón y Azufre (Masiokas et al. 2009)**

Más recientemente se realizó un primer inventario de las zonas que rodean el complejo Co. del Planchón – Vn. Peteroa, donde se describen los glaciares más importantes de ambos lados del límite internacional Argentino-Chileno (Trombotto et al., 2014). En este trabajo se puede observar una comparación de 15 cuerpos de hielo entre el año 2010 y el año 1997, como también referencias importantes de otros autores que calcularon particularmente superficies de englazamiento y espesores.

Por otro lado, hay varios trabajos realizados en la zona del Vn. Peteroa, relacionados con su actividad volcánica así como diversos aspectos geomorfológicos del volcán (Haller y Risso 2011 (Figura 7); Trombotto et al. 2009).



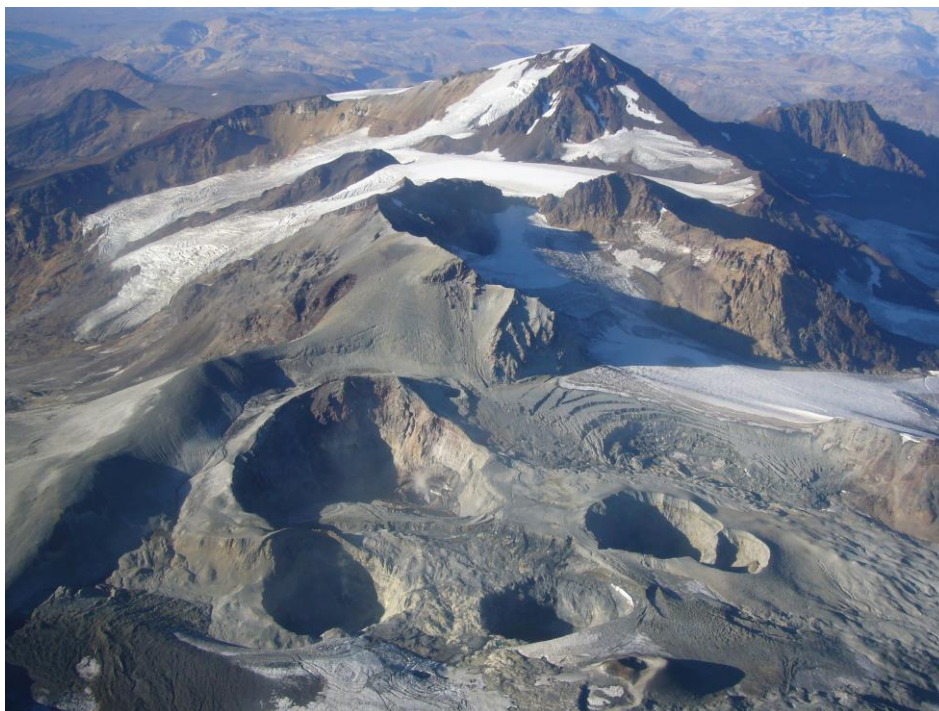
**Figura 7: Imagen del 21 de septiembre de 2010 donde se observa la pluma eruptiva del volcán Peteroa con dirección al sureste. (Foto tomada de Haller y Risso 2011).**

La actividad del volcán Peteroa impacta directamente sobre el ambiente glacial y periglacial existente en el complejo Co. del Planchón – Vn. Peteroa (Trombotto et al. 2014). El sistema glacial afectado comprende desde glaciares descubiertos y cubiertos por detrito, así como permafrost (permafrost in situ y permafrost reptante). La reciente actividad volcánica y el alto gradiente geotermal favorecen la pérdida de hielo en las proximidades de la cumbre del complejo volcánico.

Entre el año 2004 y 2013 se llevó a cabo el inventario local de glaciares y un monitoreo del complejo volcánico Planchón-Peteroa-Azufre, desde el punto de vista térmico, con el cual se encontró una correlación de la actividad volcánica con el sismo del Maule del 27 de febrero de 2010 (Trombotto et al. 2012, 2014). Cabe mencionar que este trabajo se llevó a cabo mediante diferentes proyectos de investigación donde participaron el Centro Atómico Ezeiza de la CNEA, UTN, Buenos Aires, LEGAN, Mendoza, IANIGLA-CONICET, Mendoza, Argentina y el “Instituto di Acustica“, de Roma, Italia.

En el proyecto multidisciplinario mencionado Trombotto llevó a cabo vuelos de monitoreos de los cuerpos de hielo y de la actividad volcánica para estudiar su interacción. La siguiente imagen del CVP (Figura 8) fue realizado en uno de estos primeros vuelos hechos para este

objetivo desde un avión monomotor CESSNA en el año 2009. En la imagen se observan diferentes glaciares de acuerdo a la clasificación de Trombotto et al. (2015) glaciares de montaña, de descarga y colgantes. La zona periglacial y criogénica fue separada también de acuerdo a esta clasificación.



**Figura 8: Columna eruptiva que tuvo lugar durante la erupción del volcán Peteroa del año 2010. En la parte alta se observan los glaciares de la cumbre del volcán (Foto Trombotto 2009).**



### 3. Definiciones a los fines del Inventario

A los fines específicos y operativos del Inventario Nacional de Glaciares, el IANIGLA propuso en el documento: “**Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución**”, (IANIGLA 2010) ([http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wpcontent/uploads/legales/fundamentos\\_cronograma\\_de\\_ejecucion.pdf](http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wpcontent/uploads/legales/fundamentos_cronograma_de_ejecucion.pdf)), 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 operadores sin lugar a ambigüedades. Estos criterios han sido empleados en el inventario de la subcuenca del río Grande aquí presentado.

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 dados por el WGMS (World Glacier Monitoring Service) y la IPA (International Permafrost Association), y además cumplen con la propiedad principal que debe tener un cuerpo de hielo para ser incluido en el Inventario, su condición de reserva de agua en estado sólido. Es respetando estos dos conceptos que se proponen las siguientes definiciones:

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

**Glaciar cubierto con glaciar de escombros:** en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciar de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciar) y el glaciar de escombros 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.

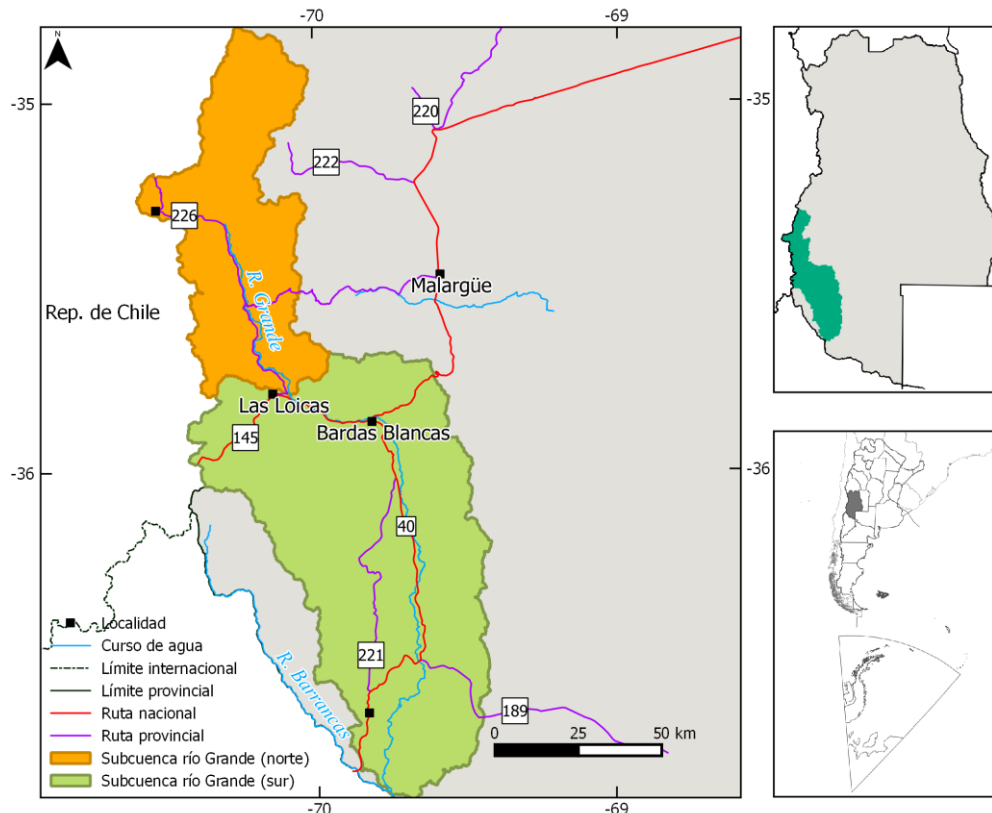
Cabe aclarar que en el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo, son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (Corte 1976; Schrott 1996; Brenning y Azócar 2010; Azócar y Brenning 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).

El presente informe corresponde al Inventario de Glaciares de la subcuenca del río Grande, perteneciente a la cuenca del río Colorado. Dicha cuenca comprende las provincias de Neuquén, Río Negro, Mendoza, La Pampa y Buenos Aires y presenta una superficie de 47.458,89 km<sup>2</sup>, según el Atlas Digital de los Recursos Hídricos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos del año 2004. Para los fines del inventario, acotamos la cuenca del río Colorado a su parte alta, que es donde encontramos los glaciares, donde estarán incluidas las subcuencas del río Grande y Barrancas. Este sector de la cuenca del río Colorado tiene una superficie de 10.308 km<sup>2</sup> y ha sido dividida en la siguiente agrupación de subcuencas, para organizar mejor el trabajo en áreas de superficie englazada relativamente equivalentes (Figura 9).

- **Subcuenca río Grande norte** (3.212 km<sup>2</sup>)
- **Subcuenca río Grande sur** (7.096 km<sup>2</sup>)



**Figura 9: Subcuenca del río Grande, con su división en dos subcuencas una hacia el norte y la otra hacia el sur, donde se realizó el Inventario de Glaciares.**

La subcuenca río Grande norte incluye ríos de gran envergadura, entre ellos el río Tordillo y el Valenzuela, a partir de su confluencia se origina el río Grande. El río Cobre es un afluente del río Tordillo y en sus nacientes se ubican numerosos glaciares descubiertos, que junto con los glaciares Peñón y Azufre, ubicados en las nacientes del Valenzuela, forman la zona de mayor englazamiento de toda la subcuenca del río Grande. A su vez, el sector sur de la subcuenca del río Grande, está formado por varios ríos de origen glaciar, son el río Poti-Malal, Chico y Mutrenquel. Todos ellos contribuyen al río Grande.

El río Grande tiene alimentación prácticamente nival exclusivamente, mientras que el Barrancas es una cuenca de transición entre las hoyas nivales al norte y pluvio-nivales del sur.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en la subcuenca del río Grande 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), se puede obtener de forma gratuita desde este link <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>.

Empleando el programa QGIS (software libre) se delimitaron las subcuencas utilizando como base el SRTM. Los pasos básicos para obtener las cuencas hidrográficas en QGIS consisten en primer lugar en el llenado de sumideros y posteriormente delimitar el tamaño mínimo de la cuenca que viene dado en base al número de celdas que seleccionemos. La cuenca obtenida, fue posteriormente editada y corregida manualmente, en aquellos casos en que no hubo un buen ajuste entre el MDE y la imagen de base. La edición manual de la cuenca fue realizada empleando el programa QGIS<sup>1</sup> (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).

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

Para realizar el inventario de la subcuenca del río Grande se utilizaron como imágenes de base escenas de los sensores ASTER, AVNIR y LANDSAT TM (Tabla 1). Además se revisaron y utilizaron como imágenes de apoyo escenas ALOS PRISM, SPOT así como el programa Google Earth y Bing. Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación. Las imágenes de mayor resolución espacial PRISM y SPOT, fueron importantes para la detección de hielo cubierto y glaciares de escombros (ver anexo 7.1. donde se adjunta información de todas las imágenes empleadas para la realización de este inventario).

---

<sup>1</sup> <https://www.qgis.org/>

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

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST14OTH_00304082011144518	08 abril 2011
Terra/ASTER	AST14OTH_00304082011144509	08 abril 2011
Terra/ASTER	AST14OTH_00304082011144500	08 abril 2011
Terra/ASTER	AST14OTH_00304082011144527	08 abril 2011
Terra/ASTER	AST14OTH_00303272010145148	27 marzo 2010
Terra/ASTER	AST14OTH_00303272010145139	27 marzo 2010
Alos/AVNIR	ALAV2A172934340	23 abril 2009
Landsat5/TM	LT52320852011058COA01	08 mayo 2011

Los datos ASTER fueron obtenidos de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota ([http://lpdaac.usgs.gov/get\\_data](http://lpdaac.usgs.gov/get_data)) a través del Convenio entre el programa GLIMS y el IANIGLA. Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) y las imágenes ALOS fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina y por el Dr. Jinro Ukita, Niigata University, a través 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. Las imágenes SPOT fueron obtenidas a través del Convenio entre Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y el IANIGLA.

Para la selección de imágenes se siguieron las sugerencias establecidas por GLIMS que tienen en cuenta la disponibilidad de imágenes, la ausencia de nubes y la cobertura de nieve en las mismas. Para minimizar los posibles errores que introduce la cobertura de nieve, que dificulta la delimitación de los cuerpos de hielo, se eligieron casi exclusivamente imágenes correspondientes al final del año de balance de masa (Cogley et al 2011). En el caso de glaciares extratropicales, el final del año de balance de masa coincide con el fin del verano, es decir principios de otoño (Marzo/Abril), mientras que para los glaciares tropicales se aproxima con el final de la temporada seca (fines de agosto y principios de septiembre).

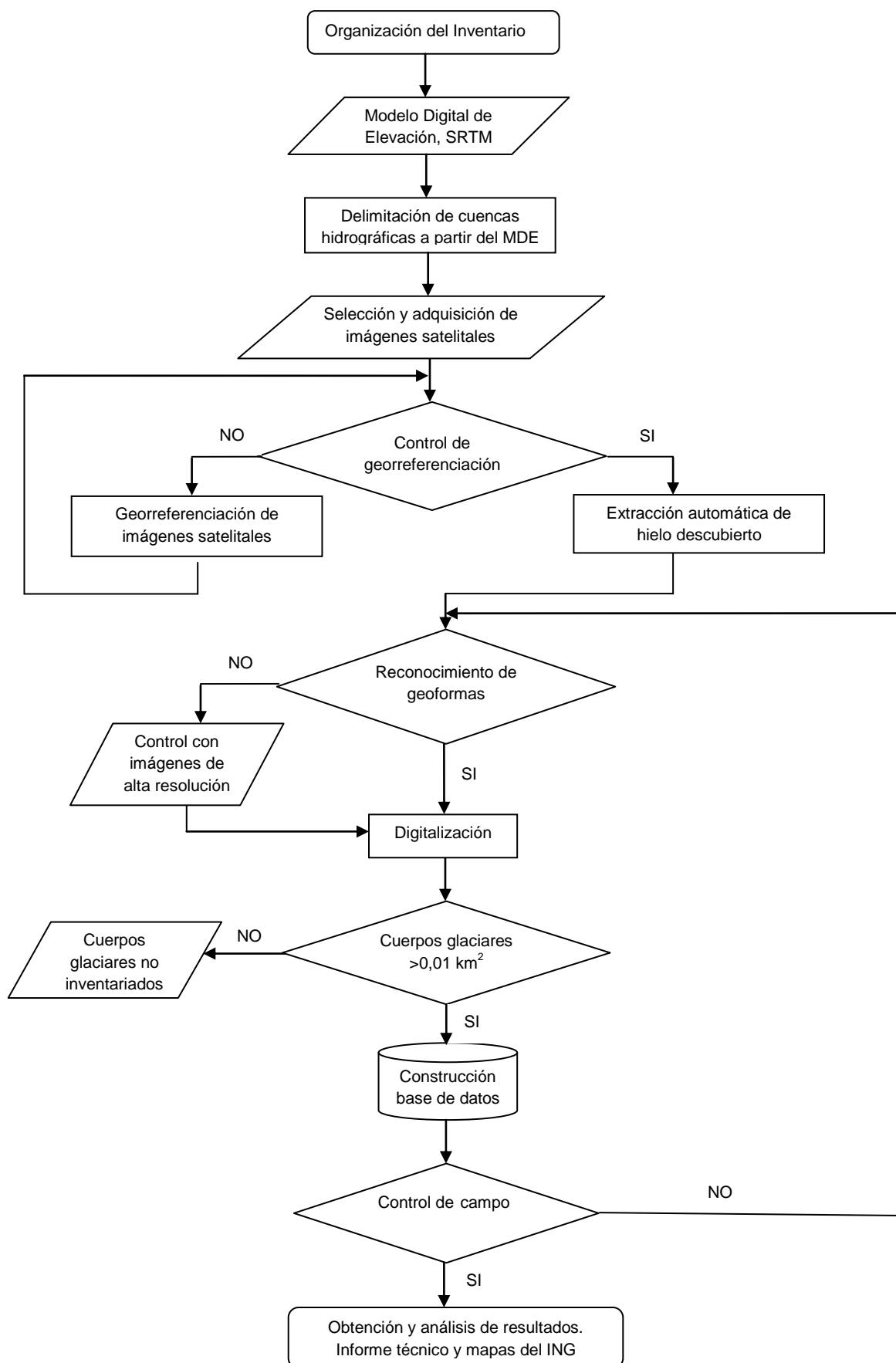
En este trabajo las coordenadas están referidas al sistema de referencia global WGS84, y el sistema de proyección elegido es el UTM (Universal Transversal Mercator). Este sistema de referencia y proyección es utilizado internacionalmente, lo que permitirá comparar los



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

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

En la Figura 10 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.

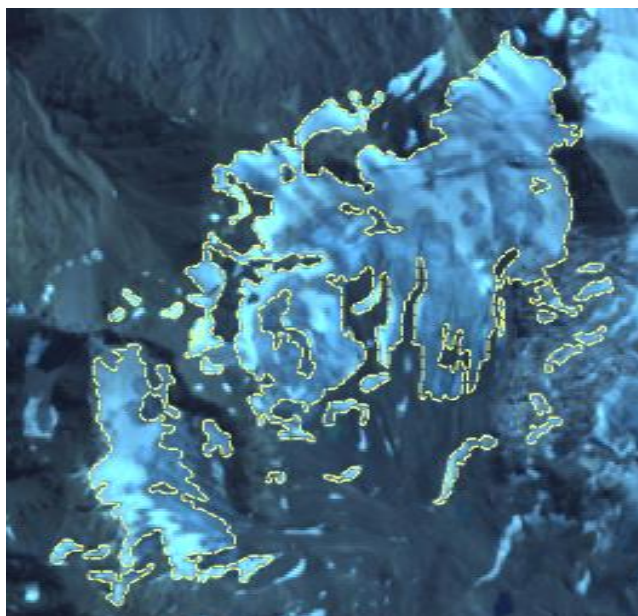


**Figura 10: Diagrama de flujo de la metodología usada.**

### 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 11).

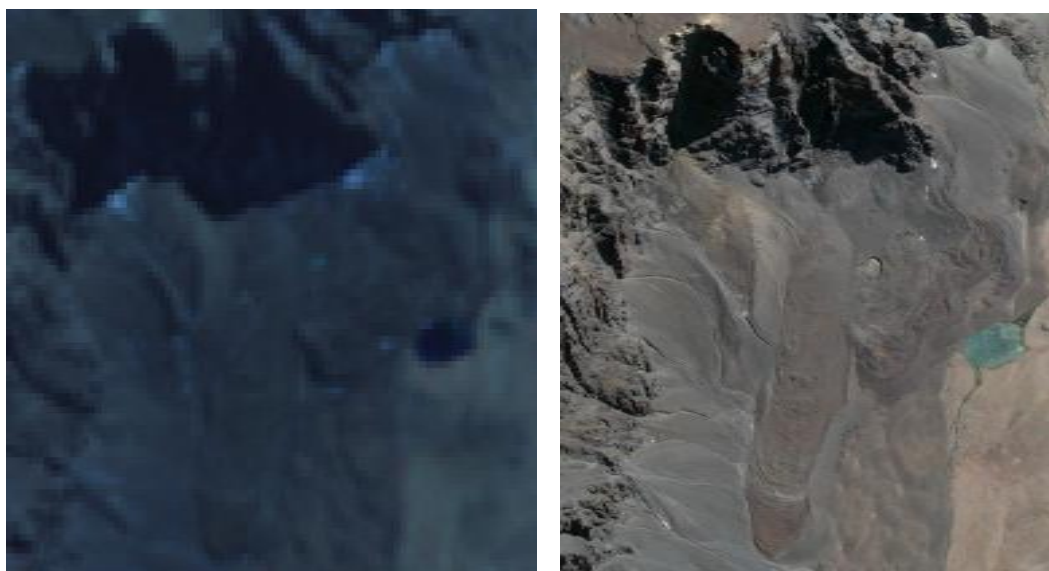
Posteriormente el vector obtenido se edita manualmente para corregir pequeñas diferencias que puedan existir, como por ejemplo el hielo no identificado por estar localizado en sectores en sombra en la imagen o para eliminar la nieve estacional que pueda estar presente en la imagen.



**Figura 11:** En la línea punteada de color amarillo se observa la 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 de glaciares cubiertos de detrito y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la mejor metodología utilizada a nivel internacional (Stokes et al. 2007). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo. Para ello, además de las imágenes ASTER empleadas como base de este inventario (Tabla 1), utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución PRISM (ALOS), SPOT y las imágenes disponibles en Google Earth (Figura 12). La digitalización fue realizada con el programa QGIS.



**Figura 12: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda pueden observarse varios glaciares de escombros en una imagen ASTER (15 m de resolución). A la derecha pueden observarse las mismas crioformas en una imagen Geosyde de 0,5 m de resolución (imagen de Google Earth). Se pueden reconocer rasgos típicos de estas geoformas (termocarst, crestas, surcos y talud frontal) gracias a la mejor resolución espacial de la imagen.**

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

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares del río Grande 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 (ver Anexo 7.3). La base de datos también se construyó con el programa QGIS.

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

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

0. Incierto
1. Sábana de hielo continental
2. Campo de hielo
3. Calota de hielo
4. 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](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](http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_a4.pdf).

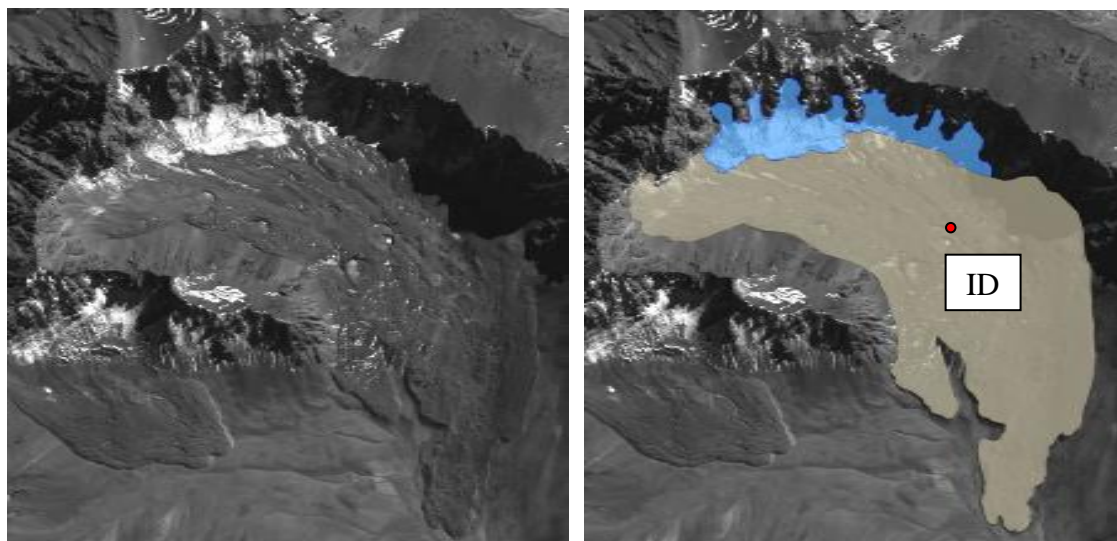
El código internacional **ID\_GLIMS** de un glaciar es generado a partir de las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior del mismo. Cuando las longitudes corresponden al Oeste, las mismas son convertidas al Este mediante la adición de 360 grados ( $-69.232+360 = 290.768$ ). De esta 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 13 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 13: Ejemplo de una unidad vista en una escena ALOS PRISM sin digitalizar (izquierda) y con todos los polígonos que la componen digitalizados (derecha). El punto rojo en el centro de la unidad se utilizó para obtener las coordenadas geográficas de la misma. Todos los polígonos 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. Subcuenca del río Grande



**Glaciar Cobre, foto tomada por J. Mescua, IANIGLA 2008.**

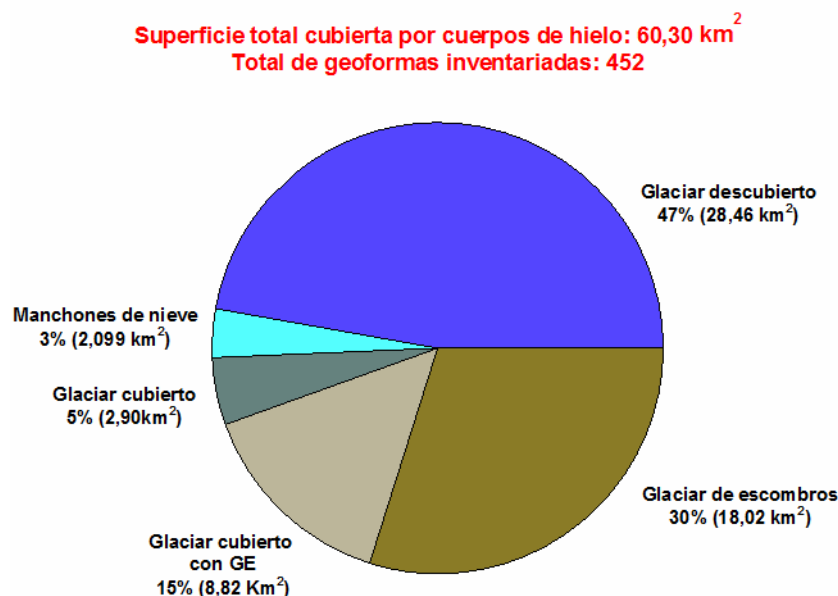
La subcuenca del río Grande, se trata de una gran cuenca hidrológica que aporta al río Colorado. Debido a las grandes dimensiones que presenta dicha subcuenca, se dividió en dos sectores, uno correspondiente a la parte norte de la subcuenca y otro a la parte sur.

En este apartado primero se presentan los resultados para toda la subcuenca del río Grande y después de forma separada para cada uno de los sectores en los que fue dividida.

Los resultados obtenidos para toda la subcuenca, son similares a los del sector Grande norte, puesto que la mayoría de los glaciares inventariados están en dicho lugar (tan sólo 1km<sup>2</sup> de superficie cubierta por glaciares ha sido inventariada en el sector sur). En total se han inventariado 452 glaciares, los cuales ocupan una superficie de 60,30 km<sup>2</sup>. Toda la subcuenca del río Grande ocupa una superficie de 10.308 km<sup>2</sup>, por lo que tan sólo el 0,6% de esta gran subcuenca está cubierta por glaciares (ver Figura 14 y Tabla 2).

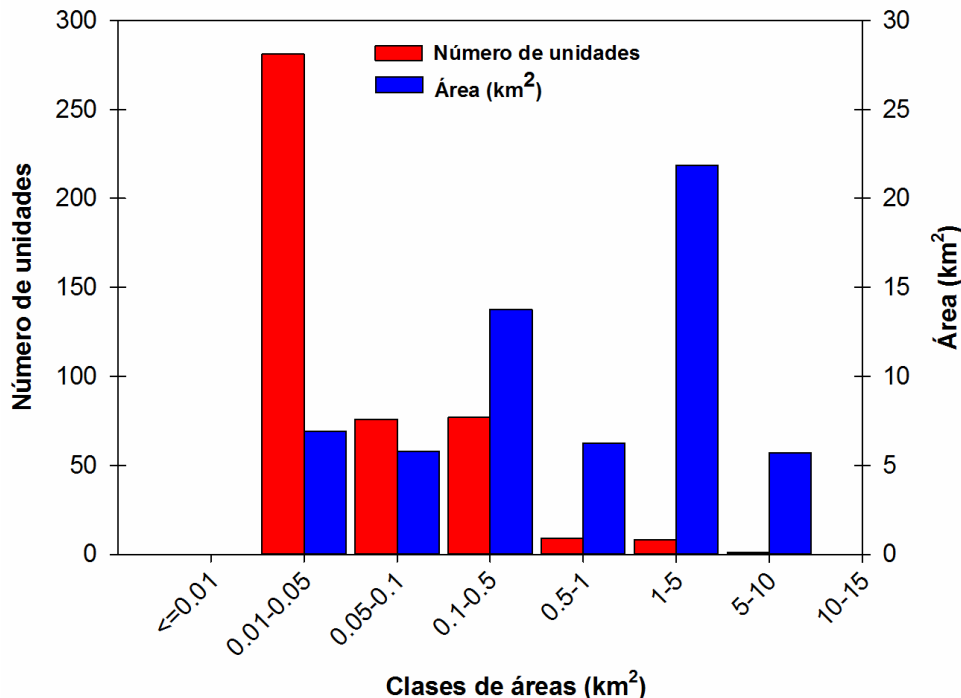
**Tabla 2: Superficie total de glaciares inventariados en la subcuenca del río Grande.**

Tipo de geoforma inventariada	Área (km <sup>2</sup> )
Glaciar descubierto	28,46
Manchones de nieve/glaciaretes	2,099
Glaciar cubierto	2,90
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	8,82
Glaciar de escombros	18,02
Total	60,30



**Figura 14: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Grande.**

En relación al tamaño de los glaciares y a su abundancia se ha observado que el mayor número de glaciares inventariados tienen un tamaño entre 0,01 y 0,05 km<sup>2</sup> (11% de la superficie total inventariada). En cambio son pocos los glaciares de mayor tamaño presentes en esta subcuenca, pero la superficie que ocupan entre ellos es mayor, el 36% de la superficie inventariada corresponde a glaciares que tienen un tamaño de entre 1 y 5 km<sup>2</sup> (Figura 16).



**Figura 15: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande.**

### 5.1.1. Sector río Grande norte

Este sector de la subcuenca limita hacia el norte y el noreste con la cuenca del río Atuel, hacia el este con la cuenca de la laguna Llanquanelo y al oeste con Chile.

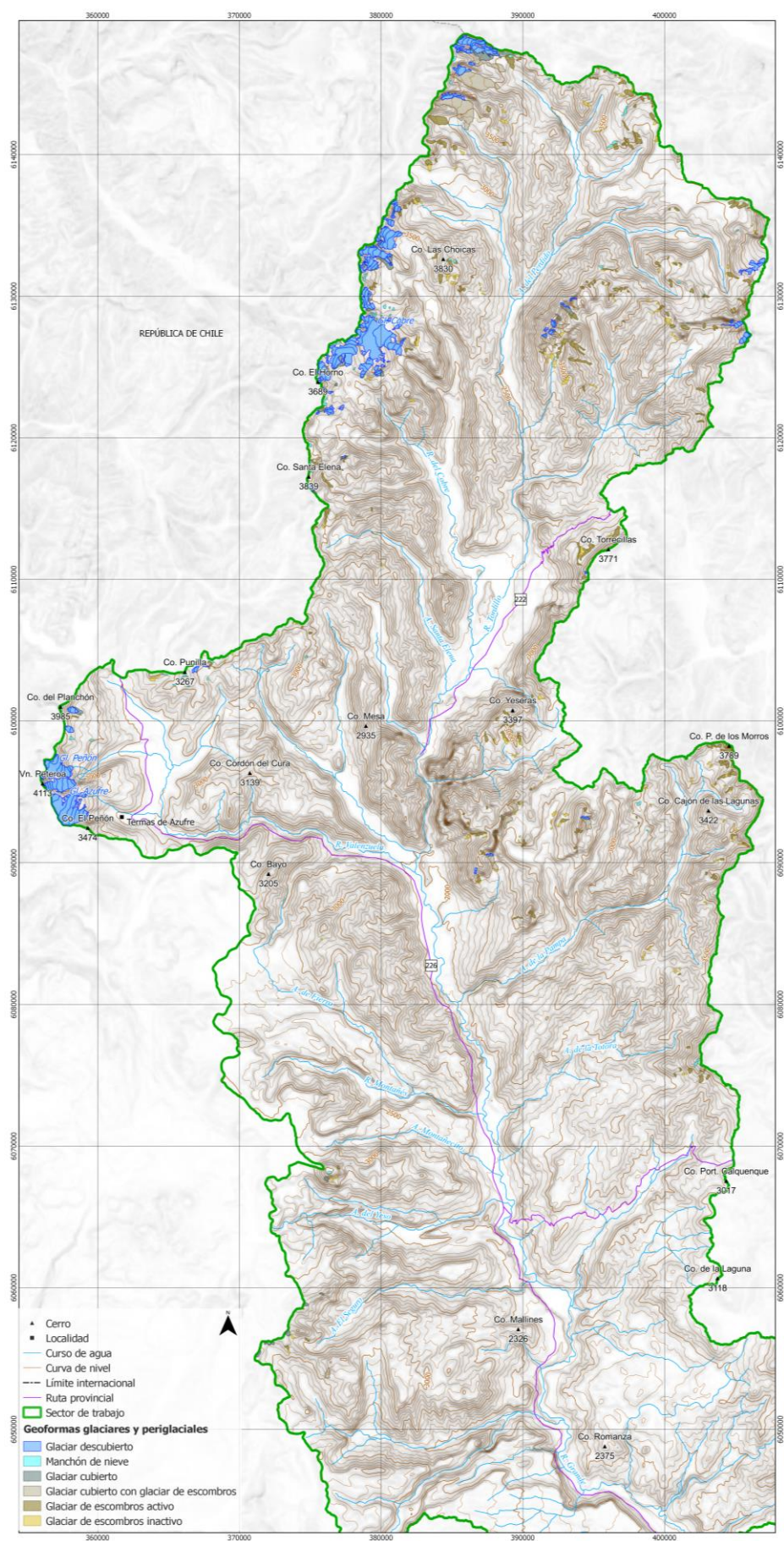
En esta subcuenca encontramos todos los tipos de geoformas a inventariar, habiendo presencia de glaciares de montaña confinados en las partes más altas de los valles, pero que durante la Pequeña Edad de Hielo fueron glaciares de valle más extensos (Espizua 2004; Espizua 2005).

**Tabla 3: Superficie total de glaciares inventariados en la subcuenca del río Grande norte.**

Tipo de geoforma inventariada	Área (km <sup>2</sup> )
Glaciar descubierto	28,4624
Manchones de nieve/glaciaretos	1,683
Glaciar cubierto	2,8986
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	8,8183
Glaciar de escombros	17,4392
Total	59,3015

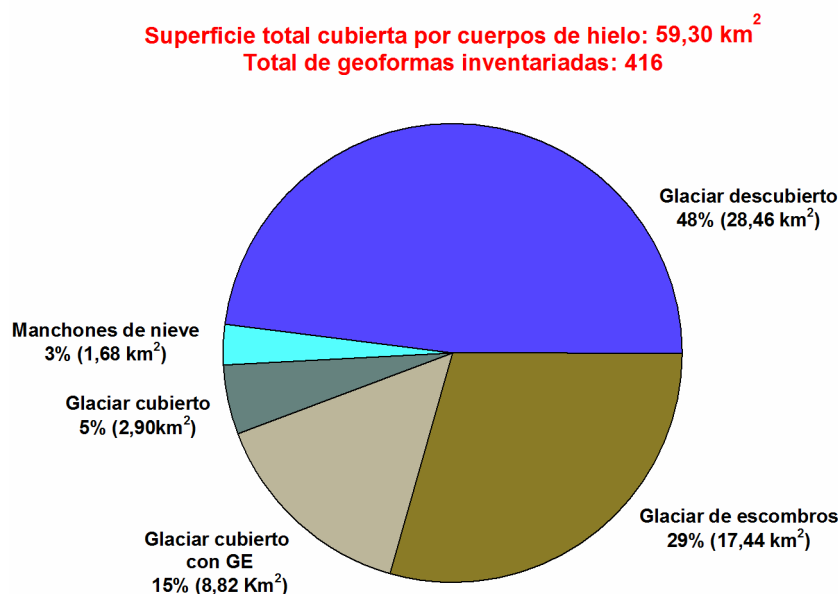
Se han inventariado un total de 416 glaciares. La superficie que ocupan es de 59,30 km<sup>2</sup>, lo cual representa un 2% de la subcuenca del Grande norte (Figura 16).





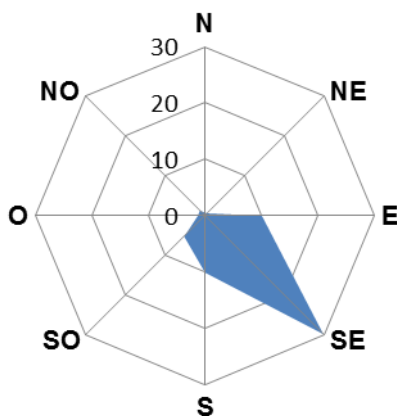
**Figura 16: Inventario de glaciares de la subcuenca del río Grande norte.**

Los glaciares descubiertos y manchones de nieve corresponden al 51% de las geoformas inventariadas (Figura 17). El 49% restante corresponde a glaciares cubiertos y a glaciares de escombros, por lo que en este caso se puede observar que está repartido de forma equitativa la presencia de glaciares descubiertos con respecto a los cubiertos y glaciares de escombros.



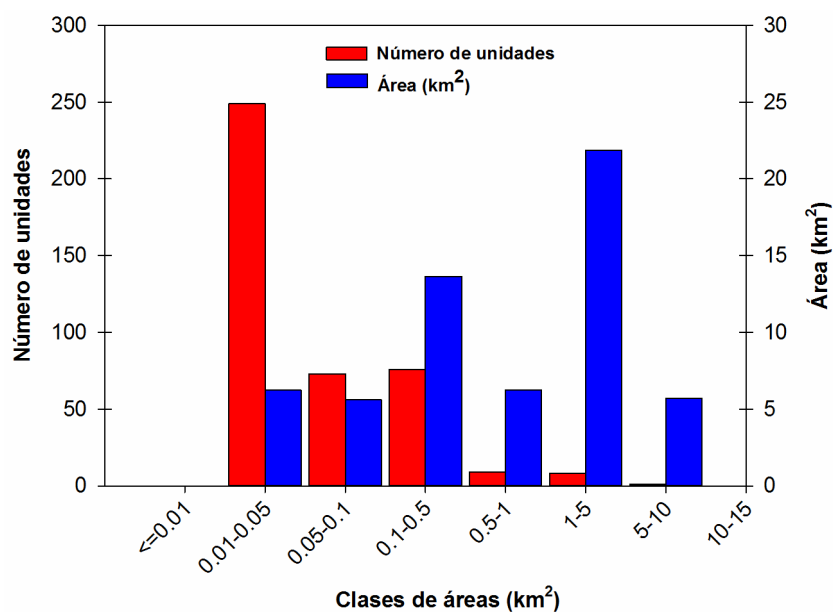
**Figura 17: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Grande norte.**

En la Figura 18 se puede ver la distribución de la superficie de los glaciares inventariados con respecto a su orientación. La tendencia es que los glaciares se ubican hacia el sureste en su mayoría.



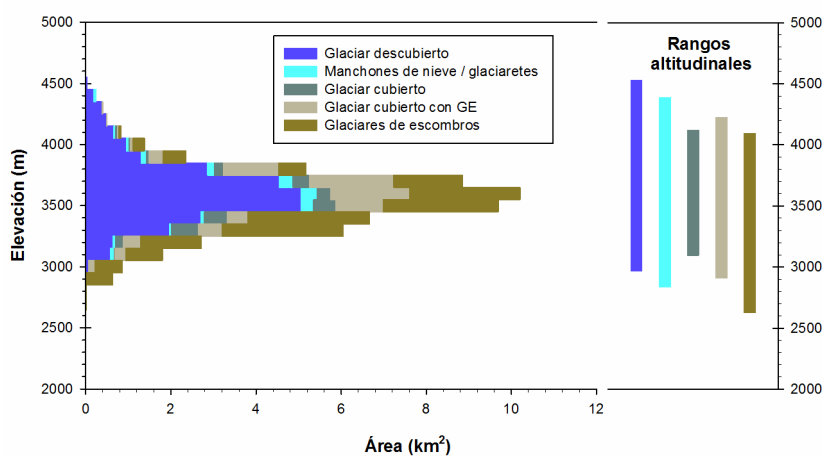
**Figura 18: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande norte.**

En relación al tamaño de los glaciares y a su abundancia se observa en la Figura 19 el predominio de glaciares de tamaño comprendido entre 0,01-0,05 km<sup>2</sup>, correspondería al 60% de los glaciares inventariados en este sector.



**Figura 19: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande norte.**

La Figura 20 representa la hipsometría de los glaciares inventariados en la subcuenca del río Grande norte. Los cuerpos de hielo se distribuyen desde los 2.629 msnm hasta los 4.528 msnm.



**Figura 20: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Grande norte.**

**Tabla 4: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del río Grande norte.**

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	2.966	4.528
Manchones de nieve/glaciaretes	2.839	4.387
Glaciar cubierto	3.097	4.119
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	2.914	4.223
Glaciar de escombros	2.629	4.092

### 5.1.2. Subcuenca río Grande sur

Esta parte de la subcuenca del río Grande se ubica hacia el sur, limitando con la provincia de Neuquén, con el río Barrancas.

En total se han inventariado 36 cuerpos de hielo, que ocupan una superficie de  $1\text{km}^2$ . La superficie de la subcuenca Grande sur es de  $7.096\text{ km}^2$  por lo que tan solo el 0,014% de la misma está cubierta por glaciares (Figura 21).

El 41% de los cuerpos de hielo inventariados corresponde a manchones de nieve, ocupando una superficie de  $0,42\text{ km}^2$  y el resto, 59% son glaciares de escombros activos e inactivos, los cuales representan  $0,58\text{ km}^2$  de superficie cubierta (Figura 22).

**Tabla 5: Superficie total de glaciares inventariados en la subcuenca del río Grande sur.**

Tipo de geoforma inventariada	Área ( $\text{km}^2$ )
Manchones de nieve/glaciaretes	0,4164
Glaciar de escombros activo	0,12
Glaciar de escombros inactivo	0,4649
Total	1,0013



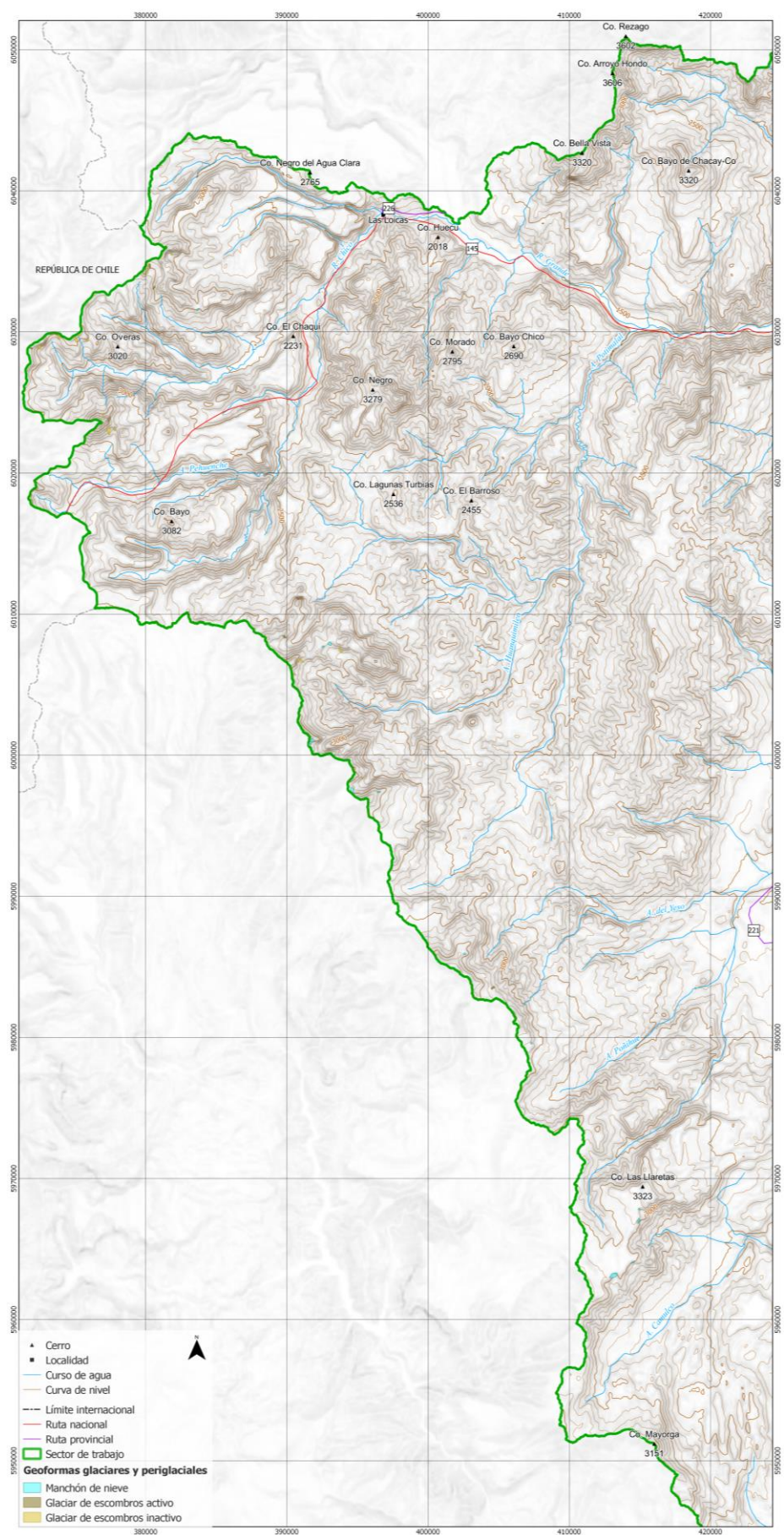
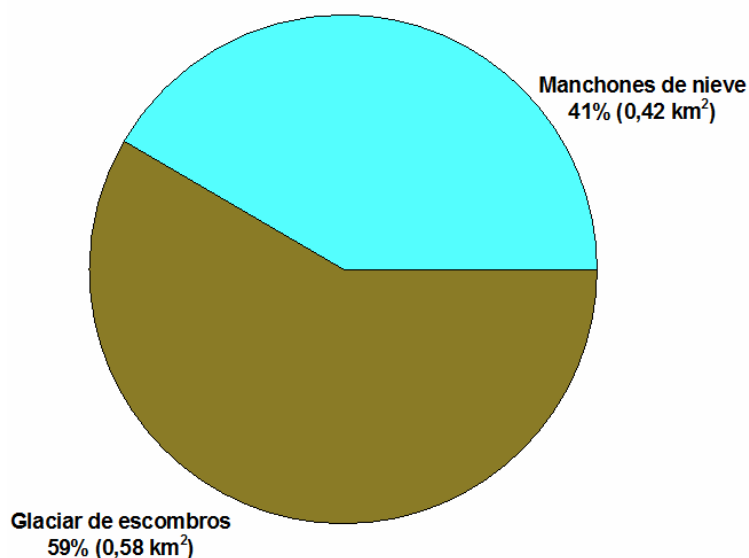


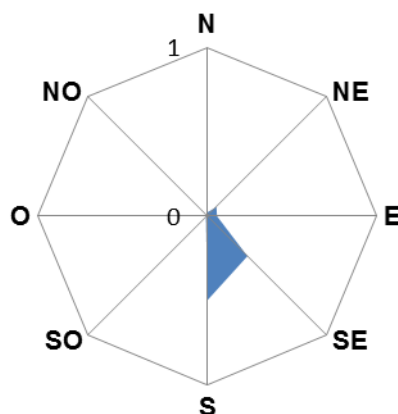
Figura 21: Inventario de glaciares de la subcuenca del río Grande sur.

Superficie total cubierta por cuerpos de hielo: 1 km<sup>2</sup>  
 Total de geoformas inventariadas: 36



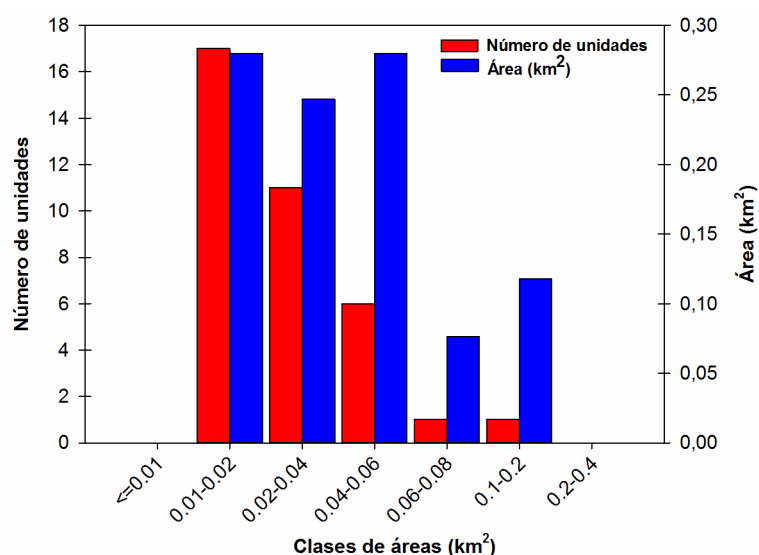
**Figura 22: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Grande sur.**

La orientación predominante de los glaciares ubicados en la subcuenca Grande sur es hacia el sur y sureste, como se puede observar en la Figura 23.



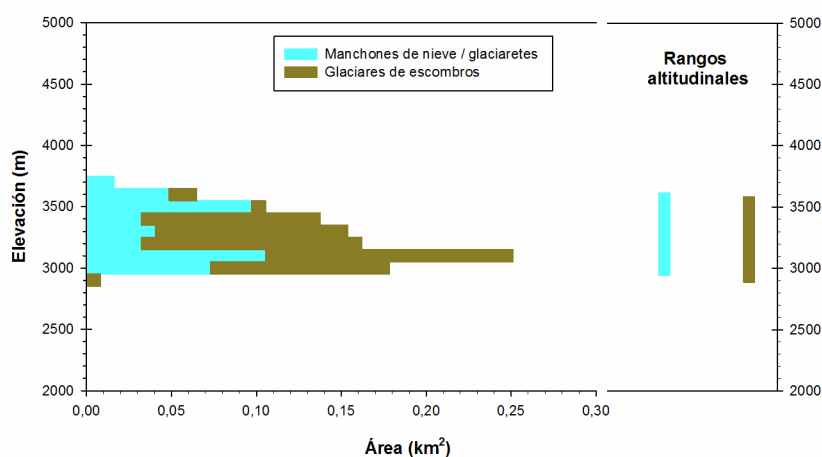
**Figura 23: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande sur.**

El número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en esta subcuenca, se puede observar en la Figura 24. Vemos que se trata de pequeños glaciares, el de mayor superficie es de 0,11 km<sup>2</sup>, la mayoría de ellos presentan tamaños alrededor de la hectárea.



**Figura 24: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Grande sur.**

En la Figura 25 se puede observar la distribución altitudinal de las diferentes geoformas o hipsometría para la subcuenca Grande sur. Tanto los manchones de nieve como los glaciares de escombros presentan un rango altitudinal de distribución muy similar, que va desde los 2.888 msnm hasta los 3.617 msnm como cota máxima (ver Tabla 6).



**Figura 25: Hipsometría de los glaciares presentes en el sector Grande sur.**

**Tabla 6: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del río Grande sur.**

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Manchones de nieve/glaciaretos	2.942	3.617
Glaciar de escombros	2.888	3.584

## **5.2. Control de campo**

Durante el verano de 2014 se hizo una primera campaña al área de Valle Hermoso y del paso internacional Planchón-Vergara. En Valle Hermoso se pudieron observar varios glaciares de escombros cerca de la ruta provincial RP222. En la ruta RP226 que llega hasta el paso internacional antes mencionado, se pueden observar dos grandes valles, en los cuales se ubican dos importantes glaciares conocidos como El Peñón y Azufre.

El verano siguiente, se hizo el control de campo en el área conocida como Laguna del Cajón Grande, en el Valle Noble. En esta zona abundan los glaciares de escombros y glaciares cubiertos por detrito. Es una zona con abundante vegetación, en forma de vegas y con numerosas lagunas originadas a partir de la fusión de la nieve y glaciares de la zona.

En total se observaron 46 geoformas en el campo, que fueron comparadas con las identificadas en gabinete. Se obtuvo un 92% de coincidencias en la identificación de glaciares y un 82% en la clasificación. En cuanto a la clasificación el principal inconveniente se observó en glaciares de escombros que en gabinete fueron clasificados como inactivos y en el campo se observaron activos. Para tener mayor detalle ver anexo 7.2. donde se describen algunas de las geoformas visitadas en el trabajo de campo.

## 6. Bibliografía

- Arenson, L. y Jakob, M. 2010. The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes – A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 286 - 288.
- Azócar, G.F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 42 - 53.
- Barsch D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *Third International Conference on Permafrost, Proceedings 1*, 349-353 p. Ottawa, Canada.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, 331 p. Berlin.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16, 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 54 - 66.
- Burckhardt, C. 1900. Profils géologiques transversaux de la Cordillère Argentino–Chilienne. Stratigraphie et tectonique. *Anales del Museo de La Plata, Sec. Geología y Mineralogía*, Tomo II. La Plata, Argentina.
- Camara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Garrido, J. 1996. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403.
- 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: 175-197.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157-158.
- Corte, A. y Espizúa L.E. 1981. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.
- Delgado, S., 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*.



Espizua, L.E., 2004. Holocene glacier variations in the Las Choicas and Las Damas valleys, Mendoza, Argentina. 2nd International Symposium on Mass Balance of Andean Glaciers, Glacier Shrinkage in the Andes and Consequences for Water Resources. Huaraz, Peru. 6–9 July, 2004.

Espizua, L.E., 2005. Holocene glacier chronology of Valenzuela Valley, Mendoza Andes, Argentina. *The Holocene* 15 (7), 1079–1085.

Espizua, L.E., Maldonado, G.I. 2007. Glacier fluctuations in the Central Andes of Mendoza, Argentina from 1894/1896 to 2005. In: Scarpati, O.E., Jones, A.A. (Eds.), *Environmental Change and Rational Water Use*. Orientación Gráfica Editora S.R.L., Buenos Aires, pp. 353–366.

Espizua, L.E., Pitte, P., 2009. The Little Ice Age advances in the Central Andes (350S), Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 281, 345–350.

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, 2707-2714.

Gerth, E. 1931. Contribuciones a la estratigrafía y paleontología de los Andes Argentinos. Quinta parte: La Estructura Geológica de la Cordillera Argentina entre el Río Grande y el Río Diamante en el Sud de la Provincia de Mendoza. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, Tomo X, Entrega 2da. Córdoba, Argentina, pp. 125–172.

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

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

Haller, M. y Risso C. 2011. La erupción del volcán Peteroa (35°15'S, 70°18'O) del 4 de septiembre de 2010. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68 (2): 295 – 305.

Naranjo, J.A., Haller, M.J., Ostera, H.A., Pesce, A.H., Sruoga, P., 1999. Geología y peligros del Complejo Volcánico Planchón–Peteroa, Andes del Sur (35°15' S), Región del Maule, Chile, Provincia de Mendoza, Argentina. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín* 52, Santiago.

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

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

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

Otto, J-Ch., Götz, J., Keuschnig, M., Hartmeyer I., Trombotto D. y Schrott, L. 2010. Geomorphological and geophysical investigation of a complex rock glacier system - Morenas

Coloradas valley (Cordon del Plata, Mendoza, Argentina). Geophysical Research Abstracts, EGU2010-3625, Vol. 12.

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

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

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

Tormey, D.R., Frey, F.A., López Escobar, L., 1989. Geologic history of the active Azufre Planchón–Peteroa volcanic center (35°15'S, Southern Andes), with implications for the development of compositional gaps. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* XLIV (1–4), 420–430.

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

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

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*: 126-128.

Trombotto, D., Penas, P., Blothé, J. y Hernández, J. 2012. Monitoreo termo-geomorfológico de la cumbre del Complejo Volcánico Peteroa, Mendoza, Argentina. *Cuadernos ICES 6* . - 1a ed. - Buenos Aires : Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2012. 70 p.

Trombotto, D., Penas P., Aloy G. 2014. Impact of volcanic processes on the cryospheric system of the Peteroa Volcano, Andes of southern Mendoza, Argentina. *Geomorphology*, 208: 74-87.

Trombotto, D., Wainstein, P. y Arenson, 2014. Guía Terminológica de la Geocriología Sudamericana. Fundación de Historia Natural. Vázquez Mazzini Editores, 127 pp.

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

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

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

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

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

## **BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

Ahumada, A. L. 1986. Procesos Criogénicos y Mineralógicos. Universidad Nacional de Tucumán. Tesis Doctoral: 208 p. (Inédito).

Ahumada, A. L. 1990. Ambientes, Procesos y Formas Perigaciales o Geocriogénicas en Quebrada Benjamín Matienzo, Cordillera Principal, Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Toma 45 (1-2): 85 - 97.

Alonso, V. y Trombotto, D. 2012. Periglacial Mapping and Permafrost Altitudes in the Laguna del Diamante Reserve (Central Andes, Argentina). Zeitschrift für Geomorphologie, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. (en prensa).

Buk, E. 1983. Glaciares de Escombros y su Significación Hidrológica. Acta Geocriogénica Nr.1: 22-38, Mendoza.

Buk, E. 2002. Hidrología de ambientes periglaciales Cuenca morenas Coloradas-Vallecitos, Cordón del Plata, Cordillera Fontal, Mendoza. IANIGLA, 30 años de Investigación básica y aplicada en ciencias Ambientales. Editores Darío Trombotto y Ricardo Villalba.p.73-76. Zeta Editores. Mendoza Argentina.

Cobos, D. 1983. Inventario de glaciares de la cuenca del río Atuel. IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina. 29 p.

Cobos, D.R., Boninsegna, J.A.,1983. Fluctuations of some glaciers in the upper Atuel River basin, Mendoza, Argentina. Quat. South Am. Antarct. Penins. 1, 61–82.

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: 263-269.

Espizúa, L.E. 1982. Glacier and Moraine Inventory of the Eastern Slopes of Cordon del Plata and Cordon del Portillo, Central Andes. Argentina. Tills and Related Deposits. 381-395. A.A. Balkema/Rotterdam.

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. 381-395 pp.

- 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. 79-87 pp.
- Espizúa, L.E. 1986. Fluctuations of the río del Plomo Glaciers. *Geografiska Annaler*, 68A (4), 317-327. Stockholm. Sweden.
- 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):255-259. Stockholm. Sweden.
- Espizua, L. 1998. Secuencia glacial del Pleistoceno tardío en el Valle del Río Grande, Mendoza, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften* Bd. 15, S. 85-99, Bamberg.
- 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.
- Ferri, L. y Espizúa, L.E. 2010. A new surge event of Grande del Nevado glacier, Mendoza. *Internacional 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.
- Groeber, P., 1954. Bosquejo paleogeográfico de los glaciares del Diamante y Atuel. Buenos Aires, Asociación Geológica Argentina, *Revista* IX (2), 89–108.
- Helbling, R. 1919. Beitrage zur Topographischen Erschliessung der Cordilleras de los Andes zwischen Aconcagua und Tupungato: Sonderabdruck aus dem XXIII Jahresberitch 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.
- Leiva, J.C., Lenzano, L.E., Cabrera, G.A. y Suarez, J.A. 1989. "Variations of the Río Plomo glaciers, Andes Centrales Argentinos". Publicado en J. Oerlemans (ed), *Glacier Fluctuations and Climatic Change*, pág. 143 - 151, (1989). 417 páginas. Kluwer Academic Publishers, dordrecht, HOLANDA. ISBN 0-7923-0110-2.
- 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". Edited by Martin Price. Sapiens Publishing. 343 páginas. Wiltshire, Gran Bretaña. p. 81-83.
- 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), 242-268.
- Post, A. 1969. Distribution of surging glaciers in western North America. *J. Glac.*, 8 (53): 229-240.

Trombotto, D. 1988. "Geocryogenic Geomorphology, East Flank of the Andes Mendoza, at 33 S.L.". Vth International Conference on Permafrost, Trondheim, Proceedings, Vol. 1: 263-267, Noruega.

Trombotto, D., Buk., E. y Hernández, J. 1997. "Monitoring of Mountain Permafrost in the Central Andes, Argentina". Permafrost and Periglacial Processes, Vol. 8: 123 –129, Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK.

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

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, Año XXIX, Nr. 30: 71-83, Neuquén.

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.

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 Grande

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

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

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
LT52320841990080CUB00	21 marzo 1990	Comparar manchones de nieve
LT52320851990080CUB00	21 marzo 1990	Comparar manchones de nieve
LT52320852005025CUB02	25 enero 2005	Comparar manchones de nieve
LT52320852011058COA01	27 febrero 2011	Comparar manchones de nieve
LT52320852011058COA0	08 mayo 2011	Base inventario

Satélite: Terra

Sensor: **ASTER**

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: Los datos ASTER fueron obtenidos del “Data Pool de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota” ([http://lpdaac.usgs.gov/get\\_data](http://lpdaac.usgs.gov/get_data)) por convenio del IANIGLA con el programa GLIMS.

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST14OTH_00304082011144518	08 abril 2011	Base inventario
AST14OTH_00304082011144509	08 abril 2011	Base inventario
AST14OTH_00304082011144500	08 abril 2011	Base inventario
AST14OTH_00304082011144527	08 abril 2011	Base inventario
AST14OTH_00303272010145148	27 marzo 2010	Base inventario
AST14OTH_00303272010145139	27 marzo 2010	Base inventario

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
ALAV2A172934340	23 abril 2009	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).

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALOS PSM N D4294300 0 1B2	31 marzo 2011	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALOS PSM N D4294305 0 1B2	31 marzo 2011	
ALOS PSM N D4294310 0 1B2	31 marzo 2011	
ALOS PSM N D4294315 0 1B2	31 marzo 2011	
ALOS PSM N D4294320 0 1B2	31 marzo 2011	
ALPSMN266874325	31 marzo 2011	
ALPSMND428432001B2	27 enero 2011	
ALPSMN266874320	27 enero 2011	
ALPSMN266874335	27 enero 2011	
ALPSMN266874325	27 enero 2011	

Satélite: **SPOT**

Resolución: 2,5 m

Imágenes gentileza de CONAE (Argentina)

Corresponden a mosaicos de imágenes tomadas en fechas diferentes, dentro del rango 2004-2008. Este producto es conocido con el nombre de SPOTMaps.

ID imagen	Fecha	Objetivo
Gla_Mendoza_52_SPOTMosaic_CONAE_ARG_0_08_R1C1	2004-2008	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
Gla_Mendoza_49_SPOTMosaic_CONAE_ARG_0_08_R1C1	2004-2008	
Gla_Mendoza_45_SPOTMosaic_CONAE_ARG_0_08_R1C1	2004-2008	

## 7.2. Control de campo

El control de campo se realizó en dos etapas, una en el verano de 2014 donde se visitó Valle Hermoso y los valles donde se ubican los glaciares de El Peñón y el Azufre. En el verano siguiente del 2015 se realizó el trabajo en el área de la Laguna del Cajón, Valle Noble. En el primer caso el acceso a los lugares se realiza fácilmente en camioneta, en el segundo, se necesita viajar un día a caballo para acceder al área.

### 7.2.1 Objetivos

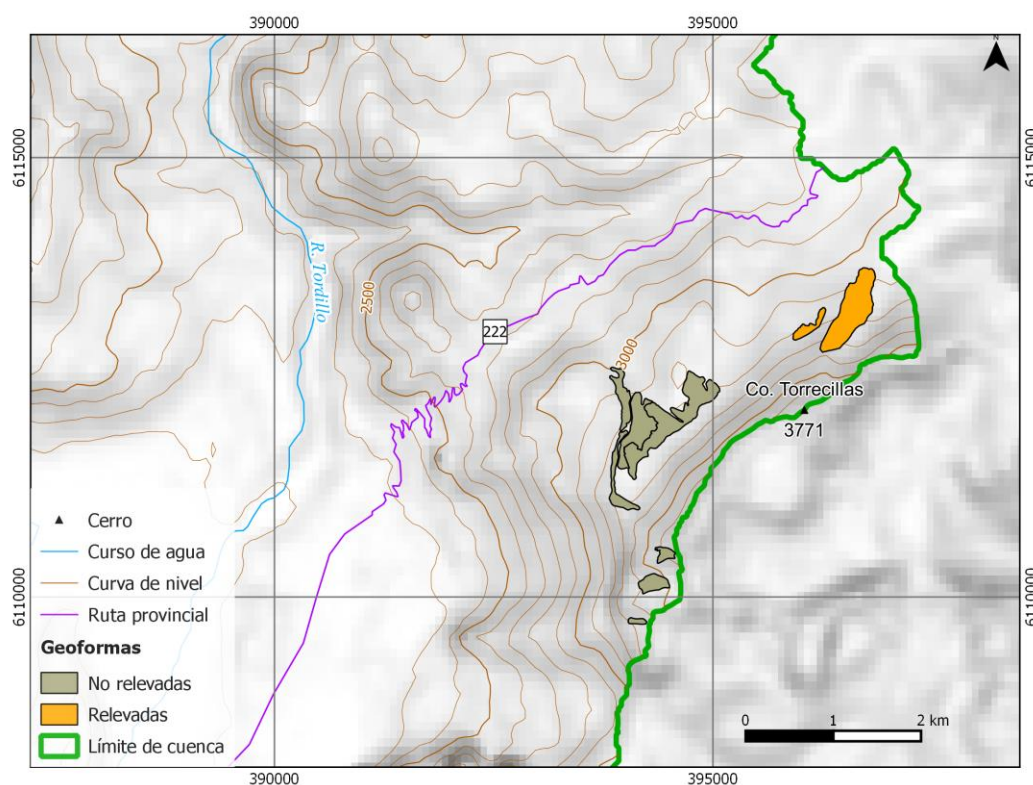
Los objetivos de la campaña fueron:

- ✓ 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

### 7.2.2 Resultados. Geoformas relevadas

A continuación se detallan algunas de las geoformas observadas durante el trabajo de campo.

#### Valle Hermoso 21-22 de febrero de 2014





### **Geoforma G701349O351182S**

Glaciar de escombros activo multiunidad de origen criogénico, alimentado por varias raíces. Presenta un talud muy pronunciado en el frente con una pendiente mayor a 35°. El límite lateral oeste no está claramente definido. Se realizó un track sobre la geoforma y como consecuencia de lo observado se extendió el área mapeada hacia las nacientes del glaciar.



**Detalles de crestas y surcos sobre la superficie del glaciar G701349O351182S**



**Detalle del frente del glaciar de escombros G701349O351182S**

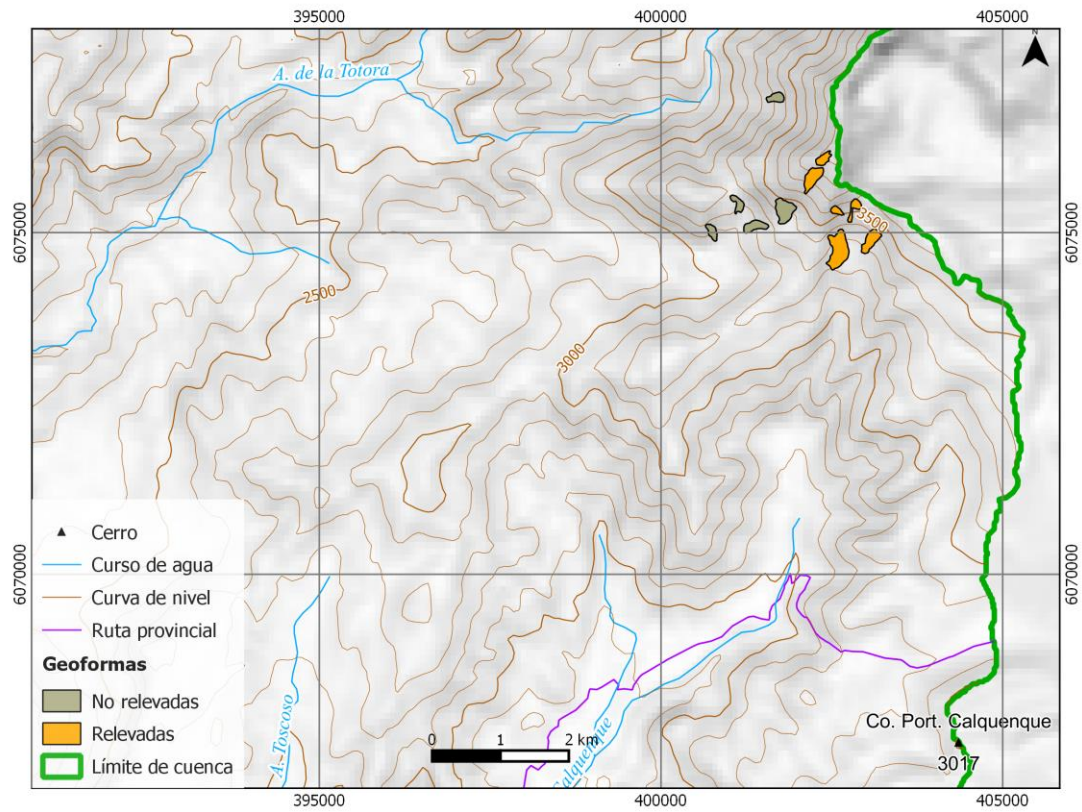


### **Geoforma G701402O351198S**

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico. Esta geoforma no había sido inventariada pero se pudo observar en el campo que presentaba rasgos característicos de glaciares de escombros inactivos como una superficie de surcos y crestas colapsadas y un talud con una pendiente inferior a los 30°.



## Camino Carqueque



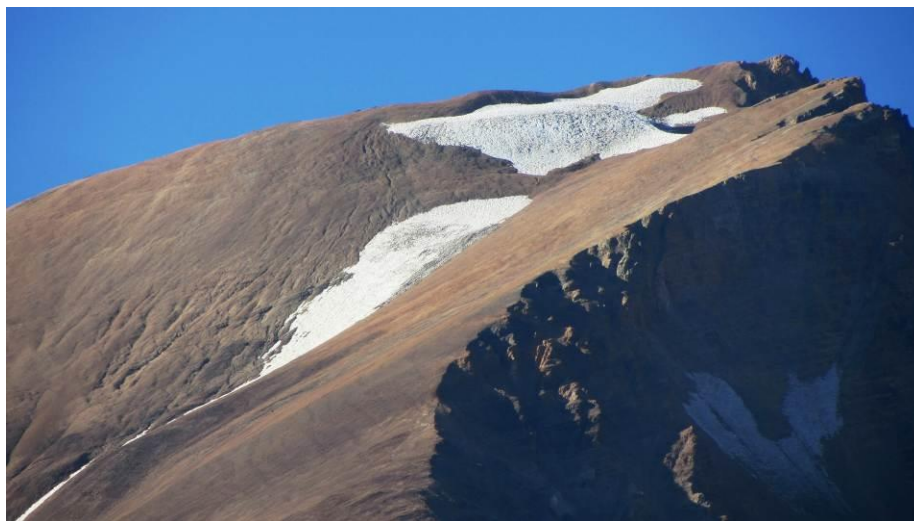
## Geoformas G700735O354660S y G700682O354648S

Glaciares de escombros activos de origen criogénico que fueron observados desde el camino.



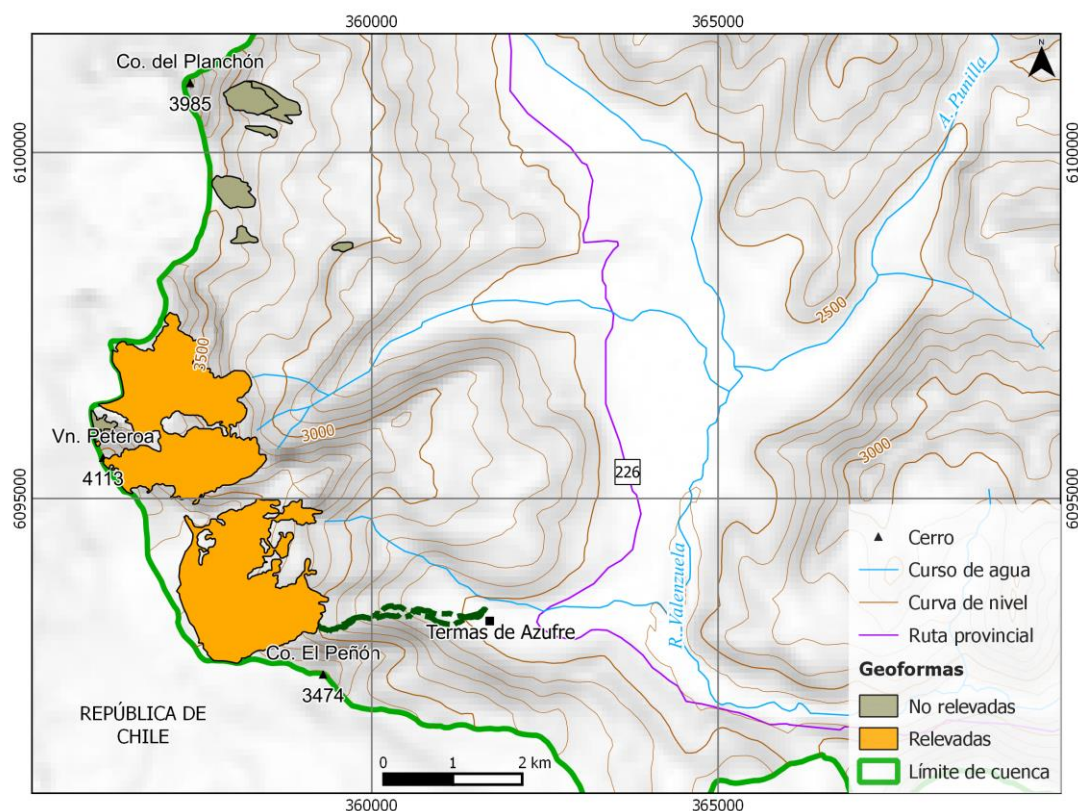
### **Geoformas G700757O354539S y G700775O354564S**

En el sector superior izquierdo de la foto aparecen dos manchones de nieve perenne. Ambas geoformas habían sido cartografiadas correctamente en gabinete.





## Valles de los glaciares Peñón y Azufre, Valle Noble Febrero 2014



### Geoforma G7055950352894S

Glaciar descubierto de montaña denominado El Azufre. Está localizado en las proximidades del grupo volcánico Planchón-Azufre-Peteroa. La reciente actividad volcánica de la zona se puede observar en la coloración del hielo afectado por las cenizas en algunos sectores. Presenta un sector hacia el noreste cercano al frente del glaciar con una incipiente cobertura detrítica. Tomamos track con puntos GPS del frente del glaciar y situamos una pirca para observar en el futuro el avance o retroceso del frente glacial.



**Panorámica del glaciar El Azufre**



**Detalle del frente del glaciar El Azufre donde se ve el hielo cubierto por cenizas, de color gris oscuro-negro.**

**Geoforma G7056400352671S**

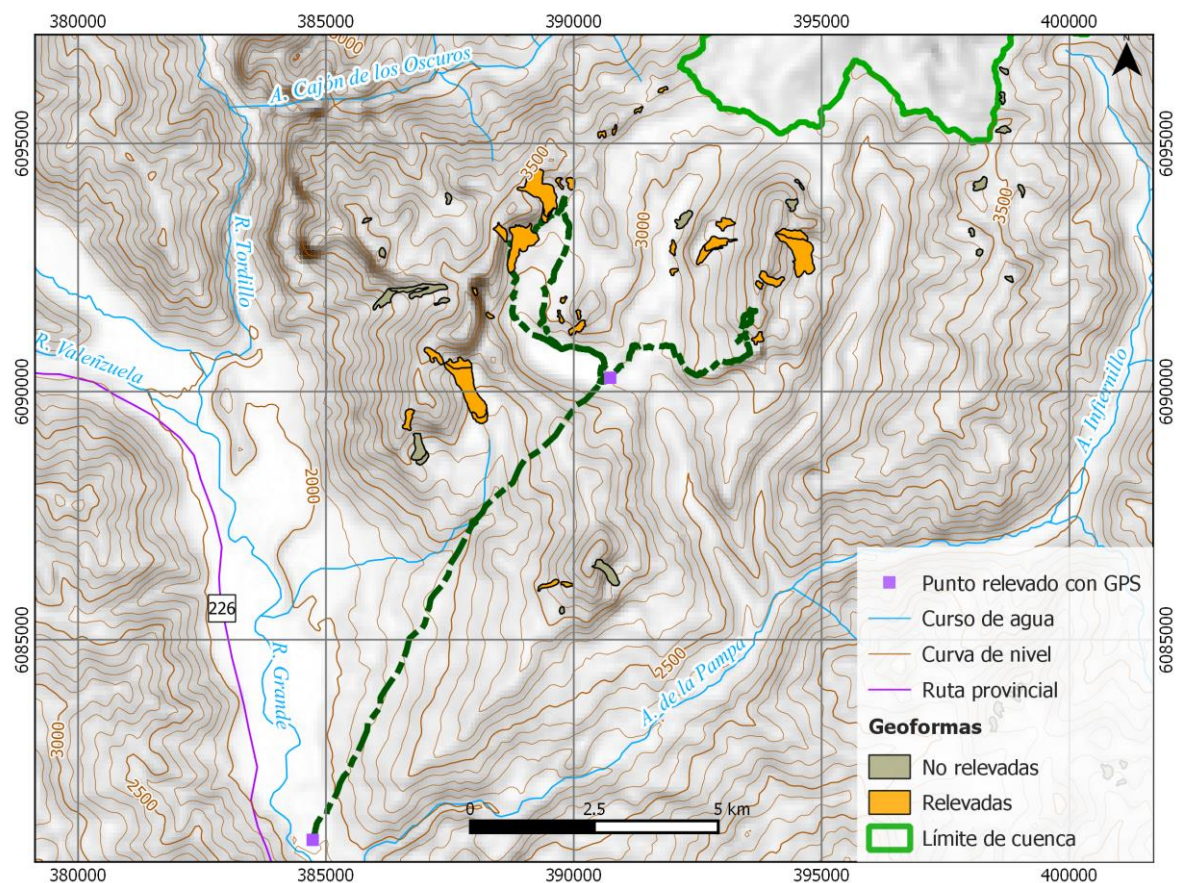
Glaciar descubierta de montaña denominado Peñón. Fue observado a distancia y no se pudo observar señales de haber sido afectado por la actividad del complejo volcánico Planchón-Azufre-Peteroa.



**Foto panorámica del glaciar Peñón**

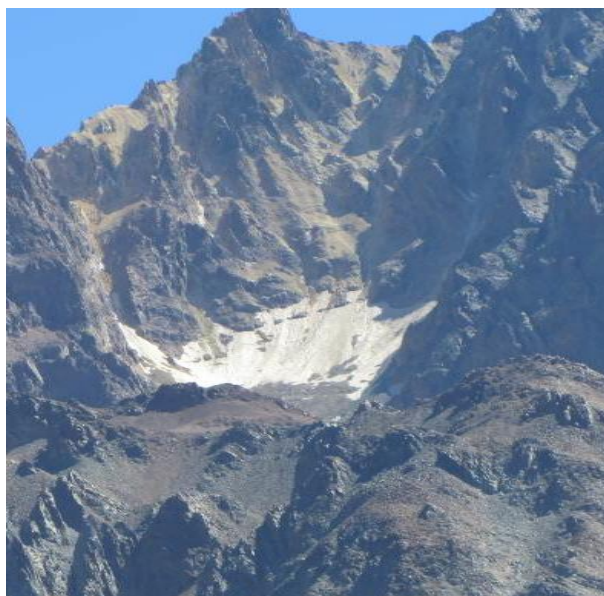


## Campaña Laguna del Cajón Grande, Valle Noble



### Geoforma G702470O353318S

Pequeño glaciar descubierto. Se observa una mayor cobertura detrítica que en la imagen utilizada como base, que es de cuatro años atrás.



**Glaciar descubierto G702470O353318S**



### **Geoforma G702336O353263S**

Glaciar cubierto con glaciar de escombros. Lo que observamos es un glaciar que en sus orígenes era un glaciar descubierto, con morenas laterales, el cual se ha ido cubriendo de detritos y su frente se ha convertido en un glaciar de escombros. En el frente se forma una laguna alimentada por el agua que sale del glaciar.



**Glaciar cubierto con glaciar de escombros**



**Detalle de hielo descubierto en las nacientes de la geoforma G702336O353263S**





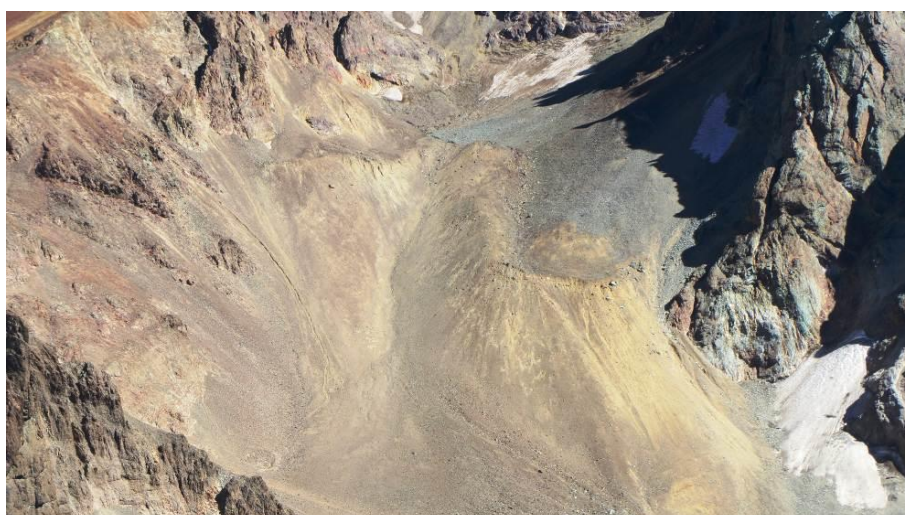
**Detalle del talud activo del frente del glaciar de escombros que yace sobre la parte inactiva**



**Superficie típica de un glaciar de escombros**

### **Geoforma G702411O353203S**

Glaciar de escombros de forma coalescente. Se clasifica como un glaciar de origen combinado, criogénico y glaciogénico. Se ubica en la parte alta de un circo glaciar.





### **Geoformas G702163O353622S y G702122O353621S**

Glaciares de escombros activos, de origen criogénico. Se pudieron observar en la distancia.



### **Geoforma G702286O353132S**

Glaciar de escombros inactivo, clasificado inicialmente a partir de las imágenes como activo. Sin embargo, en el terreno se pudo ver su superficie bastante colapsada, aunque probablemente conserve algo de hielo en su interior, alimentado por la caída de rocas de la canaleta superior y por la nieve de fusión del manchón ubicado en la parte alta. No presenta un talud con pendiente importante, lo cual también demuestra su inactividad.



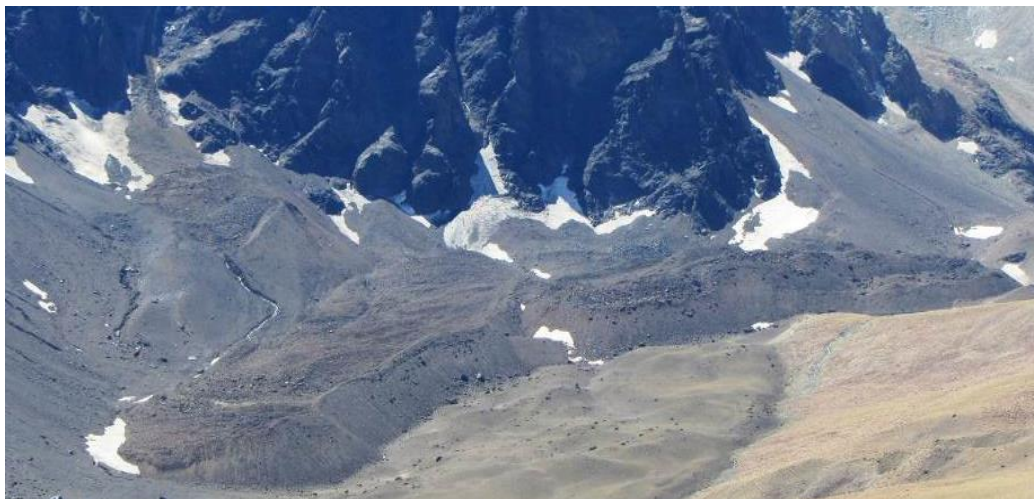
### **Geoforma G702318O353087S**

Manchón de nieve perenne que en la imagen de base está oculto por la sombra, pero en el terreno se pudo observar claramente.



### **Geoforma G702216O353001S**

Glaciar cubierto con glaciar de escombros. En sus nacientes se puede ver el hielo que progresivamente se ha ido cubriendo con detritos. Presenta una superficie muy irregular, con abundantes crestas y surcos. Se observa un termocarst donde vemos el hielo cubierto. El frente del glaciar tiene taludes de fuerte pendiente, típicos de un glaciar en movimiento. Algunos sectores dentro del glaciar podrían presentar cierta inactividad, debido a la presencia de vegetación y zonas un poco más colapsadas que el resto, pero en su mayoría se puede considerar como un glaciar de escombros activo.



**Panorámica del glaciar G702216O353001S**





**Detalle del frente del glaciar G702216O353001S**



**Termocarst sobre el glaciar G702216O353001S. Se observa el hielo cubierto en el talud de la derecha**

### **Geoforma G702258O352980S**

Glaciar cubierto. En sus nacientes aún se puede observar hielo descubierto, pero el resto está cubierto por detritos. El glaciar presenta una pequeña morena frontal, la cual ha sido erosionada por el arroyo que nace a partir de la ablación del glaciar, como se puede observar en la foto.







**Detalle de la morena frontal del glaciar G702258O352980S**

### **Geoforma G702169O352910S**

Glaciar cubierto con glaciar de escombros. En sus nacientes conserva hielo descubierto. Se observa en su frente las características propias de un glaciar de escombros, con un talud de fuerte pendiente, entre 38°-40°.



**Detalle del glaciar G702169O352910S donde se observa el contacto entre la parte activa del frente con la parte inactiva, de color un poco más oscuro.**

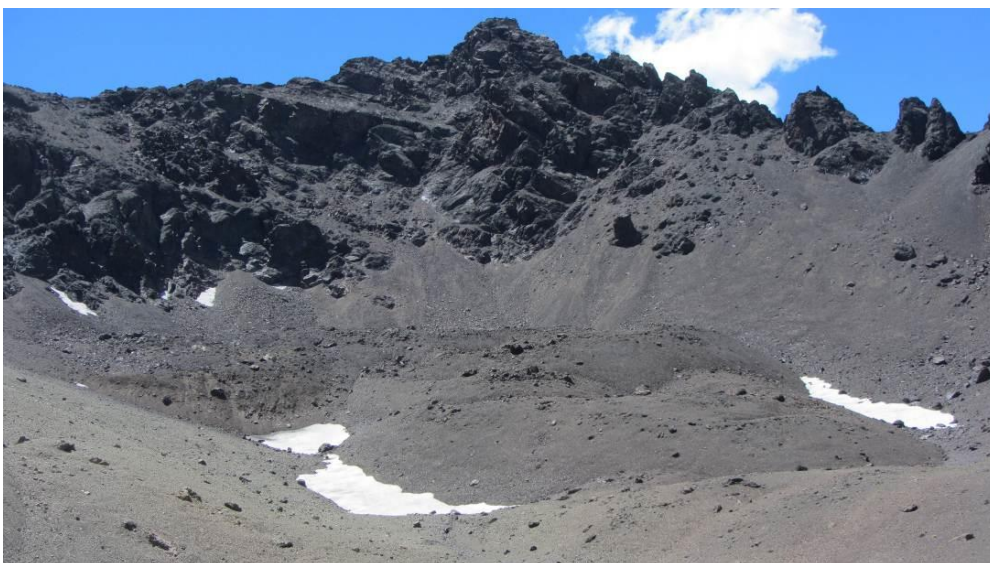
### **Geoforma G702128O352892S**

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Se observa principalmente el frente, el cual no llega a descender hasta el valle, se mantiene en la ladera de la montaña. La parte alta del glaciar no se observa desde esta perspectiva.



### **Geoforma G702103O352893S**

Clasificado a partir de las imágenes como una unidad compuesta en su parte alta por un glaciar de escombros activo y la parte inferior por un glaciar de escombros inactivo. A partir de lo observado en el terreno, toda la geoforma se considera como un glaciar de escombros inactivo, debido a su relieve con aspecto colapsado y taludes de baja pendiente.





### **Geoforma G702123O353105S**

Es una geoforma que no presenta muchos indicios de actividad, pero forma unos lóbulos coalescentes sobre la ladera de la montaña. Fue incorporado al inventario después de ser observado en el terreno.



### **Geoforma G702129O353136S**

Glaciar de escombros criogénico. Se trata de pequeños glaciares tipo “protalus” pero que evidencian presencia de permafrost reptante.





### **Geoforma G7020920353156S**

Glaciar de escombros activo. Su origen es criogénico y se observa sobretodo en su ladera expuesta hacia el sureste un talud importante, de pendiente superior a los 38°.



**Talud de la geoforma en su ladera sureste**



### **Geoforma G702089O353131S**

Pequeño glaciar de escombros situado en la parte alta de la ladera donde se ubica la geoforma descrita anteriormente.



### **Geoforma G701791O353013S**

Glaciar de escombros que estaba clasificado en su totalidad como un glaciar de escombros inactivo, pero se observó en el campo una zona con taludes de mayor pendiente y volumen, por lo que se dividió en una unidad con dos sectores, uno activo y otro inactivo. La geoforma presenta además en un sector con grandes bloques, probablemente originados a partir de un deslizamiento.



### **Geoforma G701762O352969S**

Glaciar de escombros inactivo, se pudo observar solo en la distancia, pero se denotan rasgos típicos de este tipo de glaciares.



**Superficie de la geoforma G701762O352969S donde se observan suaves crestas y surcos típicos de un glaciar de escombros inactivo.**

### **Geoformas G701878O353013S y G701877O353055S**

Glaciares de escombros inactivos. El aporte de material rocoso proviene del afloramiento ubicado en su parte alta, que junto con la nieve depositada en invierno alimenta a este tipo de glaciares y forman lóbulos de reptación que finalmente originan el glaciar de escombros.





**Geoforma G702033O352805S**

Glaciar de escombros activo. Se observa talud con fuerte pendiente.



**Geoforma G701951O352762S**

Glaciar de escombros inactivo. Se observa una superficie colapsada y frente con poca pendiente.



### **Geoforma G701691O353179S**

Glaciar de escombros activo, ubicado en un circo glaciar. No vemos la totalidad del glaciar pero se observan los rasgos superficiales típicos de este tipo de geoformas.



**Detalle de la superficie irregular del glaciar de escombros G701691O353179S**

### **Geoformas G701688O353081S y G701662O353072S**

Glaciares de escombros activos, de origen criogénico. En sus nacientes se observan manchones de nieve estacionales.





### **Geoforma G701599O353019S**

Glaciar cubierto con glaciar de escombros, en su parte alta se puede ver hielo descubierto, que va a tender a taparse con detritos según lo observado en casi todos los glaciares de la zona.



**Panorámica del glaciar G701599O353019S**



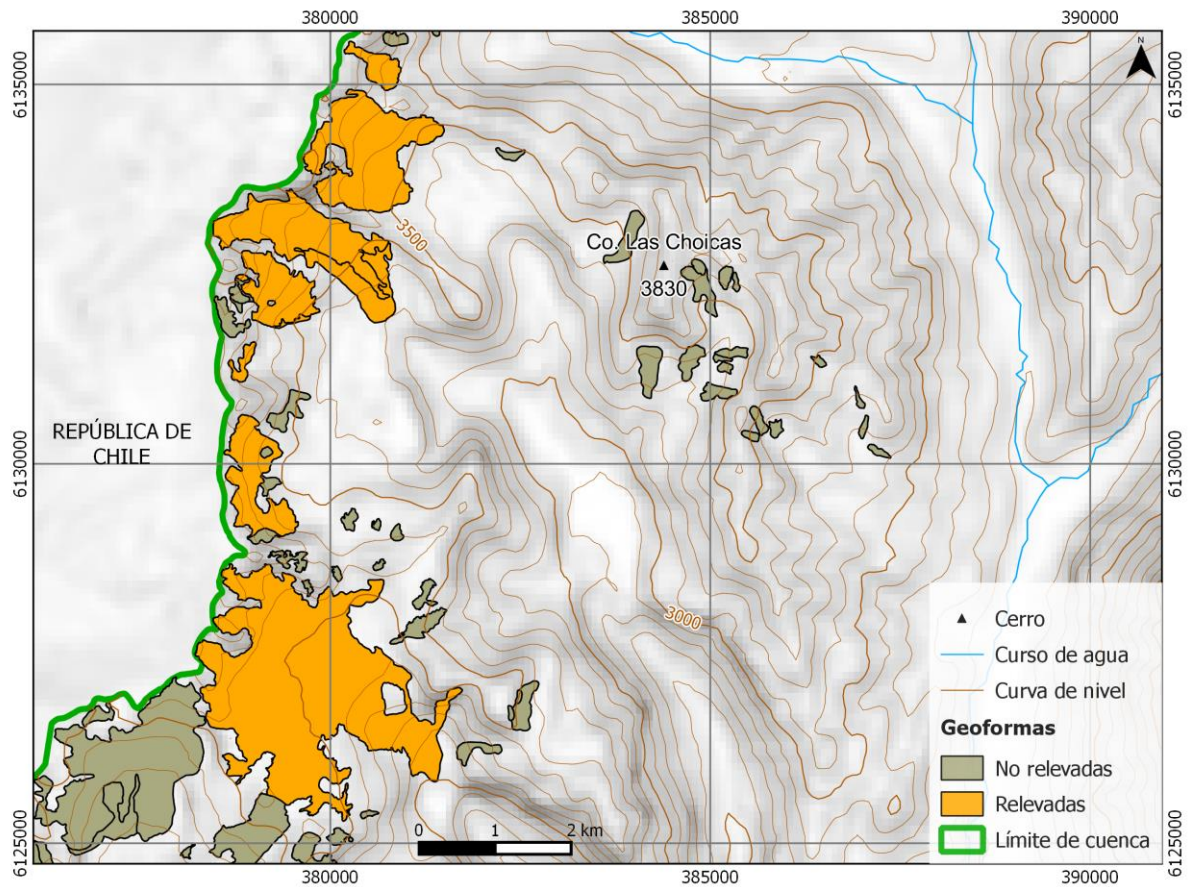
**Detalle del hielo descubierto en las nacientes del glaciar G701599O353019S**





**Crestas y surcos en la superficie del glaciar G701599O353019S**

## Nacientes del río Cobre



### Geoforma G7031810349922S

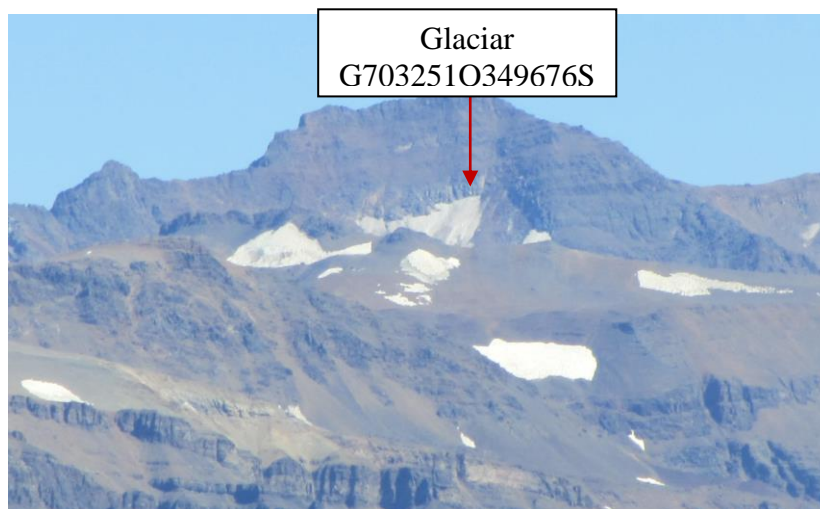
El glaciar Cobre, es un glaciar de valle, de cuenca compuesta y frente tipo calving, ya que termina en un lago proglacial y se producen desprendimientos de bloques de hielo en dicha laguna.





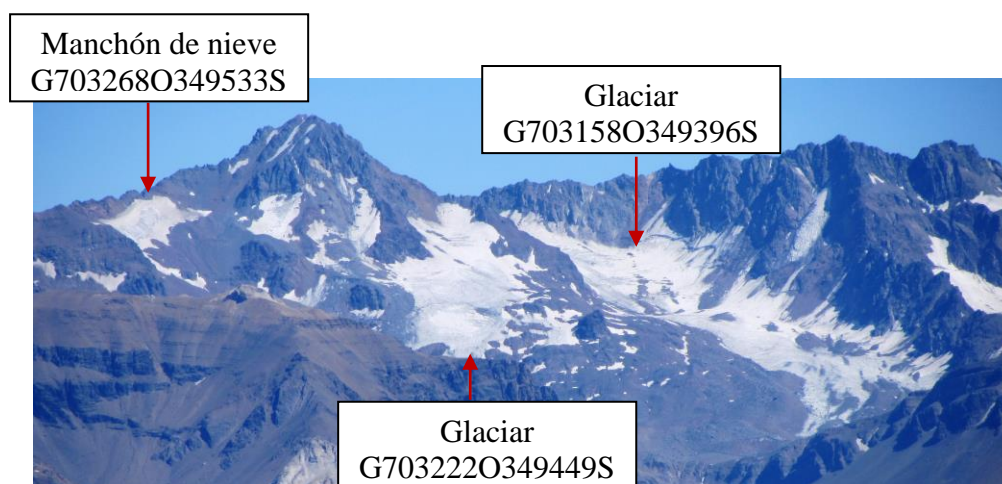
### **Geoforma G703251O349676S**

Glaciar de montaña, con forma de circo. En la foto sólo se aprecia las nacientes del glaciar.



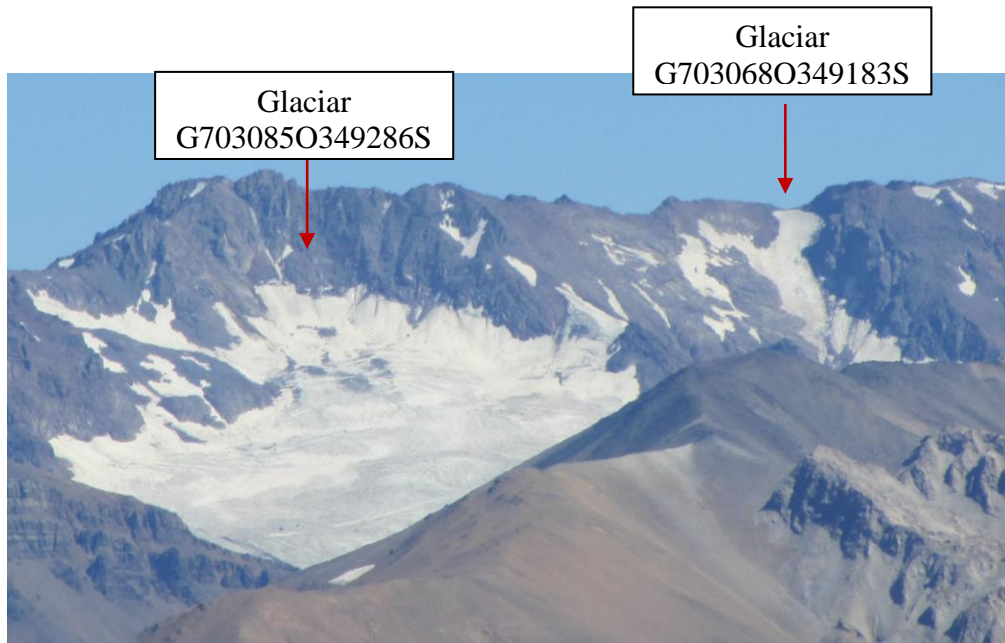
### **Geoformas G703222O349449S y G703158O349396S y G703268O349533S**

A la izquierda de la foto se observa un manchón de nieve G703268O349533S. Hay algo de nieve estacional en el momento de la toma de la imagen, pero se marcan con flechas cada una de las geoformas mapeadas. El glaciar G703222O349449S es un glaciar de montaña de cuenca simple. El glaciar G703158O349396S es glaciar de valle, en el que se puede apreciar en su frente que está parcialmente cubierto por detritos.



### **Geoformas G703085O349286S y G703068O349183S**

Los glaciares G703085O349286S y G703068O349183S son glaciares de montaña, con forma de circo.



### 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 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 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 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](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 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  $\text{km}^2$ .
- 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. 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 Grande, cuenca del río Colorado, provincia de Mendoza.





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

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

**Número:**

**Referencia:** ING río Grande

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 82 pagina/s.