



# **INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES**

IANIGLA  
CONICET

U.N. CUYO  
GOBIERNO  
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sustentable  
Presidencia de la Nación

**Informe de las subcuencas del río  
Barrancas y arroyo Chacaico  
Cuenca del río Colorado**

**Provincias del  
Neuquén y Mendoza**



*Glaciares en el volcán Tromen, Neuquén (Foto: J.P. Scarpa)*

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

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

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

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

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

**IANIGLA – CONICET**

**Inventario Nacional de Glaciares (ING)**

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Directora técnica: Lic. Laura Zalazar

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

Colaboradores: Téc. Juan Pablo Scarpa

**Mayo 2018**

*La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial, establecida por el Poder ejecutivo Nacional por ley N° 22963 a través del Instituto Geográfico Nacional y ha sido aprobada por expediente GG 16 1917/5, de fecha 11 de noviembre de 2016*

## ÍNDICE

1.	Introducción .....	1
2.	Antecedentes .....	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario .....	7
4.	Materiales y métodos .....	9
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos digitales de elevación ..	10
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación .....	11
4.3.	Delimitación del hielo descubierto .....	14
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros.....	15
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas.....	15
4.6.	Control de campo.....	17
5.	Resultados .....	18
5.1.	Subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.....	18
5.2.	Control de campo .....	22
6.	Bibliografía.....	23
7.	Anexos.....	29
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.....	29
7.2.	Control de campo .....	31
7.2.2	Resultados. Geoformas relevadas .....	31
7.3.	Descripción de la base de datos.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bosquejo de los glaciares de la cara sureste del volcán Domuyo, Groeber 1947. ....	5
Figura 2: Mapa de inventario de glaciares de la zona del volcán Domuyo .....	6
Figura 3: Subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico donde se realizó el Inventario de Glaciares. ....	10
Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada. ....	13
Figura 5: 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. ....	14
Figura 6: 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 Geoeye 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. ....	15
Figura 7: 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). ....	17
Figura 8: Mapa del inventario de glaciares de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico. ....	19
Figura 9: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico. ....	20
Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico. ....	20
Figura 11: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico. ....	21
Figura 12: Hipsometría de los cuerpos de hielo en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico. ....	21

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el inventario de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico (ver anexo 7.1. para mayor información). ....	11
Tabla 2: Superficie total de glaciares inventariados en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico. ....	18
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico. ....	21

## **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.

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

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

Conscientes de la importancia nacional y regional de los cuerpos de hielo en nuestra Cordillera, entre junio y octubre de 2010 las Honorables Cámaras de Diputados y Senadores de Argentina convirtieron en Ley un Proyecto de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y el Ambiente Periglacial”, que contempla entre otras medidas, la creación de

un Inventario Nacional de Glaciares. El 28 de Octubre de 2010 fue promulgada la Ley 26.639 de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”, la cual establece:

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

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

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

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

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

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

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

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



ambiente periglacial que actúan como reservas hídricas estratégicas en la República Argentina. El nivel 2 tiene como objetivo conocer la variación temporal de los glaciares y crioformas a lo largo del país. Mientras que el objetivo del nivel 3 es establecer los factores ambientales que regulan el comportamiento y determinar la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina.

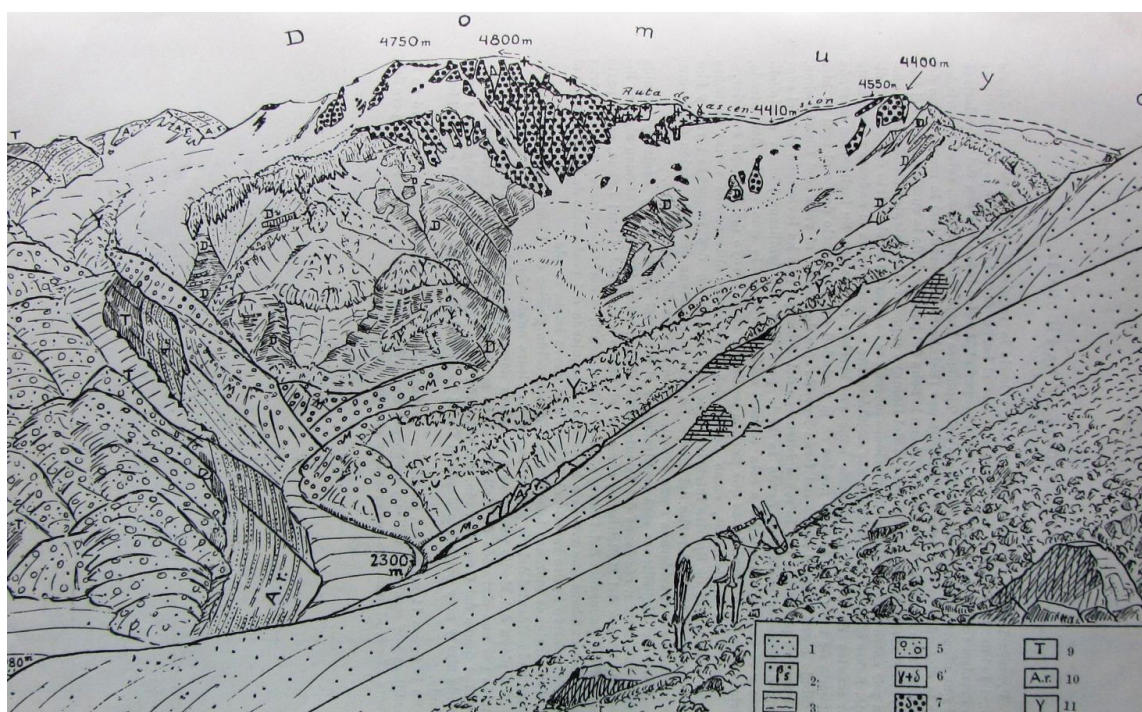
En el presente informe se describen los resultados del inventario de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico, pertenecientes a la cuenca del río Colorado (corresponderían a la subcuenca Barrancas, cuenca río Colorado según IANIGLA 2010). En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares en esta subcuenca fue elaborado en marzo de 2015 y aprobado según resolución N°RESOL-2017-581-APN-MAD del 30 de agosto 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

Pocos son los antecedentes glaciológicos para las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico, la mayor parte de los estudios tan solo incluyen los glaciares del volcán Domuyo pero en su vertiente sureste, la cual no aporta su escurrimiento hacia dichas subcuencas.

Groeber en 1947 publicó un estudio geológico de la zona del volcán Domuyo, en una de las láminas incluidas en este trabajo, dibujó con alto nivel de detalle los glaciares localizados en la vertiente sureste del volcán Domuyo (Figura 1). El dibujo reproduce el estado de los glaciares en febrero de 1940. El mismo autor, estuvo presente en el lugar en el año 1912 y pudo apreciar que la extensión de las lenguas de hielo era mayor, incluso llegaban a converger valle abajo. Groeber apreció además una pérdida en el espesor de las lenguas de hielo observando las morenas laterales del glaciar (Groeber, P. 1946, 1947).



**Figura 1: Bosquejo de los glaciares de la cara sureste del volcán Domuyo, Groeber 1947.**

En el atlas de glaciares del hemisferio sur (Mercer 1967), se documentó la presencia de pequeños glaciares alrededor de la cumbre del volcán Domuyo (4.702 msnm).

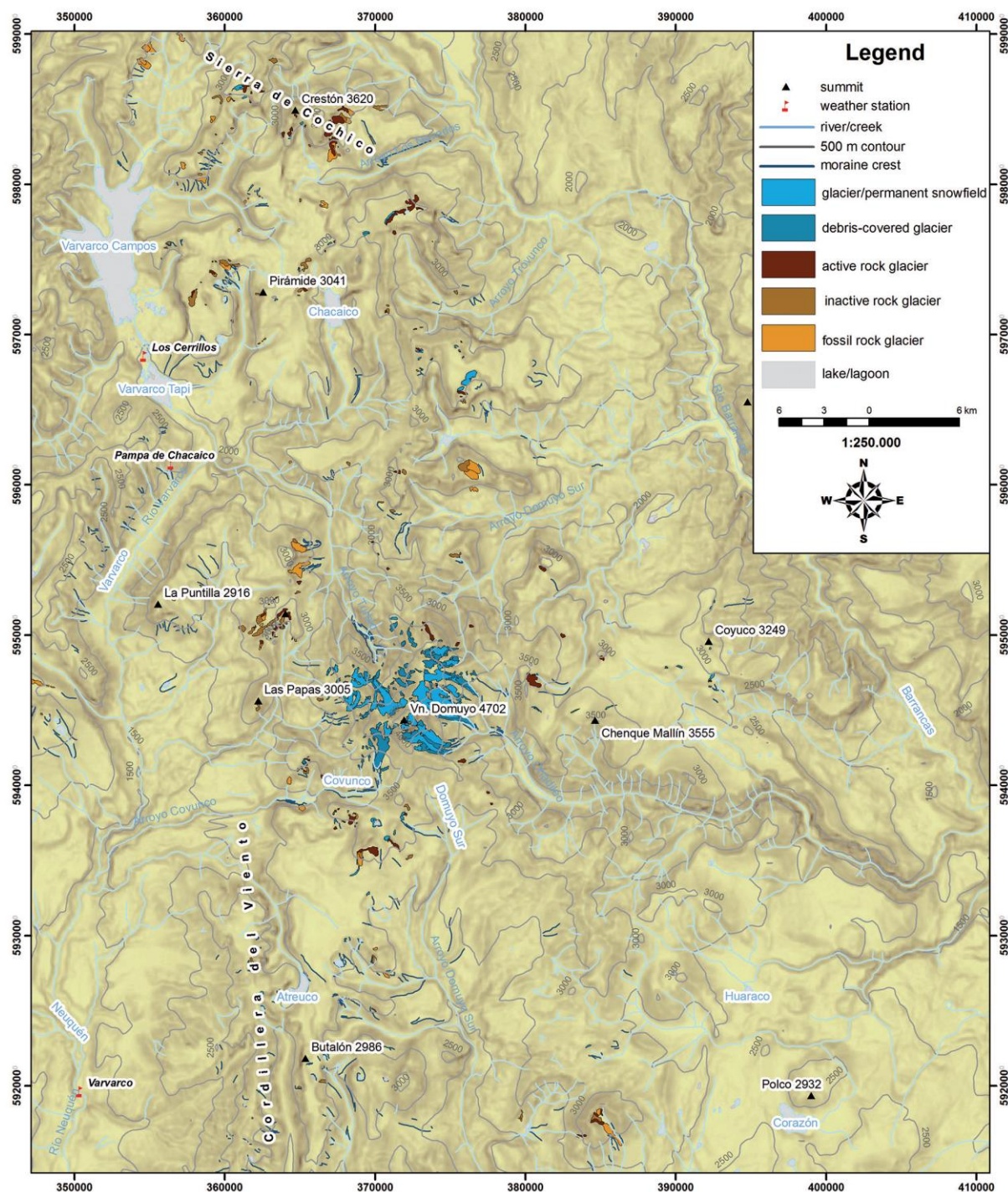
En el atlas de glaciares basado en imágenes satelitales (Williams y Ferrigno 1999) se incluyó el volcán Domuyo como uno de los volcanes con glaciares existentes al sur de la latitud 35°S.

Estos trabajos más antiguos, principalmente hacen referencia a las grandes lenguas de hielo existentes en el área del volcán Domuyo y no mencionan la presencia de otro tipo de geoformas.

Más recientemente, en trabajos geológicos y geomorfológicos de la zona si se menciona la presencia de glaciares de escombros (González Díaz y Folguera, 2005, 2011).



Falaschi et al. 2016, realiza un inventario de glaciares basado en imágenes ALOS donde identifica 106 glaciares ocupando una superficie de 25,4 km<sup>2</sup>, incluyendo hielo descubierto, cubierto por detritos y glaciares de escombros. Este inventario si incluye los glaciares de la subcuenca del río Barrancas (Figura 2). Además observaron una pérdida de área de 9,1 km<sup>2</sup> entre 1990 y 2009, representando una reducción de aproximadamente el 26% en 19 años.



**Figura 2: Mapa de inventario de glaciares de la zona del volcán Domuyo, Falaschi et al. 2016.**

### 3. Definiciones a los fines del Inventario

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

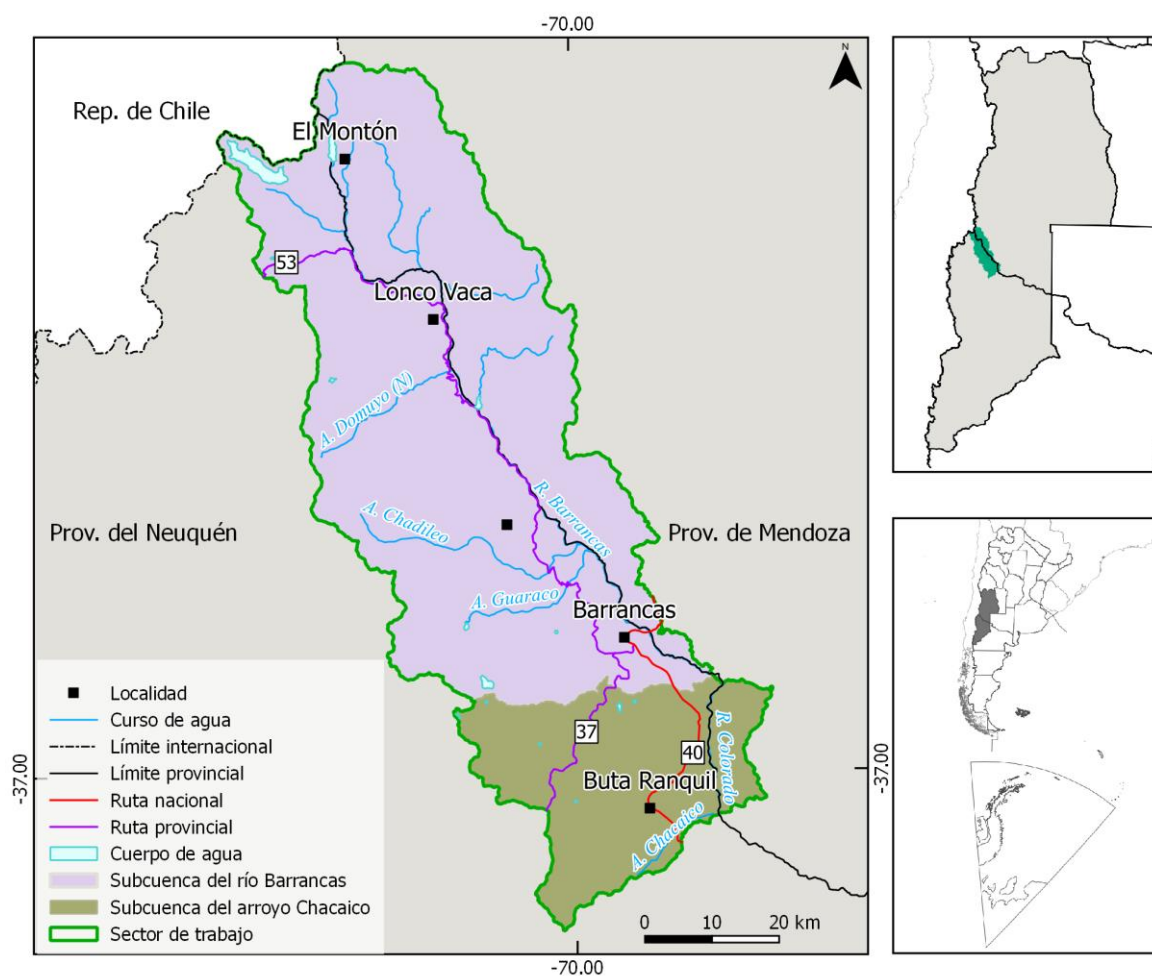
Cabe aclarar que en el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo, son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (Corte 1976; Schrott 1996; Arenson 2010; Brenning y Azócar 2010;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



## 4. Materiales y métodos

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

El presente informe corresponde al Inventario de Glaciares de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico (Figura 3), pertenecientes ambas a la cuenca del río Colorado. Dicha cuenca comprende las provincias del 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. El río Barrancas corre con sentido sudeste en un trayecto lineal de 130 km y tiene su origen en la laguna Negra (13 km<sup>2</sup>) en la falda de la cordillera límite con Chile. Recibe de ésta los aportes de los arroyos Matancilla, Montón y Puente de Tierra arriba del cual se halla la Laguna Fea (12 km<sup>2</sup>). Después de recibir numerosos arroyos ingresa en la laguna Carrilauquen que vierte al río Colorado. La misma modera su régimen absorbiendo el producto de las precipitaciones y deshielos regulando el derrame. El río Barrancas es una cuenca de transición entre las hoyas nivales al norte y pluvio-nivales del sur (<http://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/pdf/60.pdf>).



**Figura 3: Subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico donde se realizó el Inventario de Glaciares.**

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico 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).

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

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 las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico se utilizaron como imágenes de base escenas de los sensores ASTER-VNIR, ALOS-AVNIR y LANDSAT 5 TM (Tabla 1). Además se revisaron y utilizaron como imágenes de apoyo escenas ALOS PRISM, SPOT 4, así como el programa Google Earth y Bing. Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación. Las imágenes PRISM, de mayor resolución espacial, 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).

**Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el inventario de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico (ver anexo 7.1. para mayor información).**

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST14OTH_00304082011144527	08 abril 2011
Alos/AVNIR	ALAV2A172934340	23 abril 2009
Landsat5/TM	LT52320852011058COA01	08 mayo 2011
Landsat5/TM	LT52320862011058COA01	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.

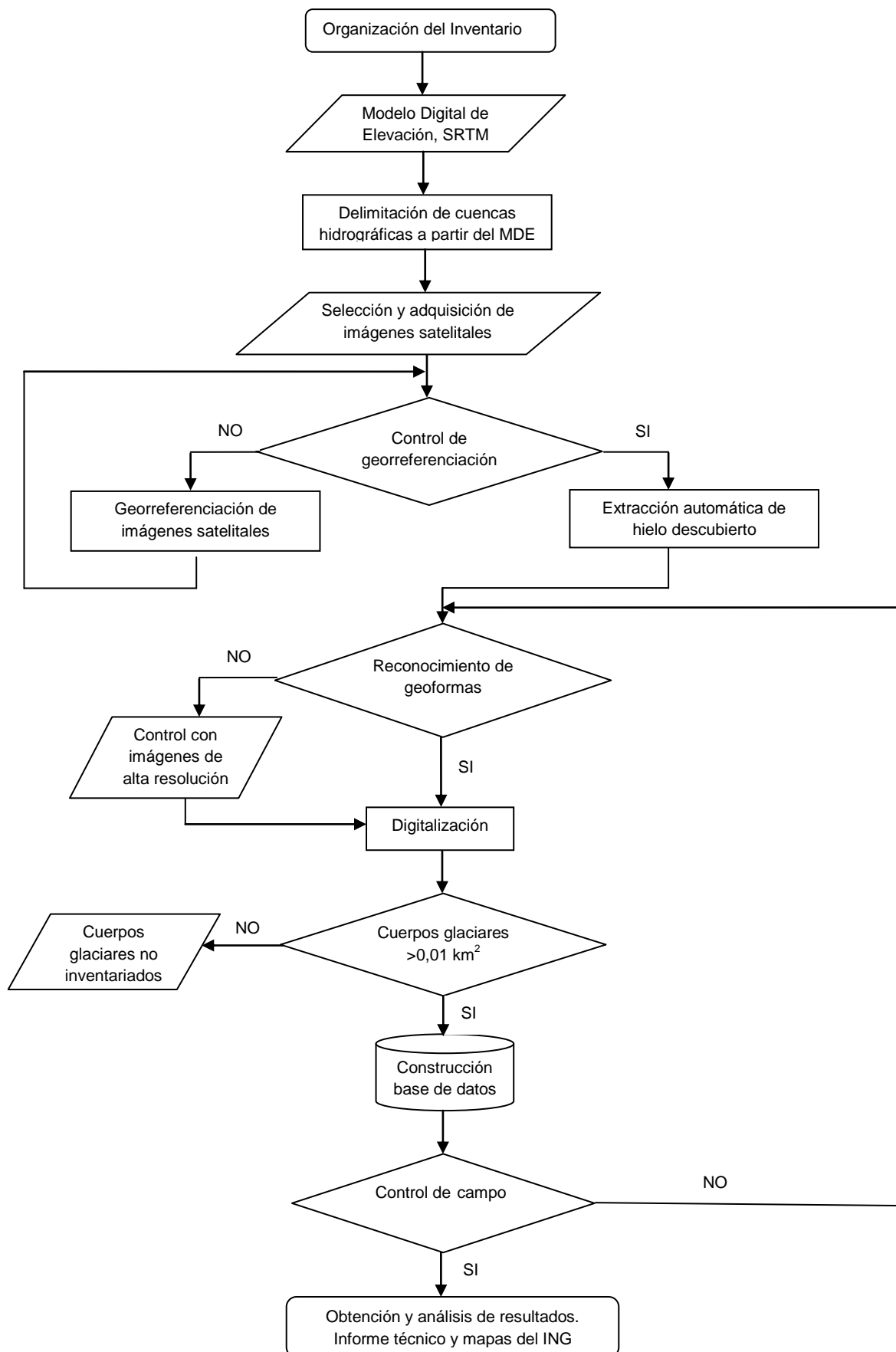
Para la selección de imágenes se siguieron las sugerencias establecidas por GLIMS que tienen en cuenta la disponibilidad de imágenes, la ausencia de nubes y la cobertura de nieve en las mismas. Para minimizar los posibles errores que introduce la cobertura de nieve, que dificulta la delimitación de los 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 4 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.



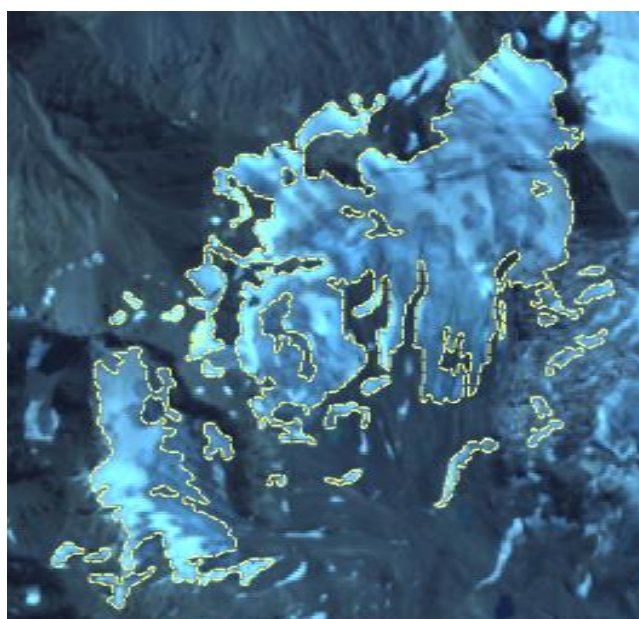
**Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada.**



### 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 5).

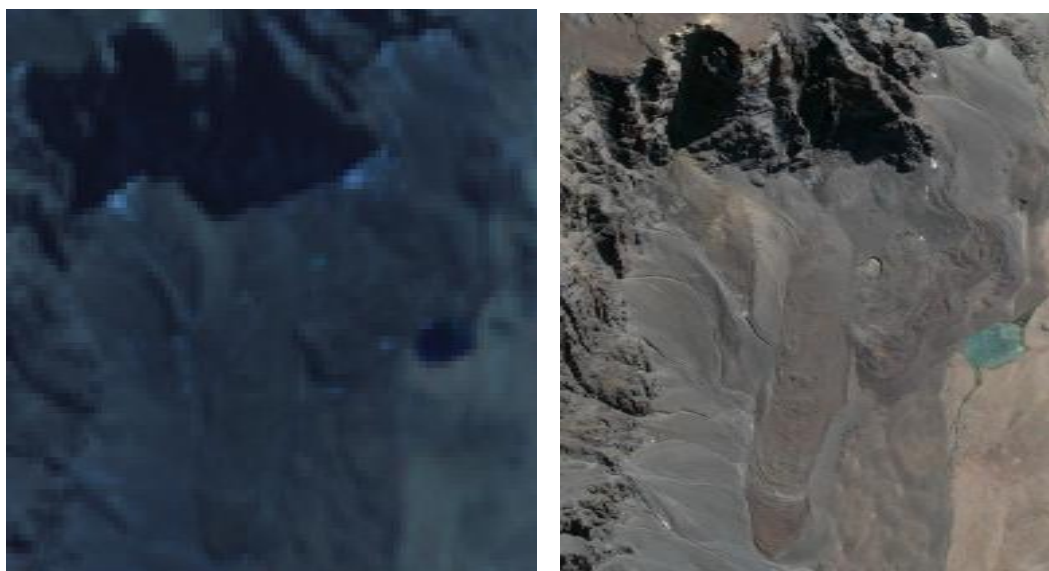
Posteriormente el vector obtenido se edita manualmente para corregir pequeñas diferencias que puedan existir, como por ejemplo el hielo no identificado por estar localizado en sectores en sombra en la imagen o para eliminar la nieve estacional que pueda estar presente en la imagen.



**Figura 5:** 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 empleadas como base de este inventario (Tabla 1), utilizamos en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución PRISM (ALOS), SPOT4 (ver Anexo 7.1.) y las imágenes disponibles en Google Earth (Figura 6). La digitalización fue realizada con el programa QGIS.



**Figura 6: 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 Geoeye 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 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:

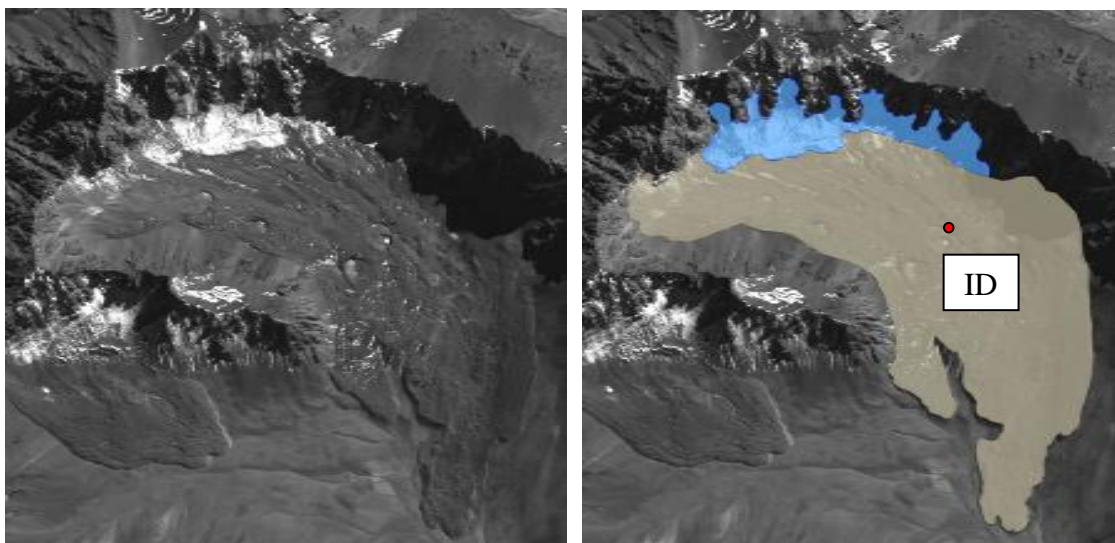
[http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS\\_Analysis\\_Tutorial\\_a4.pdf](http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_a4.pdf).

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 7 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 7: 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. Subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico

Las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico son afluentes del río Colorado, junto con el río Grande. La superficie de esta subcuenca, considerando la parte alta que es donde se concentran las geoformas glaciales y periglaciales, es de 4.524 km<sup>2</sup>.

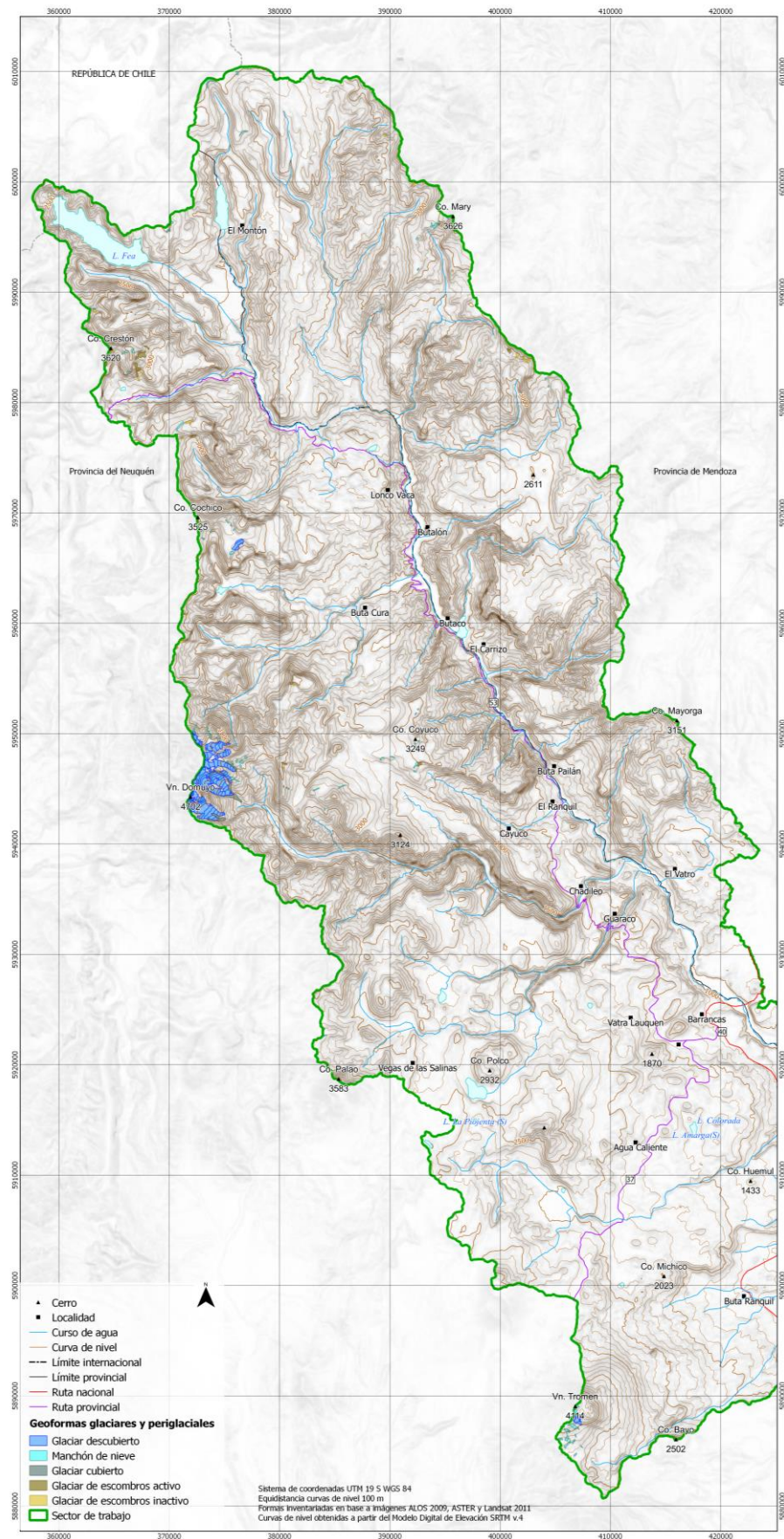
En total se han inventariado 132 glaciares, los cuales ocupan una superficie de 20,05 km<sup>2</sup>. Se puede decir por tanto que el 0,44% de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico están cubiertas por glaciares (ver Figura 8 y Tabla 2).

**Tabla 2: Superficie total de glaciares inventariados en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.**

Tipo de geoforma inventariada	Área (km <sup>2</sup> )
Glaciar descubierto	13,79
Manchones de nieve/glaciaretos	2,93
Glaciar cubierto	1,17
Glaciar de escombros	2,16
Total	20,05

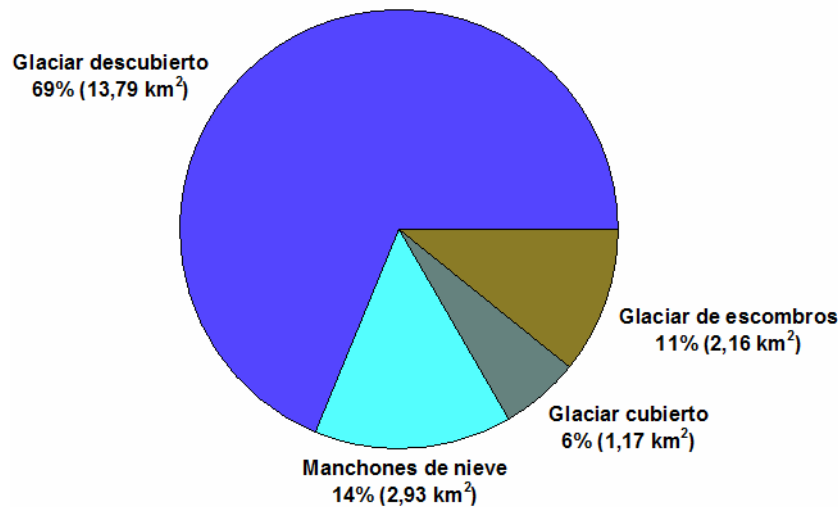
En la Figura 9 podemos ver la distribución de la superficie cubierta por glaciares según el tipo de geoforma inventariada. El 69% de geoformas inventariadas corresponden a glaciares descubiertos, esta superficie se concentra en una pequeña parte de la subcuenca, limítrofe con Chile, próximo al área del volcán Domuyo. El 14% corresponde a manchones de nieve perenne, que cubren una superficie de 2,93 km<sup>2</sup>. El 6% de la subcuenca está cubierta por glaciares cubiertos y el restante, el 11% corresponde a glaciares de escombros, que aparecen de una forma más dispersa en toda la subcuenca.





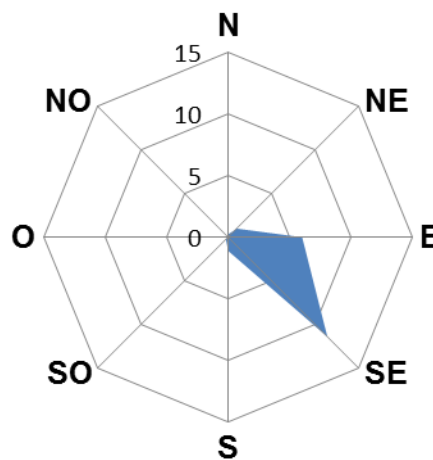
**Figura 8: Mapa del inventario de glaciares de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.**

**Superficie total cubierta por cuerpos de hielo: 20,05 km<sup>2</sup>**  
**Total de geoformas inventariadas: 132**



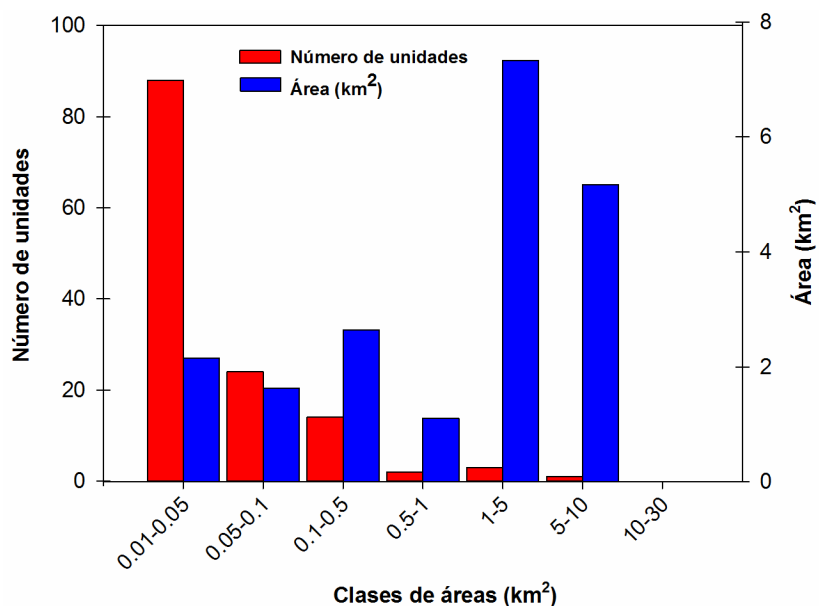
**Figura 9: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.**

Con respecto a la orientación de los glaciares, según se puede observar en la Figura 10, la mayoría presentan una dirección hacia el sureste.



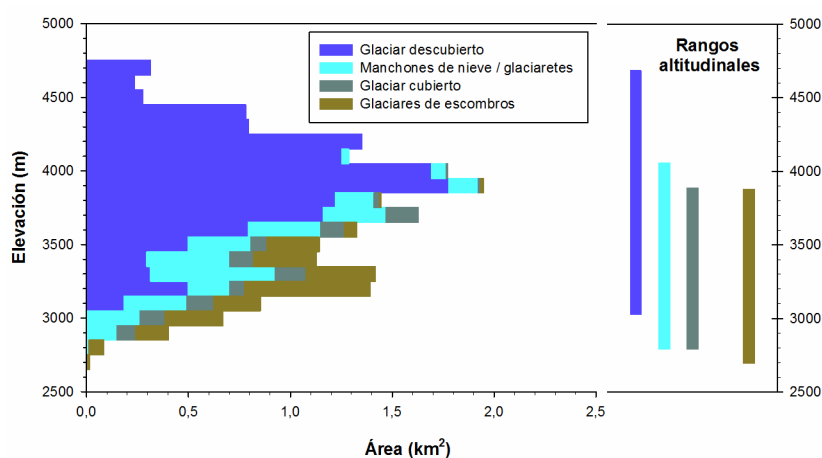
**Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.**

En relación al tamaño de los glaciares y a su abundancia se ha observado que el mayor número de glaciares, el 67%, tienen un tamaño comprendido entre 0,01 y 0,05 km<sup>2</sup> y ocupan una superficie de 1,83 km<sup>2</sup>. El 18% tiene un tamaño entre 0,05-0,1 km<sup>2</sup> y ocupan una superficie de 1,28 km<sup>2</sup>. El 10% de glaciares cubren una superficie de 2 km<sup>2</sup> y su tamaño está comprendido entre 0,1 y 0,5 km<sup>2</sup>. El resto de glaciares representa el 5% de glaciares inventariados y son los menos abundantes pero los que cubren mayor superficie glacial, en total 12,4 km<sup>2</sup> (Figura 11).



**Figura 11: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.**

En la Figura 12 se puede observar la hipsometría de los glaciares inventariados. Las geoformas inventariadas están distribuidas en un rango de alturas comprendidas entre los 2.697 msnm hasta los 4.684 msnm. Los glaciares descubiertos son los que alcanzan las cotas mayores y los glaciares de escombros las menores (Tabla 3).



**Figura 12: Hipsometría de los cuerpos de hielo en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.**

**Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.**

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	3.027	4.684
Manchones de nieve/glaciaretas	2.792	4.056
Glaciar cubierto	2.793	3.885
Glaciar de escombros	2.697	3.877

## **5.2. Control de campo**

Durante el mes de marzo de 2017 se hizo una campaña en diferentes sectores de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico. Las zonas con mayor englazamiento se encuentran en las proximidades del cerro Domuyo y volcán Tromen. En el resto de la subcuenca hay presencia muy dispersa de diferentes tipos de geoformas, pero sobretodo de manchones de nieve en los cerros que alcanzan las mayores altitudes.

Las observaciones de campo se realizaron en los alrededores de los cerros Mary, Domuyo, Tromen, Crestón y Cochico.

En total se observaron 33 geoformas en el campo (en el anexo figuran 31 porque se vieron dos unidades), que fueron comparadas con las identificadas en gabinete. Se obtuvo un 97% de coincidencias en la identificación de glaciares y un 94% en la clasificación. En el campo se observó un glaciar de escombros inactivo que no había sido mapeado y se agregó a la cartografía. Por otro lado, un cuerpo que había sido clasificado como manchón de nieve fue reclasificado a glaciar descubierto luego de la visita al campo. 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.
- 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*.
- Falaschi, D., Masiokas, M., Tadono, T. and Couvreur, F. 2016. ALOS-derived glacier and rock glacier inventory of the Volcán Domuyo region (~36° S), southernmost Central Andes, Argentina. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 14 p.



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.

González Díaz, E.F. & Folguera, A. (2005): Reconocimiento y descripción de avalanchas de rocas prehistóricas en el área neuquina delimitada por los paralelos 37°15' y 37°05' S y los meridianos 70°55' y 71°05' O. – Revista de la Asociación Geológica Argentina 60 (3): 446–460.

González Díaz, E.F. & Folguera, A. (2011): Análisis geomorfológico del tramo Medio e inferior de la cuenca de drenaje del río Curri Leuvú, Neuquén. – Revista de la Asociación Geológica Argentina 68 (1): 17–32.

Groeber, P. (1946): Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. 1. Hoja Chos Malal. – Revista de la Sociedad Geológica Argentina 1 (3): 177–208.

Groeber, P. (1947): Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. 3. Hojas Domuyo, Mari Mahuida, Huarhuar Co y parte del Epu Lauken– Revista de la Sociedad Geológica Argentina 2 (3): 347–408.

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

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

IANIGLA. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución, (2010) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza.

Ikeda, A. 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.

Mercer, J. (1967): Southern Hemisphere Glacier Atlas. Technical Report 67–76-ES. – American Geographical Society, New York, 325 pp.

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

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.

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.

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).

Brenning, A. y Trombotto, D. 2006. "Logistic regression modelling of rock glacier and glacier distribution: Topographic and climatic controls in the semi-arid Andes". *Geomorphology* 81: 141-154, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

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.

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.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.

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.

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.

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., 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. 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 las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico.

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

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

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

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52320851990080CUB00	21 marzo 1990	Comparar manchones de nieve
LT52320852005025CUB02	25 enero 2005	Comparar manchones de nieve
LT52320852011058COA0	08 mayo 2011	Base inventario y georreferenciación
LT52320862011058COA01	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_00304082011144527	08 abril 2011	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 D4294325 0 1B2	31 marzo 2011	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y GE
ALOS PSM N D4294330 0 1B2	31 marzo 2011	
ALOS PSM N D4294310 0 1B2	31 marzo 2011	
ALOS PSM N D4284355 0 1B2	27 enero 2011	
ALOS PSM N D4284340 0 1B2	27 enero 2011	

Satélite: **SPOT** (Satellites Pour l’Observation de la Terre)

Sensor: 4 HRVIR2

Resolución espacial: 10 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
2012-02-04_13-55-11_M+I_676_425_S0_L2A	04 febrero 2012	Comparar manchones de nieve y GE

## 7.2. Control de campo

### 7.2.1 Objetivos

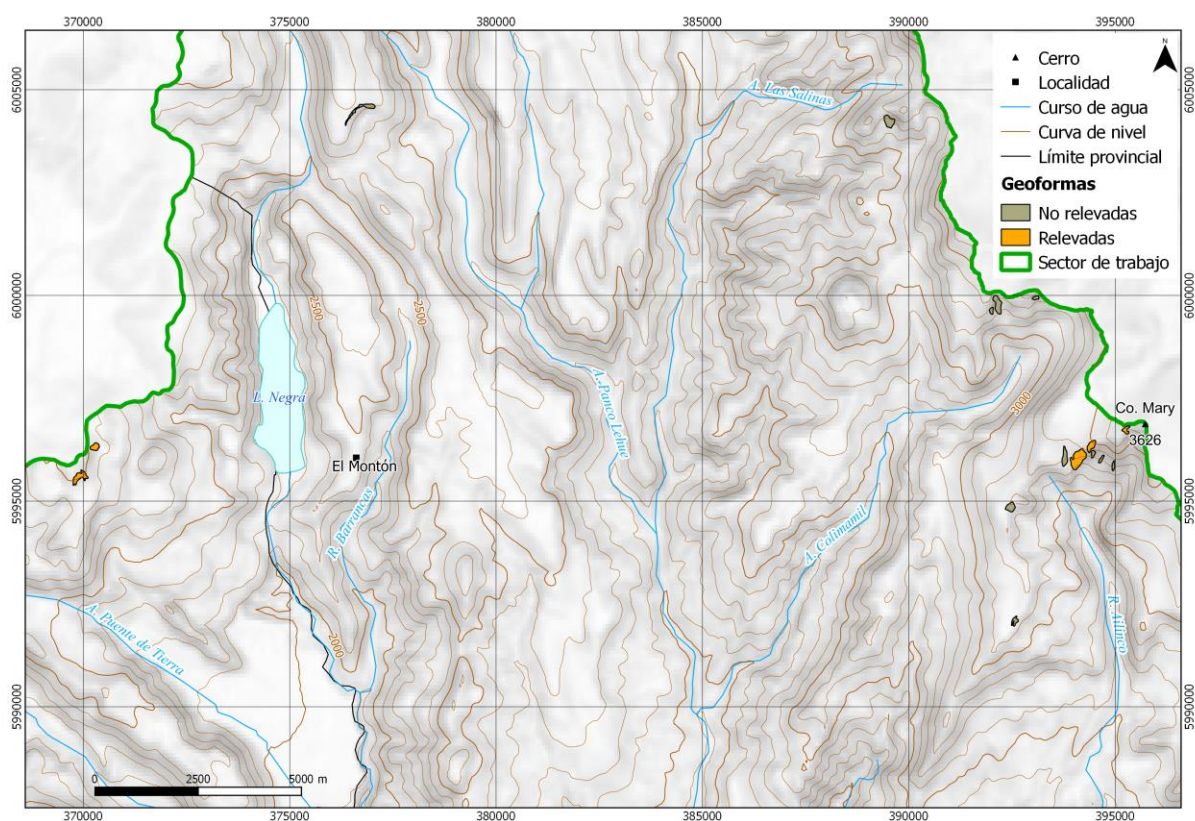
Los objetivos de la campaña fueron:

- ✓ 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.

#### Zona de las lagunas del cerro Mary



### **Geoforma G701650O361685S**

Manchón de nieve. Se observó desde la distancia, pero se puede comprobar que aún existe. Su orientación hacia el sureste puede favorecer su preservación.



### **Geoformas G701741O361722S y G701773O361748S**

A la izquierda del manchón de nieve G701650O361685S se observan otros dos manchones de nieve perenne. Estos manchones se encuentran en los alrededores del cerro Mary, de 3.626 msnm, esto y su orientación hacia el sur favorecen su preservación.



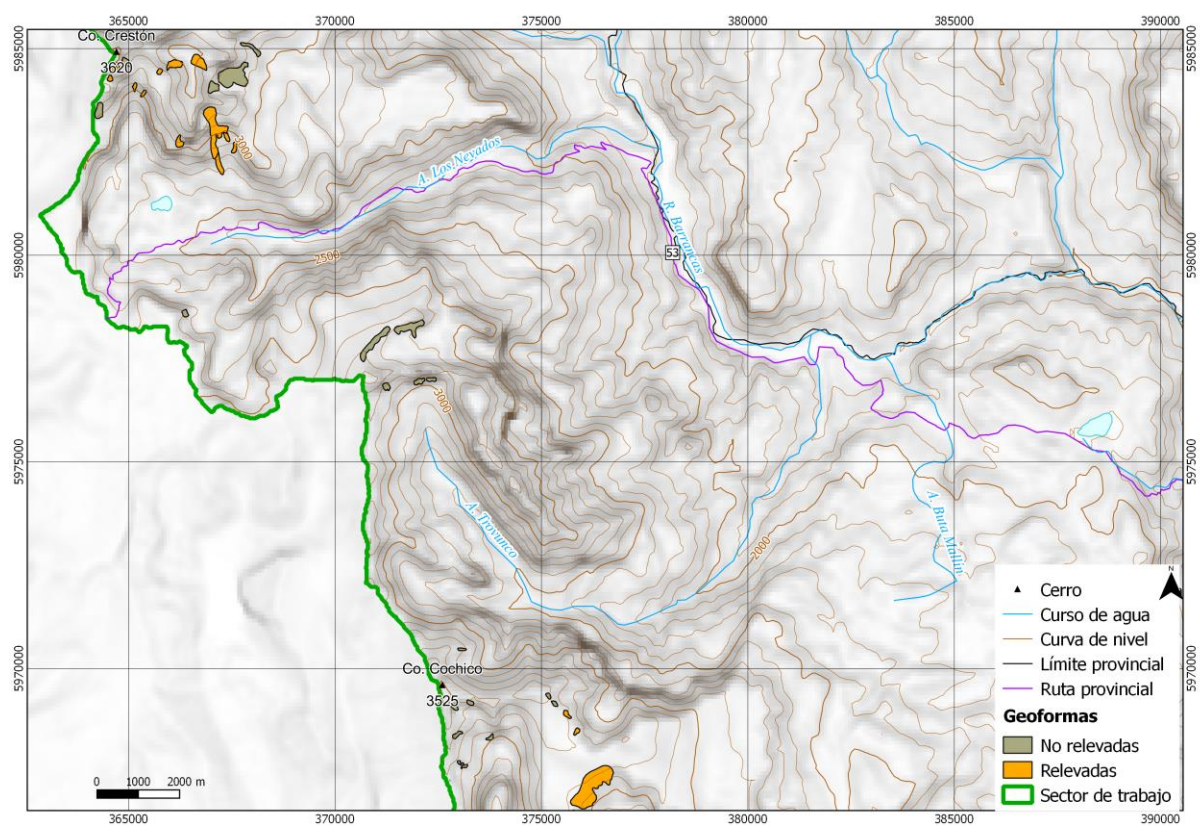
### **Geoformas G704471O361759S y G704423O361692S**

Manchones de nieve que se ubican alrededor de los 3.000 msnm. Son de las pocas geoformas inventariadas al norte de las subcuencas Barrancas-Chacaico, están próximas a la laguna Fea.





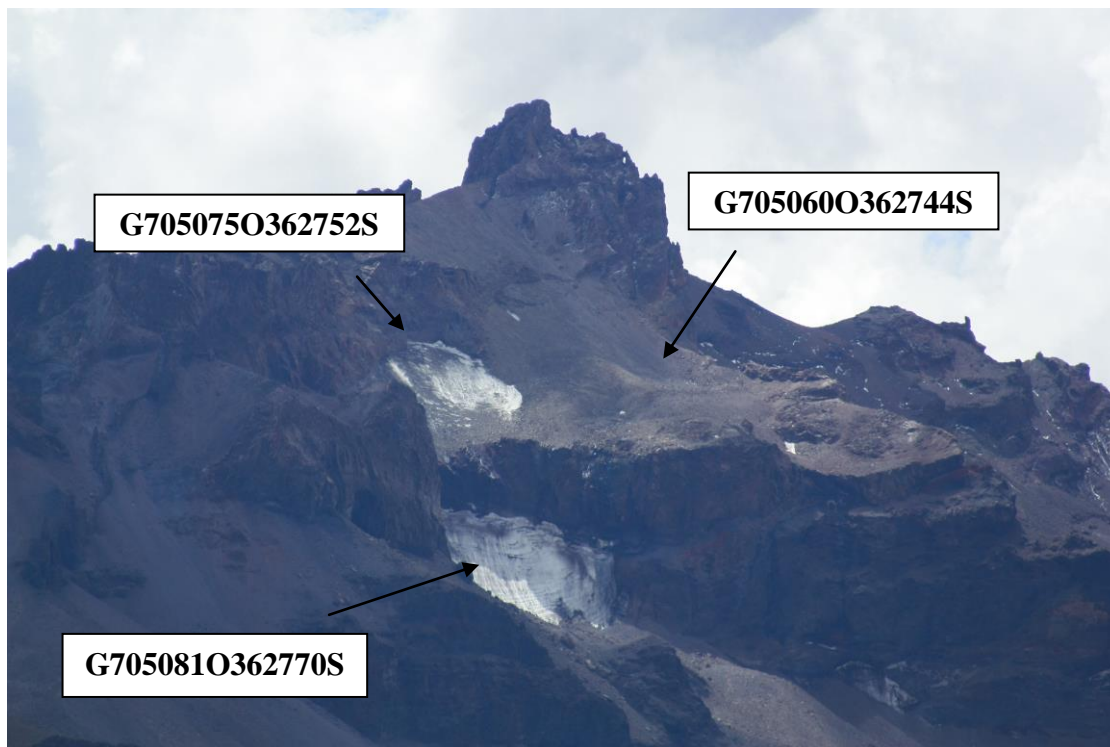
## Zona en los alrededores de los cerros Crestón y Cochico





### **Geoformas G705060O362744S, G705075O362752S y G705081O362770S**

En la foto de abajo podemos ver los manchones de nieve G705075O362752S y G705081O362770S. A la derecha del manchón G705075O362752S se observa un glaciar de escombros inactivo. Estas geoformas se encuentran alrededor del cerro Crestón de 3.620 msnm.



### **Geoforma G705016O362789S**

En el centro de la foto se ve el manchón de nieve perenne G705016O362789S.



### **Geoforma G704992O362804S**

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico.



### **Geoformas G704947O362757S y G704906O362743S**

Manchones de nieve perenne, ambos se observaron en el terreno a pesar de la presencia de algo de nieve estacional.



**Geoforma G704843O362738S**

Manchón de nieve perenne. Presenta orientación hacia el sureste.



**Geoforma G704899O362908S**

Manchón de nieve. Esta parcialmente cubierto por detritos.





### **Geoforma G704805O362910S**

Unidad formada por un glaciar de escombros activo y en su frente presenta dos partes que corresponden con partes más inactivas. En el campo se observan estas dos áreas más colapsadas y con menos volumen que la correspondiente al glaciar de escombros activo.



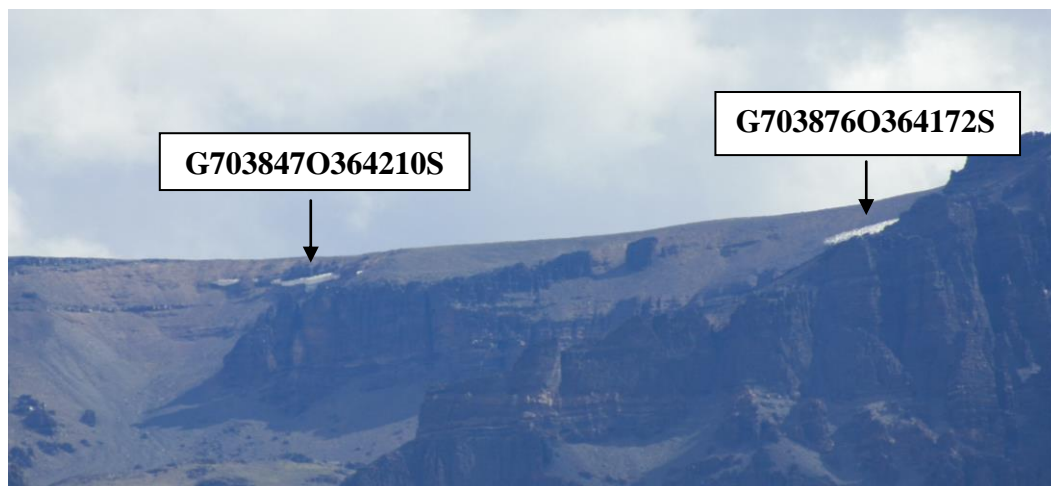
### **Geoforma G704747O362924S**

Glaciar de escombros inactivo. Se observa a la derecha de la geoforma G704805O362910S.



### **Geoformas G703847O364210S y G703876O364172S**

Manchones de nieve perenne.



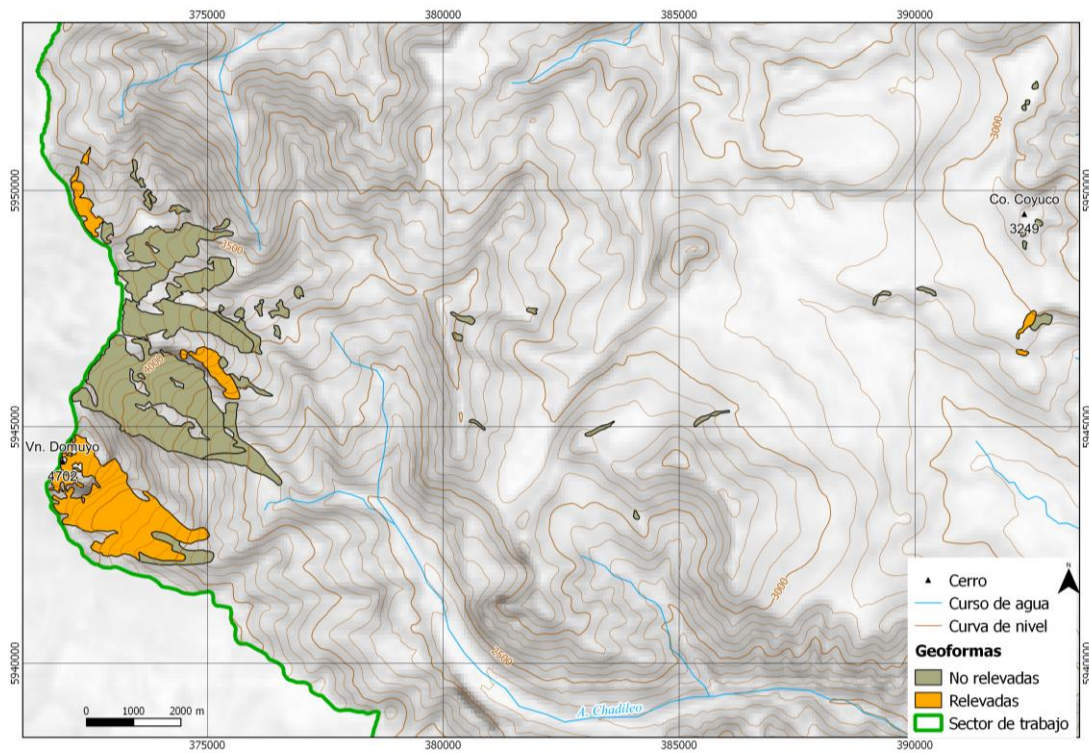
### **Geoforma G703815O364330S**

Esta geoforma es un glaciar descubierto de montaña, presenta forma de circo y una orientación hacia el sureste.



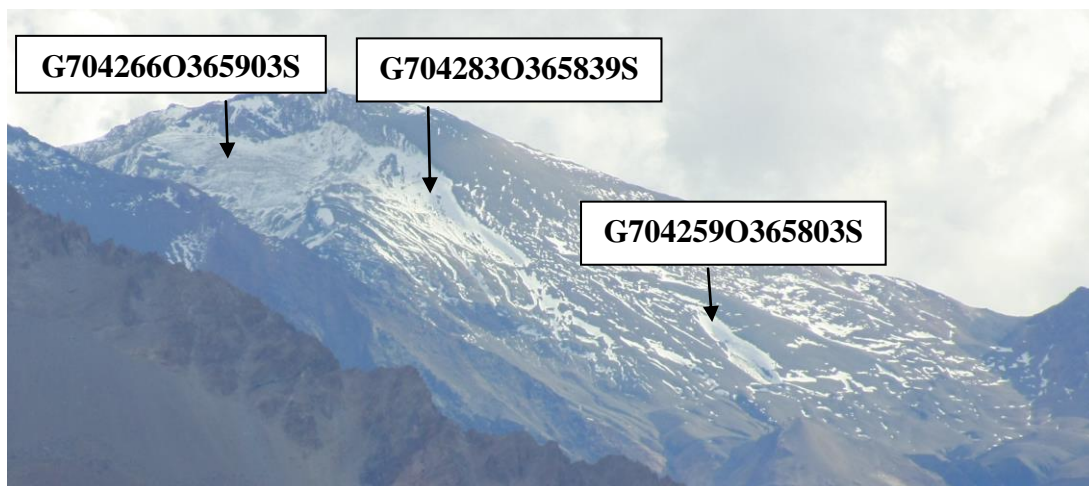


## Área Domuyo



### **Geoformas G704266O365903S, G704283O365839S y G704259O365803S**

La geoforma G704266O365903S es un glaciar descubierto de montaña. Separado hacia el norte del manchón de nieve G704283O365839S. La geoforma G704259O365803S se observa rodeada de nieve estacional, pero se puede identificar en el terreno.



### **Geoforma G704205O366460S**

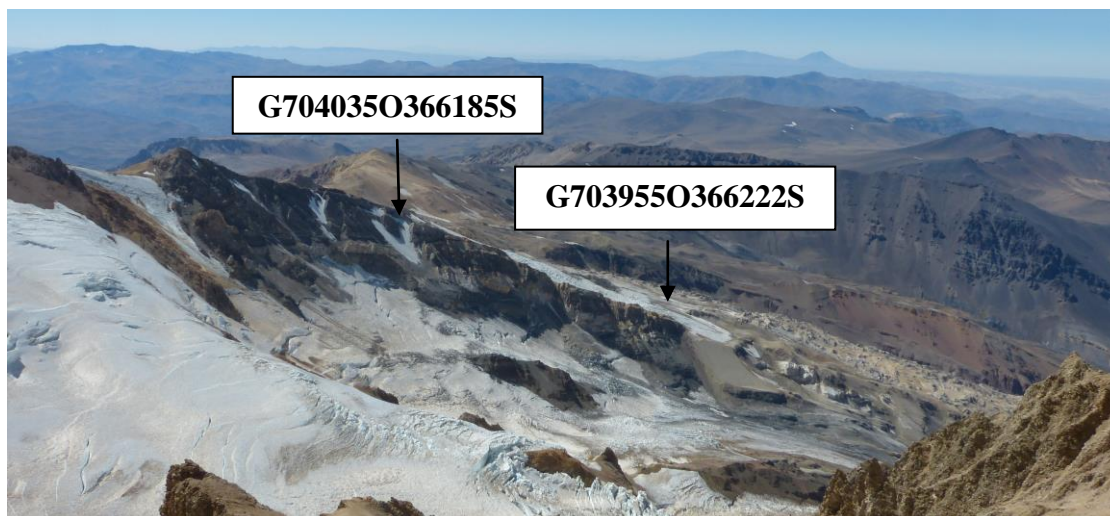
Se trata de un glaciar compuesto por una parte de hielo descubierto en la parte más alta o zona de alimentación del glaciar, y otra de hielo cubierto en la parte de la lengua glacial que fluye valle abajo. Es un glaciar de valle de cuenca compuesta, con el frente parcialmente cubierto por detritos. Este glaciar forma parte del conjunto de glaciares ubicados en la cara oriental del cerro Domuyo.





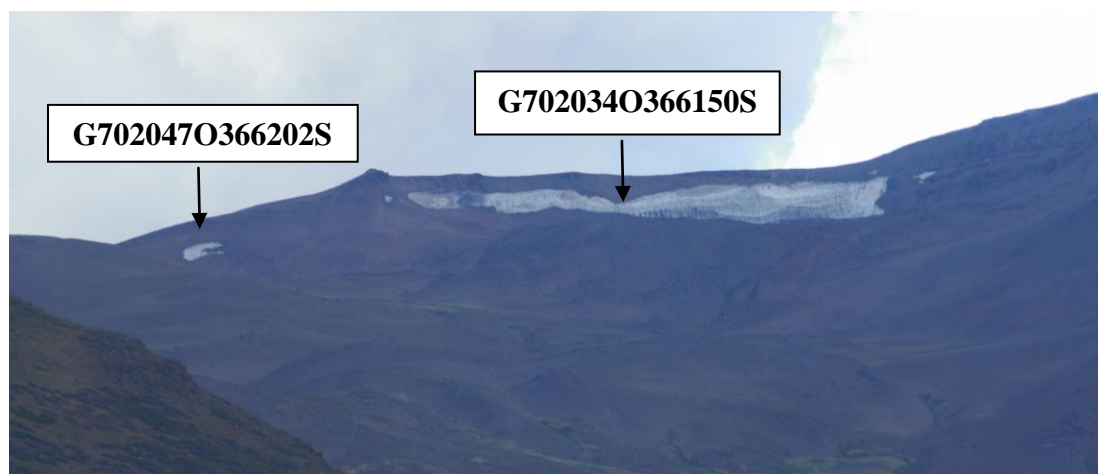
### **Geoformas G703955O366222S y G704035O366185S**

La geoforma G289605E36622S es un glaciar de montaña, de cuenca simple y orientación sureste. La geoforma G289597E36619S es un manchón de nieve perenne.

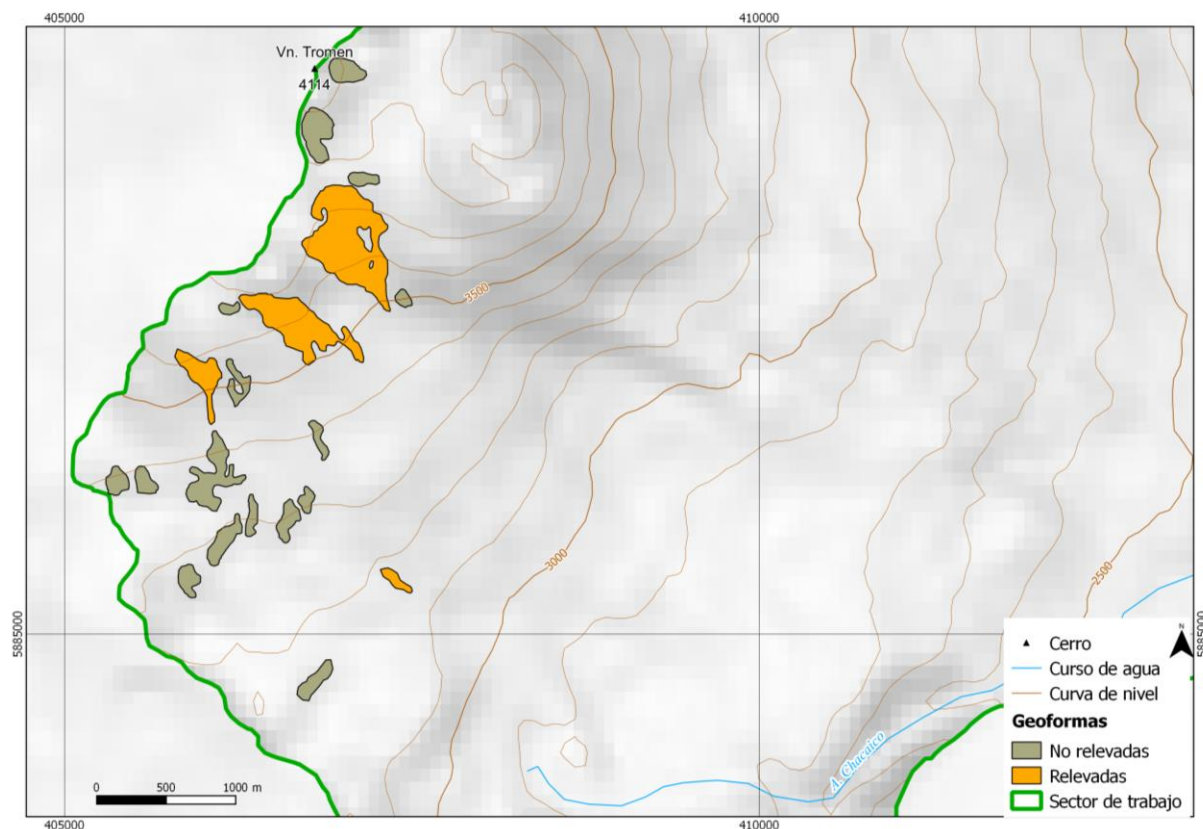


### **Geoformas G702047O366202S y G702034O366150S**

Se trata de dos manchones de nieve perennes, están cerca del cerro Coyuco, de 3.249 msnm.

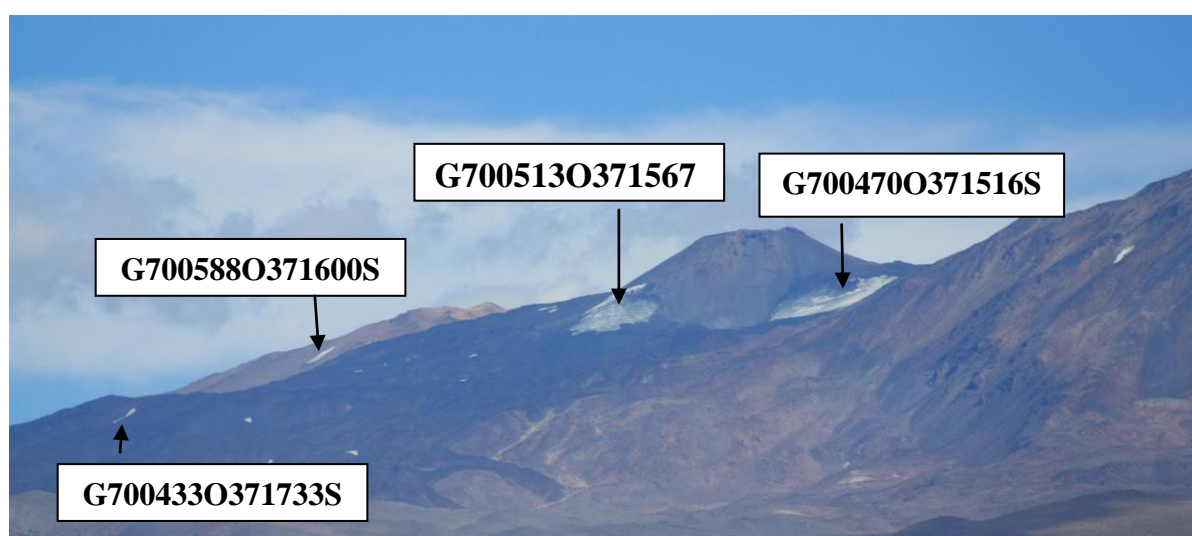


## Zona del volcán Tromen



### Geoformas G700470O371516S, G700513O371567S, G700588O371600S y G700433O371733S

Las geoformas G700470O371516S y G700513O371567S son dos glaciares descubiertos, próximos a la cumbre del volcán Tromen (4.114 msnm). La geoforma G700588O371600S es un manchón de nieve. Se ha reducido mucho el área desde la fecha en la que se tomó de base para hacer el inventario y la actualidad.



### 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. CUYO  
GOBIERNO  
DE MENDOZA

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

A partir del trabajo realizado por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), con la coordinación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, se han inventariado 16.078 glaciares y geoformas periglaciares en la cordillera de Los Andes y 890 en las Islas del Atlántico Sur, los cuales ocupan una superficie de 5.769 y 2.715 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 las subcuencas del río Barrancas y arroyo Chacaico, cuenca del río Colorado, provincias del Neuquén y Mendoza.





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

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

**Número:**

**Referencia:** ING río Barrancas

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 56 pagina/s.