



# **INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES**

IANIGLA  
CONICET

U.N. CUYO  
GOBIERNO  
DE MENDOZA



Secretaría de Ambiente  
y Desarrollo Sustentable  
de la Nación

**Informe de la  
cuenca del río Atuel**

**Provincia de Mendoza**

**SECRETARÍA DE AMBIENTE  
Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACIÓN**

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

**Secretario de Ambiente de la Nación**

Ing. Omar Judis

**Dirección de Normativa Ambiental**

Directora: Dra. Carolina Altieri

**IANIGLA – CONICET**

**Inventario Nacional de Glaciares (ING)**

Director del IANIGLA: Dr. Ricardo Villalba

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Director técnico: Dra. Lydia Espizúa

Profesionales: Dr. Facundo Rojas y Lic. Lidia Ferri Hidalgo

Colaboradores: Téc. Mariano Castro, Lic. Laura Zalazar, Lic. Daniel Falaschi, Lic.  
Gustavo Aloy, Dr. Mariano Masiokas, Lic. Pierre Pitte, Lic. Ivanna Pecker, Ing.  
Silvia Delgado, Lic. Lucas Ruiz, Ing. Sebastián Crespo, Lic. Daniel Cobos

Junio 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación por el financiamiento provisto para la realización de este inventario.

A la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Mendoza por el subsidio otorgado para realizar el inventario de la provincia de Mendoza.

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

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

## ÍNDICE

1.	Introducción .....	1
2.	Antecedentes .....	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario .....	7
4.	Materiales y métodos .....	9
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación .....	9
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación .....	10
4.3.	Delimitación del hielo descubierto .....	13
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros .....	14
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas .....	14
4.6.	Control de campo .....	16
5.	Resultados .....	17
5.1.	Cuenca del río Atuel .....	17
5.2.	Control de campo .....	21
6.	Bibliografía .....	22
7.	Anexos .....	27
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de la cuenca del río Atuel. ....	27
7.2.	Control de campo en las quebradas Barroso, Lágrimas y Laguna del Atuel, 1 al 7 de marzo de 2013 y valle de Las Leñas 21-22 de febrero de 2014. ....	30
7.2.1	Objetivos .....	30
7.2.2	Resultados. Geoformas relevadas .....	31
7.3.	Descripción de la base de datos .....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vista de los glaciares en el Valle de Barroso (Foto: L. Zalazar, 2013, IANIGLA-CONICET). .....	2
Figura 2: Retroceso del glaciar del Humo. La foto superior fue tomada por W. von Ficher en 1914, la inferior por D. Cobos en 1984. ....	5
Figura 3: Fluctuaciones de glaciares en la cuenca del río Atuel. Datos adaptados de Le Quesne et al., 2009). ....	6
Figura 4: Cuenca superior del río Atuel donde se realizó el Inventario de Glaciares. ....	9
Figura 5: Diagrama de flujo de la metodología usada. ....	12
Figura 6: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING. ....	13
Figura 7: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen ASTER (15 m de resolución). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una imagen Geoeye de 0,5 m de resolución (imagen de Google Earth). ....	14
Figura 8: Ejemplo de una unidad compuesta vista en una escena ASTER 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). ....	16
Figura 9: Inventario de glaciares de la cuenca del río Atuel. ....	18
Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, cuenca del río Atuel. ....	19
Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río Atuel. ....	19
Figura 12: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río Atuel. ....	20
Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, cuenca del río Atuel. ....	21

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de la cuenca del río Atuel (ver anexo 7.1. para mayor información) .....	10
Tabla 2: Superficie total de glaciares inventariados en la cuenca del río Atuel. ....	17
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la cuenca del río Atuel. ....	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 75% del área total ubicada en Chile (Williams y Ferrigno 1999; WGMS-UNEP 2007). Nuestro país ocupa el segundo lugar después de Chile, con cerca del 15% 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 de los cerros Torre y Fitz Roy. 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: Vista de los glaciares en el Valle de Barroso (Foto: L. Zalazar, 2013, 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. Es importante notar que la Provincia de Mendoza cuenta desde hace casi treinta años con estudios de inventario de glaciares que fueron pioneros por su extensión y grado de detalle (ver “Antecedentes” más abajo), y que durante las últimas décadas se ha avanzado significativamente en el estudio de nuestros cuerpos de hielo. Sin embargo, aún hoy sólo un puñado de sitios han sido analizados en detalle, y no existe información actualizada y completa sobre la ubicación, área total, significancia hidrológica o la historia reciente de los glaciares y glaciares de escombros a lo largo de vastas porciones de la Cordillera de los Andes.

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 en su Artículo 3 establece:

*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.*

El objetivo principal del “Inventario Nacional de Glaciares” es la identificación, caracterización y monitoreo de todos los glaciares y crioformas que actúan como reservas hídricas estratégicas en la República Argentina, establecer los factores ambientales que regulan su comportamiento, y determinar la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina. Este objetivo general se enmarca en el Objeto de la Ley de Presupuestos Mínimos definido en su Artículo 1.

*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.*

Este Inventario Nacional deberá sentar las bases 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 existentes a lo largo de la Cordillera de los Andes.

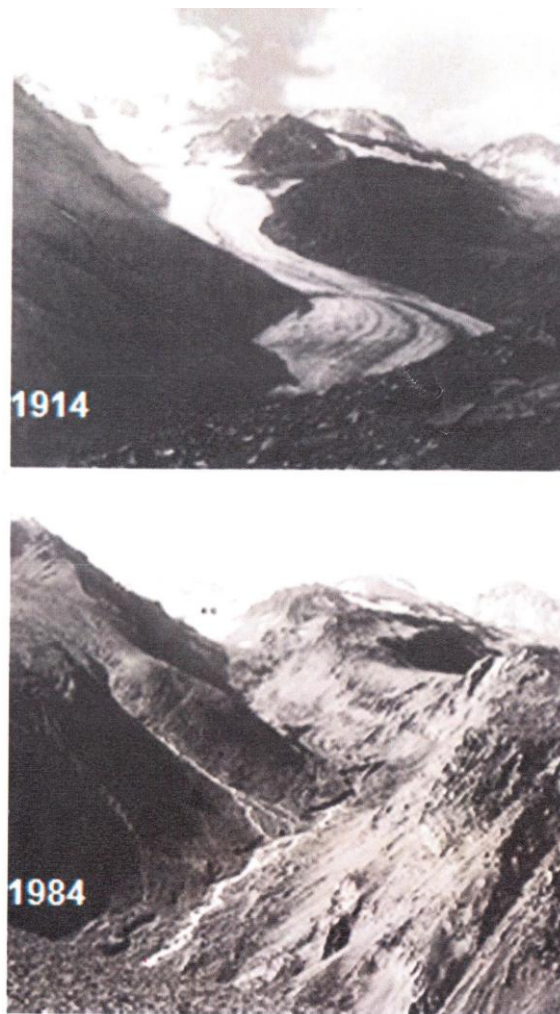
En el presente informe se describen los resultados del inventario de la cuenca del río Atuel.

El trabajo de identificación de glaciares en esta cuenca ha sido realizado siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver más adelante) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

## 2. Antecedentes

La cuenca del río Atuel es uno de los lugares en Mendoza, que cuenta con antecedentes históricos de estudios de glaciares.

Existen estudios de fluctuaciones, se realizó un inventario de glaciares basado en fotografías aéreas de los años 1962-1963 y hay un trabajo sobre la secuencia glacial durante el Pleistoceno tardío en el valle del río Grande, donde se incluye el valle de Las Leñas, perteneciente a la cuenca del río Atuel (Cobos 1983; Cobos y Boninsegna 1983; Espizua 1998; Le Quesne et al. 2009).



**Figura 2: Retroceso del glaciar del Humo. La foto superior fue tomada por W. von Ficher en 1914, la inferior por D. Cobos en 1984.**

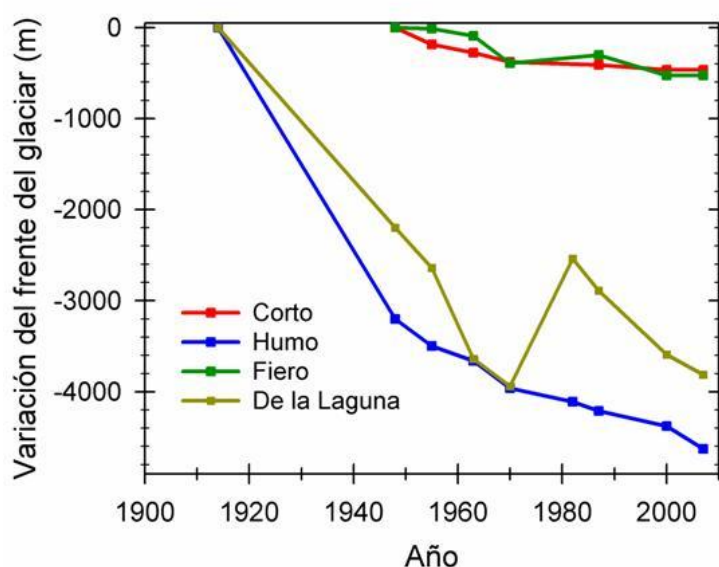
Con el objetivo de relevar los recursos hídricos sólidos de la Cordillera de los Andes Centrales argentinos y en base a ello conocer la disponibilidad de agua, el IANIGLA inventarió la cuenca del río Atuel en el año 1983. El inventario arrojó 227 cuerpos de hielo que ocupaban un área de  $185,93 \text{ km}^2$ , de los cuales  $148 \text{ km}^2$  corresponden a hielo descubierto y  $37,92 \text{ km}^2$  a hielo cubierto por detrito (Cobos 1983).

Con respecto a las fluctuaciones Cobos y Boninsegna (1983) prepararon un mapa a escala 1:20.000 realizado a partir de restitución aerofotogramétrica y control de campo.

Observaron que el glaciar de la Laguna tuvo un comportamiento particular durante el siglo XX. En 1914 el frente del glaciar se hallaba cercano a la Laguna del Atuel, pero entre 1914 y 1970 el frente retrocedió y se alejó de este cuerpo de agua. Sin embargo, análisis de fotografías aéreas indican claramente que el glaciar avanzó alrededor de 1.400 m entre 1970 y 1982. Dada la magnitud de este avance y el hecho de que muchos otros glaciares en el área retrocedieron durante ése periodo, se propuso que este avance del glaciar Laguna podría ser un evento de tipo “surge” (Cobos y Boninsegna 1983).

En 1914 los glaciares Corto y Humo confluían en una única lengua glaciar, pero hacia 1934 habían retrocedido y se mostraban como dos cuerpos de hielo diferentes (Groeber 1954). El glaciar Humo retrocedió aproximadamente 3.200 m entre 1914 y 1947 (Figura 2). El glaciar Fiero también sufrió un fuerte retroceso desde 1937. En otro glaciar ubicado en la ladera suroeste del volcán Overo también se observó un importante retroceso entre 1948 y 1970.

La figura 3 muestra datos actualizados de las variaciones del frente de cuatro glaciares (Corto, Humo, Fiero y De la Laguna) en la cuenca del río Atuel, provincia de Mendoza (Le Quesne et al., 2009).



**Figura 3: Fluctuaciones de glaciares en la cuenca del río Atuel. Datos adaptados de Le Quesne et al., 2009).**

Estos antecedentes constituyen un valioso material de base y servirán para realizar comparaciones con el inventario actual y poder cuantificar las fluctuaciones que han sufrido los glaciares en esta cuenca en particular.

### 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.glaciares.org.ar/upload/CronogramaInventarioGlaciaresIANIGLA.pdf>), definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos 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 cuenca del río Atuel 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.

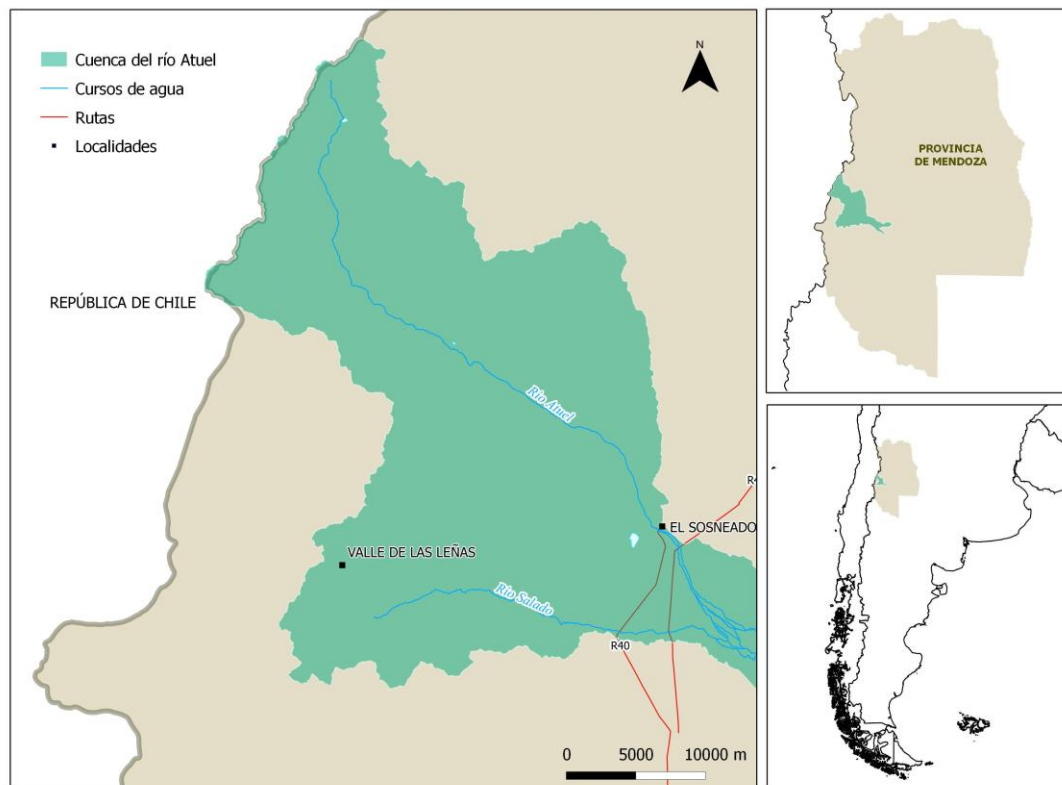
**Glaciar cubierto con glaciar de escombros:** en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciar de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente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

Cabe aclarar que en el ambiente periglacial existen numerosas geoformas con hielo en su interior. Sin embargo, los glaciares de escombros al estar sobresaturados en hielo, son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (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 la cuenca superior del río Atuel. Dicha cuenca ocupa 3.979 km<sup>2</sup> de superficie y está formada por el sector del río Atuel (propiamente) y del río Salado, al sur del primero (Figura 4). Toda la información relativa al inventario está presentada para la totalidad de la cuenca superior del río Atuel, dado que las dimensiones de la misma no hacen necesario dividirla en diferentes subcuencas.



**Figura 4: Cuenca superior del río Atuel donde se realizó el Inventario de Glaciares.**

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

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

Empleando el programa Quantum Gis (software libre) se delimitaron las subcuencas utilizando como base el SRTM. Los pasos básicos para obtener las cuencas hidrográficas en

Quantum Gis 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. La edición manual de la cuenca fue realizada empleando el programa KOSMO<sup>1</sup> (software libre).

## 4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el inventario de la cuenca del río Atuel se utilizaron imágenes ASTER del satélite TERRA, aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo LANDSAT, ALOS, CBERS 2B (sensor HRC) y el programa Google Earth. Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación. Las imágenes de mayor resolución espacial ALOS y las del sensor HRC de CBERS 2B, 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 la cuenca del río Atuel (ver anexo 7.1. para mayor información)**

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST14OTH_00303272010145139_20111006143929_5624	8 abril 2011
Terra/ASTER	AST14OTH_00304082011144500_20111006143919_5374	8 abril 2011
Terra/ASTER	AST14OTH_00303272010145139_20111006143929_5624	27 marzo 2010

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

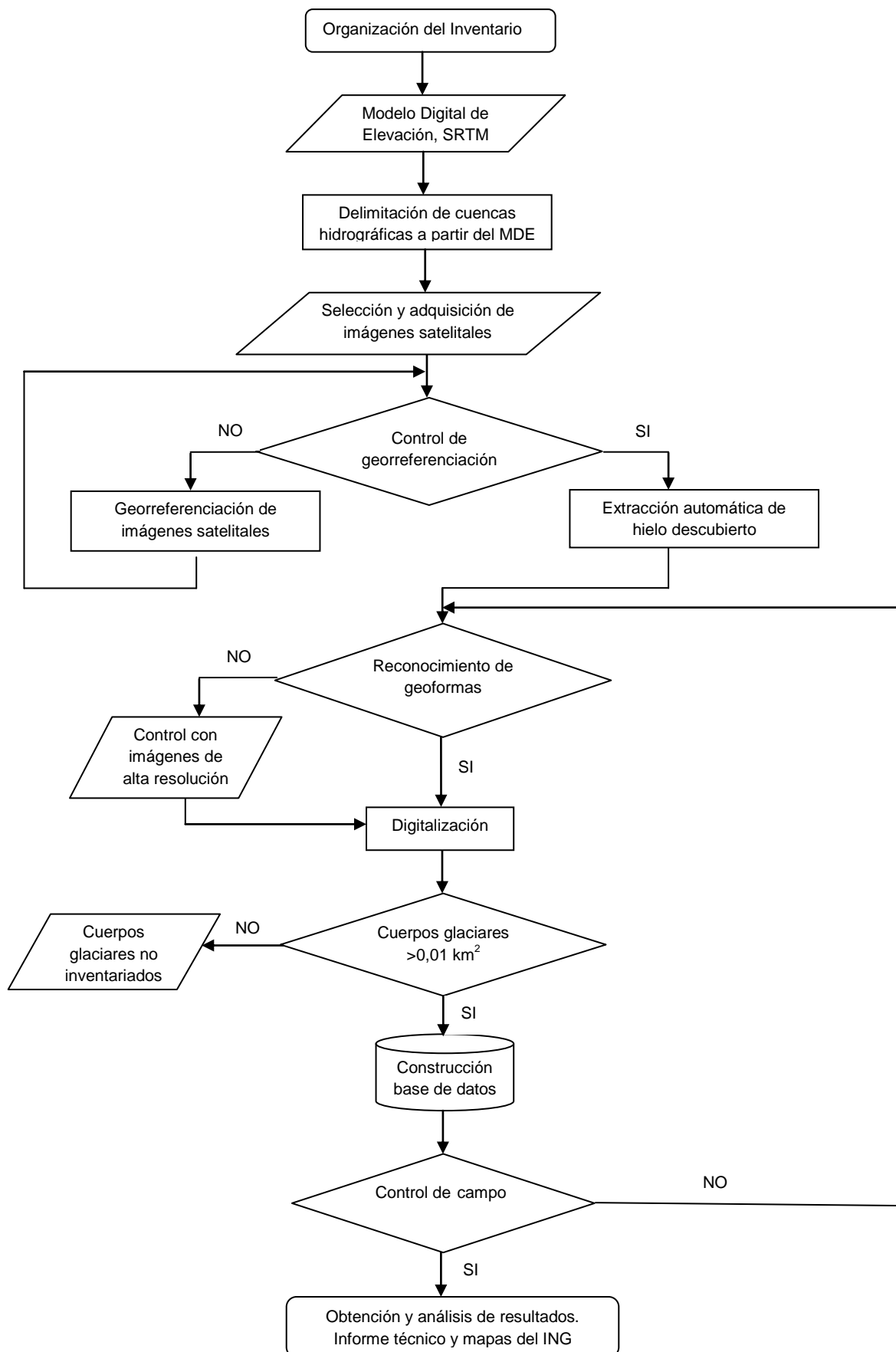
<sup>1</sup> <http://www.opengis.es/>

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.

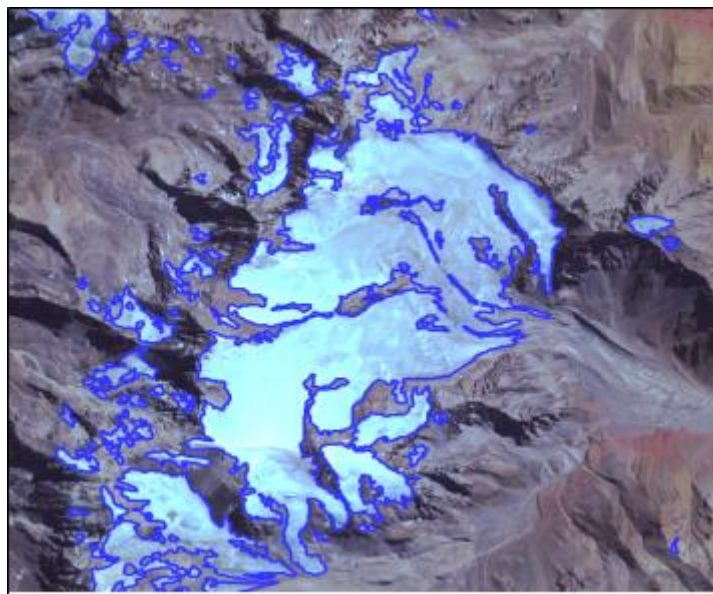
En la Figura 5 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.



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

### 4.3. Delimitación del hielo descubierto

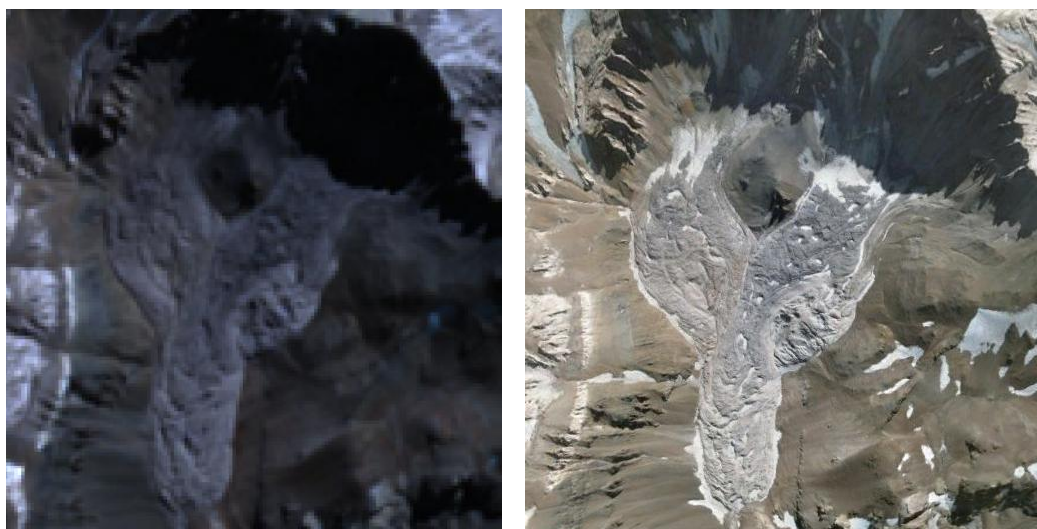
El paso posterior a la determinación de las cuencas hidrográficas es la delimitación automática del hielo descubierto. El programa GLIMS establece que uno de los métodos que mejor capta el hielo descubierto es el cociente entre las bandas 3 y 4 del sensor ASTER. Desafortunadamente, a partir del mes de mayo del año 2008 el sensor ASTER presentó algunas anomalías debido a las cuales sólo se puede trabajar con las bandas del espectro visible e infrarrojo cercano (bandas 1, 2 y 3); las bandas del infrarrojo medio (4, 5, 6 y 7) están dañadas lo que lleva a descartar la realización del cociente de bandas propuesto por GLIMS. Por este motivo, y para aquellos casos en los que se empleen imágenes que no tengan bandas en el infrarrojo medio, se buscaron alternativas para la delimitación automática de hielo descubierto. Con tal fin, se probaron algunas clasificaciones supervisadas, entre ellas la clasificación por objetos que puede realizarse a partir de las imágenes con el programa SPRING provisto por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil, INPE (Camara et al. 1996). Una clasificación por objetos utiliza además de la información espectral de cada píxel la información espacial que envuelve la relación entre los píxeles y sus vecinos. Este tipo de clasificación intenta imitar el comportamiento de un fotointérprete al reconocer áreas homogéneas de las imágenes basándose en las propiedades espectrales y espaciales de las mismas. Como resultado de esta clasificación se obtuvieron los polígonos que corresponden al hielo descubierto, incluyendo glaciares y manchones de nieve (ver figura 6).



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

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

En el caso del mapeo 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, utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución PRISM (ALOS), HRC (CBERS 2) y las imágenes disponibles en Google Earth (Figura 7). La digitalización fue realizada con el programa KOSMO.



**Figura 7: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen ASTER (15 m de resolución). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una imagen Geoeye de 0,5 m de resolución (imagen de Google Earth).**

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

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares del río Atuel 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 KOSMO.

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

La clasificación de los cuerpos de hielo se establece en los campos 7 al 20 de la Base de Datos tal como se detalla en el Anexo 7.3.

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. Domo 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:

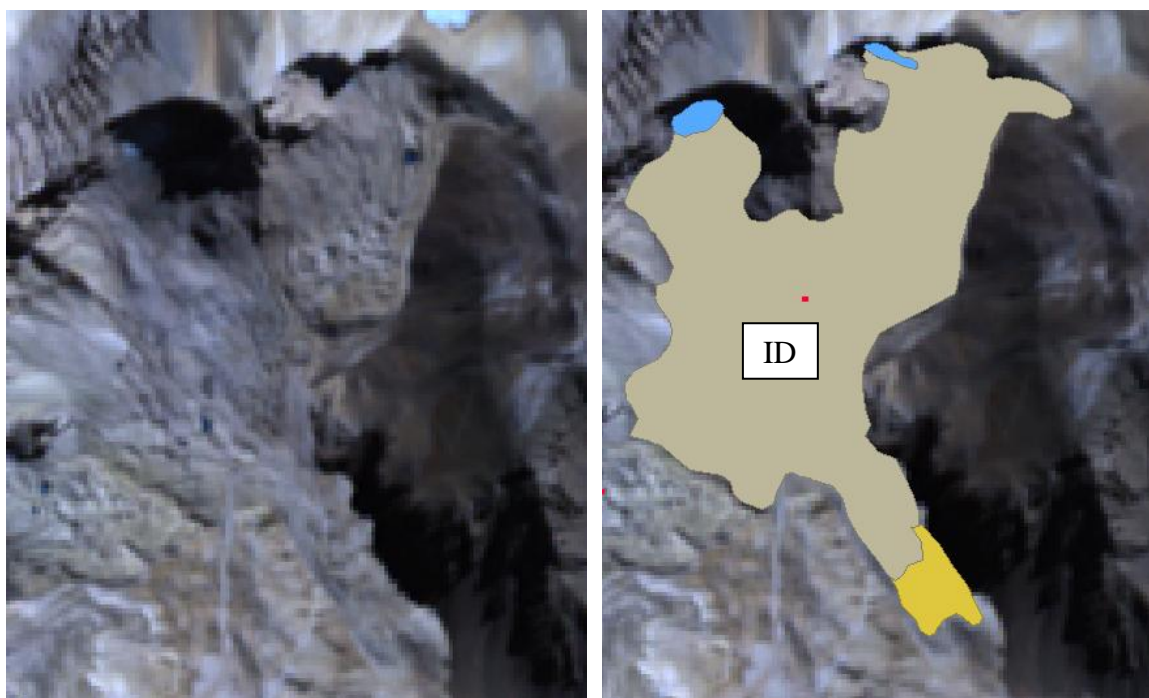
[http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS\\_Analysis\\_Tutorial\\_a4.pdf](http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_a4.pdf).

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 8 representado por un círculo rojo) que consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma (similar al ID\_GLIMS salvo que en el caso del ID\_local la longitud está referida al Oeste). Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud Sur.

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



**Figura 8: Ejemplo de una unidad compuesta vista en una escena ASTER 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**

Con el fin de corroborar lo realizado previamente en gabinete sobre la identificación de las geoformas glaciarias y crioformas, se realizó un control de campo en ciertos sectores de la cuenca del río Atuel, que fueron seleccionados de acuerdo a su accesibilidad y a la cantidad y variedad de geoformas. El control en el terreno se realizó en la quebrada del Arroyo Barroso, en el valle de Las Lágrimas y en la Laguna del Atuel en el verano de 2013. Durante el mes de febrero de 2014 se completó el trabajo de campo realizando una visita al valle de Las Leñas. Para mayores precisiones ver anexo 7.2. en el cual se detallan las geoformas inventariadas en el trabajo de campo.

## 5. Resultados

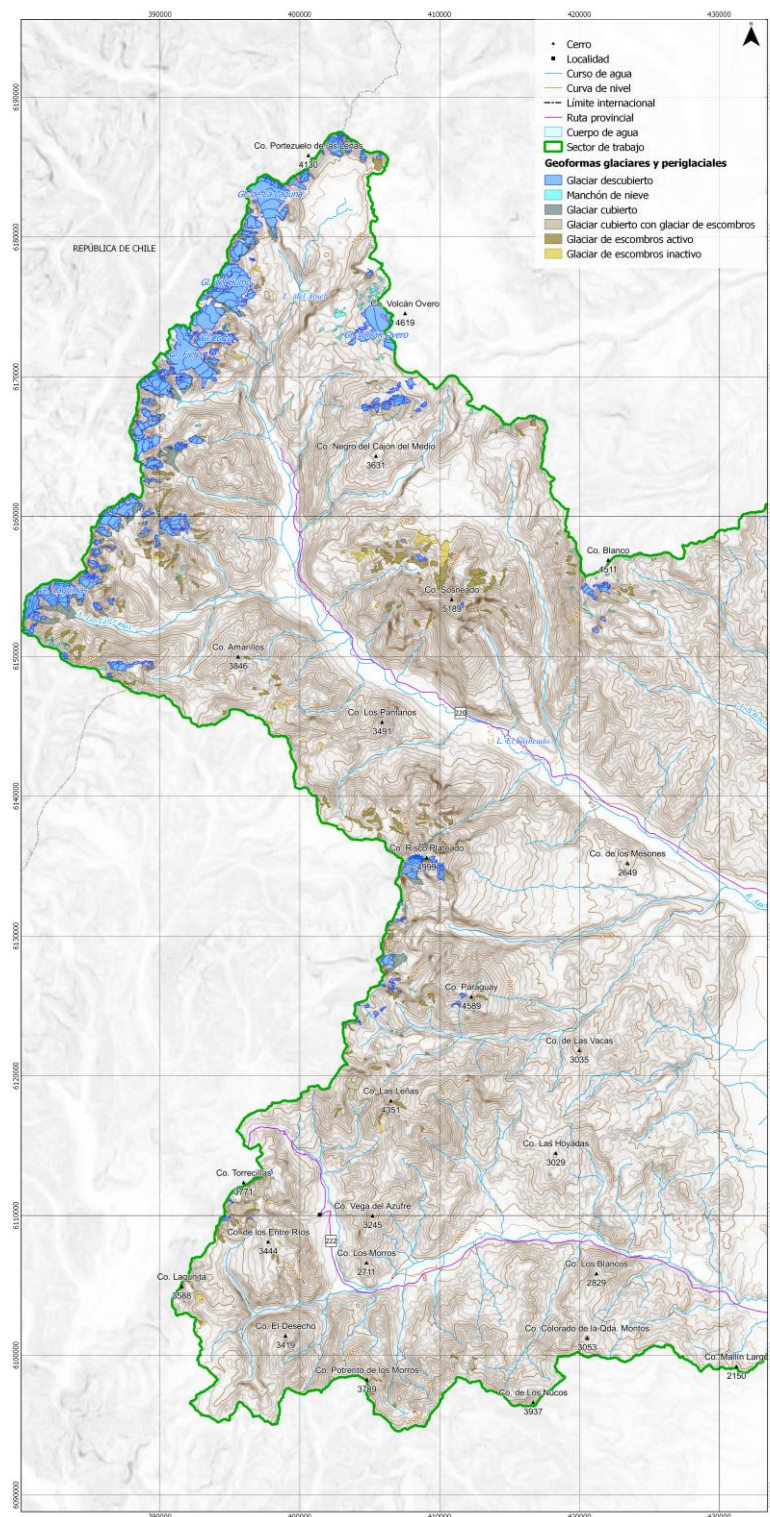
### 5.1. Cuenca del río Atuel

El área de la cuenca del río Atuel cuenta con algunos cerros destacados, entre los que se encuentran el Cerro Sosneado (5.189 msnm), Volcán Overo (4.619 msnm), Risco Plateado (4.999 msnm) y Las Leñas (4.351 msnm) (Alturas obtenidas del IGN).

La cuenca superior del río Atuel abarca una extensión de 3.979 km<sup>2</sup>. En base a las imágenes satelitales de 2010/2011 (Tabla 1), en esta cuenca se inventariaron 389 geoformas que cubren una superficie englazada de 115,63 km<sup>2</sup>, lo que representa el 3% del área total bajo estudio. En la Tabla 2 se puede observar el área que ocupan las geoformas inventariadas de acuerdo a su tipo (ver también Figura 9).

**Tabla 2: Superficie total de glaciares inventariados en la cuenca del río Atuel.**

Tipo de geoforma inventariada	Área (km <sup>2</sup> )
Glaciar descubierto	63,23
Manchones de nieve/glaciaretos	3,67
Glaciar cubierto	11,22
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	14,40
Glaciar de escombros	23,12
Total	115,63

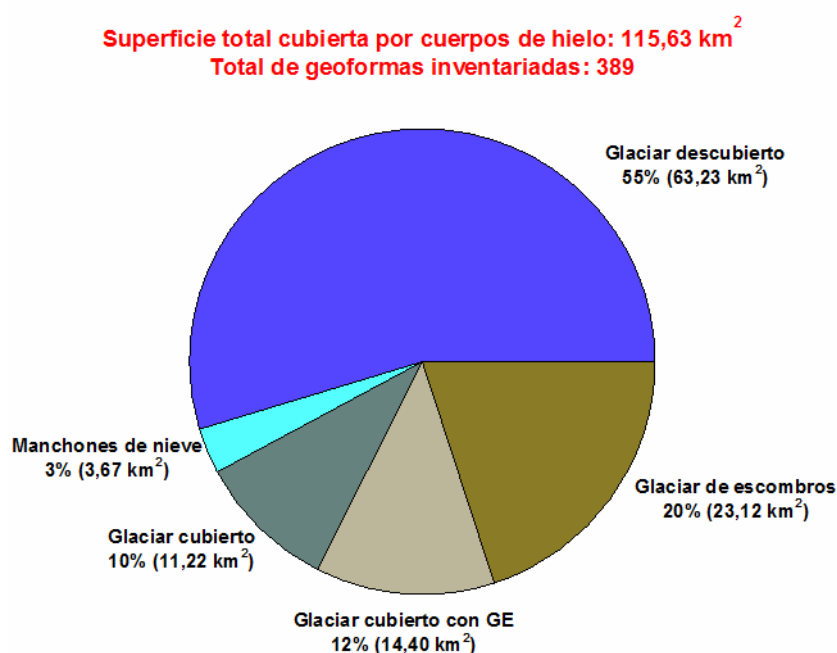


**Figura 9: Inventario de glaciares de la cuenca del río Atuel.**

**(Para mayor detalle ver mapa impreso del sector de estudio, adjunto en contratapa).**

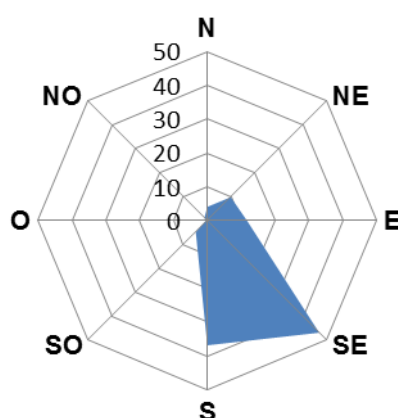
La Figura 10 muestra que el 55% de las geoformas inventariadas corresponden a glaciares descubiertos y manchones de nieve. Vemos que este porcentaje ha cambiado con respecto a lo encontrado en la cuenca del río Mendoza o Tunuyán, donde el hielo cubierto y los glaciares de escombros predominan por encima del hielo descubierto. Este patrón irá cambiando a

media que se vaya avanzando hacia mayores latitudes. El 42% de los glaciares inventariados en esta cuenca corresponden a glaciares cubiertos y a glaciares de escombros.



**Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, cuenca del río Atuel.**

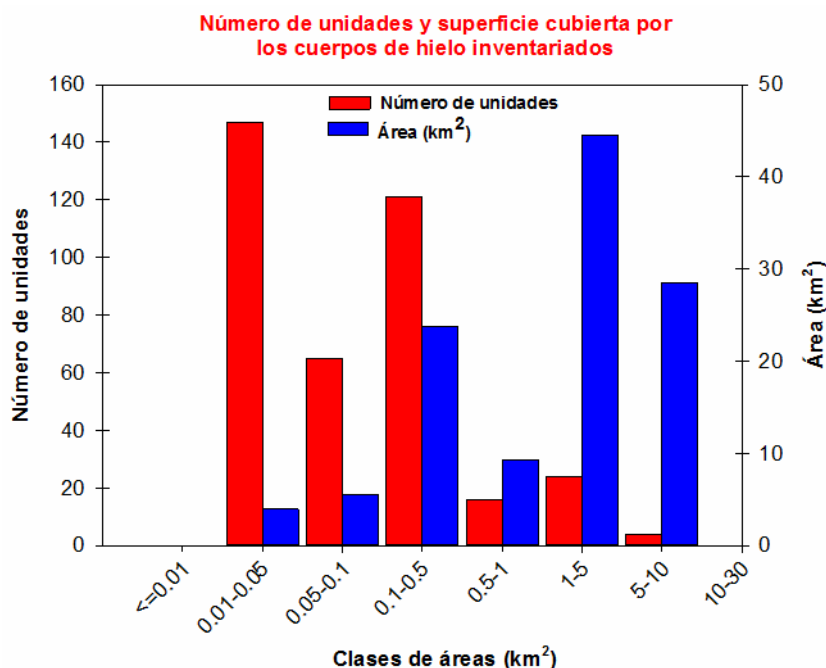
Los análisis de la orientación media de los cuerpos inventariados en esta cuenca indican que la mayoría presentan una exposición sureste (Figura 11), que coincide con las laderas de menor insolación en el Hemisferio Sur. Estas laderas menos expuestas a la radiación solar tienden a ser más frías que las laderas que miran al norte, manteniendo por periodos más prolongados la nieve del invierno y favoreciendo los procesos que dan origen a los glaciares y otras crioformas. Este patrón es el que predomina en la mayoría de las cuencas inventariadas en la provincia de Mendoza.



**Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río Atuel.**

En cuanto a la distribución relativa por tamaño de los distintos cuerpos de hielo, en la Figura 12 se puede observar que los cuerpos de pequeño tamaño (0,01-0,05 km<sup>2</sup>) son mucho más numerosos que los cuerpos más grandes. Sin embargo, cuando se analizan las superficies relativas cubiertas por las distintas clases de áreas, se puede observar que a pesar de ser muy

pocos, los cuerpos más grandes de la cuenca ( $1-20 \text{ km}^2$ ) cubren en total mucha más superficie que la gran cantidad de cuerpos pequeños de la cuenca.

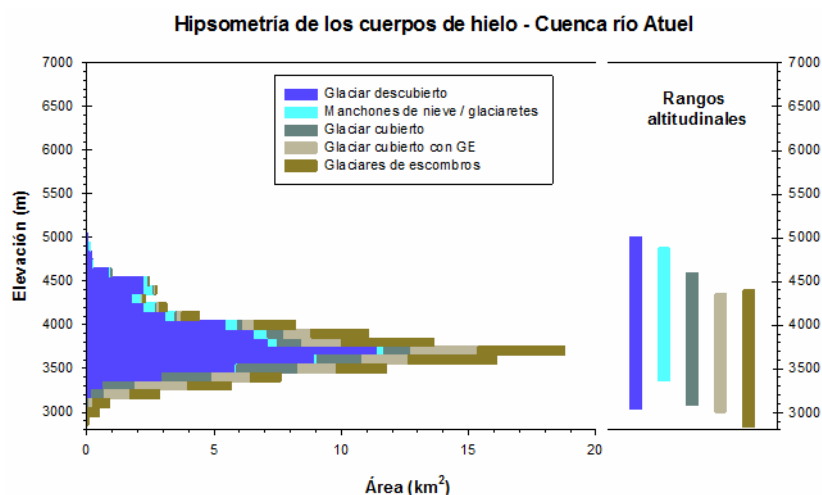


**Figura 12: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río Atuel.**

En la figura 13 se puede observar la distribución altitudinal de las diferentes geoformas o hipsometría. En esta cuenca, las alturas de las montañas y cerros donde se ubican los glaciares, son cada vez más bajas, por lo que el rango altitudinal de los glaciares tiende a ser menor que en las cuencas del río Tunuyán o Mendoza.

Los glaciares descubiertos y los glaciaretos / manchones de nieve se encuentran generalmente a mayores alturas que las porciones cubiertas por detritos y los glaciares de escombros (Figura 12). El rango de distribución altitudinal es similar para el caso de los glaciares (entre 3.036 hasta 5.014 msnm) y para los manchones de nieve (entre 3.357 y 4.885 msnm).

El mayor área de glaciares de escombros se localiza alrededor de los 4.000 msnm, con un rango que va desde los 3.059 msnm hasta los 4.826msnm. Hay que aclarar que la baja altitud a la que se observa la distribución de los glaciares de escombros es debido a la presencia de glaciares de escombros inactivos. El hielo cubierto y el hielo cubierto con glaciar de escombros presentan una distribución altitudinal similar, con un máximo entre los 3.500 y 4.500 msnm, llegando a un mínimo de altitud de 2832 msnm (ver Figura 12 y Tabla 3).



**Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, cuenca del río Atuel.**

**Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la cuenca del río Atuel.**

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	3036	5014
Manchones de nieve/glaciaretos	3357	4885
Glaciar cubierto	3079	4603
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	3003	4361
Glaciar de escombros	2832	4405

## 5.2. Control de campo

El control de campo de esta subcuenca fue realizado en los veranos de 2013 y 2014. Durante el verano de 2013 se verificaron algunas geoformas en el valle de Las Lágrimas, Barroso y Laguna del Atuel. El verano siguiente se realizó el trabajo de campo en el valle de Las Leñas. En total se identificaron 86 glaciares que fueron comparados con la cartografía realizada en gabinete; en este trabajo el tipo de geoforma más vista fueron los glaciares descubiertos. El trabajo reveló una alta correspondencia entre las geoformas observadas en el terreno y las identificadas a través de métodos indirectos. En el caso de la identificación de geoformas glaciares y periglaciares se obtuvo un 93% de coincidencias y un 81% en la clasificación. En cuanto a la clasificación el error observado consistió en que varios glaciares de escombros pasaron a ser clasificados como a glaciar cubierto con glaciar de escombros, ya que se pudieron observar diversos rasgos típicos de esta geoforma.

Las diferencia registradas en el terreno, fueron corregidas posteriormente en gabinete.

## 6. Bibliografía

Arenson, L. y Jakob, M. 2010. The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes – A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 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.

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.

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. 1998. Secuencia glacial del Pleistoceno tardío en el Valle del Río Grande, Mendoza, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften* Bd. 15, S. 85-99, Bamberg.
- 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.
- Groeber, P., 1954. Bosquejo paleogeográfico de los glaciares del Diamante y Atuel. Buenos Aires, Asociación Geológica Argentina, *Revista IX* (2), 89–108.
- 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.
- Ikeda, A. 2004: Rock glacier dynamics near the lower limit of mountain permafrost in the Swiss Alps.
- Lequesne, C., Acuña, C., Boninsegna, J.A., Rivera, A. y Barichivich, J. 2009. Long-term glacier variations in the Central Andes of Argentina and Chile, inferred from historical records and tree-ring reconstructed precipitation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281 (2009) 334–344.
- 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 Periglaciales 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.

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

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.

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

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.

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.

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.

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 la cuenca del río Atuel.

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

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
L5232084_08420101209	9 de diciembre de 2010	Base georreferenciación
L5232084_08420100413	13 de abril de 2010	Base georreferenciación
L5232085_08520070320	20 de marzo de 2007	Comparar manchones de nieve
L5232084_08420070320	20 de marzo de 2007	Comparar manchones de nieve
L7232084_08420000120	20 de enero de 2000	Comparar manchones de nieve
L5232084_08420050501	5 de enero de 2005	Comparar manchones de nieve

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_00303272010145139_20111006143929_5624	8 abril 2011	Base inventario
AST14OTH_00304082011144500_20111006143919_5374	8 abril 2011	Base inventario
AST14OTH_00303272010145139_20111006143929_5624	27 marzo 2010	Base inventario

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

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

Resolución espacial: 2,5 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALPSMN266874295-O1B2R_UN-A1201402-002	03/31/2011	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALPSMN266874300-O1B2R_UN-A1201402-003	03/31/2011	
ALPSMN266874305-O1B2R_UN-A1201402-004	03/31/2011	
ALPSMN266874310-O1B2R_UN-A1201402-005	03/31/2011	
ALPSMN276064295-O1B2R_UN-A1201402-016	03/31/2011	
ALPSMN276064300-O1B2R_UN-A1201402-017	03/31/2011	
ALPSMN276064305-O1B2R_UN-A1201402-018	03/31/2011	
ALPSMN276064310-O1B2R_UN-A1201402-019	03/31/2011	

Satélite: **CBERS 2B** (China Brasil Earth Resources Satellite)

Sensor: HRC (High-Resolution Panchromatic Camera)

Resolución espacial: 2,5 m

Imágenes de INPE <http://www.inpe.br>

ID imagen	Fecha	Objetivo
CBERS_2B_HRC_20090507_175_B_139_1	7 de mayo de 2009	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
CBERS_2B_HRC_20090507_175_B_139_2	7 de mayo de 2009	
CBERS_2B_HRC_20090507_175_B_139_3	7 de mayo de 2009	
CBERS_2B_HRC_20090507_175_B_139_4	7 de mayo de 2009	
CBERS_2B_HRC_20090507_175_B_139_5	7 de mayo de 2009	
CBERS_2B_HRC_20100115_175_A_139_2	15 enero de 2010	
CBERS_2B_HRC_20100115_175_A_139_3	15 enero de 2010	
CBERS_2B_HRC_20100115_175_E_139_5	8 de febrero de 2010	
CBERS_2B_HRC_20100115_175_E_139_4	8 de febrero de 2010	
CBERS_2B_HRC_20100115_175_C_139_5	31 enero de 2010	
CBERS_2B_HRC_20100131_175_C_139_4	31 enero de 2010	
CBERS_2B_HRC_20100115_175_C_139_3	31 enero de 2010	

Imágenes gentileza de CONAE (Argentina) y CNES (Francia).

ID imagen	Fecha	Objetivo
SPOT4PAN10-SO12000779-3-04_46754191202091357561M0	9 de febrero de 2012	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
SPOT4PAN10-SO12000779-3-05_46754201202091358041M0	9 de febrero de 2012	
SPOT4PAN10-SO12000779-3-06_46754211202091358131M0	9 de febrero de 2012	

## 7.2. Control de campo en las quebradas Barroso, Lágrimas y Laguna del Atuel, 1 al 7 de marzo de 2013 y valle de Las Leñas 21-22 de febrero de 2014.



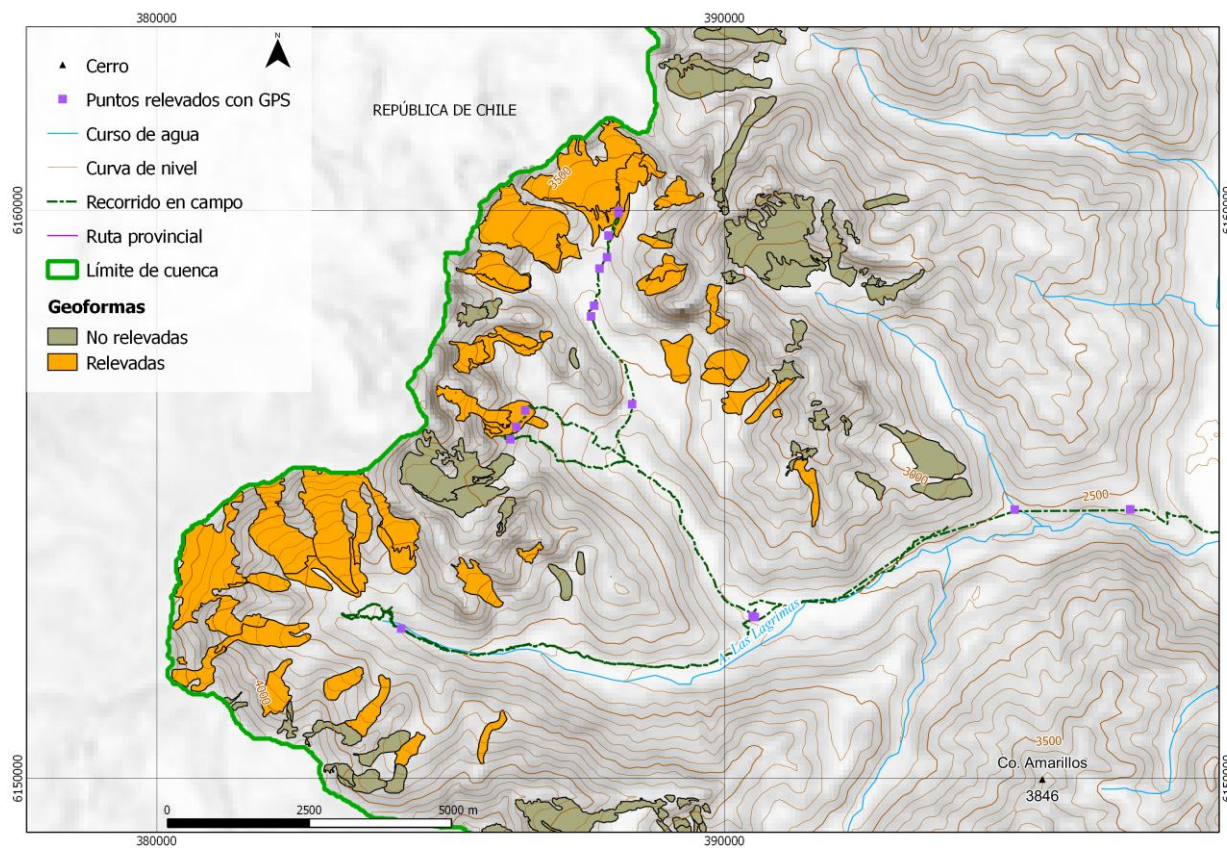
### 7.2.1 Objetivos

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

### Valle Gateados este-oeste y valle de Las Lágrimas



### Geoforma G701918O347284S

Pequeño glaciar de escombros activo, de origen criogénico y forma lobada. Se observa un talud pronunciado que da indicio de su actividad.



**Glaciar de escombros activo G701918O347284S.**

### **Geoforma G701918O347246S**

Glaciar de escombros activo, de origen glacigénico. Se puede observar en la foto la parte inferior de la geoforma activa. La parte alta del glaciar donde se ubica el hielo descubierto, no se observa desde esta posición.



**Glaciar de escombros activo G701918O347246S.**

### **Geoforma G702020O347212S**

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Es un glaciar coalescente, que en su frente posee una parte inactiva. Se observa el aporte de diversas canaletas que alimentan al glaciar de escombros.



**Vista frontal de la geoforma G702020O347212S**

### **Geoforma G702036O347122S**

Glaciar de montaña, con hielo descubierto y una escasa cobertura de detrito en el frente. Se pueden observar algunas grietas en el hielo descubierto, indicio del movimiento del glaciar.



**Glaciar descubierto G702036O347122S.**

### **Geoforma G702106O347195S**

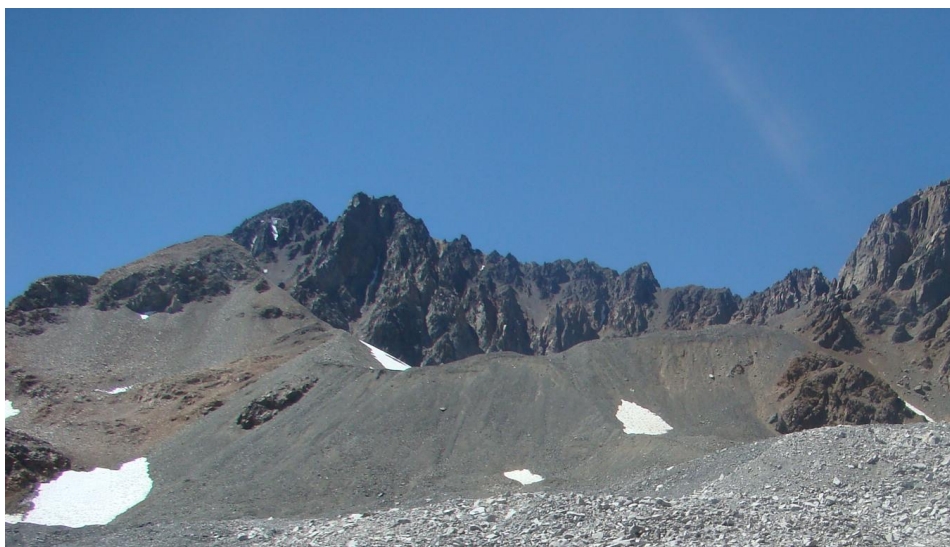
Glaciar de escombros activo, de origen criogénico. Se observa un talud de fuerte pendiente en su frente, superior a 35°.



**Frente de la geoforma G702106O347195S**

### **Geoforma G702134O347066S**

Corresponde a una unidad formada por una parte de glaciar descubierto y otra por un glaciar cubierto con glaciar de escombros activo. Desde nuestra perspectiva sólo podemos observar la parte de glaciar cubierto con glaciar de escombros.



**Frente del glaciar cubierto con glaciar de escombros G702134O347066S**

### **Geoforma G702105O346938S**

Glaciar descubierto. En la observación de gabinete no se podía distinguir la cobertura detrítica a los costados y en su frente, por eso se le añadió a posteriori.



**Detalle del glaciar descubierto y cubierto por detritos.**

### **Geoforma G702141O347007S**

Estaba clasificado como glaciar de escombros, pero en realidad es un glaciar descubierto que presenta una cobertura detrítica en su frente.



**En el fondo de la foto se puede observar la cobertura detrítica de la geoforma G702141O347007S**

### **Geoforma G702258O346908S**

Glaciar de valle denominado “Gateados”. Su forma es de cuenca compuesta y presenta su frente con cobertura de detritos. Ocupa un amplio circo glacial, y la cobertura de detritos parece avanzar sobre el hielo limpio.



**Vista panorámica del glaciar G702258O346908S**



**Detalle del hielo cubierto**

**Geoforma G702389O346988S**

Glaciar de montaña con forma de circo. Presenta en su frente una pequeña cobertura detrítica.



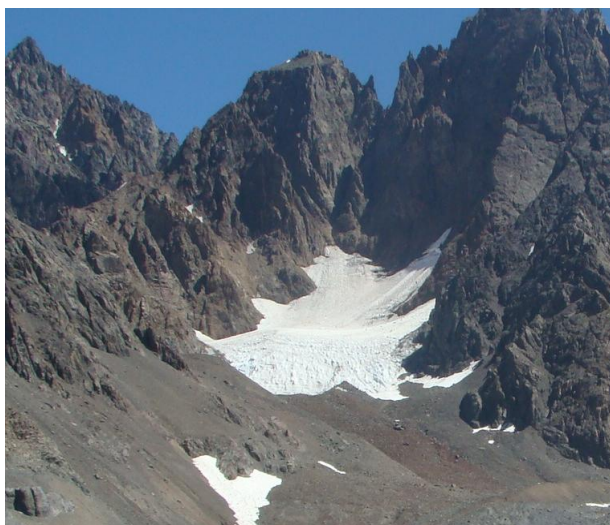
**Geoforma G702448O347057S**

Glaciar descubierto con su frente cubierto por detritos. Se trata de un glaciar de montaña con forma de circo.



### **Geoforma G702487O347118S**

Pequeño glaciar de montaña descubierto con una pequeña cobertura de detritos.



### **Geoforma G702292O347253S**

Esta geoforma no estaba mapeada y se pudo observar en el terreno. Se trata de un glaciar de escombros activo. Al lado de esta geoforma se observa otra de pequeño tamaño, que no llega al área mínima para poder ser inventariado.



**Pequeños glaciares de escombros de talud.**

### **Geoforma G702464O347280S**

Glaciar descubierto con cobertura de detritos y un pequeño glaciar de escombros inactivo en su frente. Se observa que el hielo descubierto se está tapando con una fina cobertura de detritos y ya su frente está totalmente cubierto, con una cobertura más gruesa. En la parte de glaciar cubierto se ven grandes bloques.

Se observa un talud con poca actividad, a continuación del límite del glaciar cubierto.



**Detalle de hielo descubierto en los laterales del circo glacial**

### **Geoforma G702495O347175S**

Glaciar descubierto y cubierto por detritos.



### **Geoforma G702483O347790S**

Glaciar de escombros activo, de origen criogénico. Se observa su talud pronunciado desde el camino que lleva al glaciar de las Lágrimas. En la base se puede ver lo que pareciera ser un glaciar de escombros ya fósil, ubicado a mucha menos altura.



### **Geoformas G702698O347738S y G702761O347705S**

Se observan dos glaciares de escombros de origen criogénico y activos.



### **Geoforma G702398O347503S**

Glaciar descubierto en sus nacientes y cubierto por detrito en el frente.



### **Geoforma G702490O347554S**

Glaciar descubierto y glaciar cubierto. En el terreno sólo podemos observar el hielo cubierto en su frente.



### **Geoforma G702836O347490S**

Una gran unidad glacial con glaciar descubierto y cubierto por detrito.



### **Geoforma G702933O347618S**

Conocido como el glaciar de los uruguayos. Es un glaciar descubierto que va tapándose de detrito, en la foto se observa que la cobertura de detrito todavía no es de gran espesor.

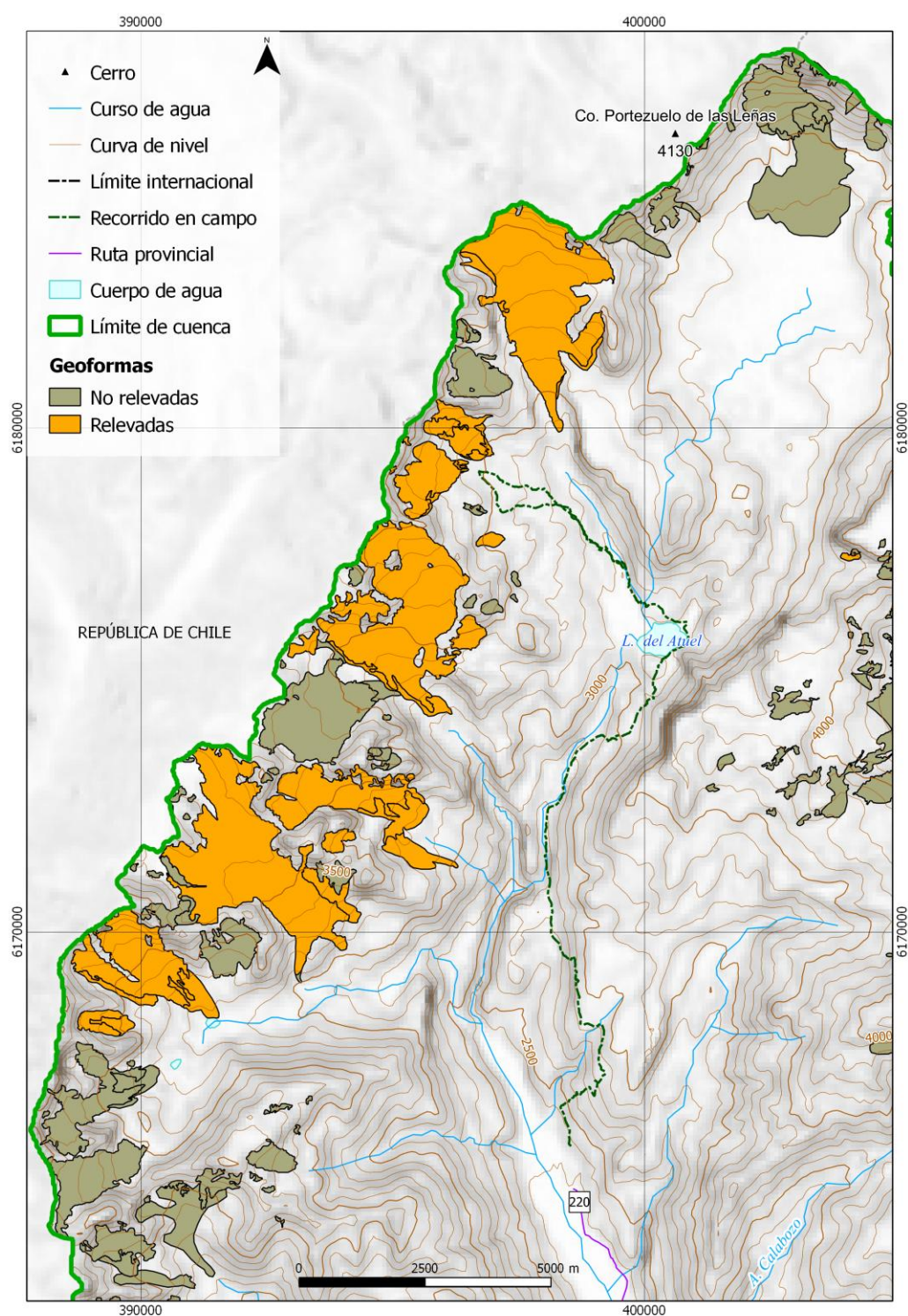


**Geoforma G702889O347715S**

Glaciar de escombros activo de origen criogénico.



## Zona Laguna del Atuel



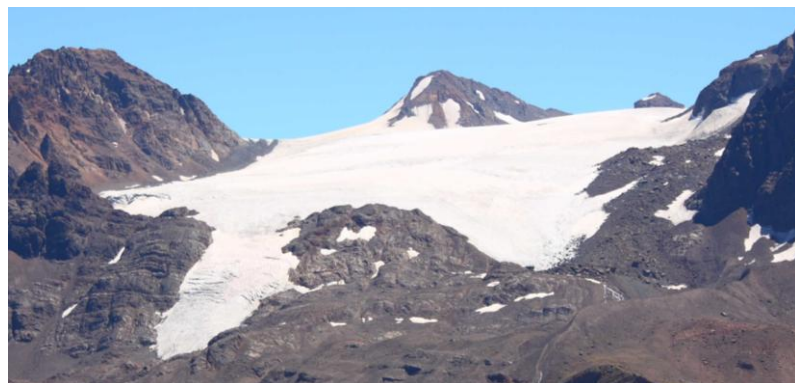
### **Geoforma G701999O346122S**

Glaciar de montaña, cuenca compuesta, presenta cobertura detrítica pero desde este punto de vista no se puede observar.



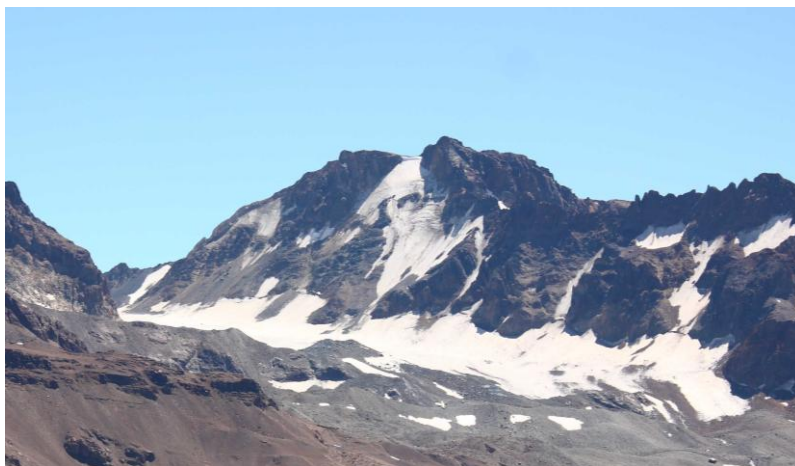
### **Geoforma G701761O345943S**

Este es un glaciar de montaña, denominado glaciar Fiero. No presentan cobertura de detritos. Este glaciar ha experimentado un fuerte retroceso desde 1937.



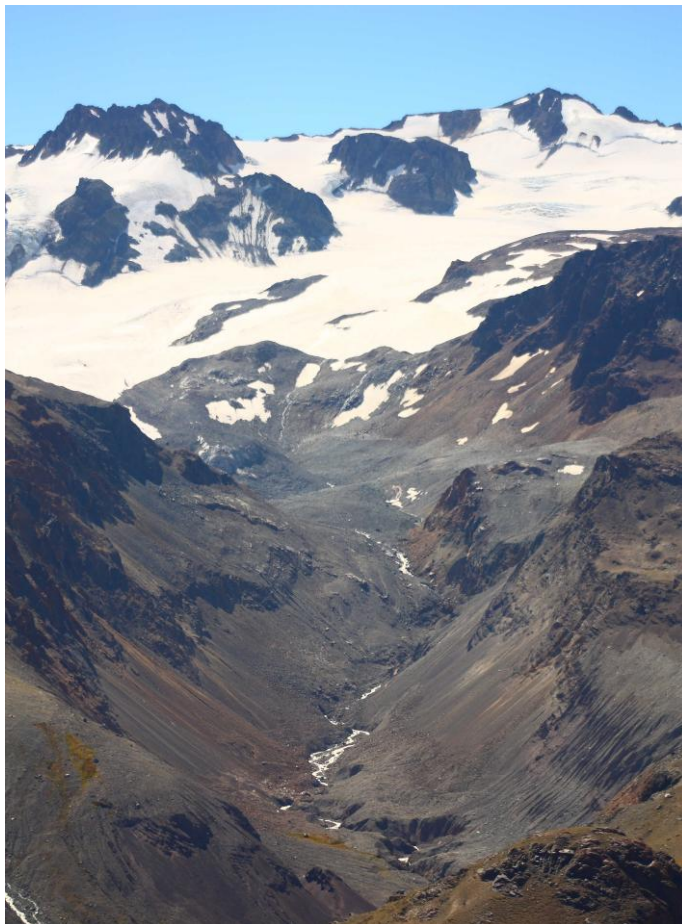
### **Geoforma G701492O345828S**

Glaciar Corto. Tiene una parte de hielo descubierta y otra cubierta por detritos.



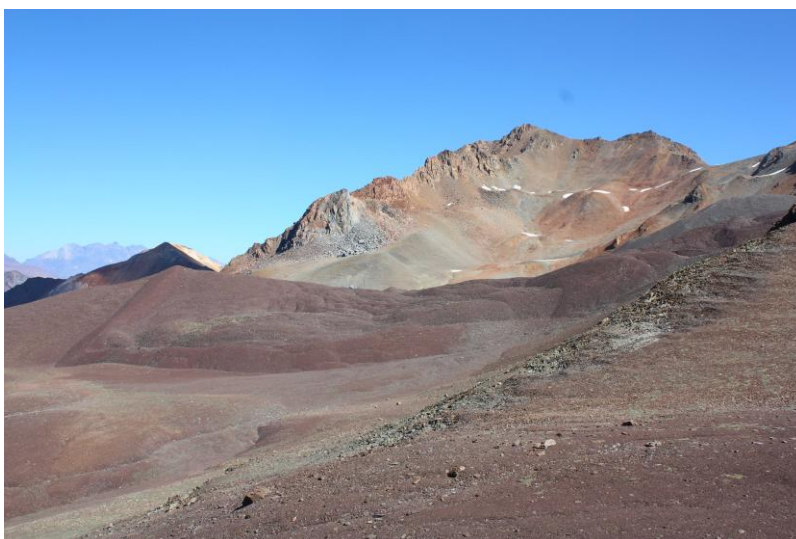
### **Geoforma G701488O345553S**

Glaciar del Humo. Este glaciar, como se mencionó en el apartado de antecedentes de este informe, retrocedió aproximadamente 3.200 m entre 1914 y 1947.



### **Geoforma G701235O345366S**

Glaciar de escombros inactivo. Se observa una superficie típica de un glaciar de escombros pero ya sin mucha actividad, presenta sus crestas y surcos colapsados.



### **Geoforma G701119O344939S**

Glaciar de la Laguna, se trata de un glaciar de valle con cuenca compuesta. En su frente se observa un parte de hielo cubierto por detritos.

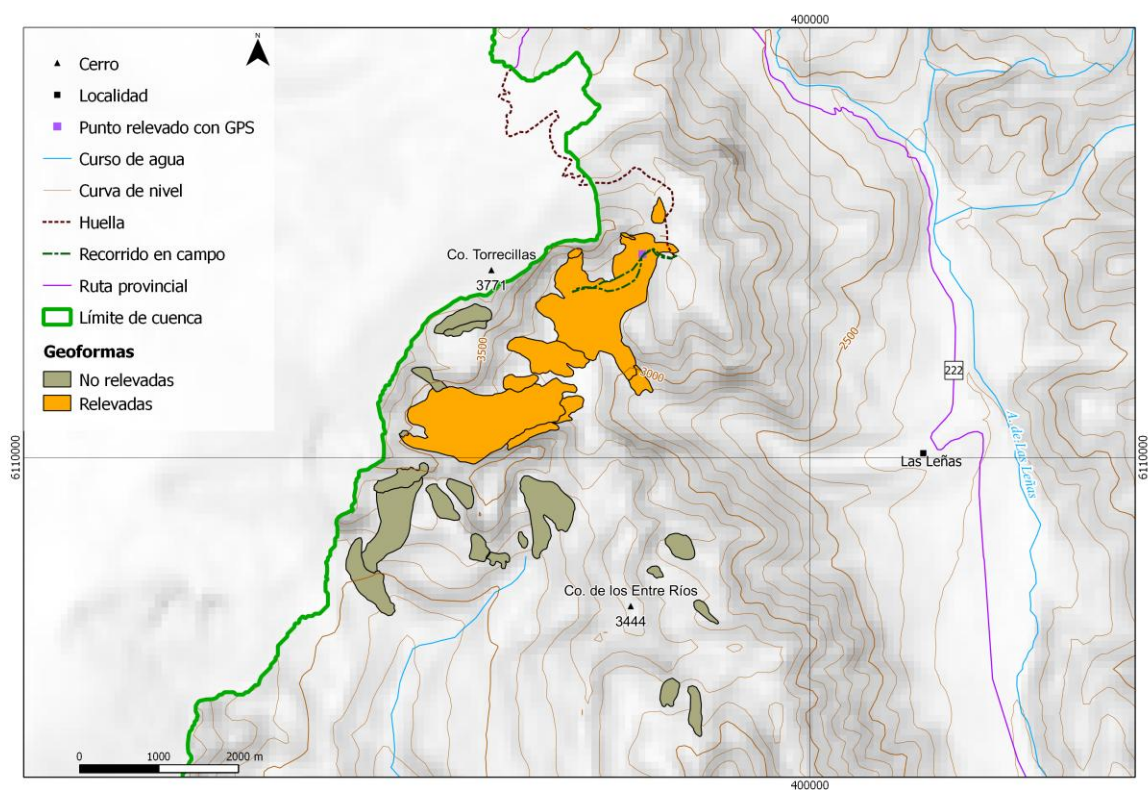


### **Geoforma G701328O345217S**

Glaciar de montaña con forma de circo, que presenta en su parte más elevada el hielo descubierta y a medida que desciende se va cubriendo con detritos.



## **Campaña Las Leñas febrero 2014**



### **Geoforma G701198O351197S**

Pequeño glaciar descubierto que se clasifica como de nicho o cornisa. Se observa el bandeo de hielo intercalado con finas capas de detrito. Del derretimiento de este glaciar, se origina la laguna escondida.



**Glaciar descubierto G701198O351197S**



**Laguna Escondida originada a partir de la fusión del glaciar G701198O351197S**

### **Geoforma G701274O351299S**

Glaciar cubierto con glaciar de escombros. En principio estaba clasificado como glaciar de escombros activo, pero se pudo observar hielo masivo en sus nacientes, lo cual evidencia que se trata de un glaciar cubierto por detrito. En las partes altas del glaciar se observan algunas partes de hielo descubierto, en las paredes de los circos glaciares, pero que están cubriéndose también por detrito.



**Glaciar cubierto con glaciar de escombros G701274O351299S**



**Detalle de termocarst y hielo cubierto por detrito de la geoforma G701274O351299S**



**Detalle de hielo descubierto en las nacientes de la geoforma G701274O351299S**

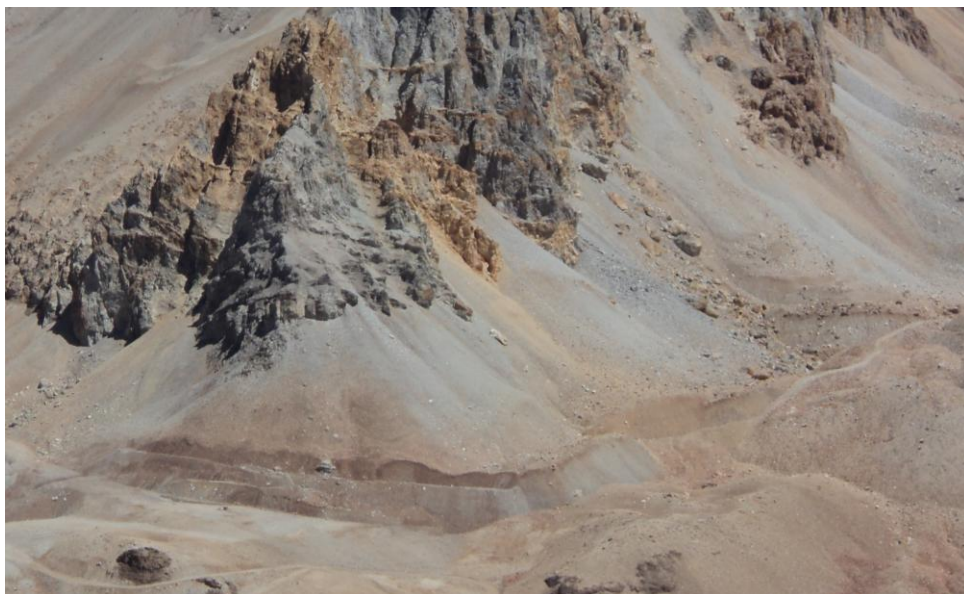
### **Geoforma G701442O351426S**

Otro glaciar cubierto con glaciar de escombros, en su parte alta tiene algo de hielo descubierto que no se pudo observar en el terreno. En su frente tiene una pequeña parte que se clasifica con glaciar de escombros inactivo.



### **Geoforma G701377O351447S**

Glaciar de escombros de origen criogénico y forma coalescente. Se le amplía el área. Se observó la presencia de un camino próximo al frente del glaciar.



**Glaciar coalescente G701377O351447S**

### **Geoforma G701393O351388S**

Glaciar de escombros de origen criogénico.



### 7.3. Descripción de la base de datos

La base de datos del inventario se compone de 36 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 Malvinas Argentinas).

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

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

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

**GD-Glaciér descubierto:** cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve y/o hielo, sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento

por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias), y de un área mayor o igual a 0,01 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. Multiraiz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de

alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.

- 23. Longitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
- 24. Latitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
- 25. Área:** área de cada polígono expresada en  $\text{km}^2$ .
- 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.
- 27. H\_max\_total:** Altura máxima total de la unidad
- 28. H\_med\_total:** Altura media total de la unidad
- 29. H\_min\_total:** Altura mínima total de la unidad
- 30. Pendiente.**
- 31. Orientación.**
- 32. H\_max\_parcial:** Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere)
- 33. H\_med\_parcial:** Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere)
- 34. H\_min\_parcial:** Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere)
- 35. Fecha\_imagen:** Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.
- 36. Sensor:** tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc).



**Secretaría  
de Ambiente  
y Desarrollo  
Sustentable  
de la Nación**

I A N I G L A  
  
CONICET  
U. N. C U Y O  
GOBIERNO  
DE MENDOZA

La República Argentina contiene aproximadamente el 15% del total de la superficie cubierta por glaciares en América del Sur. A pesar de la enorme importancia hidrológica, socio-económica, geo-política, ambiental y científico-académica de estos cuerpos de hielo, el conocimiento actual de los mismos en nuestro país es muy limitado.

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.

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de la cuenca del río Atuel, provincia de Mendoza.

