



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA | U. N. CUYO
GOBIERNO DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de las subcuencas del
arroyo Uspallata
y del sector Cordillera del Tigre
Cuenca del río Mendoza**

Provincia de Mendoza

Glaciares descubiertos en los cerros El Tambillo y Barranca (Foto: J. Bustos)

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman
Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman
Secretario de Política Ambiental en Recursos Naturales: Lic. Diego Moreno
Director Nacional de Gestión Ambiental del Agua y los Ecosistemas Acuáticos: Dr. Javier García Espil
Coordinador de Gestión Ambiental del Agua: Dr. Leandro García Silva
Responsable Programa Protección de Glaciares y Ambiente Periglacial: M.Sc. María Laila Jover

**IANIGLA – CONICET
Inventario Nacional de Glaciares (ING)**

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig
Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa
Director técnico: Dr. Darío Trombotto
Profesionales: Téc. Mariano Castro, Lic. Laura Zalazar, Lic. Lidia Ferri Hidalgo y Ing. Silvia Delgado
Colaboradores: Lic. Gustavo Aloy, Lic. Estefanía Bottegall, Dr. Mariano Masiokas, Dr. Facundo Rojas
Revisor externo: Dra. Adina Racoviteanu,
Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE)

Mayo 2018

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

AGRADECIMIENTOS

A 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.

Gracias al Sr. Fernando Martín Zapata por otorgarnos el permiso para acceder a la estancia “Los Tambillos” para realizar el trabajo de campo.

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes	6
3.	Definiciones a los fines del Inventario	9
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	12
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	13
4.3.	Delimitación del hielo descubierto	16
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	16
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas.....	17
4.6.	Control de campo	19
5.	Resultados	20
5.1.	Subcuencas del Tigre.....	20
5.1.1.	Control de campo	24
6.	Bibliografía.....	26
7.	Anexos.....	33
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de las subcuencas del Tigre	33
7.2.	Control de campo en el valle del arroyo Tambillos, Cordillera del Tigre, abril 2012 ..	35
7.2.1	Objetivos	35
7.2.2	Resultados. Geoformas relevadas	36
7.3.	Descripción de la base de datos.....	46
7.4.	Revisión externa.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Glaciar Tambillos.	3
Figura 2: Subcuencas y sectores de trabajo.....	12
Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada.	15
Figura 4: Delimitación de hielo descubierto.	16
Figura 5: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas.....	17
Figura 6: Còdigo identificador.	19
Figura 7: Panorámica de la Cordillera del Tigre.	20
Figura 8: Inventario de glaciares en las subcuencas del Tigre.	21
Figura 9: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados	22
Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados	23
Figura 11: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados	23
Figura 12: Hipsometría de los cuerpos de hielo	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes del sensor ALOS utilizadas para el Inventario	13
de las subcuencas del Tigre.....	13
Tabla 2: Superficie englazada en la subcuencas del Tigre.....	22
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuencas del Tigre	24

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: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

1. Introducción

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

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

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

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

Los cuerpos de hielo cordilleranos también constituyen excelentes laboratorios naturales para estudios científicos. Además de 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: Glaciar Tambillos. (Foto: M. Castro, IANIGLA- 2012).

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

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

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

ARTÍCULO 1º — Objeto. La presente ley establece los presupuestos mínimos para la protección de los glaciares y del ambiente periglacial con el objeto de preservarlos como

reservas estratégicas de recursos hídricos para el consumo humano; para la agricultura y como proveedores de agua para la recarga de cuencas hidrográficas; para la protección de la biodiversidad; como fuente de información científica y como atractivo turístico. Los glaciares constituyen bienes de carácter público.

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

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

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

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

*ARTÍCULO 5º — 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 de los inventarios realizados en las subcuencas del arroyo Uspallata y del sector Cordillera del Tigre, de ahora en más denominada en el presente informe: “subcuencas del Tigre”. Estas subcuencas forman parte de la cuenca del río Mendoza, ubicada en la provincia del mismo nombre, en la región de los Andes Centrales de Argentina, la cual presenta una vertiente hidrográfica atlántica y forma parte del sistema hidrológico del río Colorado. En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares en la subcuenca del Tigre (Figura 2) fue elaborado en octubre de 2012 y aprobado según resolución N°1142/15 del 9 de diciembre de 2015, siguiendo lineamientos 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

En el año 1974, las distintas entidades patrocinantes del IANIGLA le encomendaron a sus profesionales la realización de un relevamiento de los cuerpos de hielo en los Andes Centrales de Argentina. El Inventario de Glaciares de la cuenca del río Mendoza, publicado en 1981, representó la primera contribución al relevamiento de las masas de hielo en esta región (Corte y Espizúa 1981). Un total de 1.025 cuerpos de hielo con áreas mayores a los 0,02 km² fueron inventariados en base a la fotointerpretación de fotografías aéreas obtenidas entre marzo y mayo de 1963. De acuerdo a este trabajo, en 1963 los glaciares de la cuenca del río Mendoza cubrían 647 km², de los cuales 304 km² correspondían a hielo descubierto y 343 km² a hielo cubierto por detrito.

Estos trabajos de inventario constituyen indudablemente un valioso material de base pero en muchos casos son de carácter regional, parciales, y/o se encuentran desactualizados. Aún hoy en varios sectores de los Andes de la provincia de Mendoza hay cuencas de gran importancia hidrológica (como las de los ríos Diamante y Grande) donde no existe información detallada sobre los cuerpos de hielo presentes. Por otra parte, como la mayoría de estos inventarios regionales han empleado vuelos fotogramétricos de las décadas de 1960 y comienzos de 1970, es posible que algunos de los glaciares más pequeños inventariados ya hayan desaparecido debido al generalizado retroceso de los glaciares en las últimas décadas.

En la provincia de Mendoza también existen varios inventarios parciales o regionales de diferentes tipos de permafrost y crioformas. Los inventarios resultaron de estudios térmicos, geofísicos y geomorfológicos en diferentes sitios de monitoreo realizados por el Grupo de Geocriología del IANIGLA encargado de las investigaciones de permafrost. En el Cordón del Plata, Trombotto (1988) y Trombotto et al. (1997) realizaron inventarios de glaciares de escombros activos e inactivos, glaciogénicos (combinados con glaciares descubiertos o cubiertos) y criogénicos (sin relación actual con glaciares). También se pueden mencionar los trabajos de Trombotto (2003) y Trombotto et al. (2012) inventariando con detalle 171 crioformas activas en el área mencionada. De la misma forma se realizó un inventario de 95 crioformas en la Cordillera del Tigre, Provincia de Mendoza (Castro y Trombotto 2009) y un mapeo de área de permafrost posible de 74 km² en el sur de la provincia que cubre también zonas englazadas (Trombotto et al. 2009). En el valle del río Cuevas Ahumada realizó la geomorfología periglacial inventariando los glaciares de escombros (Ahumada 1986, 1990). También se han realizado inventarios regionales de glaciares de escombros entre Chile y Argentina mediante técnicas estadísticas y modelo de distribución (Brenning y Trombotto 2006).

En la cuenca del río Mendoza uno de los sistemas glaciarios más importantes es el del río Plomo. Los glaciares de esta subcuenca se conocen desde el año 1914 debido al estudio realizado por Helbling (1919), que implicó, entre otras cosas, la realización de un mapa topográfico muy detallado. Esta información permite estimar las fluctuaciones de los

glaciares del río Plomo con muy buena precisión desde 1914. Gracias a este trabajo se ha podido determinar una reducción significativa en área, longitud y volumen de los glaciares comparándolos con el obtenido por restitución fotogramétrica de fotografías aéreas de 1974 (Espizúa 1986; Leiva 1989). Su evolución a partir de 1974 ha sido determinada mediante el análisis de imágenes satelitales (Espizúa y Bengochea 1990; Llorens y Leiva 1995; Leiva 2006).

En la cuenca del río de las Cuevas, afluente del río Mendoza, se han estudiado las fluctuaciones de los glaciares Vacas y Güssfeldt (Espizúa y Maldonado 2007; Espizúa y Pitte 2009), donde se ha observado un comportamiento similar de retroceso de frentes y pérdida de masa de los glaciares. Existen sin embargo excepciones a esta tendencia general, ya que hay glaciares que han producido fenómenos de avance extraordinario en cortos intervalos de tiempo conocidos con el nombre de “surges” o pulsos. Entre estos casos se encuentra el glaciar Horcones Inferior (río de las Cuevas) y el glaciar Grande del Nevado del Plomo (río Plomo), previamente descriptos en los trabajos de Espizúa y Bengochea (1990), Unger et al. (2000), Espizúa et al. (2008) y Ferri y Espizúa (2010).

En las nacientes del río de las Cuevas se ha determinado el balance de masa anual del glaciar Piloto desde el año 1979 (Leiva 2007). Este registro es el más extenso del país. Datos actualizados del balance de masa acumulado de este pequeño glaciar revelan que el mismo perdió más de 15 m de equivalente en agua entre 1979 y 2009 (Leiva 2010).

Con respecto al ambiente periglacial, los glaciares de escombros activos de los Andes Centrales han sido estudiados en detalle a partir de 1973 (Corte 1976, 1978; Buk 1983, 2002), y diferentes sitios son monitoreados activamente desde la década de los '80 por el Grupo de Geocriología del IANIGLA para investigar permafrost *in situ* y reptante. El estado actual de los sistemas criogénicos también se viene estudiando principalmente en los Andes Centrales mediante el monitoreo de la capa activa y el permafrost de los glaciares de escombros utilizando análisis térmicos de perforaciones y diferentes métodos geofísicos. Los principales sitios de estudio son: lagunita del Plata, en el Cordón del Plata, donde se han realizado mediciones de velocidades de procesos, como solifluxión (Trombotto 1984, 1988, 1991); el glaciar de escombros de Morenas Coloradas, con datos de monitoreo desde 1989 en adelante (Trombotto et al. 1997, 1999, Trombotto 2007, Trombotto y Borzotta 2009); la laguna del Diamante (Corte 1953; Trombotto y Alonso 2010) y el volcán Peteroa (Trombotto et al. 2009). En 1999, el Cordón del Plata fue propuesto como reserva provincial de montaña para proteger permafrost, glaciares, flora y fauna de tundra andina (Trombotto 1999). Desde el año 2000, el Grupo de trabajo de Geocriología del IANIGLA lleva a cabo el monitoreo de la capa activa del glaciar de escombros de Morenas Coloradas en el contexto de la red del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC).

Estudios de hidrología periglacial en la provincia de Mendoza revelaron una relación importante entre los caudales de las cuencas periglaciales, ocupadas fundamentalmente por glaciares de escombros, y las curvas de temperaturas del aire y del suelo. Esta relación indica que se puede prever el comportamiento de los caudales siguiendo la marcha de las

temperaturas del aire y del suelo, a la vez que también es posible hacer proyecciones a futuro (Trombotto et al. 1997; Trombotto et al. 1999; Buk 2002).

3. Definiciones a los fines del Inventario

A los fines específicos y operativos del Inventario Nacional de Glaciares, el IANIGLA propuso en el documento: “**Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución**”, (http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/fundamentos_cronograma_ejecucion.pdf IANIGLA 2010) definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos de hielo a inventariar dentro del ambiente glacial y periglacial de Argentina. El objetivo de estas definiciones es aclarar las características básicas de 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 cuerpos de hielo para las subcuencas del Tigre 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 recrystalización 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 km² (una hectárea).

(*): Dentro de esta definición de glaciar se incluyen a los manchones de nieve permanentes / glaciaretes que como no tienen evidencia de movimiento, en general no se consideran

glaciares. Sin embargo, dado que los manchones de nieve permanentes / glaciaretes son reservas significativas de agua en estado sólido, se han incluido en el inventario.

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

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos, inactivos y fósiles** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35°) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 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 las subcuencas del Tigre que integran la cuenca del río Mendoza. Dicho sector superior de la cuenca del río Mendoza (estableciendo como punto de cierre al Dique Potrerillos) ocupa 8.034 km² de superficie y ha sido dividida en la siguiente agrupación de subcuencas para los fines de organizar el trabajo en áreas de superficie total y englazada relativamente equivalentes (Figura 2):

- **Subcuencas de los ríos de las Cuevas y de las Vacas** (1.247 km²).
- **Subcuenca del río Tupungato** (1.776 km²).
- **Subcuencas del arroyo Uspallata y de la Cordillera del Tigre** (incluye las subcuencas del arroyo Polvaredas, río Tambillitos, río San Alberto, río Picheuta, río Tambillos, ríos Ranchillos-Chacay y arroyo Uspallata, en total 2.976 km²).
- **Subcuencas de los ríos Blancos y del Cordón del Plata** (incluye las subcuencas del río Blanco, río Blanco-Potrerillos, río Colorado, Alumbre, la pampa de Uspallata, y los sectores División, invernada Guido, los Gateados, y del Toro-Potrerillos, 2.035 km²).

Hay que destacar que los sectores de la Pampa de Uspallata, División, Invernada Guido, Los Gateados, y del Toro-Potrerillos no poseen glaciares pero han sido incluidas porque forman parte de la alta cuenca del río Mendoza o cuenca superior. En el presente informe se presentan sólo los resultados de las subcuencas del Tigre (Figura 2).

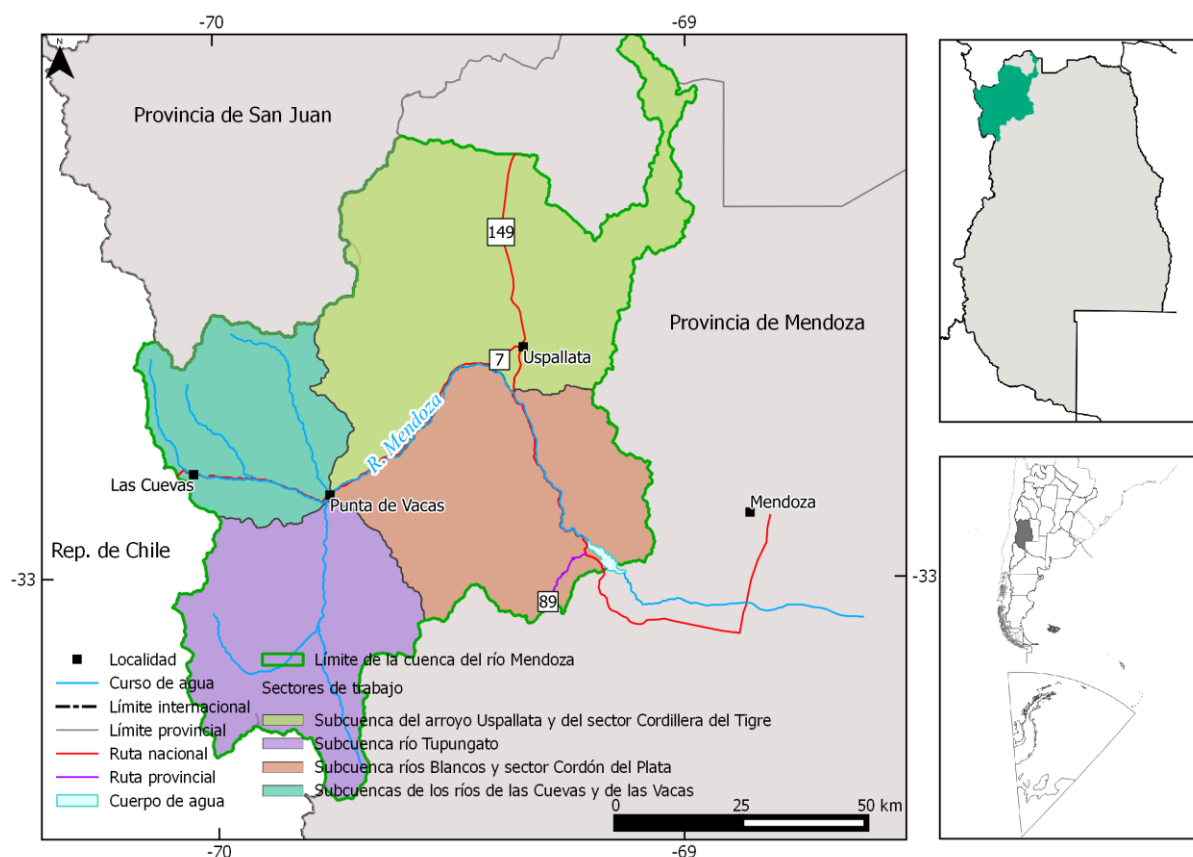


Figura 2: Subcuencas y sectores de trabajo en los que se dividió la cuenca alta del río Mendoza para la realización del Inventario de Glaciares y Ambiente Periglacial.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en la cuenca del río Mendoza se basó en información proveniente de modelos digitales de elevación (MDE). De los MDE disponibles cuando se inició este inventario (Julio 2011) se decidió trabajar con el SRTM v4 (resolución espacial 90 m) que al momento de empezar este Inventario se consideraba más adecuado que otros, incluyendo el GDEM1. Posteriormente, en octubre de 2011 se puso a disposición el MDE GDEM2 que presenta claras mejoras respecto a su versión anterior y una resolución espacial de 30 m.

Empleando el programa SAGA¹ (software libre) se delimitaron las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de SRTM v4. En SAGA se usaron sucesivamente las “herramientas de preprocesamiento” como llenado de “sumideros”, delimitación de las áreas de captación, construcción de la red de canales y finalmente delimitación de las cuencas. Cada cuenca delimitada fue posteriormente editada y corregida manualmente, en aquellos casos en que no hubiese un buen ajuste entre el MDE y la imagen. La edición manual de las cuencas fue realizada empleando el programa KOSMO² (software libre).

¹ <http://www.saga-gis.org/en/index.html>

² <http://www.opengis.es/>

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

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el inventario en las subcuencas del Tigre se utilizaron como base imágenes AVNIR-2 del satélite ALOS, aunque se utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo LANDSAT, ASTER, CBERS 2B (sensor HRC), sensor PRISM (ALOS) y el programa Google Earth. Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación. Las imágenes de mayor resolución espacial PRISM (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 del sensor ALOS utilizadas para el inventario de las subcuencas del Tigre.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
ALOS/AVNIR	ALAV2A222384250	28 marzo 2010
ALOS/AVNIR	ALAV2A222384260	28 marzo 2010

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.

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) 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).

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 ALOS-AVNIR utilizadas como base para la delimitación de los cuerpos de hielo en estas subcuencas, tienen una muy buena ortorrectificación por lo que se emplearon sin tener que realizar ningún tipo de corrección.

En la Figura 3 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.

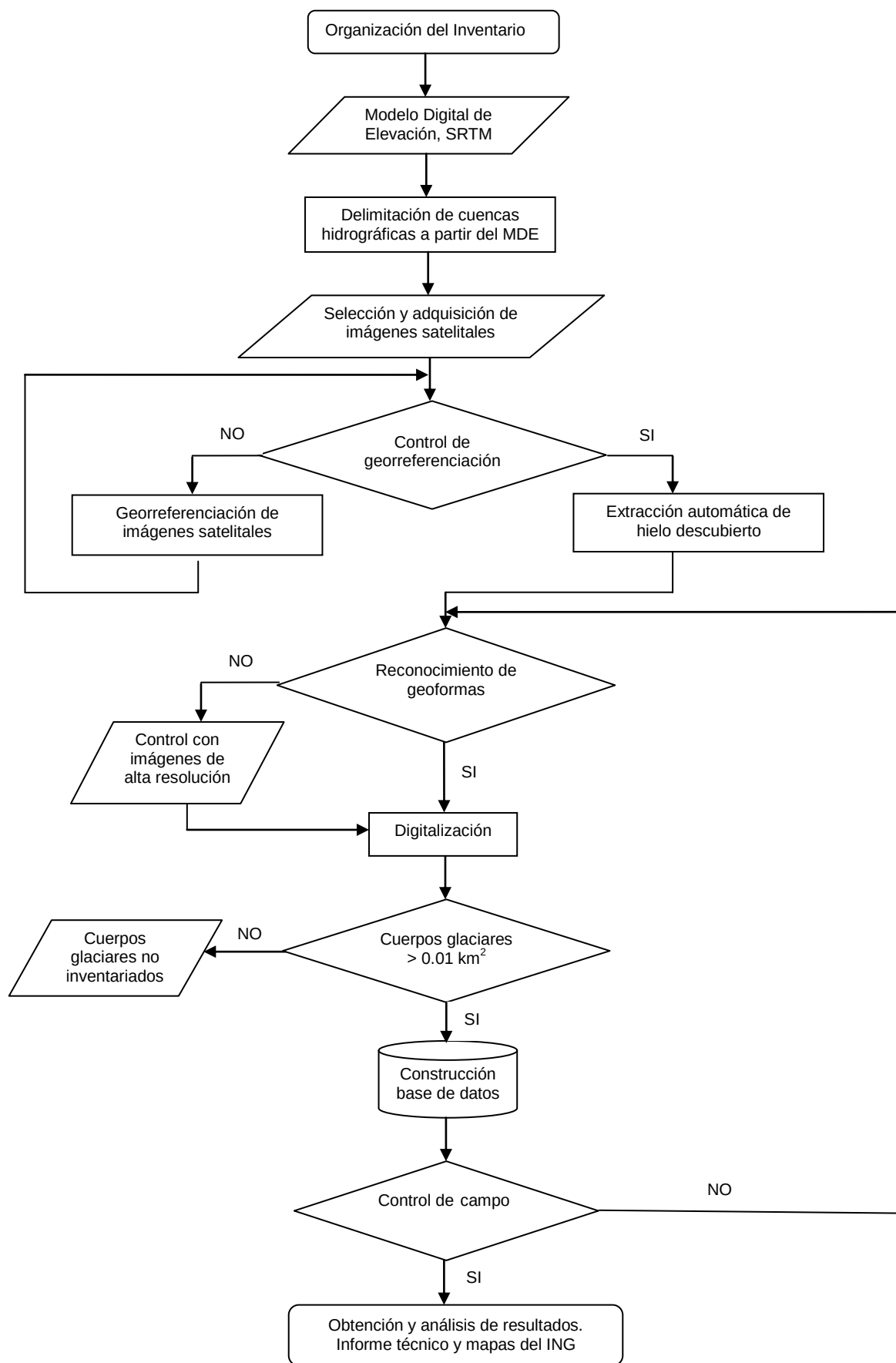


Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada.

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 4).

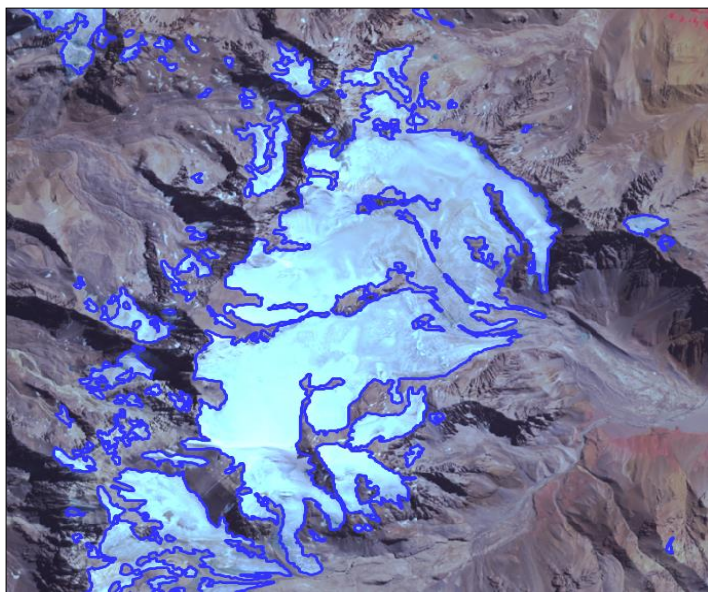


Figura 4: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

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 5). La digitalización fue realizada con el programa KOSMO.



Figura 5: 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 de las subcuencas del Tigre 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 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

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

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

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

Hay que aclarar que en algunos casos las geoformas glaciarias descritas en este informe, pueden estar compuestas por secciones de más de un tipo de glaciar (por ejemplo descubierto, cubierto y de escombros) formando parte de una sola unidad glaciar, con un único ID. Por esta razón el número de glaciares no coincide estrictamente con el número de polígonos de hielo observados en el mapa.

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** (ID de la Figura 6 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-cuenclas donde se encuentra el cuerpo de hielo inventariado.

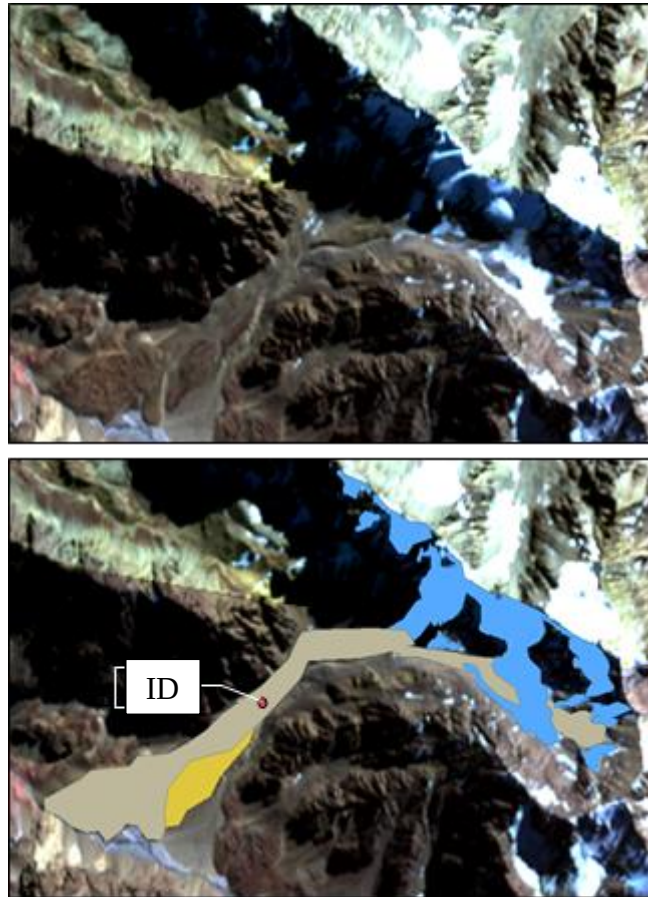


Figura 6: Ejemplo de una unidad compuesta vista en un mosaico de imágenes ASTER (arriba), y con todas las subunidades que la componen digitalizadas (abajo). El punto rojo en el centro de la unidad se utilizó para obtener las coordenadas geográficas de la misma. Todas las subunidades tienen el mismo código 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 Tigre



Figura 7: Panorámica de la Cordillera del Tigre (Foto: M. Castro, IANIGLA).

Las subcuencas incluidas en este informe abarcan 2.976 km². En el sector que denominamos “del Tigre” se han inventariado 318 cuerpos de hielo en las respectivas subcuencas que ocupan un área de 69,32 km². Todos estos cuerpos se encuentran en un cordón montañoso que corre de NE a SW a lo largo de unos 60 km de longitud, que es denominado Cordillera del Tigre, y forma parte de la Cordillera Frontal.

Dadas las condiciones de mayor aridez, en este sector de la cordillera predominan las geoformas periglaciales sobre las de origen glacial. El 60% de las geoformas inventariadas son glaciares de escombros. La orientación predominante es hacia el SE y el 89% de las geoformas inventariadas tienen una superficie menor a 1 km².

Los cuerpos inventariados se distribuyen entre los 3.292 y 5.606 msnm, destacándose, entre ellos, el sistema glaciar del Cerro Tambillos que es de gran valor hidrológico para la región, ya que en sus laderas y valles se encuentra el área de mayor englazamiento de la zona (Castro 2010). El sistema glaciar San Alberto, se encuentra hacia el sur, muy cerca del Cerro Tambillos y posee también apreciables dimensiones.

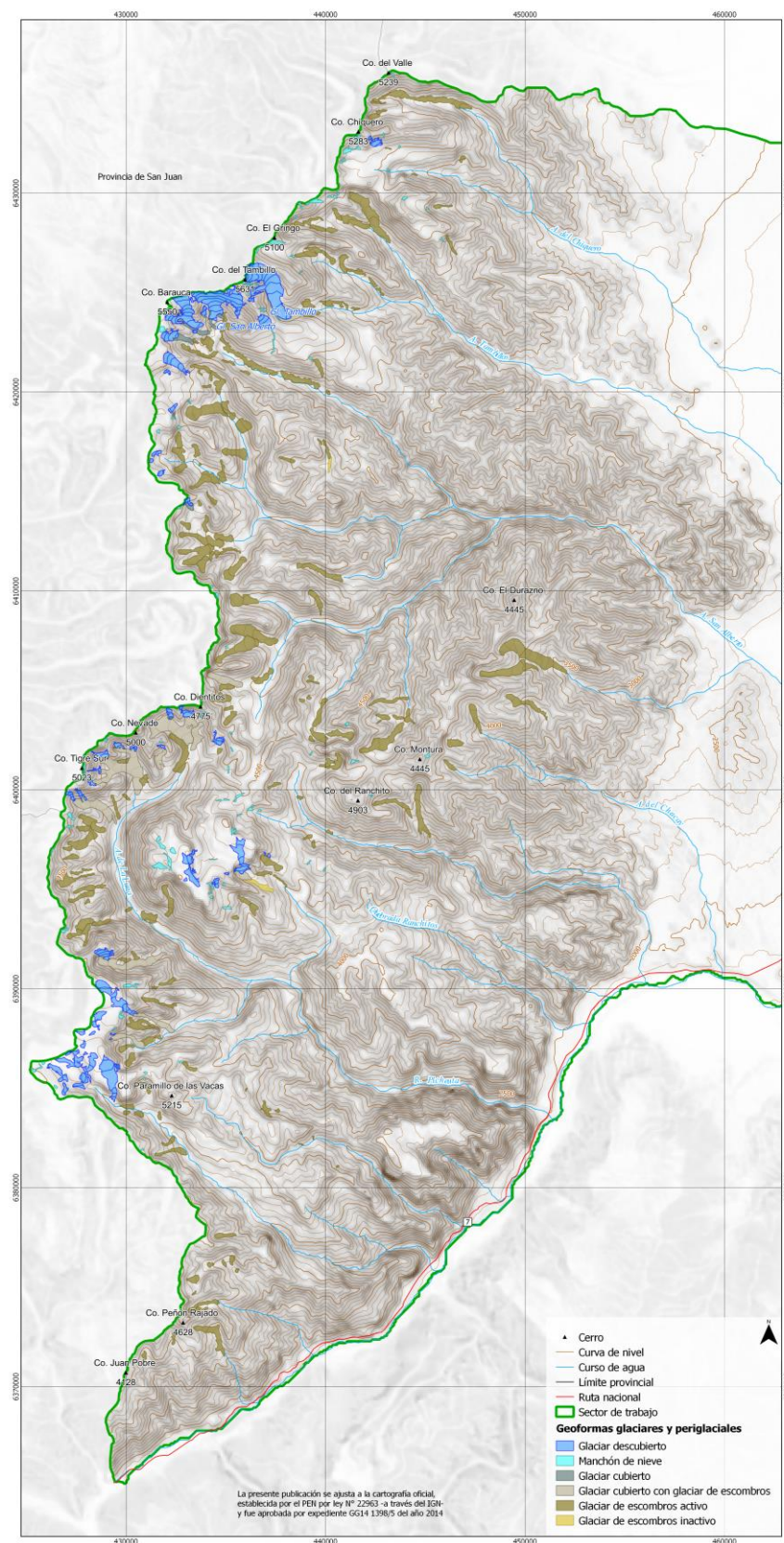


Figura 8: Inventario de glaciares en las subcuencas del Tigre.

Hacia el sur de las geoformas mencionadas encontramos una gran cantidad de glaciares de escombros en torno a los cerros Yalguaraz, Montura, El Duranzo, Ranchero, Nevado, Tigre Sur, Paramillo de las Vacas, Peña del Naciente, Mesa y Peña del Rajado. Existen también algunos glaciares descubiertos en esta área en las laderas de los cerros Ranchero, Nevado, Tigre Sur y Paramillo de las Vacas. Estos cuerpos de hielo aportan agua a los cauces de los arroyos San Alberto, Picheuta, Tambillos, Cortaderas y Quebrada Ranchitos. En el norte de la cuenca también existen glaciares de escombros que descienden de los cerros Horqueta, El Gringo y Blanco próximos al Cerro Tambillos y formando parte de la cuenca del arroyo del mismo nombre.

A continuación se puede observar el área que ocupan las geoformas inventariadas de acuerdo a su tipo (ver Tabla 2 y Figura 8).

Tabla 2: Superficie englazada en la subcuencas del Tigre.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	14,79
Manchones de nieve/glaciaretas	2,72
Glaciar cubierto	0,75
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	9,74
Glaciar de escombros	41,32
Total	69,32

En la Figura 9 se puede ver claramente el predominio de los glaciares de escombros sobre las otras geoformas, con alrededor del 60% del área total cubierta con glaciares de este tipo. Si le agregamos a esta categoría el hielo cubierto con glaciar de escombros (con similitudes al glaciar de escombros) los valores ascenderían a casi tres cuartas partes de todos los glaciares. En segundo lugar se ubica la superficie que ocupan los glaciares descubiertos con un poco más del 20%.

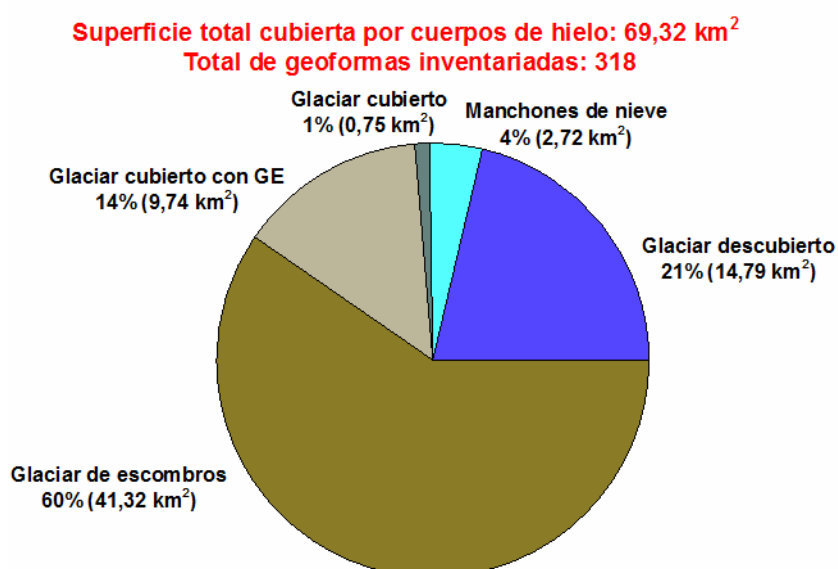


Figura 9: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas del Tigre.

Los análisis de orientación media de los cuerpos inventariados en esta subcuenca indican que la mayoría presentan una exposición SE (Figura 10). La orientación predominante hacia el SE 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 crioformas.

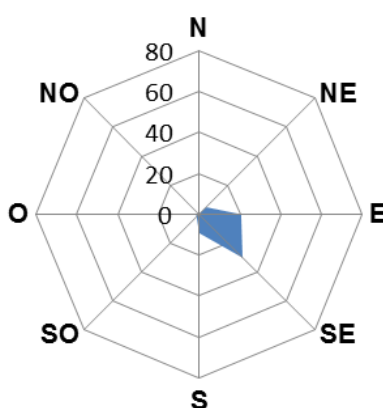


Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados, subcuencas del Tigre.

En cuanto a la distribución relativa por tamaño de los distintos cuerpos de hielo, en la Figura 11 se puede observar que los cuerpos de pequeño tamaño ($<0,5 \text{ km}^2$) 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 ($1-5 \text{ km}^2$) cubren en total una gran superficie, casi como los cuerpos de menor tamaño de la cuenca.

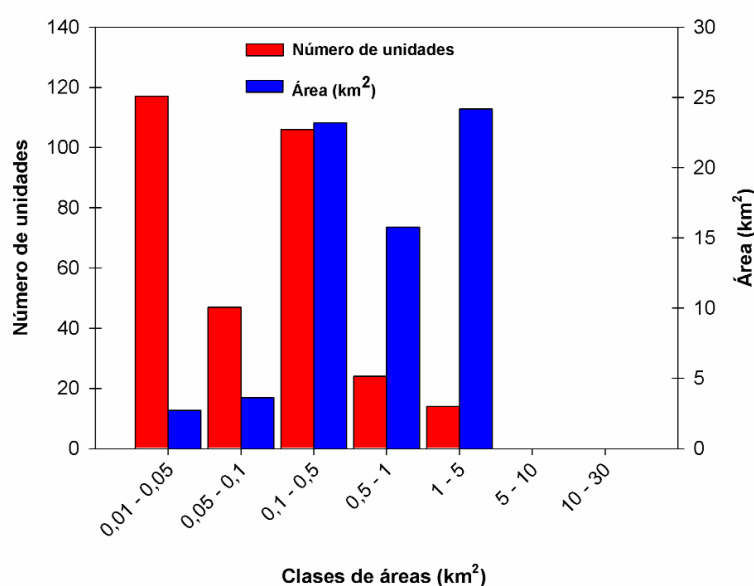


Figura 11: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías, subcuencas del Tigre.

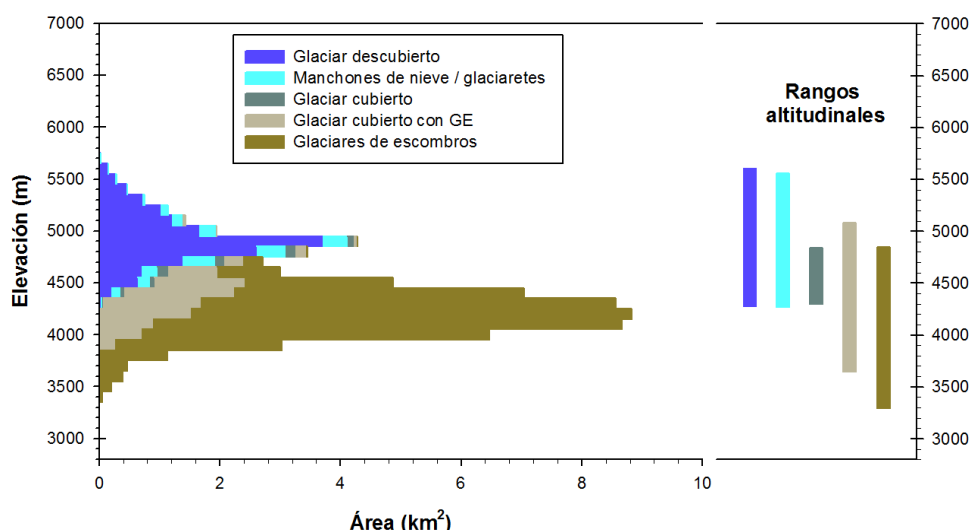


Figura 12: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuencas del Tigre.

La mayor área de glaciares de escombros se localiza sobre los 4.000 msnm, con un rango que va desde los 3.292 hasta los 4.846 msnm. El hielo cubierto con glaciar de escombros presenta áreas que apenas llegan a los tres km² con un rango altitudinal que oscila entre los 3.642 y 5.083 msnm.

En los glaciares descubiertos y los glaciaretos (o manchones de nieve) el rango varía de manera similar, desde los 4.275 hasta más de 5.606 msnm –en el caso de los glaciares– mientras que en los glaciaretos oscila entre 4.267 y 5.555 msnm. Hay que destacar que en estos dos casos las mayores áreas cubiertas por estos tipos masas congeladas se encuentran en torno a los 4800 msnm sobrepasando sólo en algunos casos los dos km² de superficie (ver Figura 12 y Tabla 3).

Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuencas del Tigre.

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	4.275	5.606
Manchones de nieve/glaciaretos	4.267	5.555
Glaciar cubierto	4.295	4.839
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	3.642	5.083
Glaciar de escombros	3.292	4.846

5.1.1. Control de campo

En las subcuencas presentadas en este informe el control en el terreno se realizó en el valle del arroyo Tambillos durante el mes de mayo del año 2012.

El control de campo de estos inventarios, realizado posteriormente al trabajo de gabinete, reveló una alta coincidencia entre las geoformas observadas en el terreno (ver anexo 7.2.) y

las identificadas a través de métodos indirectos. Sin embargo, se detectaron algunos errores asociados, en la mayoría de los casos, a geoformas que no fueron mapeadas por estar ubicadas en sectores con sombra en las imágenes satelitales o que no fueron detectadas por el analista en la imagen. En menor medida aparecieron errores que son producto del mapeo de geoformas que no correspondían con ninguna de las categorías del inventario, como morenas o glaciares de escombros fósiles (sin permafrost). En cuanto a la clasificación de las geoformas el error más común encontrado durante el control de campo estuvo asociado a glaciares de escombros que en gabinete fueron clasificados como activos y en el campo a través de observaciones y mediciones de las pendientes de los taludes se identificaron como inactivos. Todas estas diferencias observadas en el terreno, fueron corregidas posteriormente para cada uno de los casos observados. Para mayor detalle de las geoformas visitadas en el trabajo de campo ver anexo 7.2.

6. Bibliografía

- 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).
- 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 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- Castro, M. y Trombotto D. 2010. The rockglaciers of the Cordillera del Tigre, Mendoza, Argentina. Abstract Book, p.40. International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS.
- Castro, M. y Trombotto, D. 2009. "Inventario de los glaciares de escombros de la Cordillera del Tigre, Mendoza, Argentina". D. Acta de Resúmenes: 51-53.
- Castro, M. 2010. "Mapeo de crioformas y ambiente periglacial en la Cordillera del Tigre, Mendoza, Argentina. Seminario de la Tecnicatura Universitaria en Sistemas de Información Geográfica, Cartografía y Teledetección (Geografía, Universidad Nacional de Cuyo), Mendoza, 55 pp.
- Cobos, D. 1983. Inventario de glaciares de la cuenca del río Atuel. IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina. 29 p.
- Cobos, D. 1985. Inventario de los cuerpos de hielo en la cuenca del río Malargüe, Provincia de Mendoza, República Argentina. Bases para un racional manejo de los recursos naturales en ecosistemas desérticos. IANIGLA-CONICET. 20 p.
- 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. 1953. Contribución a la morfología periglacial de la alta cordillera con especial mención del aspecto criopedológico. *Anales del Departamento de Investigaciones Científicas*, Tomo 1, (2): 1-54.
- 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. 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.
- 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.

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[^]). 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 2000-2005. 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.

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.

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.

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.

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

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.

Leiva, J.C., Cabrera, G.A. y Lenzano, L.E. 2007. "20 years of mass balances on the Piloto glacier, Las Cuevas river basin, Mendoza, Argentina". *Global and Planetary Change* 59 (2007) 10 – 16. ISSN 0921-8181.

Lenzano, M. G., Leiva, J. C. y Lenzano, L.E. 2010. Recent variation of the Las Vacas Glacier Mt. Aconcagua region, Central Andes, Argentina, based on ASTER stereoscopic images. *Advanced in Geosciences*. EGU (European Geoscience Union), Vol. 8: 1-5.

Lenzano, M. G. 2011. Estudio de geoformas glaciarias en los Andes Centrales Argentinos. Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

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

Lenzano, G., Trombotto D. y Leiva, J.C. 2012. Evolution and relationship between thermokarst and surges of the Horcones Inferior Glacier, Aconcagua, Mendoza, Argentina, *Revista de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas*. GEOACTA 37(2): 1-4. (en prensa).

Llorens, R. y Leiva, J.C. 1995."Glaciological Studies in the High Central Andes Through Digital Processing of Satellite Images". *Mountain Research and Development*, Vol. 15, No. 4, 1995, pp.323 - 330. ISSN 0276-4741.

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.

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.

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

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

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. 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., 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. 2002. "Inventory of fossil cryogenic forms and structures in Patagonia and the mountains of Argentina beyond the Andes". *South African Journal of Science*, 98: 171-180, Review Articles, Pretoria, Sudáfrica.
- Trombotto, D. 2003. "Mapping of permafrost and the periglacial environments, Cordón del Plata, Argentina", "Eighth International Conference on Permafrost", ICOP, , Edited by W. Haeberli & D. Brandová: 161-162, Zürich, Suiza.
- Trombotto, D. 2007. "Profundización del tope de permafrost y tendencias en la dinámica criogénica, a partir de 1989, en el glaciar de escombros compuesto del valle de Morenas Coloradas, Mendoza, Argentina". *Boletín Geográfico*, Año XXIX, Nr. 30: 71-83, Neuquén.
- Trombotto, D. y Borzotta, E. 2009. "Indicators of present global warming through changes in active layer-thickness, estimation of thermal difussivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rock glacier, Central Andes of Mendoza, Dry Andes, Argentina". *Cold Regions Science and Technology*, 55: 321-330. Elsevier, The Netherlands.
- 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.
- Trombotto, D., Lenzano, M.G. y Castro, M. 2012. Inventory and monitoring of cryoforms and cryogenic processes in the Central Andes of Mendoza, Argentina: birth and extinction of a periglacial lake. Tenth International Conference on Permafrost, Proceedings, Vol 1: 419-424, Salekhard, Russia.
- 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 compliation and assemblage of data for a world inventory. Technical papers in hydrology 1. UNESCO. France. 56 p.
- Unger, C., Espizúa, L. E., y Bottero, R. 2000. Untersuchung von Gletscherständen im Tal des Río Mendoza (zentralargentinische Anden) – Kartierung eines Surge-Vorsosses des Horcones Inferior. *Zeischrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*. Universitätsverlag Wagner – Innsbruck. Band 36, S. 151-157.

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.

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 Tigre

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

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

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

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

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
L5233082_08220110322	22 marzo 2011	Base georreferenciación
L5232083_08320110331	31 marzo 2011	Base georreferenciación
L5233083_08320100130	30 enero 2010	Base georreferenciación
L5232083_08320070320	20 marzo 2007	Comparar manchones de nieve
L5232083_08320090426	26 abril 2009	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) por convenio del IANIGLA con el programa GLIMS.

ID imagen	Fecha	Objetivo
2078789672	27 marzo 2010	Base inventario
2078789624	27 marzo 2010	Base inventario
2072668332	18 abril de 2009	Base inventario
2072668342	18 abril de 2009	Base inventario
AST14OTH_00303302008144440_20110714193932_15954	30 marzo 2008	Comparar manchones de nieve
AST14OTH_00303302008144432_20110714193932_15972	30 marzo 2008	Comparar manchones de nieve

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
ALPSMN224864260	14 abril 2010	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
ALPSMN224864255	14 abril 2010	
ALPSMN222384255	28 marzo 2010	

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_20090411_175_A_136_3	11 abril 2009	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros
CBERS_2B_HRC_20090411_175_A_136_4	11 abril 2009	
CBERS_2B_HRC_20090411_175_A_136_5	11 abril 2009	
CBERS_2B_HRC_20090411_175_A_137_1	11 abril 2009	
CBERS_2B_HRC_20090411_175_A_137_2	11 abril 2009	
CBERS_2B_HRC_20090411_175_A_137_3	11 abril 2009	
CBERS_2B_HRC_20090411_175_E_137_4	11 abril 2009	

7.2. Control de campo en el valle del arroyo Tambillos, Cordillera del Tigre, abril 2012



Cerro Tambillos desde la Estancia homónima. Mariano Castro, IANIGLA 2012.

7.2.1 Objetivos

Los objetivos de la campaña fueron:

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

Las geoformas inventariadas en el valle del arroyo Tambillos pertenecen a una de las subcuencas de la Cordillera del Tigre. Ver Figura 1A (mapa de ubicación).

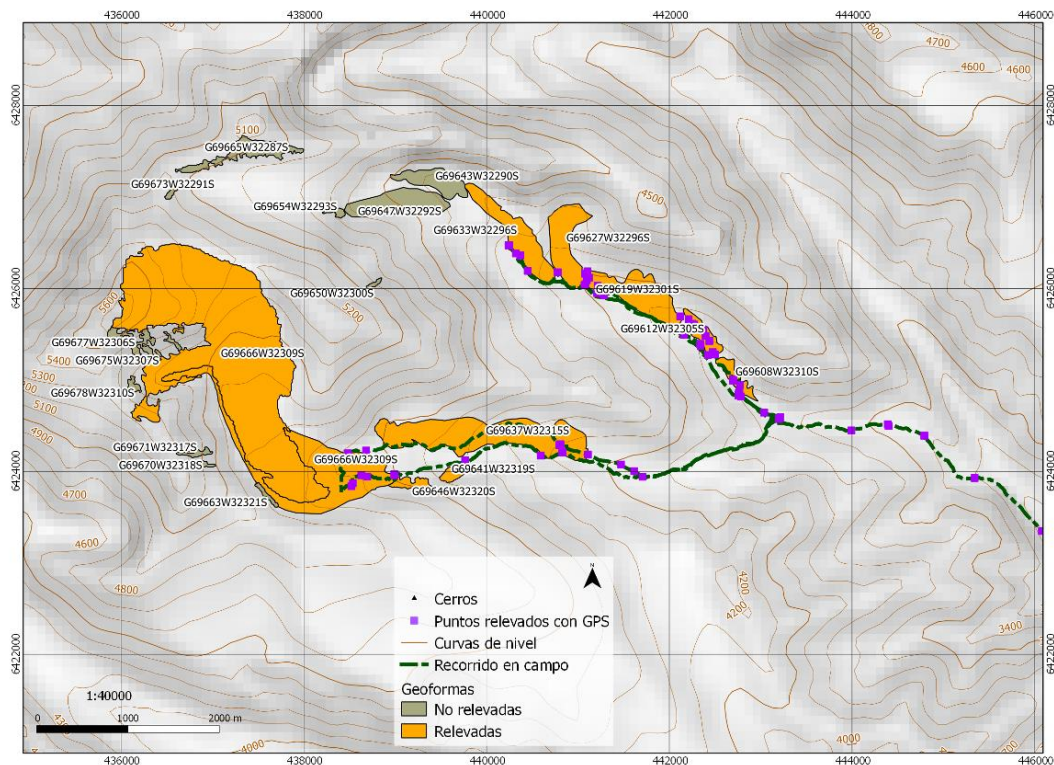


Figura 1A: Mapa de ubicación del valle del arroyo Tambillos con las geoformas inventariadas

7.2.2 Resultados. Geoformas relevadas

Geoforma G696083O323097S

Esta geoforma se apoya sobre el till de una antigua morena cuya base está a unos 3.686 msnm. La pendiente del talud SE es de aproximadamente 39-44°. La altura de la base del glaciar de escombros es de 3.690 msnm y la altura de la parte superior 3.712 msnm. Se observan en las partes más altas crioformas similares a protalus rampart con depresiones originadas por acumulación de nieve que impide que se acumule el material detrítico. Se identifican grietas por las cuales circula el agua que al congelarse provocará la reptación del material. Esta crioforma presenta raíces coalescentes.



Formas embrionarias sobre la parte superior de la geoforma G696083O323097S



Talud Suroeste de la geoforma G696083O323097S



Otra vista del talud Suroeste de la geoforma G696083O323097S

Al lado de la Geoforma G696083O323097S hay una crioforma no mapeada ya que su superficie no alcanza el tamaño mínimo establecido ($0,01 \text{ km}^2$) para inventariar. Su talud SO presenta una pendiente de unos $36-37^\circ$.



Geoforma no mapeada de área menor a $0,01 \text{ km}^2$

Geoforma G696121O323058S

Presenta en su frente una pendiente de aprox. 40-50°. En su superficie se observan grietas las cuales indican actividad. Además se observan crestas típicas y pequeños termocarsts sin agua.



Fuertes pendientes en el talud Suroeste de la geoforma G696121O323058S



Talud Sureste de la geoforma G696121O323058S

Geoforma G696205O323007S

Crioformas coalescentes activas con partes inactivas. Están ubicadas por encima de una morena con vegetación.



Talud Sur de la geoforma G696205O323007S



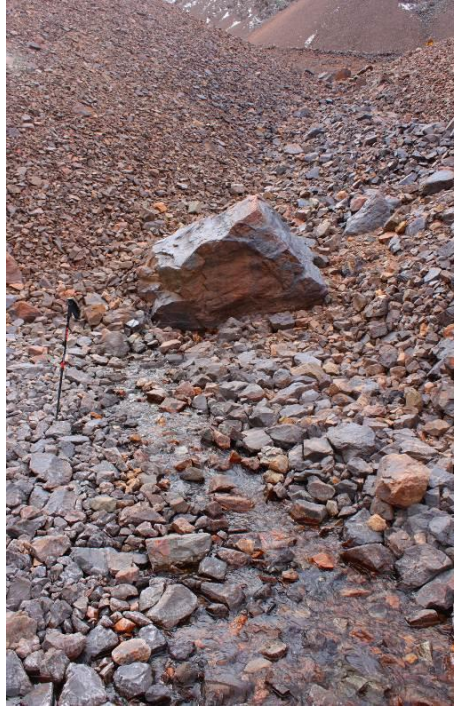
Taludes con orientación SE. Se observa la continuidad de la geoforma G696205O323007S con zonas activas e inactivas

Geoforma G696279O322967S

Glaciar de escombros de origen criogénico. Presenta un gran talud de aprox. 37° de inclinación en el sector SE. En su superficie presenta las características típicas del glaciar de escombros con crestas y surcos.



Talud SE de la geoforma G696279O322967S



Presencia de pequeños cursos de agua que provienen por debajo de los taludes de la geoforma G696279O322967S

Geoforma G696352O322943S

Glaciar de escombros de origen criogénico. Presenta un gran talud con una inclinación de 44°.



Talud SE de la geoforma G696352O322943S

Geoforma G696651O322876S



Glaciarete o manchón de nieve perenne (G696651O322876S) en la ladera S del Cerro Horqueta (5.140 msnm)

Geoforma G696365O323151S

Glaciar de escombros de origen coalescente. El límite inferior de esta geoforma se encuentra a 4.050 msnm. Presenta taludes importantes con pendientes que van desde los 35° a los 44°.



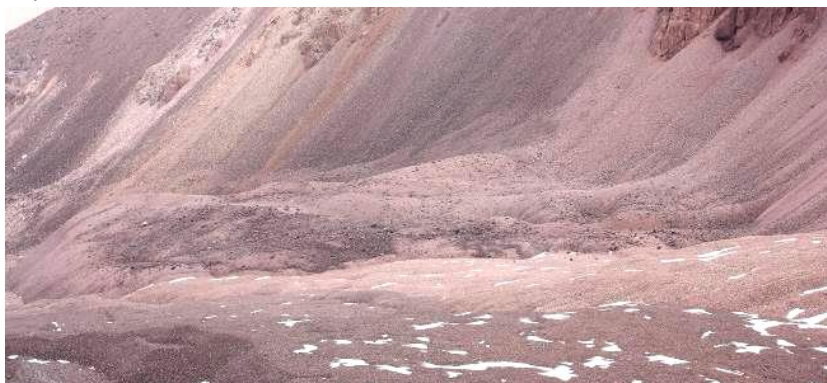
Zonas coalescentes en las raíces de los glaciares de escombros G696365O323151S



Taludes con orientación SE de la geoforma G696365O323151S

Geoforma G696414O323195S

Glaciar de escombros de origen criogénico. Tiene una orientación N y se ubica a una altura de 4.320 msnm.



Vista del glaciar G696414O323195S

Geoforma G696463O323205S

Glaciares de escombros criogénicos coalescentes. Se originan en las canaletas de avalanchas nivodetríticas ubicadas en las laderas N del valle del arroyo Tambillos.



Geoforma G696463O323205S

Geoforma G696661O323094S

Esta geoforma compuesta está formada por un glaciar cubierto con glaciar de escombros y un glaciar descubierto en su parte más alta, conocido como glaciar Tambillos. La parte cubierta, presenta en su frente E un talud muy abrupto con una inclinación de aprox. 45°. Se observa como en la mayoría de las geoformas de esta clase un gran desnivel demarcando dos zonas, una (la más alta) con una importante presencia de termocarst, crestas y domos que correspondería a la zona de hielo cubierto y la otra (más baja) con las características típicas de los glaciares de escombros cercana al talud.

En la zona más alta del glaciar cubierto se observó, en un perfil expuesto por un termocarst, hielo debajo de una cobertura detrítica de aproximadamente 1m de espesor.



Termocarst en la geoforma G696661O323094S



Talud NE de la geoforma G696661O323094S



Presencia de domos en la zona de hielo cubierto de la geoforma G696661O323094S



Cobertura detrítica en la geoforma G696661O323094S de aproximadamente 1m de espesor en la zona de mayor densidad de termocarst

Glaciar Tambillos. Es el más importante cuerpo de hielo descubierto de la Cordillera del Tigre. Este glaciar de valle está orientado hacia el SE y presenta un frente de aprox. 20 m. de altura. En la parte superior se observa un gran campo de seracs. En su frente se pueden observar capas de fino detrítico intercaladas con el hielo glacial.



Parte frontal del glaciar Tambillos. Geoforma G696661O323094S



Vista panorámica del glaciar Tambillos (G696661O323094S)

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**
3. **Cuenca**
4. **Subcuenca**
5. **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.

6. **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.
7. **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 km² (una hectárea).

MN-Manchón de nieve/glaciarete: pequeñas masas de nieve y hielo de forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones, lechos de ríos y pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de la nieve barrida por el viento, avalanchas y/o varios años de fuertes acumulaciones. En general no presentan patrones de flujo visibles, y existen al menos por dos años consecutivos. Los manchones de nieve permanentes/glaciaretes son reservas significativas de agua en estado sólido y por ello fueron incluidos en el inventario.

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

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

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos (GEA)**, **inactivos (GEI)** y **fósiles (GEF)** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35°) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciár 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-Glaciár cubierto con glaciár de escombros: en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciár de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciár) y el glaciár de escombros glaciagénico (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.

8. 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.

9. Nombre común: si lo hubiere.

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

0. Incierto

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

pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de la nieve barrida por el viento, avalanchas y/o varios años de fuertes acumulaciones. En general no presentan patrones de flujo visibles, y existen al menos por dos años consecutivos.

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

11. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta
3. Cuenca simple
4. Circo
5. Nicho

6. Cráter
7. Colgante
8. Grupo
9. Remanente

12. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

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

14. Actividad de la Lengua

0. Incierto
1. Marcado retroceso
2. Leve retroceso

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

15. Morena_1

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

0. Incierto
1. Sin detrito
2. Parcialmente cubierto de detrito (10-50%)
3. Mayormente cubierto de detrito (50-90%)

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

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

0. Incierto
1. Unidad: formado por un único glaciar de escombros.
2. Multiunidad: formado por varios glaciares de escombros, pueden ser coalescentes o sobrepuestos.

22. Estructura II

0. Incierto
1. Una raíz: una única fuente de alimentación.
2. Multiraíz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de

alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.

23. **Longitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
24. **Latitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
25. **Área:** área de cada polígono expresada en km^2 .
26. **Largo_total:** largo de cada unidad, considerando la línea de flujo más larga de todo el glaciar, desde la zona más alta, atravesando la unidad hasta el frente de la misma, siempre lo más perpendicular posible a las curvas de nivel. Se expresa en metros (m).
27. **H_max_total:** Altura máxima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
28. **H_med_total:** Altura media total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
29. **H_min_total:** Altura mínima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
30. **Pendiente:** (Se expresa en grados).
31. **Orientación:** Correspondiente a los 8 puntos cardinales.
32. **H_max_parcial:** Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
33. **H_med_parcial:** Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
34. **H_min_parcial:** Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere). Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
35. **Img_ba_F:** Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.
36. **Img_ba_S:** tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc.).
37. **Img_ap_F:** Fecha de la imagen de apoyo utilizada.
38. **Img_ap_S:** tipo de sensor que capta la imagen de apoyo empleada.

7.4. Revisión externa

Inventario Nacional de Glaciares Formulario de Evaluación del Inventario

1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre y Apellido del Evaluador/a	Adina Racoviteanu
Institución	Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement
Profesión y experiencia en inventarios de glaciares (ADJUNTAR CV)	Investigadora Post-doctoral; experiencia en teledetección de los glaciares de los Andes (Cordillera Blanca) y Himalaya (Sikkim, Himachal Pradesh, Langtang, Khumbu); trabajo de campo en alta montaña para verificación de datos; taller de teledetección en Mendoza y Kathmandu
Subcuenca evaluada	Tigre, Plata
Provincia	Mendoza
Fecha de recepción del material	25/06/2012
Fecha de entrega del material evaluado	09/10/2012

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las imágenes son adecuadas para el tipo de trabajo	SI X	NO
En el inventario de Plata y Tigre se utilizaron imágenes ALOS, con apoyo de LANDSAT, ASTER, HRC, y el aplicativo Google Earth. Esas imágenes son adecuadas, visto que tienen contraste, y también la fecha es adecuada para nieve mínima (mes de marzo-abril), y cumplen con las recomendaciones del proyecto GLIMS.		
El MDE es adecuado para el tipo de trabajo	SI X	NO
El MDE SRTM v4 es adecuado para este tipo de trabajos, aunque tiene algunas limitaciones. Es el modelo que se usa más frecuentemente para extraer parámetros de glaciares para inventario. En el futuro el grupo piensa utilizar el ASTER GDEM2.		
La metodología propuesta le parece apropiada	SI X	NO

La metodología utilizada es adecuada. Las imágenes son georreferenciadas en base a imágenes Landsat; se usó un modelo de terreno para delineación de cuencas.

3. INVENTARIO

La clasificación de hielo descubierto es adecuada	SI X	NO
Para el hielo descubierto se usó una clasificación supervisada por objetos con el programa SPRING, visto que no se pudo realizar la división de bandas en ASTER. Ese método parece funcionar bien, y también permitió incluir manchones de nieve.		
La digitalización manual está bien realizada	SI X	NO
La digitalización de los glaciares cubiertos y de escombros me parece bien detallada, y realizada muy bien dado la dificultad de esas áreas. Mis revisiones en esas áreas fueron menores.		
La base de datos se adapta a lo requerido por un inventario de estas características	SI X	NO
Si-la base de datos realizada es muy detallada, con sub-categorías para cada tipo de glaciar, y también sus características (clasificación morfológica área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente etc.) También incluye un ID GLIMS, lo que facilita incluir esa base de datos en la base GLIMS.		

4. INFORME

El informe es claro y explica bien el objetivo del trabajo	SI x	NO
Bien detallado, explica los objetivos y los métodos muy bien.		

5. RESULTADOS

Comentarios y observaciones del inventario
Es adecuada la información provista
La información es suficiente para el objetivo de análisis y adecuada para objetivos futuros como análisis detallada espacial.
Considera necesario proveer más información
No.

--

6. EVALUACIÓN

Cómo evaluaría el producto final obtenido
Aprobado Si
Aprobado con observaciones
Rechazado

Grenoble, 16 nov 2012

.....
LUGAR Y FECHA



.....
FIRMA Y ACLARACIÓN



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



CONICET

U. N. C U Y O
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de las subcuencas del arroyo Uspallata y del sector Cordillera del Tigre, provincia de Mendoza.

