



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de la subcuenca
del río Calchaquí
Alta cuenca del río Juramento**

Provincias de Salta y Catamarca

Nevado San Miguel y Nevado de Acay desde el Cordón de Cachi, subcuenca del río Calchaquí. Salta (Foto:M. Castro)

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

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

Presidente de la Nación: 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: Téc. Mariano Castro

Profesionales: Ing. Melisa Giménez

Colaboradores: Lic. Laura Zalazar, Lic. Lidia Ferri Hidalgo, Dr. Daniel Falaschi, Lic. Ivana Pecker,
Téc. Juan Pablo Scarpa

Mayo 2018

La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial establecida por el Poder Ejecutivo Nacional a través del Instituto Geográfico Nacional por Ley 22963 y ha sido aprobada por Expte. EX – 2017 – 35435428 – APN – DGA#IGN, de fecha 22 de enero de 2018

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes	6
3.	Definiciones a los fines del Inventario	9
4.	Materiales y métodos	11
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	12
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	12
4.3.	Delimitación del hielo descubierto	15
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	15
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas	16
4.6.	Control de campo	17
5.	Resultados	18
5.1.	Resultados para la subcuenca del río Calchaquí.	18
5.2.	Control de campo	22
6.	Bibliografía.....	24
7.	Anexos.....	29
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del río Calchaquí.	29
7.2.	Control de campo en la subcuenca del río Calchaquí	31
7.2.1	Objetivos	31
7.2.2.	Resultados de las geoformas relevadas en terreno	32
7.3.	Descripción de la base de datos	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Río Calchaquí a la altura de la localidad de La Poma. Salta (Foto: M. Castro).	4
Figura 2: Aproximación hacia la localidad de Cachi, con el Cordón de Cachi al fondo. Salta, 2012 (Foto: M. Castro).	6
Figura 3: Sección media del anfiteatro Kühn a 4.700 msnm en el cordón de Cachi. En la imagen se detalla una morena lateral (m) y glaciares de escombros multiforma fósiles (f) e intactos, con sectores activos (ia) e inactivos (ii). (Falaschi, et al 2014).....	7
Figura 4: Geoformas inventariadas según Falaschi, et al 2014.	8
Figura 5: Subcuenca del río Calchaquí, Alta cuenca del río Juramento.	11
Figura 6: Diagrama de flujo de la metodología usada.	14
Figura 7: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda se observa un glaciar de escombros en una imagen ALOS AVNIR (10 m de resolución). A la derecha puede observarse el mismo sector, con mayor claridad, en una imagen ALOS PRISM (2,5 m de resolución).	15
Figura 8: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de montaña sobre una imagen ALOS. En la parte derecha se muestra este glaciar con las diferentes subunidades que lo componen (parte de hielo descubierto y parte de hielo cubierto con glaciar de escombros). Todas las subunidades tendrán el mismo código de identificación (ID).	17
Figura 9: Glaciares en la subcuenca del río Calchaquí.	19
Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Calchaquí. ..	20
Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Calchaquí.20	
Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Calchaquí.	21
Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Calchaquí.	21
Figura 14: Aproximación al área con glaciares en el Cordón de Cachi	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el inventario de la subcuenca del río Calchaquí. 12	
Tabla 2: Superficie englazada en la subcuenca del río Calchaquí.	18
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del río Calchaquí.	22

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

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 imponentes vistas de los cerros Torre y Monte Fitz Roy o Chaltén. Otros glaciares muy visitados son los glaciares del Monte Tronador en el Parque Nacional Nahuel Huapi, provincia de Río Negro. El más conocido es

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

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

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

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

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

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

*ARTÍCULO 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.



Figura 1: Río Calchaquí a la altura de la localidad de La Poma. Salta (Foto: M. Castro).

En el presente informe se describen los resultados del inventario realizado en la subcuenca del río Calchaquí, en las provincias de Salta y Catamarca. En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares en la subcuenca del río Calchaquí fue elaborado entre los meses de Septiembre y Noviembre de 2017 y aprobado según resolución N°RESOL-2018-

119-APN-MAD del 16 de febrero de 2018, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

Queremos agradecer a Santiago Casimiro por su ayuda y colaboración en los trabajos de campo y al arqueólogo Christian Vitry por la valiosa información brindada sobre la zona por donde se realizaron los trabajos de campo.

2. Antecedentes

En el noroeste argentino, la criósfera (parte de la corteza terrestre sujeta a temperaturas bajo 0°) está representada, a diferencia de otras regiones en donde existe mayor diversidad de geoformas, por el permafrost de montaña que se manifiesta topo-climáticamente por la presencia de glaciares de escombros y asociación de formas menores generadas por el congelamiento estacional del suelo o congelamiento permanente (permafrost). Esta condición térmica, se presenta cuando los suelos permanecen congelados por más de dos años (Van Everdingen 2005). El cambio climático y los disturbios antrópicos que alteran el régimen térmico del suelo, tienen efecto sobre el permafrost en su formación, persistencia, distribución, espesor y temperatura.



Figura 2: Aproximación hacia la localidad de Cachi, con el Cordón de Cachi al fondo. Salta, 2012 (Foto: M. Castro).

Los primeros estudios de permafrost en el noroeste argentino fueron desarrollados por Catalano en 1927, quien describió a los glaciares de escombros como masas rocosas aglomeradas por hielo que fluyen por gravedad a modo de un glaciar utilizando el término de litoglaciares. En general en los trabajos de inventario realizados en el noroeste argentino (Nevados de Acay y Palermo, Sierra de Santa Victoria, Cumbres Calchaquíes, entre otros) han revelado la presencia de este tipo de geoformas en pisos altitudinales comprendidos entre los 4.200 msnm y 5.000 msnm (Igarzábal 1983; Schellenberger 1998; Corte et al. 1982; Ahumada et al. 2008a; Ahumada et al. 2008).

En el noroeste argentino los glaciares de escombros se encuentran ubicados en alturas que van desde los 4.000 msnm a más de 5.000 msnm y están a su vez ligados a determinada topografía y orientación. Estos son importantes porque producen un importante volumen de agua con menor cantidad de material suspendido si se los compara con los glaciares descubiertos. Su

núcleo congelado se encuentra protegido por la capa activa, siendo de esta manera más resistentes en el tiempo a las modificaciones de temperatura (Ahumada 2008).

Martini et al. han realizado varios estudios de geomorfología glaciar e inventario de glaciares en la Cordillera Oriental argentina, donde se ubican los glaciares de la alta cuenca del río Juramento (Martini et al. 2013, 2015).

Falaschi et al. (2014) realizaron el primer inventario detallado de glaciares en la región de Valles Calchaquíes de Salta ($24^{\circ}10'S-25^{\circ}20'S$, $66^{\circ}W-66^{\circ}30'W$) comprendiendo tanto al sector de las sierras de Cachi-Palermo como al de la sierra de San Miguel. Se utilizaron como base para la identificación de las geoformas, imágenes de alta resolución (ALOS-PRISM) en las que se identificaron manchones de nieve perenne, morenas y fundamentalmente glaciares de escombros (Figura 4). Estos últimos fueron clasificados en base a su actividad en dos grandes grupos, glaciares de escombros intactos y fósiles. En la primer clase se agruparon tanto a glaciares de escombros activos como inactivos, es decir, aquellos que poseen hielo en su interior; y en el segundo grupo se incluyeron a aquellas geoformas en las que no fue observada la evidencia de hielo en su interior, con características colapsadas y colonizadas por vegetación.



Figura 3: Sección media del anfiteatro Kühn a 4.700 msnm en el cordón de Cachi. En la imagen se detalla una morena lateral (m) y glaciares de escombros multiforma fósiles (f) e intactos, con sectores activos (ia) e inactivos (ii). (Falaschi, et al 2014).

En este trabajo fueron identificadas un total de 488 geoformas cubriendo un área total de 59 km², en ellos fue observado un límite inferior de ocurrencia de glaciares de escombros intactos aproximadamente a los 4.300 msnm, y 4.100 msnm para los fósiles. A partir de que la

mayor concentración de glaciares de escombros activos se ubicara por encima de los 4.600 msnm se pudo inferir en que el límite inferior del permafrost discontinuo se encontrara aproximadamente en este piso altitudinal en la Cordillera Oriental. Entre los tipos de glaciares de escombros identificados, en cuanto a su morfología, la mayor cantidad correspondió a formas de lengua en relación a otras formas como lobados o coalescentes.

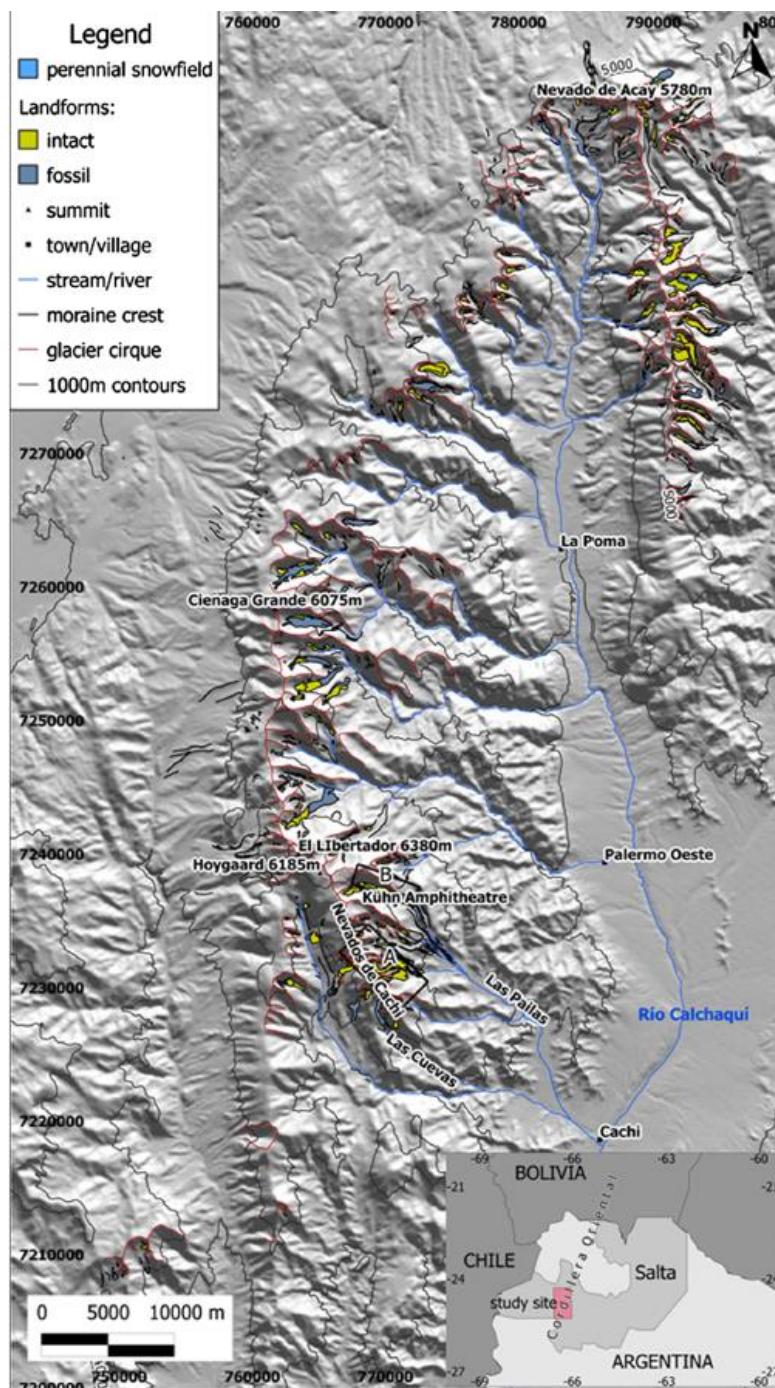


Figura 4: Geoformas inventariadas según Falaschi, et al 2014.

3. Definiciones a los fines del Inventario

A los fines específicos y operativos del Inventario Nacional de Glaciares, el IANIGLA propuso en el documento: “**Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución**”, (http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/fundamentos_cronograma_ejecucion.pdf 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 las diferentes geoformas identificadas en las imágenes satelitales y los procesos que las originan. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo para la subcuenca del río Calchaquí aquí presentado.

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

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

Glaciar (descubierto y cubierto): cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve y/o hielo, 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 / glaciaretos** que, como no tienen evidencia de movimiento, en general no se consideran glaciares. Sin embargo, dado que los manchones de nieve permanentes / glaciaretos 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 2003; 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, Patagónicos y Desérticos (Corte y Espizúa 1981; Delgado et al. 2010; Ahumada et al. 2005).

Este informe corresponde al Inventario de Glaciares de la subcuenca del río Calchaquí de 13.111 km² de superficie ubicada principalmente en la provincia de Salta y una pequeña parte en la provincia de Catamarca. La misma está comprendida dentro de la Alta cuenca del río Juramento (Figura 5).

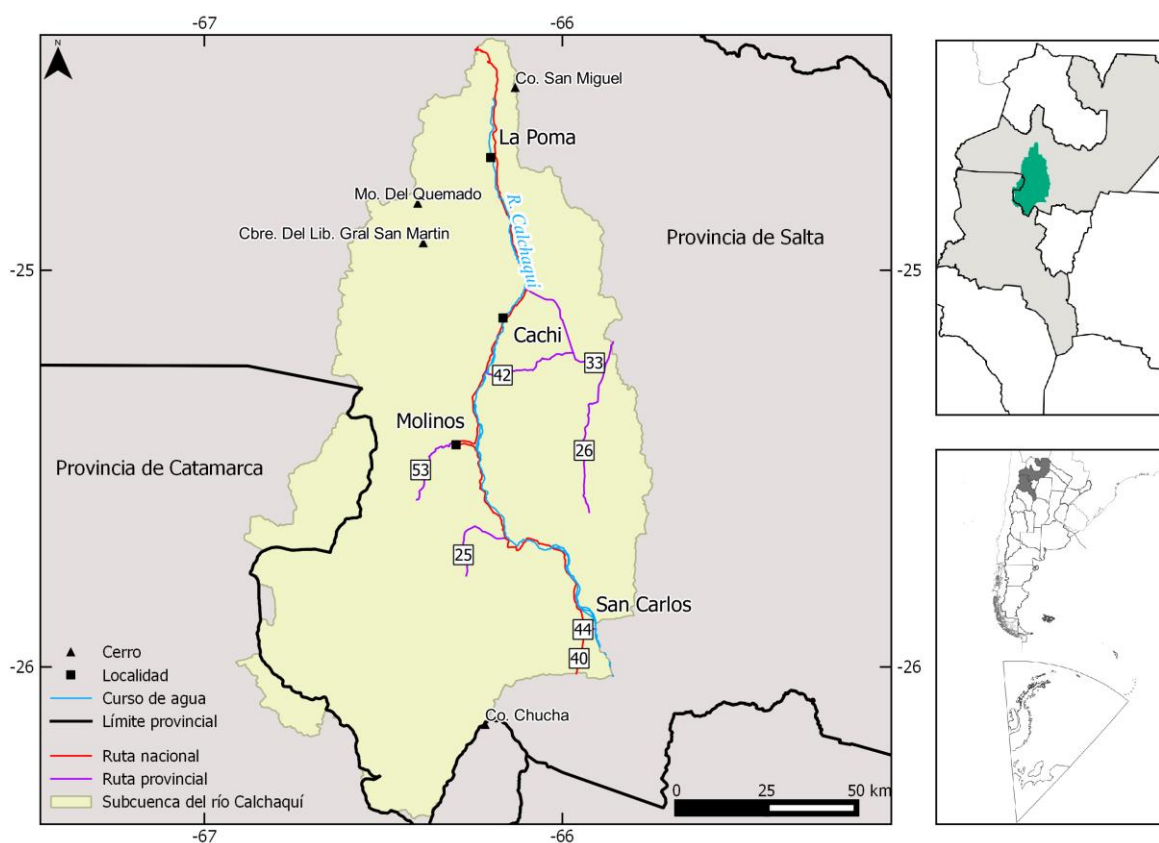


Figura 5: Subcuenca del río Calchaquí, Alta cuenca del río Juramento.

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

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

Empleando el programa QGIS (software libre) se delimitaron las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de SRTM v4. Los pasos básicos para obtener las cuencas hidrográficas en QGIS consisten en primer lugar en el llenado de sumideros y posteriormente delimitar el tamaño mínimo de la cuenca que viene dado en base al número de celdas que seleccionemos. Cada cuenca delimitada fue posteriormente editada y corregida manualmente, en aquellos casos en que no hubo un buen ajuste entre el MDE y la imagen. La edición manual de las cuencas también fue realizada empleando el programa QGIS.

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el Inventario en la subcuenca del río Calchaquí se utilizaron como base imágenes ALOS AVNIR y SPOT, además se revisaron y utilizaron como apoyo imágenes ALOS PRISM y del aplicativo Google Earth. Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación.

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el inventario de la subcuenca del río Calchaquí.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
ALOS/AVNIR	ALAV2A255204090	08 noviembre 2010
ALOS/AVNIR	ALAV2A255204130	08 noviembre 2010
ALOS/AVNIR	ALAV2A248494120	23 septiembre 2010
ALOS/AVNIR	ALAV2A181394100	20 junio 2009
SPOT 5	5 676-400 12/04/07 14:47:52 2 J	07 abril 2010

Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) y las imágenes ALOS y SPOT fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina.

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, 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 forma complementaria y siguiendo resultados de trabajos realizados en la región del noroeste argentino se tuvo en cuenta en la elección de imágenes satelitales el periodo de abril a octubre, es decir fuera de la época de precipitaciones (Minetti et al. 2005).

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 km^2 y como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes están expresadas en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

Las imágenes ALOS AVNIR y SPOT utilizadas como base de inventario para la delimitación de los cuerpos de hielo fueron georreferenciadas a partir de imágenes Landsat. Estas imágenes Landsat, generadas por el USGS (United States Geological Survey), son internacionalmente aceptadas como base de referencia (Tucker et al. 2004).

En la Figura 6 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.

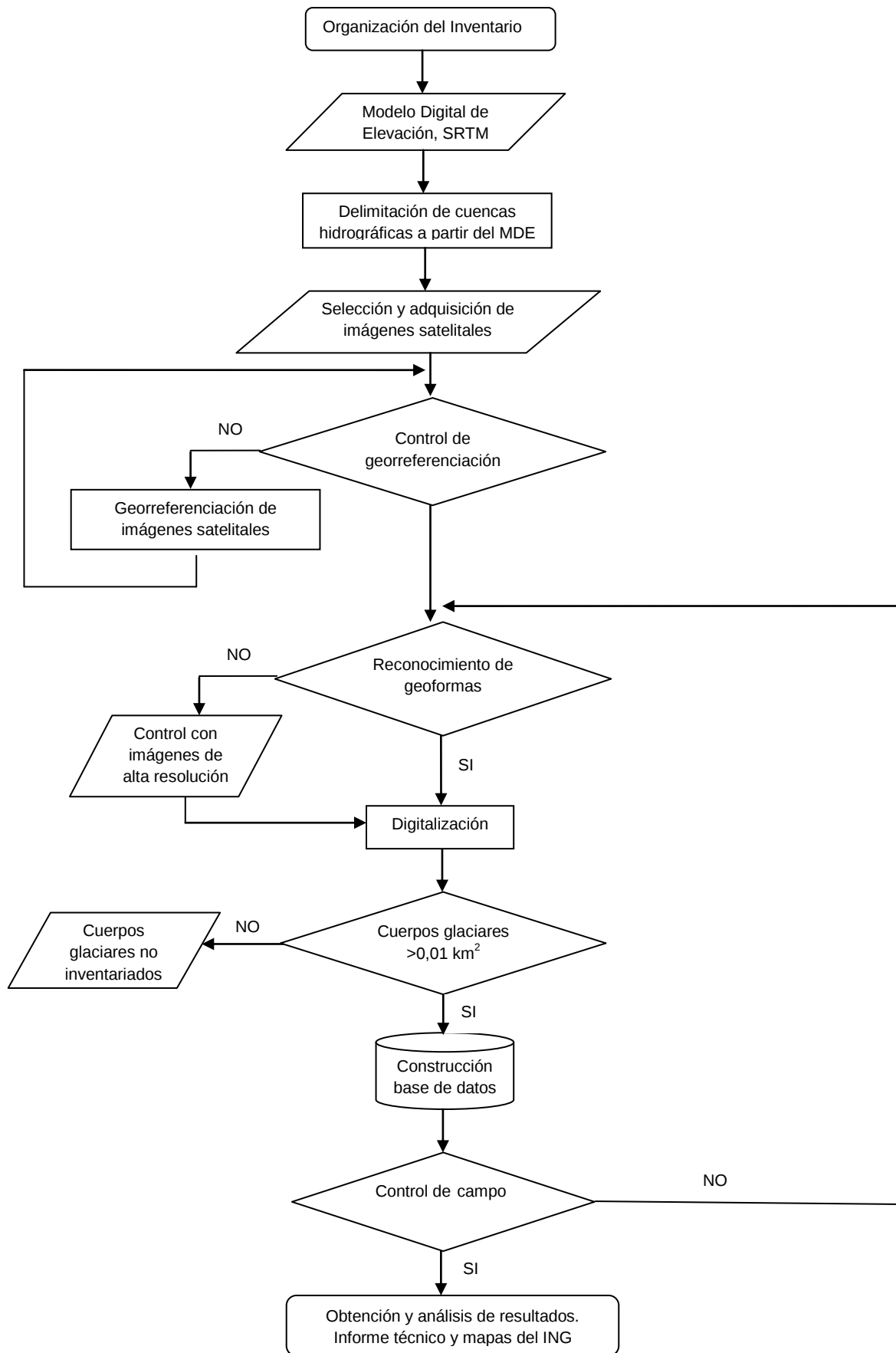


Figura 6: Diagrama de flujo de la metodología usada.

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 automática utilizando las bandas del infrarrojo cercano o del visible cuando estuvieran disponibles de las imágenes 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.

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

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo para glaciares cubiertos de detrito y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la metodología más 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 (Figura 7). Para ello, además de las imágenes ALOS y SPOT empleadas como base de este inventario, utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución PRISM (ALOS) y las imágenes disponibles en Google Earth. La digitalización fue realizada con el programa QGIS.

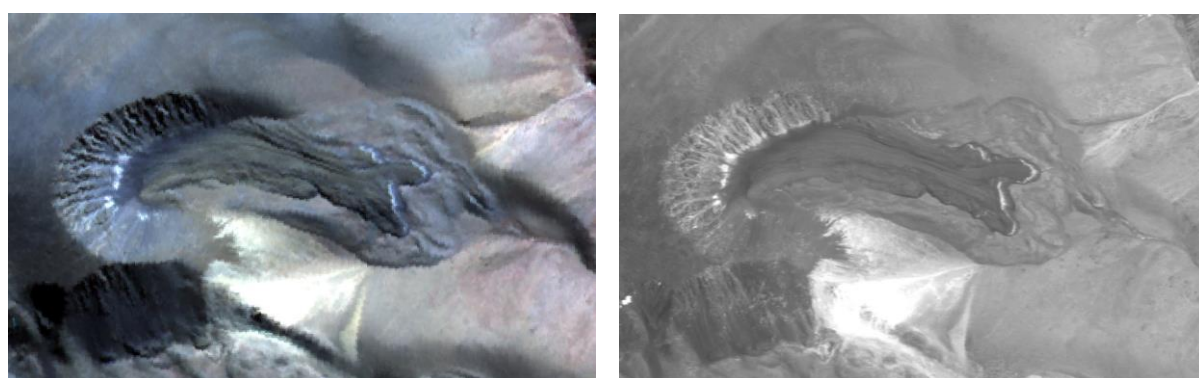


Figura 7: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda se observa un glaciar de escombros en una imagen ALOS AVNIR (10 m de resolución). A la derecha puede observarse el mismo sector, con mayor claridad, en una imagen ALOS PRISM (2,5 m de resolución).

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del río Calchaquí 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 entre otros (Ver Anexo 7.3). Las bases de datos fueron construidas con el programa QGIS.

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

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

0. Incierto
1. Sábana de hielo continental
2. Campo de hielo
3. Calota de hielo
4. De descarga
5. De valle
6. De montaña
7. Glaciarete y/o manchón de nieve permanente
8. Barrera de hielo
9. Glaciar de escombros
10. Corriente de hielo

Más detalles sobre la clasificación de los cuerpos de hielo se encuentran en la página web http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf

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

(-66.122+360 = 293.878). De esta manera se facilita el acceso de la información del inventario a un nivel internacional de referencia.

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

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** (ID de la Figura 8 representado por un círculo rojo) que consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma (similar al ID_GLIMS salvo que en el caso del ID_local la longitud está referida al Oeste). Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud Sur.

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

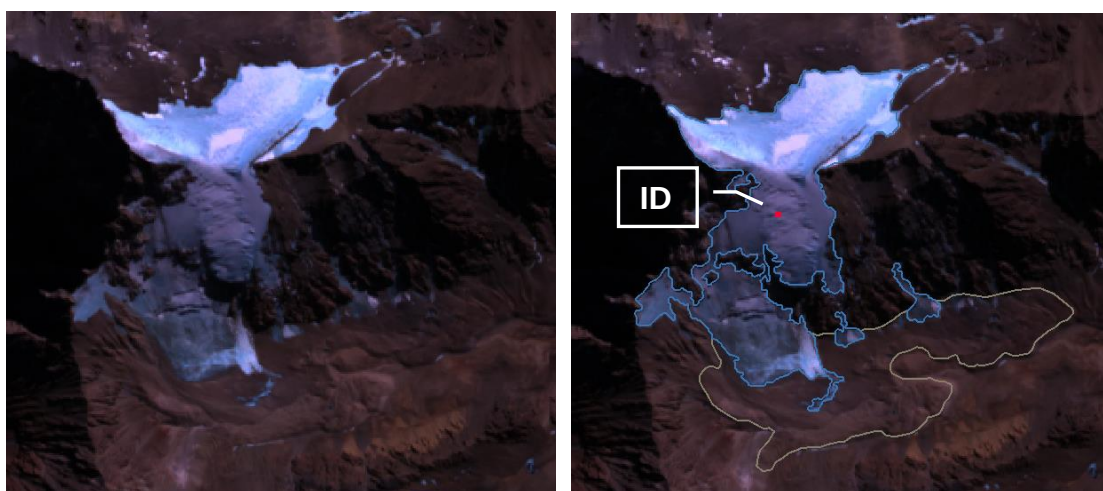


Figura 8: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de montaña sobre una imagen ALOS. En la parte derecha se muestra este glaciar con las diferentes subunidades que lo componen (parte de hielo descubierto y parte de hielo cubierto con glaciar de escombros). Todas las subunidades tendrán el mismo código de identificación (ID).

4.6. Control de campo

Los glaciares argentinos se ubican a lo largo de la Cordillera de los Andes, en lugares inaccesibles, a gran altura y en zonas carentes de infraestructura vial, por lo que aun hoy encontramos zonas montañosas inexploradas. Las campañas del nivel 1 del ING tienen como objetivo relevar y documentar la presencia y el estado de glaciares, particularmente de aquellos para los que no existe o se tiene muy poca información. Además de obtener información en forma directa se busca generar un banco fotográfico que servirá para dar a conocer y monitorear un gran número de glaciares.

5. Resultados

5.1. Resultados para la subcuenca del río Calchaquí

Esta subcuenca forma parte de la Alta Cuenca del río Juramento; limita al norte con la cuenca Salinas Grandes, y parte de la subcuenca del río Rosario con la que a su vez limita al este; al oeste con la cuenca Salar Pocitos y al sur con las cuencas de Antofagasta de la Sierra y la subcuenca del río Santa María. Con un desarrollo predominantemente norte-sur se extiende latitudinalmente desde los 24°24' S hasta los 26°22' S en el sur, abarcando principalmente los departamentos de Cachi y La Poma en la provincia de Salta.

Los glaciares que drenan hacia la subcuenca del río Calchaquí se ubican en los cordones montañosos que enmarca dicha cuenca y pertenecen al sistema de la Cordillera Oriental de Salta y Jujuy.

El sector estudiado está delimitado en el este por la Sierra de San Miguel en la que se localizan alturas mayores a 5.000 msnm culminando en el norte con uno de los picos más importantes de la región (el Nevado de Acay de 5.716 msnm). Conformando el borde oeste de la cuenca se encuentra el emblemático cordón de Cachi-Palermo donde se encuentra la concentración más importante de cuerpos de hielo, y en la que se ubican cumbres que alcanzan grandes alturas como la del Libertador Gral. San Martín (6.380 msnm), el Morro del Quemado (6.184 msnm) y el Nevado de Palermo (6.150 msnm). En el sur, la subcuenca se encuentra enmarcada por los Nevados del Catreal limitando con la provincia de Catamarca y en los que se destaca el Cerro Chucha de 5.512 msnm.

La mayor concentración de glaciares se encuentra en el centro norte de la subcuenca, en las vertientes orientales del Cordón Cachi-Palermo, a su vez se identificaron algunos cuerpos de hielo en las laderas occidentales de la Sierra de San Miguel, y en menor cantidad en el sur de la subcuenca, en las laderas del noroeste de los Nevados de Catreal.

Se inventariaron un total de 220 cuerpos de hielo, ocupando una superficie de 13,16 km² (Figuras 9 y 10), indicando que el 0,10% de la subcuenca del río Calchaquí está cubierta por glaciares. El 92% de los cuerpos de hielo identificados corresponden a geoformas periglaciales (glaciares de escombros), es por ello que adquieren gran importancia como reserva hídrica estratégica en la zona.

Tabla 2: Superficie englazada en la subcuenca del río Calchaquí.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km²)
Glaciar descubierto	0,25
Manchones de nieve/glaciaretas	0,83
Glaciar de escombros	12,07
Total	13,16

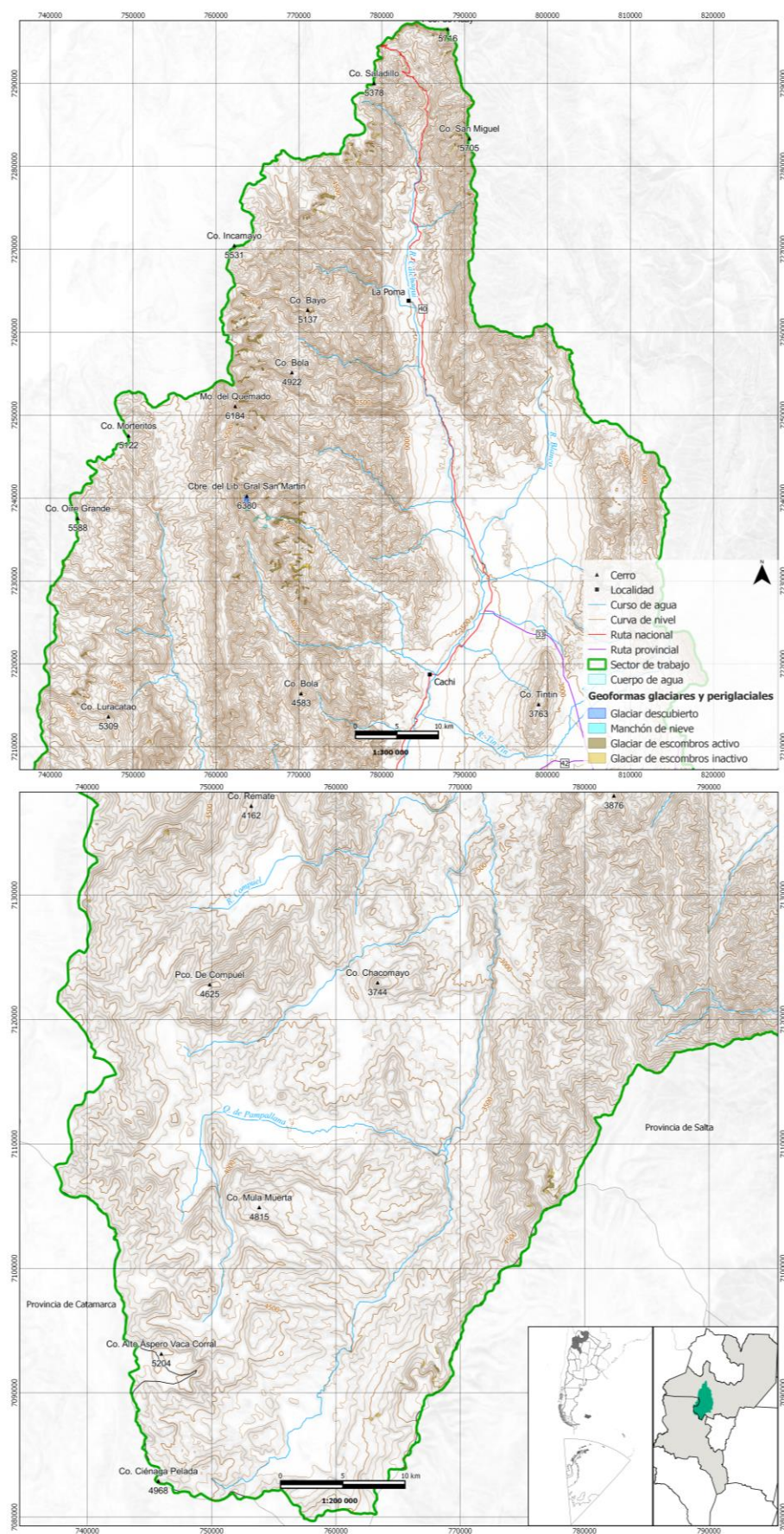


Figura 9: Glaciares en la subcuenca del río Calchaquí.

En la Figura 10 se observa el predominio de los glaciares de escombros sobre otras geoformas inventariadas en el área de estudio. Del total de glaciares inventariados, el 65% corresponde a crioformas activas y el 35% a inactivas, todas de origen criogénico. En cuanto a manchones de nieve se obtuvo un 6% del área cubierta por geoformas y tan solo el 2% se debe a un glaciar descubierto (Figura 10).



Figura 10: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Calchaquí.

Los análisis de la orientación (Figura 11) de los cuerpos inventariados, muestran que el 33% de los glaciares presentan una orientación predominante hacia el sur, que coincide con las laderas que tienen menor insolación en el Hemisferio Sur. Al estar menos expuestas a la radiación solar son más frías que las laderas que miran al norte, manteniendo por períodos más prolongados la nieve del invierno, favoreciendo los procesos que dan origen a los glaciares y crioformas. Sin embargo en esta subcuenca, en un porcentaje significativo, un 21% presentan orientaciones hacia el este.

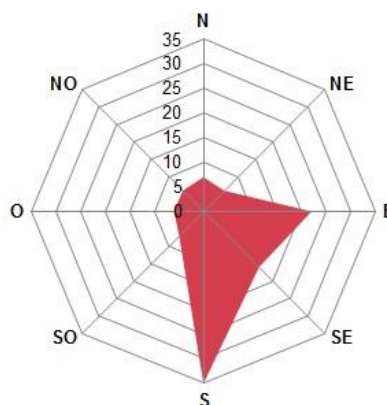


Figura 11: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Calchaquí.

En la Figura 12 podemos observar que más de la mitad de las geoformas inventariadas (66%) tienen un área comprendida entre 0,01 y 0,05 km² pero solo representan el 25% del área total

inventariada. Un 33% de los cuerpos presentan superficies de 0,05 a 0,5 km² y representan el 65% de la superficie de glaciares de la subcuenca. Se identificaron dos cuerpos mayores a 0,5 km² que contribuyen en un 10% del área glaciaria.

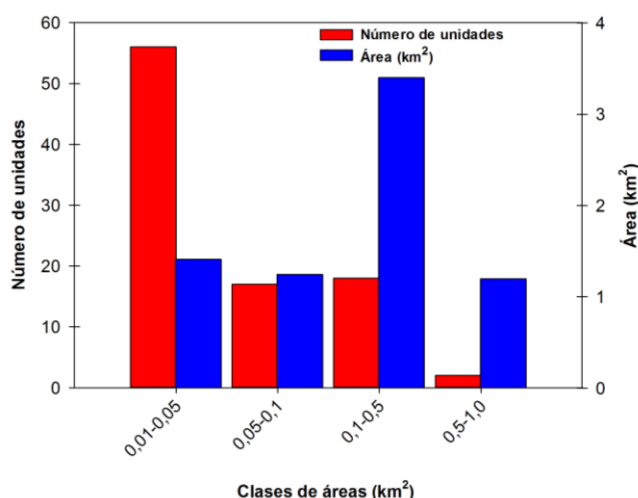


Figura 12: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Calchaquí.

Se puede observar en la Figura 13 que las geoformas identificadas se ubican a partir de los 4.300 msnm con alturas máximas de 6.300 msnm. Esto es debido a la presencia de montañas de gran altitud en el área de estudio. Los glaciares de escombros se ubican en un rango altitudinal bajo con respecto al resto de las geoformas, con un límite inferior aproximadamente a los 4.300 msnm hasta los 5.723 msnm. Los manchones de nieve y el glaciar descubierto se ubican por encima de este límite, alcanzando valores aproximados de 6.300 msnm (Tabla 3).

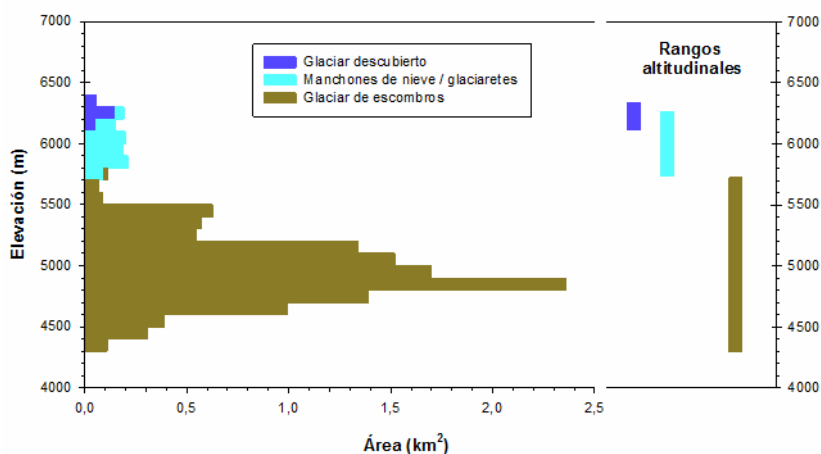


Figura 13: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Calchaquí.

Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del río Calchaquí.

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	6.113	6.339
Manchones de nieve/glaciaretes	5.733	6.262
Glaciar de escombros	4.301	5.723

5.2. Control de campo

El trabajo de campo para la subcuenca del río Calchaquí fue realizado por sectores; la primera etapa se realizó en Octubre de 2012 en el sector del Cordón de Cachi, siendo finalizado en una segunda etapa en Octubre de 2017, en zonas de la Sierra de San Miguel cercanas al Cordón de Palermo.

En el cordón de Cachi el trabajo de campo fue realizado en la Quebrada de las Pailas hasta la altura del anfiteatro Kühn, en la ruta de acceso hacia la cumbre del Libertador Gral. San Martín (6.380 msnm) y la quebrada del río La Hoyada. Para acceder a los lugares mencionados se estableció un campamento base en la confluencia de las quebradas mencionadas (Las Pailas y La Hoyada) para la realización del relevamiento en los días posteriores. El trabajo fue realizado a pié y contó con el apoyo logístico para las cargas de equipo del servicio de baquiano y animales por parte de pobladores de la comunidad de Cachi y Cachi Adentro.

En el caso del acceso a la Sierra de San Miguel, el acceso a la montaña se efectuó completamente a pie, sin la utilización de animales, a través de una de las quebradas tributarias del río Calchaquí. En esta ocasión se estableció un campamento a una altura intermedia para que en los días siguientes se alcanzara una cota aproximada de 5.100 msnm.

Las zonas fueron seleccionadas debido a la relativa facilidad de acceso de cada una de ellas y a que son dos de los sectores que albergan las concentraciones de crioformas en esta subcuenca.



Figura 14: Aproximación al área con glaciares en el Cordón de Cachi. Subcuenca del río Calchaquí. Provincia de Salta. 2012 (Foto: M. Castro).

En total se observaron en el campo 22 geoformas (para tener mayor detalle ver anexo 7.2. donde se describen algunos de los glaciares visitados en el trabajo de campo) que fueron comparadas con la cartografía realizada en gabinete. De las geoformas visitadas, el número más importante correspondió a glaciares de escombros activos. El trabajo reveló una muy alta correspondencia entre las geoformas observadas en el terreno y las identificadas a través de métodos indirectos (imágenes satelitales). En el caso de la identificación de geoformas se obtuvo un 100% de coincidencias y un 95% en la clasificación. El error observado se relacionó con clasificar en gabinete como activo un glaciar de escombros con características inactivas. Esta diferencia fue corregida posteriormente en gabinete.

6. Bibliografía

- 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: p. 42 - 53.
- Ahumada, A. L., Ibañez Palacios, G. P., Páez S. V. 2005a. High mountain permafrost in the argentine subtropic. *Terra Nostra* 05/1:9. Berlin.
- Ahumada, A. L., Ibañez Palacios, G. y Páez, S. V. 2005b. Los glaciares de escombros en el NW argentino, acuíferos de altura en riesgo ante los cambios globales. Presentado en CONAGUA 2005. Mendoza. CD Versión.
- Ahumada, A. L. 2008. El conocimiento de la criósfera continental del NO de Argentina. Su comportamiento ante el calentamiento global. Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires.
- Ahumada, A. L., Ibañez Palacios, G. P., Páez S. V. 2008a. Reconocimiento de permafrost andino en las nacientes del Río Santa María, Catamarca. IV Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de vida, Catamarca.
- 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: p. 286 - 288.
- Barsch, D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. Third International Conference on Permafrost, Ottawa, Canada. *Proceedings*, 1: p. 349-353.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, Berlin: 331 pp.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16: p. 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 54 - 66.
- Catalano, L. R. 1927. Datos hidrológicos del desierto de atacama. *Boletín de la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología*. Publicación 35:1-35.
- 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. E., Tromboto, D. y Ahumada, A. L. 1982. Relevamiento de la geomorfología criogénica del NW Argentino. IANIGLA, CRICYT-CONICET, MENDOZA. Informe interno. 50 pp.

Corte, A. 1976. Rock glaciers. *Biuletyn Peryglacjalny*, 26: p. 175-197.

Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology*, 17: p.157-158.

Corte, A. y Espizúa, L.E. 1981. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET, Mendoza; 64 pp.

Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P. y Villalba R. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS.

Falaschi, D., Castro, M., Masiokas, M., Tadono, T., and Ahumada A. L., 2014. Rock glacier inventory of the Valles Calchaquies region (~ 25°S), Salta, Argentina, derived from ALOS data. *Permafrost and Periglacial Processes*. Wiley & Sons.

Gruber, S. y Haeberli, W. 2009. Mountain Permafrost, in *Permafrost Soils* (ed) R. Margesin, *Soil Biology* 16. Springer-Verlag Berlin: p. 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: p. 142.

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.

Igarzábal, A. 1983. El sistema glaciolítico de la cuenca superior del Río Juramento, provincia de Salta. In VIII Congreso Geológico Argentino - Actas IV; 167-183.

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

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

Martini, M., Strelin, J. y Astini, R. 2013. Inventario y caracterización morfoclimática de los glaciares de roca en la Cordillera Oriental argentina (entre 22° y 25° S). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 30, núm. 3, 2013, p. 569-581.

Martini, M., Strelin, J. y Astini, R. 2015. Distribución y caracterización de la geomorfología glaciar en la Cordillera Oriental de Argentina. *Acta geológica lilloana* 27 (2): 105–120, 2015.

Minetti, J. L., Poblete, A.G, Longhi, F. 2005. Los mesoclimas del NOA. Capítulo 11. En (eds. J.L. Minetti) *El clima del NO Argentino*. Ediciones Magna p: 217 – 234.

- Minetti, J.L. y Leiva, M. 2005. Variabilidad y cambio climático en el Noroeste Argentino. Capítulo 12. En (eds. J.L. Minetti) El clima del NO Argentino. Ediciones Magna p: 235-256.
- Müller, F. et al. 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory. TTS/WGI, Department of Geography, ETH. Zurich.: p. 19.
- Otto, J-Ch., Götz, J., Keuschnig, M., Hartmeyer I., Trombotto D. y Schrott, L. 2010. Geomorphological and geophysical investigation of a complex rock glacier system - Morenas Coloradas valley (Cordon del Plata, Mendoza, Argentina). Geophysical Research Abstracts, EGU2010-3625, Vol. 12.
- Racoviteanu, A.E., Paul, F., Raup, B., Khalsa, S.J.S. y Armstrong, R. 2009. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) workshop, Boulder, Colorado, USA. Annals of Glaciology 50 (53).
- Schellenberger, A., Mailänder, R., Stingl, H., Veit, H. 1998. Investigations on Late Quaternary landscape and climate evolution in the Sierra de Cachi (Province of Salta, NW-Argentina). Terra Nostra 5: 144-145.
- Schrott, L. 1996. Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). Zeitschrift für Geomorphologie NF Suppl.-Bd., 104: p. 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: p. 95-213.
- Trombotto, D. 1991. Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentinie. ("Investigaciones sobre geoformas y sedimentos periglaciales en la 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentina"). Heidelberger Geographische Arbeiten, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg, Alemania (ver en www.geog.uni-heidelberg.de/hga).
- Trombotto, D. 2003. Mapping of permafrost and the periglacial environments, Cordón del Plata, Argentina. Eighth International Conference on Permafrost, ICOP, Zürich, Suiza.
- Tucker, C.J. et al. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 70(3): p. 313-322.
- UNESCO-IASH. 1970. Perennial ice and snow masses. A guide for compilation and assemblage of data for a world inventory. Technical papers in hydrology 1. UNESCO. France. 56 pp.
- Van Everdingen, R. 2005. Multilanguage glossary of permafrost and related ground-ice terms. Boulder, Co: National Snow and Ice data center / World Data Center for Glaciology. 90 pp.
- Vitry, C. 2010. El nevado de Cachi. Tercera edición. Palloni Ediciones (Río Cuarto). 140 pp.

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

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

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

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Ahumada, A. L., Páez, S.V., Ibáñez Palacios, G. 2011. Los glaciares de escombros en la alta cuenca del Río Andalgalá, SE de la Sierra de Aconquija, Catamarca. XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, (Eds. Leanza, Franchini, Impiccini, Pettinari, Sigismondi, Pons y Tunik), Neuquén, Argentina, p: 1266-1267.

Ahumada, A. L., Páez, S.V., Ibáñez Palacios, G. 2013. Los glaciares de escombros en la Sierra de Aconquija. Acta Gelológica Lilloana, Vol. XXV(1-2), p:49-68.

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, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 81: p. 141-154.

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

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

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.

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): p.1-54.

Corte, A. 1978. Rock glaciers as permafrost bodies with debris cover and an active layer. A hydrological approach, Andes de Mendoza, Argentina. Proceedings, Third International Conference on Permafrost, 1: p. 263-269.

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

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): p. 345-350.

Lliboutry, L. 1999. *Glaciers of Chile and Argentina. Satellite image atlas of glaciers of the world. South America*. R.S. Williams y J.G. Ferrigno. Denver, USA, USGS. 1386-I.

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): p. 242-268.

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

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, Neuquén, Año XXIX, Nr. 30*: p. 71-83.

Trombotto, D. y Borzotta, E. 2009. Indicators of present global warming through changes in active layer-thickness, estimation of thermal diffusivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rock glacier, Central Andes of Mendoza, Dry Andes, Argentina. *Cold Regions Science and Technology, Elsevier, The Netherlands*, 55: p. 321-330.

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, Salekhard, Russia, Vol 1*: p. 419-424.

Zemp, M., Zumbühl, H.J., Nussbaumer, S.U., Masiokas, M.H., Espizúa, L.E. y Pitte, P. 2011. Extending glacier monitoring into the Little Ice Age and beyond. *PAGES News*, 19 (2): p. 67-69.

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del río Calchaquí

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

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), 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.
- 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
LT52320772008306COA00	17 noviembre 2008	Base georreferenciación y apoyo en la identificación de manchones de nieve permanentes
LT52320772008322COA00	1 noviembre 2008	Base georreferenciación y apoyo en la identificación de manchones de nieve permanentes

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

Sensor: AVNIR (Advance Visible and Near Infrared Radiometer)

Resolución espacial: 10 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALAV2A255204090	08 noviembre 2010	Base inventario
ALAV2A255204130	08 noviembre 2010	Base inventario
ALAV2A248494120	23 septiembre 2010	Base inventario
ALAV2A181394100	20 junio 2009	Base inventario

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

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

Resolución espacial: 2,5 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALPSMN255204095	11 noviembre 2010	Apoyo en la digitalización de glaciares de escombros
ALPSMN235074125	23 junio 2010	Apoyo en la digitalización de glaciares de escombros

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

Sensor: HRG2

Resolución espacial: 10 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
5 676-400 12/04/07 14:47:52 2 J	07 abril 2012	Base de inventario

7.2. Control de campo en la subcuenca del río Calchaquí

El trabajo de campo en la subcuenca del río Calchaquí fue realizado en dos etapas, en los meses de Octubre de 2012 y Octubre de 2017. En la primera campaña fueron relevados los glaciares ubicados en la zona del Cordón de Cachi, y en el segundo viaje, el trabajo de campo se efectuó en zonas de las laderas occidentales de la Sierra de San Miguel, desde donde se tuvo acceso a la identificación de cuerpos de hielo en el Cordón de Palermo.

En el sector de Cachi se contó con el apoyo logístico de animales para el traslado de las cargas hacia la montaña.



Preparativos para la aproximación al cordón de Cachi. Provincia de Salta. 2012 (Foto: M. Castro).

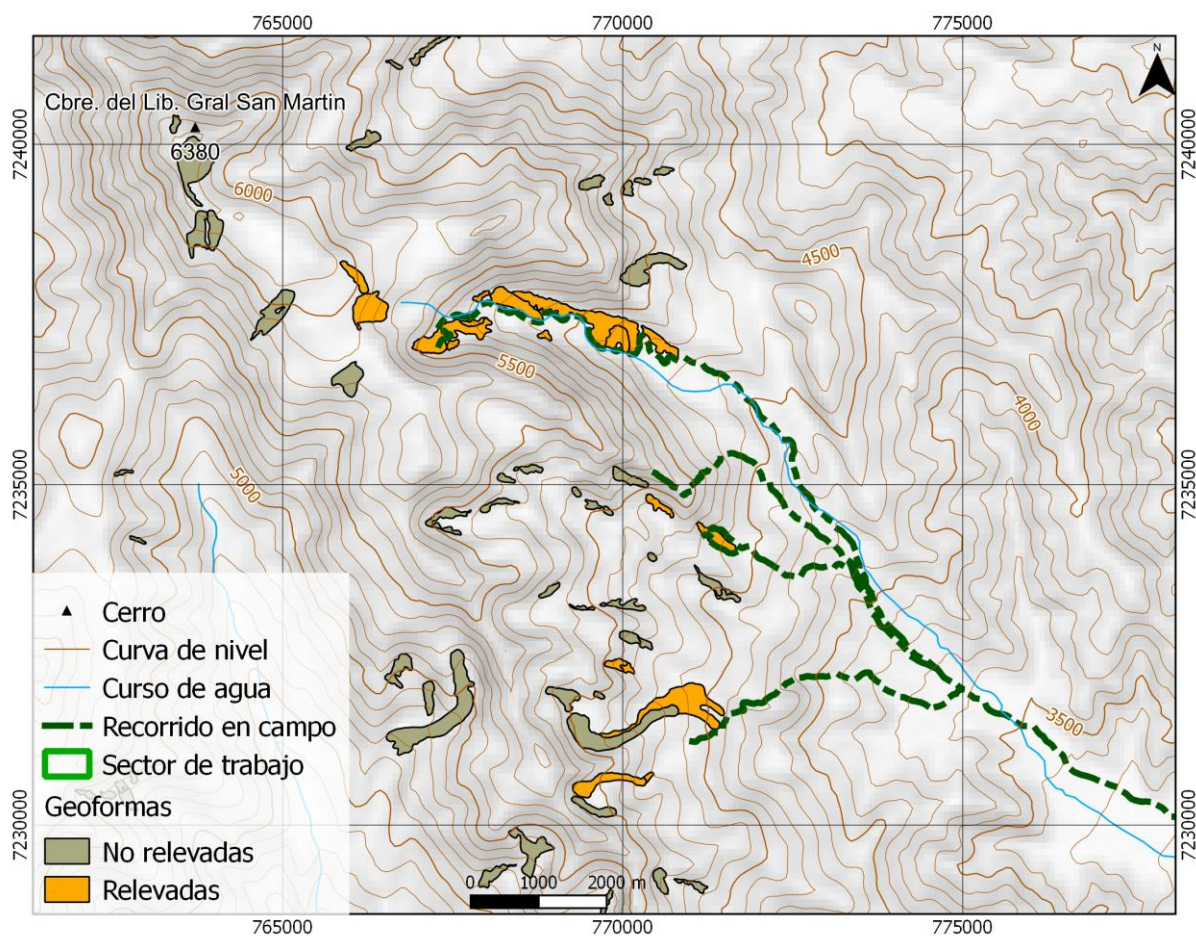
7.2.1 Objetivos

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

7.2.2. Resultados de las geoformas relevadas en terreno

Sector Cordón de Cachi



Glaciares relevados en el terreno. Sector del Cordón de Cachi en la subcuenca del río Calchaquí.

Geoforma G663203O249575S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Se ubica en el valle de aproximación hacia el anfiteatro Kühn. Presenta bloques de gran tamaño dispuestos en forma caótica en superficie; se pueden observar taludes de una inclinación mayor a 35°. Obsérvese las canaletas desde donde se alimenta la crioforma en el sector derecho de la foto.



Geoforma G663203O249575S

Geoforma G293669E24955S

Glaciar de escombros compuesto por una sección activa y otra inactiva. En la parte superior activa se puede observar un talud bien definido con una inclinación de 40°. El sector inferior posee características inactivas como la disposición más estable de las rocas en su superficie y taludes más suavizados. Es importante mencionar que se observó la presencia de vegetación en forma dispersa.





Parte activa de la geoforma G293669E24955S (litología de color claro) sobreimpuesta sobre el sector inactivo de material más oscuro.



Parte activa de la geoforma G293669E24955S. Se observan en la imagen los taludes sobreimpuestos.

Geoforma G663417O249526S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Este cuerpo de hielo presenta las características típicas de este tipo de geoformas; en su talud se determinó una pendiente de 40° , además se observaron procesos de selección vertical del material y las canaletas de avalanchas nivo-detriticas desde donde proviene su alimentación.



Vista de la geoforma G663417O249526S

Geoforma G663466O249518S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Un poco más arriba que la geoforma anterior se encuentra este pequeño glaciar ubicado en la base de una de las laderas sur del anfiteatro Kühn. Se observó un talud con una inclinación de 35° y sobre la superficie algunas crestas y surcos. En la parte superior de la crioforma, en la zona de aporte, se observó la presencia de nieve estacional.



Presencia de nieve estacional en la geoforma G663466O249518S

Geoforma G663506O249582S

Glaciar de escombros activo. Ubicado en la base de la ladera norte del anfiteatro Kühn, este pequeño glaciar de escombros presenta características claras que indican actividad. Su talud posee una inclinación de 35° y sobre su superficie se observó material de gran tamaño que se encuentra dispuesto de forma caótica. En la zona de alimentación se observan grandes afloramientos rocosos y canaletas de avalanchas.



Geoforma G663506O249582S

Geoforma G663508O249570S

Glaciar de escombros de origen criogenico. Ubicado en el circo glaciar conocido como anfiteatro Kühn, este gran glaciar de escombros está dividido en un sector activo y otro mas pequeño inactivo. En la imágen se aprecian los taludes de la parte activa que poseen una inclinacion de 40° . A su vez sobre su superficie se observan crestas y surcos con bloques de gran tamaño dispuestos en forma caótica.



Geoforma 663371O249568S

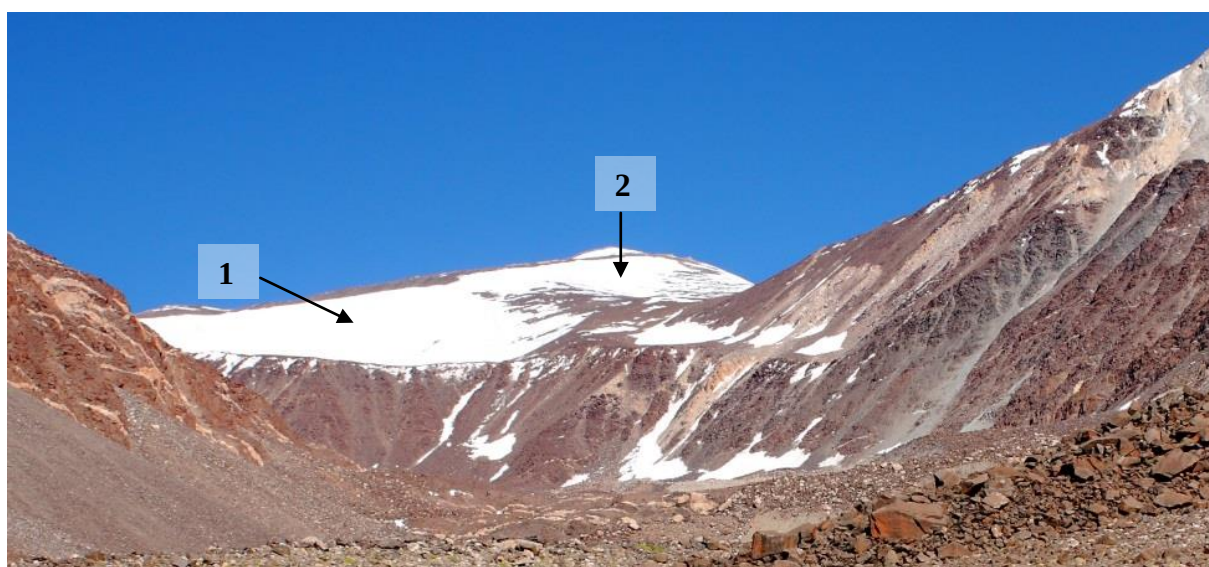
Pequeño glaciar de escombros activo de origen criogenico. Se ubica en la base de una de las laderas norte del anfiteatro Kühn. Se observó un talud frontal mayor a los 35° de inclinación y material de gran tamaño removido en la superficie. En la imagen se aprecian las canaletas de avalanchas de nieve y detrito desde donde nace la geoforma.



Geoforma 663371O249568S

Geoformas G663628O249538S (1) y G663648O249495S (2)

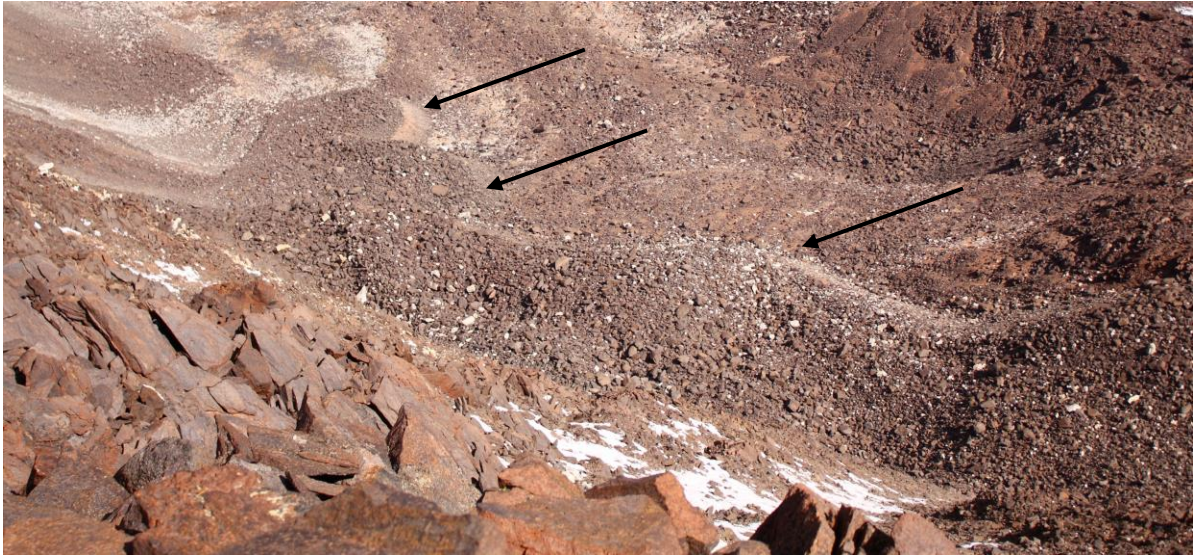
Manchones de nieve perennes ubicados en la parte superior del anfiteatro Kühn, en la ruta de ascenso hacia la cumbre del cerro Libertador Gral. San Martín de 6380 msnm.



Geoformas G663628O249538S y G663648O249495S

Geoforma G663201O249790S

Glaciar de escombros activo. En la imagen se pueden apreciar los bloques de gran tamaño que se encuentran sobre su superficie. Posee taludes con una inclinación mayor a los 35° y se ubica en la base de una de las laderas del cerro Pilar las Pailas desde donde se originan los procesos de aporte de material detrítico. La imagen fue obtenida desde lo alto de la ladera mencionada.



Geoforma G663201O249790S

Geoforma G663116O249833S

Glaciar de escombros activo. En su talud frontal como en los laterales se midió una inclinación promedio de 38° . En esta geoforma es notable destacar los bloques graníticos de gran tamaño (5m) sobre su superficie con claras evidencias de movimiento. Además se accedió hasta su zona de alimentación en donde se pudo visualizar la existencia de un gran canal de avalanchas de detrito y nieve. En su frente fue observada una pequeña laguna.





Imagen frontal de la geoforma G663116O249833S

Geoforma G663253O250004S

Unidad compuesta por una parte activa y otra inactiva. Este glaciar de escombros fue dividido a lo lejos. En la imagen se alcanzan a ver los taludes frontales de la parte más baja e inactiva. Se encuentra emplazado en un pequeño circo desde donde recibe los aportes de material.



Geoforma G663253O250004S

Geoforma G663211O250072S

Unidad compuesta por un sector activo y otro inactivo. Posee un talud de una inclinación mayor a los 35° en su sector activo (señalado en la fotografía). En el sector más bajo e inactivo se observó una superficie suavizada y presencia de vegetación dispersa.



Sector activo (1) e inactivo (2) de la geoforma G663211O250072S

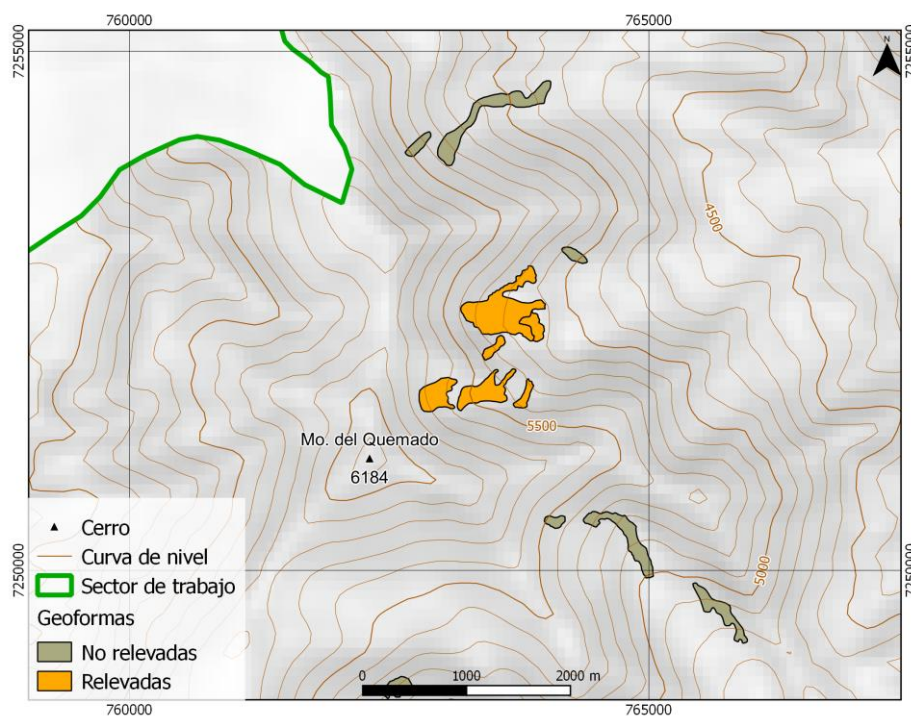
Geoforma G663294O250159S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Posee un talud con una inclinación de aproximadamente 45° en algunos sectores. Se observan en la geoforma procesos de selección de material con bloques de mayor tamaño en superficie.



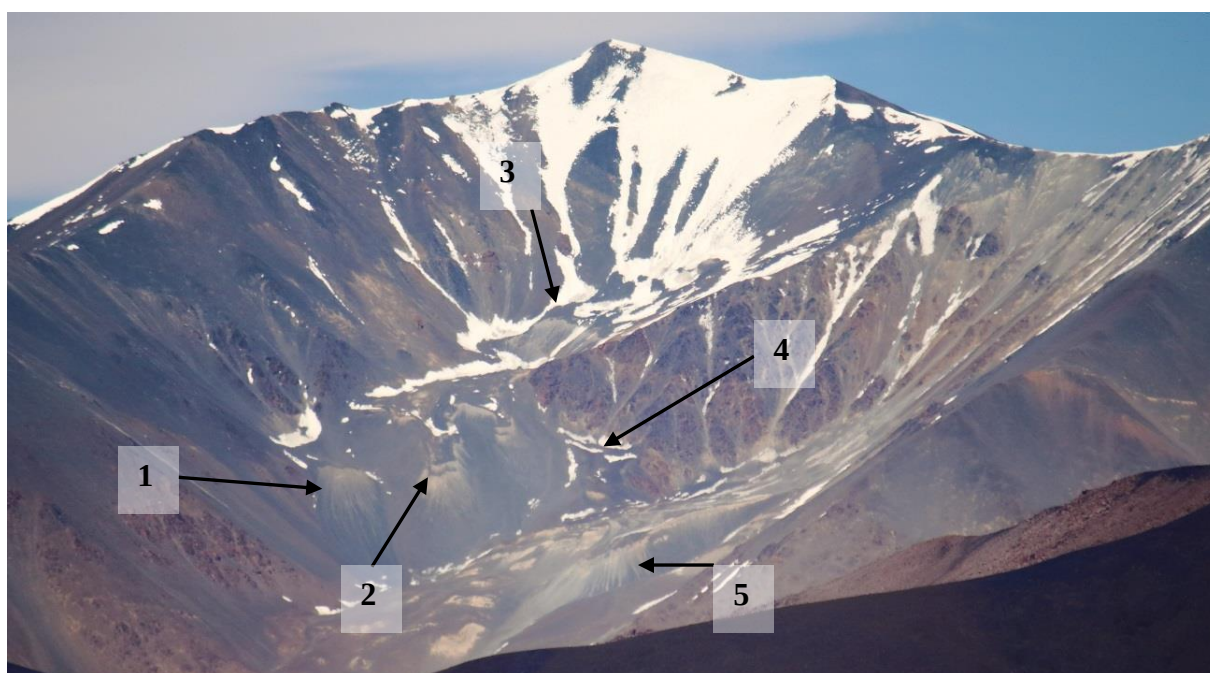
Vista del talud frontal de la geoforma G663294O250159S

Sector Cordón Palermo

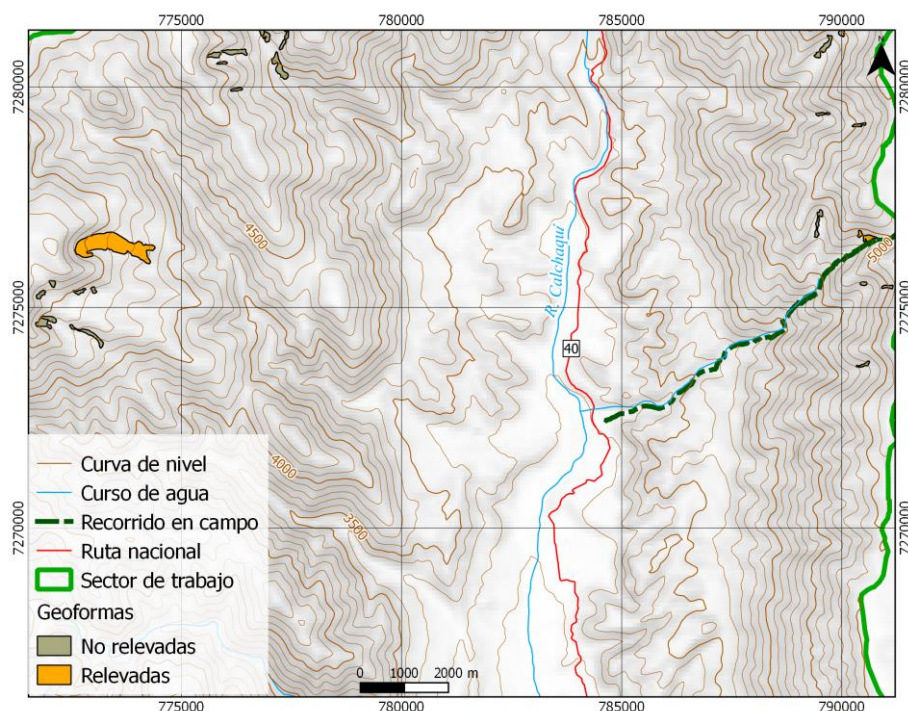


Geoformas G663899O248270S (1) y G663937O248267S (2) G663983O248270S (3) G663929O248229S (4) y G663917O248197S (5).

Glaciares de escombros activos de origen criogénico. Si bien la corroboración de estas geoformas se realizó a distancia, en la imagen se puede observar el gran talud que poseen estos glaciares de escombros. Es importante destacar que se encuentran ubicados en las laderas del cerro Morro del Quemado a una altura aproximada de 5200 msnm.

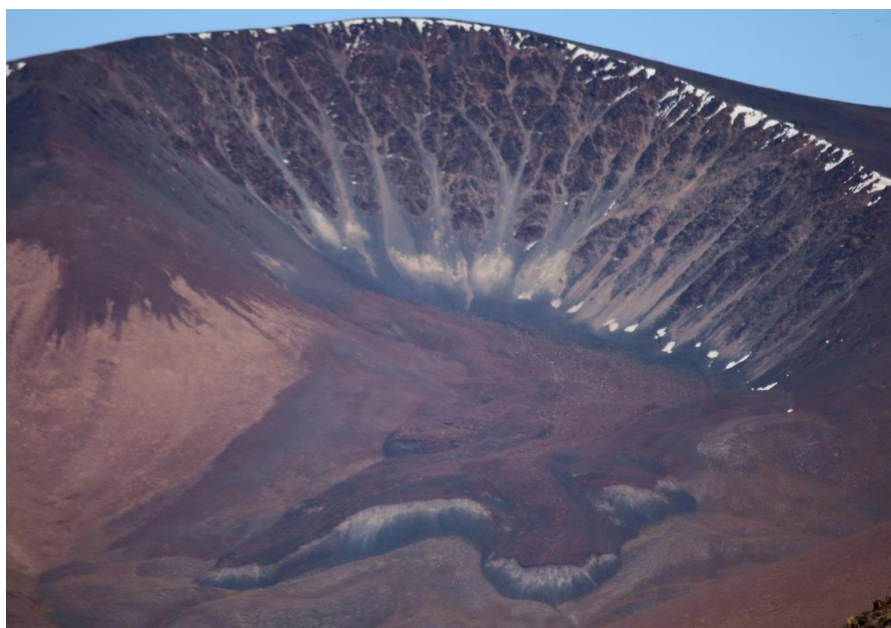


Sector norte del Cordón Palermo y Sierra de San Miguel



Geoforma G663294O250159S

Glaciar de escombros activo criogénico. Es uno de los glaciares de escombros más grandes e impactantes de la subcuenca. Está ubicado en un circo con gran cantidad de canaletas de avalanchas de nieve y detrito desde donde se originan los procesos para su desarrollo. Se observan importantes taludes en su frente y en sus laterales, así como procesos de selección vertical del material, crestas y surcos en superficie.



Vista panorámica de la geoforma G663294O250159S

Geoforma G661301O245976S

Glaciar de escombros criogénico activo. Se encuentra ubicado en la vertiente occidental de la Sierra de San Miguel. Se observaron taludes con una inclinación mayor a 35° y selección de material en los perfiles. Además en sus nacientes se distingue con claridad las canaletas desde donde proviene el material detrítico.



Vista de los taludes de la geoforma G661301O245976S

Geoforma G661320O245968S

Pequeño glaciar de escombros activo ubicado en una de las laderas de orientación sur de la quebrada recorrida en la Sierra de San Miguel. Esta geoforma se encuentra en un estado de equilibrio en la ladera, sin alcanzar el fondo del valle, posee un talud de gran inclinación (mayor a 35°) y en su superficie se observaron algunos surcos.



Vista del talud de la geoforma G661320O245968S

7.3. Descripción de la base de datos

La base de datos del inventario se compone de 38 campos que se detallan a continuación:

1. **Provincia**
2. **Cuenca**
3. **Subcuenca**
4. **Código cuenca**

Esta columna provee información sobre la provincia, cuenca y subcuencas de cada una de las geoformas inventariadas. Un ejemplo de la codificación se muestra a continuación:

M0550000

El primer dígito corresponde a la provincia, codificada según normativa ISO 3166 (Ejemplo: M = Mendoza, U = Chubut).

Los siguientes tres dígitos corresponden al código de la cuenca principal, el cual ha sido establecido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH). (Ejemplo 055 = Mendoza, 100 = Cuencas varias de Antártida e islas del Atlántico Sur, incluidas Islas Malvinas).

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

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

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

GD-Glaciér descubierto: cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recrystalización 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.

7. **ID_GLIMS:** es el código de identificación del glaciar que sigue las normas internacionales propuestas por GLIMS, el nombre del glaciar está dado por las coordenadas geográficas de un punto dibujado en su interior. En este código la longitud está referida al Este.

8. **Nombre común:** si lo hubiere.

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

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.

10. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta

3. Cuenca simple
4. Circo
5. Nicho
6. Cráter
7. Colgante
8. Grupo
9. Remanente

11. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

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

14. Actividad de la Lengua

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

15. Morena_1

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

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

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

- 0. Incierto
- 1. Unidad: formado por un único glaciar de escombros.

2. Multiunidad: formado por varios glaciares de escombros, pueden ser coalescentes o sobrepuestos.

22. Estructura II

0. Incierto

1. Una raíz: una única fuente de alimentación.

2. Multiraíz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.

23. Longitud: coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).

24. Latitud: coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).

25. Área: área de cada polígono expresada en km².

26. Largo_total: largo de cada unidad, considerando la línea de flujo más larga de todo el glaciar, desde la zona más alta, atravesando la unidad hasta el frente de la misma, siempre lo más perpendicular posible a las curvas de nivel. Se expresa en metros (m).

27. H_max_total: Altura máxima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

28. H_med_total: Altura media total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

29. H_min_total: Altura mínima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

30. Pendiente: (Se expresa en grados).

31. Orientación: Correspondiente a los 8 puntos cardinales.

32. H_max_parcial: Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

33. H_med_parcial: Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

34. H_min_parcial: Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).

35. Img_ba_F: Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.

36. Img_ba_S: tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc.).

37. Img_ap_F: Fecha de la imagen de apoyo utilizada.

38. Img_ap_S: tipo de sensor que capta la imagen de apoyo empleada.



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



CONICET

U. N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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

