



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA | U.N. CUYO
GOBIERNO |
CONICET | DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de la subcuenca
de los ríos Agrio y Covunco
Cuenca del río Neuquén**

Provincia del Neuquén

Manchón de nieve sobre el cordón norte del Volcán Copahue (Foto: J. P. Scarpa)

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

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

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

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

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

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

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Director técnico: Lic. Laura Zalazar

Profesional: Ing. Melisa Giménez

Colaboradores: Lic. Lidia Ferri Hidalgo, Téc. Juan Pablo Scarpa y Lic. Ivanna Pecker Marcosig

Mayo 2018

*La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial establecida por el PEN a través del
Instituto Geográfico Nacional por Ley 22963 y ha sido aprobada por Expte. N°GG 17 0558/5, de
fecha 07 de junio de 2017*

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes.....	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario	8
4.	Materiales y métodos.....	10
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	11
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	11
4.3.	Delimitación del hielo descubierto	13
4.4.	Digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros.....	14
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas	14
4.6.	Control de campo.....	18
5.	Resultados.....	19
5.1.	Cuerpos de hielo de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.....	19
5.2	Control de campo.....	23
6.	Bibliografía.....	24
7.	Anexos	27
7.1.	Imágenes utilizadas en el Inventario de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco	27
7.2.	Control de campo de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco	29
7.2.1.	Objetivos.....	29
7.2.2.	Resultados. Geoformas relevadas	29
7.3.	Descripción de la base de datos	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bosquejo de los glaciares de la cara sureste del volcán Domuyo, Groeber 1947.....	6
Figura 2: Mapa de inventario de glaciares de la zona del volcán Domuyo, Falaschi et al. 2016....	7
Figura 3: Subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, cuenca del río Neuquén, en la provincia homónima.	10
Figura 4: Delimitación de hielo descubierto obtenido a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.....	13
Figura 5: Ejemplo de la importancia que tienen las imágenes de alta resolución espacial para delimitar glaciares cubiertos y glaciares de escombros. A la izquierda puede observarse, en una imagen ALOS de 10 m de resolución espacial, dos glaciares de escombros. A la derecha las mismas crioformas, con mucha mayor definición, en una imagen SPOT de 5 m de resolución espacial..	14
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).	16
Figura 7: Diagrama de flujo de la metodología usada.	17
Figura 8: Inventario de glaciares de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.....	20
Figura 9: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.	21
Figura 10: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.	21
Figura 11: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, clasificada en categorías de acuerdo al tamaño de cada unidad.	22
Figura 12: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes satelitales utilizadas como base para realizar el inventario de cuerpos de hielo de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco (ver anexo 7.1. para mayor información).	12
Tabla 2: Superficie total inventariada en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.	19
Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.	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

GE: Glaciar de escombros

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media de la geoforma

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales

IPA: International Permafrost Association

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil

LANDSAT: Serie de satélites de observación terrestre manejados por la NASA y el USGS

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

NASA: National Aeronautics and Space Administration (Estados Unidos)

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 de Argentina

USGS: United States Geological Survey

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 (glaciares Torre, Piedras Blancas y de los Tres, entre otros) constituyen otros ejemplos de importantes atractivos turísticos dentro del mismo Parque Nacional, realzando las imponentes vistas del cerro Torre y Monte Fitz Roy o Chaltén. 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 del calentamiento que ha experimentado la superficie terrestre 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. 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 3° — Inventario. *Créase el Inventario Nacional de Glaciares, donde se individualizarán todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.*

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

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

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

El IANIGLA por disposición transitoria (Artículo 15) de la Ley 26.639, creó el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución” (IANIGLA, 2010), en donde se desarrolla la estrategia para la realización del Inventario Nacional de Glaciares. La misma cuenta con tres niveles, de menor a mayor detalle de información. El objetivo del nivel 1 es el Inventario Nacional de Glaciares propiamente dicho, es decir la identificación y caracterización de todos los glaciares y crioformas del ambiente periglacial que actúan como reservas hídricas estratégicas en la República Argentina. El nivel 2 tiene como objetivo conocer la variación temporal de los glaciares y crioformas a lo largo del país. Mientras que el objetivo del nivel 3 es establecer los factores ambientales que regulan el comportamiento y determinar la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina.

El presente informe del Inventario Nacional de Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1 en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, cuenca del río Neuquén. Con el fin de facilitar las tareas de inventario, la cuenca hidrográfica del río Neuquén fue dividida en dos subcuencas: río Neuquén norte (10.776 km²) y ríos Agrio y Covunco (14.830 km²).

En este inventario 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.

La cuenca del río Neuquen se encuentra en la zona norte de la provincia homónima, en la región de los Andes del Norte de la Patagonia Argentina, posee un área aproximada de 25.606 km² y se ubica dentro de 9 departamentos: Andacollo, Chos Malal, Buta Ranquil, El Huecu, Loncopue, Añelo, Las Lajas, Zapala y Neuquén. Su cobertura geográfica se extiende desde los 36°17'30" S en el extremo norte hasta los 39°12'15" S en el sur, y desde los 71°12'46" O en su extremo oeste hasta los 69°55'15" O en su extremo este, con un desarrollo predominantemente norte – sur, y de vertiente Atlántica.

El trabajo de identificación de glaciares y glaciares de escombros en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, cuenca del río Neuquén, fue elaborado en noviembre de 2016 y aprobado según resolución N°RESOL-2017-581-APN-MAD del 30 de agosto de 2017, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

2. Antecedentes

Los glaciares de los Andes del norte de la Patagonia (36°-45°S) han sido mucho menos estudiados que los glaciares de otras regiones andinas de Argentina. El norte de la Patagonia posee una gran variedad de ambientes y glaciares de tamaño medio a chico con mucho potencial para la investigación científica, pero en la actualidad sólo existe información detallada para un escaso número de glaciares.

Rabassa et al., (1978) presentaron el primer inventario preliminar de glaciares de los Andes del norte de la Patagonia argentina en base a fotografías aéreas del año 1972 y datos de campo del año 1978. En el mismo identificaron un total de 235 glaciares entre los 39°S y los 42° 20'S. Estos autores señalan que este número de glaciares corresponde aproximadamente al 15% del total real de glaciares en esta zona. En total estos 235 glaciares representa un área englazada total de 138,88 km², la mayor parte de ellos en los volcanes Tronador y Lanín (en la provincia del Neuquén) (Rabassa et al. 1981). Según estos autores los glaciares más comunes son del tipo de montaña, con numerosos cuerpos de hielo y nieve, pequeños y aislados, y solo algunos glaciares de valle y descarga, los cuales se concentran principalmente en los aparatos volcánicos. Cerca del 90% de los glaciares (211 de 235 inventariados) tenían menos de 1 km² de extensión. El 91% de los mismos tenía una elevación media entre los 1.600 y 2.300 msnm. Rabassa et al. (1981), a partir de una combinación de observaciones directas y derivadas de fotografías aéreas, también realizaron el primer estudio de la distribución de la altura de la línea de nieve para fines de verano de 1978. En el mismo encontraron un fuerte gradiente oeste-este.

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

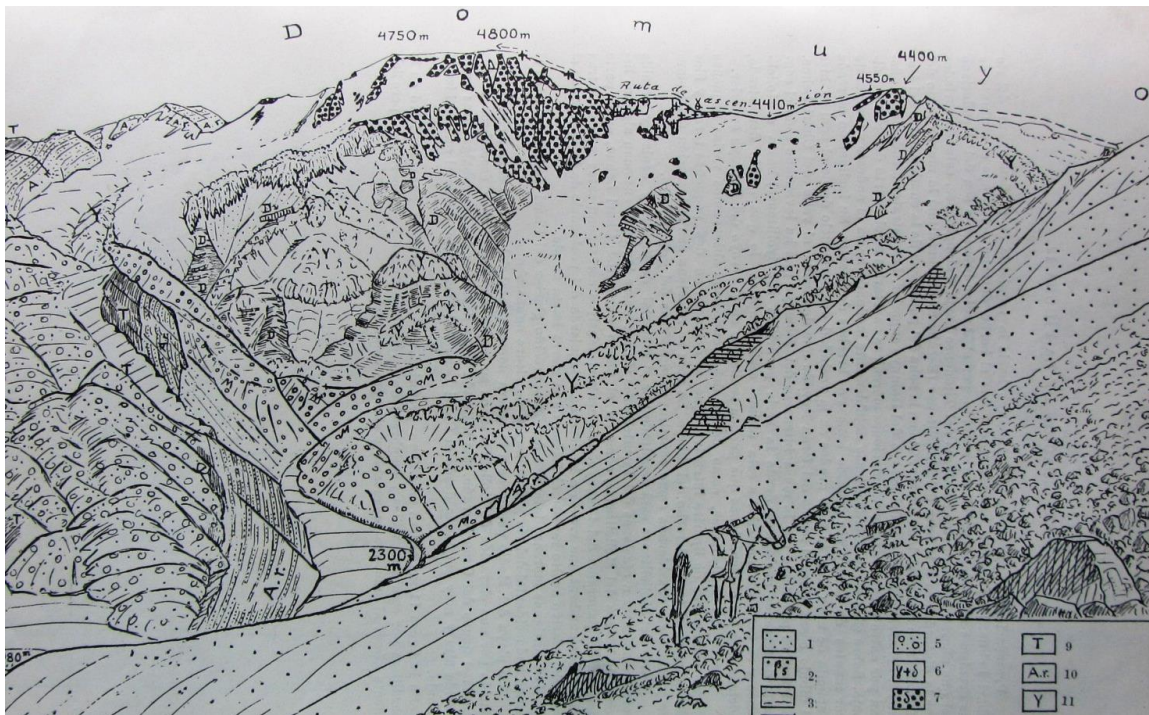


Figura 1: Bosquejo de los glaciares de la cara sureste del volcán Domuyo, Groeber 1947.

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

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

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

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

En el año 2015 Daniel Falaschi realizó su Tesis Doctoral con el objeto de estudiar los glaciares y glaciares de escombros en tres regiones montañosas a lo largo de la Cordillera de los Andes Argentina, una de estas regiones refiere al Volcán Domuyo (36° 38' S, 70° 25' O) que es el sector con mayor concentración de glaciares en la cuenca del río Neuquén. En este trabajo se evaluaron imágenes satelitales ópticas y modelos digitales de elevación de diferente resolución espacial para la identificación de los cuerpos de hielos. Como resultado en la zona de interés se contabilizaron 112 glaciares equivalentes a 25,6 km² de hielo. Entre 1990 y 2008, se registró una pérdida de 8,86 km² de hielo, lo cual representa una reducción de ~25,6% aproximadamente en un período de 19 años, es decir 0,46 km² ó ~1,3%por año. Se identificaron 133 (10,5 km²) glaciares de escombros y 40 (0,5 km²) lóbulos de talud intactos, de los cuales 68 (5,8 km²) y 21 (0,3 km²) respectivamente fueron clasificados como activos (Falaschi, 2015).

Legend

- summit
- weather station
- river/creek
- 500 m contour
- moraine crest
- glacier/permanent snowfield
- debris-covered glacier
- active rock glacier
- inactive rock glacier
- fossil rock glacier
- lake/lagoon

6 3 0 6 km

1:250,000

N
W E
S

The map displays the Cordillera del Viento region, characterized by numerous peaks and glacial features. Key peaks include Crestón 3620, Pirámide 3041, La Puntilla 2916, Las Papas 3005, Vn. Domuyo 4702, Coyuco 3249, Chenque Mallín 3555, Butalón 2986, and Polco 2932. Glacial features are color-coded: blue for glaciers/permanent snowfields, dark blue for debris-covered glaciers, brown for active rock glaciers, light brown for inactive rock glaciers, and orange for fossil rock glaciers. Rivers and creeks are shown in light blue, and lakes/lagoons in grey. The map includes a legend, a scale bar (0-6 km), a north arrow, and a scale of 1:250,000. The map is framed by coordinates from 350,000 to 410,000 Easting and 592,000 to 599,000 Northing.

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 de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, cuenca del río Neuquén.

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

Glaciar (descubierto y cubierto): Cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve, con o sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no (*) y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea).

(*): Dentro de esta definición de glaciar se incluyen a los *manchones de nieve permanentes/glaciaretas* que como no tienen evidencia de movimiento, en general no se consideran glaciares. Sin embargo, dado que los manchones de nieve permanentes o glaciaretas son reservas significativas de agua en estado sólido, se han incluido en el inventario.

Glaciar de escombros: Cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 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 glacigénico (ambiente periglacial) en base a sensores remotos, en particular si no se cuenta con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada “glaciar cubierto con glaciar de escombros” que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

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

4. Materiales y métodos

La ejecución del Inventario Nacional de Glaciares sigue las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS, 1967 y posteriores; UNESCO-IAHS, 1970; Müller, 1977), el programa World Glacier Inventory (WGI), las 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 se focaliza en el inventario de los cuerpos de hielo de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, cuenca del río Neuquén (Figura 3). El río Neuquén nace en el Cajón de los Chenques, en la Cordillera del Límite y recibe al río Varvarco, su principal afluente por margen izquierda, emisario de la laguna Varvarco Campos. Los mayores caudales le llegan desde el ámbito cordillerano a través del río Trocomán y del caudaloso Agrio (SSRH)¹.

La subcuenca de los ríos Agrio y Covunco (14.830 km²) se ubica al sur de la cuenca y se extiende desde los 37°47'13" S en el extremo norte hasta los 39°12'15" S en el sur, y desde los 71°10'58" O en su extremo oeste hasta los 69°55'15" O en su extremo este. En el límite norte se encuentran las divisorias de agua de los ríos Trocoman (pertenciente a la subcuenca del río Neuquén Norte) y el río Agrio, que drena en dirección norte a sur, estas divisorias de agua refieren al cordón del Cerro Trolon (2.505 msnm). Al sur de la subcuenca se encuentran los ríos Covunco y Santo Domingo, tributarios del río Neuquén.

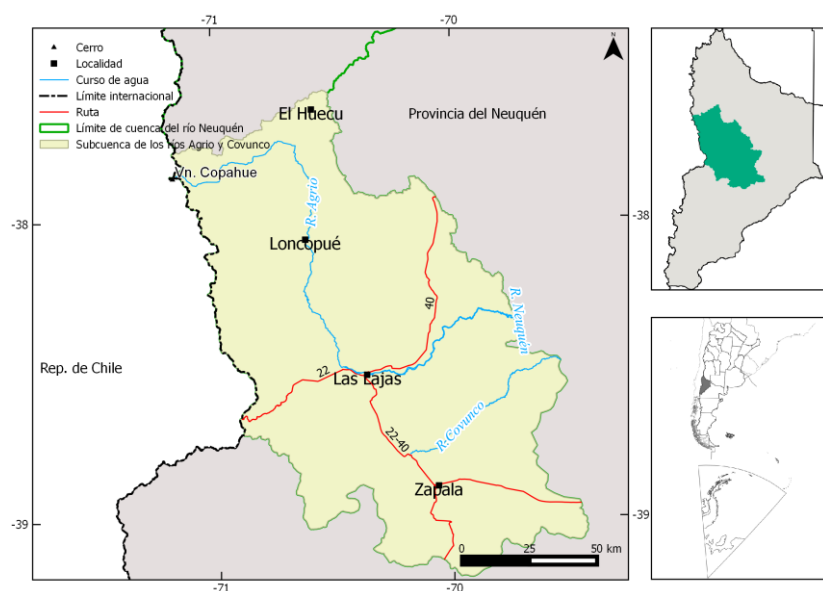


Figura 3: Subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, cuenca del río Neuquén.

¹ http://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/pdf/62_nueva.pdf

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

La delimitación de cuencas hidrográficas se basó en información proveniente de modelos digitales de elevación (MDE). Los MDE generalmente recomendados para trabajos de mapeo e inventario de glaciares son el SRTM (90 m de resolución espacial) originado en imágenes de radar, y el GDEM (30 m de resolución espacial) desarrollado en base a imágenes estereoscópicas ASTER. Entre éstos, se decidió trabajar con el GDEM v2 por presentar una mejor resolución espacial, lo que permitió delinear con mayor nivel de detalle las cuencas hidrográficas en la zona de estudio.

El programa QGIS (software libre)² fue utilizado para delimitar automáticamente las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de GDEM v2. Para ello se emplearon las herramientas de “eliminación de sumideros”, “análisis de cuencas”, “delimitación de las áreas de acumulación”, “dirección de drenaje”, “segmentos de corrientes” y finalmente la “delimitación de cuencas”. Luego de transformar el resultado de esta delimitación a formato vectorial, se utilizó el programa QGIS (software libre)³ para la edición y corrección manual de algunos sectores de las cuencas con pequeñas discrepancias entre el límite identificado automáticamente y las evidencias observadas en las imágenes disponibles.

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 la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco se utilizó como base imágenes ASTER VNIR y LANDSAT TM, aunque se revisaron y utilizaron como apoyo las imágenes disponibles en el programa Google Earth (ver anexo 7.1. donde se adjunta información de todas las imágenes empleadas para la realización de este inventario).

² <http://www.qgis.org>

³ <http://www.opengis.es/>

Tabla 1: Imágenes satelitales utilizadas como base para realizar el inventario de cuerpos de hielo de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco (ver anexo 7.1. para mayor información).

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2028042954	18 febrero 2005
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2072131351	05 marzo 2008
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2072134371	05 marzo 2008
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2078789432	27 marzo 2010
LANDSAT TM5	LT52320872009084COA01	25 marzo 2009

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 obtenidas gratuitamente del 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 ASTER utilizadas como base para la delimitación de los cuerpos de hielo tienen una muy buena ortorrectificación (Fujisada et al. 2005) por lo que se emplearon sin tener que realizar ningún tipo de corrección

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 (ver Figura 4).

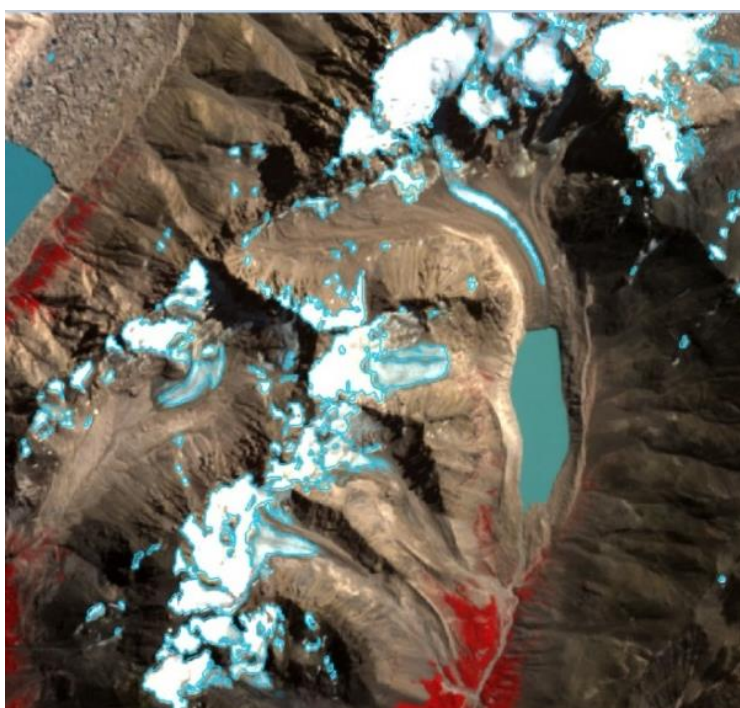


Figura 4: Delimitación de hielo descubierto obtenido a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

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 hielo cubierto y glaciares de escombros

Para el mapeo de sectores de glaciares cubiertos por detritos y glaciares de escombros la digitalización manual sigue siendo la metodología más utilizada a nivel internacional (Stokes et al. 2007; Racoviteanu et al. 2009). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo (Figura 5). En la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, los cuerpos con cobertura detrítica también fueron delimitados manualmente utilizando el programa QGIS sobre las imágenes de base. A modo de complemento, también se utilizaron las imágenes y vistas en perspectiva disponibles en Google Earth© (Anexo 7.1.).

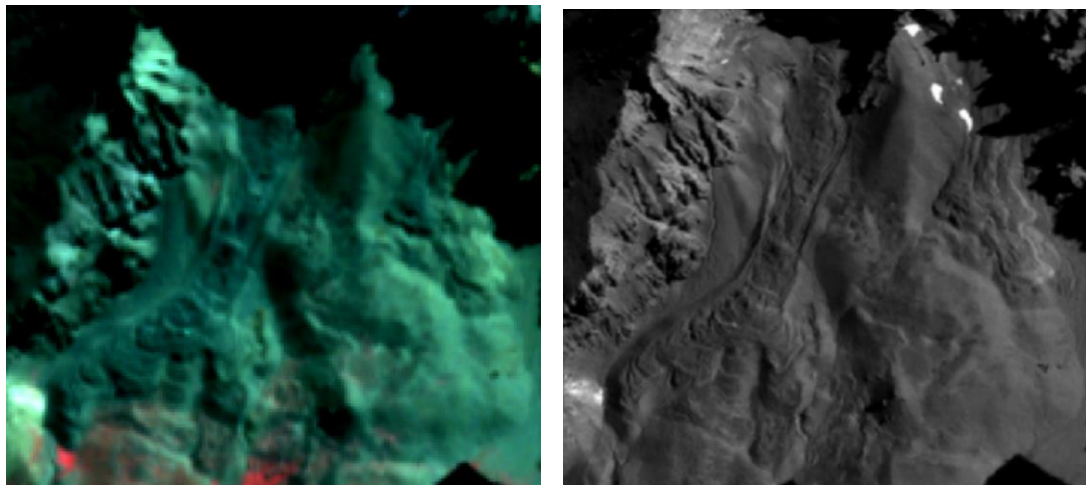


Figura 5: Ejemplo de la importancia que tienen las imágenes de alta resolución espacial para delimitar glaciares cubiertos y glaciares de escombros. A la izquierda puede observarse, en una imagen ALOS de 10 m de resolución espacial, dos glaciares de escombros. A la derecha las mismas crioformas, con mucha mayor definición, en una imagen SPOT de 5 m de resolución espacial.

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco incluye la identificación de cada uno de los glaciares, su clasificación morfológica, y parámetros de índole física tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total (ver Anexo 7.3.). La base de datos también se construyó con el programa QGIS.

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

La clasificación 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. Glaciar de descarga
5. Glaciar de valle
6. Glaciar de montaña
7. Glaciarete 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 ($-70.536+360 = 290.768$). 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-cuencas donde se encuentra el cuerpo de hielo inventariado.

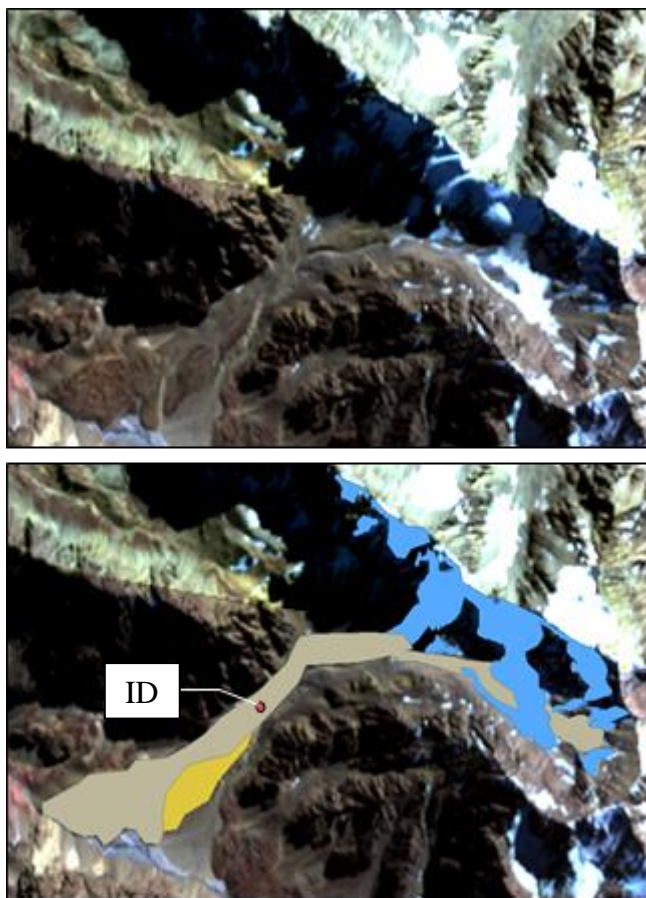


Figura 6: Ejemplo de una unidad compuesta vista en un mosaico de imágenes ASTER (arriba), y con todas las subunidades que la componen digitalizadas (abajo). El punto rojo en el centro de la unidad se utilizó para obtener las coordenadas geográficas de la misma. Todas las subunidades tienen el mismo código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

La Figura 7 presenta un resumen gráfico de las tareas metodológicas realizadas en el inventario de cuerpos de hielo.

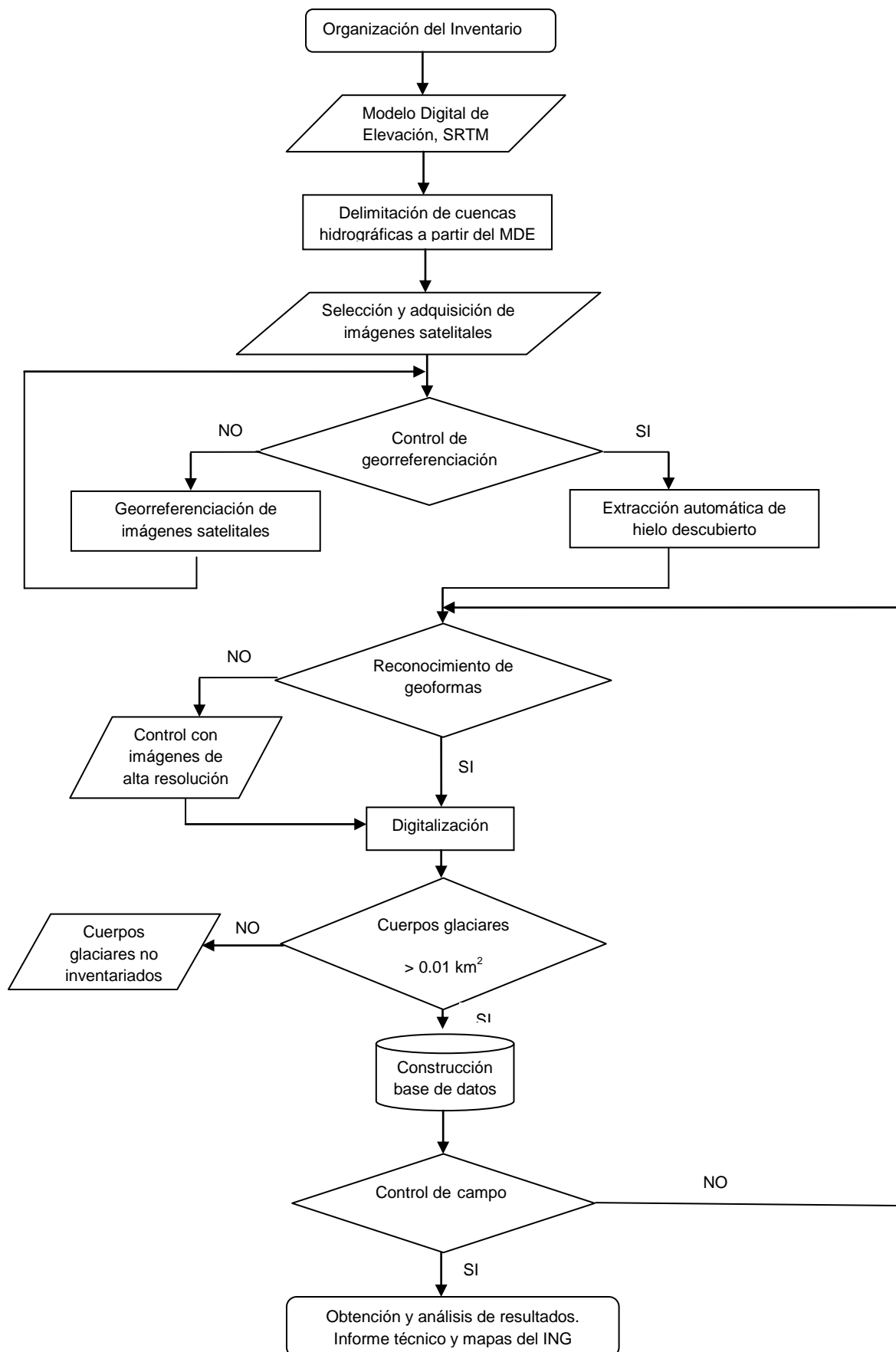


Figura 7: Diagrama de flujo de la metodología usada.

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 se existe o se tiene muy poca información. Además de obtener datos 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. Cuerpos de hielo de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco

La superficie de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco es de aproximadamente 14.830 km², de los cuales el 0,01% (1,55 km²) está cubierta por cuerpos de hielo (Tabla 2 y Figura 8). En total se identificaron 27 glaciares.

Tabla 2: Superficie total inventariada en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar descubierto	0,65
Manchones de nieve/glaciaretes	0,85
Glaciar cubierto	0,05
Total	1,55

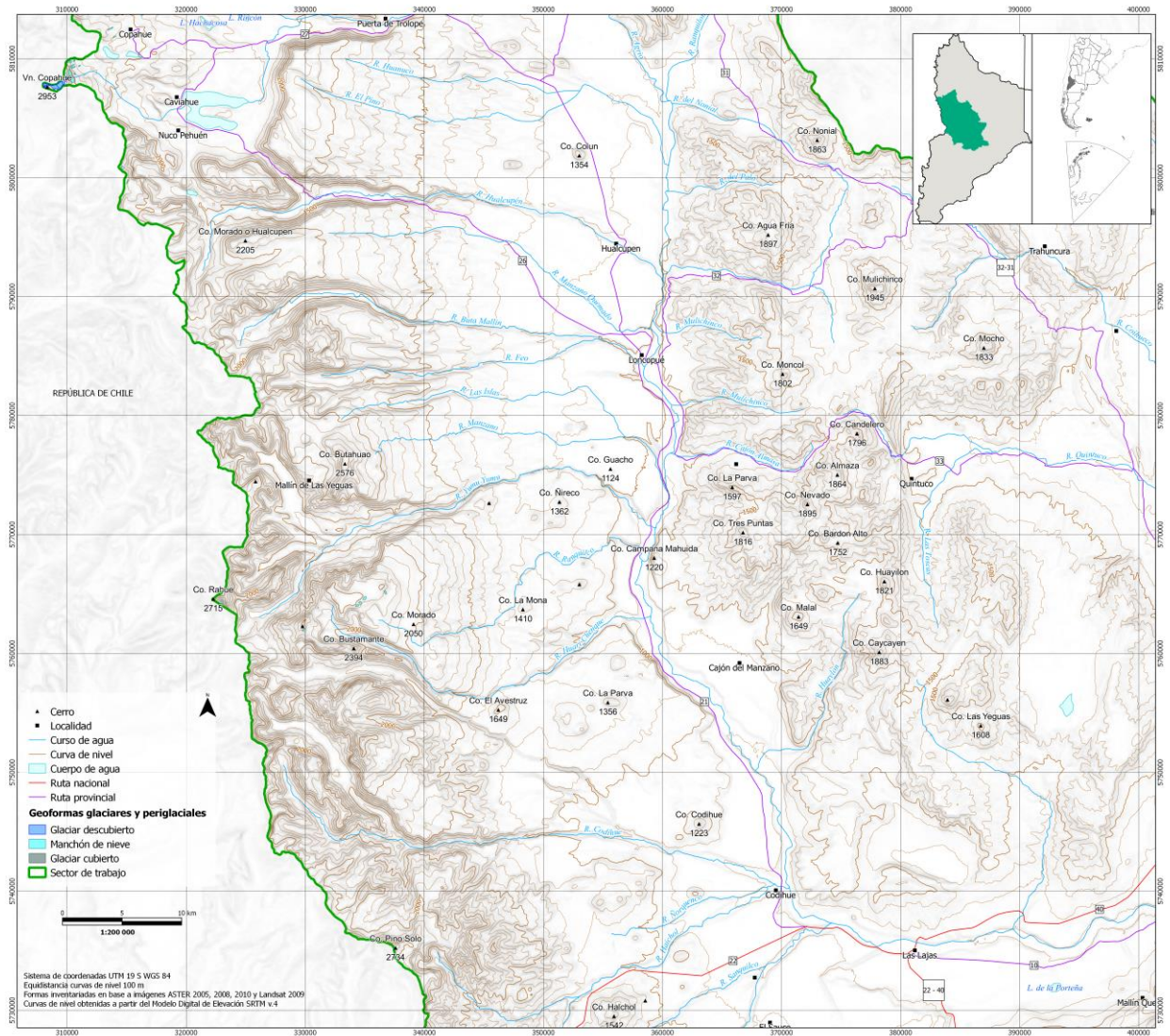


Figura 8: Inventario de glaciares de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.

En cuanto al número de polígonos se identificaron principalmente manchones de nieve que aportan más del 50% del área total englazada, luego se identificaron dos glaciares descubiertos que aportan un poco más del 40% y un glaciar cubierto (Figura 9).



Figura 9: Tipos de cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca de los ríos Agrío y Covunco.

La orientación predominante de las geoformas inventariadas es sureste y este (Figura 10).

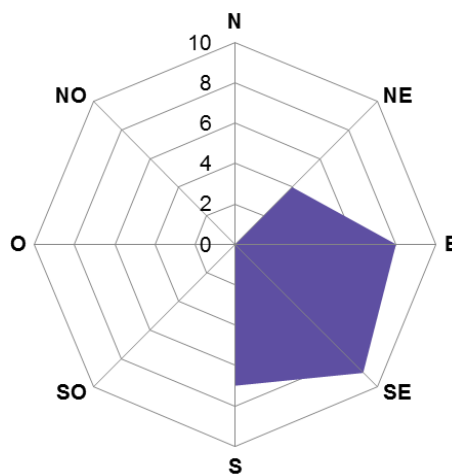


Figura 10: Orientación predominante de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca de los ríos Agrío y Covunco.

De las 27 geoformas identificadas, más del 80% se encuentran entre los 0,01 y 0,05 km², aportando un 34% al área mapeada. Las geoformas de menor tamaño (menores a 0,05 km²) representan el 74% de los cuerpos inventariados pero solo cubren el 22% del área mapeada. Los cuerpos con un área entre 0,05 y 0,5 km² contribuyen en un 33% y los tres glaciares de mayor superficie (7,61 km²) representan casi la mitad del área total inventariada (42%) (Figura 11).

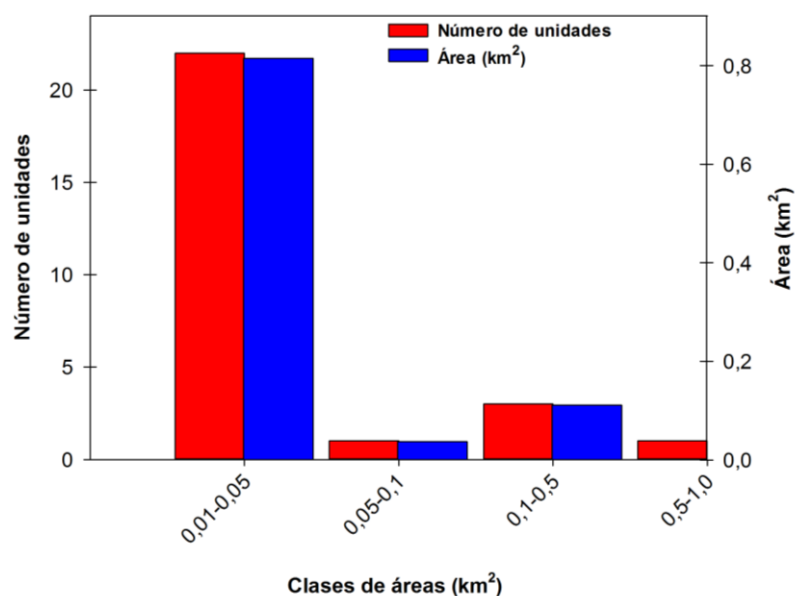


Figura 11: Distribución del número y superficie cubierta de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, clasificada en categorías de acuerdo al tamaño de cada unidad.

Tabla 3: Alturas mínimas y máximas de los distintos tipos de crioformas en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.

Tipo de geoforma inventariada	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	2.734	2.954
Manchones de nieve/glaciaretos	2.075	2.669
Glaciar cubierto	2.890	2.902

Los manchones de nieve presentan el mayor rango altitudinal en comparación con el resto de las geoformas inventariadas. Los glaciares descubiertos presentan el mayor límite superior y el único glaciar cubierto identificado se encuentra a una altura media de 2896 msnm (Figura 12).

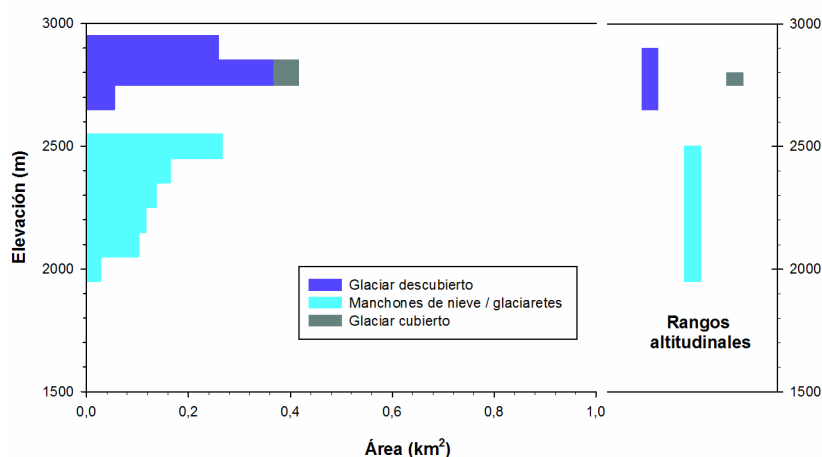


Figura 12: Distribución altitudinal (hipsometría) de los distintos cuerpos de hielo en la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco.

5.2 Control de campo

Durante los meses de febrero y marzo de 2017 se realizó el control de campo en varios sectores de la cuenca del río Neuquén. Con respecto a la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco se visitó la zona del Volcán Copahue y el cerro Morado. Se observó el 41 % de las geoformas inventariadas de los cuales 8 manchones de nieve ya no se encuentran en el terreno.

6. Bibliografía

- Arenson, L. y Jakob, M. 2010. The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes – A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 286 - 288.
- Azócar, G.F. y Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 42 - 53.
- Barsch D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *Third International Conference on Permafrost, Proceedings 1*, 349-353 p. Ottawa, Canada.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, 331 p. Berlin.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16, 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 54 - 66.
- Camara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Garrido, J. 1996. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403.
- Cogley, J.G., Hock, R., Rasmussen, L.A., Arendt, A.A., Bauder, A., Braithwaite, R.J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson L. y Zemp, M. 2011. Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157 158.
- Corte, A. y Espizúa L.E. 1981. *Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza*. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.
- Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P. y Villalba R. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. *International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS*.
- Falaschi, D. 2015. Tesis doctoral: Identificación, caracterización y dinámica de las geoformas glaciales y periglaciales en la Cordillera de los Andes a través de sensores remotos. Director de Tesis: Dr. Mariano Masiokas Codirectora: Dra. Emilia Yolanda Aguilera. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

Falaschi, D., Masiokas, M., Tadono, T. and Couvreur, F. 2016. ALOS-derived glacier and rock glacier inventory of the Volcán Domuyo region (~36° S), southernmost Central Andes, Argentina. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 14 p.

Fujisada, H., G.B. Bailey, G.G. Kelly, S. Hara, M.J. Abrams. 2005: ASTER DEM performance, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43, 2707-2714.

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

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

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

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

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

Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitt. d. Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, Vol. 77, 142 p.
IANIGLA. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución, (2010) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza.

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

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.

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

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

Otto, J-Ch., Götz, J., Keuschnig, M., Hartmeyer I., Trombotto D. y Schrott, L. 2010. Geomorphological and geophysical investigation of a complex rock glacier system - Morenas Coloradas valley (Cordon del Plata, Mendoza, Argentina). *Geophysical Research Abstracts*, EGU2010-3625, Vol. 12.

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

Rabassa, J. 1981. Inventario de glaciares y cuerpos de nieve en los andes patagónicos septentrionales, Argentina. VIII Congreso Geológico Argentino, Prov. de San Luis. Actas IV (109-122).

Rabassa, J., 2007. Global climate change and its impacts on the glaciers and permafrost of Patagonia, Tierra del Fuego and the Antarctic Peninsula. In: Leite, P., Costa, W., Hidalgo, L., (Eds.), A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America. Institute of Advanced Studies IEA/USP, São Paulo, Brasil, pp 21–39.

Rabassa, J., S. Rubulis, J. Suarez. 1978. Glacier inventory of the northern Patagonian andes, Argentina, Between Latitude 39°00' and Latitude 42°20' S. Río Negro, Argentina. Fundación Bariloche.

Rau, F., F. Mauz, S. Vogt, Khalsa, S.J.S., B. Raup. 2005. Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual. http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf.

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.

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"). Heidelberg Geographische Arbeiten, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg, Alemania.

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

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

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

WGMS-UNEP, 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.

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el Inventario de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el Inventario de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco, cuenca del río Neuquén.

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) - ETM (Enhanced Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52320872009084COA01	25 marzo 2009	Base georreferenciación e imagen de base para MN
LT52320862011058COA01	27 febrero 2011	Base georreferenciación y control de 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
AST_L1A.003:2028042954	18 febrero 2005	Base de inventario y control de manchones de nieve
AST_L1A.003:2072131351	05 marzo 2008	Base de inventario
AST_L1A.003:2072134371	05 marzo 2008	Base de inventario
AST_L1A.003:2078789432	27 marzo 2010	Base de inventario

7.2. Control de campo de la subcuenca de los ríos Agrio y Covunco

7.2.1. Objetivos

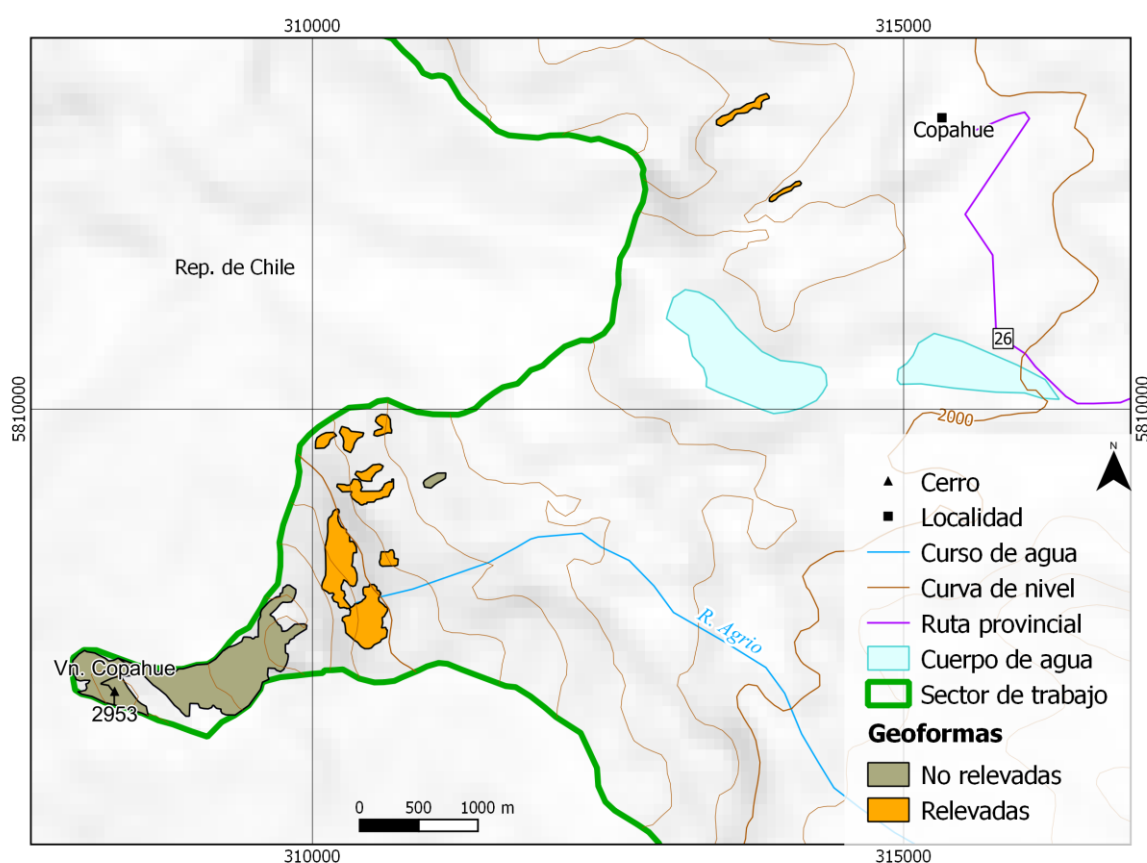
Los objetivos de la campaña fueron:

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

7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

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

Volcán Copahue. Zona 1



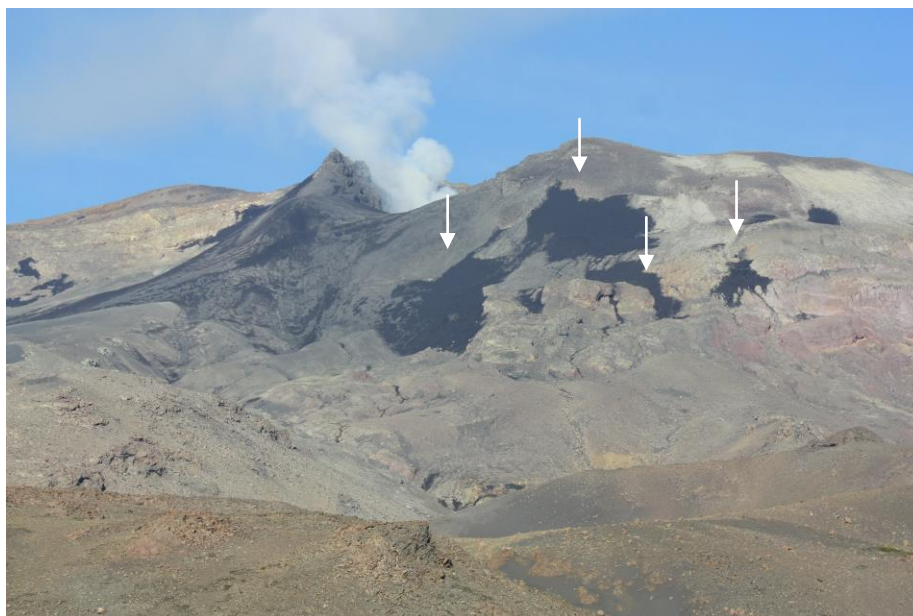
**Geoformas G711521O378492S, G711544O378444S, G711538O378426S,
G711521O378391S, G711581O378400S, G711557O378400S**

Manchones de nieve sobre la cara noreste del Volcán Copahue, se encuentran inventariados pero en la actualidad ya no existen.



Geoforma G711544O378538S

Manchón de nieve ubicado en la cara este del Volcán Copahue. Se encuentra dividido en 4 partes cubiertas por cenizas.



Manchón de nieve G711544O378538S

Geoforma G7115700378493S

Manchón de nieve ubicado al norte de la anterior geoforma. Actualmente se encuentra dividido en dos partes, uno cubierto por cenizas.



Manchón de nieve G7115700378493S

Geoformas G7111720378156S

Manchón de nieve al norte de las anteriores geoformas, se encuentra inventariado pero en la actualidad ya no existe.

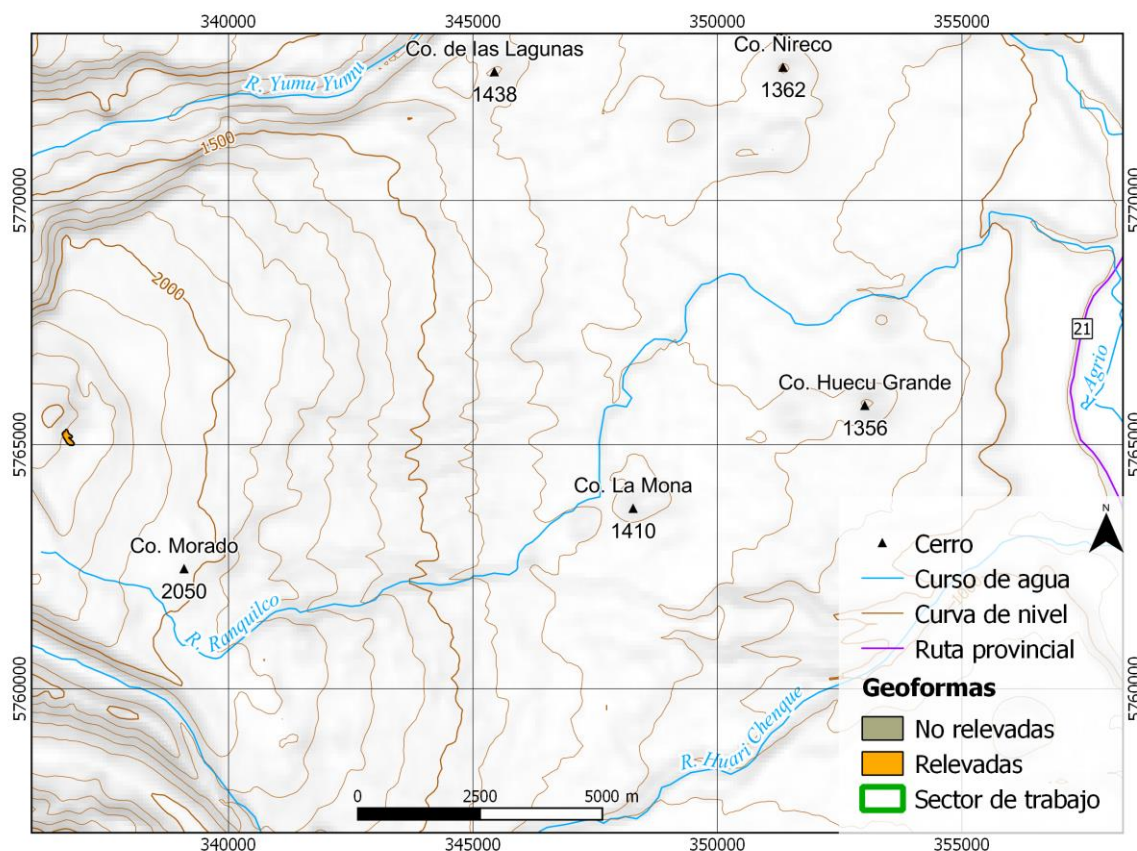


Geoformas G711134O378219S

Manchón de nieve al sureste de la anterior geoforma, se encuentra inventariado pero en la actualidad ya no existe.

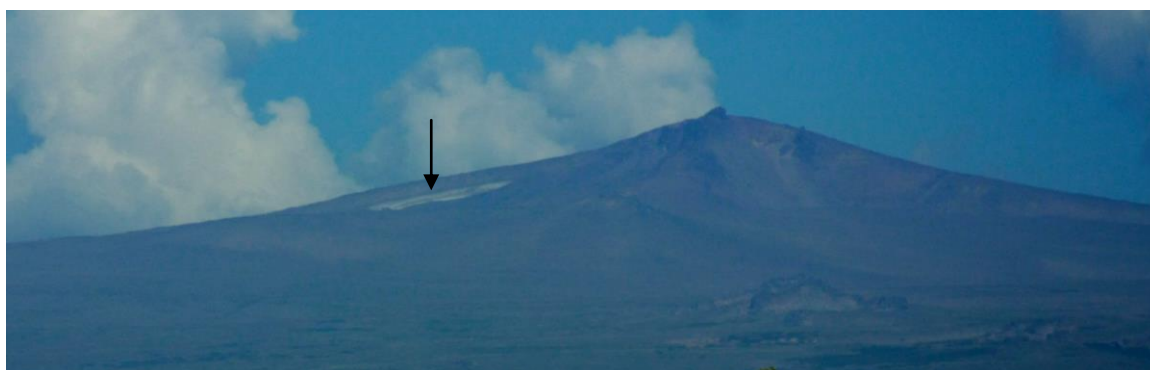


Cerro Morado. Zona 2



Geoforma G708660O382470S

Manchón de nieve perenne al este del cerro los Potreritos, en las nacientes del río Ranquilco. Se observó el cuerpo de lejos.



Manchón de nieve G708660O382470S.

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. Se codifica de la siguiente manera:

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 dentro de la cuenca principal. Dado que no hay una codificación oficial establecida para esta categoría, esta puede ser establecida de forma interna por cada analista hasta tanto se cuente con una codificación reconocida a nivel nacional.

Los dos últimos corresponden a la sub-subcuenca, se empleará en aquellos inventarios que trabajen a este nivel y se procederá a codificarlos según lo establecido arriba para las subcuencas.

5. **ID_local:** código único identificador de cada glaciar que consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma. Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud y latitud
6. **Tipo_geoforma:** esta columna agrupa a cada una de las geoformas inventariadas en base a su tipo principal. Los tipos de geoforma pueden ser:

GD-Glaciario descubierto: cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y 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: cuerpos de hielo o nieve permanente generados sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recrystalización de la nieve y/o hielo, sin una

cobertura detrítica significativa, que sean visible por períodos de al menos 2 años pero que no presenten evidencias de movimiento por gravedad. Los manchones de nieve permanentes / glaciaretos son reservas significativas de agua en estado sólido y por ello han sido incluidos en este inventario.

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

GE-Glaciario de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 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 glaciar de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 2002; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

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

7. **ID_GLIMS:** es el código de identificación del glaciar que sigue las normas internacionales propiciadas 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 hielo continental: es una gran masa de hielo que cubre un continente o gran parte de él. En la actualidad sólo existen dos: Antártida y Groenlandia. Las sábanas de hielo no están totalmente controladas por la topografía de la corteza que subyace al hielo y se caracterizan por ser más activas en sus bordes y a lo largo de corrientes de hielo. Las partes más altas y abombadas se denominan domos, y se caracterizan por una escasa pendiente, gran elevación y flujo de hielo muy limitado
2. Campo de hielo: masa de hielo glaciar, confinada topográficamente, que tiene una superficie relativamente plana, y de la cual fluyen glaciares de descarga
3. Calota de hielo: masa de hielo glaciar no confinada, con forma de domo que fluye en todas las direcciones
4. De descarga: glaciar de valle que fluye o nace desde el interior de un campo de hielo, domo de hielo y/o sábana de hielo, transfiriendo masa hacia las zonas más bajas
5. De valle: glaciar con un área de acumulación bien definida, cuya lengua esta encauzada y fluye valle abajo
6. De montaña: glaciar generalmente de pequeño tamaño que se encuentra confinado por la topografía del terreno montañoso que lo rodea pero que no alcanza a fluir a lo largo de un valle; 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: pequeña masa de nieve y hielo de forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones y pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de nieve barrida por el viento,

avalanchas y/o fuertes acumulaciones en varios años. Normalmente no presentan patrones de flujo visibles, existen al menos por dos años consecutivos

8. Barrera de hielo: es la porción flotante de un glaciar cuyo frente termina en el océano. Usualmente tiene una gran extensión horizontal y una superficie plana o suavemente ondulada. Las principales barreras se encuentran en la Antártida (Ross, Ronne-Filchner, Amery, entre otras)
9. Glaciar de escombros: el glaciar de escombros es una mesoforma criogénica de permafrost de montaña, sobresaturada en hielo que, si es activa, se mueve pendiente abajo por gravedad y por reptación y deformación del permafrost. Es una manifestación de un tipo de permafrost que se llama 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: se refiere a grandes glaciares que drenan una sábana de hielo con velocidades elevadas. Existen dos tipos principales de corrientes de hielo, confinadas y no confinadas. Las confinadas están asociadas a depresiones donde converge el hielo, el cual por el calor generado por la fricción con los laterales disminuye su viscosidad y aumenta su velocidad de deslizamiento. Por su parte las corrientes de hielo no confinadas, están asociadas a zonas donde existen sedimentos susceptibles de ser deformados por debajo de las sábanas de hielo, en estos casos, la inmensa presión que ejerce el hielo deforma estos sedimentos y permite el rápido movimiento del mismo. Las corrientes de hielo no exhiben una delimitación precisa en todos sus márgenes, sin embargo en algunas zonas son más visibles por grietas laterales que separan las zonas de máximo flujo de aquellas zonas menos activas. Las corrientes de hielo son las principales abastecedoras de hielo de las barreras de hielo flotante y en general drenan la mayor cantidad de área de las sábanas de hielo

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. Lóbulo
4. Con desprendimientos
5. Coalescente no contribuyente
6. Con desprendimientos y piedemonte
7. Con desprendimientos y expandido
8. Con desprendimientos y lóbulo
9. Barrera de hielo
10. Flotante
11. Con desprendimientos terrestre
12. Confluente

12. Perfil longitudinal

0. Incierto
1. Regular
2. Colgante
3. Cascada
4. Caída de hielo
5. Interrumpido

13. Fuente de alimentación

0. Desconocida
1. Nieve-detrito nieve
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 *surge*
7. *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 1 y 2
5. Combinación 1 y 3
6. Combinación 2 y 3
7. Combinación 1 , 2 y 3
8. Cubierto, incertidumbre morena
9. Morenas inciertas

16. Morena_2

0. Sin morena
1. Morena Terminal
2. Lateral y/o media
3. Morena de empuje
4. Combinación 1 y 2
5. Combinación 1 y 3
6. Combinación 2 y 3
7. Combinación 1 , 2 y 3
8. Detrito, incertidumbre morena
9. Morenas inciertas

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 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 glaciares y generados a partir de taludes y canaletas nivo-detríticas
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: Un glaciar de escombros activo presenta evidencias de movimiento pendiente abajo y en superficie. En general este tipo de glaciares tiene una topografía superficial muy irregular y desarrollan pendientes frontales muy pronunciadas (35°-45°)
2. Inactivo: los glaciares de escombros que no presentan movimiento pendiente abajo, pero que todavía contienen hielo

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

0. Incierto
1. Unidad: un único glaciar de escombros

2. Multiunidad: formada 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: cuando el glaciar de escombros se alimenta de varias raíces, sea cual sea su origen

23. Longitud: coordenadas geográficas de cada polígono

24. Latitud: coordenadas geográficas de cada polígono

25. Área: área de cada polígono expresada en km^2

26. Largo_total: se calculó el largo para cada unidad, considerando la línea de flujo más larga de todo el glaciar, partiendo 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 mide en metros (m)

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

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

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

30. Pendiente: (Se expresa en grados).

31. Orientación: Correspondiente a los 8 puntos cardinales.

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

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

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

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

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

37. Img_ap_F: Fecha de la imagen de apoyo utilizada

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



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



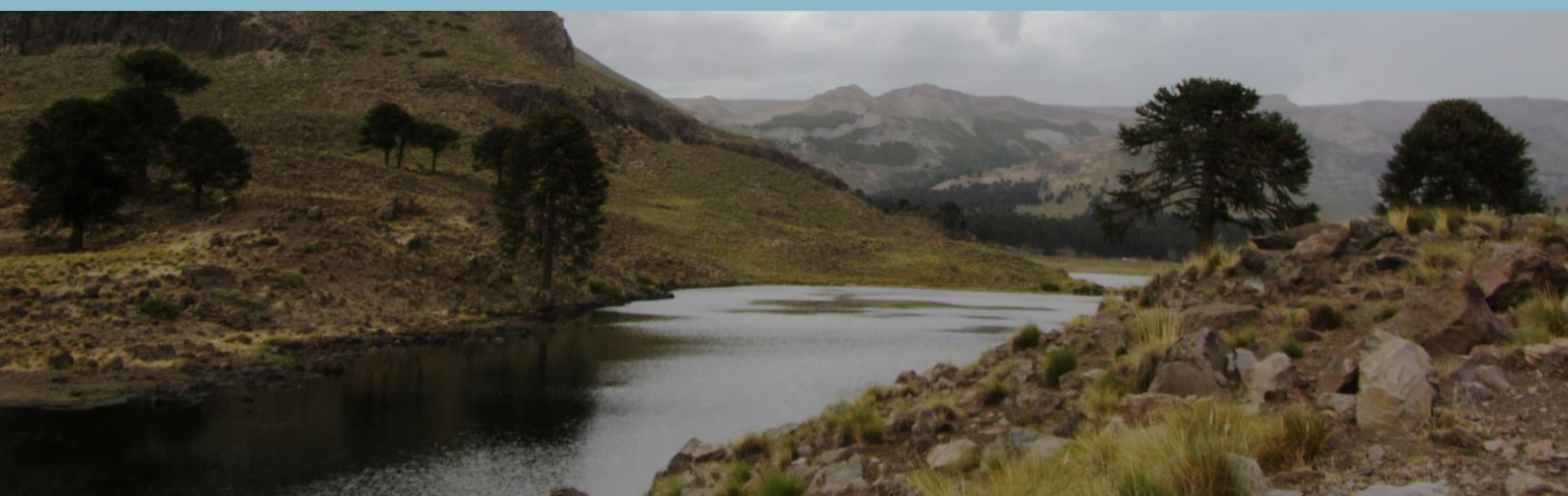
CONICET

U. N. C U Y O
GOBIERNO
DE MENDOZA

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

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





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

Hoja Adicional de Firmas
Informe gráfico

Número:

Referencia: ING Cuenca Río Agrio

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 47 pagina/s.