



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
Cuenca del río Chubut**

**Provincias de Río Negro
y del Chubut**

Panorámica de algunos manchones de nieve en el río Chubut (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

Directores técnicos: Dr. Lucas Ruiz y Dr. Darío Trombotto

Profesionales: Lic. Ivanna Pecker Marcosig y Lic. Laura Zalazar

Colaboradores: Téc. J.P. Scarpa y Lic. Lidia Ferri Hidalgo

Mayo 2018

La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial, establecida por el Poder ejecutivo Nacional por ley N° 22963 a través del Instituto Geográfico Nacional y ha sido aprobada por expediente GG 16 0895/5, de fecha 7 de julio de 2016

INDICE

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario	7
4.	Materiales y métodos.....	9
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos digitales de elevación	12
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	13
4.3.	Delimitación de hielo descubierto	14
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	19
5.	Resultados.....	20
5.1	Cuenca del tramo superior del río Chubut.....	20
5.2.	Control de campo.....	24
6.	Bibliografía.....	25
7.	Anexos	28
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de la cuenca del río Chubut.....	28
7.2.	Control de campo.....	30
7.3.	Descripción de la base de datos	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo de la metodología usada en el Inventario Nacional de Glaciares.	10
Figura 2: Mapa de ubicación de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del río Chubut....	12
Figura 3: Delimitación de hielo descubierto (línea negra) obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.	15
Figura 4: Ejemplo de varias geoformas vistas desde una imagen ASTER (arriba), y su código identificador –ID_GLIMS (abajo).	18
Figura 5: Mapa general del sector oeste de la cuenca del río Chubut con las geoformas inventariadas.....	21
Figura 6: Tipos de glaciares en la cuenca del río Chubut.	22
Figura 7: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en función de su área. Cuenca río Chubut.	22
Figura 8: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados en función de tamaño (área). Cuenca del río Chubut.....	23
Figura 9: Distribución altitudinal del tipo y superficie de los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río Chubut.	23

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes del sensor LANDSAT utilizadas como base para inventariar los cuerpos de hielo de la cuenca del río Chubut.	13
Tabla 2: Tipo de cuerpo de hielo y superficie total en la cuenca del río Chubut.	20
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la cuenca del río Chubut.	23

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 del cerro Torre y Monte Fitz Roy o Chaltén. Otros glaciares muy visitados son los glaciares del Monte Tronador en el

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En este informe, se describen los trabajos realizados para la identificación e inventario de los cuerpos de hielo en la cuenca del río Chubut, provincias de Río Negro y del Chubut. El sector de la cuenca analizado corresponde al curso superior del río Chubut (http://www.hidricosargentina.gov.ar/documentos/referencias_i8/65.pdf), que incluye la subcuenca alta del río Chubut y la subcuenca del río Gualjaina (según Cronograma de ejecución del inventario elaborado por IANIGLA 2010). 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.

El trabajo de identificación de glaciares y glaciares de escombros en la cuenca del río Chubut fue elaborado en febrero 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.

En el sector de la cuenca del río Chubut analizado no se encuentran reservas de protección de áreas naturales.

2. Antecedentes

Si bien existen registros de la presencia de glaciares en estas latitudes por los menos desde finales del siglo XIX con la Comisión de Límites principalmente entre 1892 y 1898 (Moreno, 1900 en Feruglio, 1950), los mismos no han sido estudiados en detalle hasta el presente.

Lliboutry (1956) realizó el primer análisis de la distribución de los glaciares a lo largo de la Cordillera de los Andes entre Argentina y Chile. Para los Andes de la Región de los Lagos o Patagonia Norte, este autor señala que además de los glaciares asociados a los centros volcánicos (Tronador, Osorno, Hornopiren, Michimahuida), existen numerosos glaciares al sur del Seno Reloncaví, los cuales resultan prácticamente inaccesibles a pie debido a lo tupido de la vegetación que los rodea. Feruglio (1957) también realizó un análisis sobre la distribución de glaciares a lo largo de los Andes argentinos. Este autor indica que al sur de los 41° 8'S (Monte Tronador) y hasta los 46°S en la vertiente argentina de la cordillera de los Andes se suceden muy próximos centros de glaciación de tipo alpino. Estos centros presentan glaciares de valle algo desarrollados y una multitud de glaciares de circo, que nunca se reúnen en campos o casquetes muy extensos, aunque se destaca que la zona interior de la cordillera, entre los 41° y 46° S, se encuentra prácticamente desconocida.

Feruglio (1957), menciona que en las montañas al este de la Cordillera Central, en los nacimientos del Río Foyel y Chubut (Precordillera), conservan algunos manchones de nieve al abrigo de las cimas más elevadas (2.200-2.350 msnm), pero no de glaciares.

Rabassa et al., (1978), presentaron el primer inventario preliminar de glaciares para 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, todos sobre la cordillera principal. Estos autores señalan que este número de glaciares corresponde aproximadamente al 15% del total real de glaciares en esta zona.

Según estos autores el tipo de glacierización existen es 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. Rabassa et al. (1981), a partir de una combinación de observaciones directas y derivadas de fotografías aéreas, 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 y claro gradiente oeste-este y uno mucho más suave norte-sur.

Con respecto al ambiente periglacial actual, Garleff y Stingl (Garleff 1977, Garleff y Stingl 1986, 1988, etc.) distinguen fenómenos periglaciales actuales en los Andes Australes estableciendo transectas a lo largo de toda la Cordillera de los Andes, desde las máximas alturas hasta la estepa. Estos autores remarcan que los fenómenos periglaciales y la presencia del permafrost andino-patagónico dependen fundamentalmente de la temperatura como criofactor generador más importante.

De acuerdo a mediciones de temperaturas con perforaciones superficiales y al levantamiento geomorfológico llevado a cabo por Trombotto (2000, 2002), se puede esperar la presencia de permafrost en la región de los Andes Patagónicos por sobre los 2000 m snm. Garlef (1977) reconoció diversas microformas criogénicas actuales en los Andes Australes de esta región; también el autor reconoció pendientes sedimentarias criogénicas, terrazas o lóbulos de solifluxión con frentes rocosos, suelos estructurados, guirnaldas y krummholz.

Recientemente, Ruiz y Trombotto (2012a) han realizado el primer modelo estadístico de distribución de permafrost de montaña para los Andes del norte de la Patagonia, más precisamente en los cordones Rivadavia (divisoria interna de la cuenca Futaluefú), Esquel y Leleque (divisoria de la cuenca del río Chubut). Según los resultados del modelo estadístico existen condiciones de permafrost en una pequeña proporción del área por encima del límite superior del bosque. La presencia del permafrost según el modelo está restringida a las zonas entre 1.750 y 2.100 msnm que reciben muy poca radiación solar. Si bien la presciencia de permafrost todavía debe ser corroborada con datos de temperatura del suelo, existe una alta coincidencia entre las zonas con mayor posibilidad de contener permafrost y la distribución de prótalus ramparts y prótalus lobulados en el Cordón Leleque (Ruiz y Trombotto 2012).

3. Definiciones a los fines del Inventario

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

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

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

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

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

Glaciar de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que $0,01 \text{ km}^2$ (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 ($>35^\circ$) 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 ($<35^\circ$), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 2002; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

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

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

4. Materiales y métodos

La ejecución del Inventario de Glaciares de la República Argentina sigue las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS 1967 y posteriores, UNESCO-IAHS 1970, Muller 1977) y su 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 Inventario Nacional de Glaciares posee una metodología acordada para su realización, lo cual permite reproducirla para la totalidad de cuencas del territorio nacional. Se incluye a continuación (Figura 1) un organigrama con los pasos metodológicos que forman parte del proceso de realización del Inventario Nacional de Glaciares.

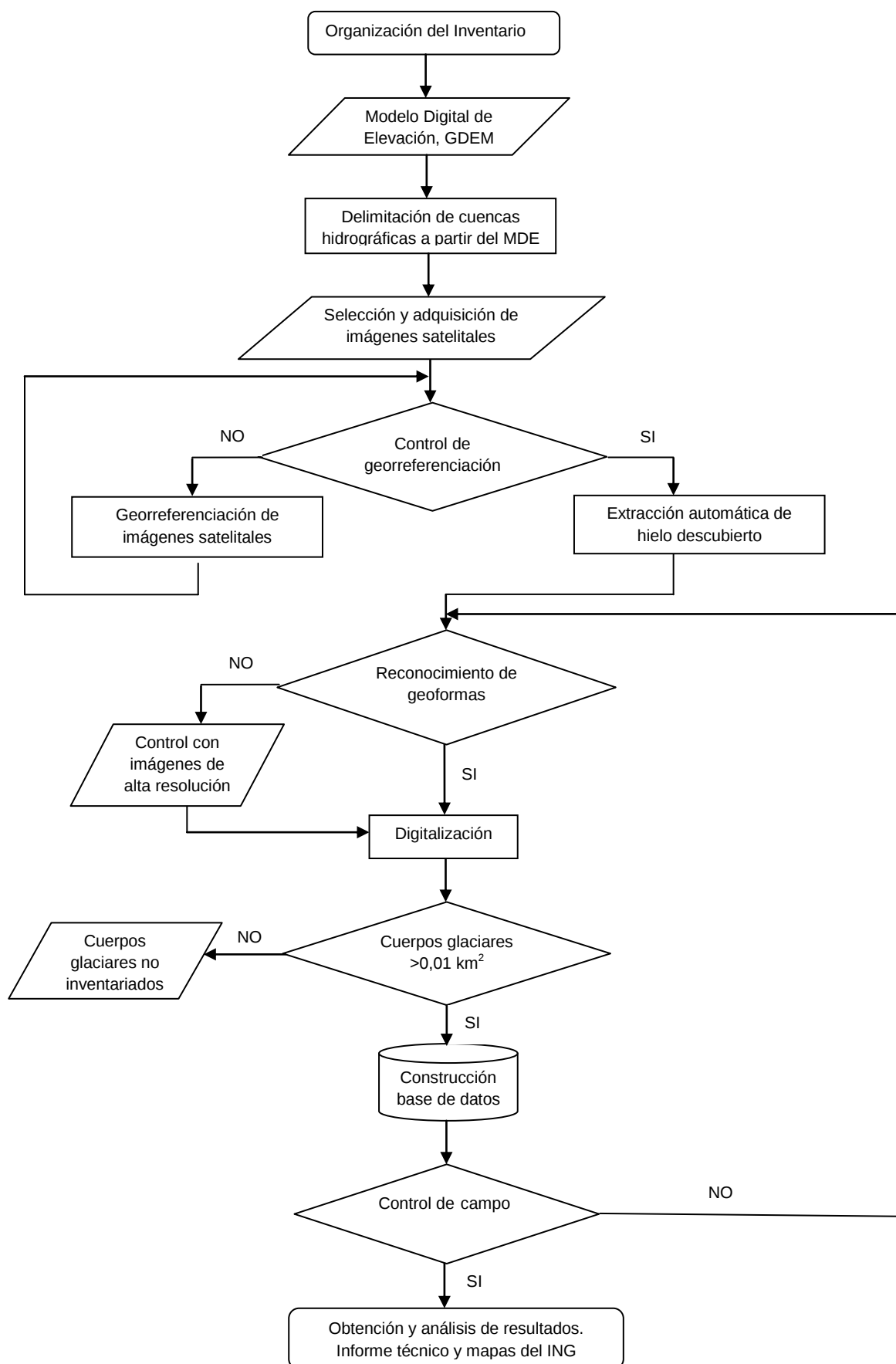


Figura 1: Diagrama de flujo de la metodología usada en el Inventario Nacional de Glaciares.

El presente documento corresponde al Inventario Nacional de Glaciares de la cuenca del río Chubut, la misma se encuentra distribuida mayormente en la provincia del Chubut y una pequeña parte en el sur de la provincia de Río Negro. Comunmente se divide a la cuenca del río Chubut en tres tramos o cursos (http://www.hidricosargentina.gov.ar/documentos/referencias_i8/65.pdf); el tramo inferior desde las inmediaciones del dique Florentino Ameghino hasta la bahía Engaño, en la desembocadura del río Chubut hacia el Óceano Atlántico; el tramo medio corresponde en forma general a la meseta patagónica y el curso superior (el objeto de estudio de este informe) corresponde a la subcuenca alta del río Chubut y a la subcuenca del río Guajalina (Figura 2). La superficie que ocupan estas dos subcuencas es de 22.202 km². Dada la baja densidad de cuerpos de hielo presentes, se presentan los resultados del inventario de glaciares para toda la cuenca del río Chubut.

A continuación se detallan los límites de las dos subcuencas que conforman la cuenca del tramo superior del río Chubut:

1. **Subcuenca alta del río Chubut:** Nace en el cerro Carreras (2.000 msnm) en la provincia de río Negro; al comienzo el río fluye principalmente norte-sur y recibe las aguas de numerosos afluentes, los más importantes son los arroyos Maitén y el Portezuelo, los cuales nace también en territorio rionegrino. Proveniente desde el sur y una vez que el río Chubut toma rumbo oeste-este recibe las aguas de arroyo Leleque. Por último antes de unirse con el río Gualjaina recibe las aguas de los arroyos Ñorquín y Chico, los cuales también nacen en la provincia de río Negro.
2. **Subcuenca del Gualjaina:** El río Gualjaina se forma por la confluencia del río Tecka y el arroyo Lepá. El primero se forma a partir de numerosos arroyos que descienden de la Sierra de Tecka y el segundo nace entre el Cordón Leleque y el Esquel.

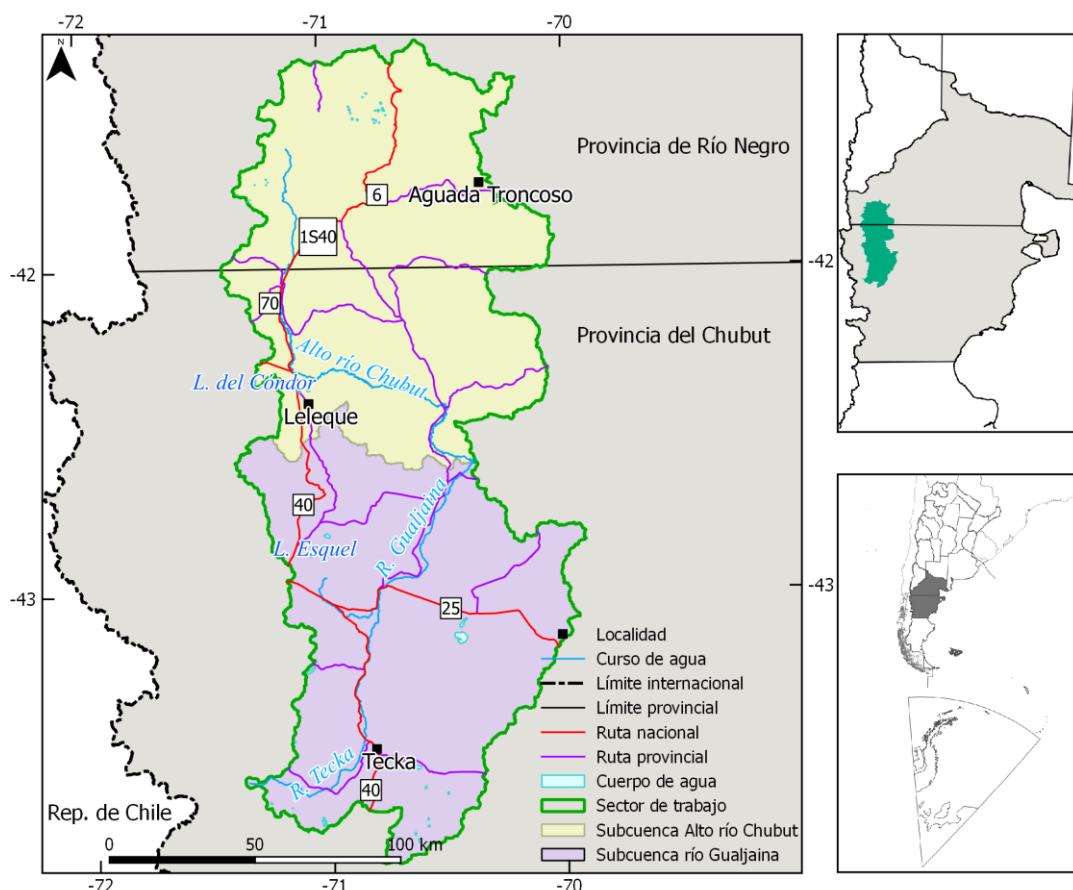


Figura 2: Mapa de ubicación de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del río Chubut.

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

El trabajo comienza con la búsqueda de un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) para realizar la delimitación de cuencas y subcuencas.

El objetivo de la delimitación de cuencas es generar una red de drenaje para la zona de estudio, a fin de poder delimitar los cuerpos pertenecientes a cada unidad hidrológica y así poder asignar su dirección de descarga y aporte a los cursos de agua.

El DEM utilizado para el inventario fue el ASTER GDEM2 (Tabla 1), el cual está confeccionado a partir de imágenes estereoscópicas del satélite ASTER. Las bandas utilizadas son VNIR 3N (Nadir) y VNIR 3B (Back). El sensor toma ambas imágenes con una diferencia de 55 segundos, con lo cual no es necesario realizar correcciones radiométricas para su uso.

A partir del uso de Sistemas de Información Geográfica (SAGA, QGIS) se aplicaron procesos automáticos sobre el DEM a fin de obtener los límites de cuencas y subcuencas sobre los cuales se va a trabajar para inventariar glaciares.

Luego de obtener tales límites de cuenca se procedió a la superposición con las imágenes satelitales de base, para corroborar que los límites coincidieran con las divisorias de aguas. En el caso que no fue así, se realizó la edición manual de los polígonos con los programas KOSMO y GVSIG.

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

El inventario se realizó a partir de imágenes del satélite LANDSAT 5TM, las mismas fueron seleccionadas siguiendo los criterios provistos por Paul (2007) y Paul et al. (2010). Las imágenes seleccionadas corresponden a los meses de Febrero y Marzo de 2011. Las mismas fueron seleccionadas evitando encontrar presencia de nieve estacional y con baja o nula cobertura nubosa. Además se ha tomado como parámetro de búsqueda un periodo temporal entre los años 2005-2012. También se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo ASTER y el programa Google Earth.

Los datos ASTER fueron obtenidos de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (http://lpdaac.usgs.gov/get_data) a través del convenio entre el programa GLIMS y el IANIGLA. Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS)

En la Tabla 1 se mencionan las imágenes utilizadas para realizar el inventario. Se identifican a partir del número identificador de la escena (ID Imagen).

Tabla 1: Imágenes del sensor LANDSAT utilizadas como base para inventariar los cuerpos de hielo de la cuenca del río Chubut.

Satélite/sensor	ID Imagen	Fecha
Landsat5TM	LT52310892011067COA00	08 marzo 2011
Landsat5TM	LT52310902011051COA00	20 febrero 2011

Debido a que se utilizaron como imágenes de base del inventario escenas LANDSAT, las cuales son internacionalmente aceptadas como base de referencia (Tucker et al. 2004), no se realizó ningún tipo de georreferenciación.

A nivel internacional, el sistema de referencia adoptado para la realización del inventario es UTM, para zona de estudio se utilizo la franja UTM 19 Sur, sobre el elipsoide WGS 84.

4.3. Delimitación de hielo descubierto

Una vez seleccionadas las imágenes que serán la base del proceso de inventario y mapeo, se procede al uso de programas de procesamiento de imágenes satelitales para extraer las firmas espectrales del hielo descubierto y los manchones de nieve.

El programa GLIMS establece que el mejor método para poder captar el hielo descubierto de una imagen satelital es a partir de realizar un cociente de bandas entre la banda 3 (R) y banda 4 (IRc) del sensor ASTER. Sin embargo desde mayo 2008 el sensor de ASTER dejó de operar en las bandas del infrarrojo medio (4, 5, 6 y 7), con lo cual fue necesario buscar otros métodos de clasificación. Mayormente en el caso de esta cuenca que ha utilizado dos tipos de sensores.

La alternativa elegida fue la clasificación por objetos. Para ello se utilizó el software SPRING.

El método propuesto funciona a partir del comportamiento espectral de los píxeles y la relación con los píxeles vecinos. El método consiste en obtener manualmente muestras (firmas espectrales) de hielo descubierto. A partir de ellas el programa realiza una clasificación de las muestras seleccionadas y los píxeles próximos, obteniendo al fin del proceso, polígonos que corresponden a glaciares descubiertos y manchones de nieve/glaciaretas (Figura 3).

Una vez que se realiza la clasificación, las áreas seleccionadas que corresponden a las geoformas son vectorizadas, es decir convertidas a polígonos. Para separar los diferentes cuerpos de nieve y/o glaciares se utilizó un criterio de cuencas hidrológicas.

Una vez que se obtuvieron los polígonos de las zonas seleccionadas como hielo y/o nieve se procedió a la inspección y corrección manual de los límites de los mismos. Es una de las etapas que requieren mayor tiempo, depende del criterio y conocimiento del intérprete, y consisten en la eliminación de áreas mal clasificadas (en general lagos proglaciares) y de la adición de áreas no clasificadas (como hielo en sombra o hielo cubierto). Esta tarea, indefectiblemente, debe ser realizada mediante una digitalización en pantalla.

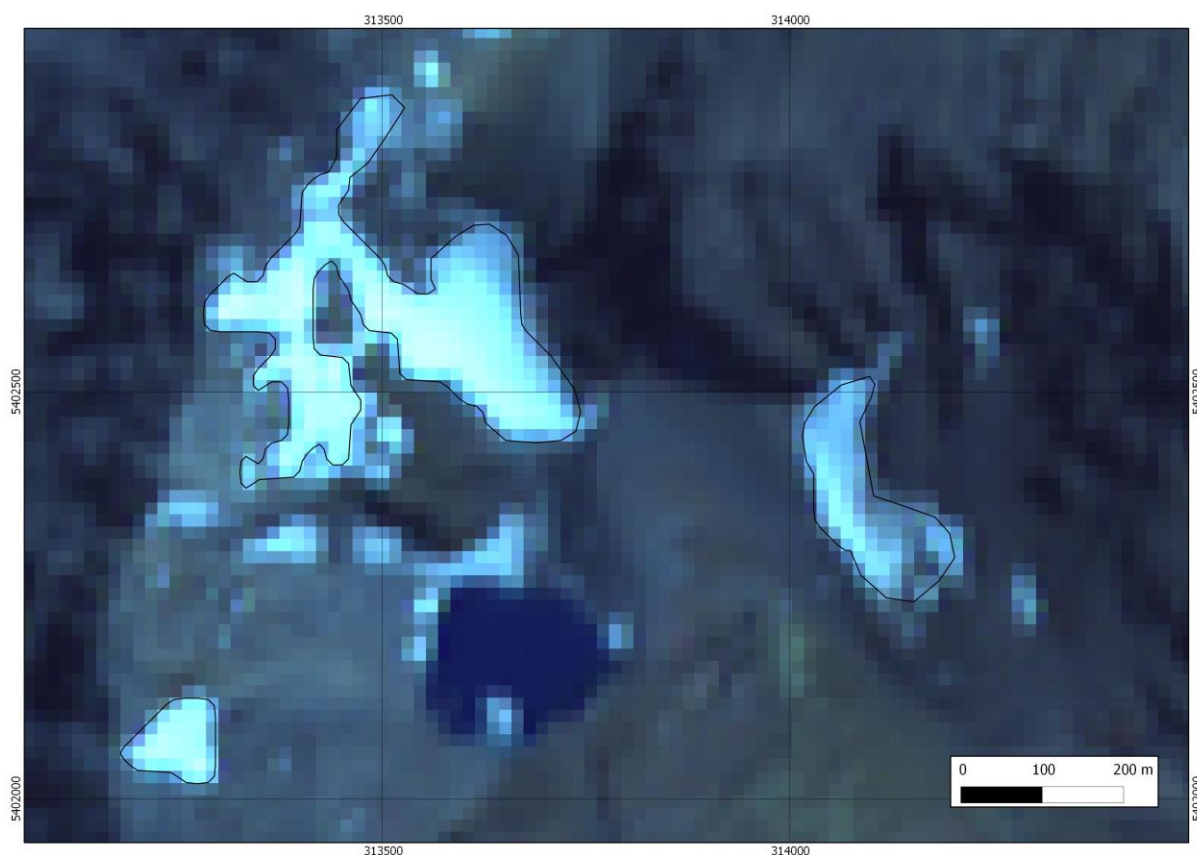


Figura 3: Delimitación de hielo descubierto (línea negra) obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo de glaciares cubiertos por detritos y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la mejor metodología utilizada a nivel internacional (Stokes *et al.* 2007). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo. En la cuenca del río Chubut se han analizado las imágenes de alta resolución existentes en Google Earth para corroborar la presencia de glaciares cubiertos y glaciares de escombros. Es importante destacar que en ninguna de las imágenes analizadas se han identificado glaciares cubiertos pero si pequeños glaciares de escombros, cuya distribución es compatible con la distribución potencial de permafrost de montaña para la región según Ruiz y Trombotto (2012). Se empleó el programa QGis para realizar la digitalización manual.

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

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

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

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

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

Más detalles sobre la clasificación de los cuerpos de hielo se encuentran en la página 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. Quedan excluidos los afloramientos rocosos y nunataks. (Ver definición en http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Analysis_Tutorial_a4.pdf).

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

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

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** (ID de la Figura 4) que consiste en las coordenadas geográficas del ID_GLIMS 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.

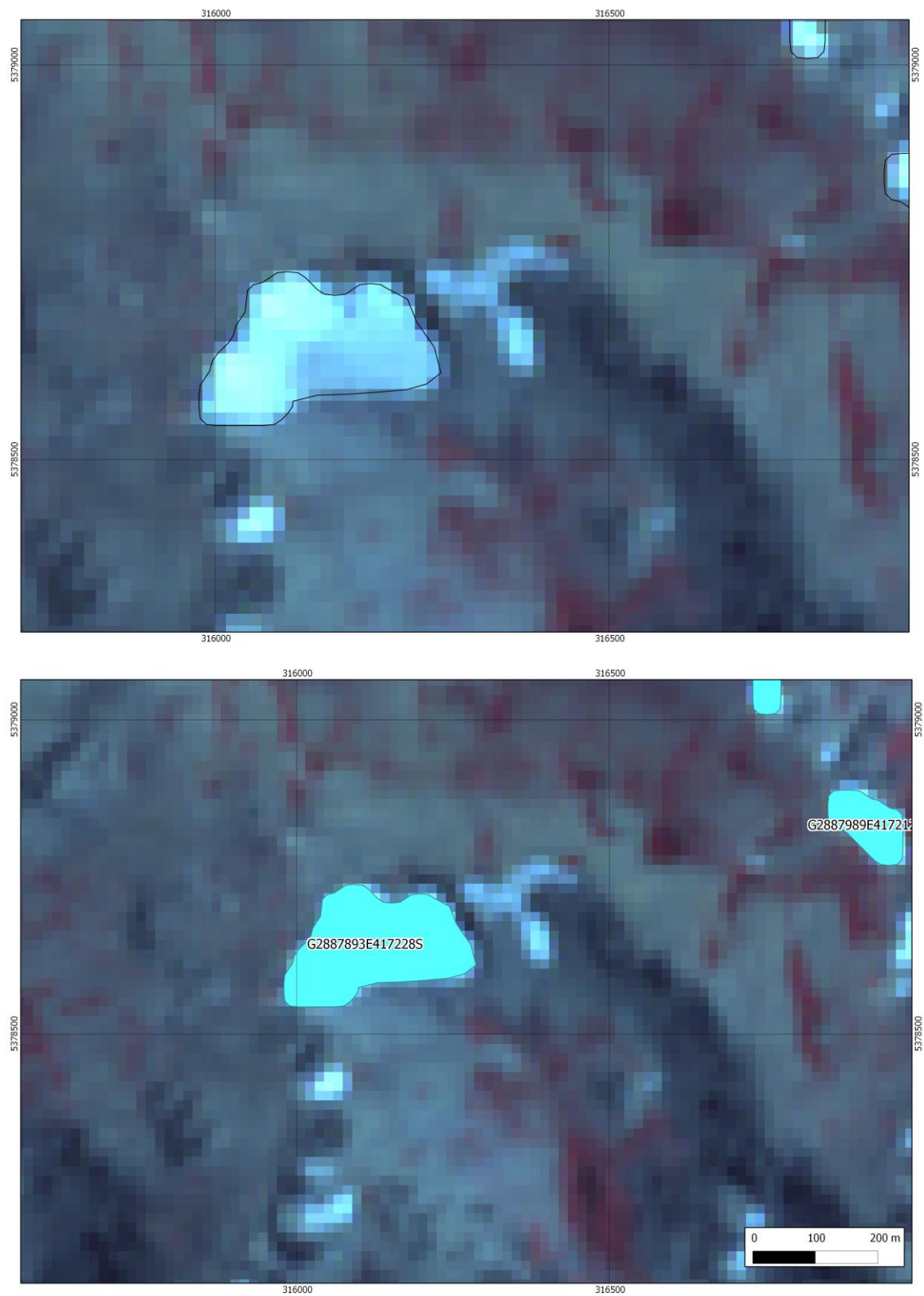


Figura 4: Ejemplo de varias geoformas vistas desde una imagen ASTER (arriba), y su código identificador ID (abajo).

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 Cuenca del tramo superior del río Chubut

La cuenca posee un área de 22.202 km², considerando como punto de cierre la confluencia del río Chubut con el río Gualjaina. Tan solo existen 1,2 km² cubiertos por manchones de nieve y glaciares de escombros, lo cual representa una porción ínfima (0,0053%) de la superficie de la cuenca (Figura 5).

Se han inventariado 53 geoformas corresponden mayoritariamente a manchones de nieve y en segundo lugar a glaciares de escombros. En función del área los manchones de nieve comprenden 0,94 km² y representan el 78% del área total cubierta por hielo de la cuenca. Por último en el ambiente periglacial los glaciares de escombros poseen un área de 0,26 km² representando el 22% del área total englazada de la cuenca (Tabla 2, Figura 6).

Tabla 2: Tipo de cuerpo de hielo y superficie total en la cuenca del río Chubut.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Manchones de nieve/glaciaretas	0,94
Glaciar de escombros	0,26
Total	1,2



Figura 6: Tipos de glaciares en la cuenca del río Chubut.

Los análisis de la orientación media de las geoformas inventariadas en la cuenca del río Chubut indican una clara predominancia hacia el sureste (Figura 7).

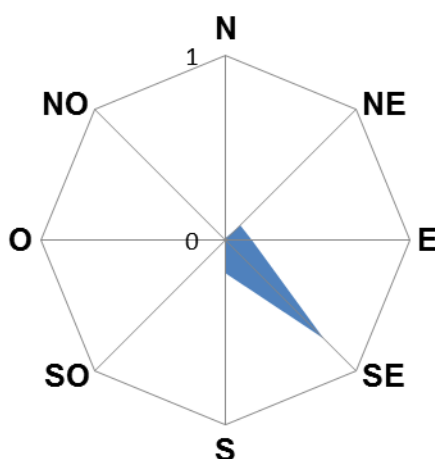


Figura 7: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en función de su área. Cuenca del río Chubut.

En función de sus tamaños el 96% de los cuerpos inventariados poseen un área entre 0,01-0,05 km², sumando un total de 1,04 km². En el rango 0,05-0,1 km² se ubica el 4% de los cuerpos inventariados con un área de 0,14 km² (Figura 8). En resumen, en esta cuenca se han inventariado principalmente manchones de nieve de pequeño tamaño, no se han encontrado glaciares de grandes dimensiones.

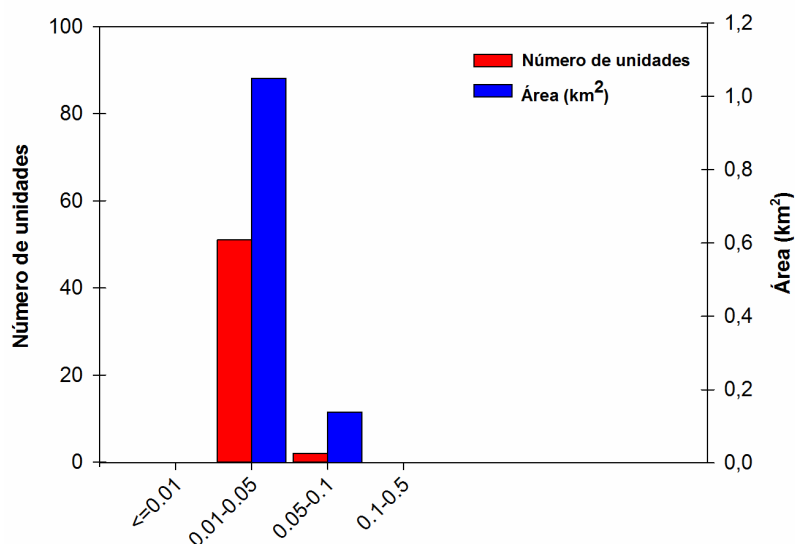


Figura 8: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados en función de tamaño (área). Cuenca del río Chubut.

La Figura 9 muestra la distribución por tipo de geoforma en rangos altitudinales y área total cubierta. La distribución altitudinal de las geoformas se encuentra entre los 1.674 a 2.202 msnm. La mayor superficie de glaciares se concentra alrededor de los 2.000 msnm.

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

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Manchones de nieve/glaciaretos	1.674	2.275
Glaciar de escombros	1.823	2.246

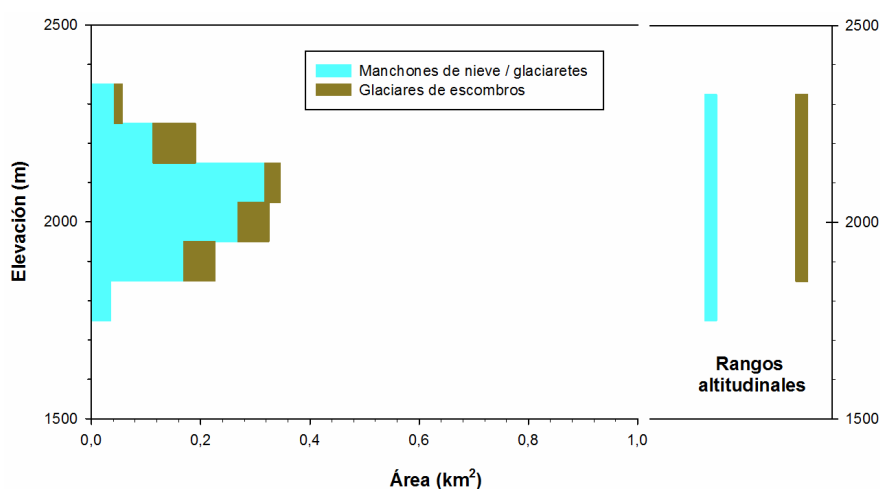


Figura 9: Distribución altitudinal del tipo y superficie de los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río Chubut.

5.2. Control de campo

El control de campo se realizó en el mes de enero de 2017 en las cercanías del cerro Troncoso y el cordón Leleque.

En total se observaron 14 geoformas en el campo, que fueron comparadas con las identificadas en gabinete. Se obtuvo un 100% de coincidencias en la identificación de glaciares y un 93% en la clasificación. En el gabinete se clasificó como glaciar de escombros activo una geoforma que en el campo se identificó como inactiva. Para tener mayor detalle ver anexo 7.2. donde se describen algunas de las geoformas visitadas en el trabajo de campo.

6. Bibliografía

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

Delgado, S., Villalba, R., and Masiokas, M. 2006. Remote sensing monitoring of glacier fluctuations in the Patagonian Andes. CONCORD Symposium on Climate Change: "Organizing the Science in the American Cordillera". Mendoza, Argentina. 4–6 April, 2006.

Feruglio, E.; 1949-50. Descripción Geológica de la Patagonia. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, 3 Tomos, Buenos Aires.

Garibotti, I.A., y Villalba, R. 2009. Lichenometric dating using *Rhizocarpon* subgenus *Rhizocarpon* in the Patagonian Andes, Argentina, *Quaternary Research* 71 (3), 271-283.

Garleff, K. 1977. Höhenstufen der argentinischen Anden in Cuyo, Patagonien und Feuerland. *Göttinger Geographische Abhandlungen*, 68, Göttingen, 150 p.

Garleff, K. und Stingl, H. 1986. Geomorphologische Aspekte aktuellen und vorzeitlichen Permafrostes in Argentinien. *Zentralblatt fuer Geologie und Palaeontologie*, Teil I: Allgemeine, Angewandte, Regionale und Historische Geologie Heft 9/10, 1367–1374.

Garleff, K. und Stingl, H. 1988. Geomorphologische Untersuchungen in der nivalen und subnivalen Stufe der argentinischen Anden –Ergebnisse und paläoklimatische Interpretation. *Deutscher Geographentag München, Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen*, 46, Stuttgart, 419-425.

Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, ETH Zürich, 77p. Zürich.

IANIGLA, 2010. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (www.glaciares.org.ar), 87 p., Mendoza.

Ikeda, A. and Matsuoka, N. 2002. Degradation of Talus-derived Rock Glaciers in the Upper Engadin, Swiss Alps. *Permafrost Periglacial Processes* 13: 145–161.

Lawrence, D.B., and Lawrence, E.G., 1959. Recent glacier variations in southern South America. American Geographical Society Southern Chile Expedition Technical Report, Office of Naval Research Contract 641(04), New York, USA, 39 pp.

Lliboutry, L., 1998. Glaciers of Chile and Argentina. In: Williams, R.S., Ferrigno, J.G., (eds.), *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: South America*. USGS Professional Paper 1386-I, Online version 1.02.

Martínez, Oscar. (2002). Geomorfología y geología de los depósitos glaciares y periglaciares de la región comprendida entre los 43° y 44° lat.sur y 70°30' y 72° long.oeste, Chubut, República Argentina. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Esquel, Argentina.

Masiokas, M., Villalba, R., Delgado, S., Trombotto, D., Luckman, B., Ripalta, A., Hernandez, J., 2001. Dendrogeomorphological reconstruction of glacier variations in Patagonia during the past 1000 years. In: Kaennel, D.M., Bräker, O.U. (Eds.), Abstracts from the International Conference Tree Rings and People. Davos, Switzerland, p. 177. Masiokas, M.H., Villalba, R., Luckman, B.H., Lascano, M.E., Delgado, S., Stepanek, P., 2008. 20th-century glacier recession and Regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia. *Global and Planetary Change* 60, 85–100.

Masiokas, M.H., Rivera, A., Espizua, L.E., Villalba, R., Delgado, S., Aravena, J.C., 2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281, 242–268.

Masiokas, M.H.; Luckman, B.H.; Villalba, R.; Delgado, S.; Rabassa, J. 2010. Little Ice Age fluctuations of Glaciar río Manso in the north Patagonian Andes of Argentina. *Quaternary Research* 73 (1), 96-106.

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

Rabassa, J., 1981. Inventario de glaciares y cuerpos de nieve permanentes en los Andes Patagónicos septentrionales, Argentina. Octavo Congreso Geológico Argentino, Actas 4, 109-122.

Rabassa, J., Clapperton, C.M., 1990. Quaternary glaciations of the Southern Andes. *Quaternary Science Reviews* 9, 153–174.

Racoviteanu, A. E., Paul, F., Raup, B., Khalsa, S.J.S., 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).

Rubulis, S., Suarez, J.A, 1969, Mapa del río Turbio, provincia de Chubut. Unidad de geocriología, IANIGLA (inédito).

Trombotto, D. "Survey of Cryogenic Processes, Periglacial Forms and Permafrost Conditions in South America". *Revista do Instituto Geológico*, Vol. 21, Nr.1/2: 33-55, São Paulo, Brasil, 2000. (Index of Geology, GeoDatos, Georef, Zoological Record)

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.

Trombotto Liaudat, D.: "Geocryology of Southern South America" In: "Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego", Jorge Rabassa (Editor). *Developments in Quaternary Sciences*, Volume 11: 255-268, Elsevier, The Netherlands, 2008. ISBN: 978-0-444-52954-1

Tucker, C.J. et al. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70(3): 313-322.

Ruiz, L. and Trombotto Liaudat, D., 2012. Descubrimiento de glaciares de Escombros Fósiles en la Cordillera y Precordillera Patagónica, su significado paleoclimático. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. (En Prensa).

Ruiz L. and Trombotto Liaudat, D., 2012. Mountain Permafrost Distribution in the Andes of Chubut (Argentina) based on a Statistical Model. 10th International Permafrost Conference. Salekhard, Yamal-nenets Russia, (En Prensa)

Tucker, C. J., D. M. Grant, et al. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70(3): 313-322.

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la cuenca del río Chubut

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

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 marzo a abril para estas latitudes) y ausencia de nubes.

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

- Como base de georeferenciación, se emplearon en este caso imágenes del satélite Landsat.
- La identificación de geoformas de ambiente glaciar y periglacial fue realizada a partir de imágenes LANDSAT.
- Para identificar manchones de nieve perenne se emplearon 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 de hielo descubierto, manchones y sobretodo del hielo cubierto y glaciares de escombros, se suelen emplear imágenes de sensores de alta resolución, en este caso fueron utilizadas imágenes que se encuentran en Google Earth.

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52310892011067COA00	08 marzo 2011	Base inventario
LT52310902011051COA00	20 febrero 2011	Base inventario
LT52310892006069COA00	10 marzo 2006	Comparar manchones de nieve
LT52310902006069COA00	10 marzo 2006	Comparar manchones de nieve
LT52310892004032COA00	01 febrero 2004	Comparar manchones de nieve
LT52310902004032COA00	01 febrero 2004	Comparar manchones de nieve

Satélite: **TERRA**

Sensor: Aster

Resolución espacial: 15 m

Proveedor: LP DAAC, USGS <http://lpdaac.usgs.gov> a través de CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales).

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST14OTH_00303232008144122	23 marzo 2008	Comparar manchones de nieve
AST14OTH_00302142006144025	14 febrero 2006	Comparar manchones de nieve
AST14OTH_00302042008144138	04 febrero 2008	Apoyo delimitación GE
AST14OTH_00302042008144111	04 febrero 2008	Apoyo delimitación GE
AST14OTH_00302042008144120	04 febrero 2008	Apoyo delimitación GE
AST14OTH_00303232008144122	23 marzo 2008	Comparar manchones de nieve
AST14OTH_00302042008144129	04 febrero 2008	Apoyo delimitación GE
AST14OTH_00302142006144034	14 febrero 2006	Comparar manchones de nieve
AST14OTH_00302142006144043	14 febrero 2006	Comparar manchones de nieve
AST14OTH_00302142006144025	14 febrero 2006	Comparar manchones de nieve

7.2. Control de campo

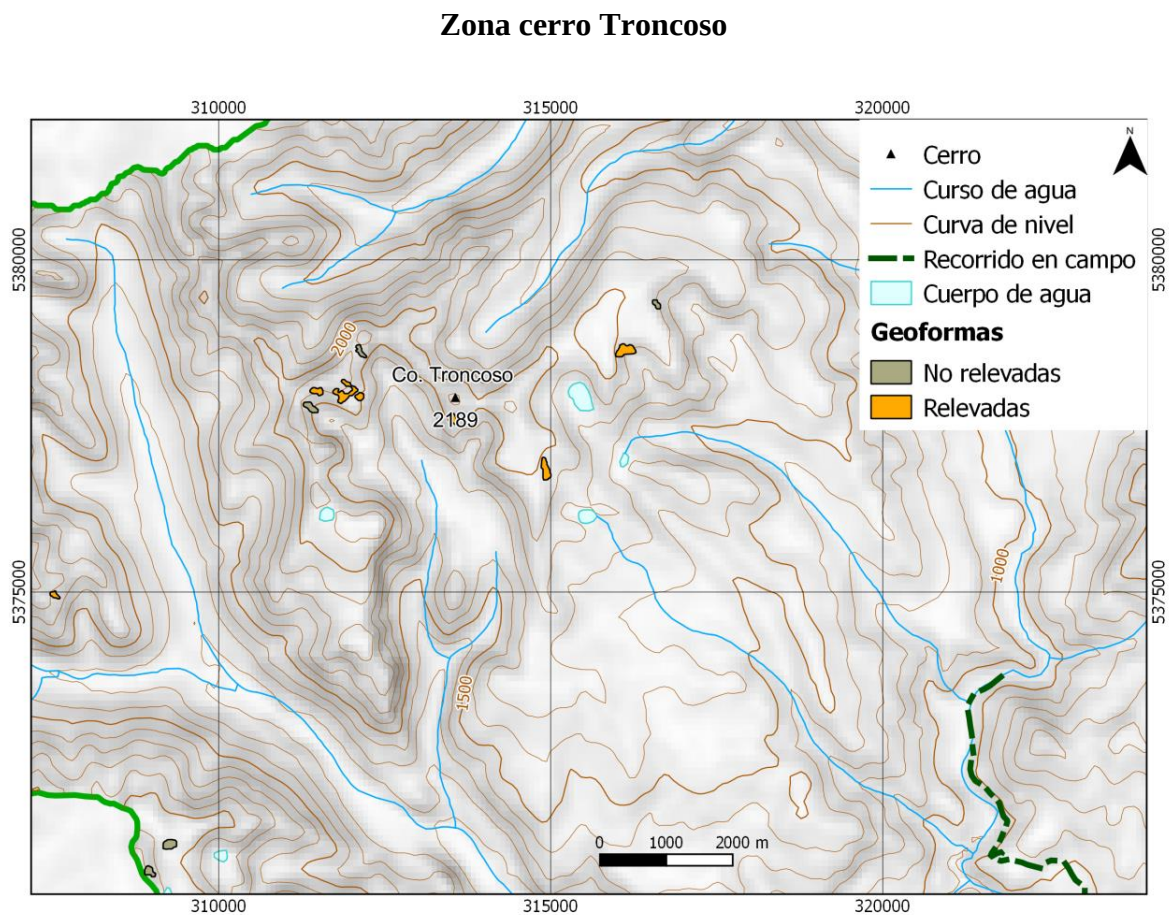
El control de campo se realizó en enero de 2017 en las cercanías del cerro Troncoso y el cordón Leleque.

7.2.1 Objetivos

Los objetivos de la campaña fueron:

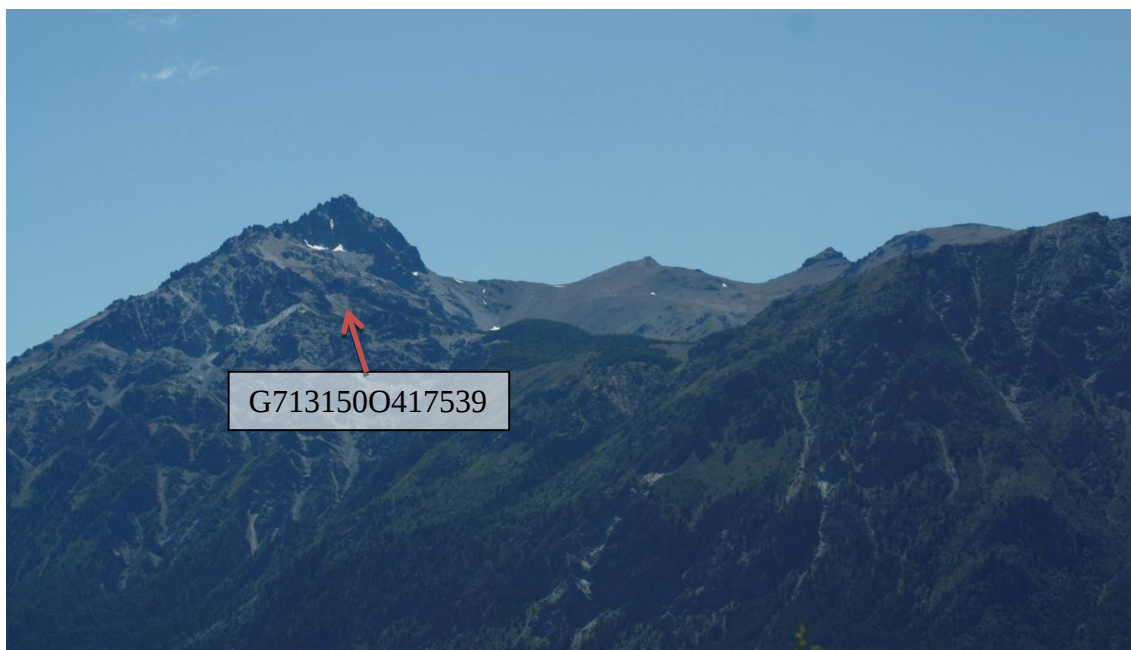
- ✓ Identificar en el campo las geoformas inventariadas en gabinete en una primera etapa a partir de imágenes satelitales
- ✓ Observar detalles morfológicos de las geoformas
- ✓ Verificar la clasificación de glaciares realizada
- ✓ Tomar fotografías de las diferentes geoformas
- ✓ Tomar puntos de referencia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

7.2.2 Resultados. Geoformas relevadas



Geoforma G713150O417539S

Este manchón de nieve identificado en la imagen de base no se observó en el campo al momento de realizar la campaña. Se indica con una flecha en rojo el lugar que ocupaba.



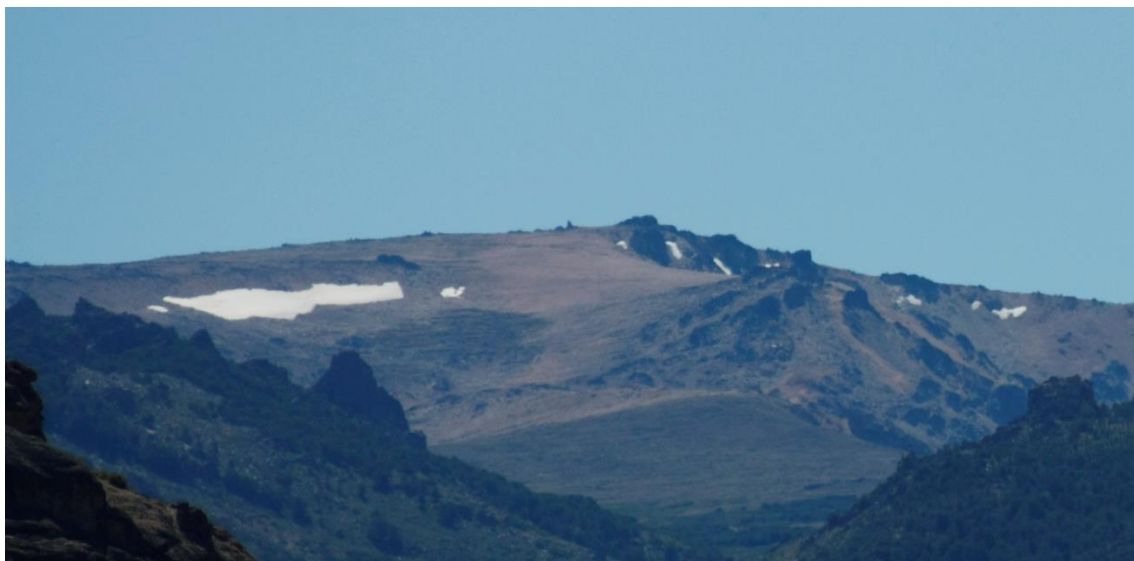
Geoforma G712103O417226S

Esta geoforma que fue identificada como un manchón de nieve en la imagen de base se encontraba fragmentada en tres partes en el momento en que fue realizado el trabajo de campo. Los manchones ubicados a la derecha e izquierda de la foto no estaban mapeados porque no les daba el área en la imagen de base.



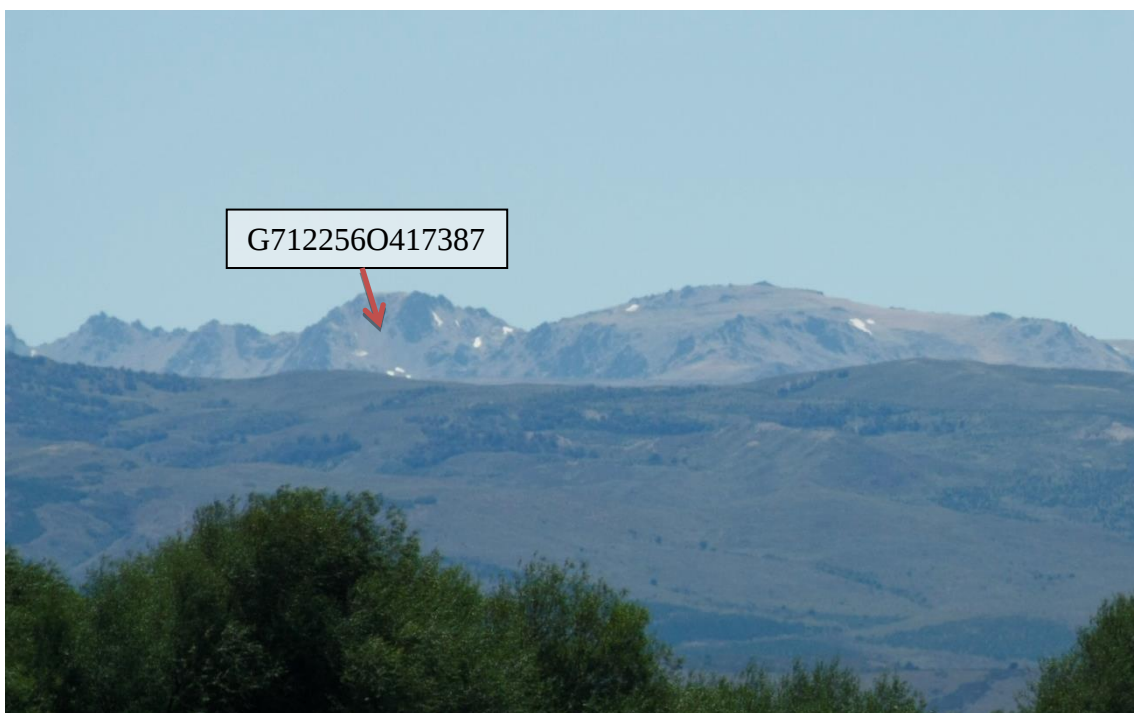
Geoforma G712256O417387S

Se observa una coincidencia en la clasificación realizada en gabinete con lo observado en campo de este manchón de nieve.



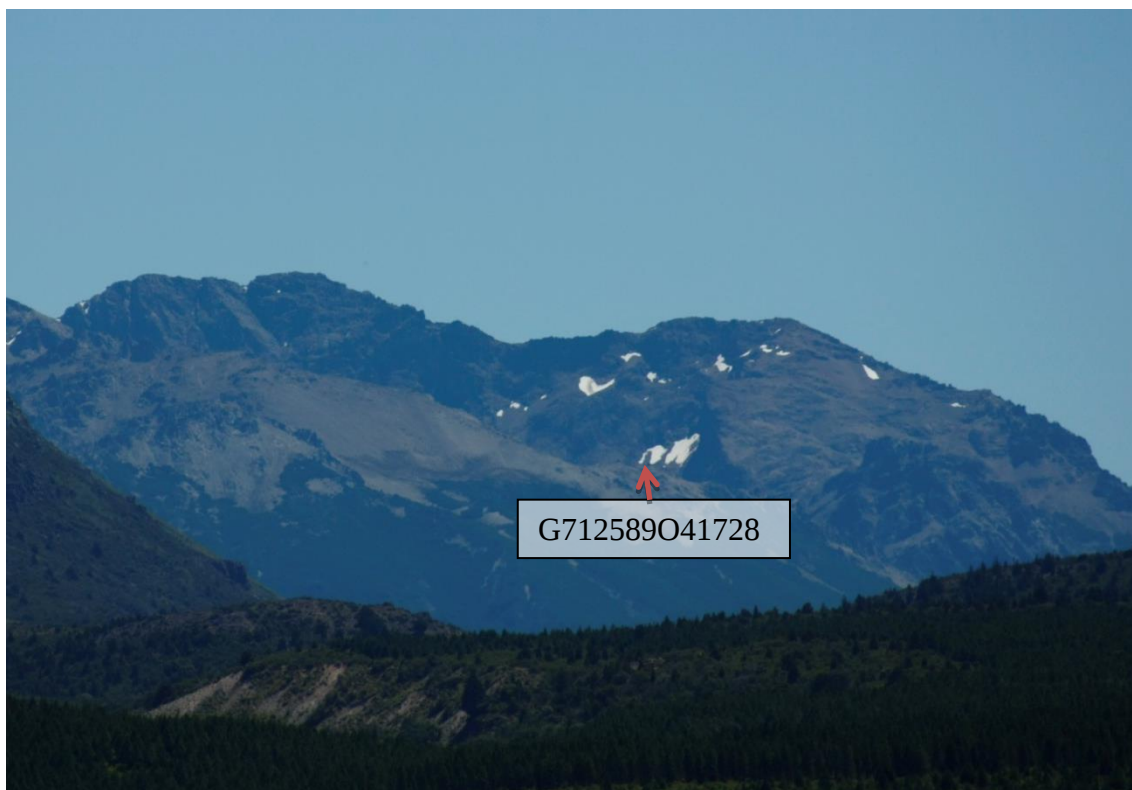
Geoforma G712419O417315S

En esta foto se observan los restos de un manchón de nieve que había sido identificado como una geoforma en la imagen de base.



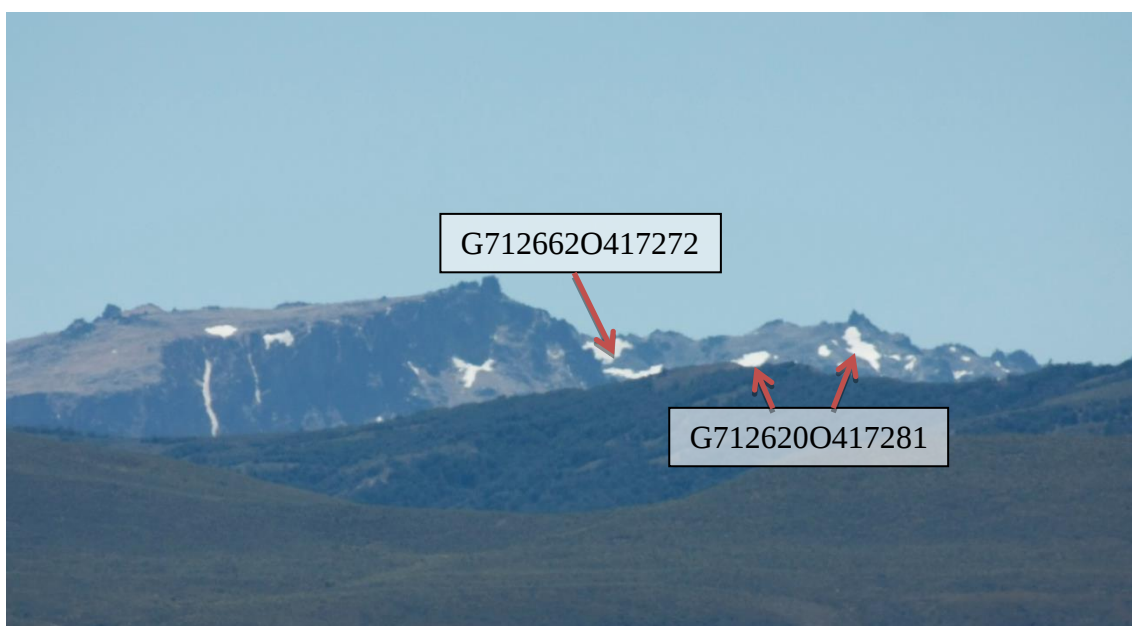
Geoforma G712589O417281S

En esta foto se aprecia la parte superior de manchón de nieve que había sido identificado en la imagen de base.

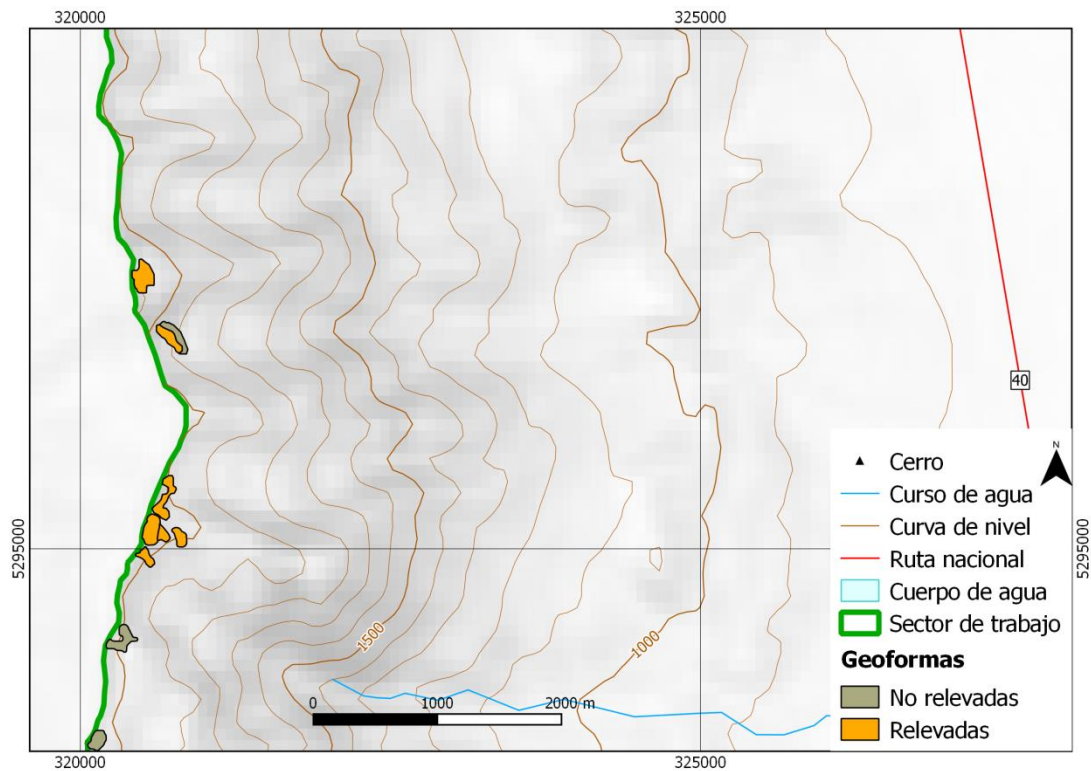


Geoformas G712662O417272S y G712620O417281S

En este caso se observan dos manchones de nieve que habían sido identificados en la imagen de base pero que al momento de realizar la campaña estaban fragmentados en dos o más partes cada uno.

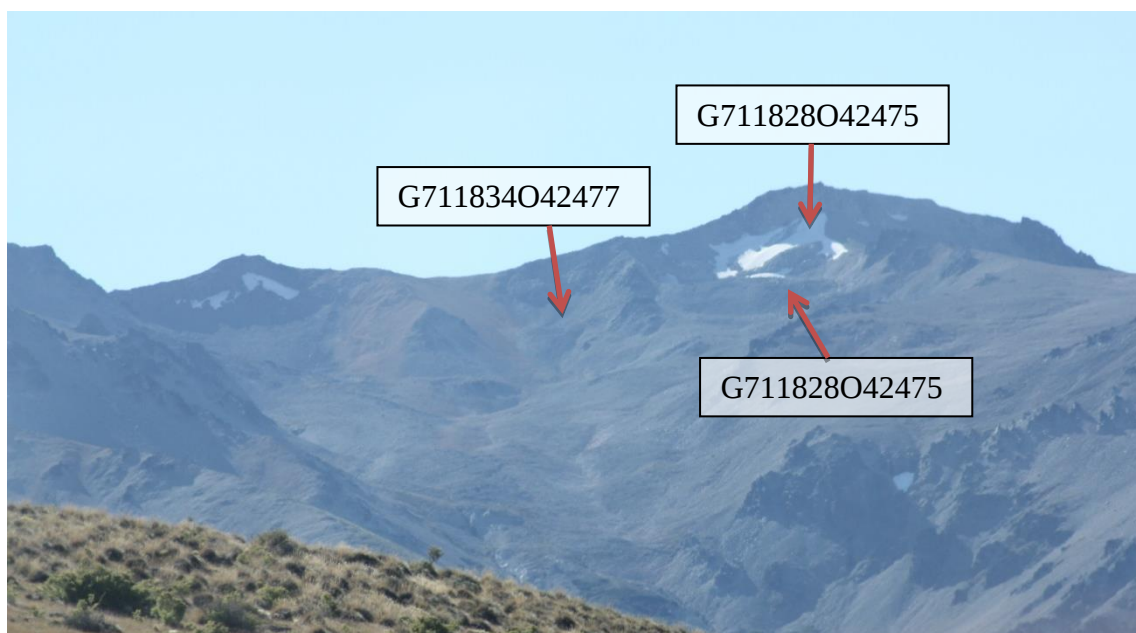


Cordón de Leleque



Geoformas G711834O424772S y G711828O424752S

En la foto se aprecia un glaciar de escombros inactivo identificado como G711834O424772S. La identificación realizada en gabinete coincide con la realizada en campo. La geoforma G711828O424752S es una unidad compuesta por un manchón de nieve y un glaciar de escombros que en gabinete fue clasificado como activo pero en el campo se apreció como inactivo.



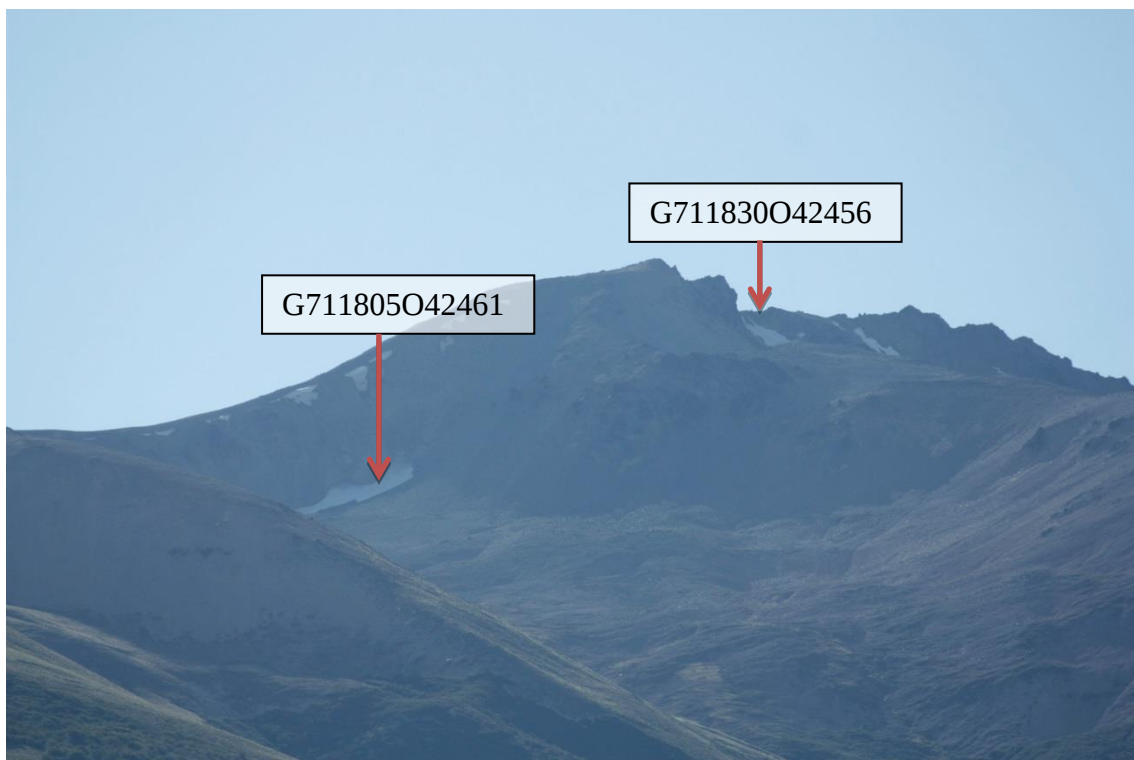
Geoforma G711814O424730S

Estos manchones de nieve habían sido identificados en gabinete como una sola geoforma.



Geoformas G711830O42456S y G711805O424613S

Pequeños manchones de nieve perenne.



Geoforma G711800O424758S

Esta foto corresponde a una campaña realizada en febrero de 2011 en donde se observa el glaciar de escombros inactivo G711800O424758S.



7.3. Descripción de la base de datos

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

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

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

M0550000

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

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

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

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

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

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

glacigénico (ambiente periglacial) a partir de sensores remotos, en particular si no se cuenta con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada glaciar cubierto con glaciar de escombros que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

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

9. Nombre común: si lo hubiere.

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

0. Incierto

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

(Müller et al., 1977). Incluye glaciares de circo, de nicho y de cráter.

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

11. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas

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

12. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

0. Desconocida
1. Nieve-nieve volada
2. Avalancha

3. Hielo sobreimpuesto

14. Actividad de la Lengua

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

15. Morena_1

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

16. Morena_2

0. Sin morena
1. Morena Terminal
2. Lateral y/o media
3. Morena de empuje
4. Combinación de 1 y 2
5. Combinación de 1 y 3
6. Combinación de 2 y 3
7. Combinación de 1 , 2 y 3
8. Cubierto, incierto si es morénico

9. Morenas de tipo incierto o que no figura

17. Cobertura de la lengua

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

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

0. Incierto

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

22. Estructura II

0. Incierto
1. Una raíz: una única fuente de alimentación.
2. Multiraíz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.
23. **Longitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
24. **Latitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
25. **Área:** área de cada polígono expresada en 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 cuenca del río Chubut, provincias de Río Negro y del Chubut.

