



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
Vinchina-Bermejo**

**Provincias de
La Rioja y San Juan**

Laguna Brava (Foto: P. Pitte)

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

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

Presidente de la Nación: Ing. Mauricio Macri

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sustentable: Rabino Sergio Bergman

Unidad de Coordinación General: Dra. Patricia Holzman

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

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

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

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

IANIGLA – CONICET

Inventario Nacional de Glaciares (ING)

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig

Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa

Director técnico: Dr. Pierre Pitte

Profesional: Lic. Hernán Gargantini

Colaboradores: Dr. Lucas Ruiz, Lic. Laura Zalazar, Ing. Silvia Delgado, Lic. Lidia Ferri Hidalgo,

Téc. Mariano Castro y Lic. Ivana Pecker

Mayo 2018

La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial establecida por el Poder Ejecutivo Nacional a través del Instituto Geográfico Nacional por Ley 22963 y ha sido aprobada por Expte. EX – 2017 – 15187490 – APN – DGA#IGN, de fecha 26 de julio de 2017

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Antecedentes	5
3. Definiciones a los fines del Inventario	6
4. Materiales y métodos	8
4.1. Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	9
4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	9
4.3. Delimitación del hielo descubierto	12
4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	13
4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas	13
4.6. Control de campo	15
5 Resultados	16
5.1. Cuenca del río Vinchina-Bermejo	16
5.2. Control de campo	23
6. Bibliografía	25
7. Anexos	28
7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la cuenca del río Vinchina-Bermejo	28
7.2. Control de campo en la cuenca Vinchina-Bermejo	30
7.2.1 Objetivos	30
7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas	30
7.3. Descripción de la base de datos	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Glaciares en la Caldera del Inca Pillo (Foto: P. Pitte)	2
Figura 2: Mapa de ubicación de la cuenca de Vinchina-Bermejo.....	8
Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada.	11
Figura 4: Delimitación en forma manual del hielo descubierto en el área de la Caldera del Inca Pillo.	12
Figura 5: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas.....	13
Figura 6: Glaciares ubicados a norte de cerro Veladero.	17
Figura 7: Manchones de nieve en hondonadas. Ladera noreste del cerro Baboso.....	18
Figura 8: Glaciares de escombros ubicados en la Quebrada de Santo Domingo, a 40 km al noroeste de la localidad de Jagüe.	18
Figura 9: Nevados del flanco occidental de la Sierra de Famatina.	19
Figura 10: Cuerpos de hielo en la cuenca del río Vinchina-Bermejo.	20
Figura 11: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, cuenca del río Vinchina-Bermejo.	21
Figura 12: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río Vinchina-Bermejo.	21
Figura 13: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 5 categorías, cuenca del río Vinchina-Bermejo.	22
Figura 14: Hipsometría de los cuerpos de hielo, cuenca del río Vinchina-Bermejo.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes de los sensores utilizadas como base para el Inventario de la cuenca del río Vinchina-Bermejo (ver anexo 7.1 para mayor información).	9
Tabla 2: Superficie englazada en la cuenca del río Vinchina-Bermejo.	19
Tabla 3: Rango altitudinal de las geoformas observadas en la cuenca del río Vinchina-Bermejo	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

GE: Glaciar de escombros

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LANDSAT: LAND=tierra y SAT=satélite

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

PRISM: Pancromático Remoto con Sensor de Instrumento para Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

1. Introducción

Argentina es uno de los pocos países del mundo que cuenta con varios miles de kilómetros cuadrados de glaciares y permafrost de montaña rico en hielo en su territorio. Según cálculos aproximados, Sudamérica tendría cerca de 25.500 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, con cerca del 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 las 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 La Rioja, los glaciares ubicados alrededor de la caldera de la laguna del Inca Pillo son probablemente los más conocidos (Figura 1). Muchos visitantes llegan cada año para admirar el paisaje o para ascender algunas de las grandes cumbres como el cerro Bonete Grande (5.943 msnm), Bonete Chico (6.759 msnm), o el Veladero (6.436 msnm).

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.



Figura 1: Glaciares en la Caldera del Inca Pillo (Foto: P. Pitte).

Considerando los servicios ambientales que nos brinda, 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 verían alterados por las distintas actividades humanas que se desarrollen en sus cercanías?

Conscientes de la importancia nacional y regional de los cuerpos de hielo en nuestra Cordillera, entre junio y octubre de 2010 las Honorables Cámaras de Diputados y Senadores de Argentina convirtieron en Ley un Proyecto de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y el Ambiente Periglacial”, que contempla entre otras medidas, la creación de un Inventario Nacional de Glaciares. El 28 de Octubre de 2010 fue promulgada la Ley 26.639 de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”, la cual en su Artículo 3 establece:

*ARTÍCULO 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.

El presente informe del Inventario Nacional de Glaciares corresponde a los estudios de nivel 1 en la cuenca del río Vinchina-Bermejo. En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución”, y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares en la cuenca del río Vinchina-Bermejo fue elaborado en febrero de 2015 y aprobado según resolución N° RESOL-2017-801-APN-MAD del 15 de noviembre de 2017, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

Agradecemos a Guillermo Luis Almaraz por facilitarnos incondicionalmente la información contenida en el libro, “+6500 una forma de dimensionar los andes”, el cual fue de gran utilidad a la hora de planificar las campañas de campo.



Laguna Brava, con el cerro Veladero de fondo.

2. Antecedentes

Los cuerpos de hielo y nieve de la región ubicada entre los 23° y 30° de latitud sur, fue inicialmente estudiada por Lliboutry (1956). El área se caracteriza por ser extremadamente árida y los cuerpos de hielo se ubican confinados en los picos mayores a 6.000 msnm. La mayoría se encuentran en pequeños circos o nichos de nivación, y unos pocos presentan grietas o signos de movimiento. Estos cuerpos son formados por nieve recongelada y no presentan línea de equilibrio. Los mismos son de tipo reservorio, es decir que, todo el cuerpo de hielo se encuentra en balance positivo (acumulación) o negativo (ablación) dependiendo de la época del año. En años normales solo parches de firn se encuentran sobre los glaciares, mientras que en los años húmedos absolutamente todo el glaciar puede hallarse dentro del área de acumulación (Lliboutry, 1956).

Oyarzún en 1986, realizó un inventario de los glaciares del norte de los Andes Chilenos desde los 18° a los 32° de latitud sur. El estudio se basó en la identificación de los glaciares y manchones de nieve permanentes, aunque también incluyó nieve estacional, sin considerar los glaciares de escombros (Oyarzún, 1986).



Vicuñas y cerro Veladero de fondo.

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 los inventarios de cuerpos de hielo para la cuenca del río Vinchina-Bermejo aquí presentado.

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

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

Glaciar (descubierto y cubierto): cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve, con o sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no (*) y de un área mayor o igual que 0,01 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 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 presentar cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 2003; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

Glaciar cubierto con glaciar de escombros: en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciar de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciar) y el glaciar de escombros 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; Arenson 2010; Brenning y Azócar 2010; Azócar y Brenning 2010). Es precisamente el alto contenido de hielo el que favorece su desplazamiento pendiente abajo (Haeberli 1985; Barsch 1996). Este movimiento es el que genera los rasgos característicos superficiales (crestas y surcos, crestas laterales) que permiten identificar a los glaciares de escombros en las imágenes satelitales (Haeberli 1985; Trombotto 1991; Barsch 1996; Ikeda y Matsuoka 2002). Por otra parte, es importante aclarar que la distribución de hielo dentro de los glaciares de escombros no es homogénea, ya que existen variaciones tanto horizontales como verticales, de allí la importancia de identificar la totalidad del cuerpo (Barsch 1996; Gruber y Haeberli 2009; Arenson y Jakob 2010; Otto et al. 2010).

4. Materiales y métodos

La ejecución del Inventario Nacional de Glaciares sigue las normativas internacionales establecidas por el World Glacier Monitoring Service (WGMS 1967 y posteriores; UNESCO-IAHS 1970; Müller 1977) y su programa World Glacier Inventory (WGI), normativas del Programa Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS: Racoviteanu et al. 2009), la IPA (International Permafrost Association), y directivas empleadas en inventarios previos en los Andes Centrales y Patagónicos (Corte y Espizúa 1981; Delgado et al. 2010).

Este informe corresponde al inventario de glaciares de la cuenca del río Vinchina-Bermejo (Figura 2). La cuenca de estudio presenta un largo aproximado de 240 km en sentido norte-sur, por un ancho de 100 km aproximadamente en sentido este-oeste. El área total de la zona de estudio es de 24.461 km².

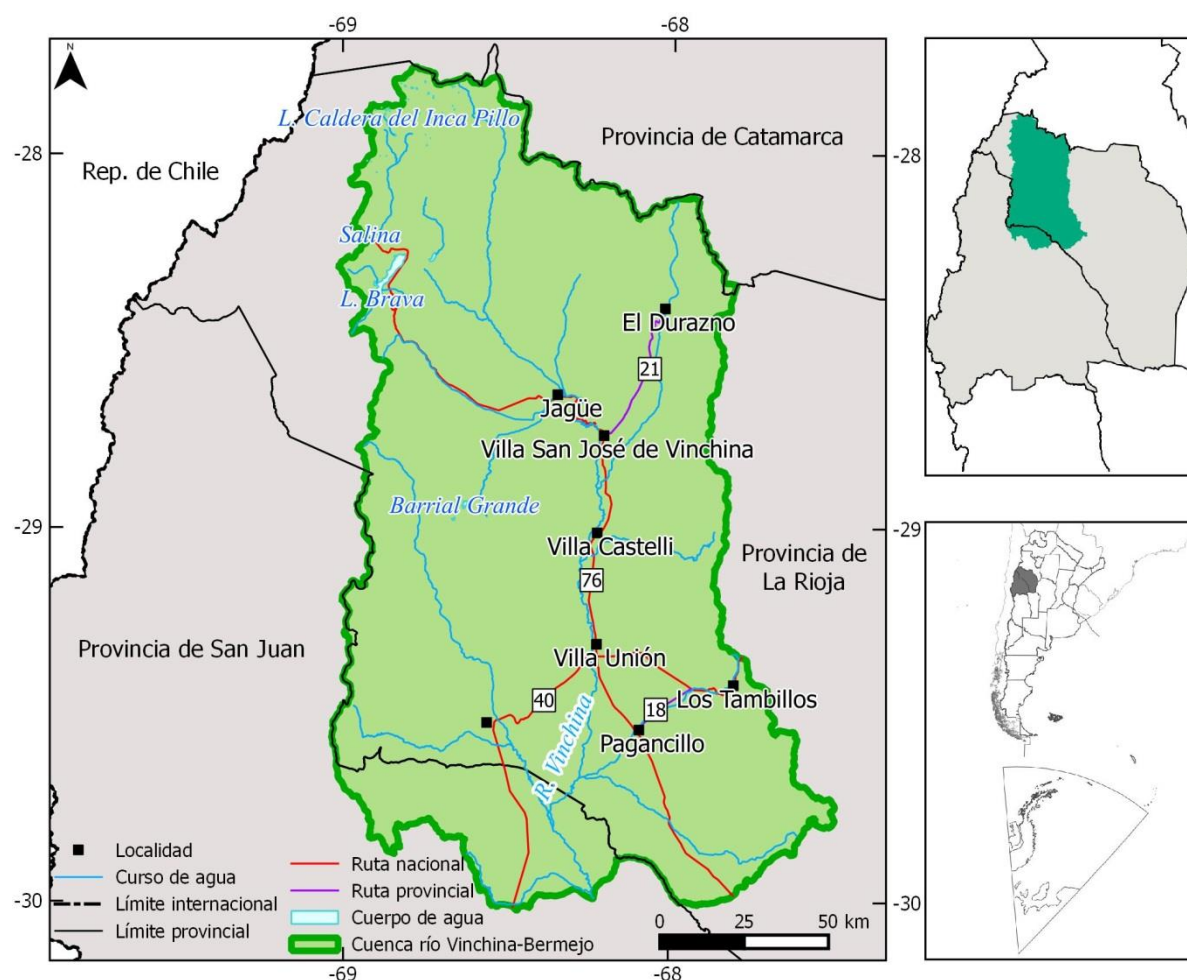


Figura 2: Mapa de ubicación de la cuenca del río Vinchina-Bermejo.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en la cuenca del río Vinchina-Bermejo se basó con información proveniente de modelos digitales de elevación (MDE) *Shuttle Radar Topography Mission*, que tiene una cobertura cuasi-global y está disponible en forma libre (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). De los MDE disponibles se decidió trabajar con el SRTM v 4 (resolución espacial 90 m).

A través del programa QGIS (software libre) se delimitó la cuenca utilizando como base el mosaico del SRTM. Los pasos básicos para obtener las cuencas hidrográficas en QGIS consisten en primer lugar en el llenado de sumideros y posteriormente delimitar el tamaño mínimo de la cuenca que viene dado en base al número de celdas que seleccionemos. Cada cuenca delimitada fue posteriormente editada y corregida manualmente, en aquellos casos en que no hubo un buen ajuste entre el MDE y la imagen. La edición manual de las cuencas fue realizada empleando el programa QGIS¹ (software libre).

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el Inventario en la cuenca del río Vinchina-Bermejo se utilizaron como base dos (2) imágenes ASTER, dos (2) imagen ALOS-AVNIR y tres (3) imagen LANDSAT. Además se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo ALOS-PRISM y las imágenes disponibles en Google Earth y Bing. A su vez, las imágenes Landsat también fueron usadas como base de georreferenciación, mientras que las imágenes de mayor resolución espacial (ALOS-PRISM) fueron importantes para la detección de glaciares de escombros (ver anexo 7.1 donde se adjunta información de todas las imágenes empleadas para la realización de este inventario).

Tabla 1: Imágenes de los sensores utilizadas como base para el Inventario de la cuenca del río Vinchina-Bermejo (ver anexo 7.1 para mayor información).

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST14OTH_00310112000145131	11 octubre 2010
Terra/ASTER	AST14OTH_00310112000145140	11 octubre 2010
LANDSAT	L5232079_20091120	20 noviembre 2009
LANDSAT	L5232080_20091120	20 noviembre 2009
LANDSAT	L5232081_20091120	20 noviembre 2009
ALOS-AVNIR	ALAV2A224864160	14 abril 2010
ALOS-AVNIR	ALAV2A224864150	14 abril 2010

¹ [http:// www.qgis.org/](http://www.qgis.org/)

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). Y las imágenes ALOS fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina y por el Dr. Jinro Ukita, Niigata University, a través del proyecto JICA-IANIGLA.

Para la selección de imágenes se siguieron las sugerencias establecidas por GLIMS que tienen en cuenta la disponibilidad de imágenes, la ausencia de nubes y la cobertura de nieve en las mismas. Para minimizar los posibles errores que introduce la cobertura de nieve, que dificulta la delimitación de los cuerpos de hielo, se eligieron casi exclusivamente imágenes correspondientes al final del año de balance de masa (Cogley et al. 2011). En el caso de glaciares extratropicales, el final del año de balance de masa coincide con el fin del verano, principios de otoño (Marzo/Abril), mientras que para los glaciares tropicales se aproxima con el final de la temporada seca (fines de agosto y principios de septiembre).

En este trabajo, las coordenadas están referidas al sistema de referencia global WGS84, y el sistema de proyección elegido es el UTM (Universal Transversal Mercator). Este sistema de referencia y proyección es utilizado internacionalmente, lo que permitirá comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con información de otros países. Las superficies están expresadas en kilómetros cuadrados y como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes están expresadas en metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

Con respecto a la georreferenciación, las imágenes ASTER utilizadas como base para la delimitación de los cuerpos de hielo tienen una muy buena ortorrectificación (Fujisada et al. 2005), por lo que la mayoría de las escenas se emplearon sin tener que realizar ningún tipo de corrección. No obstante, en algunas imágenes se corrigieron pequeñas variaciones en la georreferenciación utilizando como base un mosaico compuesto por imágenes LANDSAT 5 TM. Estas imágenes, generadas por el USGS (United States Geological Survey) son internacionalmente aceptadas como base de referencia (Tucker et al. 2004). El procedimiento de georreferenciación se realizó con el software gratuito QGIS.

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

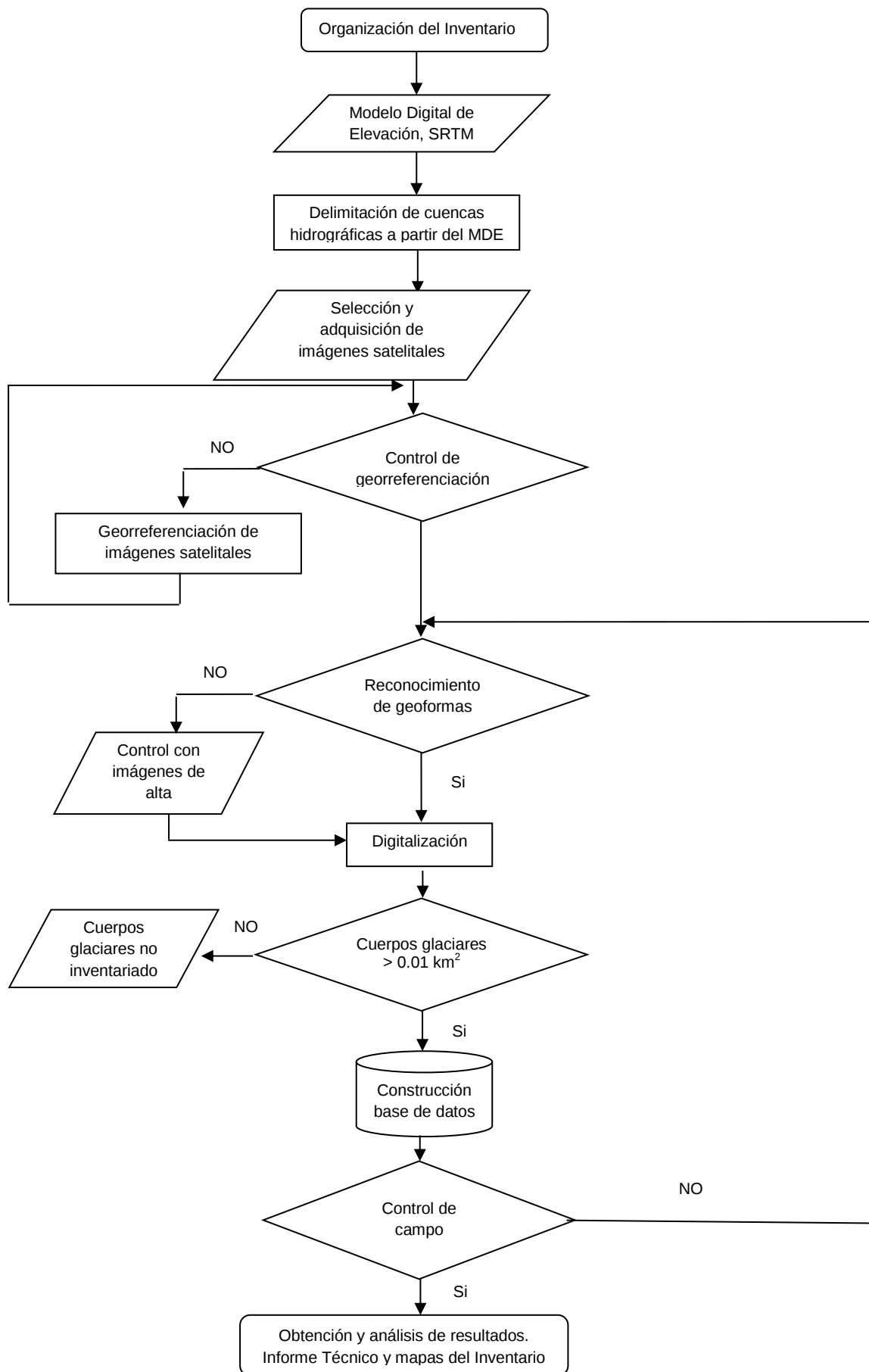


Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada.

4.3. Delimitación del hielo descubierto

El paso posterior a la determinación de las cuencas hidrográficas es la delimitación del hielo descubierto. La digitalización de los cuerpos de hielo se realizó de forma manual debido a que la cuenca de estudio no posee grandes cantidades de glaciares descubiertos y los mismos se caracterizan por ser de pequeñas dimensiones. La Figura 4 ilustra las etapas de clasificación e identificación de los cuerpos de hielo descubiertos. Dicha información se combina con los datos derivados del MDE para obtener el mapa final del inventario de glaciares.

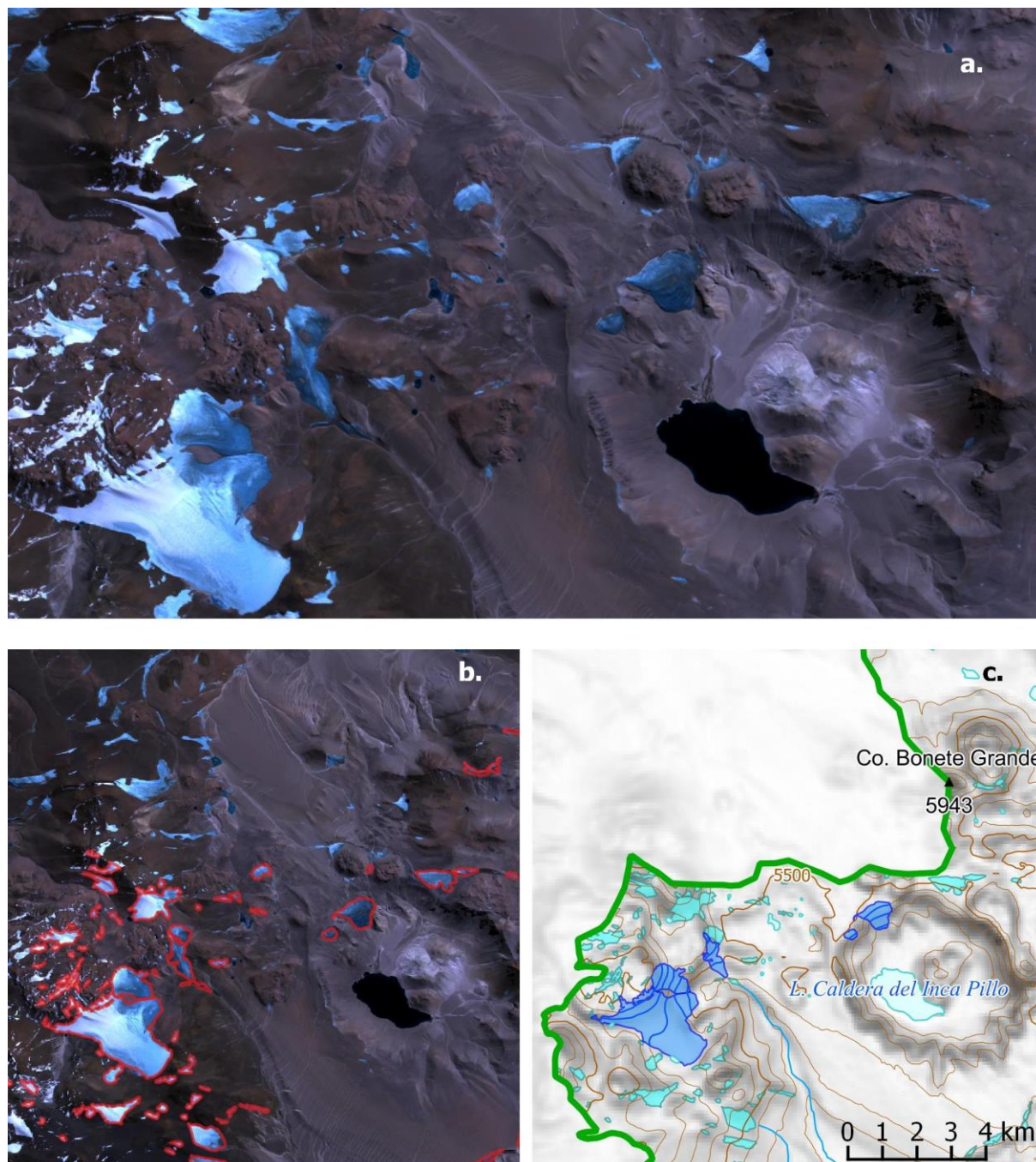


Figura 4: Delimitación en forma manual del hielo descubierto en el área de la Caldera del Inca Pillo. a) Imagen ALOS-AVNIR. b) Cuerpos de hielo digitalizados manualmente. c) Mapa final del inventario.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo para glaciares cubiertos de detrito y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la mejor metodología más utilizada a nivel internacional (Stokes et al. 2007). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo. Para ello, además de las imágenes empleadas como base (Tabla 1), utilizamos en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución espacial PRISM (ALOS) y las imágenes disponibles en Google Earth y Bing. La digitalización fue realizada con la utilización del programa QGIS (Figura 5).

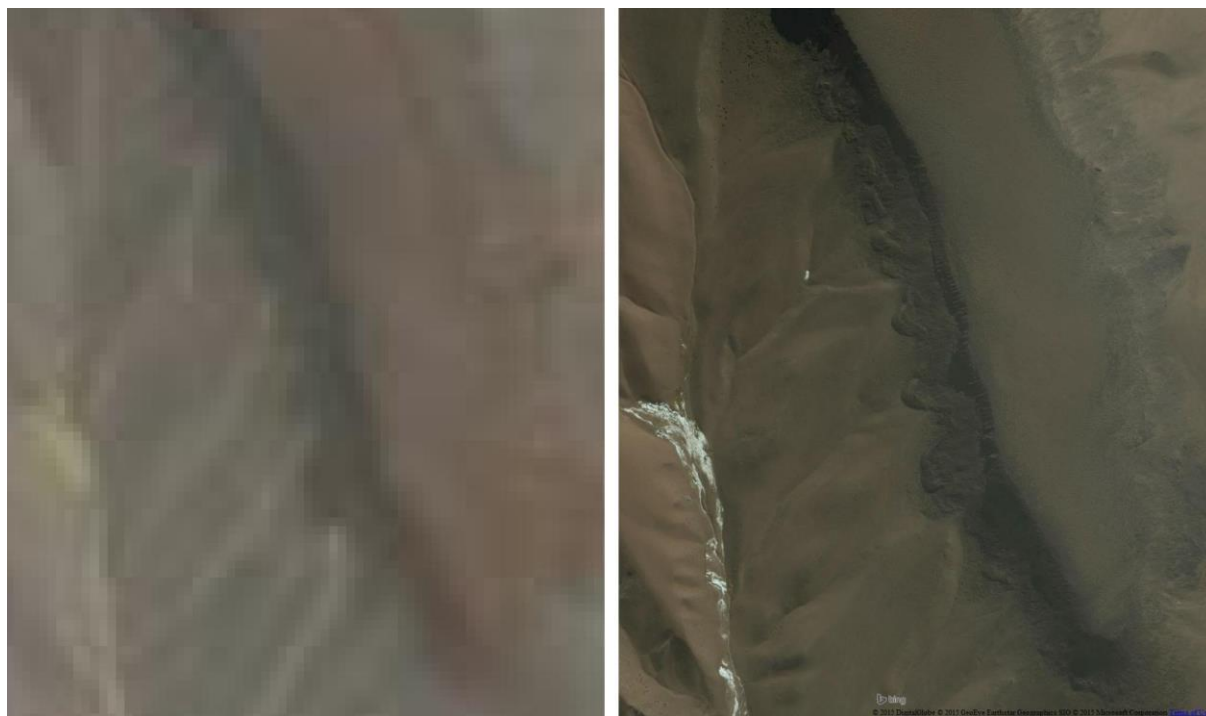


Figura 5: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse tres glaciares de escombros en una imagen LANDSAT (30 m de resolución). A la derecha se pueden apreciar las mismas crioformas con mucha mayor claridad, en una imagen de Bing.

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

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

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

argentinos. Las clasificaciones internacionales fueron ampliadas para incorporar este tipo de glaciares y sus características.

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

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

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

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

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

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

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

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** 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.

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.



Laguna Brava.

5 Resultados

5.1. Cuenca del río Vinchina-Bermejo

La cuenca de estudio se ubica en la región de los Andes Desérticos de la República Argentina y abarca el sector noroccidental de la provincia de La Rioja y una franja de la provincia de San Juan. Colinda en su parte occidental con la cuenca del río Blanco, afluente del río Jáchal, ubicado en la provincia de San Juan. El límite con esta cuenca lo constituyen la sierra de la Punilla y la sierra de Veladero. Los cerros del monte Pissis (6.882 msnm), Nacimiento del Jagüe (5.829 msnm) y Pabellón Chico (4.521 msnm) conforman el borde septentrional de la cuenca separándolo de la cuenca de río Abaucán. Finalmente hacia el este limita con la cuenca Varias de Velazco a través del cordón montañoso conformado por la sierra de Famatina.

Hidrológicamente nace por fusión de las nieves cordilleranas situadas al noroeste de la provincia de La Rioja. Si bien el borde de cuenca no alcanza la Cordillera del límite, tiene sus afluentes en los nevados de los cerros Pissis, Nacimiento del Jagüe, Bonete Grande y Bonete Chico. Luego recibe varios afluentes a lo largo de su recorrido a medida que desciende hasta el bolsón de Jagüe. Esta localidad da nombre al río que se insume en el espeso manto sedimentario para reaparecer en una serie de manantiales en el valle de Vinchina escurriendo en adelante con rumbo sur. Casi al término de su recorrido se une al río Guandacol, que lo tributa por la margen derecha trayendo las aguas del río de La Troya (Subsecretaría de recursos SSHR²). Además incluye los ríos del Veladero, Punilla y Bonete. La cuenca de estudio forma parte de la cuenca del río Bermejo, donde su nivel de base la constituye la depresión de Guanacache, a la que llega con muy escaso caudal.

El glaciar de mayor importancia de esta cuenca está ubicado a unos 5 km al oeste de la Corona del Inca Pillo, sobre la ladera oriental de la sierra del Veladero. Presenta una superficie de 3,44 km² y se emplaza en una gran hondonada limitada por cuatro cerros superiores a los 5.800 msnm. Corresponde a un glaciar de montaña de cuenca simple que comienza a los 5.970 msnm y desciende hasta los 5.440 msnm con una longitud de 1.470 m. Su frente es de tipo coalescente no contribuyente ya que la lengua del glaciar fluye paralelo a otro glaciar de montaña, de dimensiones más pequeñas (0,66 km²), sin llegar a unificarse. Estos cuerpos de hielo, junto con el aporte de otro pequeño glaciar de montaña de cuenca simple (0,38 km²), situado muy cerca de estos, dan origen a un pequeño arroyo que culmina en una laguna luego de recorrer escasos 8 km.

Sobre la ladera sudoeste del monte Pissis (6.882 msnm), se ubican cuatro glaciares de montaña de tipo remanente situados en grandes depresiones. Los cuatro muestran características similares. Poseen una superficie que varía entre 0,50 y 1 km², se ubican entre los 5.300 msnm y los 6.170 msnm y presentan longitudes entre 1.300 y 1.900 m. A su vez, todos ellos, dan origen a pequeños arroyos que alimentan a pequeñas lagunas (inferiores a 0,2

² http://www.hidricosargentina.gov.ar/documentos/referencias_i8/52.pdf

km² de superficie) ubicadas muy cerca de los frentes de cada glaciar (menos de 4 km de distancia).

Sobre el borde occidental del cráter de la Caldera del Inca Pillo, entre los 5.100 msnm y los 5.500 msnm, se ubican dos pequeños glaciares de montaña que alimentan a la laguna situada en el centro de la caldera anteriormente mencionada (foto portada).

Al norte del cerro Veladero se ubican dos glaciares de montaña situados entre los 5.450 msnm y los 6.050 msnm cuyas longitudes son de 2.070 m y 1.330 m y sus superficies son de 0,83 km² y de 0,43 km² respectivamente (Figura 6). Estos glaciares presentan pequeñas lagunas en sus frentes, que alimentan a un arroyo afluente del arroyo del Veladero. Este último drena en sentido norte-sur hasta culminar en una pequeña salina ubicada al noroeste de la laguna Brava.

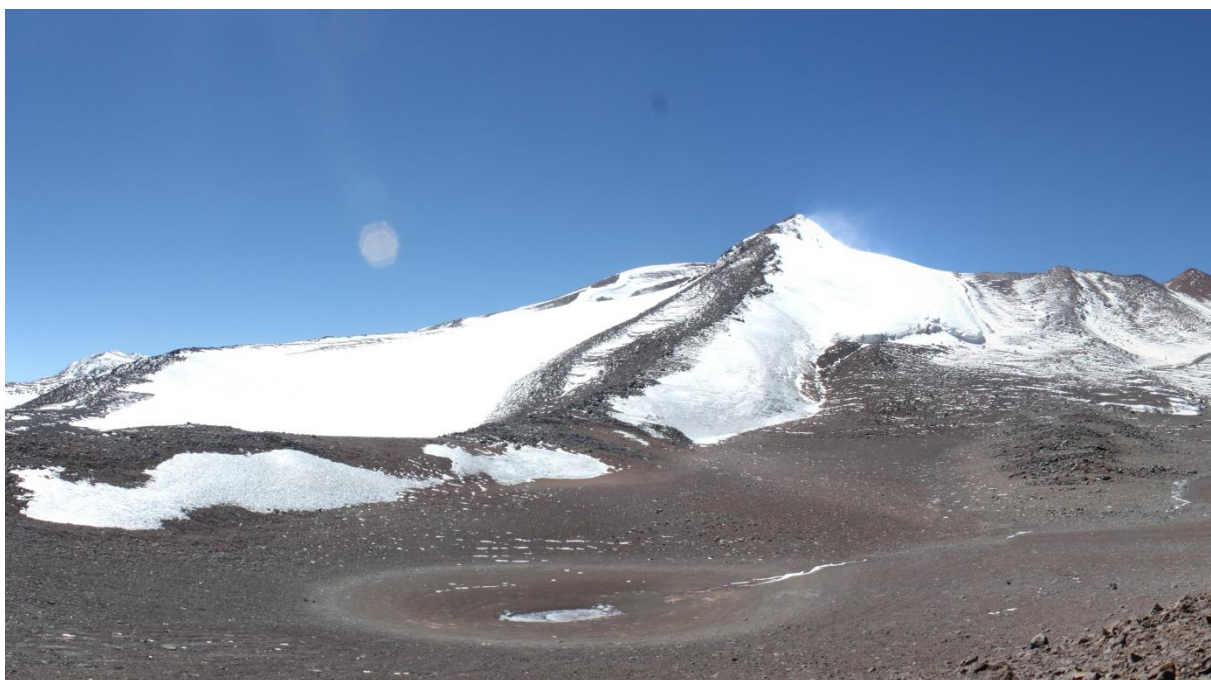


Figura 6: Glaciares ubicados a norte de cerro Veladero (foto: J.P. Scarpa).

Finalmente sobre la ladera nororiental del cerro Bonete Chico (6.759 msnm) se ubica un pequeño glaciar de montaña de cuenca simple, de 0,39 km² de superficie y 840 m de longitud. El mismo está emplazado a más de 6.000 msnm.

Manchones de nieve/hielo se observan ubicados principalmente en depresiones y/o canaletas, protegidos de la acción de viento, en los alrededores de las cumbres más altas. Estas masas de hielo/nieve comienzan a visualizarse a partir de los 4.700 msnm (Figura 7).



Figura 7: Manchones de nieve en hondonadas. Ladera noreste del cerro Baboso (foto: P. Pitte).

En el área de estudio solamente se observaron glaciares de escombros sobre el flanco occidental de cerro Azul, en las nacientes de la Quebrada de Santo Domingo y sobre la ladera occidental de la Sierra de Famatina. Estos cuerpos se sitúan entre los 4.000 y los 5.000 msnm y sus dimensiones oscilan entre 0,02 y 0,1 km² (Figura 8).

En rasgos generales más del 90% de los cuerpos de nieve/hielo se sitúan en el extremo noroccidental de la cuenca alrededor de las grandes cumbres mayores a 5.500 msnm. El resto se observan en un pequeño sector ubicado en la parte central del borde oriental de la cuenca. Allí se visualizan escasos y pequeñas geoformas emplazadas sobre el flanco occidental de los cerros más elevados que conforman la sierra de Famatina (cerro El Overo Negro de 5.791 msnm y cerro Gral. M. Belgrano de 6.097 msnm) (Figura 9).

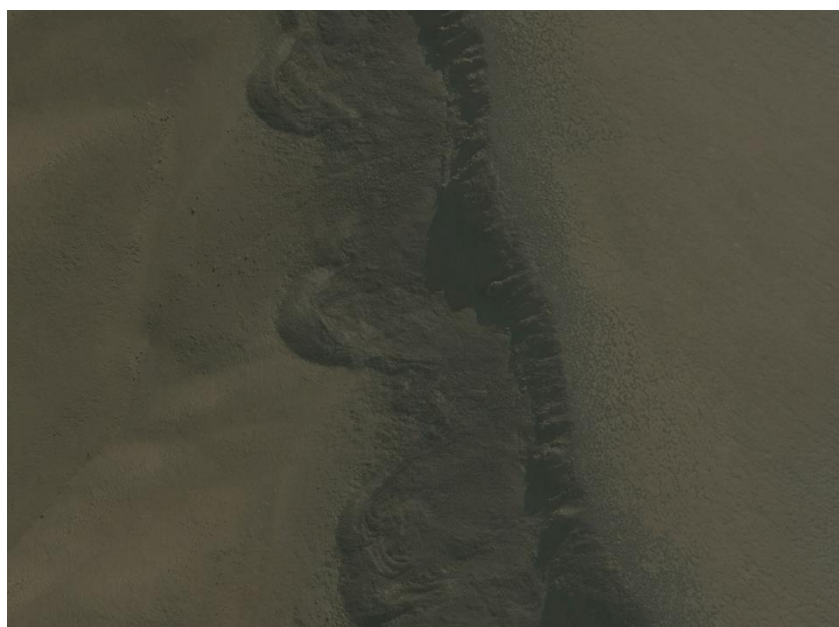


Figura 8: Glaciares de escombros ubicados en la Quebrada de Santo Domingo, a 40 km al noroeste de la localidad de Jagüe.

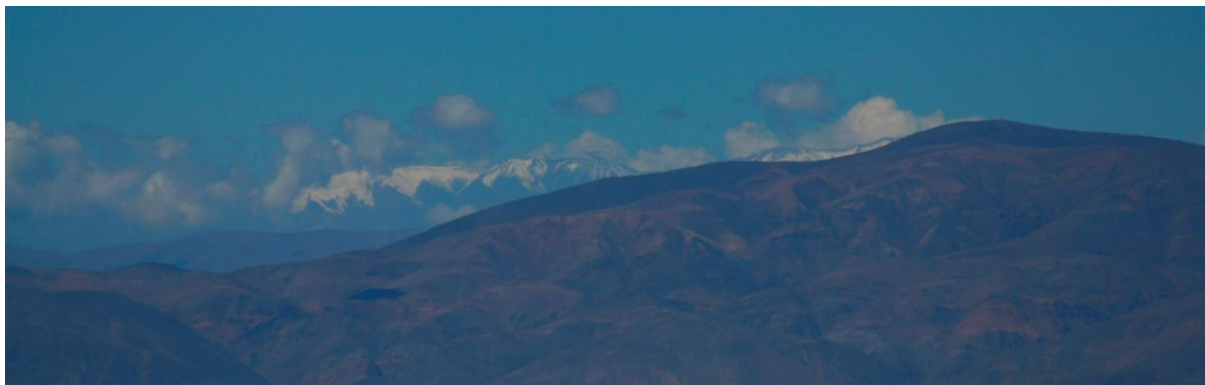


Figura 9: Nevados del flanco occidental de la Sierra de Famatina.

La superficie de la cuenca del río Vinchina-Bermejo es de 24.500 km² aproximadamente, de la cual 26,05 km² están cubiertos por masas de hielo, es decir un 0,1% de la cuenca presenta geoformas glaciales y periglaciales (Tabla 2).

El total de los cuerpos inventariados en la cuenca de estudio es de 266. En la Figura 10 se puede observar la cartografía correspondiente al inventario de la cuenca del río Vinchina-Bermejo.

Tabla 2: Superficie englazada en la cuenca del río Vinchina-Bermejo.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciares descubiertos	10,17
Manchones de nieve/glaciaretos	15,51
Glaciar de escombros	0,37
Total	26,05



Refugio Laguna Brava.

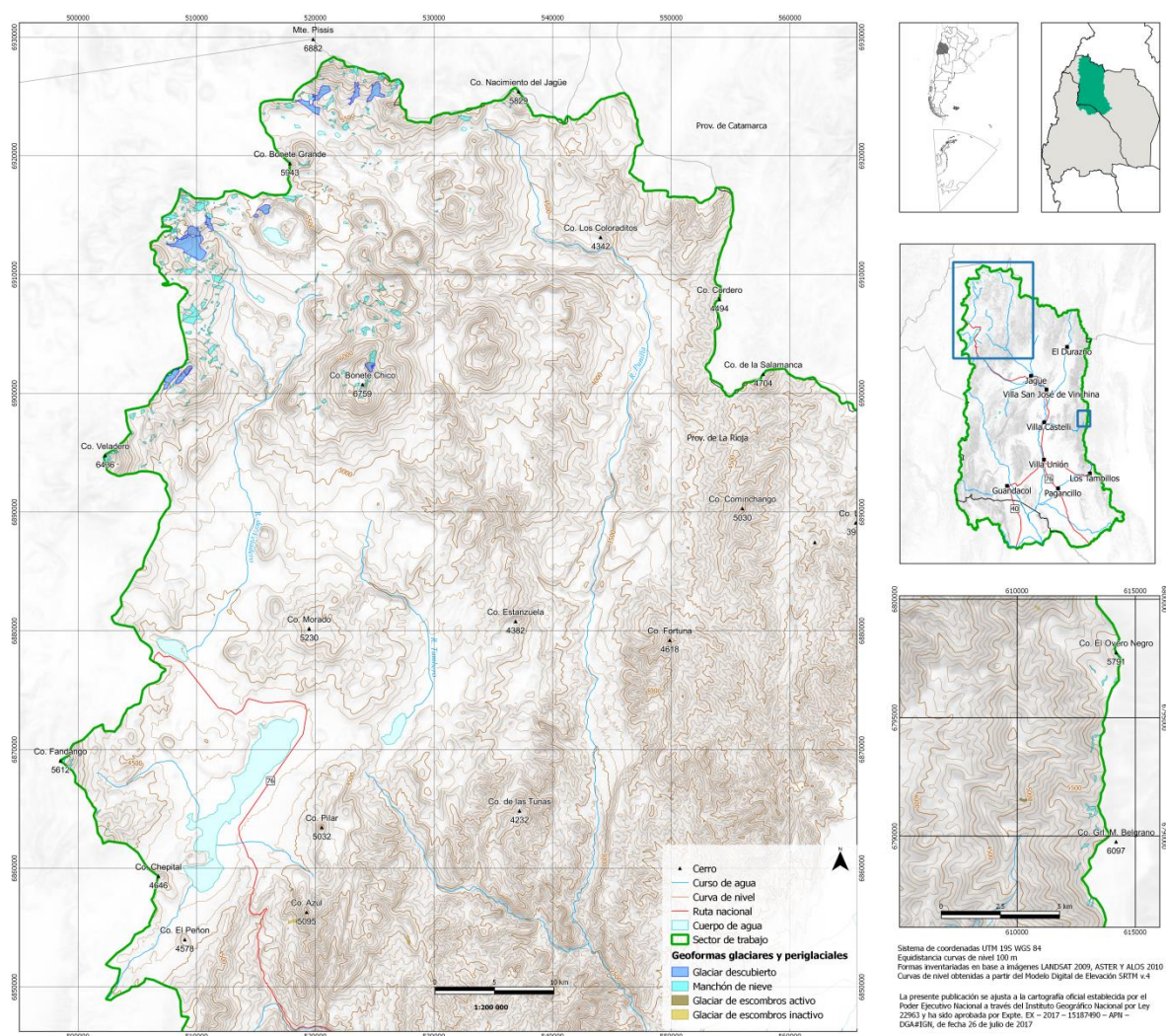


Figura 10: Cuerpos de hielo en la cuenca del río Vinchina-Bermejo.

La mayor parte de las geoformas inventariadas en la cuenca consiste en manchones de nieve. Ellos constituyen un 60% del área total de las masas de hielo, mientras que el 39% lo constituyen los glaciares descubiertos. En cambio, los glaciares de escombros, solamente representan un poco más del 1% del total de los cuerpos de hielo (Figura 11).

Superficie total cubierta por cuerpos de hielo: 26,05 km²
Total de geoformas inventariadas: 266

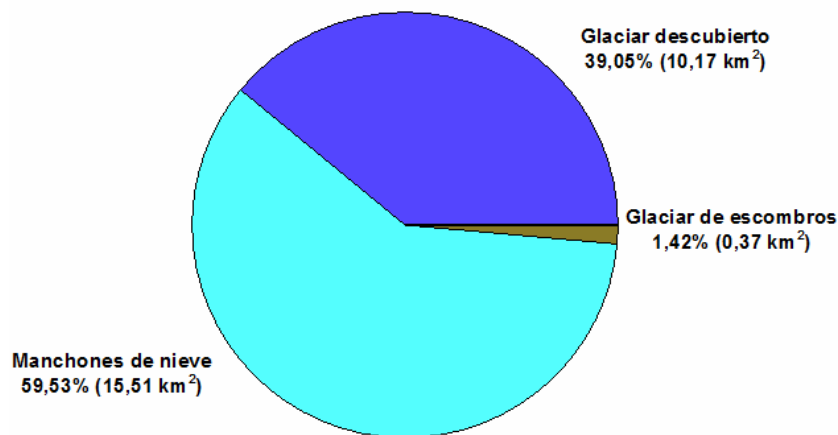


Figura 11: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, cuenca del río Vinchina-Bermejo.

La orientación de los cuerpos inventariados es predominantemente hacia el sureste. No se observan geoformas con orientaciones hacia el norte o noroeste (Figura 12).

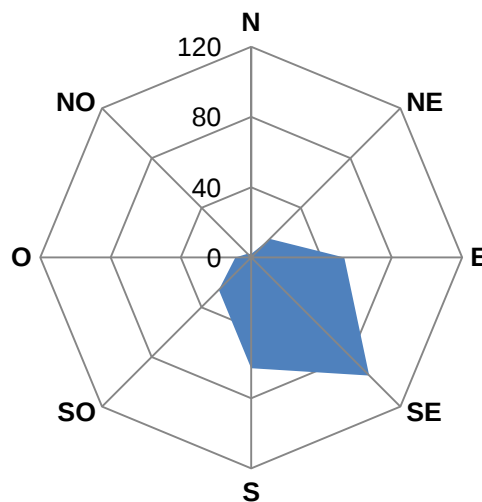


Figura 12: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río Vinchina-Bermejo.

En cuanto a la distribución relativa por tamaño de los distintos cuerpos de hielo, se observó que los cuerpos más pequeños (menores a 0,05 km²) son claramente mucho más numerosos que los cuerpos más grandes (entre 0,05 km² y 5 km²). Sin embargo, al analizar las superficies relativas cubiertas por las distintas clases de áreas, se puede observar que la distribución areal de los mismos es bastante uniforme. Los glaciares de mayor tamaño representan una mayor superficie con respecto a los glaciares de menor tamaño, a pesar de que estos últimos son mucho más numerosos (Figura 13).

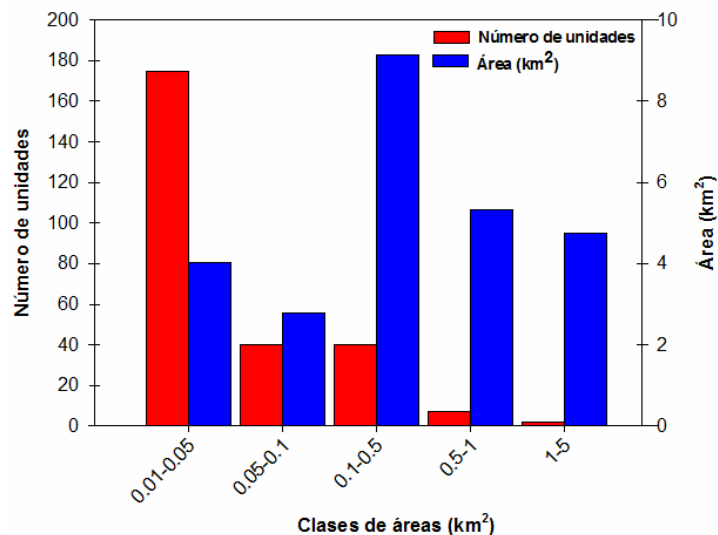


Figura 13: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados, cuenca del río Vinchina-Bermejo.

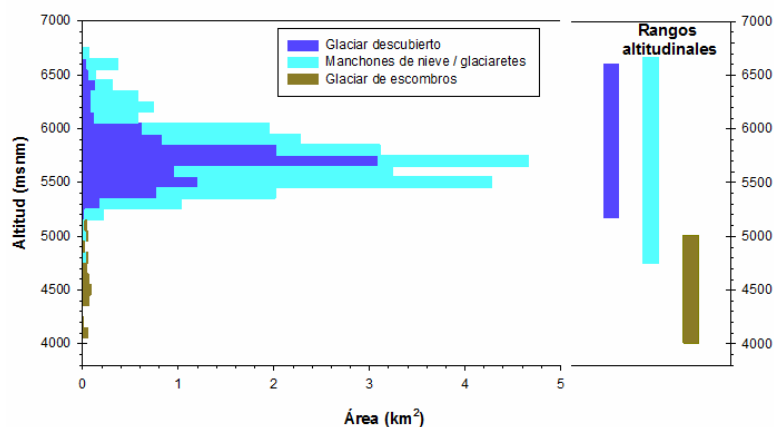


Figura 14: Hipsometría de los cuerpos de hielo, cuenca del río Vinchina-Bermejo.

Con respecto al rango altitudinal de las masas de hielo, los manchones de nieve/hielo se ubican confinados en los sectores deprimidos alrededor de los cerros que poseen cotas superiores a los 5.500 msnm (Pissis, Nacimiento del Jagüe, Bonete Grande, Bonete Chico, Veladero, Fandango, Gral. M. Belgrano y El Overo Negro) donde la nieve puede depositarse y permanecer de un año a otro. Los glaciares de escombros, en cambio, se emplazan a alrededor de los 4.400 msnm (Figura 14). Los detritos que conforman los glaciares de escombros protegen al cuerpo de hielo de las elevadas radiaciones solares, muy características de la zona de estudio, disminuyendo la ablación y permitiendo, de esta manera, la presencia de estas masas de hielo sobre cotas más bajas. La tabla 3 muestra las alturas máximas y mínimas de las geoformas observadas en la cuenca del río Vinchina-Bermejo.

Tabla 3: Rango altitudinal de las geoformas observadas en la cuenca del río Vinchina-Bermejo.

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciares descubiertos	5.179	6.601
Manchones de nieve/glaciaretos	4.749	6.667
Glaciar de escombros	4.007	5.011

5.2. Control de campo

El control en el terreno, correspondiente a la cuenca del río Vinchina-Bermejo, fue realizado entre el 17 de Marzo y el 9 de Abril del año 2017. Se observaron las geoformas ubicadas en la zona de la Corona del Inca Pillo y sus alrededores, abarcando el sector sureste del Monte Pissis, ladera sur del cerro Nacimiento del Jagüe, cerro Bonete Chico y el borde oriental de la Sierra del Veladero. También se observaron los cerros ubicados en los alrededores de la Laguna Brava (Co. Fandango y Co. Azul) y la Quebrada de Santo Domingo, afluente del río del Peñón. Finalmente se observó la ladera oriental de la Sierra de Famatina, pero allí no se pudieron distinguir los manchones de nieve propiamente dichos por hallarse la sierra muy nevada al momento de su visita.

A pesar de que en el momento de realizar el trabajo de campo había presencia de nieve caída durante un temporal de verano, se pudieron observar las geoformas sin inconvenientes y además se lograron distinguir los manchones de nieve perennes de la nieve estacional. En total se relevaron 102 geofomas de las 266 inventariadas para la cuenca del río Vinchina-Bermejo (38%). Para mayor detalle en el anexo 7.2. se describen las geoformas visitadas durante los trabajos de campo.

Con los datos adquiridos en el campo, se reveló una alta coincidencia con respecto a las geoformas observadas en el terreno y a las identificadas a través de métodos indirectos (trabajos realizados en gabinete). Del total de los 102 cuerpos de hielo visitados, en a la cuenca del río Vinchina-Bermejo, solamente se adicionaron tres geoformas (que no habían sido previamente observadas en gabinete) y se modificó la clasificación primaria en otras dos geoformas.



Laguna Brava y Sierra del Veladero.

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: p. 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: p. 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, Ottawa, Canada. Proceedings*, 1: p. 349-353.
- Barsch, D. 1996. *Rockglaciers*. Springer, Berlin: 331 pp.
- Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafr. Periglac. Process.* 16: p. 231–240.
- Brenning, A. y Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: p. 54 - 66.
- Cogley, J.G., Hock, R., Rasmussen, L.A., Arendt, A.A., Bauder, A., Braithwaite, R.J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson L. y Zemp, M. 2011. Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.
- Corte, A. 1976. Rock glaciers. *Biuletyn Peryglacjalny*, 26: p. 175-197.
- Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology*, 17: p.157-158.
- Corte, A. y Espizúa, L.E. 1981. *Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza*. IANIGLA-CONICET, Mendoza; 64 pp.
- Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P. y Villalba R. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS. *International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS*.
- Fujisada, H., Bailey, G. B., Kelly, G. G., Hara, S., y Abrams, M. J. 2005. ASTER DEM performance, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43: p. 2707-2714.
- Gruber, S. y Haeberli, W. 2009. Mountain Permafrost, in *Permafrost Soils* (ed) R. Margesin, *Soil Biology* 16. Springer-Verlag Berlin: p. 33-44p.
- Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitt. d. Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, Vol. 77: p. 142.

IANIGLA. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución, (2010) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico – CONICET Mendoza.

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

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

Lliboutry, L. 1956. Nieve y glaciares de Chile. Fundamentos de glaciología. Santiago, Chile, Ediciones de la Universidad de Chile. 471.

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

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

Oyarzun, G. 1986. Inventario de Glaciares de los Andes Chilenos desde los 18° a los 32° de latitud sur. Publicación interna E.H. 86/5. Dirección General de Aguas.

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

Schrott, L. 1996. Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). *Zeitschrift für Geomorphologie NF Suppl.-Bd.*, 104: p. 161-173.

Subsecretaría de Recursos Hídricos, Secretaría de Obras Públicas. Cuenca del río Vinchina-Bermejo. Cuenca N° 52.

Stokes, C. R., Popovnin, V., Aleynikov, A., Gurney, S. D. y Shahgedanova, M. 2007. Recent glacier retreat in Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra-proglacial lake development. *Annals of Glaciology*, 46: p. 95-213.

Trombotto, D. 1991. Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentinie. ("Investigaciones sobre geoformas y sedimentos periglaciales en la 'Lagunita del Plata', Mendoza, Argentina"). *Heidelberger Geographische Arbeiten*, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg, Alemania (ver en www.geog.uni-heidelberg.de/hga).

Trombotto, D. 2003. Mapping of permafrost and the periglacial environments, Cordón del Plata, Argentina. Eighth International Conference on Permafrost, ICOP, Zürich, Suiza.

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

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

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

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

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

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la cuenca del río Vinchina-Bermejo

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

Para las imágenes que se utilizaron como base del inventario, la selección final se realizó teniendo en cuenta aquellas de fechas más recientes, que tuvieran poca cobertura de nieve estacional y ausencia de nubes.

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

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

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
L5233079_20090212	12 febrero 2009	Base georreferenciación
L5233080_20090212	12 febrero 2009	Base georreferenciación
L5233079_20110101	01 enero 2011	Base georreferenciación
L5232079_20091120	20 noviembre 2009	Base inventario/georreferenciación
L5232080_20091120	20 noviembre 2009	Base inventario/georreferenciación
L5232081_20091120	20 noviembre 2009	Base inventario/georreferenciación

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
AST14OTH_00310112000145131	11 octubre 2010	Base inventario
AST14OTH_00310112000145140	11 octubre 2010	Base inventario

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

Sensor: AVNIR (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2)

Resolución espacial: 10 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE (Argentina).

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALAV2A224864160	14 abril 2010	Base inventario
ALAV2A224864150	14 abril 2010	Base inventario

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

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

Resolución espacial: 2,5 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE (Argentina).

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALPSMN063094185	01 abril 2007	Imagen de apoyo

7.2. Control de campo en la cuenca Vinchina-Bermejo

7.2.1 Objetivos

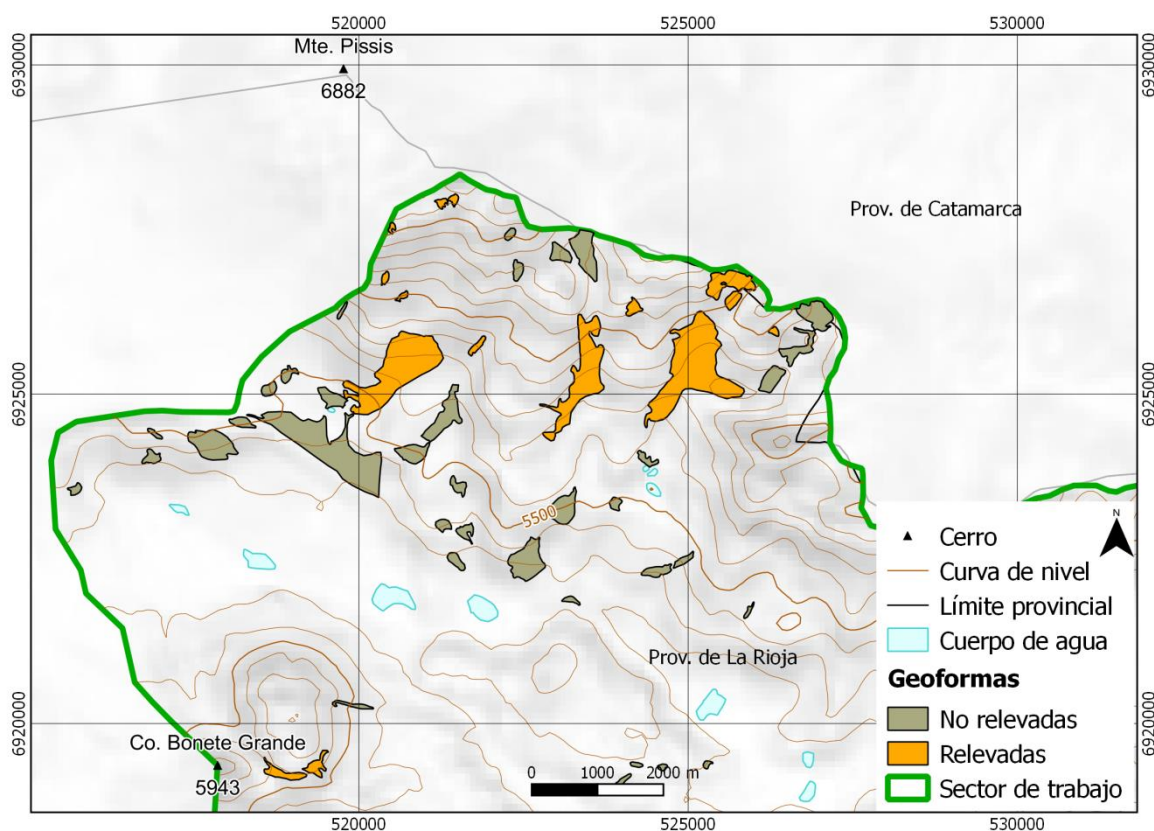
Los objetivos de la campaña fueron:

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

7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

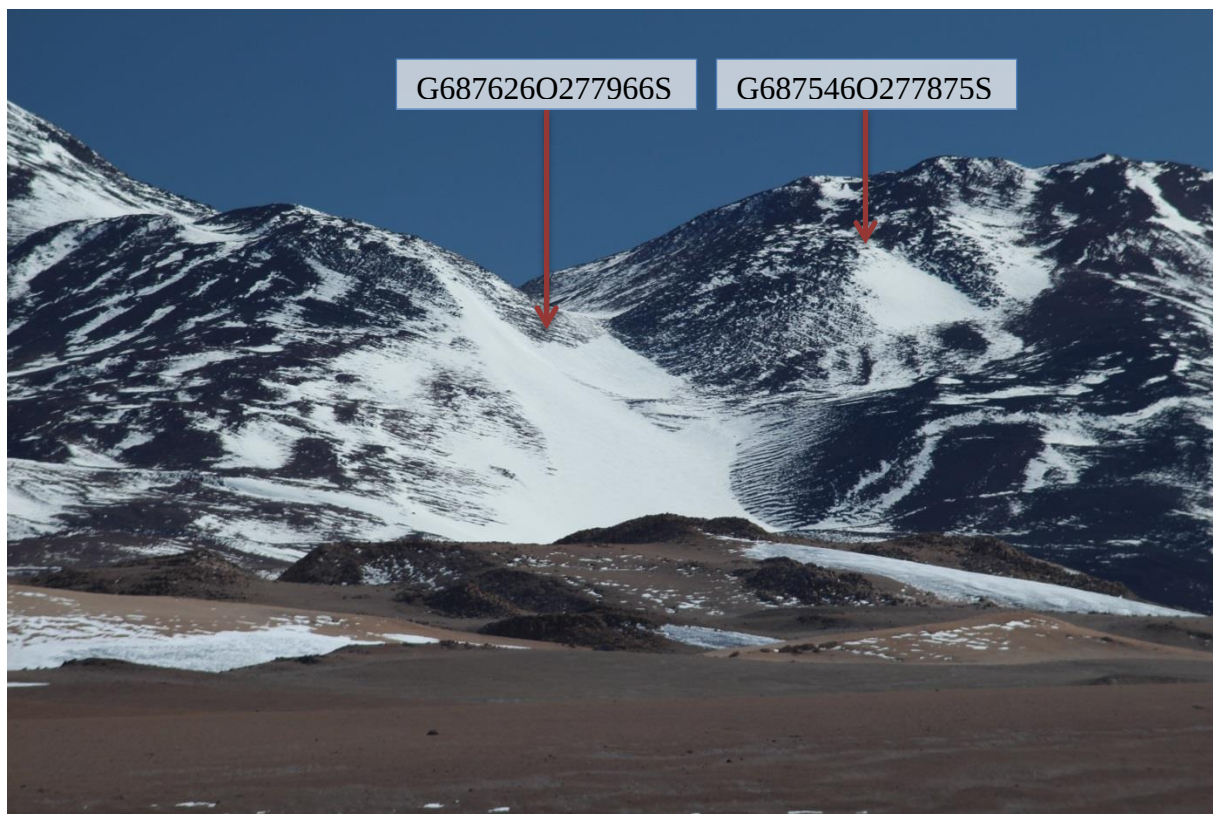
Cada sector visitado está acompañado por un mapa de ubicación donde se pueden observar las geoformas que fueron relevadas en el terreno. Además se pueden ver fotos y una breve descripción característica para cada una de ellas.

Sector sureste del Monte Pissis



Geoformas G687626O277966S y G687546O277875S

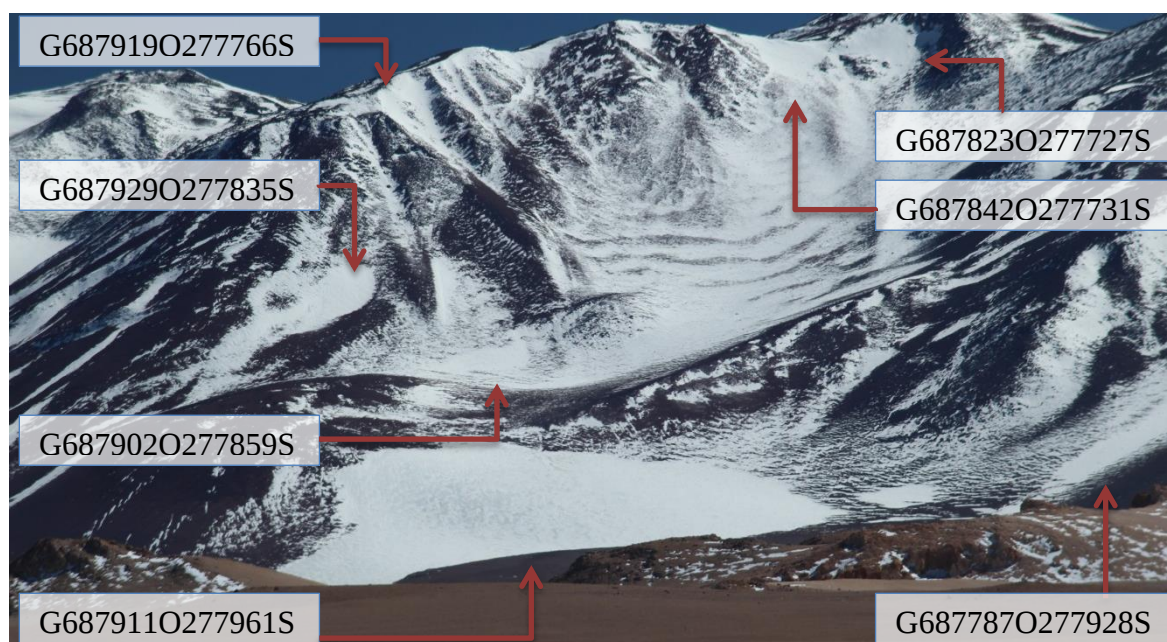
Glaciar de montaña y manchón de nieve ubicados sobre la ladera sudeste del Monte Pissis. Ambos con orientación hacia el sur. El glaciar descubierto, que durante los trabajos de gabinete se había inventariado como manchón de nieve, se sitúa entre los 6.169 y los 5.659 msnm y el manchón de nieve está emplazado alrededor de los 6.150 msnm. Ambos alimentan a una pequeña laguna dispuesta a 1,6 km del frente del glaciar.



Glaciar descubierto (izquierda) y manchón de nieve (derecha).

Geoformas G687919O277766S, G687929O277835, G687902O277859, G687911O277961, G687823O277727, G687842O277731 y G687787O277928S

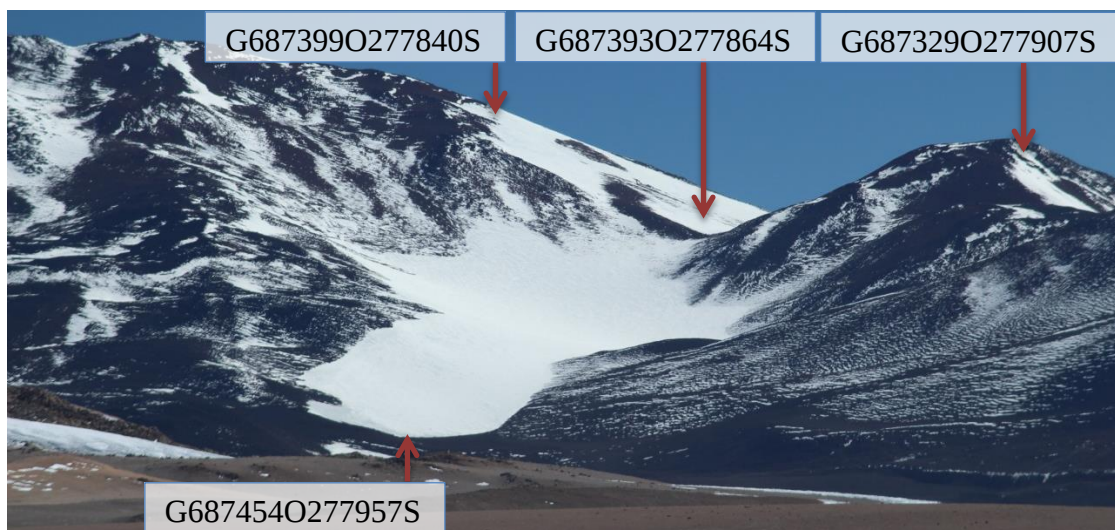
Glaciar de montaña y manchones de nieve ubicados sobre ladera sudeste del Monte Pissis. Tanto los machones de nieve como el glaciar descubierto presentan una orientación preponderante hacia el sur. Los primeros mencionados se sitúan sobre la ladera del cerro y en los sectores más elevados, entre los 6.670 y los 5.800 msnm, mientras que el glaciar descubierto se ubica en una hondonada o depresión, donde la acumulación nívea es mayor. Este último se emplaza entre los 5.820 y los 5.460 msnm. Todas estas geoformas alimentan a pequeñas lagunas aledañas.



Tramo superior del glaciar descubierto (centro inferior) y manchones de nieve (ladera del Mte. Pissis).

Geoformas G687399O277840S, G687393O277864S, G687329O277907S y G687454O277957S

Glaciar de montaña y manchones de nieve ubicados sobre ladera sudeste del Monte Pissis. Tanto los machones de nieve como el glaciar descubierto presentan una orientación preponderante hacia el sudeste. Los manchones de nieve se sitúan sobre la ladera del cerro y en los sectores más elevados, entre los 6.230 y los 5.970 msnm. El glaciar descubierto se ubica en una hondonada, donde la acumulación nívea es mucho mayor. Este último está emplazado entre los 5.970 y los 5.600 msnm. Finalmente todos estos cuerpos alimentan a pequeñas lagunas aledañas.



Glaciar descubierto (Centro) y manchones de nieve (sector superior).

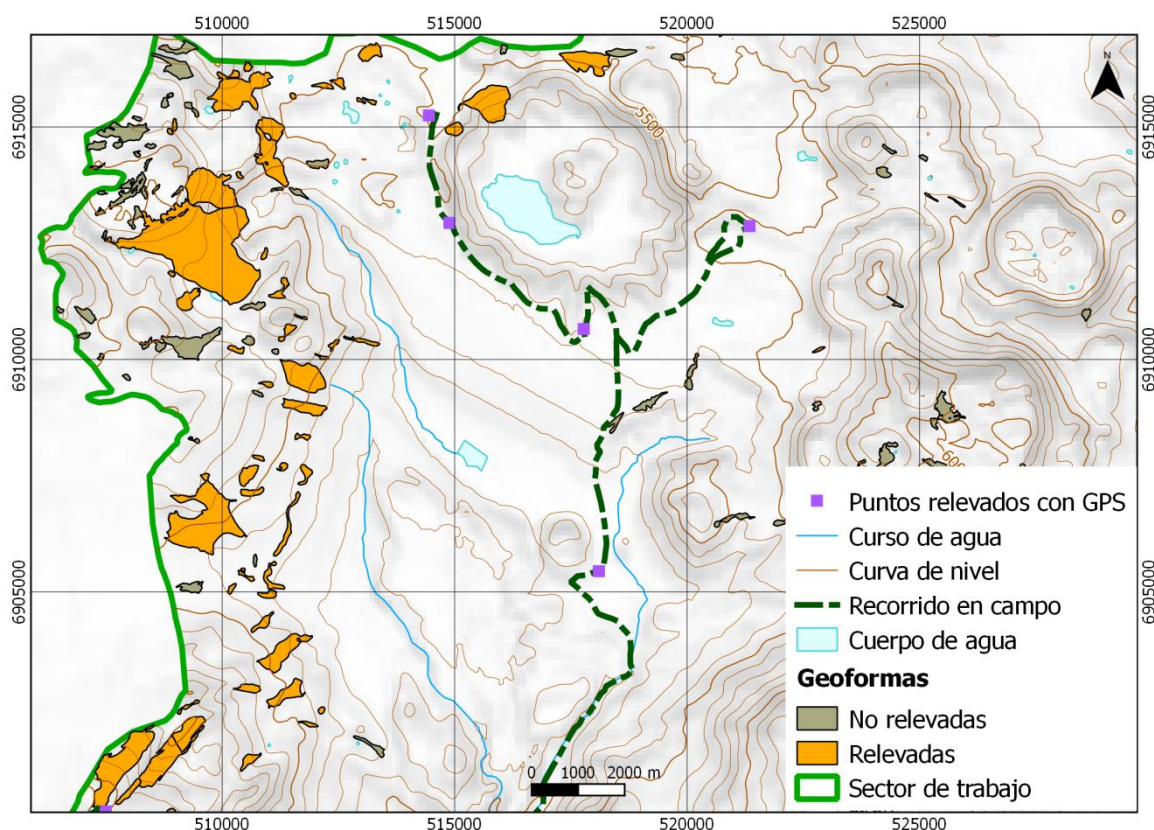
Geoformas G688086O278514S y G688033O278503S

Manchones de nieve ubicados al norte de la Corona del Inca Pilla alrededor de los 5.600 msnm, los cuales alimentan a pequeñas lagunas endorreicas adyacentes.



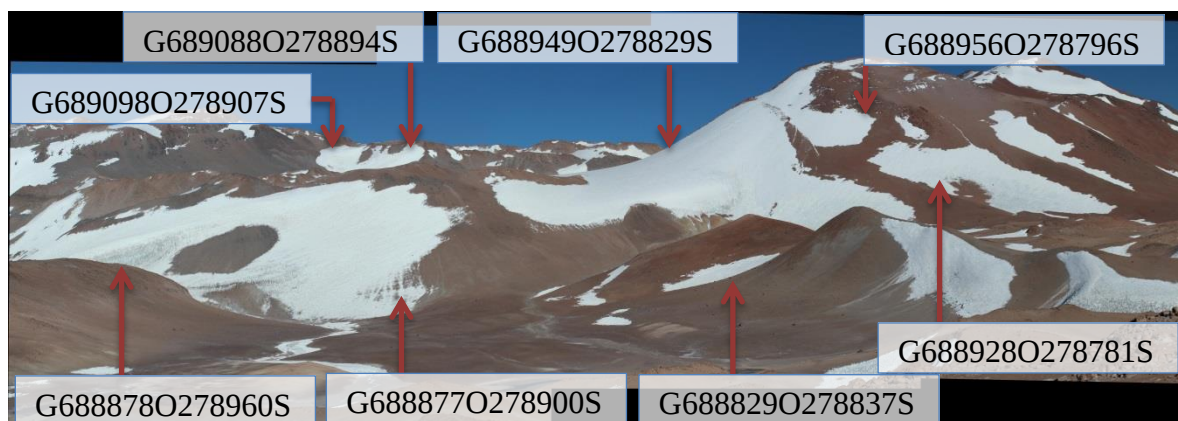
Manchones de nieve. Al fondo se observa el sector del Monte Pissis perteneciente a la cuenca aledaña (Blanco Superior).

Glaciares descubiertos y manchones de nieve. Ladera sur del Monte Pissis



Geoformas G689088O278894S, G688949O278829S, G688956O278796S, G689098O278907S, G688878O278960S, G688877O278900S, G688829O278837S y G688928O278781S

Manchones de nieve ubicados al oeste de la Corona del Inca Pillo. Presentan una orientación predominante hacia el este (sotavento) y se sitúan entre los 5.900 y los 5.500 msnm. La geoforma que se observa de forma parcial sobre el borde izquierdo de la fotografía corresponde a un glaciar descubierto ubicado entre los 5.700 y los 5.400 msnm.



Manchones de nieve y sector superior de un glaciar descubierto (lado izquierdo de la fotografía)

Geoformas G688762O278818S, G688728O278812S, G688658O278848S, G688661O278752S y G688681O278846S

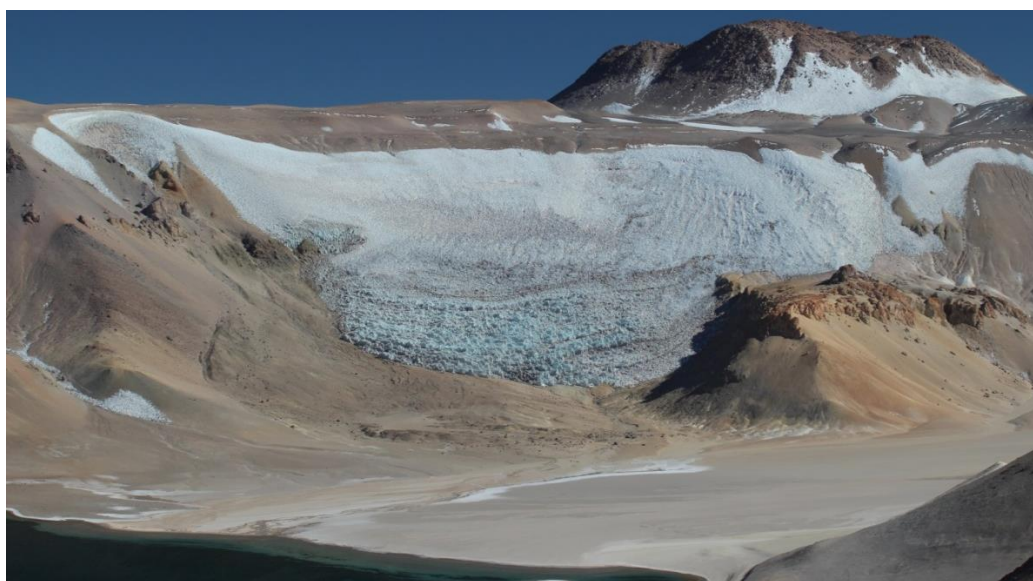
Manchones de nieve ubicados al noroeste de la Corona del Inca Pillo. Corresponden a geoformas de pequeñas dimensiones situadas alrededor de los 5.500 msnm. y con una orientación predominante hacia el este (sotavento), alimentan hídricamente a pequeñas lagunas de tipo endorreicas como la que se observa en la base de la fotografía.



Manchones de nieve. Los cuerpos del fondo corresponden a geoformas de la cuenca adyacente del Blanco superior

Geoforma G688398O278850S

Glaciar de montaña ubicado en el borde noroccidental de la Corona del Inca Pillo, alrededor de los 5.400 msnm. Corresponde al glaciar más distintivo del cráter del volcán de la Corona del Inca Pillo y alimenta a la laguna homónima.



Geoforma G688476O278902S

Pequeño glaciar de montaña ubicado en el borde noroccidental de la Corona del Inca Pillo, alrededor de los 5.400 msnm, colindante con la geoforma anteriormente mencionada.



Glaciar descubierto.

Geoforma G688186O278770S

Manchón de nieve ubicado al norte de la Corona del Inca Pillo, alrededor de 5.400 msnm, que alimenta a la laguna que se forma en el centro del cráter homónimo.



Manchón de nieve. Al fondo se observa un glaciar descubierto de la ladera sur del Monte Pissis, de la cuenca adyacente del Blanco Superior.

Geoforma G688946O278992S

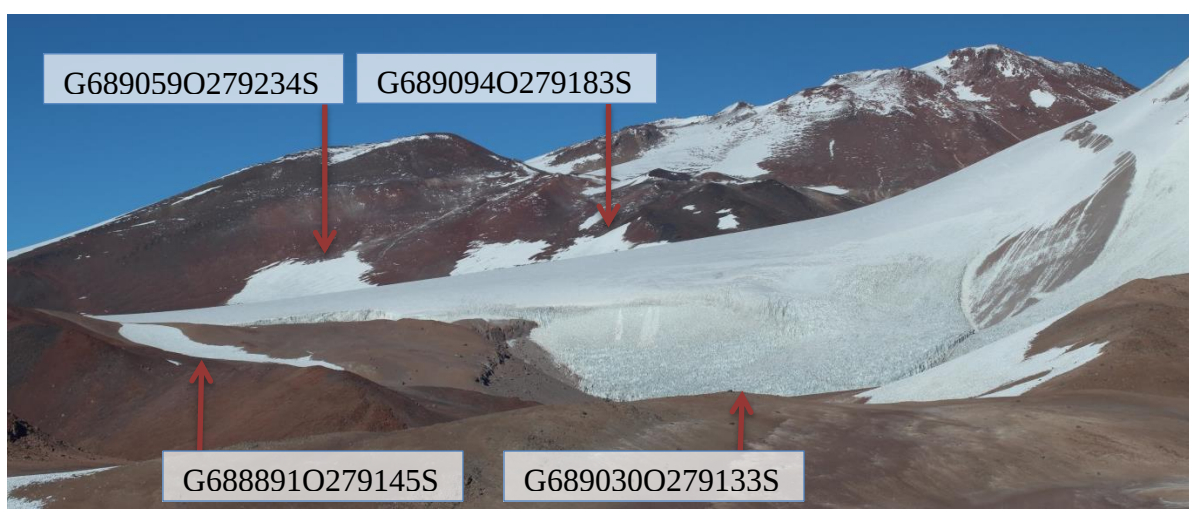
Pequeño manchón de nieve ubicado sobre la ladera nororiental del cerro localmente denominado Reclus, sobre el borde oriental de la Sierra del Veladero. Está emplazado a los 5.700 msnm y presenta una orientación hacia el sureste.



Manchón de nieve.

Geoformas G689094O279183S, G689059O279234S, G688891O279145S y G689030O279133S

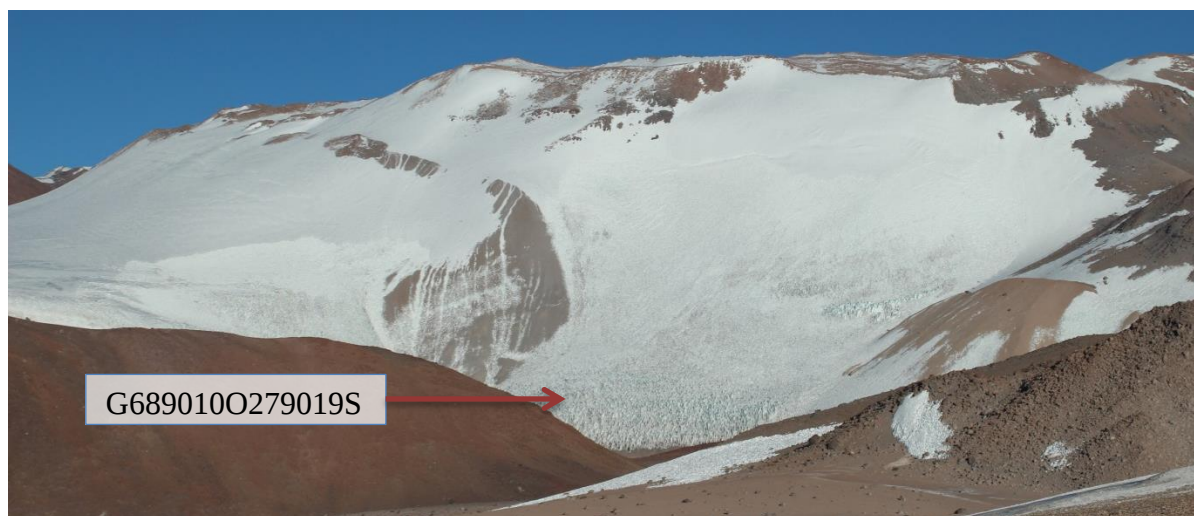
Manchones de nieve y glaciar descubierto de montaña ubicados sobre la ladera noreste del cerro localmente denominado Reclus, borde oriental de la Sierra del Veladero, al suroeste de la Corona del Inca Pillo. Los manchones de nieve se sitúan alrededor de los 5.700 msnm, mientras que el glaciar descubierto comienza a los 6.000 msnm y desciende hasta los 5.450 msnm aproximadamente. Estas geoformas alimentan a una laguna endorreica efímera o estacional ubicada a unos 8 km de distancia del frente del glaciar.



Manchones de nieve y frente de glaciar descubierto.

Geoforma G689010O279019S (contiguo a la geoforma anteriormente mencionada)

Glaciar de montaña ubicado sobre la ladera noreste de cerro localmente denominado Reclus, borde oriental de la Sierra del Veladero, al suroeste de la Corona del Inca Pillo. El cuerpo de hielo se sitúa entre los 5.960 y los 5.470 msnm y presenta una orientación hacia el este.



Glaciar descubierto.

Geoformas G688792O280057S, G688923O280128S, G688924O279988S, G688894O279861S, G688765O280030S, G688841O279998S y G688851O279917S

Manchones de nieve ubicados sobre la ladera nororiental de cerro localmente denominado Baboso, borde oriental de la Sierra del Veladero, al noreste del Co. Veladero. Los manchones de nieve se sitúan en depresiones entre los 5.700 y los 5.300 msnm y presentan una orientación preferentemente hacia el este. Estos alimentan al arroyo del Veladero.



Manchones de nieve.

Geoformas G688962O279794S, G688936O279768S, G688882O279805S y G688888O279775S

Manchones de nieve ubicados sobre la ladera nororiental del cerro localmente denominado Baboso, borde oriental de la Sierra del Veladero, al noreste del Co. Veladero. Los manchones de nieve se sitúan alrededor de los 5.300 msnm y presentan una orientación preferentemente hacia el este (ladera sotavento).



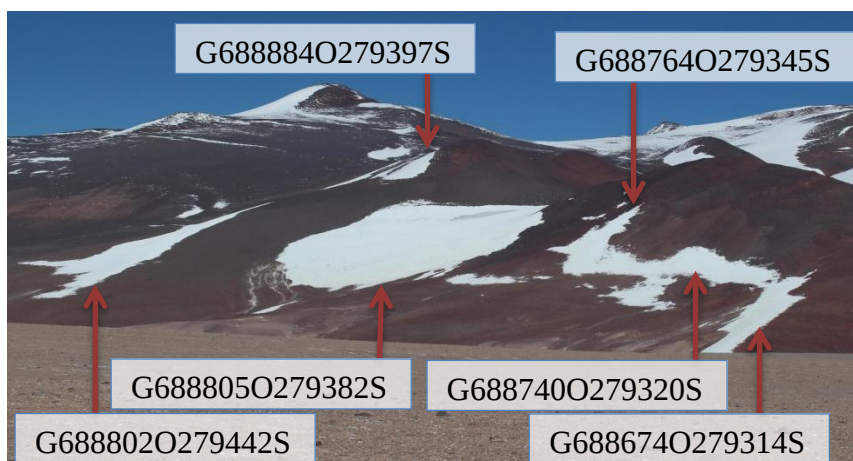
Geoformas G689024O279662S, G688927O279573S, G688918O279607S, G688903O279540S, G688801O279571S, G688807O279499S, G688837O279676S y G688850O279557S

Manchones de nieve ubicados sobre la ladera sureste del cerro localmente denominado Reclus (borde oriental de la Sierra del Veladero), al suroeste de la Corona del Inca Pillo. Las geoformas mencionadas se sitúan entre los 5.400 y los 5.700 msnm y presentan una orientación predominantemente sur y sureste. La geoforma G689024O279662, en particular, había sido mapeado como glaciar descubierto, previo a control de campo.



Geoformas G688884O279397S, G688764O279345S, G688805O279382S, G688740O279320S, G688802O279442S y G688674O279314S.

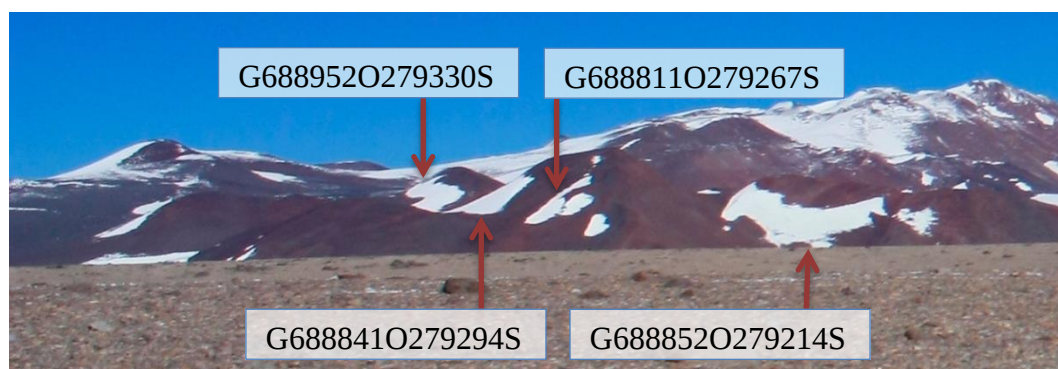
Manchones de nieve ubicados sobre la ladera sureste del cerro localmente denominado Reclus, borde oriental de la Sierra del Veladero, al suroeste de la Corona del Inca Pillo. Las geoformas mencionadas se sitúan entre los 5.400 y los 5.700 msnm y presentan una orientación predominantemente hacia el sureste.



Manchones de nieve.

Geoformas G688952O279330S, G688811O279267S, G688841O279294S y G688852O279214S

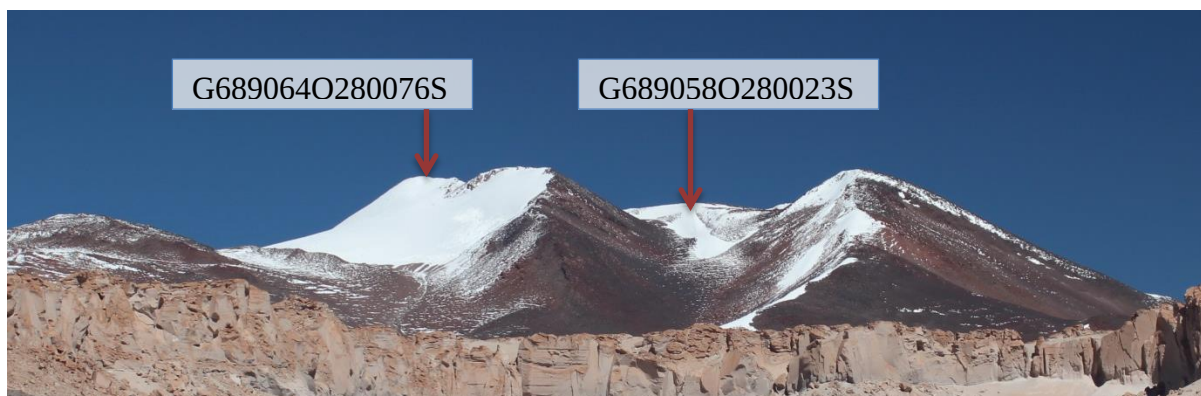
Manchones de nieve ubicados sobre la ladera sureste del cerro localmente denominado Reclus, borde oriental de la Sierra del Veladero, al suroeste de la Corona del Inca Pillo. Las geoformas mencionadas se sitúan alrededor de los 5.700 msnm y presentan una orientación predominantemente hacia el este (ladera sotavento).



Manchones de nieve.

Geoformas G689064O280076S y G689058O280023S

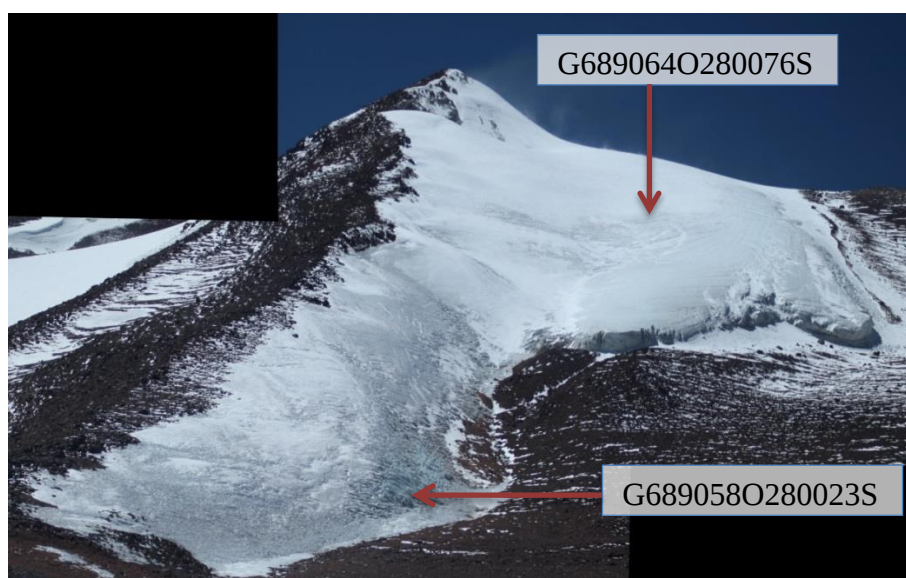
Glaciar de montaña y manchón de nieve ubicados sobre la cara nororiental del cerro localmente llamado Baboso, sobre el flanco oriental de la Sierra del Veladero, al noreste del Co. Veladero. Tanto el manchón de nieve como el glaciar descubierto poseen una orientación predominantemente hacia el noreste. El primero se lo observa alrededor de los 6.000 msnm, mientras que el glaciar comienza a dicha altura y desciende hasta los 5.850 msnm aproximadamente. Ambas geoformas alimentan hídricamente al arroyo del Veladero.



Manchones de nieve y glaciar nororiental del Co. Baboso.

Geoformas G689064O280076S y G689058O280023S

Glaciar de montaña que desciende de la cumbre del cerro localmente llamado Baboso, sobre el flanco oriental de la Sierra del Veladero, al noreste del Co. Veladero. En la fotografía se observa el sector occidental del frente del glaciar bien definido por la presencia de una pared de hielo, mientras que sobre el sector oriental se encuentra cubierto por un manchón de nieve perenne. Ambos presentan una orientación hacia el sureste. El glaciar descubierto se ubica entre los 6.030 y los 5.850 msnm. El manchón de nieve está alrededor de los 5.900 msnm.



Manchones de nieve y glaciar descubierto

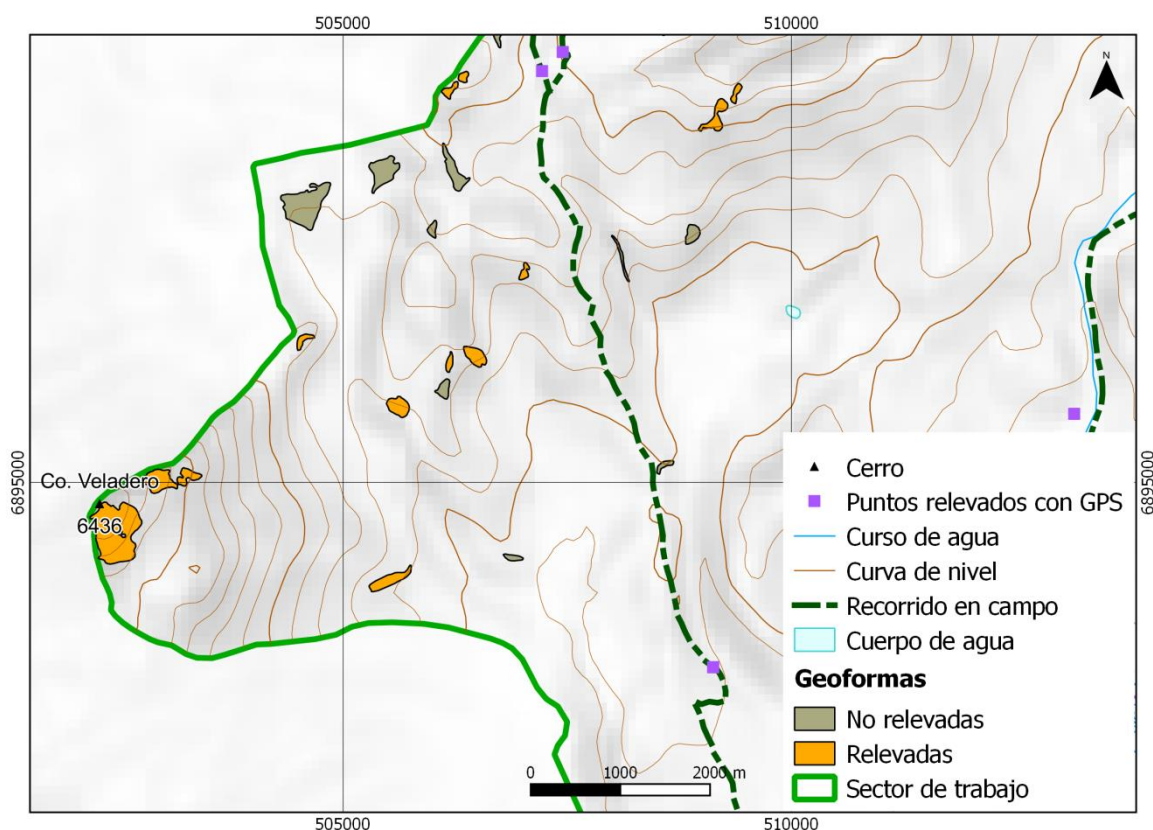
Geoforma G689205O280136S

Glaciar de montaña que desciende de la cumbre del cerro localmente llamado Baboso, sobre el flanco oriental de la Sierra del Veladero, al noreste del Co. Veladero. El cuerpo de hielo se ubica entre los 6.030 y los 5.850 msnm y su frente culmina en una pequeña laguna que mide una hectárea aproximadamente.



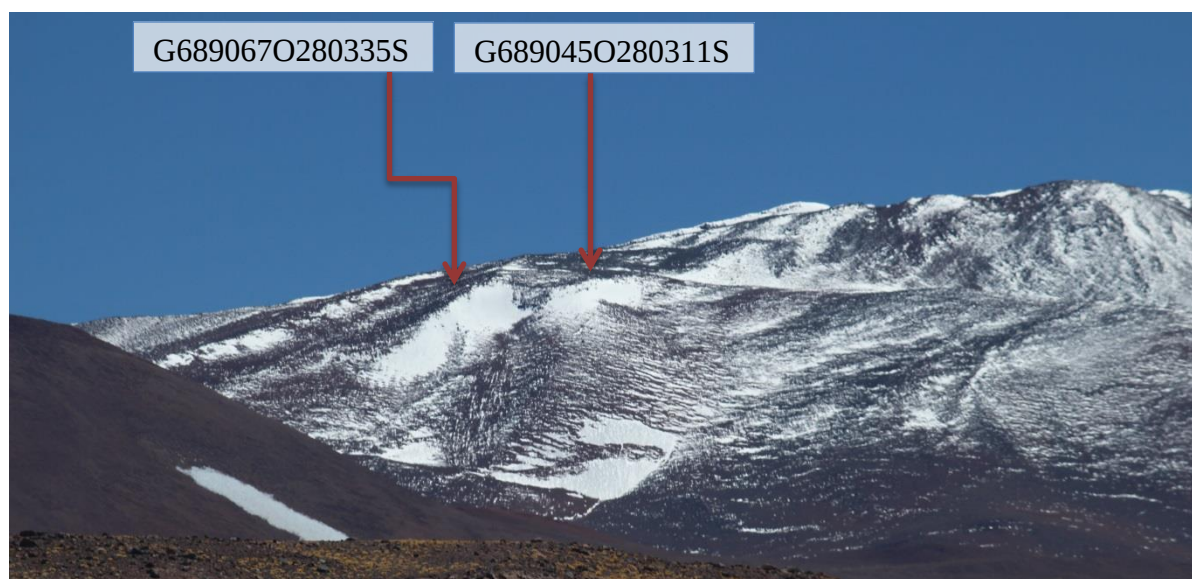
Glaciar descubierto. Vista del frente (Foto superior). Vista hacia el oeste (Foto inferior).

Manchones de nieve en ladera oriental del Co. Veladero



Geoformas G689067O280335S y G689045O280311S

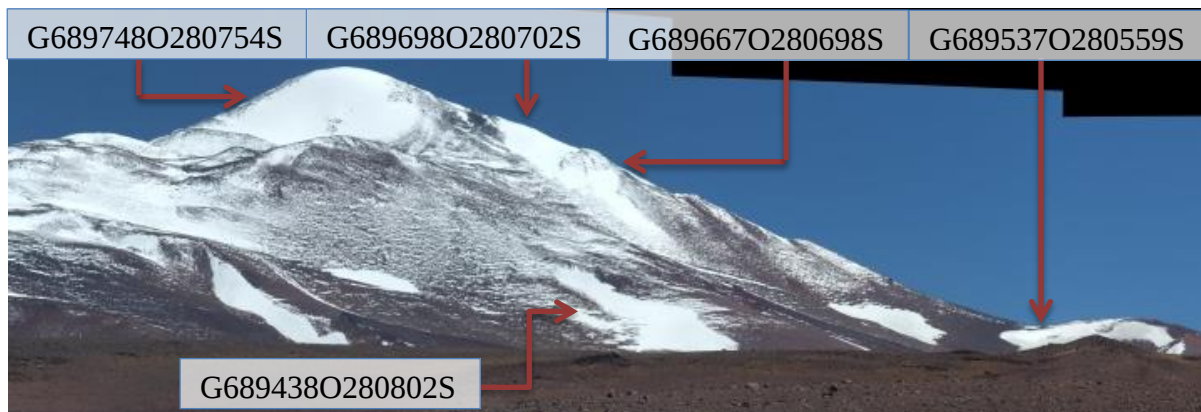
Manchones de nieve sobre ladera sudeste del cerro localmente denominado Baboso (flanco oriental de la Sierra del Veladero). Dichas geoformas se ubican alrededor de los 5.600 msnm y presentan una orientación predominantemente hacia sur-sureste.



Manchones de nieve.

Geoformas G689748O280754S, G689698O280702S, G689667O280698S, G689537O280559S y G689438O280802S

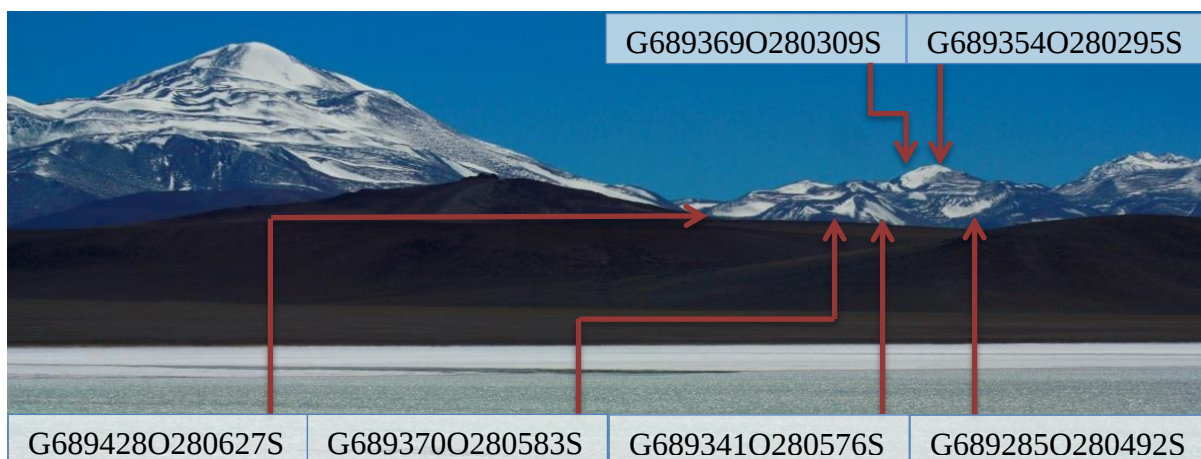
Manchones de nieve de la ladera oriental de cerro Veladero. Poseen una orientación predominantemente hacia el este-sudeste, se ubican entre los 6.400 y los 5.100 msnm aproximadamente y drenan hacia el arroyo del Veladero.



Manchones de nieve.

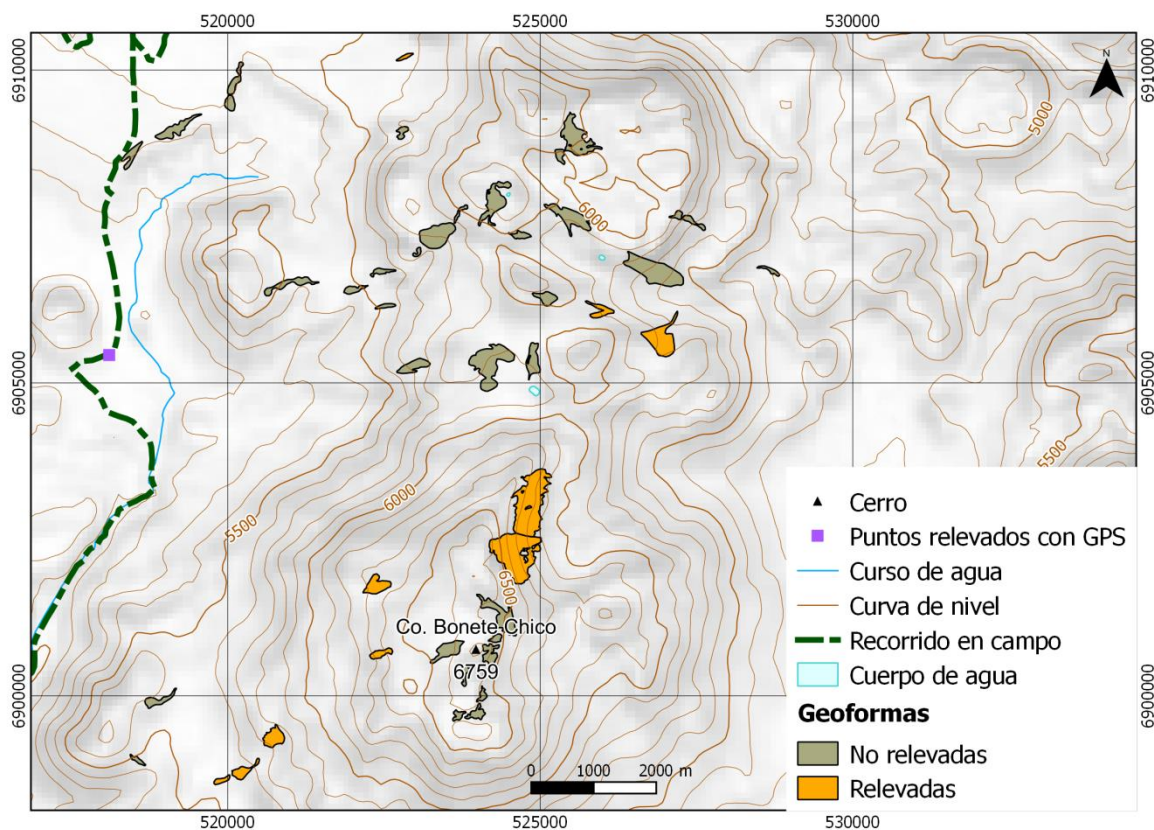
Geoformas G689369O280309S, G689354O280295S, G689428O280627S, G689370O280583S, G689341O280576S y G689285O280492S

Manchones de nieve sobre el flanco oriental de la Sierra del Veladero, entre el Co. Veladero (izquierda de la fotografía) y el cerro localmente denominado Baboso (derecha de la fotografía). Se ubican entre 5.650 y los 5.150 msnm aproximadamente y presentan una orientación predominantemente hacia el sur-sureste.



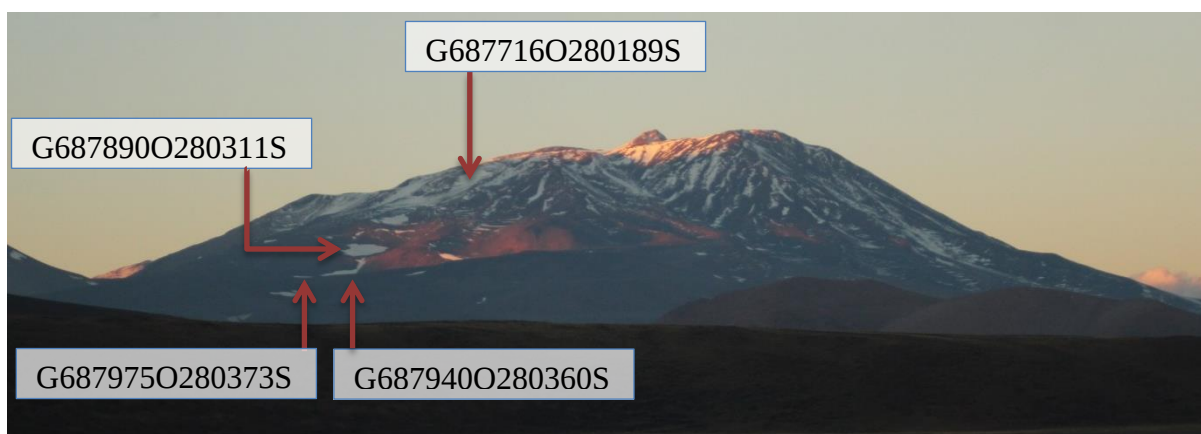
Manchones de nieve.

Manchones de nieve en ladera occidental del Co. Bonete Chico



Geoformas G687716O280189S, G687890O280311S, G687940O280360S y G687975O280373S

Manchones de nieve sobre ladera suroccidental del Co. Bonete Chico. Los mismos se ubican entre los 6.430 y los 5.520 msnm y drenan hacia el arroyo del Veladero.



Manchones de nieve.

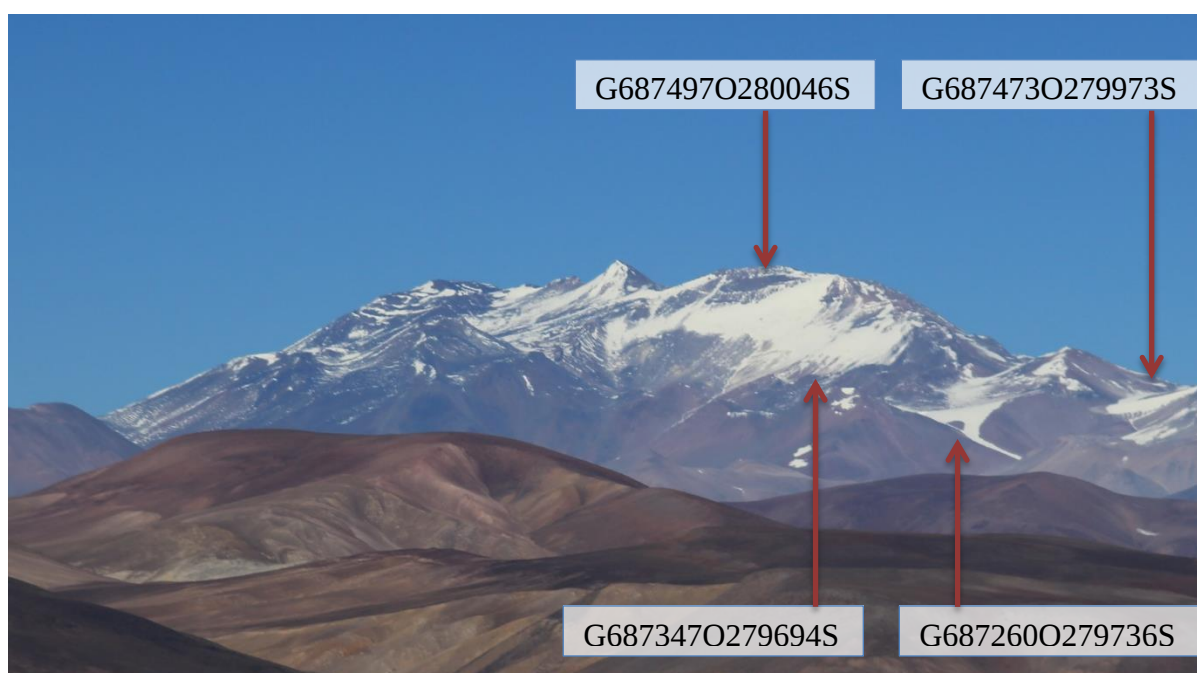
Geoforma G687723O280091S

Manchón de nieve sobre ladera occidental de Co. Bonete Chico. El cuerpo mencionado se ubica entre los 6.360 y 6.300 msnm y presenta una orientación hacia el suroeste.



Geoforma G687347O279694S, G687260O279736S, G687497O280046S y G687473O279973S

Glaciar de montaña y manchones de nieve sobre ladera oriental del cerro Bonete Chico. Estos cuerpos de hielo drenan hacia el río Bonete, el cual es afluente del río Jagüe.



Glaciar descubierto y manchones de nieve.

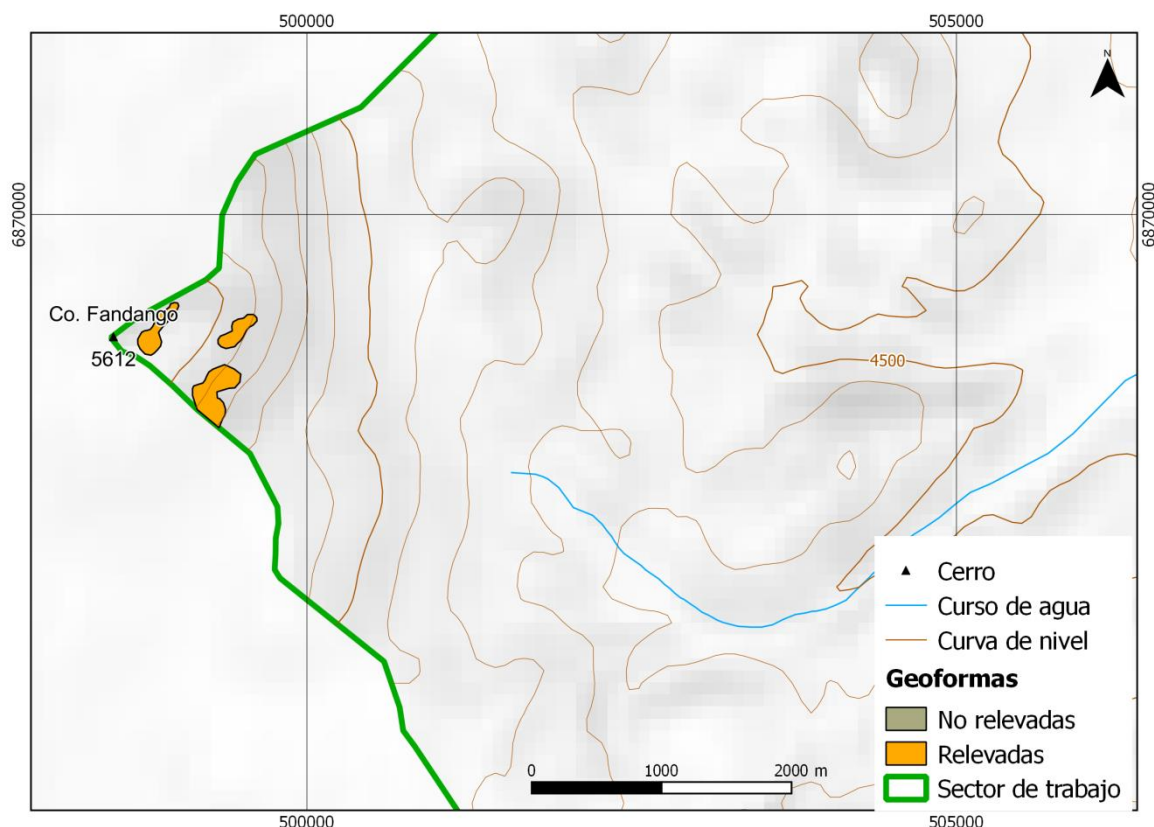
Geoforma G687679O279328S

Manchón de nieve (alrededor de los 5.580 msnm) situado en el borde de un cauce fluvial, afluente del arroyo del Veladero, al sudeste de la Corona del Inca Pillo.



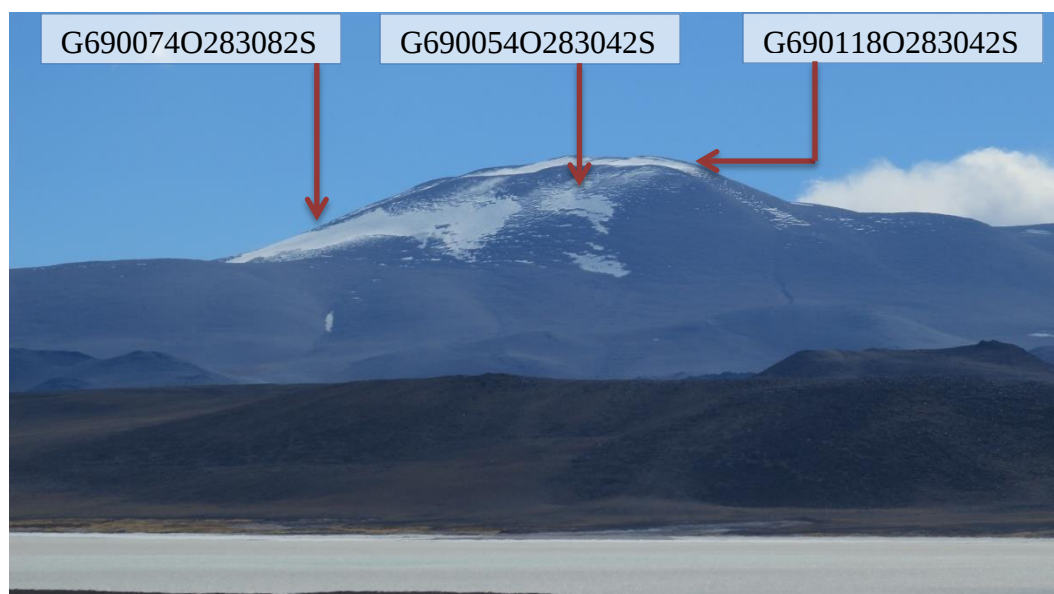
Manchón de nieve.

Manchones de nieve en ladera oriental del Co. Fandango



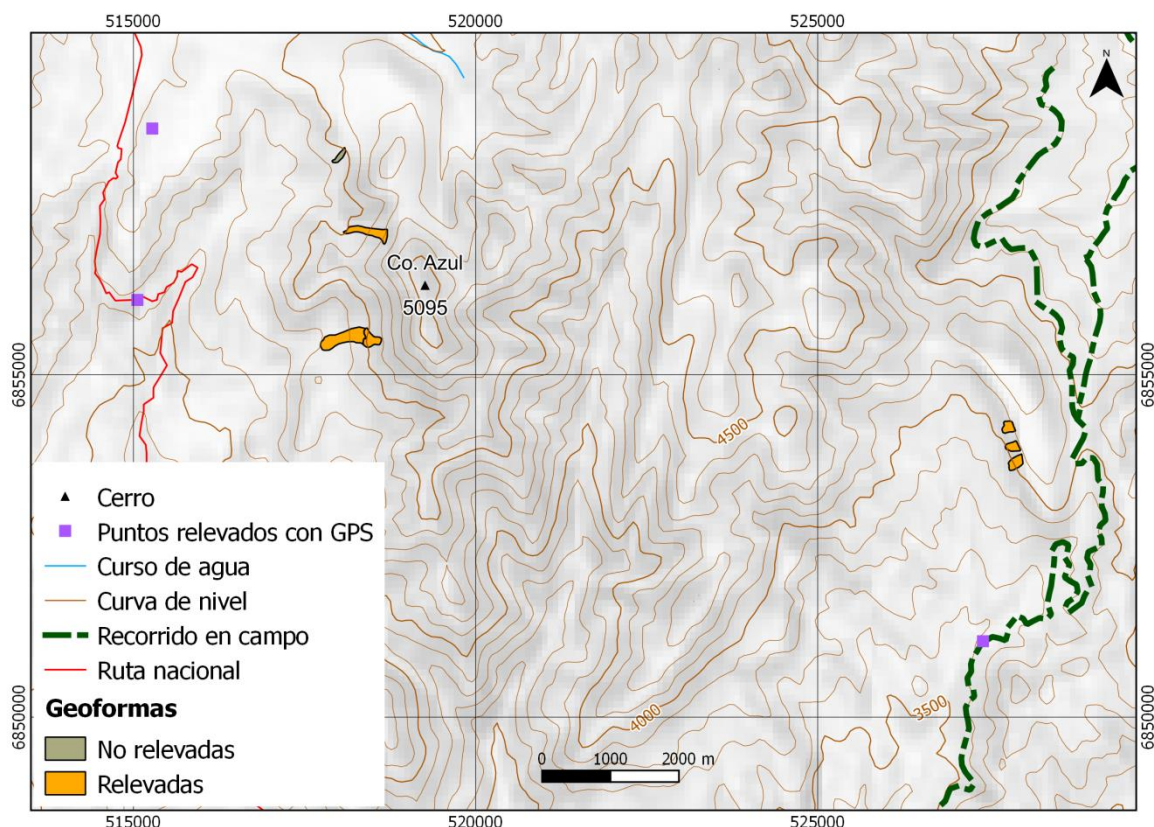
Geoformas G690074O283082S, G690054O283042S y G690118O283042S

Pequeños manchones de nieve sobre ladera oriental del Co. Fandango. Están orientados hacia el sudeste, entre los 5.550 y los 5.280 msnm, y drenan hacia la Laguna Brava.



Manchones de nieve. En la parte inferior de la foto se observa un sector de Laguna Brava.

Glaciares de escombros en los alrededores del Co. Azul



Geoformas G687159O284380S, G687152O284405S y G687148O284426S

Glaciares de escombros de origen criogénico ubicados en la Quebrada de Santo Domingo, afluente del río del Peñón. Son geoformas situadas sobre una ladera con orientación hacia el oeste-suroeste. Son de pequeñas dimensiones y están emplazados entre los 4.100 y los 4.000 msnm. Debido a que corresponden a cuerpos de hielo con un escarpe suavizado y con presencia de vegetación, fueron clasificados como glaciares de escombros inactivos.



Glaciares de escombros inactivos.

Geoforma G688130O284261S

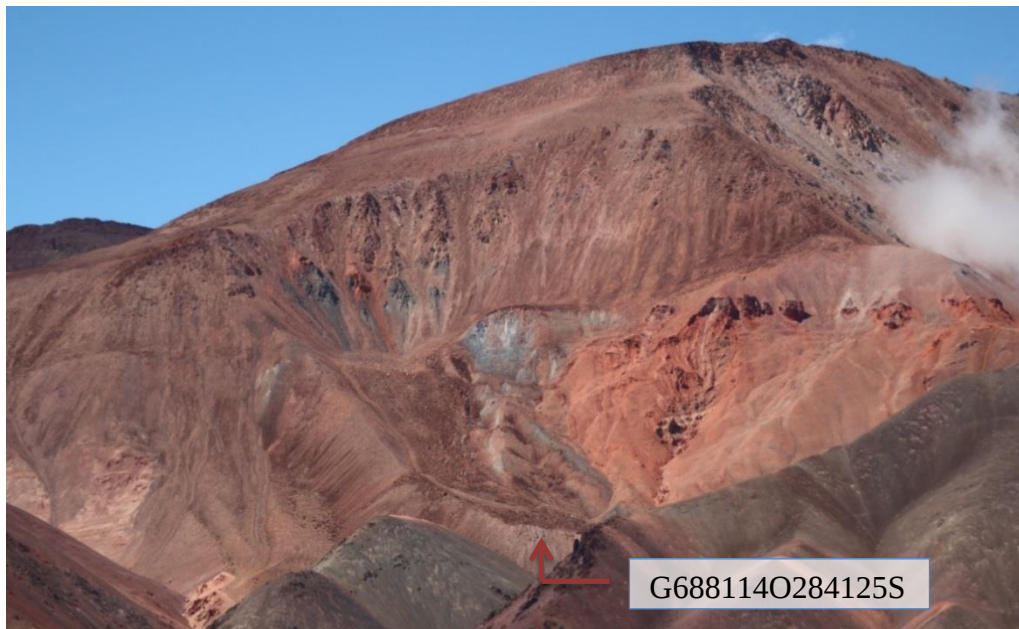
Glaciar de escombros de origen criogénico, ubicado al oeste de Co. Azul y al sureste de Laguna Brava, en las nacientes del río Del Peñón. Esta geoforma presenta un sector superior que se caracteriza por ser un glaciar de escombros activo, mientras que el tramo inferior corresponde al sector inactivo del glaciar de escombros. El primero se desarrolla entre los 4.550 y los 4.490 msnm y presenta un frente bien escarpado con una pendiente mayor a 35°. El segundo comienza a los 4.490 msnm, donde termina el tramo activo, y desciende hasta los 4.300 msnm y presenta una morfología con surcos, crestas y bordes suavizados. La geoforma en total posee una longitud de 934 metros y están orientada hacia el oeste.



Glaciares de escombros.

Geoforma G688114O284125S

Glaciar de escombros de origen criogénico ubicado al oeste de Co. Azul, sobre las nacientes del río Del Peñón. Posee una orientación hacia el oeste y se ubica entre los 4.700 y los 4.500 msnm. Presenta forma de lengua y debido a su morfología con surcos y crestas suavizados se lo clasificó como glaciar de escombros de tipo inactivo. Su longitud es de 658 metros.



Glaciar de escombros inactivo.



Foto panorámica. Vista hacia el norte desde el borde occidental de la Laguna Brava.

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, K = Catamarca, F = La Rioja).

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

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

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

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

GD-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 visible, 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 han sido incluidos en este inventario.

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

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

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos (GEA)**, **inactivos (GEI)** y **fósiles (GEF)** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35°) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente (<35°), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciár de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 2002; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

GCGE-Glaciár cubierto con glaciár de escombros: en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciár de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciár) y el glaciár de escombros glaciagénico (ambiente periglaciár) 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 glaciár cubierto con glaciár 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 del mismo. En la actualidad sólo existen dos: Antártida y Groenlandia. Las sábanas de hielo no están totalmente controladas por la topografía subglaciar 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 glaciar 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 un área de acumulación bien definida, cuya lengua esta 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: pequeña masa 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 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, acumulaciones de 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, 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 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, confinadas y no confinadas. Las confinadas de hielo no están bien delimitadas en todas sus márgenes, que en algunas zonas son más visibles por la presencia de grietas laterales que separan las zonas de flujo muy rápido de aquellas menos activas. Las corrientes de hielo drenan la mayor parte de las sábanas de hielo, siendo las principales abastecedoras de las barreras de hielo en Antártida.

10. Forma:

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

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

11. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

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 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: 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 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: formado por 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: 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

I A N I G L A



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 cuenca del río Vinchina-Bermejo, provincias de La Rioja y San Juan.

