INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA CONICET | U.N.CUYO GOBIERNO DE MENDOZA

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

Informe de la subcuenca del río Calingasta Cuenca del río San Juan

IF-2018-22276967-APN-DNGAAYEA#MAD

Provincia de San Juan

Valle del río de la Totora, San Juan,. (Foto:M. Castro)

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE
PRESIDENCIA DE LA NACIÓN

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

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

IANIGLA – CONICET
Inventario Nacional de Glaciares (ING)

Director del IANIGLA: Dr. Fidel Roig
Coordinador del ING: Ing. Gustavo Costa
Director técnico: Téc. Mariano Castro
Profesionales: Lic. Laura Zalazar y Lic. Lidia Ferri Hidalgo

Mayo 2018

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

Foto portada: Glaciar Calingasta (Foto: M. Castro)

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación por el financiamiento provisto para la realización de este inventario.

A CONAE, GLIMS y JICA-JAXA por las imágenes satelitales provistas, en base a las cuales se realizaron los diferentes inventarios.

A la Lic. en Diseño Gráfico Montserrat Ternicien por el diseño original de los informes.

ÍNDICE

1. Introducción 1
2. Antecedentes 6
3. Definiciones a los fines del Inventario 9
4. Materiales y métodos 11
4.1. Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación 12
4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación 13
4.3. Delimitación del hielo descubierto 16
4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros 17
4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas 17
4.6. Control de campo 19
5. Resultados 20
5.1. Resultados para la subcuenca del río Calingasta 20
5.2 Control de campo 24
6. Bibliografía 26
7. Anexos 32
7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca del río Calingasta 32
7.2. Control de campo en la zona del glaciar Calingasta (nacientes del río de la Totora). 34
7.2.1 Objetivos 34
7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas 35
7.3. Descripción de la base de datos 47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Camino de aproximación al glaciar Calingasta (Foto: M. Castro). 3
Figura 2: Inventario de glaciares de las cuencas de los ríos Castaño, Blanco y de los Patos, en la Provincia de San Juan, Bottero 2002. 7
Figura 3: Subcuencas y sectores de trabajo en los que se dividió la cuenca del río San Juan para la realización del Inventario Nacional de Glaciares. 12
Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada. 15
Figura 5: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING. 16
Figura 6: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen ASTER (15 m de resolución). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una imagen PRISM (2,5 m de resolución). 17
Figura 7: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de montaña sobre una imagen ASTER. En la parte derecha se muestra este glaciar con las diferentes subunidades que lo componen (parte de hielo descubierto y parte de hielo cubierto). Todas las subunidades tendrán el mismo código de identificación (ID). 19
Figura 8: Glaciares en la subcuenca del río Calingasta. 21
Figura 9: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Calingasta. 22
Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Calingasta. 22
Figura 11: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Calingasta. 23
Figura 12: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Calingasta. 23
Figura 13: Camino de acceso al glaciar Calingasta en las nacientes del río de la Totora (Foto: M. Castro). 25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imagen de base utilizada para el Inventario de la subcuenca del río Calingasta 13
Tabla 2: Superficie englazada en la subcuenca Calingasta. 20
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca del río Calingasta. 24

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBERS: China Brazil Earth Resources Satellite

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GCGE: Glaciar cubierto con glaciar de escombros

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

GEA: Glaciar de escombros activo

GE: Glaciar de escombros

GEF: Glaciar de escombros fósil

GEI: Glaciar de escombros inactivo

Gl: Glaciar

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space

H media: Altura media

IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología Glaciología y Ciencias Ambientales

ID: Código Identificador

ING: Inventario Nacional de Glaciares

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LANDSAT: LAND=tierra y SAT=satélite

Lat: Latitud

Long: Longitud

MDE: Modelo Digital de Elevación

MN: Manchón de nieve

PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SPRING: Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSRH: Subsecretaría de Recursos Hídricos

UTM: Universal Transverse Mercator

WGMS: World Glacier Monitoring Service

1. Introducción

Argentina es uno de los pocos países del mundo que cuenta con varios miles de kilómetros cuadrados de glaciares y permafrost de montaña rico en hielo en su territorio. Según cálculos aproximados, Sudamérica tendría cerca de 25.500 km^2 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 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 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 glaciares en surge pueden ocasionar eventos potencialmente catastróficos para las poblaciones humanas e infraestructuras ubicadas aguas abajo. Los glaciares en surge son eventos de corta duración, donde un glaciar rápidamente comienza a fluir con velocidades 100 veces más rápidas que el flujo normal y los avances son de kilómetros por mes (Benn y Evans 1998). Típicamente un surge comienza en la parte superior del glaciar y se propaga en forma de onda hacia la parte inferior del mismo; su comportamiento no responde a factores climáticos .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 hasta la ladera opuesta 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 (Helbling 1919). En febrero de 1984 el glaciar experimentó un nuevo surge, avanzó 2,7 km y formó un lago de 2,8 km de longitud por 1,1 km de ancho que afortunadamente drenó en forma gradual a través de un túnel subglacial formado en el dique de hielo (Espizúa y Bengochea 1990; Llorens y Leiva 1995; Leiva 2006). En 2007 el mismo glaciar experimentó un nuevo avance o surge que atravesó el valle del río del Plomo pero en esta ocasión se formó un lago pequeño que drenó lentamente debido probablemente a la presencia de un túnel subglacial (Ferri y Espizua 2010).

Figura 1: Camino de aproximación al glaciar Calingasta (Foto: M. Castro).

Considerando que los glaciares son muy sensibles a los cambios climáticos, a su alto grado de vulnerabilidad y a los riesgos asociados a sus variaciones, los glaciares y geoformas periglaciales son elementos muy valiosos a lo largo de los Andes que deben ser estudiados, monitoreados y protegidos.

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

En el presente informe se describen los resultados del inventario realizado en la subcuenca del río Calingasta. Esta subcuenca forma parte de la cuenca del río San Juan, la cual limita al norte con la cuenca del río Jáchal, al sur con la cuenca del río Mendoza y al oeste con la República de Chile. Está ubicada en la provincia de San Juan, en la región de los Andes Centrales de Argentina. En el mismo se identifican, mapean y caracterizan todos los glaciares, manchones de nieve perennes y glaciares de escombros que actúan como reservas estratégicas de agua en estado sólido, atendiendo a las definiciones de la Ley 26.639, el documento "Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial; Fundamentos y Cronograma de Ejecución", y el decreto 207/2011 de reglamentación de la citada Ley.

El trabajo de identificación de glaciares en la subcuenca del río Calingasta fue elaborado en junio de 2014 y aprobado según resolución Nº1142/15 del 9 de diciembre de 2015, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

2. Antecedentes

En general, los antecedentes sobre trabajos de inventarios de glaciares constituyen indudablemente un valioso material de base, sin embargo, en la mayoría de los casos se trata de trabajos de carácter regional, parciales, y/o se encuentran desactualizados. Por otra parte, como la mayoría de estos inventarios regionales han empleado vuelos fotogramétricos de las décadas de 1960 y comienzos de 1970, es posible que algunos de los glaciares más pequeños inventariados en esas décadas hayan desaparecido. Asimismo, los frentes de los glaciares han retrocedido desde la Pequeña Edad de Hielo y en las últimas décadas, como ha sido demostrado en varios estudios realizados sobre las fluctuaciones de ciertos glaciares a lo largo de la Cordillera de los Andes (Espizua 1986; Espizua y Maldonado 2007; Espizua y Pitte 2009; Masiokas et al. 2009), produciendo cambios importantes en las áreas cubiertas por los cuerpos de hielo.

En el año 1974, las distintas entidades patrocinantes del IANIGLA le encomendaron a sus profesionales la realización de un relevamiento de los cuerpos de hielo en los Andes Centrales de Argentina. Como resultado de esta iniciativa se realizaron una serie de inventarios en diferentes sectores de la provincia de Mendoza y San Juan (Corte y Espizua 1981).

Con respecto a la cuenca del río San Juan, se realizó un inventario de glaciares y morenas de la subcuenca del río de Los Patos (Espizúa inédito). Según Espizúa, un total de 808 cuerpos de hielo y nieve perenne fueron inventariados en base a fotografías aéreas de los meses de abril y mayo de 1963. Estos cuerpos ocupaban una superficie de 175,24 km^2 de los cuales el 27,96% correspondía a hielo descubierto y el 72,04% a hielo cubierto.

Bottero (2002) recopiló la información existente sobre los inventarios de glaciares en otras cuencas del río San Juan. De este trabajo, se desprenden por primera vez, la superficie de cuerpos de hielo inventariada en el río Castaño de 93,24 km^2, en el río Blanco de 286,90 km^2 y en el río de los Patos de 175,88 km^2, lo que arrojaba un total de 556,02 km2 para la cuenca superior del río San Juan .

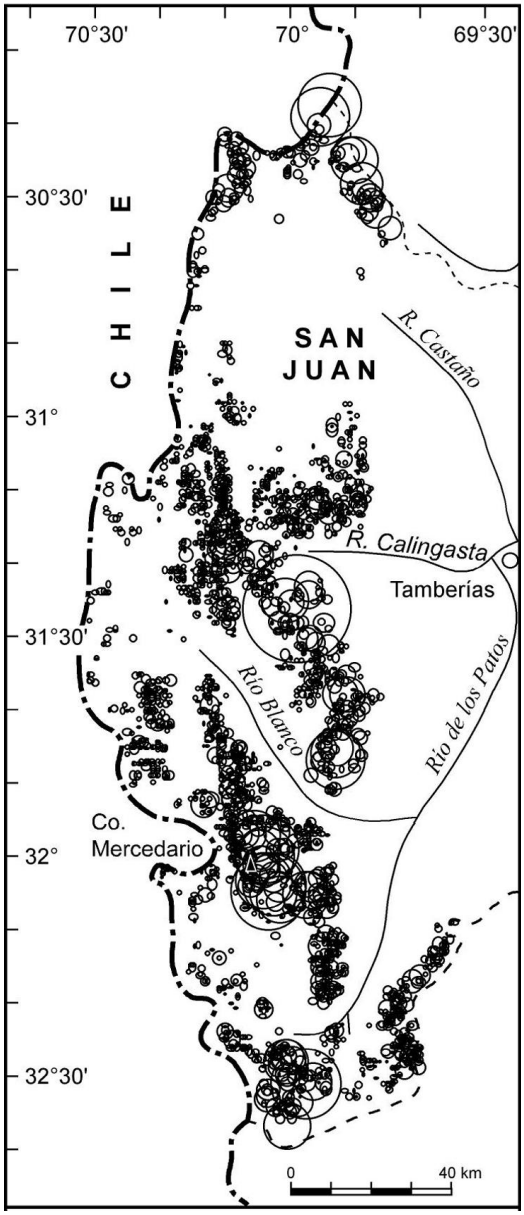


Figura 2: Inventario de glaciares de las cuencas de los ríos Castaño, Blanco y de los Patos, en la Provincia de San Juan, Bottero 2002.

Más recientemente y dentro del marco de un convenio realizado entre el Gobierno de la Provincia de San Juan y la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, se realizó un informe con un relevamiento inicial de los glaciares descubiertos de la Provincia de San Juan, el cual fue desarrollado bajo la responsabilidad institucional del Director del INGEO, Dr. Silvio Peralta, y la dirección científico-técnica del Dr. Juan Pablo Milana (INGEO-UNSJ 2010).

Finalmente, concurrente con el presente inventario del IANIGLA, un inventario de los cuerpos de hielo en el río San Juan, está siendo realizado por el INGEO-FCEFN-UNSJ, en respuesta al convenio firmado entre el Gobierno de la Provincia de San Juan y la Universidad Nacional de San Juan. En esta ocasión la Universidad incluyó en el inventario además de los glaciares descubiertos, los glaciares cubiertos y glaciares de escombros (INGEO-UNSJ 2012-2014).

Con respecto a los antecedentes existentes específicos para el ambiente periglacial, son pocos los trabajos realizados en esta cuenca. Cabe destacar una publicación donde se caracterizan dos glaciares de escombros en la subcuenca del río Blanco realizada por Arenson et al. (2010). Este estudio proporciona una información valiosa sobre los glaciares de escombros en los Andes áridos que servirá de base para estudios futuros.

3. Definiciones a los fines del Inventario

A los fines específicos y operativos del Inventario Nacional de Glaciares, el IANIGLA propuso en el documento: **"Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución"**, (http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/fundamentos_cronograma_ejecucion.pdf IANIGLA 2010) definiciones específicas y un tamaño mínimo de los cuerpos de hielo a inventariar dentro del ambiente glacial y periglacial de Argentina. El objetivo de estas definiciones es aclarar las características básicas de las diferentes geoformas identificadas en las imágenes satelitales y los procesos que las originan. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo para la subcuenca del río Calingasta aquí presentado.

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

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

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

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

Glaciar de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 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 (>35º) 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 (<35º), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 2003; Brenning 2005). Esta última categoría no ha sido incluida en el inventario por no tener importancia hidrológica.

Glaciar cubierto con glaciar de escombros: en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciar de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciar) y el glaciar de escombros 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 subcuenca del río Calingasta, perteneciente a la cuenca del río San Juan. Dicha cuenca ocupa 22.853 km^2 de superficie y ha sido divida, a fines prácticos, en la siguiente agrupación de subcuencas, para organizar mejor el trabajo en áreas de superficie englazada relativamente equivalentes (Figura 3):

- **Subcuenca río Castaño** (7.243 km^2)
- **Subcuenca río Calingasta** (1537 km^2)
- **Subcuenca río Blanco** (4.871 km^2)
- **Subcuenca de la cordillera Ansilta** (5.631 km^2)
- **Subcuenca río de Los Patos** (3.571 km^2)

En el presente informe se presentan los resultados de la subcuenca del río Calingasta (Figura 3).

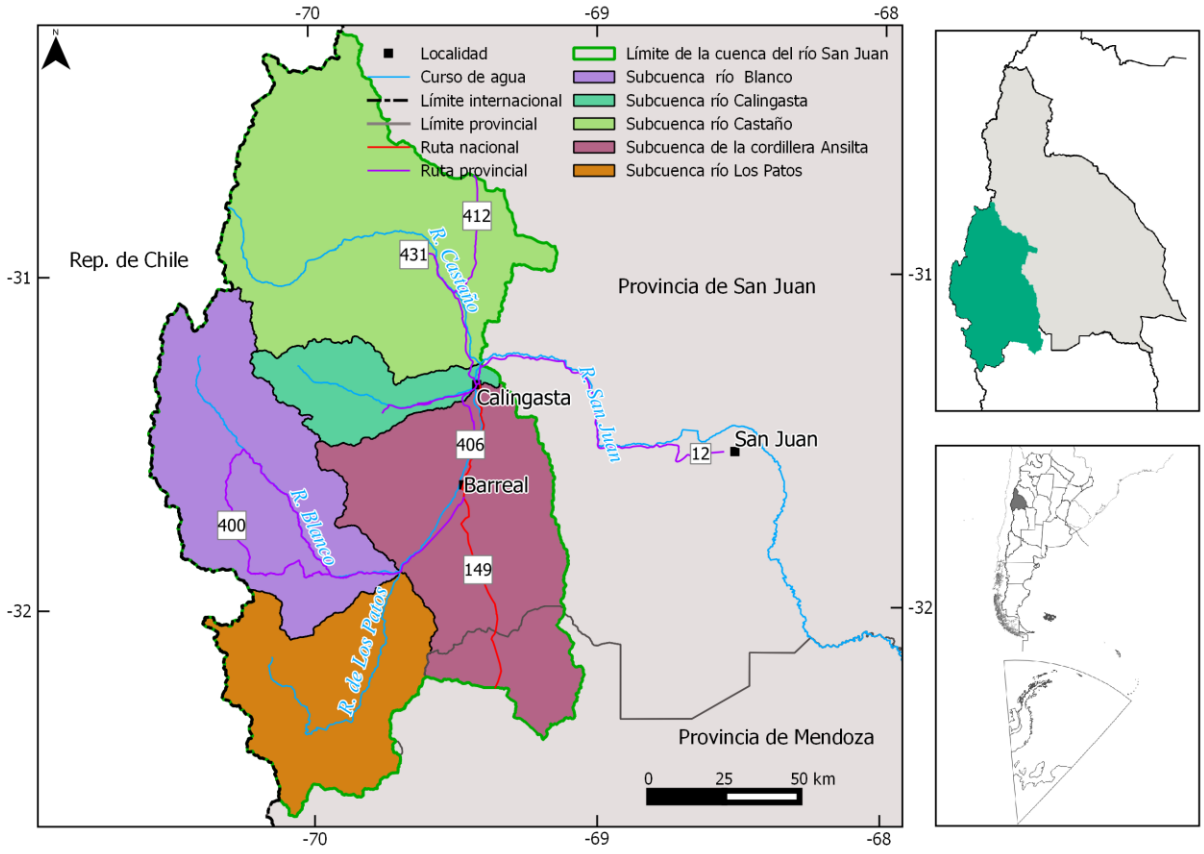


Figura 3: Subcuencas y sectores de trabajo en los que se dividió la cuenca del río San Juan para la realización del Inventario Nacional de Glaciares.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en la cuenca del río San Juan se basó en información proveniente de modelos digitales de elevación (MDE). De los MDE disponibles se decidió trabajar con el SRTM V4 (resolución espacial 90 m).

Empleando el programa QGIS (software libre) se delimitaron las cuencas y subcuencas utilizando como base el mosaico de SRTM. 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 QGIS[1] (software libre).

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).

[1] http:// https://www.qgis.org//

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el inventario en la subcuenca del río Calingasta se utilizaron como base imágenes ALOS AVNIR (10 m de resolución espacial) aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo, LANDSAT y PRISM (ALOS) y el aplicativo Google Earth. Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación y en algunos casos para determinar el estado permanente de los manchones de nieve. Las imágenes de mayor resolución espacial (PRISM ALOS) fueron importantes para la detección de hielo cubierto y glaciares de escombros.

Tabla 1: Imagen del sensor ALOS utilizada como base para el inventario de la subcuenca del río Calingasta.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
ALOS/AVNIR	ALAV2A224864230	14 octubre 2010

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.

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

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 escena se empleó 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 de 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 programa gvSIG.

En la Figura 4 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.

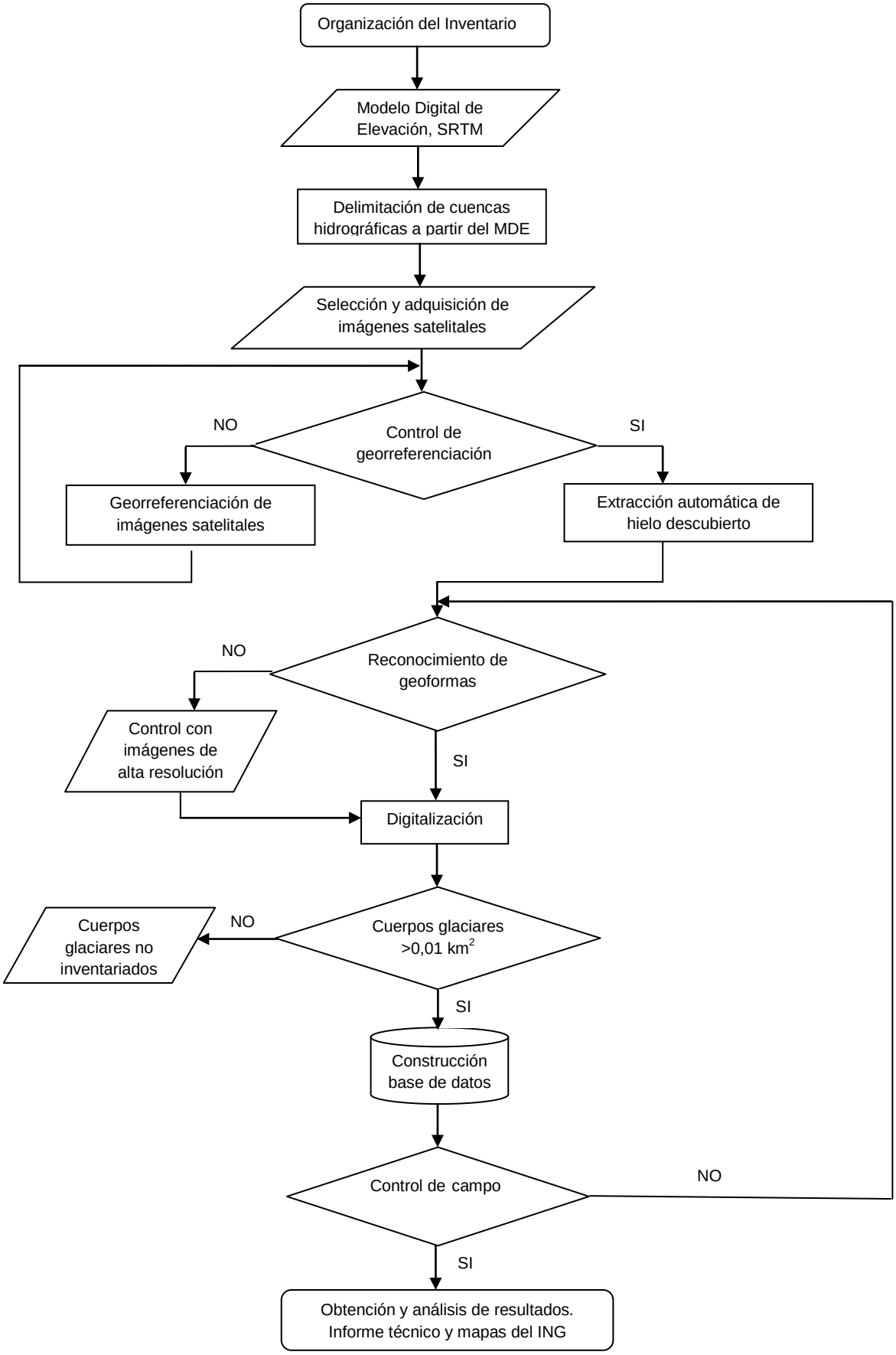


Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada.

4.3. Delimitación del hielo descubierto

El paso posterior a la determinación de las cuencas hidrográficas es la delimitación automática del hielo descubierto. Para ello se realizó una clasificación por objetos a partir de las bandas 1, 2 y 3 de las imágenes de base citadas en la Tabla 1. Dicha clasificación fue realizada con el programa SPRING provisto por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil, INPE (Camara et al. 1996). Una clasificación por objetos utiliza además de la información espectral de cada píxel la información espacial que envuelve la relación entre los píxeles y sus vecinos. Este tipo de clasificación intenta imitar el comportamiento de un fotointérprete al reconocer áreas homogéneas de las imágenes basándose en las propiedades espectrales y espaciales de las mismas. Como resultado de esta clasificación se obtuvieron los polígonos que corresponden al hielo descubierto, incluyendo glaciares y manchones de nieve (ver Figura 5).

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

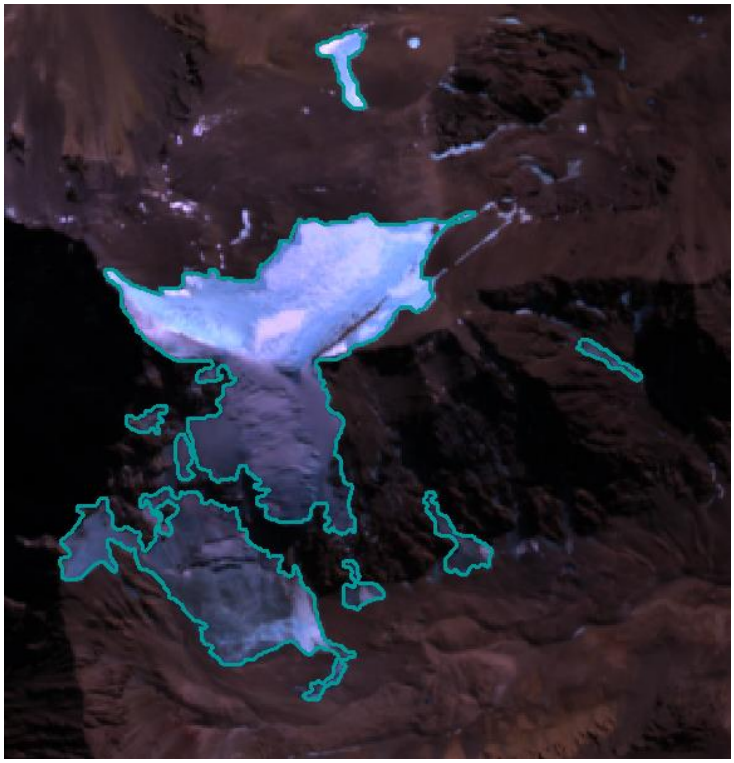


Figura 5: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

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

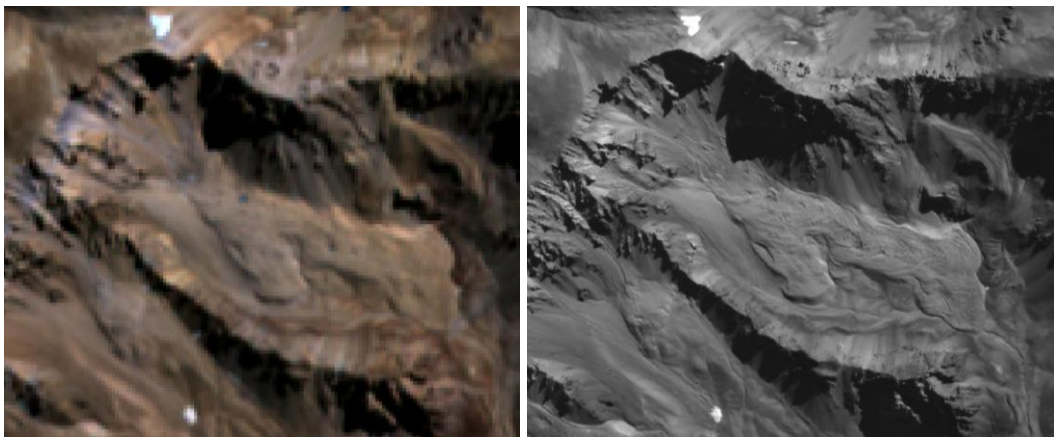


Figura 6: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen ASTER (15 m de resolución). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una imagen PRISM (2,5 m de resolución).

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del río Calingasta incluye la identificación de cada uno de los glaciares, su clasificación morfológica, y parámetros de índole física tales como el área, altura máxima, media y mínima, orientación, pendiente y largo total entre otros. (Ver Anexo 7.3). Las bases de datos también se construyeron con el programa KOSMO.

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

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

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

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

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

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

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

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

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** (ID de la Figura 7 representado por un círculo rojo) que consiste en las coordenadas geográficas de un punto ubicado en el interior de cada geoforma (similar al ID_GLIMS salvo que en el caso del ID_local la longitud está referida al Oeste). Las coordenadas son expresadas en grados decimales de longitud Oeste y latitud Sur.

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

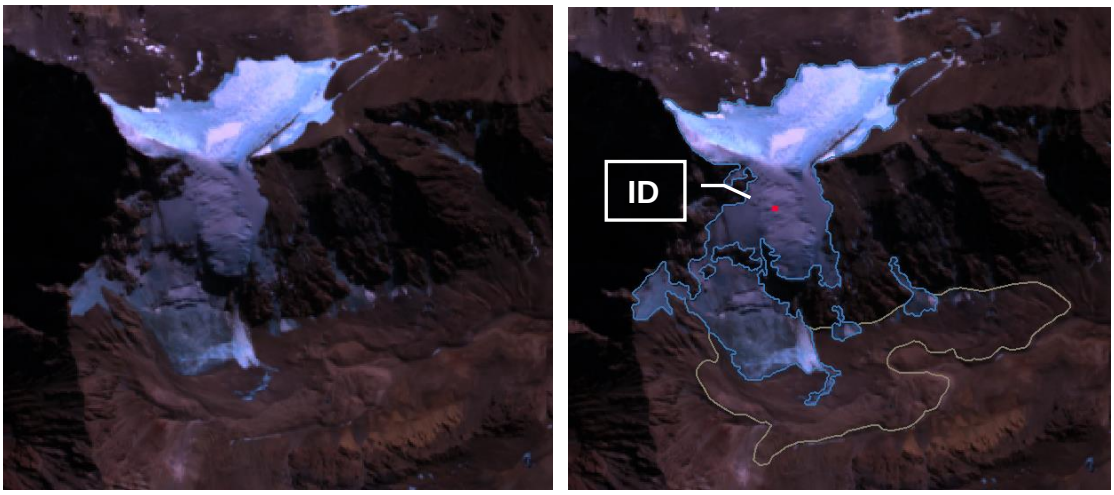


Figura 7: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de montaña sobre una imagen ASTER. En la parte derecha se muestra este glaciar con las diferentes subunidades que lo componen (parte de hielo descubierto y parte de hielo cubierto). Todas las subunidades tendrán el mismo código de identificación (ID).

4.6. Control de campo

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

5. Resultados

5.1. Resultados para la subcuenca del río Calingasta

La subcuenca del río Calingasta está ubicada en el sector central de la cuenca del río San Juan siendo la más pequeña de las subcuencas que componen a esta gran cuenca. Limita al norte con la subcuenca del río Castaño, al oeste con la del río Blanco y al sur con la del río Ansilta.

Numerosos arroyos y ríos atraviesan la cuenca con una orientación predominantemente oeste-este dando origen aguas abajo al río Calingasta; entre éstos se pueden nombrar al río de la Totora, arroyo Alumbrera, río de las Trojas, arroyo el Palque y al arroyo Seco de las Minitas. Los arroyos y ríos de mayor caudal provienen de las zonas más englazadas de la cuenca. Estas se encuentran en las divisorias de aguas con las subcuencas limítrofes y comprenden a los sectores en los que se ubican los cerros de mayor altitud del sector.

En la parte sur de la subcuenca se encuentra el glaciar más importante del sector: El glaciar de la Totora, que se ubica sobre la cumbre más alta de la zona: el cerro Totora (5.770 msnm). En el sector norte, un cordón de cumbres que rondan los 5.000 msnm, enmarca a varios glaciares de montaña de gran importancia para la zona. El sector oeste es quizás el más conocido ya que remontando el valle del río Calingasta y luego el valle del río de la Totora, se accede a esta zona con facilidad llegando hasta uno de los cuerpos de hielo más importantes de la cuenca del río San Juan: el glaciar Calingasta, siendo un clásico ejemplo de la complejidad de los glaciares que alberga la región de los Andes centrales (San Juan y Mendoza) en el país.

En la subcuenca del río Calingasta se han inventariado un total de 331 glaciares, ocupando una superficie de 62,87km^2 (Figura 8), por tanto se puede destacar que el 4,09% de la subcuenca del río Calingasta está cubierto por glaciares.

Tabla 2: Superficie englazada en la subcuenca Calingasta.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km^2)
Glaciar descubierto	29,66
Manchones de nieve/glaciaretes	3,64
Glaciar cubierto	0,46
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	6,58
Glaciar de escombros	22,52
Total	62,87

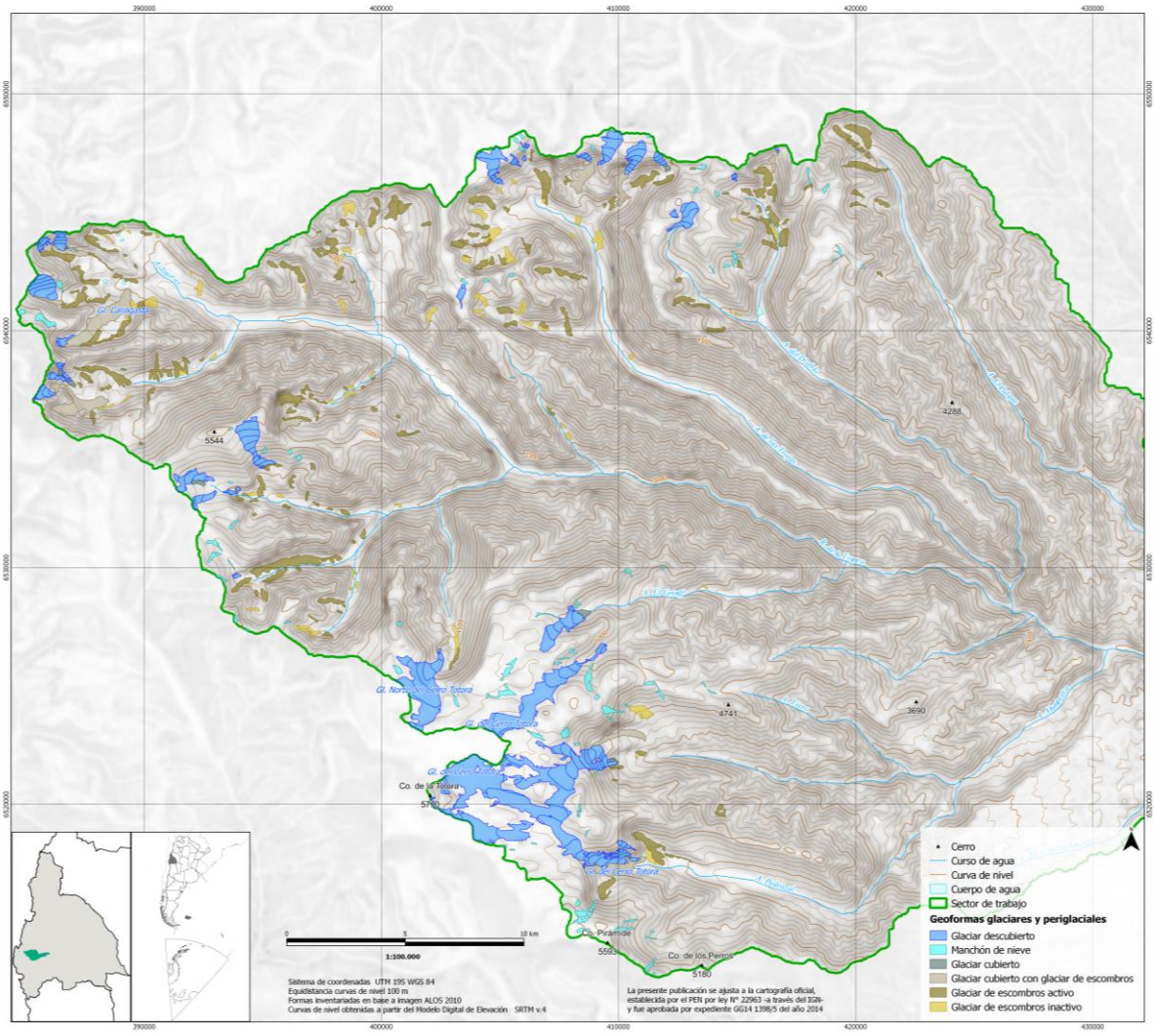


Figura 8: Glaciares en la subcuenca del río Calingasta.

Se puede observar en la Figura 9 que la superficie ocupada por los glaciares descubiertos y manchones de nieve llega al 53% del área total de cuerpos de hielo, el resto (47%) corresponde a glaciares cubiertos, glaciares cubiertos con glaciar de escombros y a glaciares de escombros. Se puede resumir que en esta subcuenca, a diferencia de otras subcuencas del río San Juan, predominan los glaciares de tipo descubierto y manchones de nieve y en menor medida los glaciares de escombros o hielo cubierto.

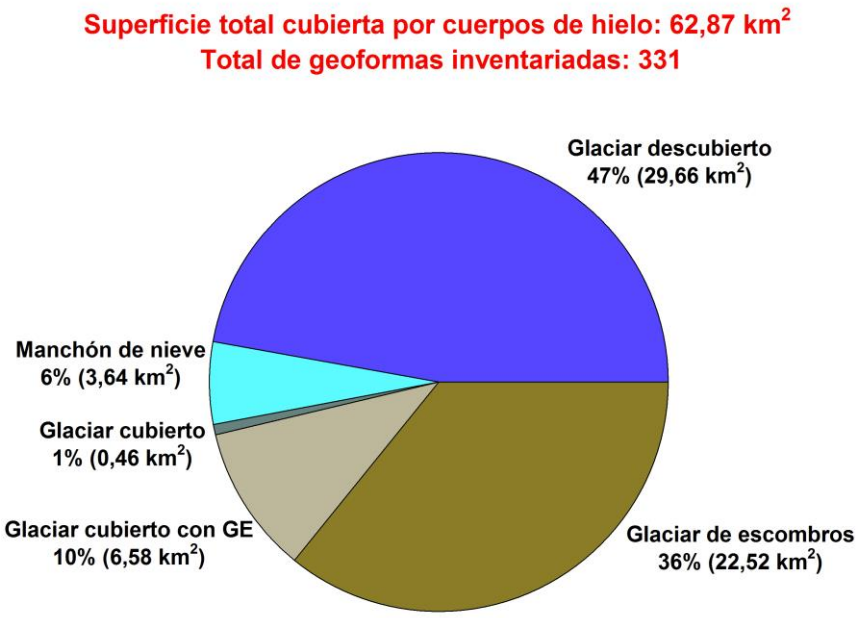


Figura 9: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca del río Calingasta.

Los análisis de la orientación media (Figura 10) de los cuerpos inventariados indican que la gran mayoría de los mismos tienen una orientación hacia el este, seguido por los orientados al sureste y noreste. Correspondería a las laderas menos expuestas a la radiación solar, que tienden a ser más frías que las laderas que miran al norte, manteniendo por períodos más prolongados la nieve del invierno y favoreciendo los procesos que dan origen a los glaciares y crioformas. La pendiente dominante Oeste-Este en la Subcuenca también contribuye a la orientación predominante de los cuerpos de hielo.

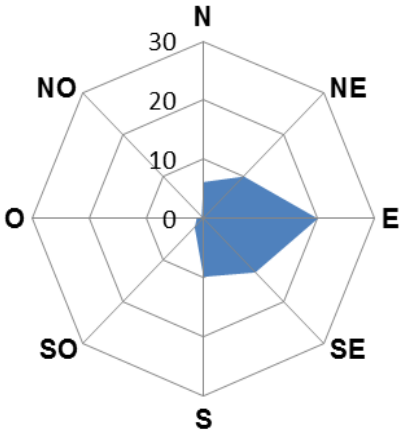


Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca del río Calingasta.

En la Figura 11 se puede observar que los glaciares más abundantes en la subcuenca del río Calingasta son los de menor tamaño (entre 0,01 y 0,05 km^2); son menos abundantes los glaciares de mayor tamaño. En general, en esta subcuenca los glaciares no superan los 5 km^2 de superficie, exceptuando el glaciar del Cerro Totora, que ocupa una superficie de unos 18 km^2.

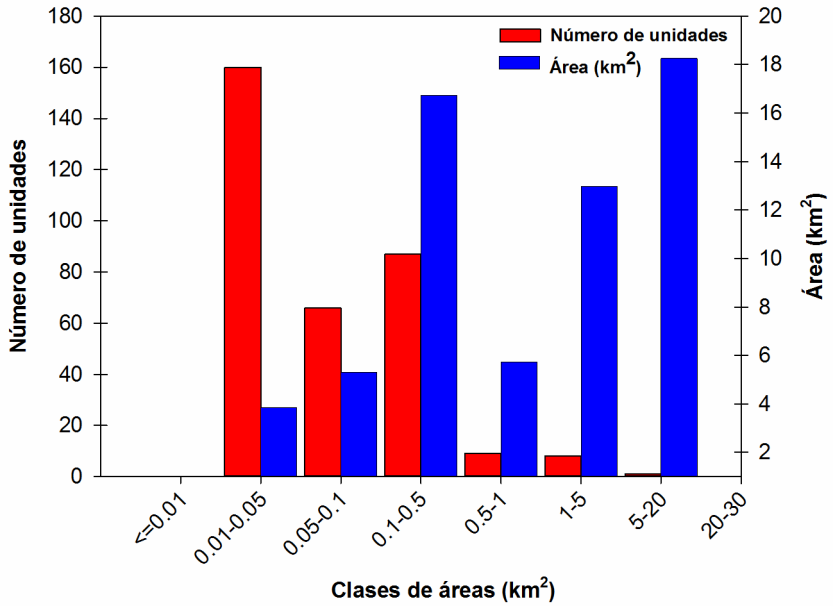


Figura 11: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Calingasta.

En la Figura 12 podemos observar el comportamiento que presentan los glaciares inventariados con respecto a su rango altitudinal. Los glaciares (ver Figura 12 y Tabla 3). Podemos observar que los glaciares descubiertos y manchones de nieve se localizan en las máximas altitudes (en esta subcuenca a 5.732 msnm), mientras que entre los 4.304-4.968 msnm se localizan los glaciares cubiertos por detritos. A partir de los 3.560 y hasta los 4.972 msnm se ubican los glaciares de escombros activos e inactivos.

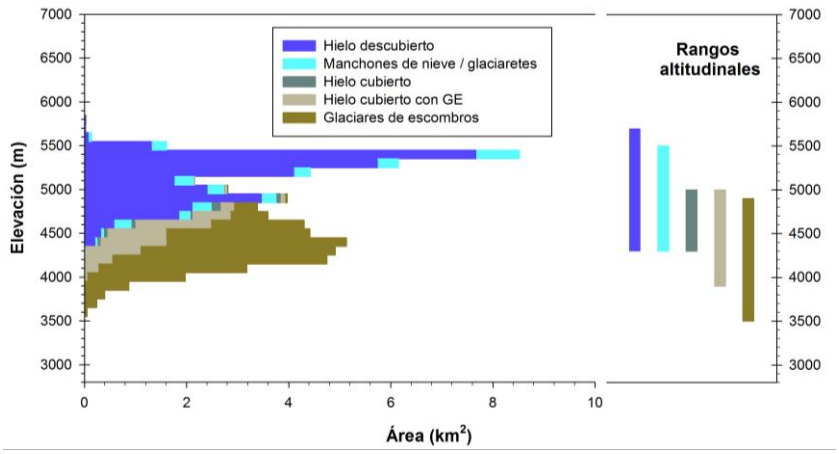


Figura 12: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca del río Calingasta.

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

Tipo de geoforma inventariada	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	4.289	5.732
Manchones de nieve/glaciaretes	4.335	5.522
Glaciar cubierto	4.304	4.968
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	3.907	4.972
Glaciar de escombros	3.455	4.877

5.2 Control de campo

Con respecto al control de campo, cabe mencionar la colaboración de la Secretaría de Ambiente de San Juan, por su apoyo en la logística de las campañas realizadas en la provincia dentro del marco del Inventario Nacional de Glaciares.

A su vez, agradecer al INGEO de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, por su colaboración en las campañas realizadas en la provincia de San Juan.

El trabajo de campo para la subcuenca del río Calingasta fue realizado principalmente en el valle del río Calingasta y en las nacientes del río de la Totora a finales de Abril del año 2014. Se eligió esta zona por ser una de las más accesibles del lugar, ya que cuenta con una serie de caminos de uso minero que facilitan el acceso a las geoformas. Es por esto que uno de los sectores en los que se realizó el control de campo en detalle fue en la zona del glaciar Calingasta.

Para acceder al lugar, se remontó el valle del río Calingasta conduciendo a las nacientes el río de la Totora en su parte más alta, utilizando el camino que se dirige al proyecto minero “Los Azules”. El camino recorre la cuenca del Calingasta hasta la divisoria de aguas en la parte más alta. En este último sector se encuentra una de las zonas de mayor complejidad de toda la subcuenca con una gran densidad de geoformas glaciares y periglaciales (Figura 13).

Figura 13: Camino de acceso al glaciar Calingasta en las nacientes del río de la Totora (Foto: M. Castro).

En total se observaron en el campo 26 geoformas (Anexo 7.2) que fueron comparadas con la cartografía realizada en gabinete. De las geoformas visitadas el número más importante correspondió a glaciares de escombros activos. El trabajo reveló una alta correspondencia entre las geoformas observadas en el terreno y las identificadas a través de métodos indirectos empleando las imágenes satelitales. En el caso de la identificación de geoformas glaciares y periglaciales se obtuvo un 92,31% de coincidencias, y un 85% en la clasificación. En cuanto a la clasificación el error observado consistió en clasificar en gabinete como glaciares de escombros activos a 3 glaciares de escombros inactivos y a clasificar como glaciar descubierto a un manchón de nieve permanente; en el terreno se pudieron determinar en detalle las características de las distintas geoformas. Estas diferencias observadas en el terreno fueron corregidas posteriormente en gabinete.

6. Bibliografía

Arenson, L.U., Pastore, S., Trombotto, D., Bölling, S., Quiroz, M.A., and Ochoa, X.L. 2010. ”Characteristics of two Rock Glaciers in the arid Argentinean Andes based on initial surface investigations”. In Proceedings of the 63rd Canadian Geotechnical Conference / 6th Canadian Permafrost Conference, September 12-16, Calgary, AB, Canada, 1501-1508.

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.

Benn, D.I. y Evans, D.J.A 1998. Glaciers and glaciation. London, Arnold.

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.

Bottero, R. 2002. Inventario de glaciares de Mendoza y San Juan. En: IANIGLA, 30 años de Investigación básica y aplicada en ciencias Ambientales. Trombotto, D. y Villalba, R. (Ed.), Zeta Editores., Mendoza, Argentina: p.165-169.

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.

Espizúa, L.E. 1986. Fluctuations of the río del Plomo Glaciers. Geografiska Annaler, 68A (4): p. 317-327.

Espizúa, L.E. y Bengochea, J.D. 1990. Surge of Grande del Nevado Glacier (Mendoza, Argentina), in 1984: Its Evolution Through Satellite Images. Geografiska Annaler. 72A (3-4): p. 255-259.

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

Espizúa, L.E. y Pitte, P. 2009. The Little Ice Age advance in the Central Andes (35° S), Argentina. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 281 (3-4): p. 345-350.

Ferri, L. y Espizúa, L.E. 2010. A new surge event of Grande del Nevado glacier, Mendoza. Internacional Glaciological Conference. Ice and Climate Change: A view from the South. Valdivia, Chile, 1- 3 February 2010. Abstract Book. Centro de Estudios Científicos: p. 37.

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.

Helbling, R. 1919. Beitrage zur Topographischen Erschliessung der Cordilleras de los Andes zwischen Aconcagua und Tupungato: Sonderabdruck aus dem XXIII Jahresberitch des Akademischen Alpenclub. Zürich 1918.

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.

INGEO-UNSJ. 2010. Relevamiento inicial de los glaciares de San Juan. Informe final. Instituto de Geología, Universidad Nacional de San Juan, San Juan: 88 pp.

Leiva, J.C. 2006. Assesment Climate Change Impacts on the Water Resources at the Northern Oases of Mendoza Province, Argentine. En: Global Change in Mountain Regions. Price, M. (Ed.), Sapiens Publishing, Wiltshire, Gran Bretaña: p. 81-83.

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

Masiokas, M.H., Rivera, A., Espizúa, L.E., Villalba, R., Delgado, S. y Aravena, J.C. 2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 281 (3-4): p. 242-268.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

WGMS. 1967. Fluctuations of glaciers 1959-1965, Vol. I. IAHS (ICSI)/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 Word – South America. USGS Professional Paper 1386-I.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Brenning, A. y Trombotto, D. 2006. "Logistic regression modelling of rock glacier and glacier distribution: Topographic and climatic controls in the semi-arid Andes". Geomorphology, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 81: p. 141-154.

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

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

Castro, M. y Trombotto D. 2010. The rockglaciers of the Cordillera del Tigre, Mendoza, Argentina. International Ice and Climate Conference, Valdivia, Chile, CECS. Abstract Book: p. 40.

Castro, M. 2010. "Mapeo de crioformas y ambiente periglacial en la Cordillera del Tigre, Mendoza, Argentina. Seminario de la Tecnicatura Universitaria en Sistemas de Información Geográfica, Cartografía y Teledetección (Geografía, Universidad Nacional de Cuyo), Mendoza: 55 pp.

Cobos, D. 1983. Inventario de glaciares de la cuenca del río Atuel. IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina: 29 pp.

Cobos, D. 1985. Inventario de los cuerpos de hielo en la cuenca del río Malargüe, Provincia de Mendoza, República Argentina. Bases para un racional manejo de los recursos naturales en ecosistemas desérticos. IANIGLA-CONICET: p. 20.

Corte, A. 1953. Contribución a la morfología periglacial de la alta cordillera con especial mención del aspecto criopedológico. Anales del Departamento de Investigaciones Científicas, Tomo 1, (2): p.1-54.

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

Espizúa, L.E. 1983. Glacier and moraine inventory on the eastern slopes of Cordón del Plata and Cordón del Portillo, Central Andes, Argentina. INQUA Symposia on the genesis and lithology of Quaternary deposits. USA, Argentina. 1981-1982. A. Balkema: p. 381-395.

Espizúa, L.E. 1983. Diferencia altitudinal entre el límite inferior de los glaciares de escombros activos, entre laderas norte y sur, de los Cordones del Plata y Portillo, Provincia de Mendoza.

Actas de la primera reunión del Grupo Periglacial Argentino. IANIGLA-CONICET. Mendoza, Argentina, 1: p. 79-87.

Espizúa, L.E., Pitte, P. y Ferri, L. 2008. Horcones Inferior. Glacier surge (AR5006). p. 43. Fluctuations of Glaciers 2000-20005. Vol. IXI) ICSU (FAGS) – IUGG (IACS) – UNEP-UNESCO – WGMS. Compiled for the WGMS. Suiza.

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.

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.

Leiva, J.C., Lenzano, L.E., Cabrera, G.A. y Suarez, J.A. 1989. Variations of the Rio Plomo glaciers, Andes Centrales Argentinos. En: Glacier Fluctuations and Climatic Change. Oerlemans, J. (Ed.), Kluwer Academic Publishers, dordrecht, HOLANDA: p. 143 – 151.

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

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

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

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

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

Travassos, Menezes J., Chaves Stael, G. & Trombotto Liaudat, D. 2008. Detection of degraded mountain permafrost with the help of GPR profiling at Mesón San Juan, Mendoza, Argentina. Revista Brasileira de Geofísica (RBGf), 26 (4): p. 519-526.

Trombotto, D. 1988. Geocryogenic Geomorphology, East Flank of the Andes Mendoza, at 33 S.L.". Vth International Conference on Permafrost, Trondheim, Proceedings, Vol. 1: p. 263 267, Noruega.

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

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

Trombotto, D. 2007. Profundización del tope de permafrost y tendencias en la dinámica criogénica, a partir de 1989, en el glaciar de escombros compuesto del valle de Morenas Coloradas, Mendoza, Argentina. Boletín Geográfico, Neuquén, Año XXIX, Nr. 30: p. 71-83.

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

Trombotto, D., Penas, P. y Blöthe, J. 2009. Análisis térmico inicial de la caldera y cumbre del complejo volcánico Peteroa, Mendoza – Argentina. T J.H. Acta de Resúmenes: p. 126-128.

Trombotto, D. y Alonso, V. 2010. Maqueta del mapa geomorfológico del entorno de la Laguna del Diamante (Andes Centrales, Argentina). XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén 2011. Sesión Especial: Ciencias de la Criósfera.

Trombotto, D., Lenzano, M.G. y Castro, M. 2012. Inventory and monitoring of cryoforms and cryogenic processes in the Central Andes of Mendoza, Argentina: birth and extinction of a periglacial lake. Tenth International Conference on Permafrost, Proceedings, Salekhard, Russia, Vol 1: p. 419-424.

Trombotto, D., Buk., E. y Hernández, J. 1997. Monitoring of Mountain Permafrost in the Central Andes, Argentina. Permafrost and Periglacial Processes, Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK. Vol. 8: p. 123 –129.

Trombotto, D., Travassos, J y Stael, G. 2008. Detection of Degradated Mountain Permafrost with the Help of GPR Profiling at Mesón San Juan, Mendoza, Argentina. Ninth International Conference on Permafrost, Extended abstracts. University of Alaska, Fairbanks.

Unger, C., Espizúa, L. E., y Bottero, R. 2000. Untersuchung von Gletscherständen im Tal des Río Mendoza (zentralargentinische Anden) – Kartierung eines Surge-Vorsosses des Horcones Inferior. Zeischrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie. Universitätsverlag Wagner – Innsbruck. Band 36, S: p. 151-157.

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

7. Anexos

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

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

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

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

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

Satélite: **LANDSAT 5**
Sensor: TM (Thematic Mapper)
Resolución espacial: 30 m
Proveedor: USGS http:/www.usgs.gov

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52330822011033CUB00	02 febrero 2011	Base georreferenciación
LT52330822009123COA01	03 mayo 2009	Apoyo en la identificación de manchones de nieve perennes

Satélite: **ALOS** (Advanced Land Observing Satellite)
Sensor: AVNIR (Advance Visible and Near Infrared Radiometer)
Resolución espacial: 10 m
Imágenes gentileza de CONAE (Argentina) y JAXA (Japón) a través de los Dres. Jinro Ukita y Takeo Tadono, obtenidas como parte del proyecto JICA-IANIGLA “Desarrollo de un inventario de glaciares en los Andes Argentinos empleando imágenes ALOS de alta resolución” dirigido por el Dr. M. Masiokas (IANIGLA-CONICET).

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALAV2A224864230	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

ID imagen	Fecha	Objetivo
ALOS PSM N D430423001B2	14 abril 2010	Apoyo en la digitalización de hielo cubierto y glaciares de escombros

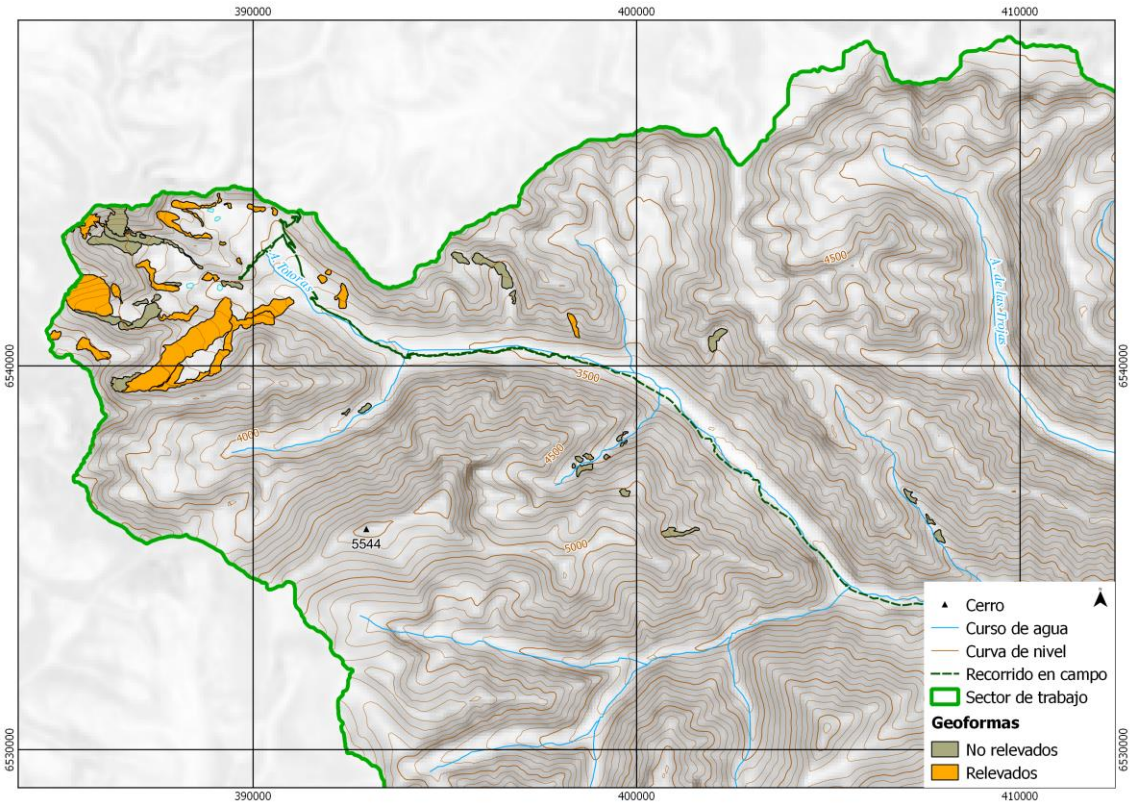
7.2. Control de campo en la zona del glaciar Calingasta (nacientes del río de la Totora).

Para realizar esta campaña se contó con el apoyo de la Secretaría de Ambiente de la Provincia de San Juan en la logística, tanto en la planificación como en la gestión de los permisos de circulación por los caminos mineros de montaña. La campaña se realizó a finales del mes de Abril del 2014.

7.2.1 Objetivos

Los objetivos de la campaña fueron:

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

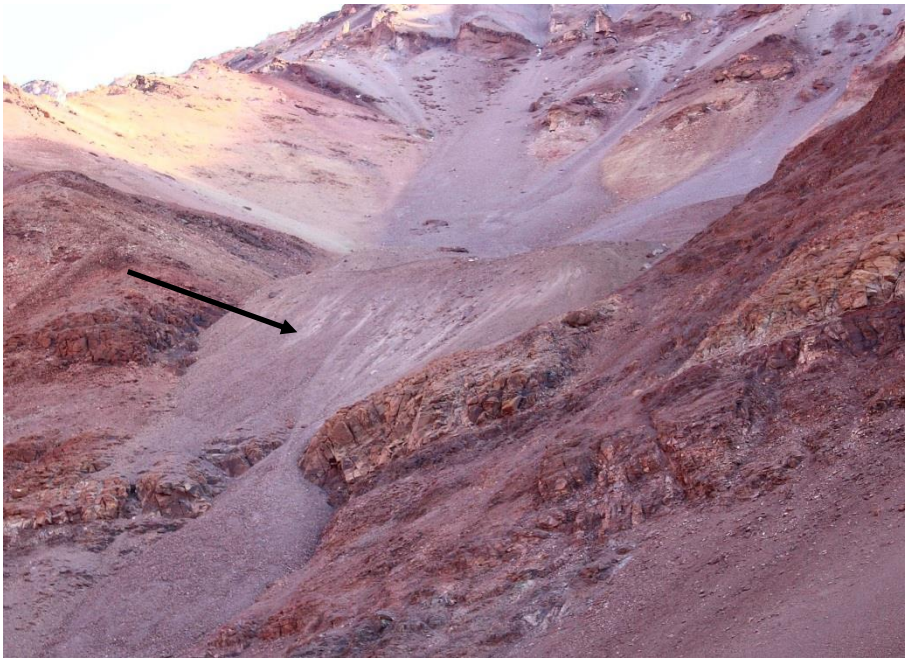


Glaciares relevados en el terreno. Sector de la subcuenca del río Calingasta.

7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

Geoforma G700674O312601S

Glaciar de escombros inactivo. En el terreno se pudieron observar las características del talud de esta geoforma. Si bien la inclinación del talud es de aproximadamente 35º, la superficie de la geoforma posee características morfológicas que no presentan evidencias claras de movimiento. La geoforma se encuentra a unos 3.700 msnm, altitudinalmente por debajo de la zona en donde los glaciares de escombros presentan actividad evidente.



Vista desde el sur del glaciar de escombros inactivo G700674O312601S

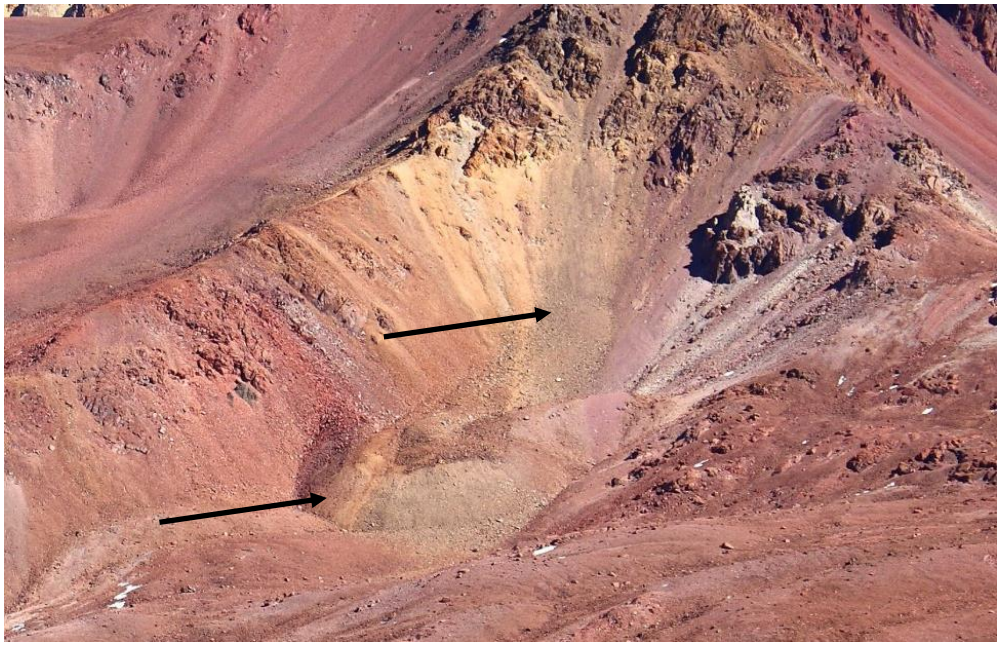
Geoforma G701775O312355S

Glaciar de escombros activo. Desde lejos se pudo observar esta geoforma. Solo se alcanzan a ver algunos taludes de este gran glaciar de escombros multiunidad.

Detalle de los taludes de la geoforma G701775O312355S

Geoforma G701634O312402S

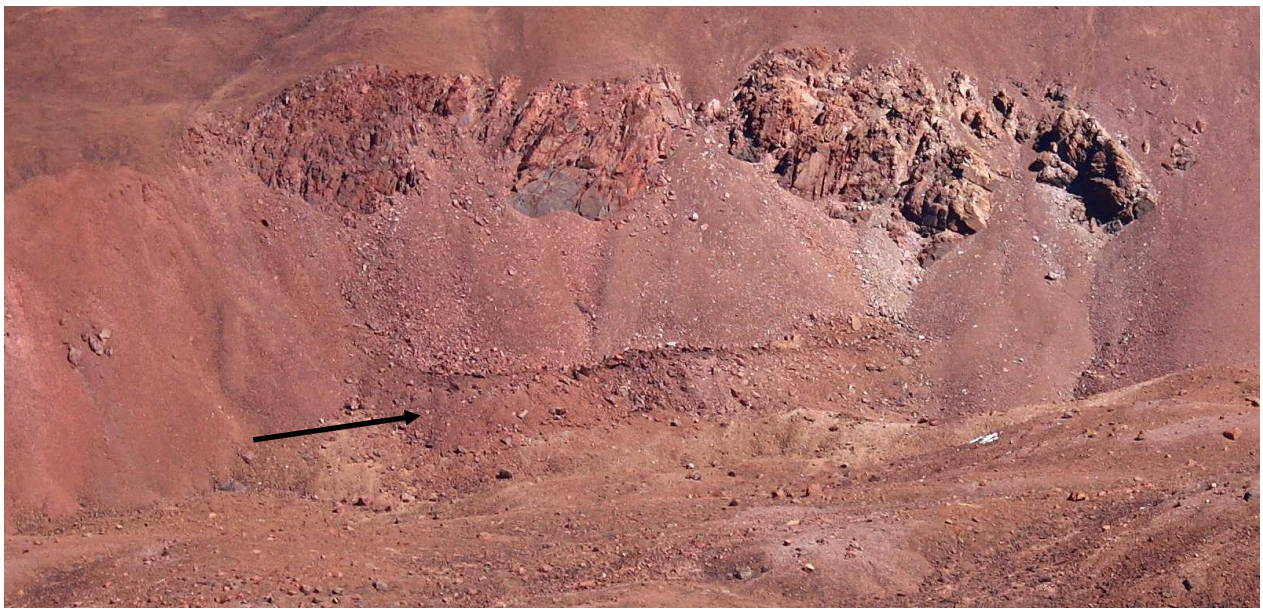
Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Se observa en la imagen el origen y el talud de la misma. Obsérvese el detalle de la canaleta de avalanchas de nieve y detritos en la raíz de la geoforma.



Detalles de la raíz y del talud de la geoforma G701634O312402S

Geoforma G701589O312443S

Glaciar de escombros activo. Se puede observar en la imagen la zona de aporte de esta geoforma como así también el pequeño talud que posee en su parte frontal, con una inclinación superior a 35º.



Detalle del talud de la geoforma G701589O312443S.

Geoforma G701541O312320S

Glaciar de escombros activo. La superficie de mismo está atravesada por un camino antiguo (sin mantenimiento). La geoforma presenta señales de actividad como la inclinación de los taludes que es de aproximadamente 38º. En algunos sectores pequeños presenta signos de inactividad.

Detalle del camino que atraviesa a la geoforma G701541O312320S

Geoforma G701491O312328S

Glaciar de escombros inactivo. En el terreno se corroboró la inactividad de la geoforma. Se pueden observar en la fotografía las características suavizadas de sus rasgos morfológicos. Además se puede ver que está atravesada en el contacto con sus raíces (canaletas de avalanchas de nieve y detrito) por una antigua huella vehicular.

Detalle del frente de la geoforma (vista desde el sur)

Obsérvese el camino que atravisa la geoforma. En la foto se ven los detalles morfológicos que indican la inactividad de la geoforma.

Geoforma G701642O312296S

Glaciar de escombros inactivo. Se pudo observar desde lejos esta geoforma. Se alcanzan a ver algunos rasgos morfológicos de la misma que corroboran el estado inactivo de este glaciar de escombros.

Vista desde el sur de la geoforma G701642O312296S

Geoforma G701616O312313S

Glaciar de escombros inactivo. Se observa un pequeño talud en la parte frontal con una inclinación menor a los 35º.

Detalle del talud de la geoforma G701616O312313S

Geoforma G701706O312336S

Glaciar de escombros coalescente. Anteriormente a la corroboración en el terreno la geoforma estaba clasificada como activa. Si bien se observó desde lejos, se puede notar en la foto que este cuerpo de hielo presenta un talud con poca inclinación y características en superficie que no evidencian un movimiento presente. Por estas características es que la geoforma pasó a ser clasificada como glaciar de escombros inactivo.

Taludes frontales de la geoforma G701706O312336S

Geoforma G701725O312311S

Glaciar de escombros activo de forma coalescente. En su parte frontal la geoforma presenta un importante talud con una inclinación de 38º aproximadamente.

Detalle del talud frontal de la geoforma

Geoforma G701307O312531S

Glaciar de escombros inactivo. En el terreno se pudo observar que la geoforma presenta signos de actividad en algunos sectores pequeños. Sin embargo, teniendo en cuenta el cuerpo en su totalidad, es que se mantuvo la clasificación.

Geoforma G701307O312531S

Geoforma G701344O312471S

Pequeño glaciar de escombros inactivo. Se encuentra en una de las laderas del valle del río de la Totora. Luego de la corroboración en el terreno se modificó el contorno de esta geoforma achicando su superficie.

Detalle del pequeño talud

<u>Geoforma G701754O312655S</u>

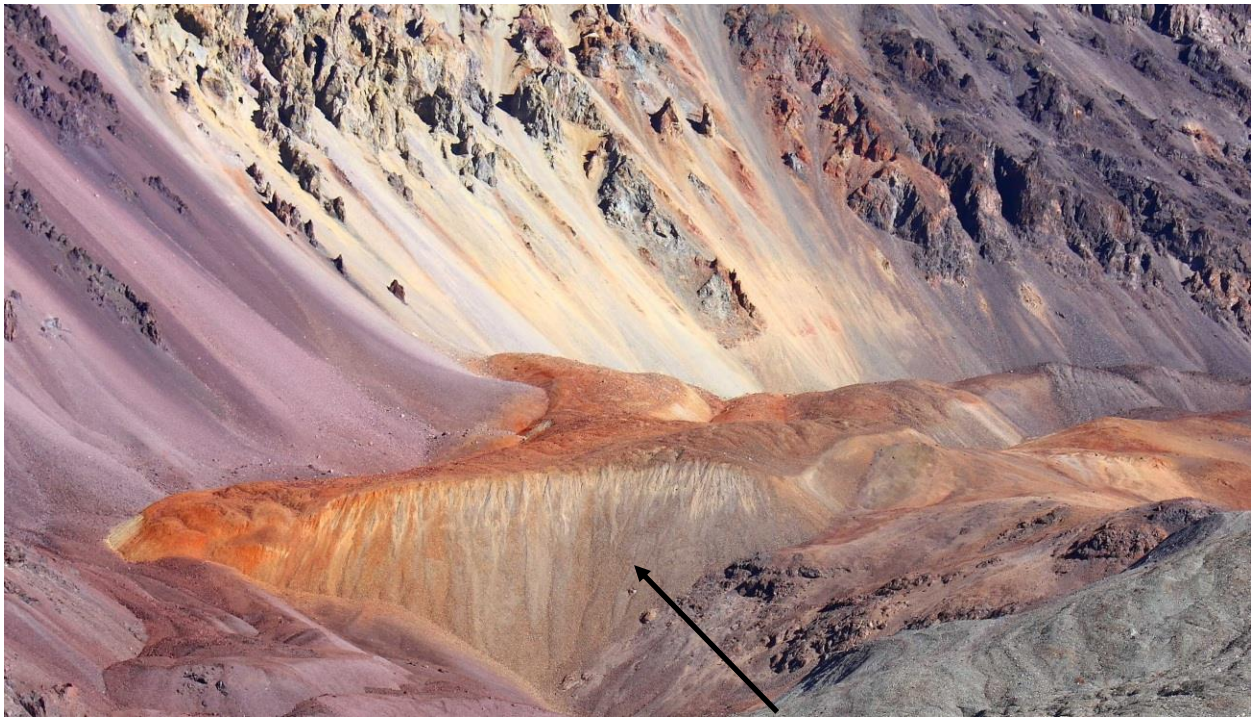
Glaciar Calingasta. Unidad compuesta por distintas partes que en forma continua se van sucediendo: en la parte más alta se encuentra el sector de hielo descubierto, en la parte media el sector de hielo cubierto y en la parte baja la zona de glaciar de escombros. En las fotos se pueden observar los surcos y crestas que se desarrollan en superficie de la zona más baja del glaciar.

Zona terminal del glaciar Calingasta

Detalle del gran talud terminal y de los surcos y crestas de la geofoma.

Geoforma G701650O312681S

Glaciar de escombros activo. El color del material que compone a la geoforma refleja el aporte de las diferentes zonas de la ladera que aportan sus detritos al glaciar de escombros. Presenta un gran talud frontal de una inclinación de unos 40º en su parte alta. En su superficie son evidentes los signos de reptación que dan origen a las crestas y surcos.



Detalle del talud de la Geoforma G701650O312681S

Geoforma G701762O312721S

Glaciar de escombros activo. Se observó desde la distancia. Está compuesto por un sector de desarrollo coalescente en la base de la ladera y un sector en forma de lengua. Se encuentra en contacto con el glaciar Calingasta.

Detalle del talud de la geoforma

Geoforma G701753O312571S

Glaciar de escombros activo. Presenta todas las características bien definidas de un glaciar de escombros activo. Se observan claramente en su superficie crestas y surcos. También se puede ver un gran talud en su frente y las raíces desde donde nace en el contacto con la ladera.

Geoforma G701753O312571S

Geoformas G701623O312640-G701606O312599S-G701569O312594S-G701606O312599S

Inicialmente estaba considerado todo el sector como un gran glaciar de escombros activo con una zona por debajo inactiva. En el terreno se pudo observar que se podían individualizar las geoformas teniendo en cuenta que las mismas poseían zonas de aporte separadas y límites definidos entre cada una de ellas. Se separó la geoforma en 4 cuerpos de hielo distintos. Además se redujo el área al corroborar que la parte más baja no presentaba características de glaciar de escombros.

Obsérvese en detalle las diferentes geoformas que antes estaban unidas.

Geoformas G701994O312648S y G702095O312614S

Manchones de nieve perennes. La geoforma de la izquierda antes del control de campo estaba considerada como un glaciar descubierto de montaña. Después de la corroboración en campo se evidenció que el mismo correspondía a un manchón de nieve.

Detalle de las geoformas G701994O312648S y G702095O312614S

Geoformas G701992O312530S y G701927O312512S

En la imagen se observa e glaciar de montaña ubicado en la ladera del cerro. La geoforma que se encuentra a su derecha estaba clasificada como glaciar descubierto. Luego de la observación en campo la misma pasó a ser clasificada como manchón de nieve debido a las características observadas, ya que se encuentra adherido a la ladera sin contar con un espesor suficiente ni con evidencias de movimiento.

Detalle de las geoformas G701992O312530S y G701927O312512S

<u>Geoforma G701999O312354S</u>

Glaciar descubierto. Desde lejos se pudo corroborar la identificación y la clasificación de este glaciar de montaña.

Detalle del glaciar G701999O312354S

7.3. Descripción de la base de datos

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

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

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

   M0550000

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

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

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

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

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

GD-Glaciar descubierto: cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización de la nieve y/o hielo, sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento

por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias), y de un área mayor o igual a 0,01 km^2 (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-Glaciar cubierto: cuerpo de hielo permanente generado sobre la superficie terrestre a partir de la compactación y recristalización 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 km^2 (una hectárea).

GE-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 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 (GEA), inactivos (GEI) y fósiles (GEF)** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos (>35º) 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 (<35º), 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-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) a partir de sensores remotos, en particular si no se cuenta con

información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada glaciar cubierto con glaciar de escombros que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

7. **ID_GLIMS**: es el código de identificación del glaciar que sigue las normas internacionales propuestas por GLIMS, el nombre del glaciar está dado por las coordenadas geográficas de un punto dibujado en su interior. En este código la longitud está referida al Este.
8. **Nombre común:** si lo hubiere.
9. **Clasificación Primaria:** basada en el documento "Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual" (Rau et al. 2005), preparado por el grupo de expertos de GLIMS http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-Classification-Manual_V1_2005-02-10.pdf
    0. Incierto
    1. Sábana de hielo continental: es una gran masa de hielo que cubre un continente o gran parte del mismo. En la actualidad sólo existen las de Antártida y Groenlandia. Las sábanas de hielo no están totalmente controladas por la topografía subglacial y se caracterizan por ser más activas en sus bordes y a lo largo de las corrientes de hielo. Las partes más altas y abombadas llamadas domos tienen escasa pendiente y flujo de hielo muy limitado.
    2. Campo de hielo: masa de hielo glaciar, confinada topográficamente, de superficie relativamente plana, y de la cual fluyen glaciares de descarga, y cuya superficie es menor a 50.000 km^2.
    3. Calota de hielo: masa de hielo no confinada con forma de domo, que fluye en todas las direcciones.
    4. Glaciar de descarga: glaciar que fluye desde el interior de un campo de hielo, calota de hielo y/o sábana de hielo, transfiriendo masa hacia las zonas más bajas.
    5. Glaciar de valle: glaciar con el área de acumulación bien definida, cuya lengua está encauzada y fluye valle abajo.
    6. Glaciar de montaña: un glaciar que se encuentra confinado por la topografía del terreno montañoso que lo rodea; frecuentemente localizado en un circo o nicho (Müller et al., 1977). Incluye glaciares de circo, de nicho y de cráter.

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

10. Forma:

0. Incierto
1. Cuencas compuestas
2. Cuenca compuesta
3. Cuenca simple

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

11. Frente:

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

12. Perfil longitudinal

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

13. Fuente de alimentación

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

14. Actividad de la Lengua

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

15. Morena_1

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

16. Morena_2

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

17. Cobertura de la lengua

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

18. Origen GE

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

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

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

sobrepuestos.

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

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 km^2 respectivamente. El Inventario Nacional de Glaciares describe por primera vez, en un instrumento sistematizado, todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional, con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de la subcuenca del río Calingasta, cuenca del río San Juan, provincia de San Juan.

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

Hoja Adicional de Firmas
Informe gráfico

Número: IF-2018-22276967-APN-DNGAAYEA#MAD

CIUDAD DE BUENOS AIRES
Viernes 11 de Mayo de 2018

Referencia: ING río Calingasta

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 61 pagina/s.

Digitally signed by GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE
DN: cn=GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE, c=AR, o=MINISTERIO DE MODERNIZACION, ou=SECRETARIA DE MODERNIZACION ADMINISTRATIVA, serialNumber=CUIT 30715117564
Date: 2018.05.11 15:04:45 -03'00'

María Laila Jover
Asesora Técnica
Dirección Nacional de Gestión Ambiental del Agua y los Ecosistemas Acuáticos
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Digitally signed by GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE
DN: cn=GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE, c=AR, o=MINISTERIO DE MODERNIZACION, ou=SECRETARIA DE MODERNIZACION ADMINISTRATIVA, serialNumber=CUIT 30715117564
Date: 2018.05.11 15:04:49 -03'00'