Informe de la subcuenca de la cordillera Ansilta Cuenca del río San Juan

INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA CONICET | U.N.CUYO GOBIERNO DE MENDOZA

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IF-2018-22281017-APN-DNGAAYEA#MAD

Provincia de San Juan

Cordillera Ansilta, 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: Lic. Lidia Ferri Hidalgo
Profesionales: Téc. Mariano Castro y Lic. Laura Zalazar

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 Manantiales (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 de la cordillera Ansilta 20
5.2 Control de campo 24
6. Bibliografía 26
7. Anexos 32
7.1. Imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca de la cordillera Ansilta 32
7.2. Control de campo en el sector del arroyo Fiero, cordillera Ansilta 34
7.2.1 Objetivos 34
7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas 35
7.3. Descripción de la base de datos 43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Glaciar del Pico 3 de la cordillera Ansilta. Foto: www.andeslimite.net. 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 de la cordillera Ansilta (Para mayor detalle ver mapa impreso del sector de estudio, adjunto en contratapa). 21
Figura 9: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca de la cordillera Ansilta.22
Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca de la cordillera Ansilta. 22
Figura 11: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados por áreas clasificadas en 7 categorías, subcuenca Ansilta. 23
Figura 12: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca de la cordillera Ansilta. 24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes de los sensores ALOS y ASTER utilizadas para el Inventario de la subcuenca de la cordillera Ansilta. 13
Tabla 2: Superficie englazada en la subcuenca de la cordillera Ansilta. 20
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca de la cordillera Ansilta. 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 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: Glaciar del Pico 3 de la cordillera Ansilta. Foto: www.andeslimite.net.

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 de la cordillera Ansilta. Está formada por el aporte del río Ansilta y arroyos Fiero y de los Arroyos. 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 de la cordillera Ansilta fue elaborado en mayo 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 pero en muchos casos son 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).

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.

También existe un trabajo donde se recopilan datos de inventarios de glaciares de otras cuencas del río San Juan (Bottero 2002). Por ejemplo se puede conocer la superficie inventariada en el río Castaño 93,24 km^2, río Blanco 286,90 km^2 y río de los Patos 175,88 km^2, lo que arroja un total de 556,02 km^2 para la cuenca superior del río San Juan.

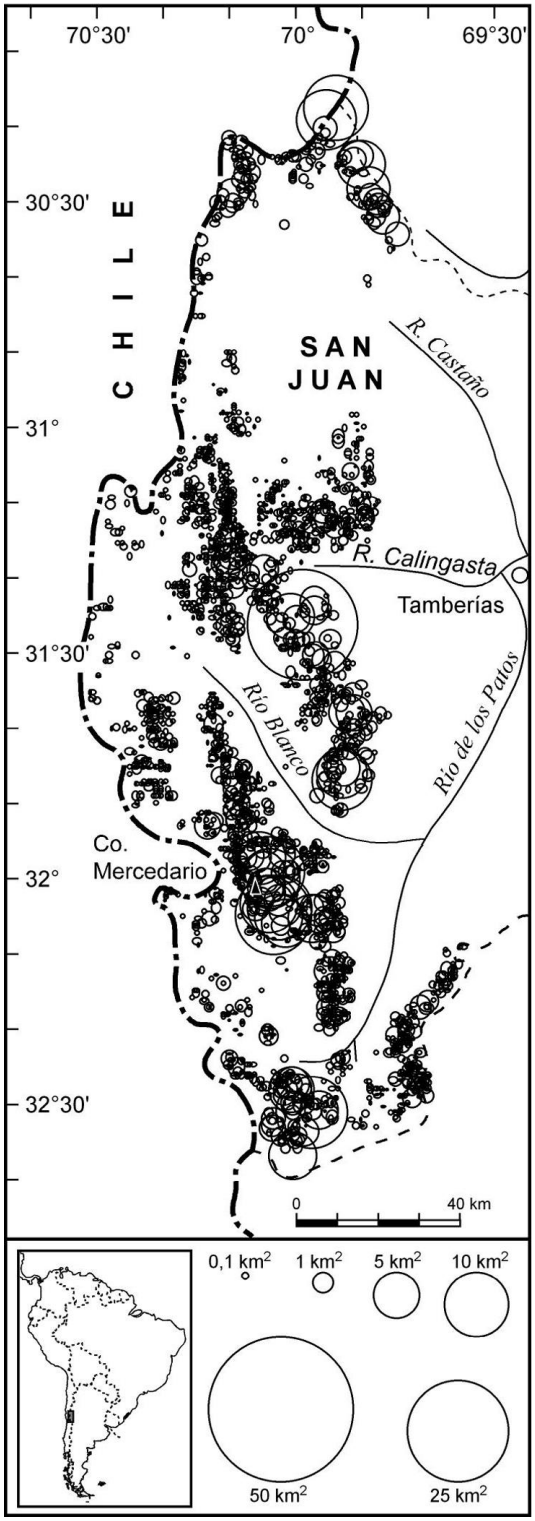


Figura 2: Inventario de glaciares de las cuencas de los ríos Castaño, Blanco y de los Patos, en la Provincia de San Juan, Bottero 2002.

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 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).

El último trabajo de inventario de glaciares en el río San Juan, fue realizado por el INGEO-FCEFN-UNSJ, debido 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 además de glaciares descubiertos, glaciares cubiertos y glaciares de escombros (INGEO-UNSJ 2012-2014).

INGEO-UNSJ 2012-2014. Inventario de glaciares cuenca del río San Juan. Convenio: Gobierno de la Provincia de San Juan-Universidad Nacional de San Juan.

Con respecto a los antecedentes existentes 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 (Arenson et al. 2010). Este estudio proporciona una información valiosa sobre los glaciares de escombros en los Andes áridos que servirá de base para otros 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 de la cordillera Ansilta 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 de la cordillera Ansilta, 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** (1.537 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 de la cordillera Ansilta (Figura 3).

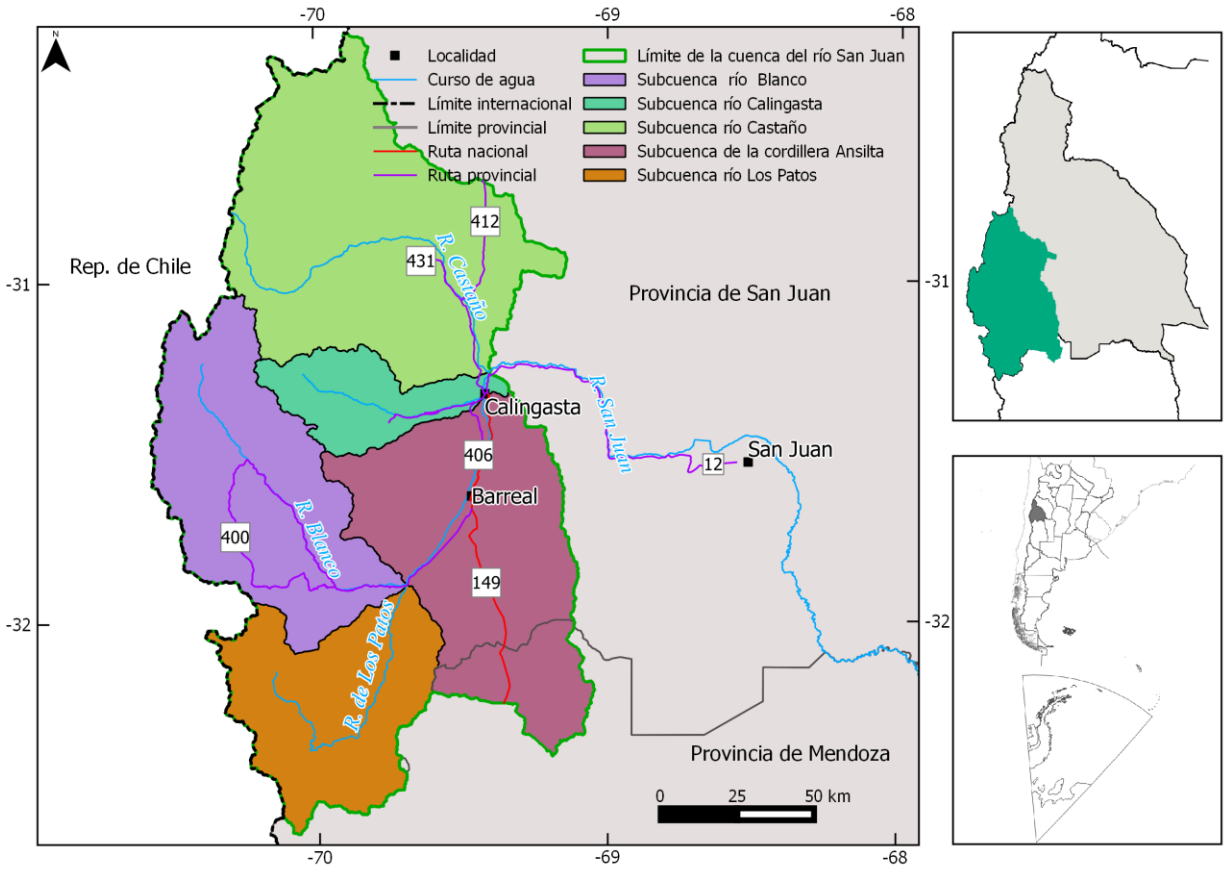


Figura 3: Subcuencas y sectores de trabajo en los que se dividió la cuenca del río San Juan para la realización del Inventario Nacional de Glaciares.

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 KOSMO[1] (software libre).

[1] http://www.opengis.es/

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el inventario en la subcuenca de la cordillera Ansilta se utilizaron como base una imagen ALOS, AVNIR (10 m) y para un pequeño sector de la parte sur una imagen ASTER (15 m) , aunque se revisaron y utilizaron como apoyo otras imágenes incluyendo LANDSAT, PRISM (ALOS), CBERS (HRC) y el aplicativo Google Earth. Las imágenes Landsat se utilizaron como base de georreferenciación. Las imágenes de mayor resolución espacial PRISM (ALOS) fueron importantes para la detección de hielo cubierto y glaciares de escombros.

Tabla 1: Imágenes de los sensores ALOS y ASTER utilizadas como base para el inventario de la subcuenca de la cordillera Ansilta.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST14OTH_00302242007144456	24 febrero 2007
ALOS/AVNIR	ALOS AV2 A D4304240 0 1B2	14 febrero 2010

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

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.

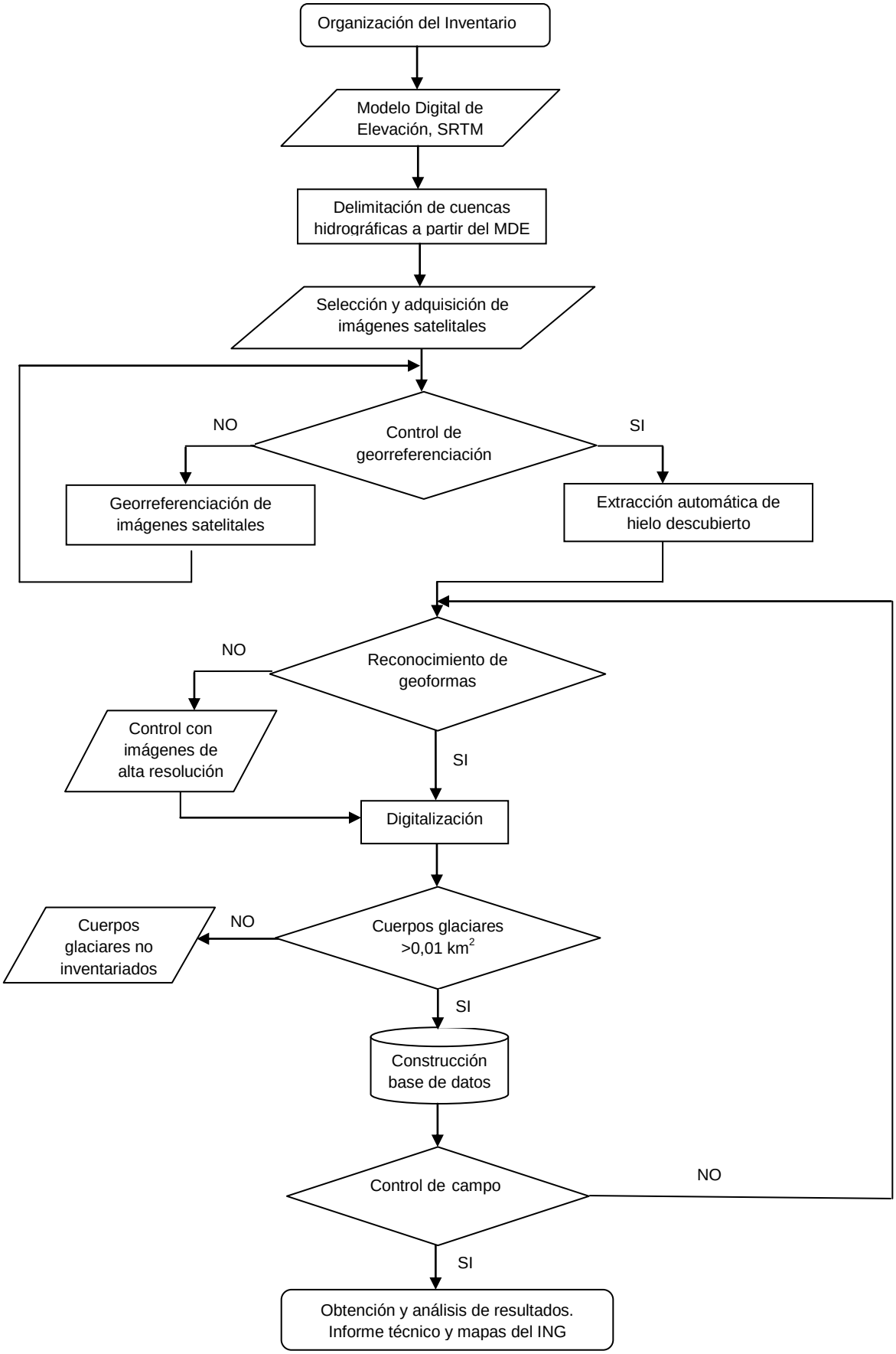


Figura 4: Diagrama de flujo de la metodología usada.

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.

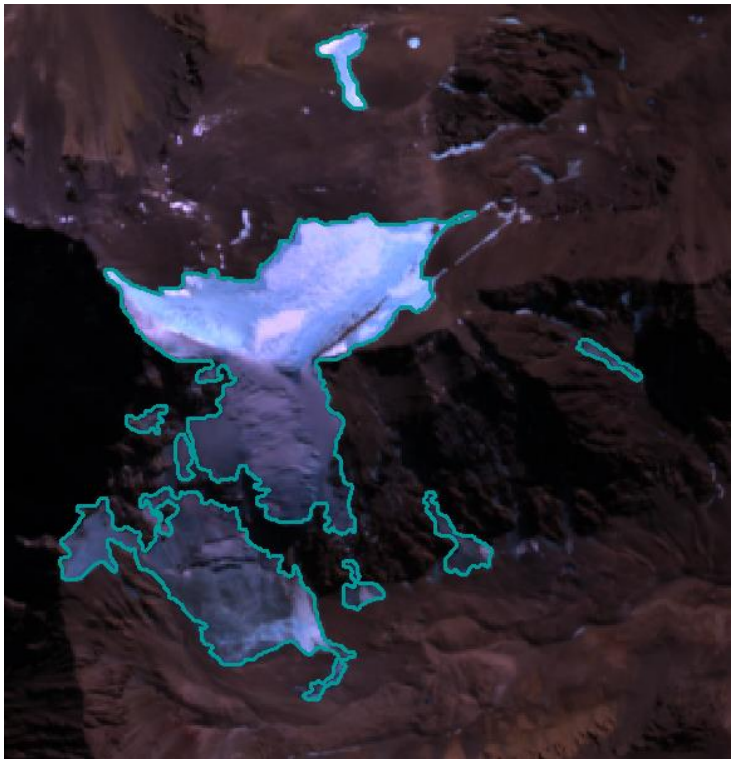


Figura 5: Delimitación de hielo descubierto obtenida a partir de una clasificación supervisada por objetos empleando el programa SPRING.

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 (Figura 6). Para ello, además de las imágenes ALOS y ASTER empleadas como base de este inventario, utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución PRISM (ALOS), HRC (CBERS 2) y las imágenes disponibles en Google Earth. La digitalización fue realizada con el programa KOSMO.

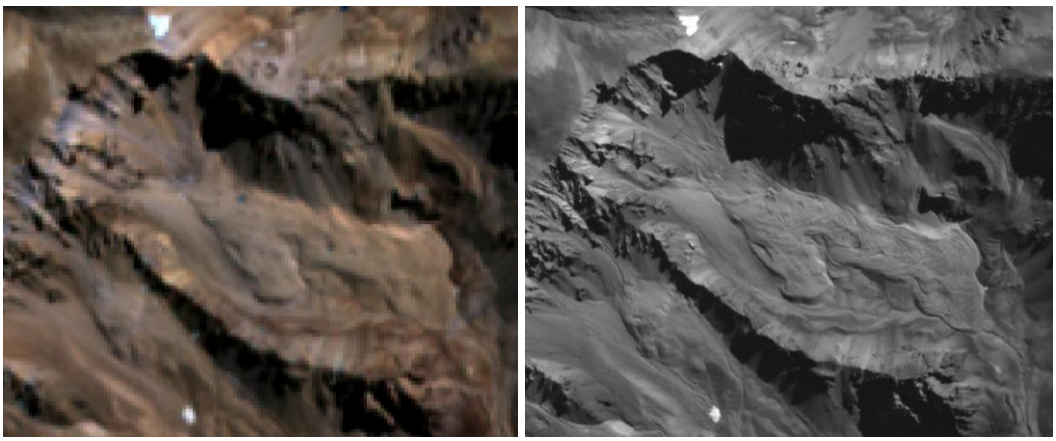


Figura 6: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen ASTER (15 m de resolución). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una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

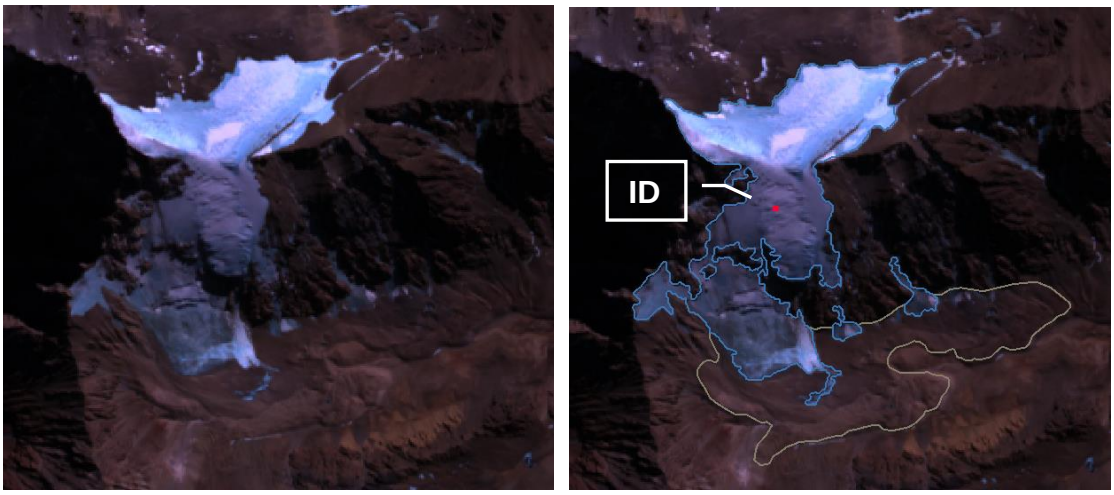


Figura 7: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de montaña sobre una imagen ASTER. En la parte derecha se muestra este glaciar con las diferentes subunidades que lo componen (parte de hielo descubierto y parte de hielo cubierto). Todas las subunidades tendrán el mismo código de identificación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

La cordillera de Ansilta, se encuentra ubicada en el departamento de Calingasta, provincia de San Juan. Está constituida por 7 picos entre 5.116 y 5.886 msnm. Justamente sobre estas cumbres y sus alrededores es donde se concentra la presencia de glaciares para esta subcuenca. El resto de geoformas inventariadas se ubican en el límite con la provincia de Mendoza en la cordillera del Tigre, sobretodo se trata de glaciares de escombros.

Los primeros resultados obtenidos demuestran que hay un total de 221 glaciares inventariados, ocupando una superficie de 24,57 km^2 (ver tabla 2). Si la superficie de la subcuenca es de 5.631 km^2, podemos calcular que tan sólo un 0,44 % de la misma está cubierta por glaciares.

Tabla 2: Superficie englazada en la subcuenca de la cordillera Ansilta.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km^2)
Glaciar descubierto	8,14
Manchones de nieve/glaciaretes	1,10
Glaciar cubierto	0,51
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	2,79
Glaciar de escombros	12,03
Total	24,57

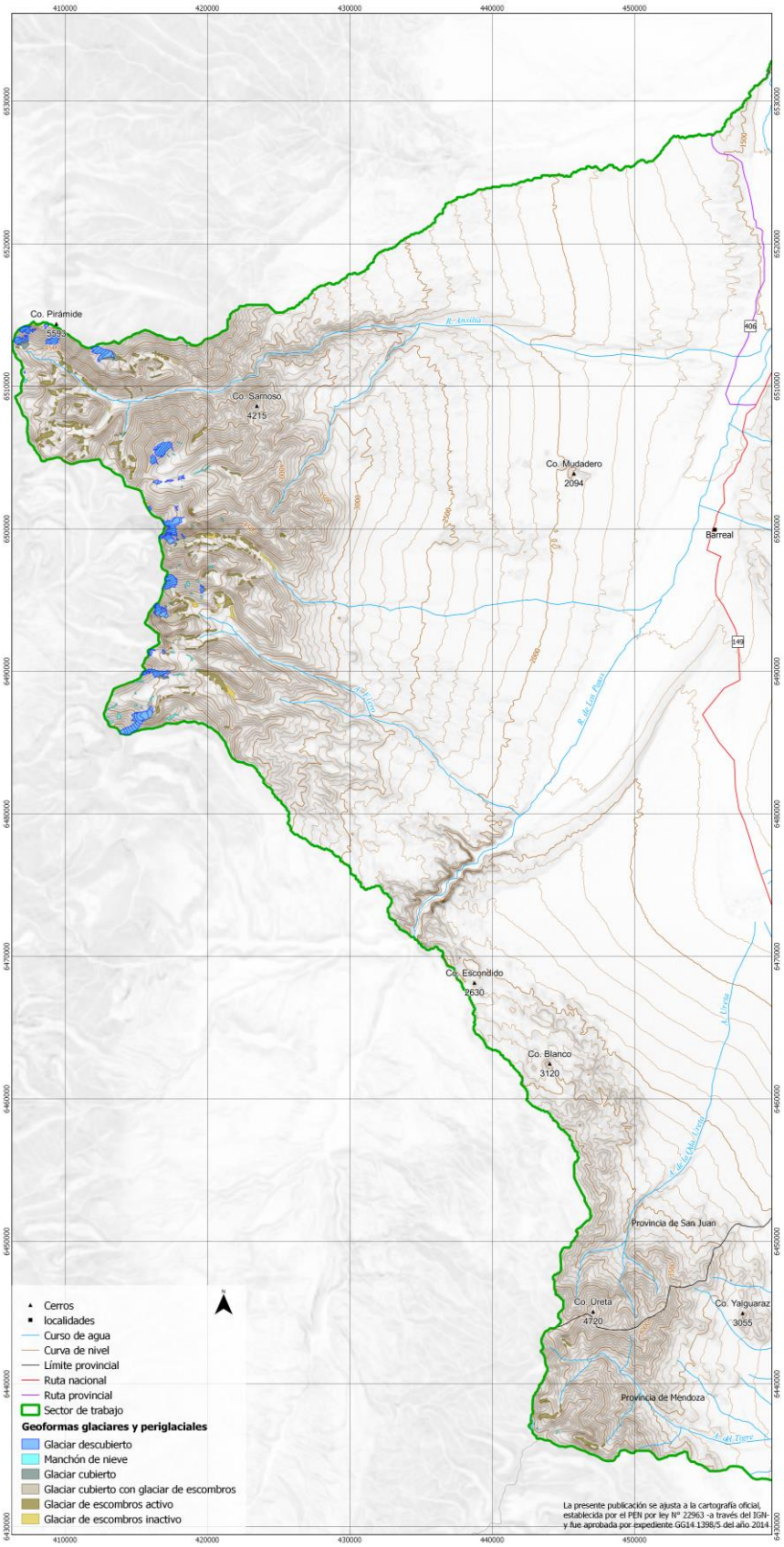


Figura 8: Glaciares en la subcuenca de la cordillera Ansilta.

Se puede observar en la Figura 9 que la superficie ocupada por glaciares descubiertos y manchones de nieve no llega al 50% del área total de cuerpos de hielo, el resto (62%)

corresponde a glaciares cubiertos, glaciares cubiertos con glaciar de escombros y a glaciares de escombros. Se puede resumir que en esta subcuenca predominan los glaciares de tipo cubierto y los glaciares de escombros con respecto al hielo descubierto.

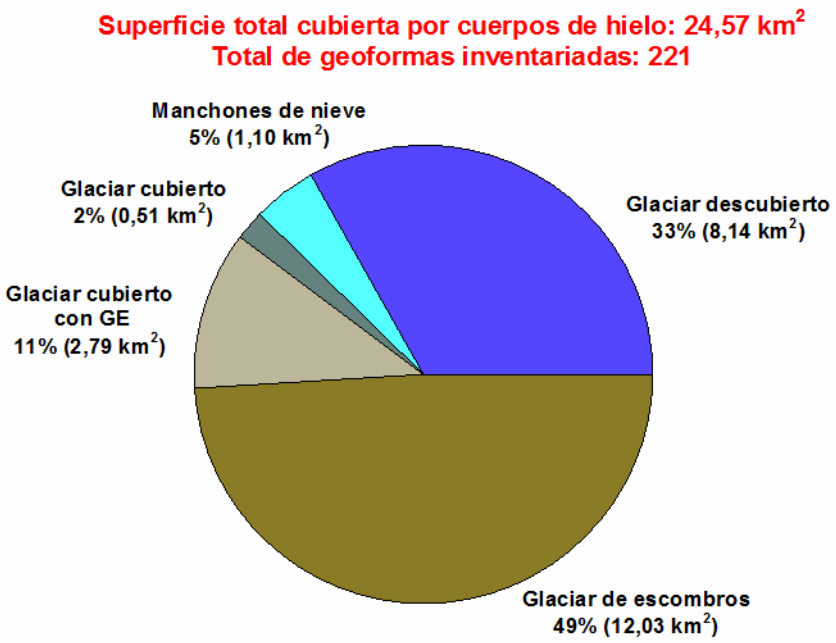


Figura 9: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca de la cordillera Ansilta.

Los análisis de la orientación media (Figura 10) de los cuerpos inventariados indican que la gran mayoría de los mismos tienen una orientación sur-este que coincide con las laderas de menor insolación en el Hemisferio Sur. Estas laderas menos expuestas a la radiación solar 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.

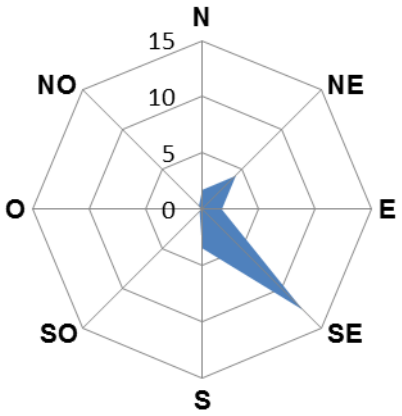


Figura 10: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados en la subcuenca de la cordillera Ansilta.

En la Figura 11 se puede observar que los glaciares más abundantes en la subcuenca de la cordillera Ansilta son los de menor tamaño (entre 0,01 y 0,05 km^2); son pocos los glaciares de mayor tamaño. En general, en esta subcuenca los glaciares no superan los 5 km^2 de superficie.

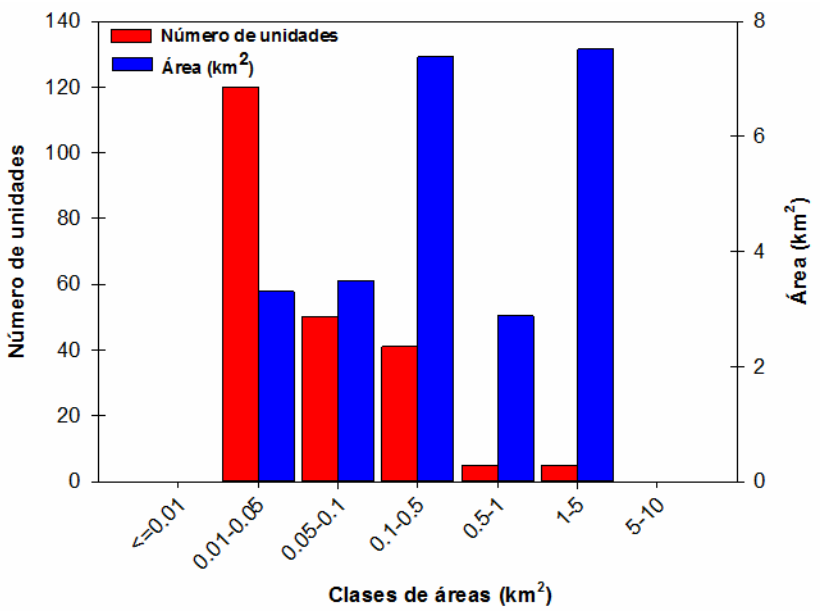


Figura 11: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados, subcuenca de la cordillera Ansilta.

Cabe destacar en el gráfico de la Figura 12 el comportamiento que presentan los glaciares inventariados con respecto a su gran rango altitudinal. Los glaciares tienen un comportamiento bastante regular para esta zona (ver Figura 12 y Tabla 3), en donde podemos observar que los glaciares descubiertos y manchones de nieve se localizan en las máximas altitudes (en esta subcuenca a 5.773 msnm). Entre los 4.000-5.000 msnm se localiza el hielo cubierto por detrito. A partir de los 5.000 y hasta los 3.520 msnm se ubican los glaciares de escombros activos e inactivos.

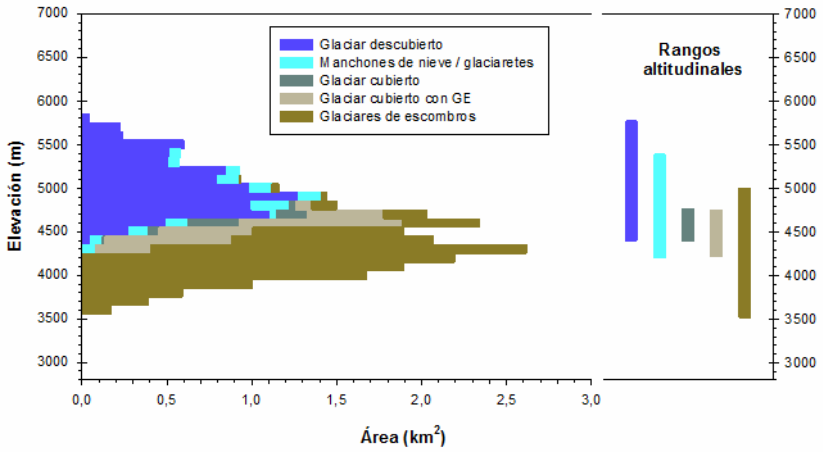


Figura 12: Hipsometría de los cuerpos de hielo, subcuenca de la cordillera Ansilta.

Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la subcuenca de la cordillera Ansilta.

Tipo de geoforma inventariada	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar descubierto	4.400	5.773
Manchones de nieve/glaciaretes	4.202	5.390
Glaciar cubierto	4.389	4.769
Glaciar cubierto con glaciar de escombros	4.218	4.750
Glaciar de escombros	3.520	5.000

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 control de campo se realizó del 17 al 21 del mes de marzo de 2014, en el valle del arroyo Fiero, cordillera de Ansilta.

En total se observaron en el campo 23 geoformas 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. En el caso de la identificación de geoformas glaciares y periglaciales se obtuvo un 95,65% de coincidencias y un 87% en la clasificación. En cuanto a la clasificación el error observado consistió en clasificar en gabinete como glaciares descubiertos a dos manchones de nieve, en el terreno se

pudo corregir esto ya que se observó que ambos no poseían ningún tipo de grietas ni indicios de que fueran glaciares. Esta diferencia observada en el terreno fue corregida posteriormente en gabinete.

En resumen, el control de campo realizado posteriormente al trabajo de gabinete, evidencia una alta coincidencia entre las geoformas observadas en el terreno y las identificadas a través de métodos indirectos. Para mayor detalle de las geoformas visitadas en el trabajo de campo ver anexo 7.2.

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 de la cordillera Ansilta

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario de la subcuenca de la cordillera Ansilta, 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
LT52320822009084COA00	08 abril 2009	Comparar manchones de nieve
LT52330822011033CUB00	03 marzo 2011	Comparar manchones de nieve

Satélite: **TERRA**
Sensor: Aster
Resolución espacial: 15 m
Proveedor: Los datos ASTER fueron obtenidos del "Data Pool de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota" (http://lpdaac.usgs.gov/get_data) por convenio del IANIGLA con el programa GLIMS.

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST14OTH_00302242007144456_20110713121729_8653	24 febrero 2007	Base inventario
ALOS AV2 A D4304240 0 1B2	14 abril 2010	Base inventario

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
ALOS AV2 A D4304240 0 1B2	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
ALPSMN224864245	14 abril 2010	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y GE

Satélite: **CBERS 2B** (China Brasil Earth Resources Satellite)
Sensor: HRC (High-Resolution Panchromatic Camera)
Resolución espacial: 2,5 m
Imágenes de INPE http:/www.inpe.br

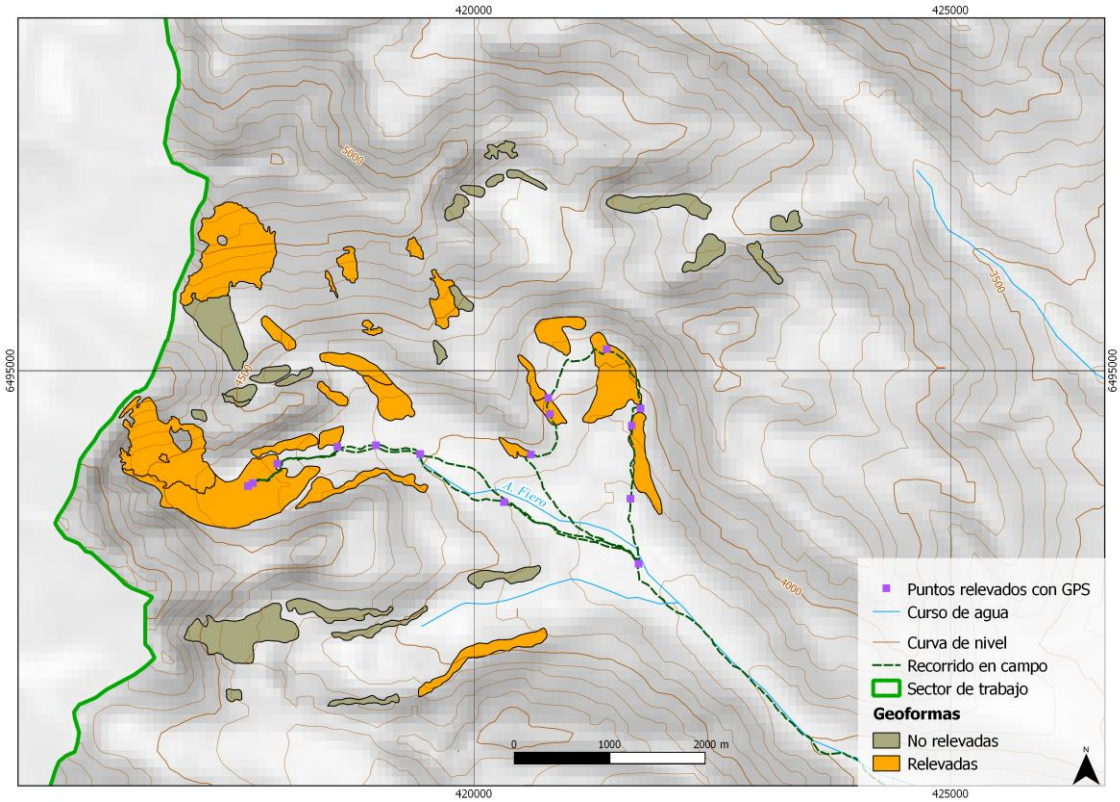
ID imagen	Fecha	Objetivo
CBERS_2B_HRC_20090411_175_A_136_3	11 abril 2009	Apoyo para delimitación de hielo cubierto y glaciares de escombros

7.2. Control de campo en el sector del arroyo Fiero, cordillera Ansilta

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



Mapa de ubicación de las geoformas visitadas en la campaña a la de la cordillera Ansilta

7.2.2. Resultados. Geoformas relevadas

Quebrada arroyo Fiero (picos 3 y 4 de Ansilta)

Geoforma G698257O316860S

Glaciar de escombros inactivo. Su origen es criogénico, sus límites son difíciles de delimitar incluso observándolo en el terreno, no obstante se puede constatar que presenta taludes con poca pendiente, algo colapsados y con alguna vegetación dispersa, confirmando que es una geoforma inactiva.

Vista desde el oeste del glaciar de escombros inactivo G698257O316860S

Geoforma G698292O316783S

Glaciar de escombros activo, de origen criogénico. Se observa su frente con un talud de unos 38-40º de pendiente. Se observa la capa activa en su superficie.

Vista general del glaciar de escombros G698292O316783S

Geoforma G698353O316735S

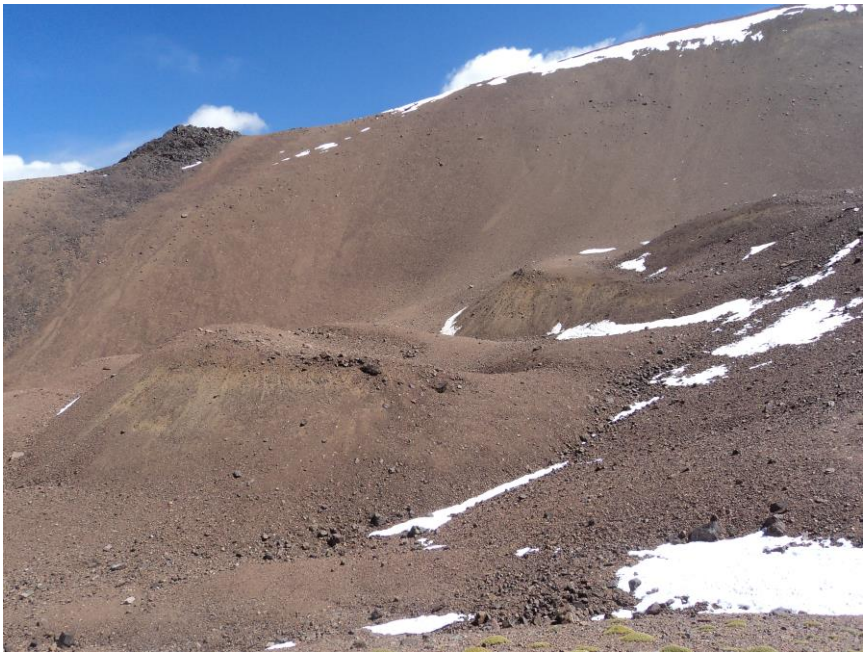
Glaciar de escombros activo. Presenta un talud abrupto y en el frente se observa una laguna originada por el drenaje del glaciar. Presenta una pequeña cobertura nival estacional.

Vista del frente del glaciar de escombros G698353O316735S

Laguna originada a partir del drenaje de la geoforma G698353O316735S

Geoforma G698368O316797S

Glaciar de escombros activo, de forma sobreimpuesta, se observan distintos pulsos del glaciar. En el terreno se pudo observar el límite entre la parte activa y la inactiva de la unidad. Además presenta en el frente una parte que corresponde a un glaciar de escombros fósil, el cual no se mapea por no contener ya hielo en su interior.



Parte activa del glaciar de escombros G698368O316797S

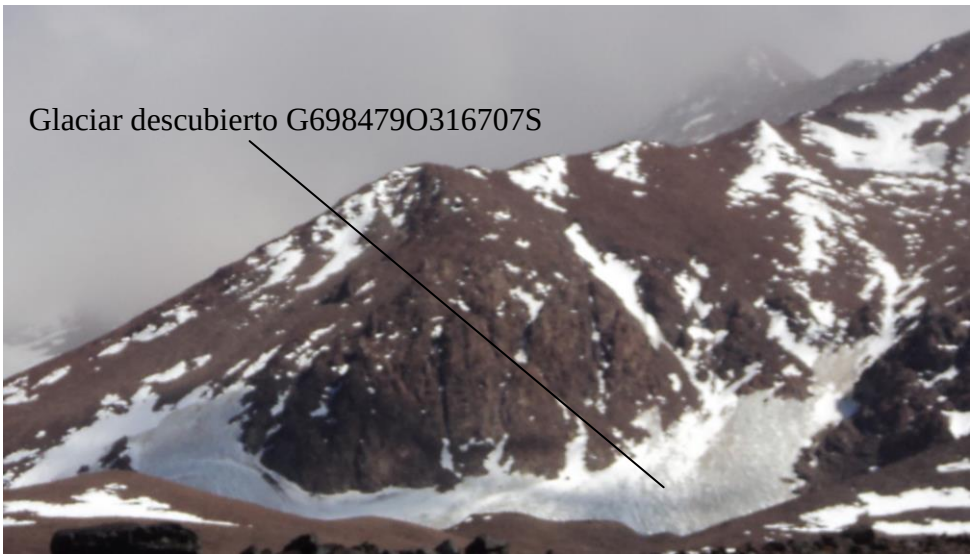
Geoforma G698510O316656S

Manchón de nieve perenne. Se observa algo de nieve estacional alrededor del manchón, pero esta geoforma es permanente dado que se observa en años anteriores, por lo menos por más de dos años consecutivos.

Manchón de nieve G698510O316656S

Geoforma G698479O316707S

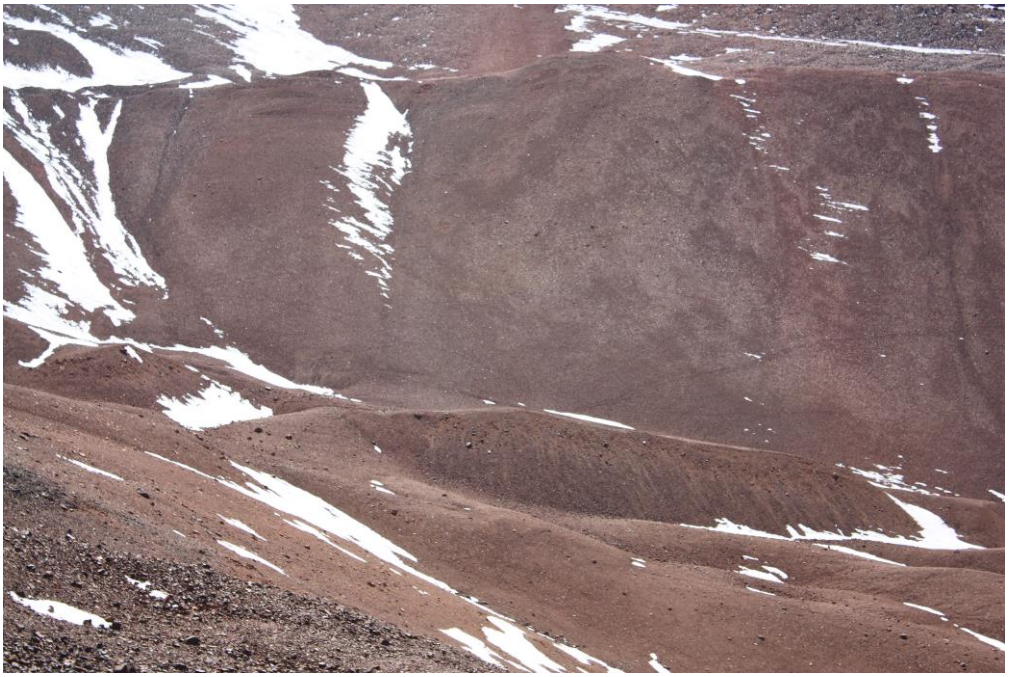
Glaciar descubierto en forma de nicho. Se observa en su parte más alta una rimaya, indicio de movimiento del hielo. A pesar de la nieve estacional que lo rodea se pudo observar el hielo de este glaciar.



Pequeño glaciar de montaña G698479O316707S

Geoforma G698551O316786S

Unidad formada por una parte activa y otra inactiva de glaciar de escombros.

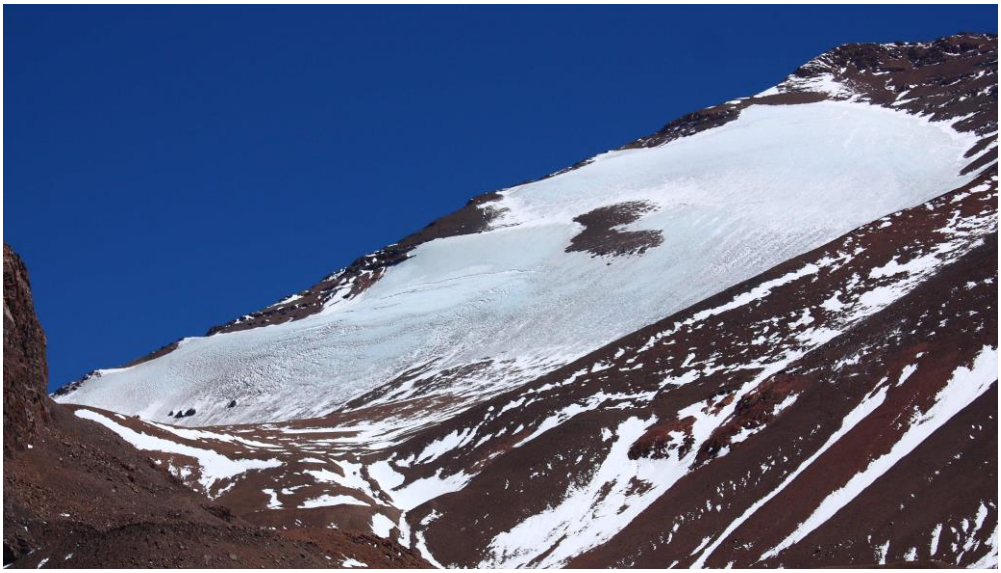


Glaciar de escombros activo G698551O316786S

Glaciar de escombros inactivo G698551O316786S

Geoforma G698551O316786S

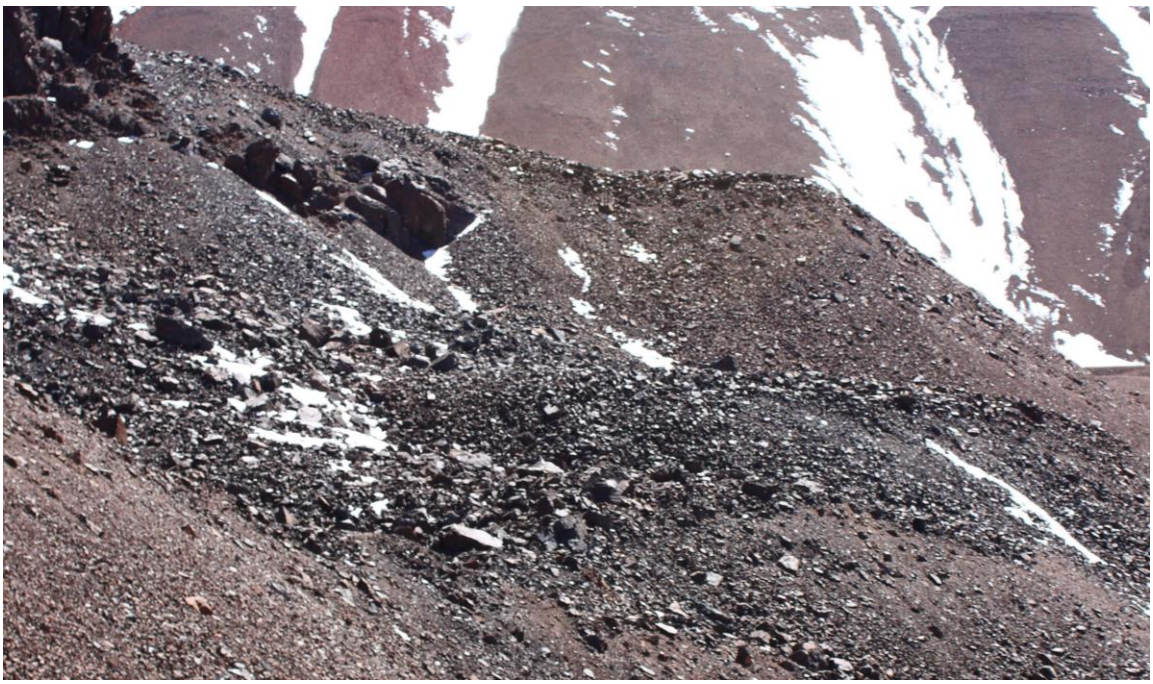
Glaciar descubierto del Pico 3 de Ansilta. Se trata de un glaciar de montaña, de cuenca simple con una parte de hielo cubierto en el frente.



Glaciar descubierto G698551O316786S

Geoforma G698596O316800S

Glaciar de escombros criogénico. Es de tipo activo, se observa un talud de una pendiente mayor a 35º.



Talud de la geoforma G698596O316800S

Geoforma G698604O316830S

Glaciar de escombros de origen criogénico. En su frente se forma una laguna de color azul turquesa, producido por la lixiviación en las rocas presentes. Se observan taludes de pendientes superiores a 35-40º.

Frente del glaciar de escombros G698604O316830S

Geoforma G698651O316839S

Glaciar de escombros de origen criogénico. Por la fuerte pendiente de su talud se puede corroborar que se trata de un glaciar de escombros activo.

Talud del glaciar de escombros G698651O316839S

Geoforma G698751O316876S

Glaciar cubierto con glaciar de escombros. Tiene bastantes termocarst en superficie y se observa que la cobertura de detrito es mayor que en la fecha en la que fue inventariado el glaciar cuatro años atrás.

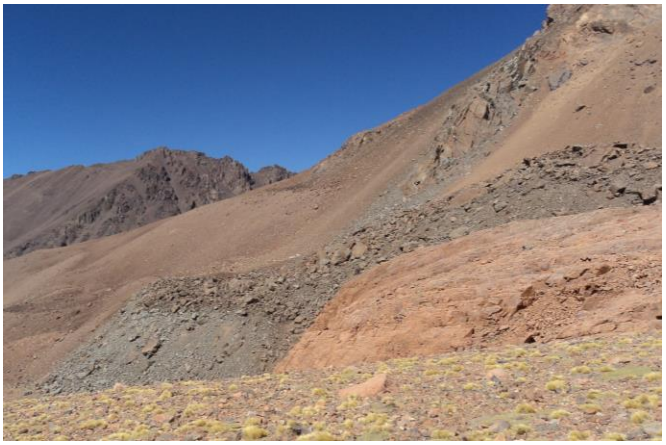
En la parte correspondiente al glaciar descubierto, se observan penitentes en su frente y se nota que la cobertura detrítica va avanzando sobre el hielo descubierto.

Transición entre el hielo descubierto y el cubierto por detritos del glaciar G698751O316876S

Detalle de hielo cubierto del glaciar G698751O316876S

Geoforma G698581O316879S

Glaciar de escombros activo coalescente.



Glaciar de escombros G698581O316879S

Geoforma G698434O317040S

Glaciar de escombros activo coalescente.

Vista panorámica del glaciar de escombros G698434O317040S

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 sector cordillera de Ansilta, 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-2018-22281017-APN-DNGAAYEA#MAD

CIUDAD DE BUENOS AIRES
Viernes 11 de Mayo de 2018

Referencia: ING río Ansilta

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 57 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 15:15:14 -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 15:15:16 -03'00'