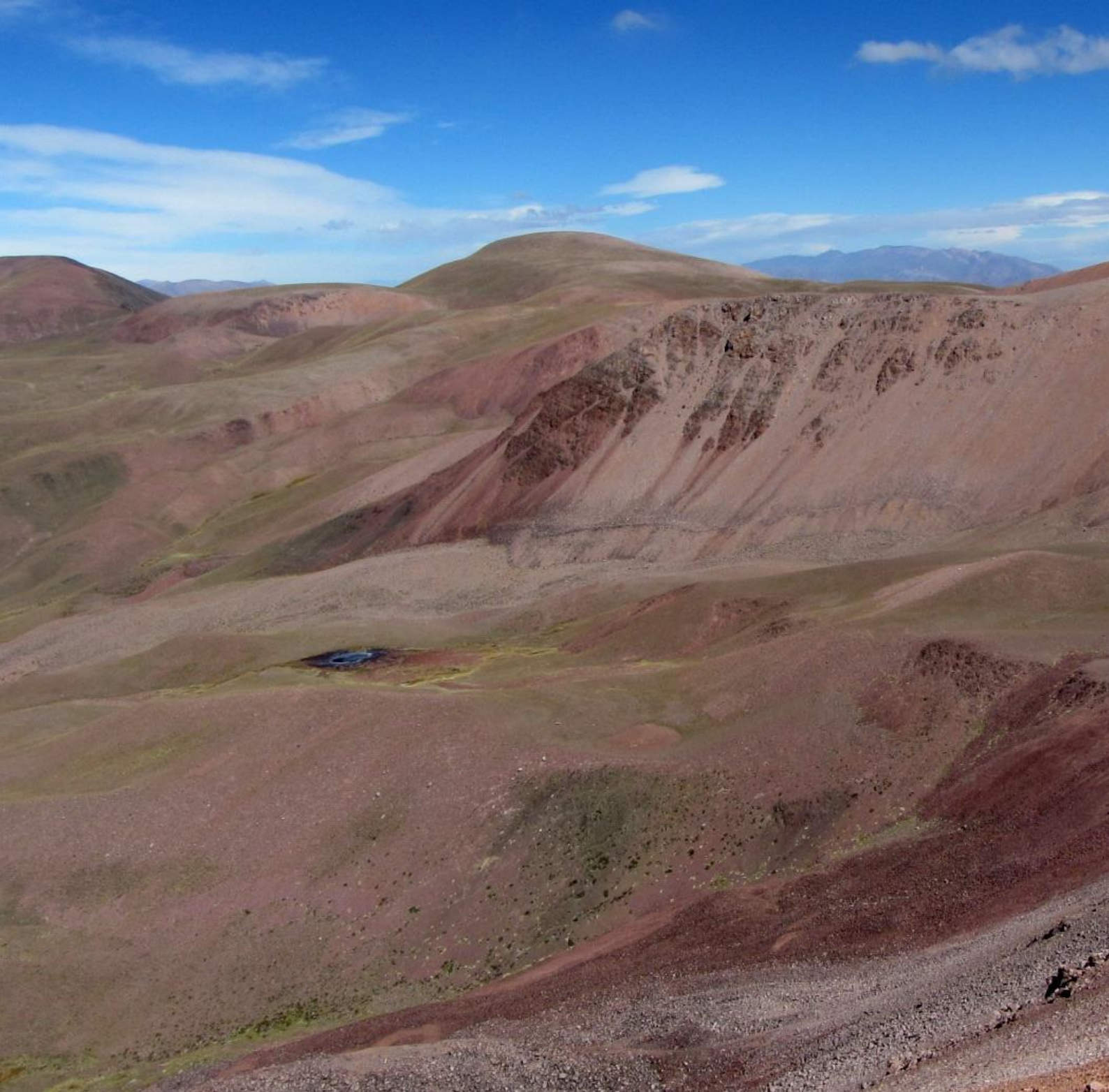




INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA
CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

**Informe de las subcuencas
de los ríos Iruya, Condado,
Pescado superior y Blanco
Sector Bermejo superior
Cuenca del río Bermejo**

Provincia de Salta

Glaciares de escombros, sector Bermejo superior. Sierra de Santa Victoria, Salta (Foto: J. Carilla)

**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: Dra. Ana Lía Ahumada

Profesionales: Dra. Julieta Carilla, Geól. Gloria Ibáñez Palacios, Dr. Mario Toledo, Geól. Verónica

Páez y Lic. Lidia Ferri Hidalgo

Colaboradores: Lic. Laura Zalazar, Ing. Melisa Giménez y Téc. Mariano Castro

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 2241.3/5 del año 2016***

Glaciar de escombros, sector Bermejo superior. Cerro Colorado, Salta (Foto: L. Ferri)

ÍNDICE

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario	7
4.	Materiales y métodos.....	9
4.1.	Área de estudio	9
4.2.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	12
4.3.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	12
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	15
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas	16
4.6.	Control de campo	17
5.	Resultados.....	18
5.1.	Resultados para el sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo.....	18
5.2.	Control de campo	22
6.	Bibliografía.....	23
7.	Anexos.....	28
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario del sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo.....	28
7.2.	Control de campo, Sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo.....	30
7.2.1	Objetivos.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Glaciares de escombros (de izq. a der., GE3, GE4 y GE5) en la cuenca alta del río Bermejo (Foto: J. Carilla, noviembre 2012).	2
Figura 2: Sector Bermejo superior, área de estudio donde se realizó el inventario de glaciares.	10
Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada.	14
Figura 4: A) Ejemplos de unidades o cuerpos a inventariar en una imagen ASTER, B) con las subunidades que la componen digitalizadas (polígonos marrones). C) imagen Cnes/Spot (2,5m de Google Earth) ejemplificando la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de las geoformas. El círculo rojo indica el centroide del polígono, usado para calcular las coordenadas geográficas de las geoformas y generar su identificación (ID).	15
Figura 5: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de escombros sobre una imagen CBERS. En la parte derecha se muestra este glaciar con los diferentes polígonos que lo componen (parte de glaciar de escombros activo y otra parte inactivo). Ambas partes tendrán el mismo código de identificación (ID).	17
Figura 6: Glaciares en el sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo (para mayor detalle ver mapa impreso del sector de estudio, adjunto en contratapa).	19
Figura 7: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados.	20
Figura 8: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados.	20
Figura 9: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados.	21
Figura 10: Hipsometría de los cuerpos de hielo en el sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo.	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas de base para el inventario en el sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo.	12
Tabla 2: Superficie englazada en el sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo.	18
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares.	22

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBERS: China Brazil Earth Resources Satellite

ENVI: Environment for Visualizing Images

GC: Glaciar cubierto

GCGE: Glaciar cubierto con glaciar de escombros

GD: Glaciar descubierto

GDEM: Global Digital Elevation Map

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 km² cubiertos por glaciares, con un 15% del área total ubicada en Argentina (Williams y Ferrigno 1999; WGMS-UNEP 2007). Nuestro país ocupa el segundo lugar después de Chile, que contiene el 75% del área total de glaciares sudamericanos. Estos porcentajes colocan tanto a Chile como a la Argentina en una posición privilegiada con respecto a otros países, pero también les otorgan un mayor grado de responsabilidad para el estudio, monitoreo y protección de los glaciares en esta región del planeta. Sin embargo, a pesar de la gran extensión de hielo que existe en nuestro país y su clara importancia socio-económica, geopolítica, ambiental y científico-académica, el conocimiento actual sobre los glaciares y el ambiente periglacial en la Argentina es muy limitado. Si bien en las últimas décadas se ha avanzado significativamente en el estudio de nuestros cuerpos de hielo, aún hoy sólo un puñado de sitios han sido analizados en detalle, y en la actualidad no existe información sobre la ubicación, área total, significancia hidrológica o la historia reciente de los glaciares y geoformas periglaciales (también llamadas crioformas) a lo largo de vastas porciones de la Cordillera de los Andes.

Entre otros atributos, los cuerpos de hielo constituyen componentes cruciales del sistema hidrológico de montaña y son reconocidos como “reservas estratégicas” de agua para las zonas bajas adyacentes y gran parte de la diagonal árida del país. Si bien la nieve que se acumula cada invierno en la Cordillera de los Andes constituye la principal fuente de agua para los ríos del oeste argentino, en años “secos” o con baja precipitación nival, los glaciares y 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 cambios relativamente rápidos en los cuerpos de hielo pueden ocasionar eventos potencialmente catastróficos para las poblaciones humanas e infraestructura ubicadas aguas abajo. En la provincia de Mendoza, el evento más conocido ocurrió entre 1933 y 1934 cuando el Glaciar Grande del Nevado del Plomo (ubicado en la subcuenca del río Tupungato) avanzó repentinamente y atravesó el valle del río del Plomo provocando el endicamiento del río y la formación de un lago de aproximadamente 3 km de largo. El 10 de enero de 1934 la presión del agua rompió el dique natural de hielo y originó un aluvión de agua, hielo y rocas que se desplazó por el valle del río del Plomo y continuó por los valles de los ríos Tupungato y Mendoza provocando graves destrozos (el famoso Hotel Cacheuta, por ejemplo, quedó completamente destruido) e incluso víctimas fatales. En 1984 el glaciar avanzó nuevamente y formó un lago de 2,8 km de longitud que afortunadamente drenó en forma gradual a través de una abertura formada en el dique de hielo. En 2007 el mismo glaciar experimentó un nuevo avance que atravesó el valle del río del Plomo pero no formó ningún lago debido a la presencia de un túnel subglacial.

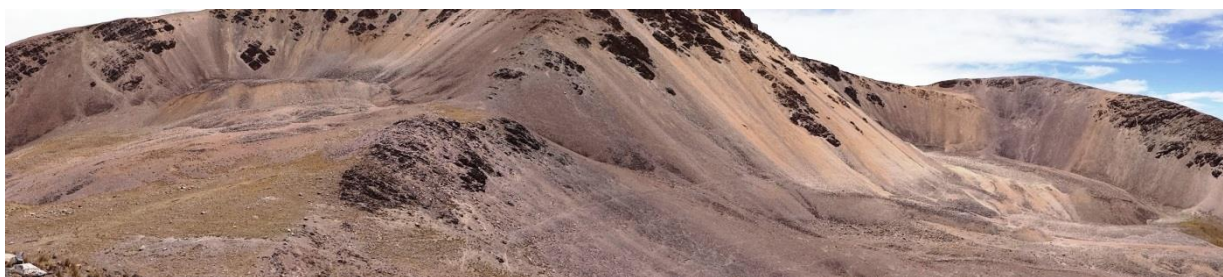


Figura 1: Glaciares de escombros en la cuenca alta del río Bermejo (Foto: J. Carilla, noviembre 2012).

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

Dada la importancia que tienen los glaciares y las crioformas ricas en hielo para nuestro país, resulta imperioso desarrollar planes y estrategias de estudio y monitoreo de estas masas de

hielo que permitan responder a preguntas básicas pero extremadamente relevantes como: ¿Cuántos cuerpos de hielo hay en nuestro país? ¿Qué volumen equivalente en agua tienen? ¿Qué cantidad de agua están aportando a las cuencas de nuestros ríos? ¿Qué cambios han experimentado en el pasado y qué podría esperarse en respuesta a los distintos escenarios de cambios climáticos propuestos para el siglo XXI? ¿Cómo se verán alterados por las distintas actividades humanas que se desarrollen en sus cercanías?

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

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

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

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

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

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

*ARTÍCULO 5º — Realización del Inventario. El inventario y monitoreo del estado de los glaciares y del ambiente periglacial **será realizado y de responsabilidad del Instituto***

Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) con la coordinación de la autoridad nacional de aplicación de la presente ley.

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

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

En el presente informe se describen los resultados del inventario realizado en las subcuencas de los ríos Iruya, Condado, Pescado superior y Blanco. Estas subcuencas forman parte del sector Bermejo superior, correspondiente a la cuenca del río Bermejo, ubicada en la provincia de Salta, en los Andes desérticos del Norte argentino. En este informe 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.

Este inventario se inició como un proyecto de Fundación Miguel Lillo llevado a cabo por los investigadores Dra Ahumada, Geól. Gloria Ibáñez Palacios, Dr Mario A. Toledo y Geól. Silvia Verónica Páez. Además contó con el apoyo técnico de la Dra Julieta Carilla dirigida por la Dra Ana Lía Ahumada. Este inventario fue la base que IANIGLA empleó para elaborar la versión final del trabajo. El trabajo fue elaborado en julio de 2015 y aprobado según resolución N°RESOL-2017-40-APN-MAD del 19 de enero de 2017, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

Agradecemos la información aportada por la organización Qullamarka (<https://qullamarka.wordpress.com>), que trabaja para la coordinación de Organizaciones y Comunidades Autónomas Kollas de la Provincia de Salta. Gracias a ellos pudimos conocer el funcionamiento de sus comunidades y el procedimiento a seguir para poder acceder a los lugares que estén en territorio Kolla.

2. Antecedentes

En el NO Argentino, la criósfera está representada por el permafrost de montaña que se manifiesta topo-climáticamente por la presencia de glaciares de escombros y asociación de formas menores generadas por el congelamiento permanente o estacional del suelo. El permafrost es una condición térmica; se presenta cuando los suelos permanecen congelados por más de dos años (Van Everdingen 2005). El cambio climático y los disturbios antrópicos que alteran el régimen térmico del suelo, tienen efecto sobre el permafrost: en su formación, persistencia, distribución, espesor y temperatura.

No todo el permafrost existente en la actualidad está en equilibrio con el clima. En las regiones de permafrost discontinuo, donde la temperatura del permafrost está cercana al descongelamiento, el permafrost puede fácilmente desaparecer como resultado de los cambios en la temperatura del suelo asociados al calentamiento climático global. Esta degradación del permafrost de montaña, particularmente los glaciares de escombros, estará asociada a fuertes impactos naturales tales como hundimientos por descongelamiento, reptación y deslizamientos de laderas, de rocas, flujos de detrito, flujos de barro y gelifluxión acelerada. Estas inestabilidades pueden provocar serios daños en el paisaje, en los ecosistemas y la infraestructura de las regiones afectadas y fuertes cambios en el abastecimiento hídrico estacional del piso altitudinal que ocupan.

Los glaciares de escombros activos, indicadores de permafrost discontinuo, se encuentran ubicados en alturas desde 4.000 a 4.850 msnm en el NOA. Los glaciares de escombros son importantes porque producen un volumen de agua semejante al generado por glaciares cubiertos o descubiertos; el agua que liberan tiene menos material suspendido que el de los glaciares descubiertos y su núcleo de hielo se encuentra protegido por la capa activa, de manera que serían más resistentes en el tiempo a las modificaciones de la temperatura del aire en la altura (Ahumada 2008).

Estimaciones precisas del volumen de agua almacenada en los glaciares de escombros (en permafrost) requieren, al igual que en otros tipos de glaciares, la aplicación de metodologías geofísicas específicas (sísmica, geoeléctrica o GPR, entre otras).

En la región del NOA el permafrost discontinuo ha sido detectado tempranamente en las cabeceras de sus ríos principales, a diferentes alturas y condiciones climáticas locales (Ahumada et al. 2009). Claramente su condición térmica actual estaría en desequilibrio con el modelo climático planteado por Haeberli (1985), donde el rango de precipitación para la formación de glaciares de escombros sería de 400 a 2.500 mm anuales y el de temperatura promedio anual sería de -15 a -2° C. Considerando este modelo, los glaciares de escombros permanecerían en un equilibrio inestable y ecológicamente resilientes con las condiciones de temperatura y precipitación del clima actual (Ahumada et al. 2006).

Los primeros estudios de permafrost en el NOA fueron desarrollados por Catalano (1927), quien señaló la presencia de masas rocosas aglomeradas por hielo que fluían por gravedad a modo de un glaciar, por lo que los denominó litoglaciares. En los Nevados del Acay y de Palermo – Cachi, los glaciares de escombros inventariados registraron su límite inferior a 4.500 y 4.650 msnm, respectivamente (Igarzábal 1983, Schellenberger 1998 en Ahumada 2003). En el Nevado de Quevar (6.130 msnm) y Granados (5.705 msnm) también se observaron núcleos de hielos cubiertos por detritos en las altas cumbres (Igarzábal 1982).

Recientemente, en la cuenca del río Santa María, Ahumada et al. (2008a) identificaron áreas con permafrost andino: glaciares de escombros con actividad entre 4.200 y 4.700 msnm, acuíferos de altura congelados y geoindicadores de calentamiento global. Así también en las Cumbres Calchaquies se identificaron glaciares de escombros activos por arriba de 4.270 msnm (Ahumada et al. 2008b).

En 2005 se realiza el primer inventario de glaciares realizado en la ladera oriental de la Sierra del Aconquija (Ahumada et al. 2005), que indica el límite más bajo de actividad en 4.000 msnm. En 2006, Ahumada e Ibáñez Palacios delimitan dos regiones altitudinales de acción periglacial en el Parque Nacional los Alisos; un nivel inferior entre 2.000 y 4.000 msnm de congelamiento estacional y un nivel superior de 4.000 a más de 5.000 msnm con congelamiento permanente. En este último piso se identificaron glaciares de escombros (c. 4.500 msnm), representantes del permafrost discontinuo en la vertiente seca u occidental de la Sierra del Aconquija, destacándose un glaciar de escombros activo en el río Pajanguillo a 4.283 msnm (Páez y Ahumada, 2006). En las nacientes del río Santa María, Nevados de Catreal y de Chuscha, en la década del 80, se identificaron glaciares de escombros aunque sin describir su distribución ni sus categorías de clasificación (Strecker 1987).

A principios de los '80, se identificaron geoformas periglaciales en la Sierra de Santa Victoria, detectando el límite inferior de los glaciares de escombros a 4.300 msnm (Corte et al. 1982).

Estudios realizados en la cuenca del río Bermejo, destacan ocho eventos glaciarios evidenciados por depósitos morénicos, y tres ciclos de formación de glaciares de escombros datados mediante C14 en vegas y horizontes de suelos fósiles. Las morenas más antiguas datan anteriores al último máximo glacial (hace 25 a 13 mil años), y los glaciares de escombros más antiguos datan del período máximo tardiglacial (hace 13 a 10 mil años, Zipprich et al. 2000).

Ahumada et al. (2010a y b y 2011a y b) incorporaron mayor reconocimiento de las condiciones periglaciales en la Sa. de Santa Victoria y aportaron observaciones de tipo técnico para la preservación del ambiente criogénico de las cabeceras de cuenca en esta región.

Recientemente, Martini et al. han realizado varios estudios de geomorfología glaciar e inventario de glaciares en la cordillera oriental argentina, donde se ubican los glaciares de la cuenca del río Bermejo (Martini et al. 2013, 2015).

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 el sector Bermejo superior superior 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 km² (una hectárea).

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

Glaciar de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que $0,01 \text{ km}^2$ (una hectárea). Los glaciares de escombros dependen fuertemente del aporte de detritos, nieve y hielo.

Los glaciares de escombros se pueden clasificar por su grado de actividad en **activos, inactivos y fósiles** (Haeberli 1985; Ikeda 2004). Los glaciares de escombros activos presentan frentes abruptos ($>35^\circ$) con lineamientos de flujo, crestas y surcos longitudinales y transversales bien definidos. Una vez que dejan de moverse se llaman inactivos y aparecen como geoformas colapsadas con menor pendiente en el frente ($<35^\circ$), también puede aparecer cierta cobertura vegetal. El cuerpo de sedimentos que permanece una vez que el hielo se ha derretido se llama glaciar de escombros fósil (Barsch 1978; Trombotto 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 glaciogénico (ambiente periglacial) en base a sensores remotos, en particular si no se cuenta con información adicional proveniente de estudios detallados de campo. Por ello, en las tareas de inventario se ha utilizado una categoría nueva denominada glaciar cubierto con glaciar de escombros que incluye las porciones de hielo cubierto junto con el glaciar de escombros que se desarrolla a sus costados o en su porción terminal.

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

4. Materiales y métodos

La ejecución del Inventario 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).

4.1. Área de estudio

La cuenca del río Bermejo ocupa un total de 123.162 km², con un 90% (111.266 km²) en Argentina y un 10% (11.896 km²) en Bolivia. En Argentina abarca parte de las provincias de Salta (44.521 km²), Formosa (26.554 km²), Jujuy (21.521 km²) y Chaco (19.274 km²). Presenta una longitud total de más de 1.300 km². Según sus características y ubicación se divide en cuenca alta o superior y baja o inferior.

La cuenca del río Bermejo se encuentra entre las cuencas que generan más sedimento por unidad de área en el mundo, aportando más de un 75% de sólidos suspendidos al río Paraná. Esto se debe a que en sus nacientes predomina un clima árido asociado a un alto grado de meteorización, remoción en masa y erosión hídrica superficial seguido por importante transporte fluvial hacia la cuenca baja.

El presente informe corresponde al Inventario Nacional de Glaciares del sector Bermejo superior de la cuenca del río Bermejo (subcuenca N° 9 del anexo 2 del cronograma del Inventario Nacional de Glaciares).

La cuenca del río Bermejo tiene sus nacientes en Tarija, Bolivia y en las provincias Argentinas de Salta y Jujuy, abarcando un rango altitudinal de 3.600 a 5.000 msnm. El cauce superior tiene su límite cerca de la ciudad de Embarcación, Salta, donde se une con el río San Francisco, constituyendo el cauce inferior del río Bermejo.

La cuenca alta del río Bermejo abarca 13.474 km² estimados por INTA EEA Salta, 2011. El sector superior del Bermejo comprende varias subcuencas. Entre las más destacadas y donde se han inventariado glaciares se encuentran las subcuencas de los ríos Condado, Iruya, Pescado superior y Blanco. Las cuatro subcuencas se desarrollan en territorio salteño y una de ellas, la del río Condado comparte territorio con Bolivia.

El río Iruya se caracteriza por arrastrar gran cantidad de sedimentos, en la actualidad es tributario del río Pescado pero hasta 1865 fue afluente del río Blanco, cuando fue desviado artificialmente para prevenir inundaciones a la ciudad de Orán. Este cambio originó una fuerte erosión de fondo y desprendimiento de laderas en el cauce del río Iruya, fenómenos que persisten hasta hoy, produciendo un relleno progresivo del valle inferior del río Pescado, con

un depósito de sedimentos de hasta 30 m de profundidad en algunos sectores (Brea & Spalleti 2010).

El aprovechamiento de los recursos hídricos del sector Bermejo superior de la cuenca del río Bermejo se centra en el cultivo bajo riego, el abastecimiento de agua para consumo humano y de ganado, sobre todo lanar. En los niveles inferiores de la cuenca se usa para cultivos de algodón, soja y arroz. En sus cauces de media montaña se encuentran los embalses de Las Maderas y la Ciénaga (provincia de Jujuy, subcuenca del río San Francisco, extra región de trabajo) reguladores de agua para riego y consumo y generadores de energía eléctrica.

Dada la importancia del río Bermejo en Argentina, en 1981 se creó la Comisión Regional del río Bermejo (COREBE <http://www.corebe.org.ar>), integrada por las provincias Salta, Jujuy, Formosa, Chaco, Santiago del Estero y Santa Fe, cuyo objetivo principal es ejercer la dirección de las acciones necesarias para el aprovechamiento integral, racional y múltiple de los recursos hídricos de la cuenca del río Bermejo.

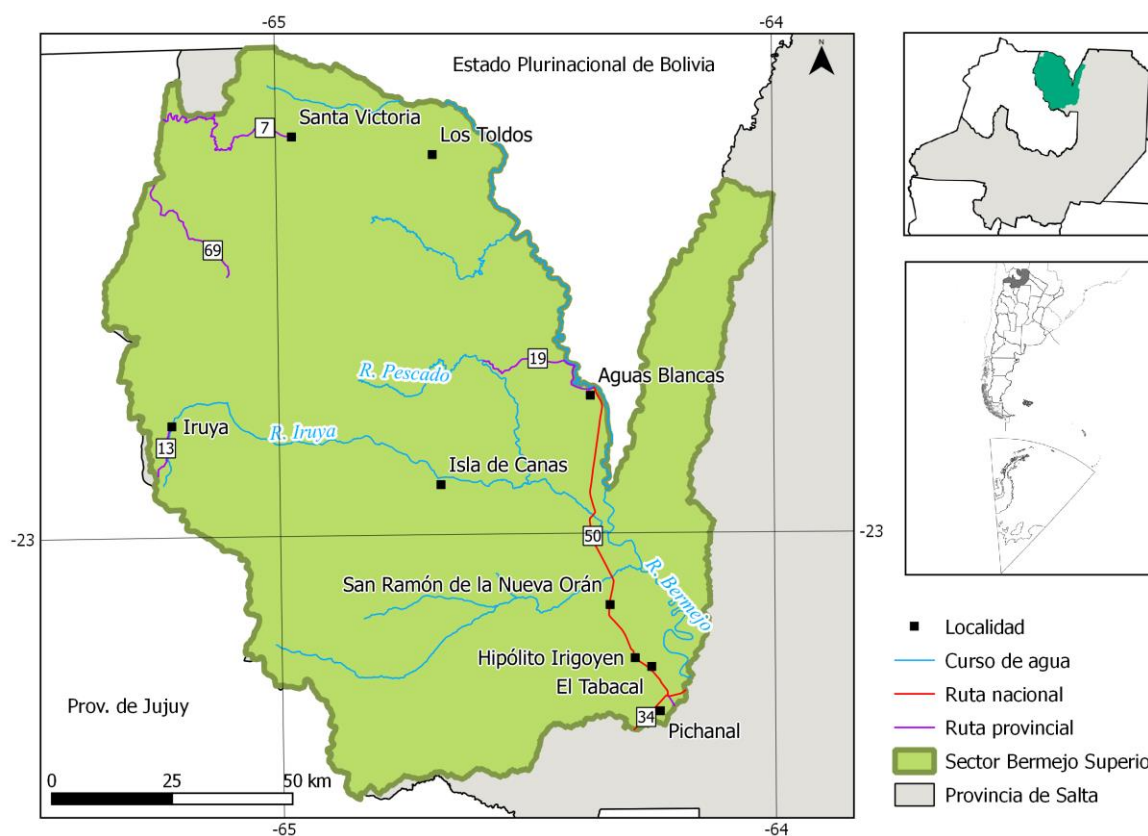


Figura 2: Sector Bermejo superior, área de estudio donde se realizó el inventario de glaciares.

En el NOA, al igual que en el sur de los Andes tropicales y subtropicales, las precipitaciones se caracterizan por ser marcadamente estacionales. La región del NOA posee un régimen de precipitaciones cuasi-monzónico, con más del 50% (60 al 90% para la puna) de las lluvias anuales concentradas en los meses de verano (diciembre – febrero. Vargas et al. 2001, Garreaud et al. 2003, Vuille y Keimig 2004). En el altiplano las precipitaciones decrecen desde 600-1.000 mm en el NE de la cordillera a menos de 100 mm en las montañas al SO del Altiplano, adyacentes al Desierto de Atacama (Vuille et al. 2003, Vuille y Keimig 2004).

Las precipitaciones de verano están relacionadas con la convección local, que a su vez está asociada con variaciones en los vientos medios zonales en la tropósfera superior, y con los flujos zonales del Este favoreciendo condiciones de humedad (Garreaud et al. 2003). La interacción entre la depresión continental (baja presión del NOA o baja del Chaco) con los bordes anticiclónicos ubicados en los litorales Sudamericanos de los océanos Pacífico y Atlántico (alta boliviana), es el principal mecanismo de la advección de la humedad desde el Este hacia el continente (Minetti et al. 2005). El Alta Boliviana es un centro de alta presión, que se ubica en los Andes Centrales durante el verano debido a la intensa convección sobre la cuenca del Amazonas (Lenters y Cook 1997). La posición e intensidad del Alta Boliviana afecta la variabilidad de las precipitaciones. Períodos húmedos están relacionados con desplazamiento hacia el sur del Alta Boliviana, la consecuente reducción de la baroclinicidad meridional en el subtrópico y el debilitamiento de los vientos del Oeste sobre los Andes Centrales promueven el ingreso de las masas de aire del Este (Garreaud y Aceituno 2001). La variabilidad climática interanual está relacionada con cambios en los vientos de las zonas medias modulados por cambios en las temperaturas superficiales del océano Pacífico tropical (SST. Vuille et al. 2000, Bradley et al. 2003). Anomalías positivas de las temperaturas de la superficie del mar (SST) en la costa Pacífica tropical de Sudamérica (eventos El Niño) están asociadas con una intensificación de los vientos del Oeste y precipitaciones por debajo de la media para los Andes del Sur. En cambio, las precipitaciones son más abundantes durante las anomalías negativas de la SST en el Pacífico tropical (evento La Niña) asociadas con la intensificación de los vientos del Este que traen masas de aire húmedo desde el Este (Vuille et al 2000, Garreaud et al. 2003). El patrón descripto es para la zona de la Puna, mientras que en la llanura tucumana, las respuestas a ENSO son más débiles (Minetti y Leiva 2005).

Teniendo en cuenta la clasificación climática de Köppen (1923), el área de estudio comprende dos tipos de climas; de alta montaña (EB) y árido (BW); EB abarca un 20% del NOA e incluye las eco-regiones de la puna y altoandina. Se caracteriza por presentar gran oscilación térmica anual, elevada radiación, temperaturas mínimas de enero cercanas a 0 y las de julio a -10° C, con más de 200 días de heladas al año. Las bajas temperaturas mantienen al suelo frecuentemente helado. Las precipitaciones escasas caen en forma de nieve durante el invierno y granizo durante el verano, (patrón marcado sobre la cordillera occidental), con un rango de 50 mm en el NO de Catamarca a 400 mm en el Norte de Jujuy. BW se caracteriza por presentar una temporada de lluvia corta, con lluvias escasas e irregulares, que caen en poco tiempo la mayor parte del total anual. Precipitaciones intensas que a veces producen aluviones y escorrentías ponen en peligro obras civiles y la vida humana. La velocidad del viento superficial es mayor en las horas de la tarde, cuando se desarrollan térmicas intensas (movimientos convectivos). Hay gran amplitud térmica diaria que favorece la destrucción superficial de las rocas (crioclastesis). La suma de los factores mencionados mantiene una desintegración mecánica constante. El BW, ocupa un 25% del NOA, y presenta limitadas posibilidades de desarrollo por la ausencia de cursos de aguas importantes (Minetti et al. 2005).

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en el sector superior de la cuenca del río Bermejo 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), que se puede obtener de forma gratuita desde el siguiente link <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>.

Se empleó el programa QGIS (software libre. <http://qgis.org/>) para la delimitación de las cuencas y subcuencas usando como base el mosaico SRTM 4. Cada cuenca delimitada fue posteriormente editada y corregida manualmente en caso de no presentar buen ajuste entre MDE e imagen, con el programa KOSMO (software libre <http://www.opengis.es/>).

4.3. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el inventario en el sector Bermejo superior se usaron como base imágenes CBERS 2B (sensor HRC), debido a que en esta cuenca todos los glaciares inventariados son glaciares de escombros, por lo que resulta de mayor utilidad trabajar con imágenes de mayor resolución espacial. El aplicativo Google Earth y Bing también fueron de gran ayuda. La detección y mapeo de los glaciares de escombros fue realizada manualmente, delimitando cada cuerpo individualmente, usando las imágenes de mayor resolución CBERS 2B de 2,5 m y utilizando como apoyo las imágenes disponible en Google Earth (Figura 4C) y Bing.

Tabla 1: Imágenes utilizadas de base para el inventario en el sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
CBERS 2B/HRC	20090822_173_A_125_2_L2	22 agosto 2009
CBERS 2B/HRC	20090822_173_A_125_3_L2	22 agosto 2009
CBERS 2B/HRC	20090822_173_A_125_4_L2	22 agosto 2009
CBERS 2B/HRC	20090822_173_A_125_5_L2	22 agosto 2009
CBERS 2B/HRC	20090822_173_A_126_1_L2	22 agosto 2009
CBERS 2B/HRC	20090830_173_B_126_1_L2	30 agosto 2009
CBERS 2B/HRC	20090830_173_B_126_2_L2	30 agosto 2009
CBERS 2B/HRC	20090830_173_B_126_3_L2	30 agosto 2009
SPOT 5/HRG2	5 678-396 14/06/07 13:58:49 2 T	07 junio 2014
SPOT 5/HRG2	5 678-397 14/06/07 13:58:58 2 T	07 junio 2014

Para la selección de imágenes se siguieron las sugerencias establecidas por GLIMS que tienen en cuenta la disponibilidad de imágenes, ausencia de nubes y cobertura de nieve. Para minimizar posibles errores que introduce la cobertura de nieve y dificulta la delimitación de los cuerpos de hielo, se eligieron imágenes de la época con menores precipitaciones (de abril a octubre), dado que en las montañas del NOA el 80% de las precipitaciones están concentradas en los meses estivales (diciembre – febrero. Minetti et al. 2005), con menos frecuencia en los invernales (agosto).

Con las imágenes disponibles para la cuenca del río Bermejo se armaron mosaicos (MDE, LANDSAT, CBERS), que facilitan el estudio del área.

En este inventario las coordenadas están referidas al sistema de referencia global WGS84, y el sistema de proyección elegido es el UTM (Universal Transversal Mercator) 20S. Este sistema de referencia y proyección es utilizado internacionalmente, lo que permitirá comparar los resultados obtenidos en este trabajo con la información de otros países. Las superficies están expresadas en km² y como superficies proyectadas en un plano horizontal, mientras que las altitudes están expresadas en metros sobre nivel del mar (msnm).

La georreferenciación es el conocimiento de la posición de los objetivos en la superficie terrestre con respecto a un sistema único de referencia, en lo posible mundial, que permite comparar la información proveniente de distintas épocas, fuentes y temas. Las imágenes CBERS 2B fueron georreferenciadas utilizando como base imágenes LANDSAT 5 TM, de USGS (United States Geological Survey) internacionalmente aceptadas con base de referencia (Tucker et al., 2004). La georreferenciación se realizó con el programa QGIS. En la Figura 3 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología implementada para la realización del inventario del sector Bermejo superior.

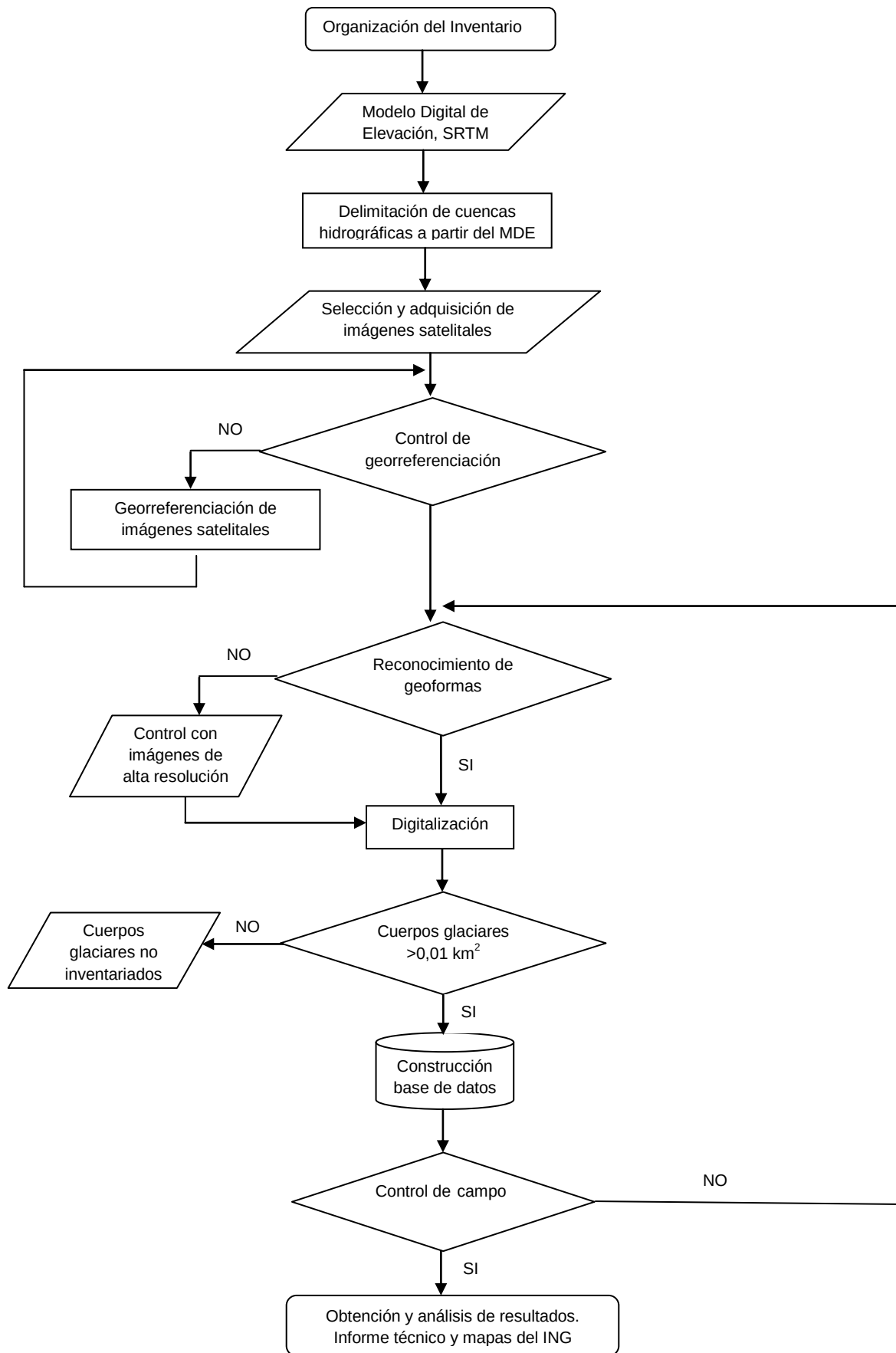


Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología usada.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En estas cuencas no hay glaciares descubiertos, por lo que se omitió el paso de la clasificación supervisada empleada para la delimitación de este tipo de geoformas. Los glaciares de escombros son la geoforma predominante en esta área, y la mejor metodología usada a nivel internacional es la digitalización manual (Stokes et. al., 2007). Para esto usamos las imágenes de alta resolución espacial citadas en el apartado anterior. La digitalización fue realizada con el programa KOSMO.

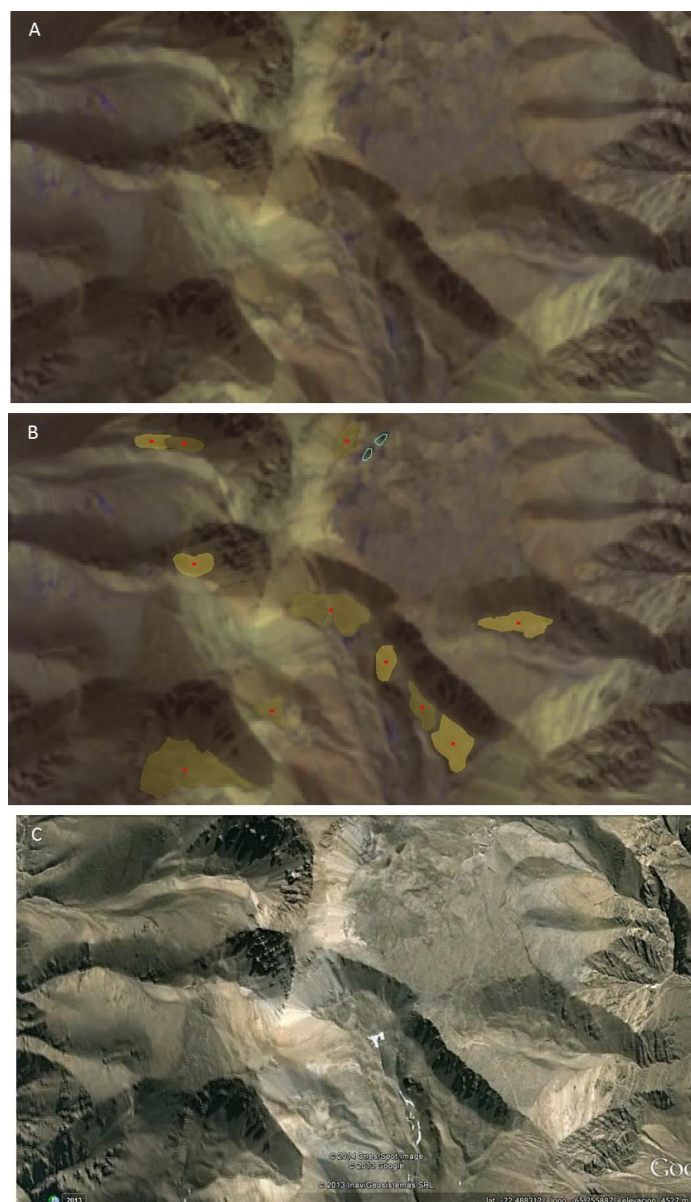


Figura 4: A) Ejemplos de unidades o cuerpos a inventariar en una imagen ASTER, B) con las subunidades que la componen digitalizadas (polígonos marrones). C) imagen Cnes/Spot (2,5m de Google Earth) ejemplificando la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de las geoformas. El círculo rojo indica el centroide del polígono, usado para calcular las coordenadas geográficas de las geoformas y generar su identificación (ID).

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

La base de datos del Inventario Nacional de Glaciares del sector Bermejo superior 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. Glaciarrete 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 5 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.

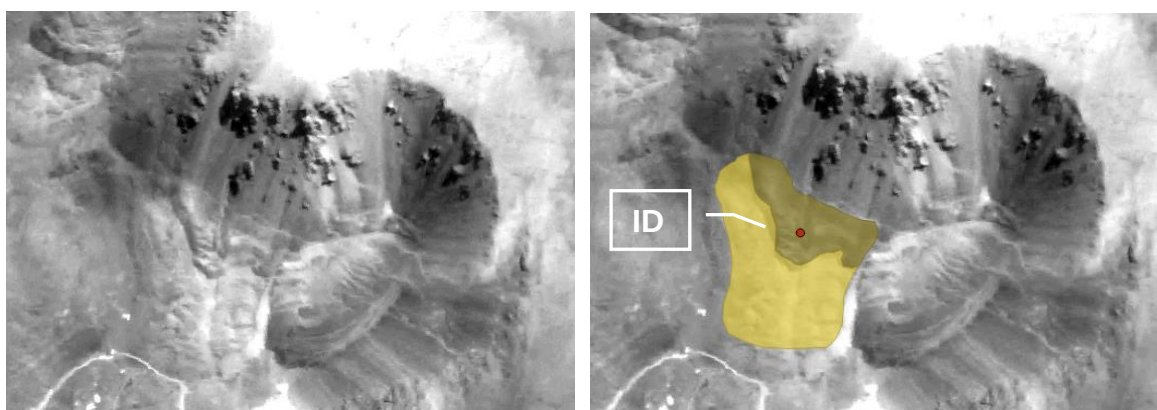


Figura 5: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de escombros sobre una imagen CBERS. En la parte derecha se muestra este glaciar con los diferentes polígonos que lo componen (parte de glaciar de escombros activo y otra parte inactivo). Ambas partes tendrán el mismo código de identificación (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 el sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo

El sector Bermejo superior abarca una extensión de 13.096 km² y está formado por diversas subcuencas. Cuatro subcuencas, la de los ríos Iruya, Condado, Pescado superior y Blanco, presentan geoformas periglaciales que fueron incluidas en este inventario. Estas geoformas cubren una superficie de 8,03 km² (Figura 6) y representan el 0,061 % de la superficie total de la cuenca del río Bermejo superior. En total fueron inventariadas 251 geoformas.

Tabla 2: Superficie englazada en el sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km ²)
Glaciar de escombros activo	3,40
Glaciar de escombros inactivo	4,63
Total	8,03

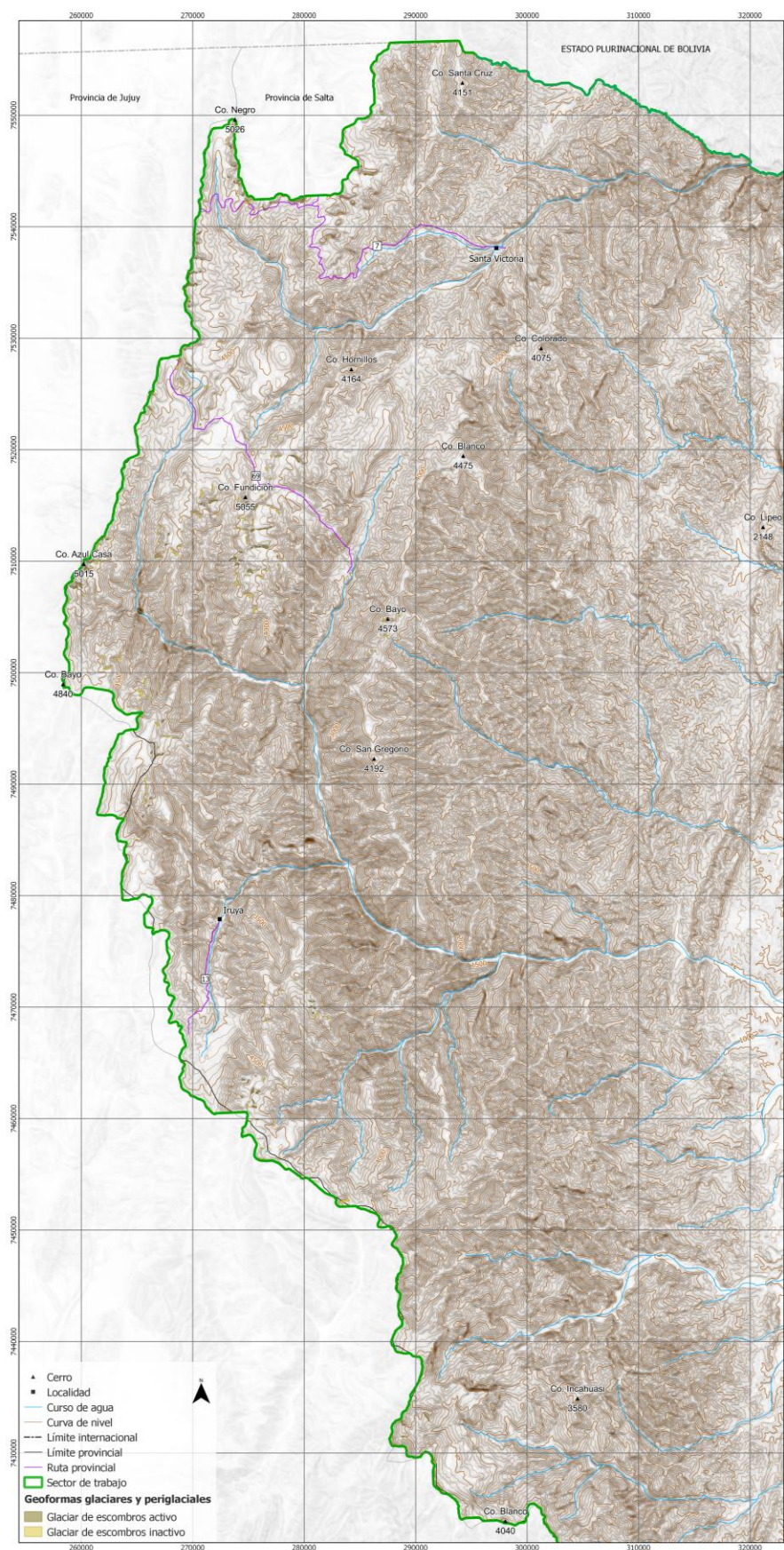


Figura 6: Glaciares en el sector Bermejo superior, cuenca del río.

En esta cuenca el único tipo de geoforma inventariada ha sido el glaciar de escombros, el 42% de ellos corresponde a glaciares de escombros activos y el 58% a inactivos (Figura 7).

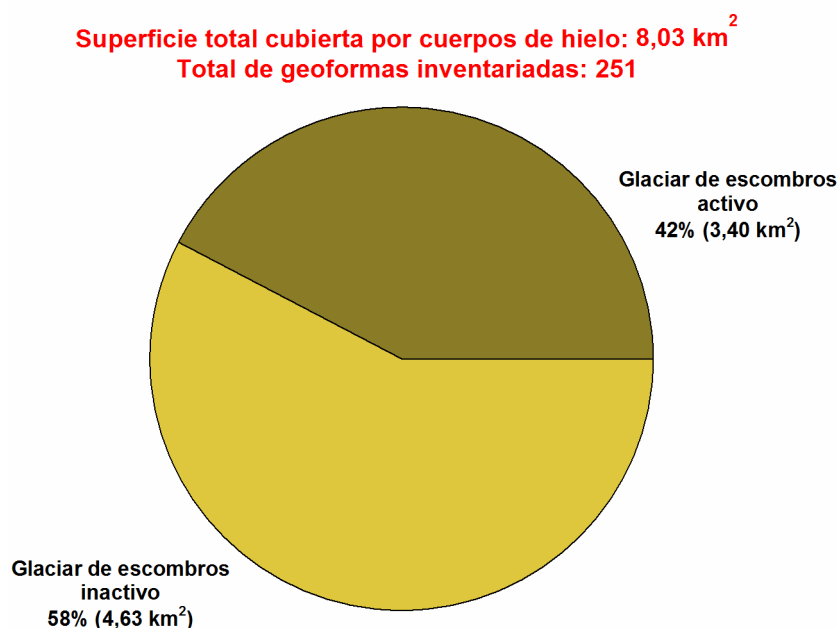


Figura 7: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados.

Las orientaciones predominantes de los glaciares de escombros inventariados, según se puede observar en la Figura 8, son hacia el sureste principalmente, aunque también abundan las geoformas orientadas hacia el oeste, suroeste y sur.

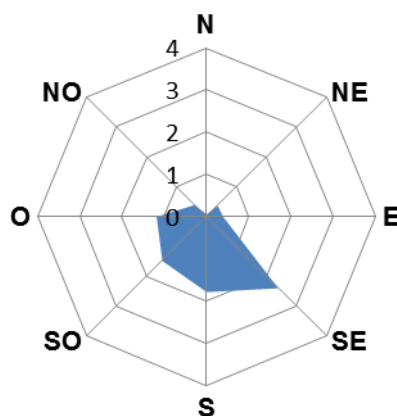


Figura 8: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados.

La distribución del número y superficie de los glaciares de escombros de la cuenca del río Bermejo se puede observar en la Figura 9. Se puede apreciar que el mayor número de glaciares así como la mayor superficie se concentra en las clases de área de menor tamaño, entre los 0,01 y 0,04 km². Ninguno de los glaciares inventariados supera los 0,2 km².

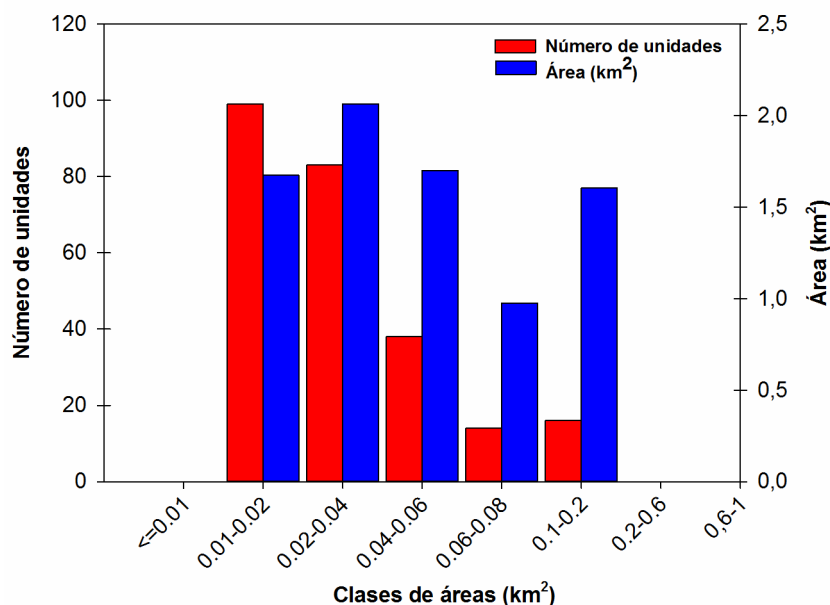


Figura 9: Distribución del número y superficie de los cuerpos de hielo inventariados.

La hipsometría de los glaciares de escombros se puede ver en la Figura 10. Los glaciares de escombros se distribuyen altitudinalmente desde los 3.920 msnm, correspondiendo esta cota mínima a la alcanzada por los glaciares de escombros activos, hasta los 4.860 msnm. Ambos tipos de geoformas tienen un rango de distribución muy similar, y se concentran principalmente en el límite oeste con la provincia de Jujuy, que es donde la cordillera alcanza las mayores alturas.

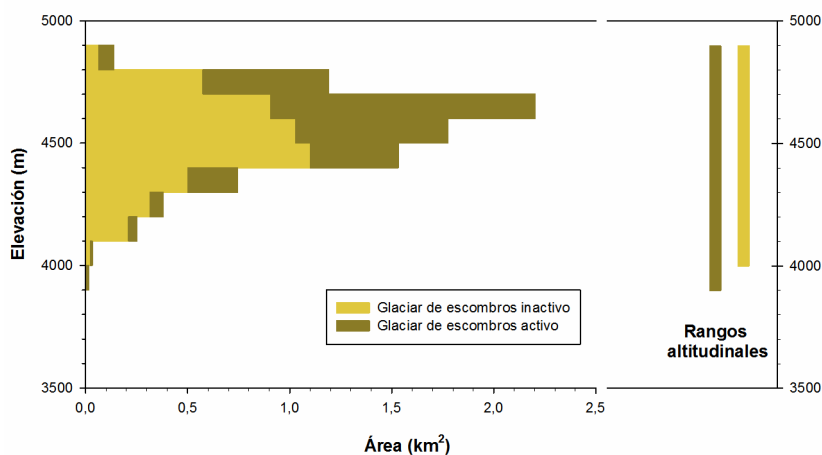


Figura 10: Hipsometría de los cuerpos de hielo en el sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo.

Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares.

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Glaciar de escombros activo	3.920	4.840
Glaciar de escombros inactivo	4.040	4.860

5.2. Control de campo

El control de campo del sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo, fue realizado en varias etapas. En una primera etapa, profesionales de la Fundación Miguel Lillo, realizaron una campaña en noviembre de 2012, con el apoyo logístico (vehículo y viáticos) provistos por dicha Fundación. y relevaron un total de 15 geoformas. A este primer control se le agregaron controles de campo realizados en años anteriores por el equipo de investigadores de la Fundación Miguel Lillo. Los sectores relevados fueron seleccionados de acuerdo a su accesibilidad y a la cantidad y variedad de geoformas.

En una segunda etapa, se realizó una campaña a fines de mayo, principios de junio de 2016 por profesionales del Inventario Nacional de Glaciares del IANIGLA. La prioridad para realizar esta campaña, fue visitar zonas de la cuenca donde no se había realizado control de campo previo por el grupo de la Fundación Lillo, para poder tener relevados mayor número de sectores. En total se relevaron 28 glaciares. Para tener mayor detalle ver anexo 7.2. donde se describen algunas de las geoformas visitadas en el trabajo de campo.

6. Bibliografía

- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P., Páez S. V. 2005^a. High mountain permafrost in the argentine subtropic. Terra Nostra 05/1:9. Berlin.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. y Páez, S. V. 2005b. Los glaciares de escombros en el NW argentino, acuíferos de altura en riesgo ante los cambios globales. Presentado en CONAGUA 2005. Mendoza. CD Versión.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P., Páez S. V. 2006. Rock Glaciers in the Andean Criolithozone at the 27° S. Symposium on Climate Change: Organizing the Science for the American Cordillera (CONCORD). NOAA-IANIGLA-CONICET-mri-IAI-MAB-IHDP-UNESCO-PHI-FORECOS. Libro de Resúmenes, Mendoza, Argentina.
- Ahumada, A. L. 2008. El conocimiento de la criósfera continental del NO de Argentina. Su comportamiento ante el calentamiento global. Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P., Páez S. V. 2008^a. Reconocimiento de permafrost andino en las nacientes del Río Santa María, Catamarca. IV Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de vida, Catamarca.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P., Páez S. V. 2008b. Geoindicadores de calentamiento global en Cumbres Calchaquíes. JUNGRA, Tucumán.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P., Páez S. V. 2009. El permafrost andino, reducto de la criósfera en el borde oriental de la Puna, NO de Argentina. XXIV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas y Primer Taller de Trabajo de Estaciones Continuas GNSS de América Latina y del Caribe. Libro de Resúmenes CONICET-AGENCIA-UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO- ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOFÍSICOS Y GEODESTAS. Mendoza.
- Ahumada, A. L., Páez, S.V., Ibáñez Palacios, G. 2013. Los glaciares de escombros en la Sierra de Aconquija. Acta Geológica Lilloana, Vol. XXV(1-2) p:49-68.
- Arenson, L., Jakob, M. 2010. The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes – A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010). Permafrost and Periglacial Processes, 21: 286 - 288.
- Azócar, G.F., Brenning, A. 2010. Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°- 33°S). Permafrost and Periglacial Processes, 21: 42 - 53.
- Barsch, D. 1996. Rockglaciers. Springer, 331 p. Berlin.

Barsch D. 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. Third International Conference on Permafrost, Proceedings 1, 349-353 p. Ottawa, Canada.

Bradley, R. S., Vuille, M., Hardy, D., Thompson, L. G., 2003: Low latitude ice cores record Pacific sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, 30: 1174, <http://dx.doi.org/10.1029/2002GL016546>.

Brea, J. y Spalletti, P. 2010. Generación y transporte de sedimentos en la Cuenca Binacional del Río Bermejo. Caracterización y análisis de los procesos intervinientes. 1ª ed. - Buenos Aires. COBINABE. 230 p. <http://www.ina.gov.ar/pdf/Libro-Generacion-Transporte-Sedimentos-Cuenca-Bermejo.pdf>.

Brenning, A. 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33–35° S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 16, 231–240.

Brenning, A., Azócar, G.F. 2010. Statistical analysis of topographic controls and multispectral signatures of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°- 33°S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 21: 54 - 66.

Catalano, L. R. 1927. Datos hidrológicos del desierto de atacama. Boletín de la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 35:1-35.

Convenio INA – Gobierno de la Provincia de Catamarca. Acta complementaria N°3. Informe final. 2010. Relevamiento de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales de cuenca salar de Pipanaco, Cuenca Abaucán-Colorado-Salado y cuencas faldero oriental de Ancasti.

Corte, A. E., Trombotto, D. y Ahumada, A. L. 1982. Relevamiento de la geomorfología criógénica del NW Argentino. IANIGLA, CRICYT – CONICET _ MENDOZA. Informe interno. 50 pp.

Corte, A., Espizúa L.E. 1981. Inventario de glaciares de la cuenca del río Mendoza. IANIGLA-CONICET. Mendoza. 64 p.

Corte, A. 1976. The hydrological significance of rock glaciers. *Journal of Glaciology* 17: 157-158.

Delgado, S., Masiokas, M., Pitte, P., Villalba R. 2010. Developing an Argentinean glacier inventory: first results from the Southern Patagonia Icefield submitted to GLIMS.

Francou, B., Vuille, M., Wagnon, P., Mendoza, J., Sicart, J.E. 2003. Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S. *Journal of Geophysical Research* (108) 0, 1-12.

Garreaud, R., Aceituno, P., 2001: Interannual rainfall variability over the South American Altiplano. *Journal of Climate*, 14: 2779–2789.

Garreaud, R., Vuille, M., Clement, C., 2003: The climate of the Altiplano: observed current conditions and past changes mechanisms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3054: 1–18.

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

Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost; internal structure and flow of alpine rock glaciers. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH, Nr. 77: 142 p., Zurich.

Ibáñez Palacios, G. P. y Ahumada, A. L. 2006. Delimitation of the Geocryogenic Processes and Associated Geomorphic Belts in Los Alisos National Park, Tucumán. International Symposium Reconstructing Past Regional Climate Variations in South America over the late Holocene: A new PAGES Initiative. Abstracts, pp. 74. Malargüe, Mendoza, Argentina

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.

Igarzábal A. 1983. El sistema glaciológico de la cuenca superior del Río Juramento, provincia de Salta. En VIII Congreso Geológico Argentino - Actas IV; 167-183.

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

Instituto Nacional de Agua, 2010. Informe técnico: Relevamiento de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales de la cuenca Salar de Pipanaco, cuenca Abaucán, Colorado, Salado, Faldeo Oriental del Ancasti. Mendoza.

Köppen, W. 1923. Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde. Berlin und Leipzig, 369 pp.

Lenters, J. D., and Cook, K. H., 1997: On the origin of the Bolivian High and related circulation features of the South American climate. *Journal of Atmospheric Sciences*, 54: 656–677.

Martini, M., Strelin, J. y Astini, R. 2013. Inventario y caracterización morfoclimática de los glaciares de roca en la Cordillera Oriental argentina (entre 22° y 25° S). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 30, núm. 3, 2013, p. 569-581.

Martini, M., Strelin, J. y Astini, R. 2015. Distribución y caracterización de la geomorfología glaciar en la Cordillera Oriental de Argentina. *Acta geológica lilloana* 27 (2): 105–120, 2015.

Minetti, J. L., Poblete, A.G, Longhi, F. 2005. Los mesoclimas del NOA. Capítulo 11. En (eds. J.L. Minetti) EL clima del NO Argentino. Ediciones Magna. p: 217 – 234.

- Minetti, J.L. y M. Leiva, 2005.. Variabilidad y cambio climático en el Noroeste Argentino. Capítulo 12. En (eds. J.L. Minetti) EL clima del NO Argentino. Ediciones Magna. p: 235-256.
- Müller, F. et al. 1977. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory. TTS/WGI, Department of Geography, ETH. Zurich. 19 p.
- Otto, J-Ch., Götz, J., Keuschnig, M., Hartmeyer I., Trombotto D. y Schrott, L. 2010. Geomorphological and geophysical investigation of a complex rock glacier system - Morenas Coloradas valley (Cordon del Plata, Mendoza, Argentina). Geophysical Research Abstracts, EGU2010-3625, Vol.12.
- Páez, S. V. y Ahumada A. L., 2006. Rock glaciers in the Río Cerrillos Basin, Catamarca province, Argentina. Simposio Internacional: Regional Climate Variations in South America over the late Holocene: PAGES New Initiative. Malargüe, Mendoza Argentina. 4 al 7 de octubre de 2006. Resúmenes, p:76.
- 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).
- Schellenberger A, Mailänder R, Stingl H, Veit H. 1998. Investigations on Late Quaternary landscape and climate evolution en la Sierra de Cachi (Province of Salta, NW-Argentina). *Terra Nostra* 5: 144-145.
- Schrott, L. 1996. Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). Zeitschrift für Geomorphologie NF Suppl.-Bd., 104, 161-173.
- 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: 95-213.
- Strecker, M. R., 1987. Late Cenozoic landscape development the Santa Maria Valley Northwest Argentina. Tesis de doctorado Cornell University. Inédito. 261p.
- Trombotto, D. 1991. “Untersuchungen zum periglazialen Formenschatz und zu periglazialen Sedimenten in der ‘Lagunita del Plata’, Mendoza, Argentinien”. (“Investigaciones sobre geoformas y sedimentos periglaciales en la ‘Lagunita del Plata’, Mendoza, Argentina”). Heidelberg Geographische Arbeiten, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg, Alemania.
- Tucker, C.J. et al. 2004. NASA’s global orthorectified Landsat data set. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 70(3): 313-322.
- UNESCO-IASH. 1970. Perennial ice and snow masses. A guide for compilation and assemblage of data for a world inventory. Technical papers in hydrology 1. UNESCO. France. 56 pp.

- Van Everdingen, R. 2005. Multilanguage glossary of permafrost and related ground-ice terms. Boulder, Co: National Snow and Ice data center / World Data Center for Glaciology. 90 pp.
- Vargas, W.M., J.L. Minetti y A.G. Poblete. 2001: Low - frequency oscillations in climatic and hydrological variables in southern South America's tropical- subtropical regions. Theoretical and Applied Climatology. Springer Wien-New York. Vol.72,Nº 1-2, 2002. Austria. pp. 29-40.
- Vuille, M., Bradley, R. S. Keimig, F.2000. Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. J. Geophysical Research 105 (10), 12,447-12,460
- Vuille, M., Bradley, R., Werner, M., and Keimig, F., 2003: 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. Climate Change, 59: 75–99.
- Vuille, M., and Keimig, F., 2004: Interannual variability of summertime convective cloudiness and precipitation in the central Andes derived from ISCCP-B3 data. Journal of Climate, 17: 3334–3348.
- Williams, Richard S., Jr.; Ferrigno, Jane G. (eds.) 1999. Satellite Image Atlas of Glaciers of the World –South America. USGS Professional Paper 1386-I.
- WGMS, 2007. Global Glacier Changes: Facts and Figures, World Glacier Monitoring Services, United Nations Environmental Programme, Geneva.
- WGMS. 1967. Fluctuations of glaciers 1959-1965, Vol. I. IAHS (ICSU)/UNEP/UNESCO. Paris. 52 p.
- Zipprich M., Reizner, B., Veit, H., Zech, W. and Stingl, H., 2000. Upper Quaternary landscape and climate evolution in the Sierra de Santa Victoria (northwestern Argentina) deduced from geomorphologic and pedologic evidence. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie 7/8: 997-1012.

7. Anexos

7.1. Imágenes utilizadas en el inventario del sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo

Se presentan las tablas, ordenadas por tipo de satélite, con las imágenes utilizadas en el inventario del sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo, provincia de Salta.

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 mayo a octubre 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 5 TM del USGS (United States Geological Survey) internacionalmente aceptadas con base de referencia.
- 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 del periodo seco anual (Mayo-Octubre) para minimizar la existencia de la nieve o granizo 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
LT52310752009221COA01	09 agosto 2009	Base georreferenciación
LT52310762009221COA01	09 agosto 2009	Base georreferenciación y base inventario

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_20090822_173_A_125_2	22 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_125_3	22 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC20090822_173_A_125_4	22 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_125_5	22 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_126_1	22 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_1	30 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_2	30 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_3	30 agosto 2009	Base inventario

Satélite: **SPOT** (Satellites Pour l'Observation de la Terre)

Sensor: 5 HRG2

Resolución espacial: 2,5 m

Proveedor: Imágenes gentileza CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
5 678-396 14/06/07 13:58:49 2 T	07 junio 20014	Apoyo para delimitación de GE
5 678-397 14/06/07 13:58:58 2 T	07 junio 20014	Apoyo para delimitación de GE

7.2. Control de campo, Sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo

7.2.1 Objetivos

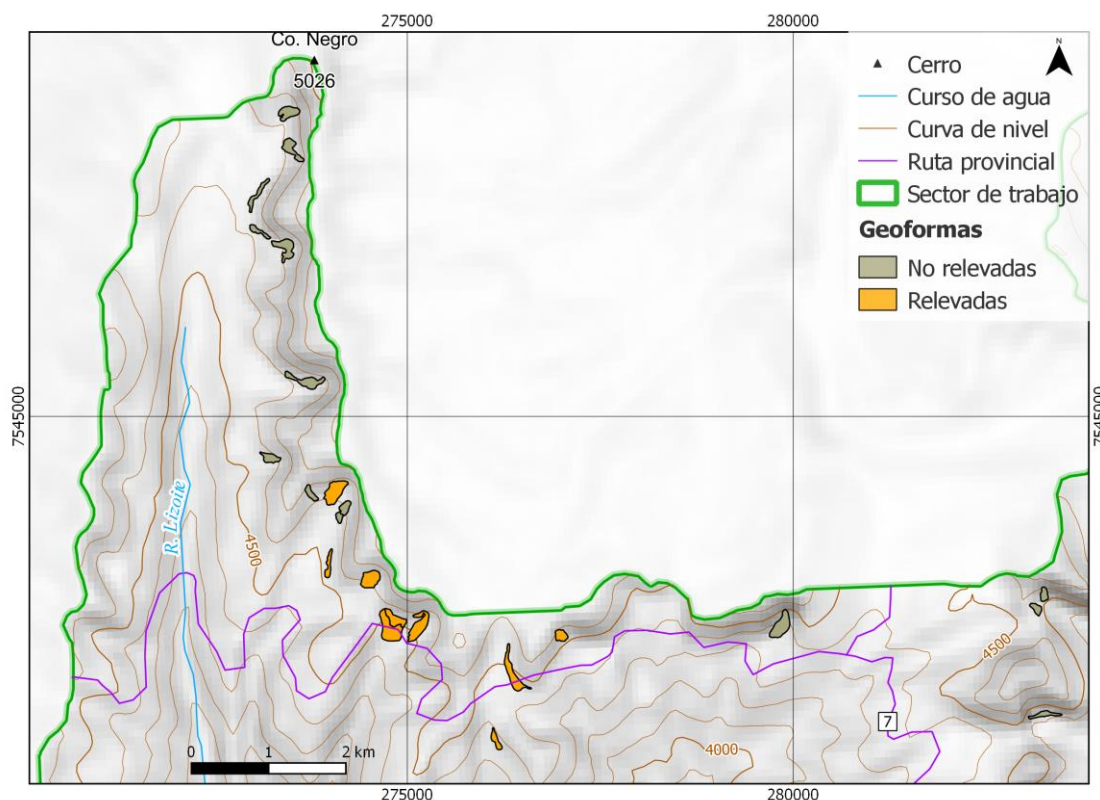


Los objetivos de las campañas fueron:

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

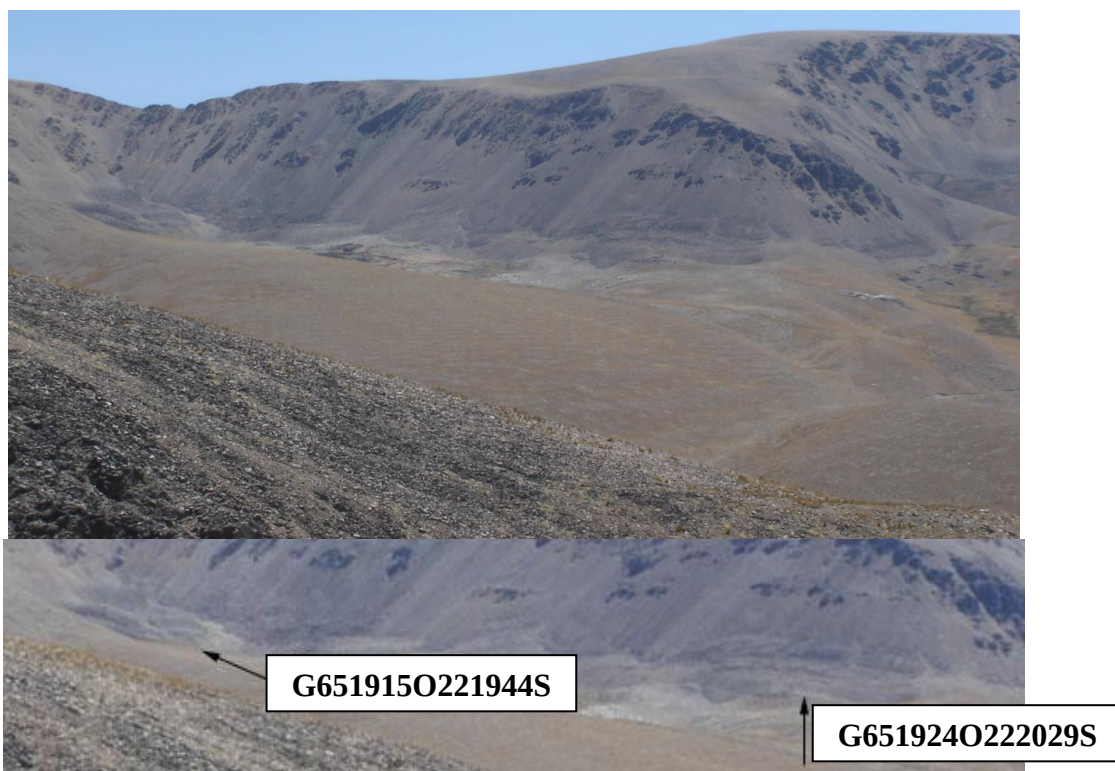
Como se explicó en el apartado 5.2. Control de campo, se realizaron varias campañas en diferentes sectores de la cuenca del río Bermejo. Cada sector está acompañado por un mapa de ubicación donde se pueden observar las geoformas que fueron observadas en el terreno, donde a continuación se pueden ver fotos y una breve descripción característica para cada una de ellas.

Subcuenca del río Condado



Geoforma G651915O221944S

Glaciar de escombros de origen criogénico, activo. Presenta una pendiente de frente promedio de 34° . Su espesor promedio es de 12 metros con un máximo de 18 y un mínimo de 10. La altura mínima medida en la base del frente es de 4.578 msnm aproximadamente. El frente es predominantemente cóncavo. Se observan bloques entre 0,75 m a 1 m. Tiene forma de lengua y debido a las diferentes proveniencias de su zona de alimentación es considerado del tipo multiraíz. Tiene bloques que varían de tamaño entre los 0,45 m y poco más de 1 m. de eje mayor. Los bloques son angulosos y presentan pátina. Al pie de la geoforma se desarrolla una laguna, cuya alimentación parece provenir de la geoforma descrita, con evidencias de líneas de costa que superan los límites actuales del cuerpo de agua, las que estarían relacionadas a variaciones estacionales de los aportes hídricos.



Vistas de las Geoformas G651915O221944S y G651924O222029S (Fotos G.P. Ibáñez Palacios, 11-15 de abril 2010)

Geoforma G651924O222029S

Esta geoforma es de origen criogénico. Constituida por una asociación de protalus, cuya pendiente frontal promedio es de 32° y con sectores con perfil cóncavo. Considerada inactiva, se observan en su frente algunos desplomes del sector de capa activa. La superficie superior presenta escalones producto de la superposición de protalus. Los bloques de la superficie superior son angulosos y sus tamaños promedio de 0,60 m de eje mayor, con un tamaño máximo de 0,90 m, con una presencia menor al 5% de vegetación representada por líquenes. Por las características de su zona de alimentación se lo ha clasificado como multiraíz. La altura mínima en la base del frente es de 4.521 msnm aproximadamente.



Vista del glaciar de escombros G651924O222029S donde se observa la superposición de protalus y la coalescencia de los mismos. (Foto G.P. Ibáñez Palacios, abril 2010)

Geoforma G651871O222046S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Su forma es del tipo lóbulo y por las características de sus zonas de alimentación corresponde clasificarlo como multiraíz. Su superficie superior evidencia arrugas y surcos en el sentido de la pendiente y hacia su extremo inferior presenta escalones. Su frente tiene una pendiente promedio de 39° , con valores mínimos de 32° y máximos de 41° . Se observan bloques de 0,70 - 1 m de largo deslizados. Se observan caídas de bloques en algunos sectores provocados por desprendimientos de la zona de capa activa. El espesor promedio es de 14 m. La altura mínima observada en la base del frente es de 4.580 msnm aproximadamente. El depósito por debajo del glaciar de escombros descrito presenta rasgos adjudicables a un glaciar de escombros relíctico del que surgen pequeños cursos que alimentan una laguna generando un continuum periglacial.



**Vista del glaciar de escombros G651871O222046S donde se observa la geoforma y su frente.
(Foto G.P. Ibáñez Palacios, abril 2010)**



**Vista del glaciar de escombros G651871O222046S (GE3) donde se observa la geoforma y su
vinculación con la laguna (Foto J. Carilla, diciembre de 2012)**

Geoformas G651848O222105S y G651812O222102S

Estas geoformas son glaciares de escombros de origen criogénico. El glaciar de escombros G651848O222105S es una unidad formada por una parte activa y otra inactiva. Se trata de una forma compleja que presenta un frente con inclinaciones que oscilan entre 34° y 44°. El espesor promedio es de 20 metros. Su superficie superior tiene pendientes de 21 a 24° y en la zona cercana al frente presenta un 20% de vegetación y líquenes en los bloques. Los bloques de la superficie superior oscilan entre los 0,30 a 1,10 m de largo de eje mayor. En el frente no se observa vegetación. Su perfil aún es cóncavo. Se observan sobre la pendiente frontal bloques deslizados de gran tamaño, entre 0,80 a 1 m de largo de eje mayor. En su sector superior se identifica la superposición de protalus, los que no contienen vegetación en superficie (esta es la zona clasificada como activa). Por sus zonas de alimentación el glaciar de escombros se ha clasificado como multiraíz. La geoforma presenta hundimientos en la superficie superior cercanos al frente. La altura mínima observada en la base del frente es de 4.440 msnm aproximadamente. Se observan salidas de agua desde el glaciar. Este glaciar de escombros se encuentra afectado por un camino lo que incrementa su inestabilidad.



Vista de las geoformas G651848O222105S y G651812O222102S donde se observan sus frentes y el sistema de canales que surgen de la base de G651848O222105S (Foto. A.L. Ahumada, abril de 2010)



Vista de la superficie superior de G651848O222105S (Foto Carilla, noviembre de 2012)



Vista de una lengua del sistema complejo identificado como G651848O222105S con arrugas indicando movimiento pendiente abajo. (Foto Ibáñez Palacios, abril de 2010)



Vista del frente de G651848O222105S con los bloques deslizados. (Foto Ahumada, abril de 2011)

La geoforma G651812O222102S es un glaciar de escombros inactivo que presenta en sus cabeceras protalus superpuestos. El frente presenta una pendiente promedio de 30°, con un espesor de 15 metros e importantes caídas de bloques producto de desplome de sectores de capa activa. La altura mínima al pie del frente es de 4.478 msnm.

Por las características de su zona de alimentación ha sido clasificado como multiraíz. La superficie superior muestra una cobertura de bloques con tamaños que oscilan entre 0,40 hasta 1,20 m. No se observa vegetación, pero si hay crecimiento de líquenes en la superficie de los bloques en un 15%. La pendiente de la superficie superior tiene un promedio de 24° aproximadamente.



Vista del frente de G651812O222102S. (Foto: Ahumada, abril 2010)



Vista de la superficie de G651812O222102S y de su área de alimentación (al fondo) donde se pueden observar protalus superpuestos. (Foto Ibáñez Palacios, abril de 2010)

Geoforma G651717O222237S

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico. Se trata de una geoforma con una pendiente frontal promedio de 22° . Su espesor promedio es de 12 m aproximadamente. La altura mínima del frente es de 4.347 msnm. La superficie muestra sectores cóncavos y evidencias de superposición de protalus. Hacia el frente se nota convexidad y elevación en la nariz. Los bloques de la superficie tienen largos que oscilan entre 0,30 hasta 1,05 m. Los bloques tienen desarrollos de líquenes en un 15% de los casos. Por las características de su área de alimentación ha sido clasificado como glaciar de escombros multiraíz.



Vista de G651717O222237S donde se observa su superficie superior, zona de alimentación y frente. (Foto: Toledo, octubre 2011)

Geoforma G651694O222165S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Su frente presenta una pendiente entre 35° y 42° y un espesor de 14 m promedio. El frente presenta bloques con un promedio de 0,5 m de largo. Se observan bloques aislados de mayor tamaño: hasta de 1,15 m. Sin presencia de vegetación. La superficie superior presenta bloques mayores que en el frente. No se observan rastros de vegetación. En función de las características de su área de alimentación se lo clasificó como multiraíz.



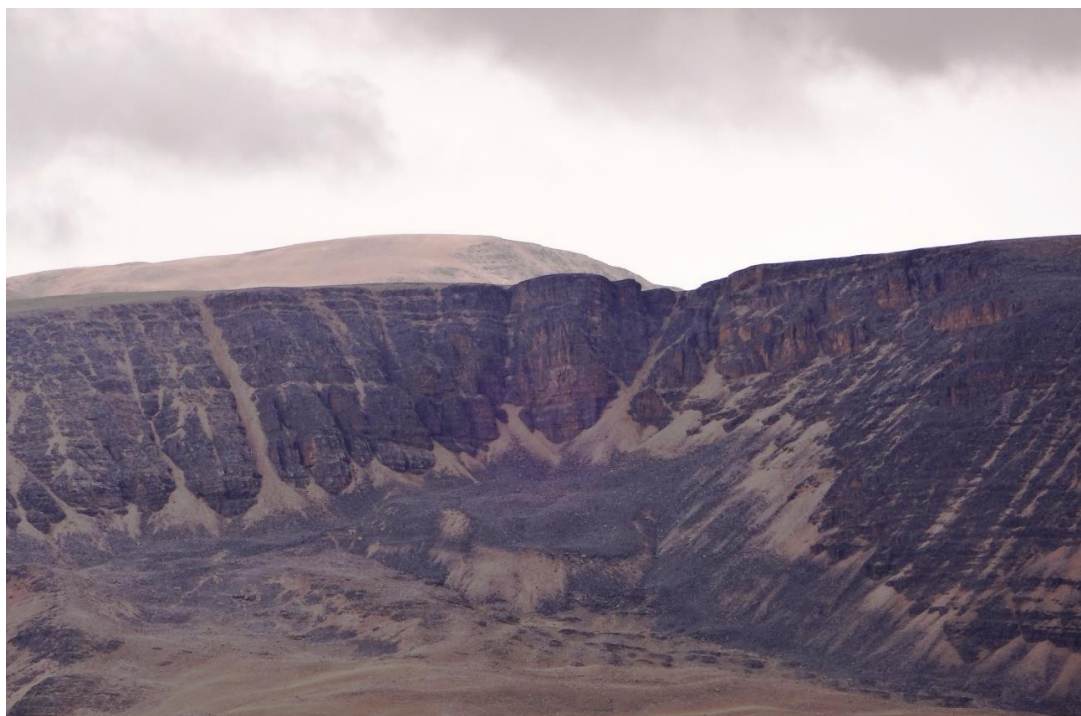
Vista del área de alimentación, superficie superior y frente de la geoforma G651694O222165S. (Foto Ahumada abril 2011)



Vista del frente de la geoforma G651694O222165S. (Foto Ahumada, abril 2010)

Geoforma G651633O222116S

Glaciar de escombros activo de origen criogénico. Lo caracteriza una pendiente promedio de 40° y un espesor de 25 metros. La altura mínima en la base del frente es de 4.347 msnm. En sectores del frente puede observarse zonas de acumulación de bloques en la base. La superficie superior es cóncava en las cercanías del frente. Está cubierta por bloques angulosos de tamaños que oscilan entre los 0,30 a 1,20m de longitud del eje mayor. Con evidencias de protalus en sus áreas proximales. Por las características de sus áreas de alimentación ha sido clasificado como glaciar de escombros de raíz única.

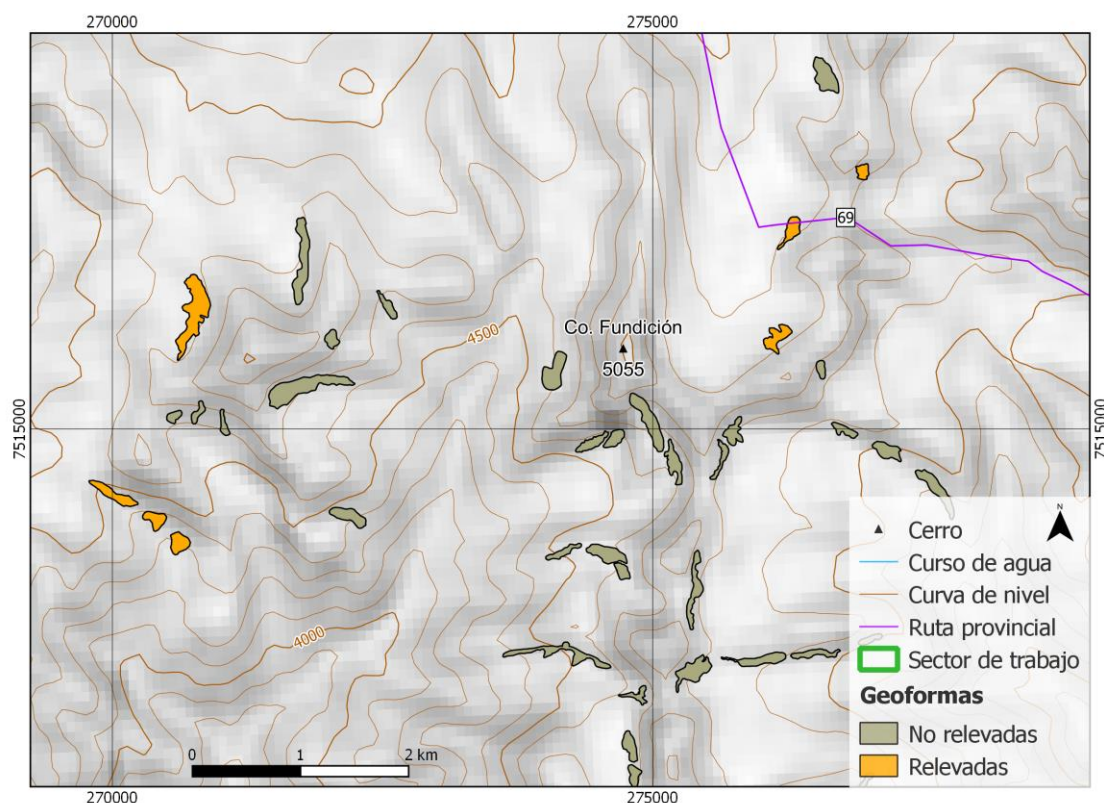


Vista del glaciar de escombros G651633O222116S. (Foto: Carilla noviembre de 2012)



Vista de la superficie superior del glaciar de escombros G651633O222116S. (Foto y reconstrucción: G. Masaguer diciembre de 2010)

Subcuencas de los ríos Iruya y Condado



Geoforma G651752O224490S

Glaciar de escombros de origen criogénico, inactivo constituido por un grupo de protalus superpuestos. Presentan frentes con pendientes promedio de 30° y un espesor que promedia los 13m. Los bloques deslizados observados no superan los 0,60 m. La altura mínima en la base del frente es de 4.751 msnm. Las superficies superiores de los protalus que lo constituyen presentan arrugas y líneas transversales. Los bloques de la superficie son de tamaños que oscilan entre los 0,30 a 0,70 m con algunos ejemplares que superan 1m de largo de eje mayor. No se observa presencia de vegetación. Por las características de su área de alimentación se lo clasificó como un glaciar de escombros multiraíz.



Vista general de la geoforma G651752O224490S. (Foto: Ibáñez Palacios, octubre de 2011)

Geoforma G651737O224401S

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico. Presenta una pendiente de frente de 32° promedio y un espesor promedio del frente de 11 m. Los bloques deslizados en el frente tienen un tamaño entre 0,50 a 0,70 de largo de eje mayor. La altura mínima en la base del frente es de 4.682 msnm. La geoforma esta constituida por una superposición escalonada de protalus que muestran arrugas y surcos. La superficie superior es cóncava y tiene bloques entre 0,30 a 0,80 m de largo de eje mayor. No hay señales de vegetación. En la base del frente aflora un flujo de agua que genera la formación de pequeñas vegas que finalmente terminan en una laguna más abajo de la geoforma. Por las características de su área de alimentación se lo clasificó como glaciar de escombros de raíz única. Este glaciar de escombros ha sido fuertemente intervenido por la construcción del camino.



Vista de la geoforma G651737O224401S, del frente, del uso antrópico del humedal que genera y del corte del camino. (Foto: Ahumada, octubre 2011)



Vista de la superficie de la geoforma G651737O224401S. (Foto: Ahumada, octubre 2011)

Geoforma G651672O224353S

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico. Presenta una pendiente del frente de 40° y un espesor de 18 m. Los bloques deslizados miden 0,7 a 0,8 m de largo. La elevación mínima en la base del frente es de 4.642 msnm en su sector mas activo. Un sector del frente presenta acumulaciones en la base de bloques. La superficie superior es cóncava y contiene bloques de tamaños que oscilan entre los 0,30 a 0,80 m de eje mayor, siendo más frecuentes los tamaños intermedios.



Vista del glaciar de escombros G651672O224353S. (Foto: Carilla noviembre de 2012)

Geoforma G652275O224462S

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico. Presenta una pendiente de frente promedio de 20° y un espesor promedio de 13m. Se trata de un complejo de protalus coalescentes muy deteriorados. La altura inferior del frente medido es de 4.662 msnm aproximadamente. Algunos frentes presentan un 20% de cobertura vegetal. La superficie superior en algunos protalus es cóncava y en otros presenta arrugas y surcos transversales. Se observa un fuerte deterioro con hundimientos. Se aprecia en los niveles inferiores vegetación en un 15% aproximadamente. Los bloques de la superficie presentan homogeneidad de tamaño y son angulosos, entre 0,30 a 0,80 cm de largo. Por las características de su área de alimentación ha sido clasificado como glaciar de escombros multiraíz.



Vista del glaciar de escombros complejo G652275O224462S. (Foto Ibáñez Palacios, abril de 2012)



Vista de los frentes escalonados en el glaciar de escombros G652275O224462S

Geoforma G652349O224613S

Este glaciar de escombros inactivo es de origen criogénico. Tiene una pendiente de frente promedio de más de 44° y un espesor de 25 metros promedio. La altura mínima medida en la base del frente es de 4.385 msnm aproximadamente. La superficie superior presenta crestas y surcos y tiene una superficie cóncava en las proximidades del frente. Los bloques presentan largos entre 0,30 y 1,18m. Se observa caída de bloques en el frente de menor tamaño a los de la superficie. Por las características de su área de alimentación se ha clasificado glaciar de escombros como multiraíz.



Vista de la ubicación del glaciar de escombros G652349O224613S (G13) y de los glaciares de escombros G652313O224634S (G14) y G652291O224654S (G15). (Foto: Carilla, noviembre de 2012)



Vista de la superficie superior del glaciar de escombros G652349O224613S. (Foto: Ahumada, octubre de 2011)

Geoforma G652313O224634S

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico. Se trata de dos cuerpos superpuestos. El espesor del cuerpo inferior es de 21 m promedio, con una pendiente muy pronunciada que supera los 43°. No se observa vegetación en el frente. Se observan bloques deslizados cuyo tamaño de eje mayor es de 1,10 a 1,20 m. La elevación mínima medida en la base del cuerpo inferior es de 4.303 msnm aproximadamente. La superficie superior es cubierta por bloques entre 0,35 y 1,10 m, predominando los tamaños intermedios entre estos valores. Se observan manchones de vegetación en un extremo.



Vista del frente del glaciar de escombros G652313O224634S. (Foto: Ahumada, abril de 2011)

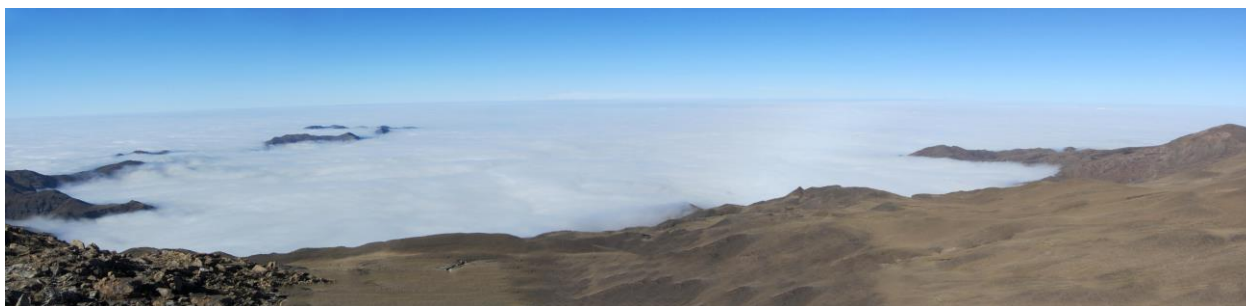
Geoforma G652291O224654S

Glaciar de escombros inactivo de origen criogénico. Presenta un frente que supera los 42° de pendiente promedio. El espesor promedio de la geoforma es de 20 m y su altura mínima medida en la base del frente es de 4.303 msnm aproximadamente. El frente presenta un porcentaje de 5% de vegetación. La superficie superior presenta bloques con longitudes de entre 0,25 a 1,20 de largo. Predominan los bloques de tamaños intermedios. Presenta sectores cóncavos y existen escalones orientados en sentido de la dirección de movimiento. Se observa sectores con vegetación ocupando un 5% de la superficie cercana al frente. Al pie del frente se desarrolla canal de salida de agua, que es utilizado como aguada por los pobladores.

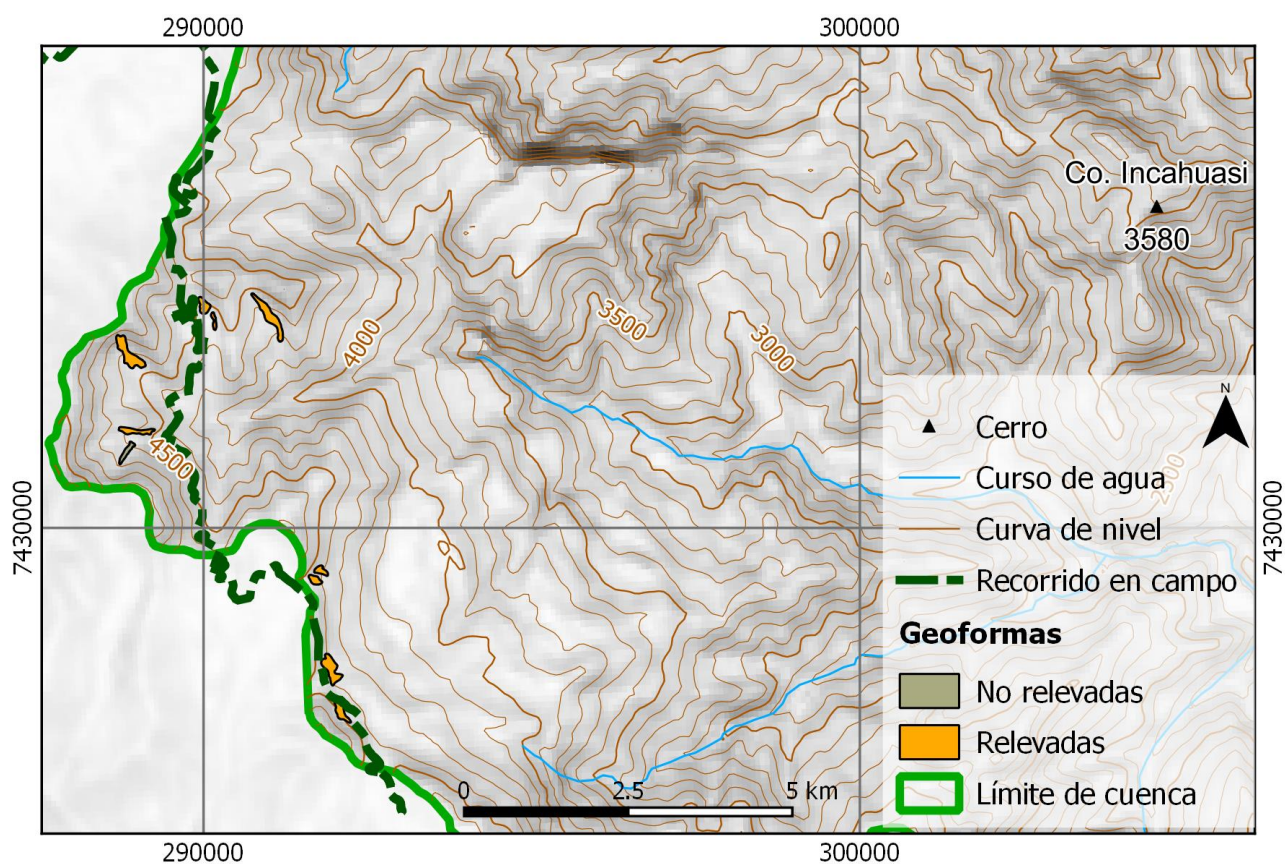


Vista del frente, superficie superior y canal de desagüe del glaciar de escombros G652291O224654S. (Foto: Ahumada, abril de 2010)

Zona Cordillera del Zenta

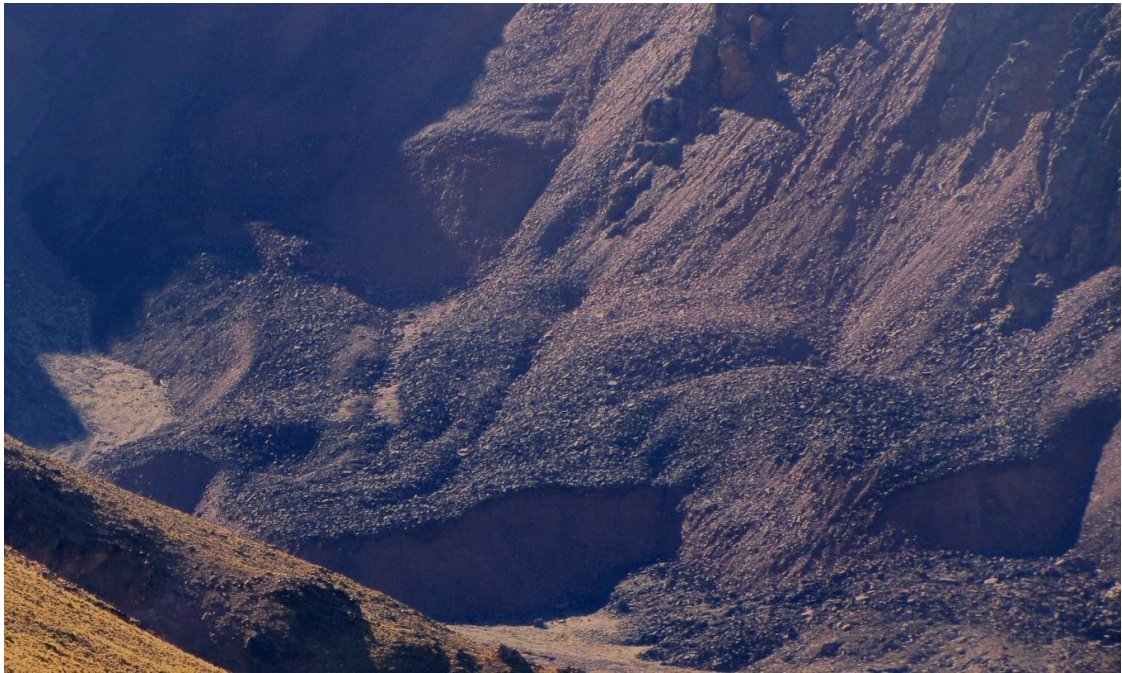


Se puede acceder a los glaciares de esta zona en vehículo por la ruta provincial N° 73 desde la localidad de Humahuaca, provincia de Jujuy. El camino está en buen estado, huella de tierra consolidada que atraviesa varios “abras”.



Geoforma G650630O232017S

Glaciar de escombros activo. Presenta un talud de pendiente superior a los 40° de inclinación. Se observa detrito fino en el frente y bloques de mayor tamaño en su parte superior o capa activa. Este glaciar yace sobre los restos de lo que fue un sistema glacial de mayores dimensiones, que aparentemente parece estar fósil. Se observan grandes morenas alrededor del circo glacial y a lo largo del valle donde se ubica esta geoforma.



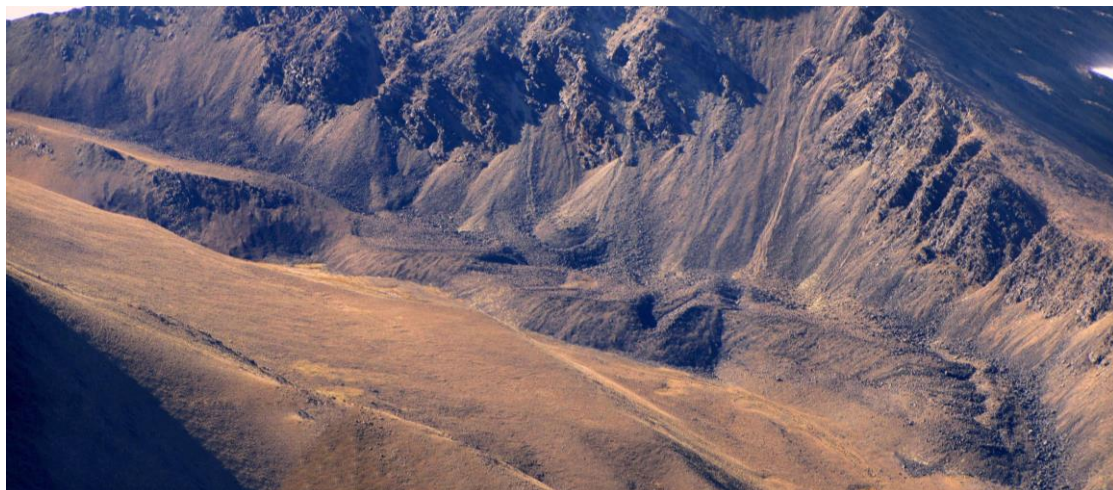
Frente del glaciar de escombros G650630O232017S



Detalle del talud del glaciar de escombros G650630O232017S. Se observa la capa activa con bloques de mayor tamaño y el detrito más fino sobre el talud

Geoforma G650419O231969S

Glaciar de escombros activo. Se trata de un glaciar de forma coalescente y multiraíz, formada por varios lóbulos que convergen en una lengua. Algunos sectores del glaciar parecen estar inactivos, con taludes de menor pendiente y frentes colapsados, mientras que otros presentan mayor actividad y formación de crestas y surcos bien definidos.



Panorámica de la geoforma G650419O231969S

Geoformas G650599O232128S y G650632O232123S

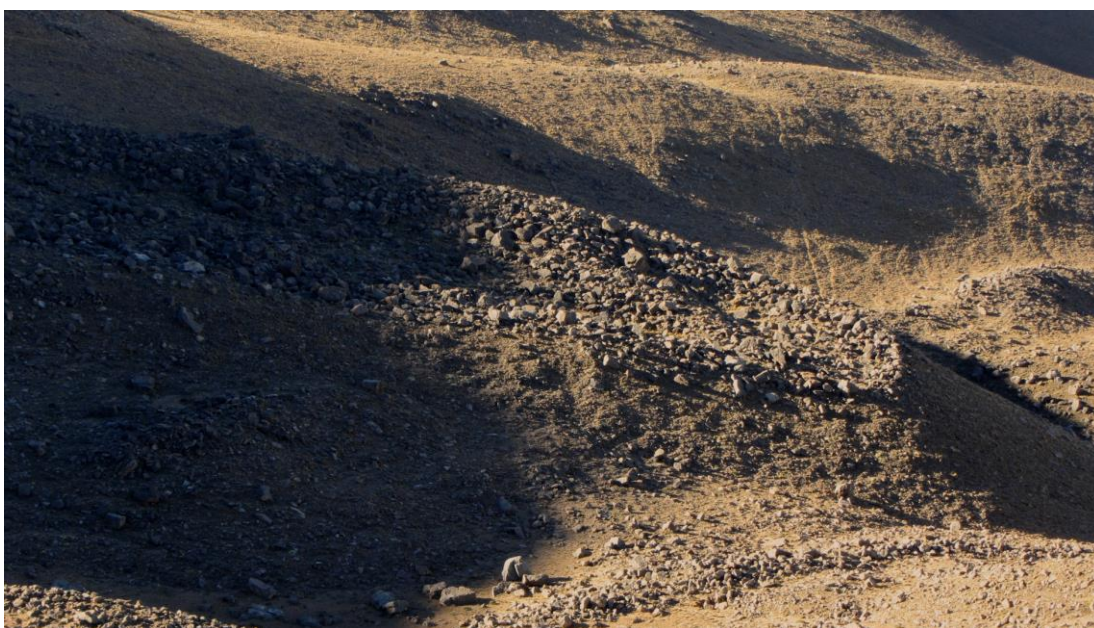
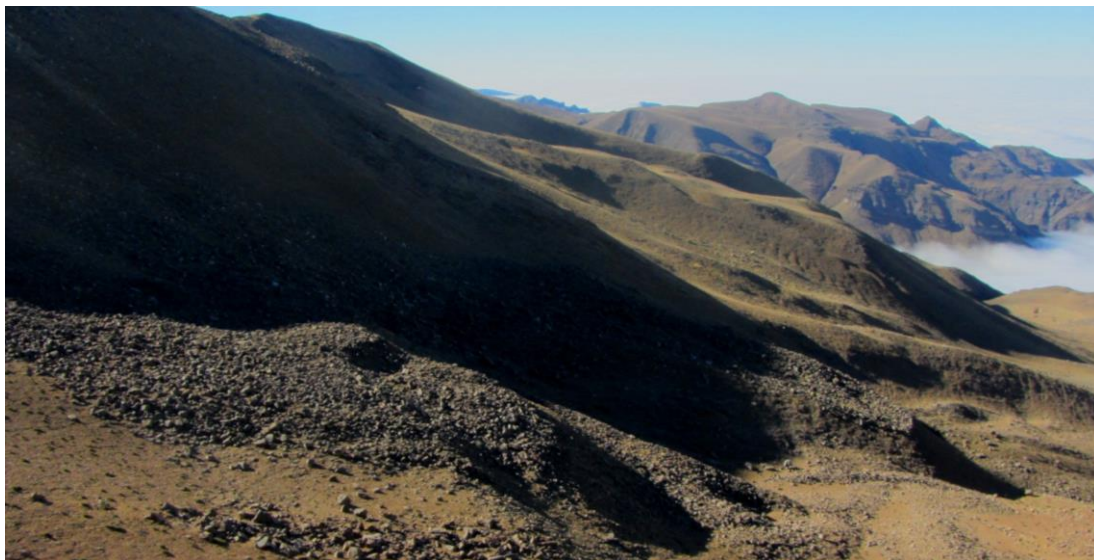
Al fondo se observa la geoforma G650632O232123S, se trata de un glaciar de escombros activo, de origen criogénico y forma lobada. En el frente de la foto se observa la geoforma G650599O232128S que es un glaciar de escombros inactivo, que yace sobre una geoforma fósil, muy colapsada y cubierta por vegetación.



Panorámicas de las geoformas G650599O232128S y G650632O232123S y glaciar fósil

Geoformas G650348O232319S y G650357O232331S

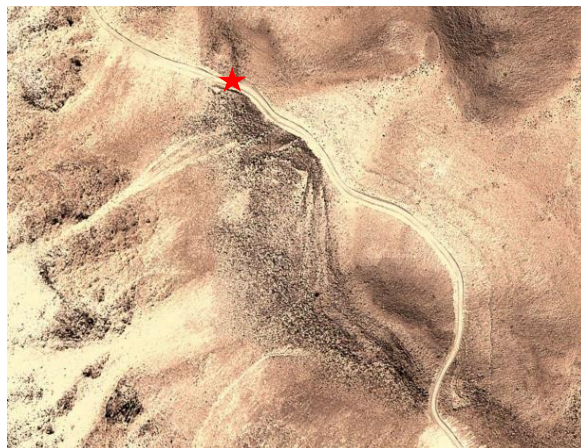
Glaciares de escombros inactivos. Estos dos glaciares presentan estructuras colapsadas, donde se aprecia la falta de movimiento de sus lenguas y el avance de la vegetación sobre ellos. No obstante, en el caso de la geoforma G650348O232319S, se ve la clasificación del material, donde los bloques de mayor tamaño permanecen en la superficie del glaciar, mientras que los más pequeños y el material más fino predominan en el talud. La pendiente del talud se observa con poco grado de inclinación, típico de glaciares de escombros inactivos.



Detalle del frente de la geoforma G650348O232319S

Geoforma G650321O232513S

Se trata de un glaciar de escombros inactivo, donde su frente limita con el camino de la ruta provincial N°73. En el terreno no se puede ver bien toda la geoforma, pero la vista en planta desde Google Earth ayuda a tener una visión global del glaciar, donde se observan crestas y surcos, ya inactivos, pero que resaltan la geomorfología de este tipo de glaciares.

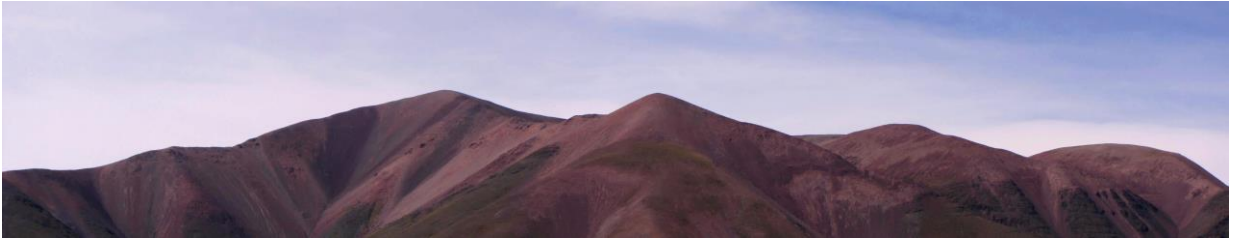


Vista en Google Earth de la geoforma G650321O232513S

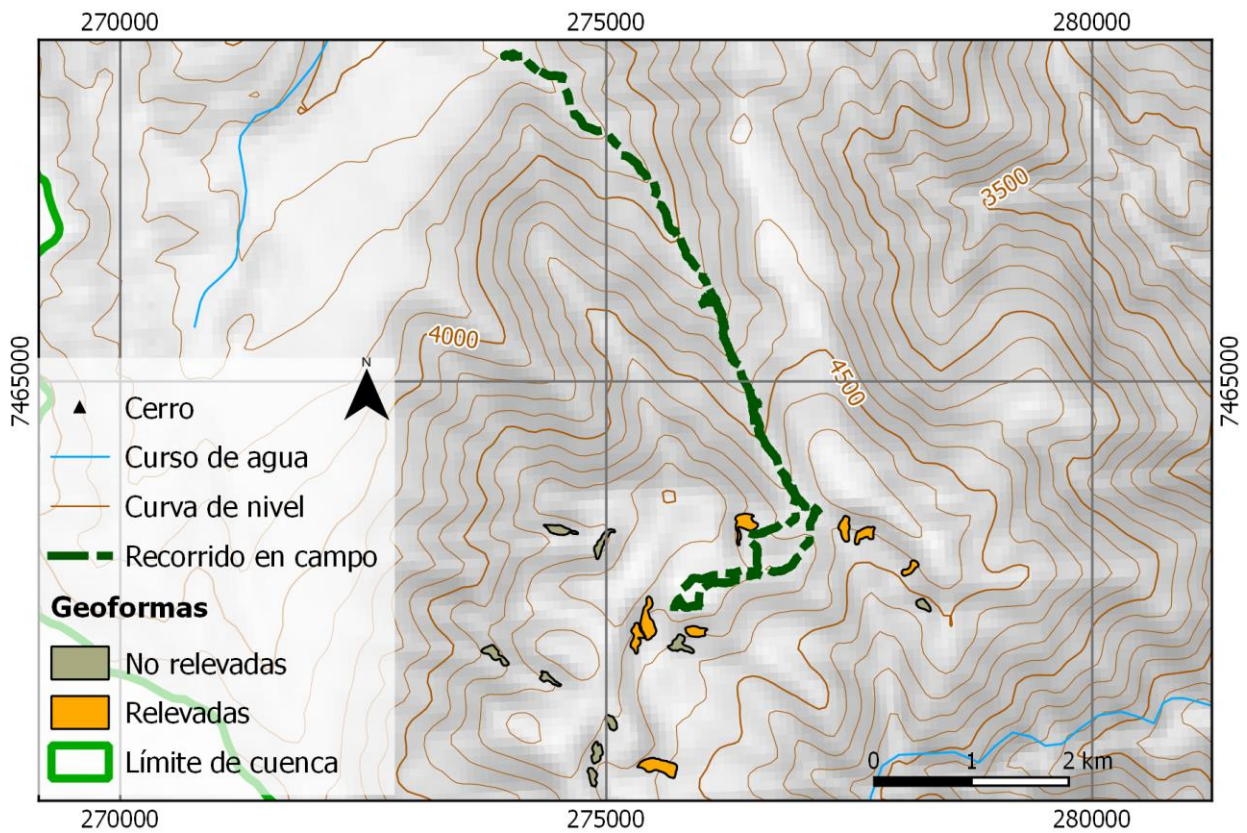


Foto tomada desde la posición marcada con una estrella roja en la foto superior

Zona Cerro Morado



Al sector denominado como cerro Morado se accede caminando por la quebrada del río Grande desde la localidad de Colanzuli. Establecimos un campamento base para poder acceder en días siguientes a los sectores de trabajo, debido a que los glaciares se encuentran a cotas elevadas y hay que hacer grandes desniveles para poder observarlos.



Geoforma G651799O229213S

Glaciar de escombros inactivo, de origen criogénico. Puede que algunos pequeños sectores del glaciar aun tengan actividad y tengan mayor contenido en hielo, pero en su mayoría se ve como un glaciar inactivo, con superficies cóncavas y colonizadas por vegetación en algunas partes. Los taludes poseen poca pendiente y algunos bloques de gran tamaño están apoyados sobre ellos, demostrando la falta de movimiento del glaciar. El glaciar yace sobre un glaciar fósil.



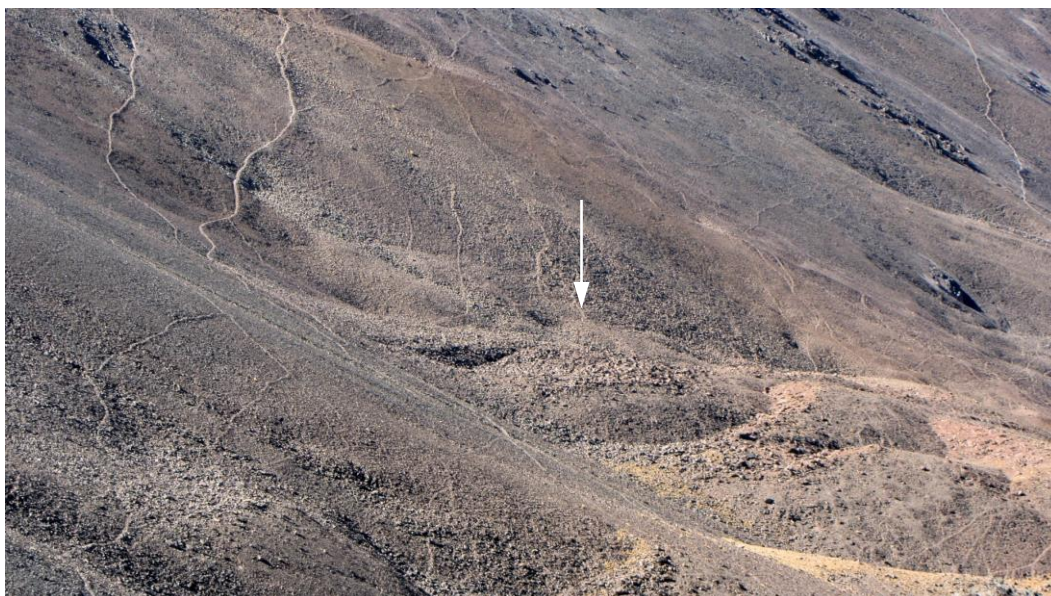
Vista del frente del glaciar G651799O229213S



Vista lateral de la geoforma G651799O229213S

Geoforma G651673O229220S

Glaciar de escombros inactivo. El glaciar está sobre un glaciar fósil, en la foto se marca con una flecha la ubicación del glaciar inactivo.



Vista lateral del glaciar G651673O229220S

Geoforma G651634O229256S

Glaciar de escombros inactivo. Se observa su superficie cóncava, mostrando el colapso del hielo y la falta de movimiento. Esta zona se caracteriza por la presencia de huellas de animales que atraviesan las diferentes geoformas.



Panorámica de la geoforma G651634O229256S

Geoforma G651897O229392

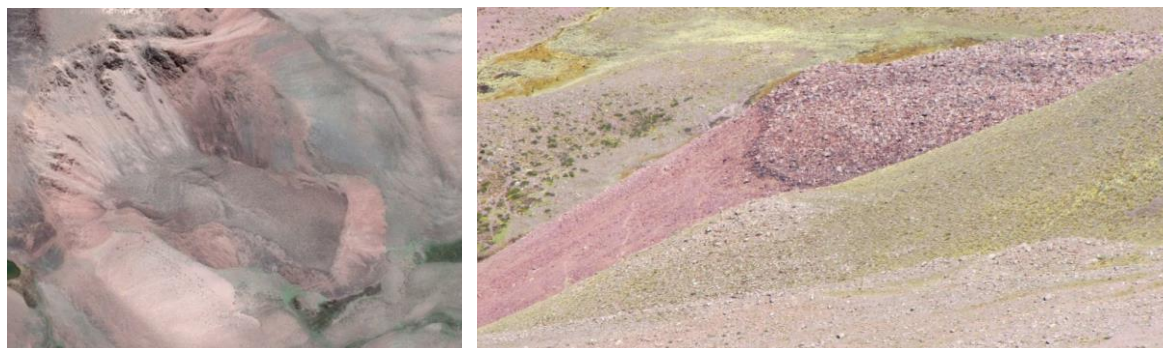
Glaciar de escombros activo. Es un glaciar de forma coalescente y origen criogénico, alimentado por múltiples raíces. En la foto se observa una lagunita, probablemente formada a partir del escurrimiento del agua de deshielo de esta u otras geoformas presentes en el área, donde se demuestra la riqueza del recurso hídrico presente en esta zona.



Glaciar coalescente G651897O229392

Geoforma G651889O229436S

Glaciar de escombros activo. Se observa el talud de la geoforma, de pendiente prominente y con presencia de material fino en él y de bloques de mayor tamaño en su superficie. Presenta una característica forma de lengua.



A la izquierda se observa la geoforma G651889O229436S vista desde Google Earth y a la derecha se observa el detalle de su talud

Geoforma G651850O229312S

Glaciar de escombros activo. Se observa desde arriba la geoforma, desde donde se puede apreciar el contorno del frente del glaciar de escombros, y parte de su talud noreste.



Glaciar G651850O229312S visto desde arriba

Geoforma G651898O229301S

Glaciar de escombros activo, de origen criogénico. Algunas de las partes del glaciar parecen tener más actividad que otras, pero se observa material removido y presencia de surcos y crestas.



Vista del frente del glaciar G651898O229301S

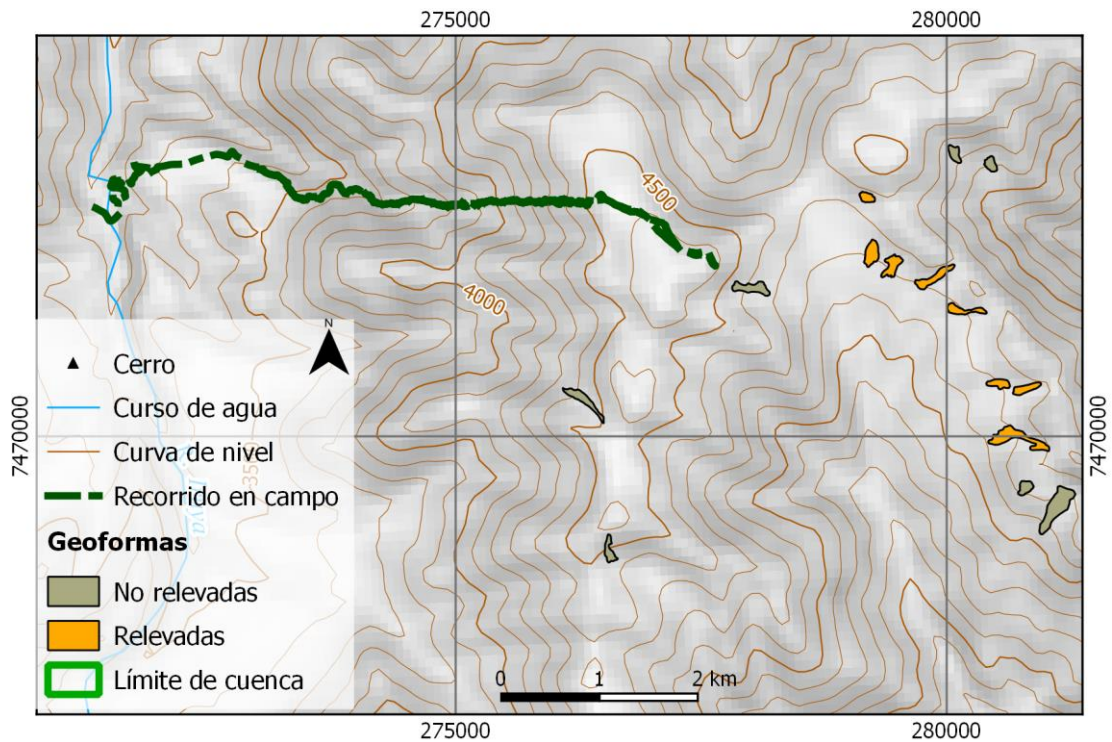
Geoforma G651909O229316S

Glaciar de escombros activo, de origen criogénico. Se observan bloques de gran tamaño sobre la superficie del glaciar. Se ven crestas y surcos bien definidos que demuestran el movimiento del glaciar.



Glaciar G651909O229316S

Zona Pueblo Viejo



Geoforma G651517O228414S

Glaciar de escombros inactivo. Pequeño glaciar de escombros de origen criogénico y forma lobada, donde se ve un talud con poca pendiente y superficie colapsada. En su zona de alimentación está atravesado por una huella hecha por el tránsito de animales.



Vista del glaciar G651517O228414S

Geoformas G651452O228488S y G651427O228519S

Glaciares de escombros inactivos. Se observan los frentes de estos dos glaciares, ambos atravesados por una huella creada por el tránsito de animales. Ambos son de origen criogénico y con forma de lengua.



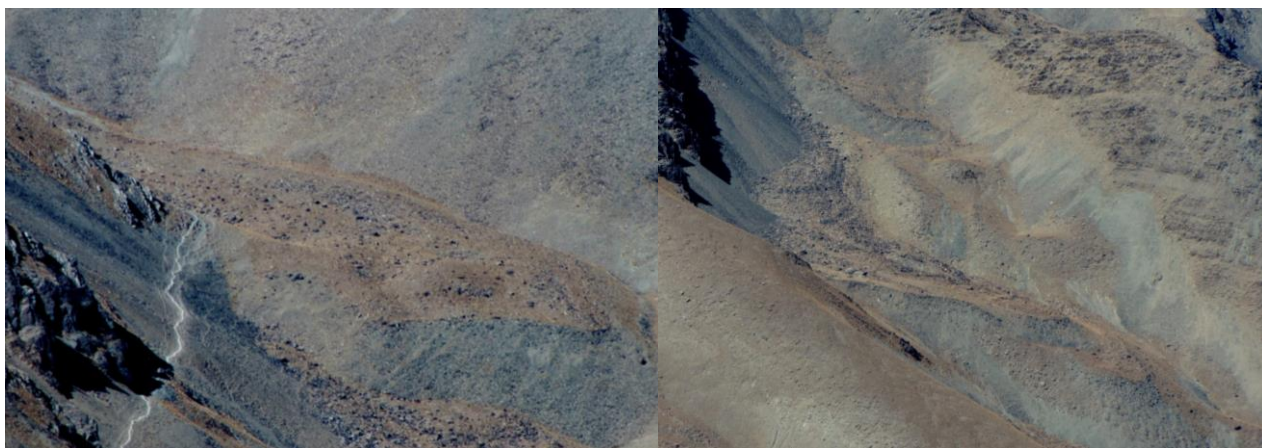
Vista a la izquierda del glaciar G651452O228488S y a la derecha el glaciar G651427O228519S

Geoformas G651362O228591S, G651389O228586S y G651387O228637S

Se tratan de glaciares de escombros activos. En este caso estos glaciares se ven con taludes más prominentes y rasgos más característicos de glaciares de escombros activos, a diferencia de las geoformas antes descritas en este valle. En las fotos de detalle se observa la predominancia del material más fino sobre el talud, y los bloques de mayor tamaño en la superficie de los glaciares.



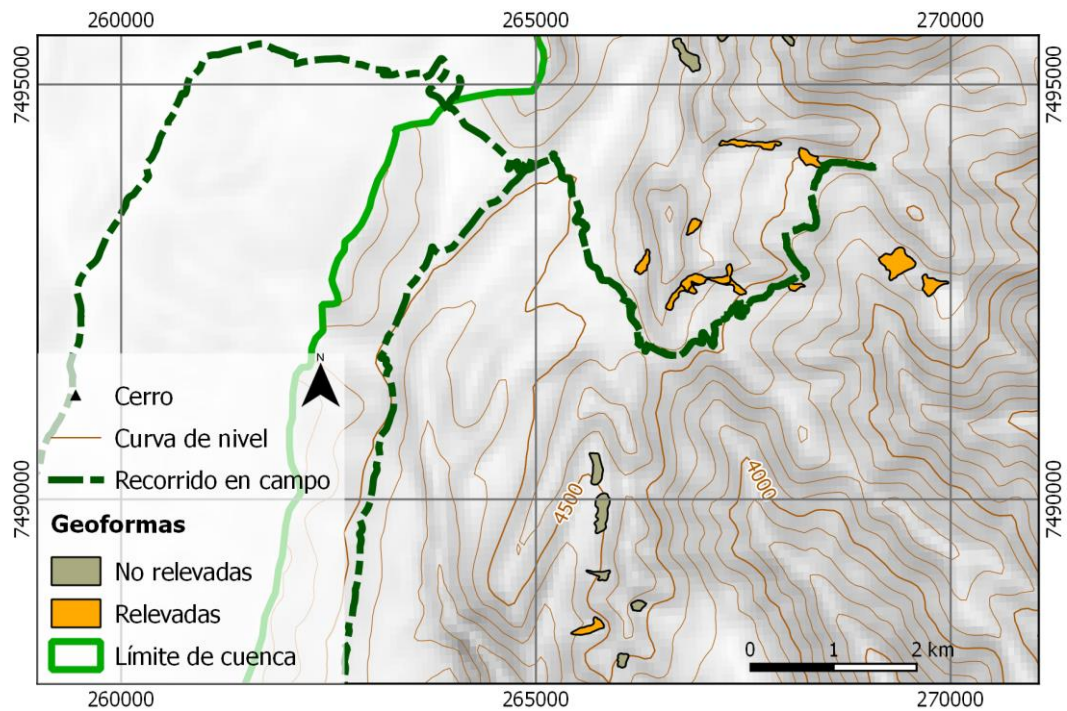
Panorámica de las geoformas G651362O228591S, G651389O228586S y G651387O228637S



Detalle de la geoforma G651362O228591S

Detalle del glaciar G651387O228637S

Zona Abra de la Cruz



Geoforma G652852O226187S

Se identificó este glaciar de escombros inactivo que no estaba mapeado. Se observó que presenta características de una geoforma inactiva, con talud de poca pendiente y superficie colapsada. Se incorporó a la base de datos.



Vista del glaciar G652852O226187S

Geoforma G652742O226553S

Glaciar de escombros activo. Se observa una geoforma que presenta taludes de pendiente prominente y cierta clasificación del material detrítico en el talud con respecto a su superficie.



Glaciar de escombros activo G652742O226553S

Geoforma G652676O226572S

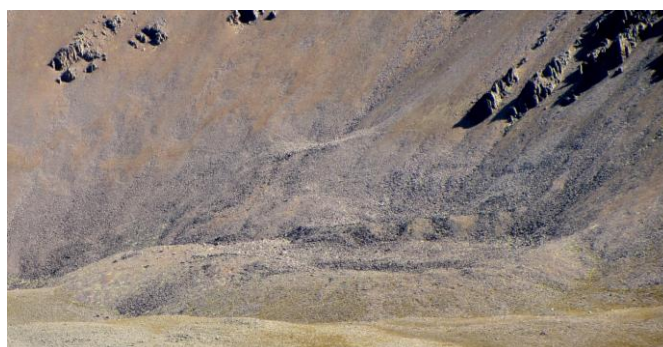
Glaciar de escombros activo. Se trata de una forma coalescente, que presenta varios lóbulos de diferentes tamaños que van formando una única lengua, que se apoya sobre un glaciar fósil.



Vista panorámica de la geoforma G652676O226572S

Geoforma G652683O226513S

Glaciar de escombros inactivo. Se observa la alimentación de la geoforma a partir de varias raíces. Los taludes tienen poca pendiente y algunas partes están colonizadas por vegetación.



Glaciar G652683O226513S

Geoforma G652613O226425S

Glaciar de escombros inactivo, de forma coalescente y multiraíz. Las pendientes de los taludes están bastante suavizadas.



Vista del frente del glaciar G652613O226425S

Geoforma G652546O226436

No se puede observar la totalidad de la geoforma, pero se aprecia parte del talud del glaciar, así como su superficie cóncava, como para verificar que se trata de un glaciar de escombros inactivo, según lo previamente clasificado en gabinete.



Vista parcial de la geoforma G652546O226436

Geoforma G652812O226949S

Glaciar de escombros inactivo. En su parte más alta, el glaciar puede tener una parte más activa, pero en general se observa una geomorfología típica de un glaciar inactivo. Parte del talud lateral está cubierto por vegetación, pero la parte del frente aún está libre de ella. La superficie se observa cóncava.



Vista panorámica del glaciar G652812O226949S

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

por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias), y de un área mayor o igual a 0,01 km² (una hectárea).

MN-Manchón de nieve/glaciarete: pequeñas masas de nieve y hielo de forma indefinida. Se localizan generalmente en depresiones, lechos de ríos y pendientes protegidas. En general se desarrollan a partir de la nieve barrida por el viento, avalanchas y/o varios años de fuertes acumulaciones. En general no presentan patrones de flujo visibles, y existen al menos por dos años consecutivos. Los manchones de nieve permanentes/glaciaretes son reservas significativas de agua en estado sólido y por ello fueron incluidos en el inventario.

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

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

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

GCGE-Glaciario cubierto con glaciar de escombros: en los Andes Centrales existen numerosos casos en los que un sector de hielo cubierto por detritos se transforma gradualmente en un glaciar de escombros. En general es muy difícil identificar y determinar la posición del límite entre el hielo cubierto (ambiente glaciar) y el glaciar de escombros glaciogénico (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 km².
3. Calota de hielo: masa de hielo no confinada con forma de domo, que fluye en todas las direcciones.
4. Glaciar de descarga: glaciar que fluye desde el interior de un campo de hielo, calota de hielo y/o sábana de hielo, transfiriendo masa hacia las zonas más bajas.
5. Glaciar de valle: glaciar con el área de acumulación bien definida, cuya lengua está encauzada y fluye valle abajo.
6. Glaciar de montaña: un glaciar que se encuentra confinado por la topografía del terreno montañoso que lo rodea; frecuentemente localizado en un circo o nicho (Müller et al., 1977). Incluye glaciares de circo, de nicho y de cráter.

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

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. Multiraíz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.

23. Longitud: coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).

24. Latitud: coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).

25. Área: área de cada polígono expresada en 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 km² respectivamente. El Inventario Nacional de Glaciares describe por primera vez, en un instrumento sistematizado, todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional, con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de las subcuencas de los ríos Iruya, Condado, Pescado superior y Blanco, sector Bermejo superior, cuenca del río Bermejo, provincia de Salta.

