



**Informe de la cuenca
del río San Francisco**



INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES

IANIGLA

CONICET

U.N. CUYO
GOBIERNO
DE MENDOZA



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

Provincias de Jujuy y Salta

Cerro 14 colores, provincia de Jujuy (Foto: L. Ferri Hidalgo)

**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

Directora técnica: Lic. Lidia Ferri Hidalgo

Profesionales: Lic. Laura Zalazar y Téc. Mariano Castro

Colaboradores: Ing. Melisa Giménez y Lic. Hernán Gargantini

Mayo 2018

La presente publicación se ajusta a la cartografía oficial, establecida por el Poder ejecutivo Nacional por ley N° 22963 a través del Instituto Geográfico Nacional y ha sido aprobada por EX-2017-23978326-APN-DGA#IGN, de fecha 31 de octubre de 2017

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes.....	5
3.	Definiciones a los fines del Inventario	7
4.	Materiales y métodos.....	9
4.1.	Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de modelos de elevación	10
4.2.	Selección de imágenes satelitales y georreferenciación	10
4.3.	Delimitación del hielo descubierto	13
4.4.	Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros	13
4.5.	Base de datos de las geoformas inventariadas	13
4.6.	Control de campo	15
5.	Resultados.....	16
5.1.	Resultados de la cuenca del río San Francisco	16
5.2.	Control de campo.....	20
6.	Bibliografía	21
7.	Anexos	25
7.1.	Imágenes utilizadas en el inventario de la cuenca del río San Francisco	25
7.2.	Control de campo en la cuenca del río San Francisco	27
7.2.1	Objetivos.....	27
7.3.	Descripción de la base de datos	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la cuenca del río San Francisco.	9
Figura 2: Diagrama de flujo de la metodología usada.	12
Figura 3: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas.....	13
Figura 4: 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).....	15
Figura 5: Inventario de glaciares de la cuenca del río San Francisco.	17
Figura 6: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río San Francisco.	18
Figura 7: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados, cuenca del río San Francisco. ..	18
Figura 8: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río San Francisco.	19
Figura 9: Hipsometría de los cuerpos de hielo, cuenca del río San Francisco.	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de la cuenca del río San Francisco.	10
Tabla 2: Superficie total inventariada en la cuenca del río San Francisco.....	16
Tabla 3: Alturas por tipos de glaciares en la cuenca del río San Francisco.	19

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 partes que se descongelan de las crioformas tienen una contribución muy importante al caudal de los ríos andinos ya que aportan volúmenes significativos de agua de deshielo a la escorrentía ayudando a minimizar los impactos de las sequías en las actividades socio-económicas de los oasis de regadío. Por ello, la información detallada sobre el número, área y distribución espacial de los cuerpos de hielo no sólo brinda una estimación de las reservas hídricas en estado sólido existentes en las diferentes cuencas andinas, sino también información básica para conocer la capacidad reguladora de dichos cuerpos sobre los caudales de nuestros ríos en condiciones climáticas extremas.

Los glaciares de Argentina constituyen además elementos emblemáticos del paisaje andino, realzando la belleza de los principales atractivos turísticos y generando ingresos significativos para la economía nacional. El ejemplo más claro lo constituye el glaciar Perito Moreno, en el Parque Nacional Los Glaciares, provincia de Santa Cruz, que atrae a cientos de miles de turistas cada año. Los glaciares que rodean a la localidad de El Chaltén (glaciar Torre, Piedras Blancas, y de los Tres, entre otros) también constituyen importantes atractivos turísticos dentro del mismo Parque Nacional, y realzan las imponentes vistas del cerro Torre y Monte Fitz Roy o Chaltén. Otros glaciares muy visitados son los glaciares del Monte Tronador en el Parque Nacional Nahuel Huapi, provincia de Río Negro. El más conocido es tal vez el Ventisquero Negro, un glaciar cubierto por detritos al cual se puede acceder en vehículo

durante todo el año. En la provincia de Mendoza, los glaciares colgantes de la pared sur del Cerro Aconcagua y los glaciares Horcones Superior, Horcones Inferior, y de los Polacos son los glaciares más conocidos. Miles de visitantes llegan cada año al Parque Provincial Aconcagua para escalar o simplemente admirar estas imponentes moles de roca y hielo.

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

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

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

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

Conscientes de la importancia nacional y regional de los cuerpos de hielo en nuestra Cordillera, entre junio y octubre de 2010 las Honorables Cámaras de Diputados y Senadores de Argentina convirtieron en Ley un Proyecto de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y el Ambiente Periglacial”, que contempla entre otras medidas, la creación de

un Inventario Nacional de Glaciares. El 28 de Octubre de 2010 fue promulgada la Ley 26.639 de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”, la cual establece:

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

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

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

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

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

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

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

El IANIGLA por disposición transitoria (Artículo 15) de la Ley 26.639, creó el documento “Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Fundamentos y Cronograma de Ejecución” (IANIGLA, 2010), en donde se desarrolla la estrategia para la realización del Inventario Nacional de Glaciares. La misma cuenta con tres niveles, de menor a mayor detalle de información. El objetivo del nivel 1 es el Inventario Nacional de Glaciares propiamente dicho, es decir la identificación y caracterización de todos los glaciares y crioformas del

ambiente periglacial que actúan como reservas hídricas estratégicas en la República Argentina. El nivel 2 tiene como objetivo conocer la variación temporal de los glaciares y criofomas 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 esorrentía andina.

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

El trabajo de identificación de glaciares y glaciares de escombros en la cuenca del río San Francisco fue elaborado en noviembre de 2016 y aprobado según resolución N°RESOL-2018-112-APN-MAD del 14 de febrero de 2018, siguiendo lineamientos internacionales adaptados a condiciones locales y regionales. La metodología utilizada ha sido desarrollada por el IANIGLA (ver sección 4. Materiales y métodos) y sirve de base para el Inventario Nacional de Glaciares en Argentina.

2. Antecedentes

En 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 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 1983).

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 glaciares 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).

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 San Francisco (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 los diferentes cuerpos identificados en las imágenes satelitales y los procesos que las originan, para que puedan ser reconocidos por los operadores sin lugar a ambigüedades. Estos criterios han sido empleados en el inventario de cuerpos de hielo para la cuenca del río San Francisco aquí presentado.

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

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

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

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

Glaciar de escombros: cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado

con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km² (una hectárea). Los glaciares de escombros dependen fuertemente del aporte de detritos, nieve y hielo.

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

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

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

4. Materiales y métodos

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

El presente informe corresponde al Inventario de Glaciares de la cuenca del río San Francisco. La cuenca del río San Francisco se encuentra ubicada al este de la provincia de Jujuy y ocupa, también, una pequeña porción de la provincia de Salta. El río Grande corre por la Quebrada de Humahuaca y, junto con el Lavayén, forman el río San Francisco. Este último es uno de los principales afluentes del río Bermejo (http://www.hidricosargentina.gov.ar/documentos/referencias_i8/19.pdf). La superficie de esta cuenca es de 25.113 km².

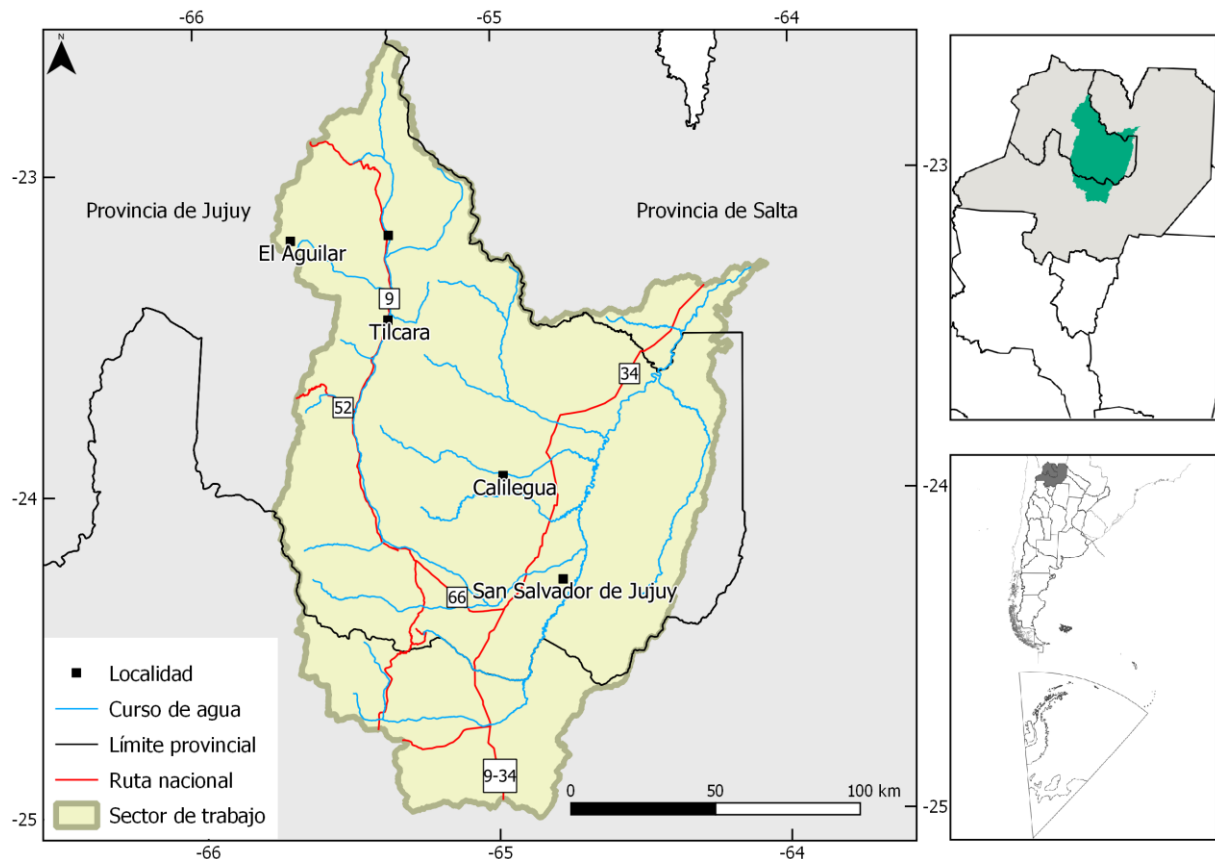


Figura 1: Mapa de ubicación de la cuenca del río San Francisco.

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

La delimitación de cuencas hidrográficas en la cuenca del río San Francisco, 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 QGIS.

4.2. Selección de imágenes satelitales y georreferenciación

Para realizar el inventario en la cuenca del río San Francisco se utilizaron de base imágenes ASTER del satélite TERRA, SPOT 4, CBERS 2B (sensor HRC) y también se revisaron imágenes LANDSAT como base para la georreferenciación y el programa Google Earth (ver anexo 7.1. donde se adjunta información de todas las imágenes empleadas para la realización de este inventario).

Tabla 1: Imágenes utilizadas como base para el Inventario de la cuenca del río San Francisco.

Satélite/sensor	ID imagen	Fecha
Terra/ASTER	AST_L1A.003:2081199075	21 septiembre 2010
CBERS/HRC	CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_3	30 agosto 2009
CBERS/HRC	CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_2	30 agosto 2009
CBERS/HRC	CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_126_1	22 agosto 2009
CBERS/HRC	CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_125_5	22 agosto 2009
CBERS/HRC	CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_4	30 agosto 2009
CBERS/HRC	CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_5	30 agosto 2009
CBERS/HRC	CBERS_2B_HRC_20080728_174_C_126_2	28 julio 2008
SPOT4	HRVIR2_2012-06-23_13-49-32_M_678_398	23 junio 2012
SPOT4	HRVIR2_2012-06-23_13-49-40_M_678_399	23 junio 2012

Los datos ASTER fueron obtenidos de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (http://lpdaac.usgs.gov/get_data) a través del Convenio entre el programa GLIMS y el IANIGLA. Las imágenes LANDSAT fueron provistas gratuitamente por el USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) y las imágenes SPOT 4 fueron proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina.

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

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

Con respecto a la georreferenciación, las imágenes ASTER utilizadas como base para la delimitación de los cuerpos de hielo tienen una muy buena ortorrectificación (Fujisada et al. 2005), por lo que la imagen se empleó sin tener que realizar ningún tipo de corrección. 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 2 se puede observar un diagrama de flujo con la metodología general implementada para la realización del Inventario.

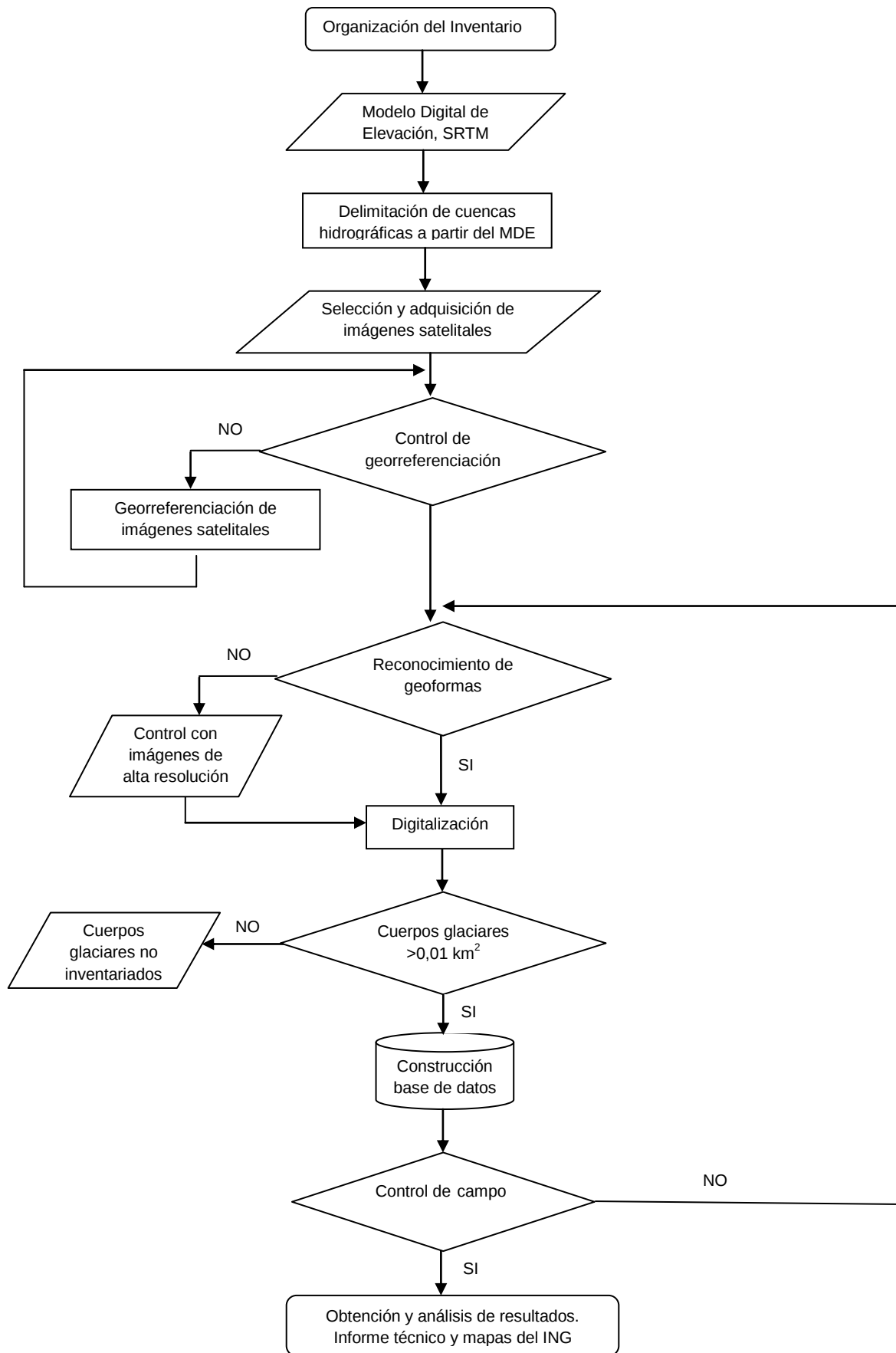


Figura 2: Diagrama de flujo de la metodología usada.

4.3. Delimitación del hielo descubierto

En esta cuenca, tan sólo se ha identificado un manchón de nieve, por lo que no se ha realizado clasificación automática, se digitalizó manualmente esta única geoforma utilizando el programa QGIS y empleando las imágenes citadas en Tabla 1.

4.4. Digitalización de glaciares cubiertos y glaciares de escombros

En el caso del mapeo de glaciares cubiertos de detrito y glaciares de escombros, la digitalización manual sigue siendo la mejor metodología utilizada a nivel internacional (Stokes et al. 2007). En ese sentido, las imágenes de alta resolución espacial son las herramientas más indicadas para delimitar estos cuerpos de hielo. Para ello, además de la imágenes ASTER (15 metros de resolución espacial) y las SPOT 4 (10 m de resolución espacial), utilizamos, en función de su disponibilidad, imágenes de alta resolución del sensor HRC (CBERS 2) y las imágenes disponibles en Google Earth (Figura 3). La digitalización fue realizada con el programa QGIS y usando como base las imágenes citadas en la Tabla 1.

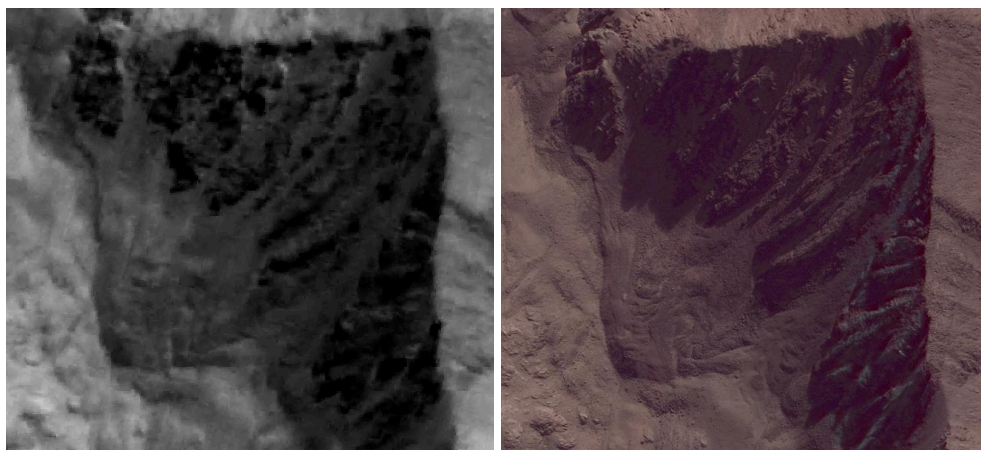


Figura 3: Ejemplo de la importancia de la resolución espacial de las imágenes en la identificación de crioformas. En la parte izquierda puede observarse un glaciar de escombros en una imagen SPOT 4 (10 m de resolución espacial). A la derecha puede observarse la misma crioforma, con mucha mayor claridad, en una imagen Geoeye de 0,5 m de resolución (imagen de Bing).

4.5. Base de datos de las geoformas inventariadas

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

Para clasificar los glaciares se usaron las normativas internacionales en uso (principalmente del WGMS y GLIMS) con algunas adaptaciones, debido a las particularidades de los cuerpos de hielo presentes mayormente en los Andes Centrales de Argentina. En esta región en

particular, los glaciares de escombros representan un recurso hídrico de gran importancia, no obstante se han identificado este tipo de geoformas en las diferentes regiones de los Andes argentinos. Las clasificaciones internacionales fueron ampliadas para incorporar este tipo de glaciares y sus características.

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

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

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

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

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

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

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

Por tanto, el ID de un glaciar es un código de carácter único que representa a cada uno de los glaciares inventariados. Para ello hemos definido un código **ID_local** (ID de la Figura 4 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.

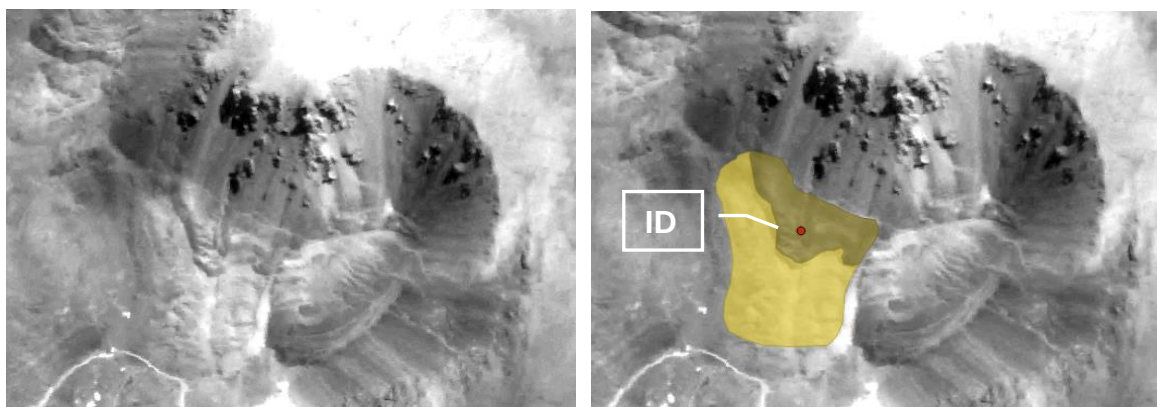


Figura 4: En la parte izquierda de la figura se muestra un glaciar de escombros sobre una imagen CBERS. En la parte derecha se muestra este glaciar con los diferentes polígonos que lo componen (parte de glaciar de escombros activo y otra parte inactivo). Ambas partes tendrán el mismo código de identificación (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 de la cuenca del río San Francisco

Los glaciares inventariados en la cuenca del río San Francisco, están concentrados alrededor de los cerros de mayor altitud, que están ubicados en la parte occidental de la cuenca. Es el caso de los Nevados de Chañi (5.896 msnm), Gral. Güemes (5.565 msnm) y el C° Zucho (4.995 msnm).

La cuenca tiene una superficie de 25.113 km², dentro de esta cuenca se han inventariado 167 glaciares, que ocupan 6,4830 km², sería un 0,026% de cuenca cubierta por glaciares.

Tan solo se ha inventariado un manchón de nieve, que se localiza en la proximidad del Nevado de Chañi, que es el área que alcanza mayor altitud de la cuenca. El resto de geoformas corresponden a glaciares de escombros. El 51,4% corresponde a glaciares de escombros inactivos y el 48,2% a glaciares activos (Figura 6).

Tabla 2: Superficie total inventariada en la cuenca del río San Francisco.

Tipo de geoforma inventariada	Área (km²)
Manchones de nieve/glaciaretes	0,0239
Glaciar de escombros activo	3,1248
Glaciar de escombros inactivo	3,3343
Total	6,4830

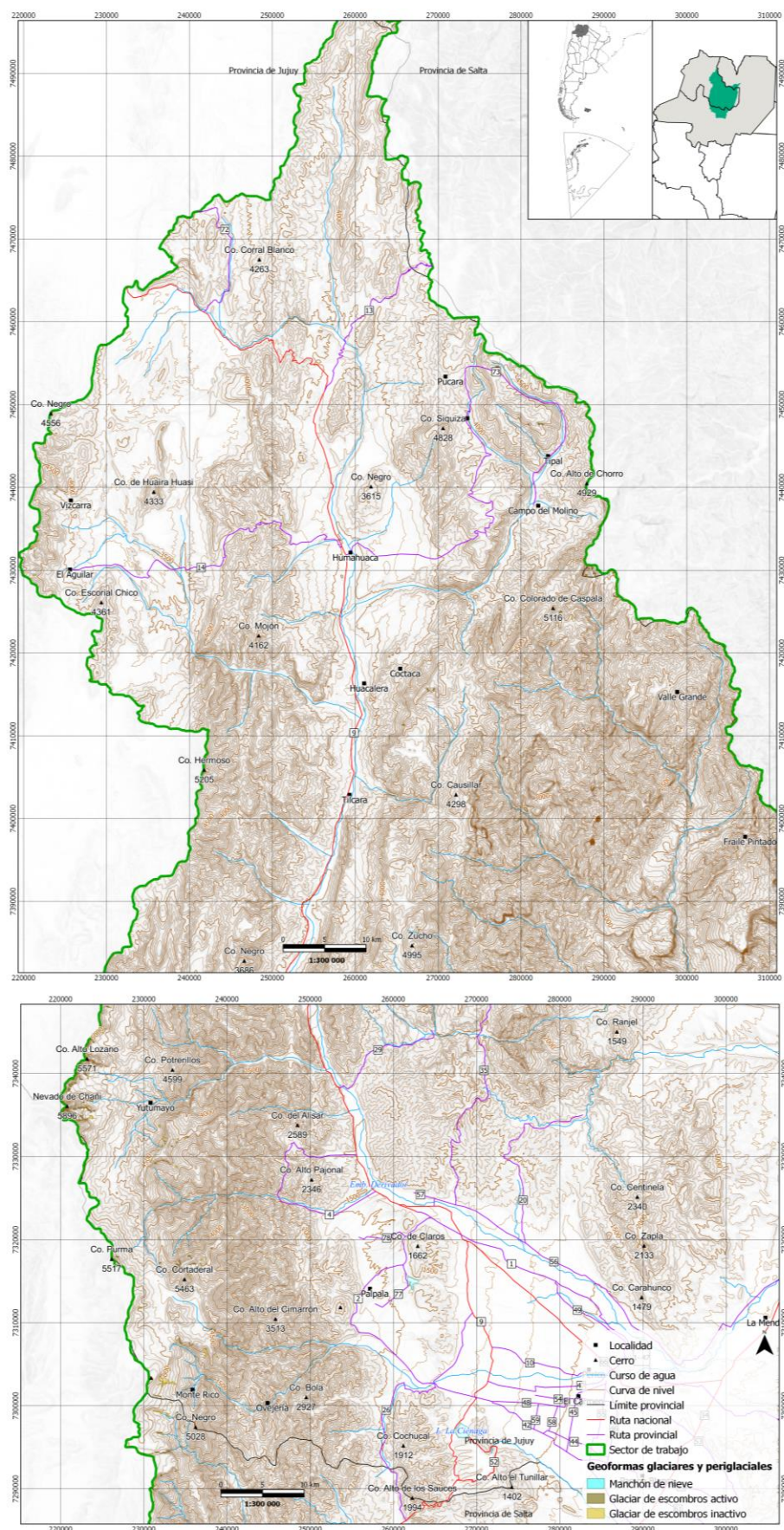


Figura 5: Inventario de glaciares de la cuenca del río San Francisco.

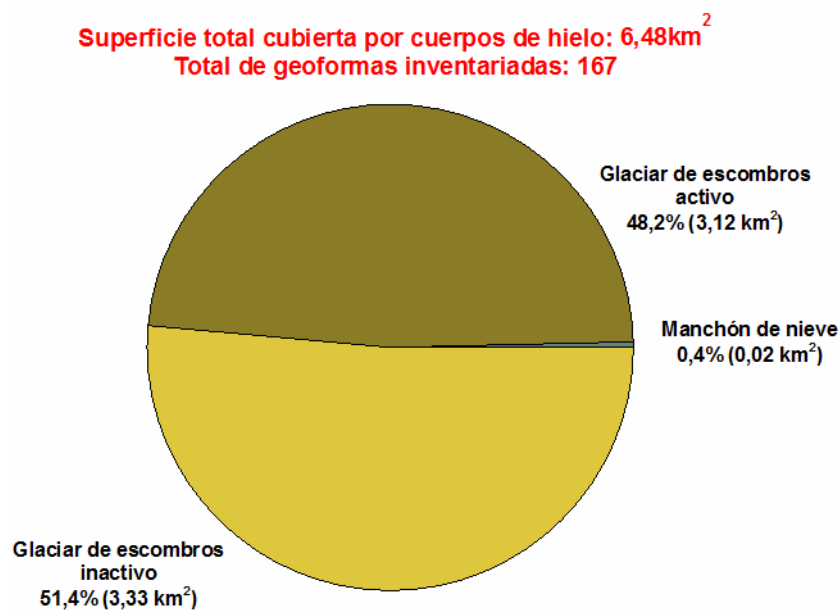


Figura 6: Distribución de los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río San Francisco.

La orientación predominante de los glaciares inventariados es hacia el sureste (Figura 7).

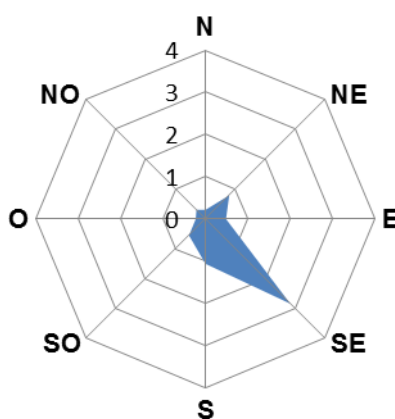


Figura 7: Orientación de los cuerpos de hielo inventariados, cuenca del río San Francisco.

Con respecto a la relación entre el tamaño de los glaciares y la superficie que ocupan, en esta cuenca se observa que predominan los glaciares de pequeño tamaño, de hecho el 82% de los glaciares presentan un tamaño entre 0,01 y 0,05 km². El resto se distribuye entre 0,05 y 1 km².

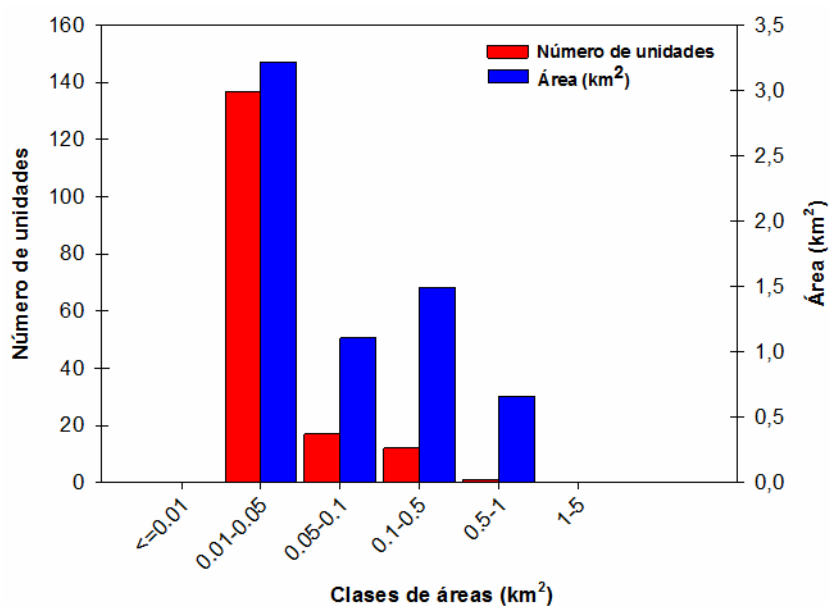


Figura 8: Número de unidades y superficie cubierta por los cuerpos de hielo inventariados en la cuenca del río San Francisco.

Los glaciares de la cuenca del río San Francisco se distribuyen en un rango altitudinal que va desde los 3.990 msnm hasta los 5.588 msnm. El manchón de nieve es el que alcanza la cota de mayor altitud, seguido por los glaciares de escombros activos. Los glaciares de escombros inactivos son los que alcanzan las cotas más bajas.

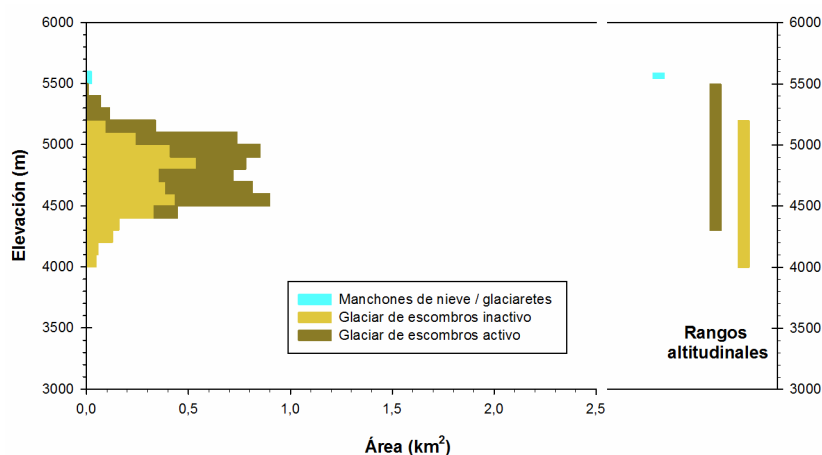


Figura 9: Hipsometría de los cuerpos de hielo, cuenca del río San Francisco.

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

Tipo de glaciar	Altura mínima observada (msnm)	Altura máxima observada (msnm)
Manchones de nieve/glaciaretes	5.544	5.588
Glaciar de escombros activo	4.312	5.456
Glaciar de escombros inactivo	3.990	5.229

5.2. Control de campo

A fines de mayo, principios de junio de 2016 el IANIGLA realizó una campaña a la cuenca del río Bermejo. Como esta cuenca es limítrofe con la del río San Francisco, se pudieron observar tres geoformas, las cuales se detallan en el anexo 7.2. Durante los meses de junio y julio del año 2017 se realizó una campaña a otros sectores de la cuenca del río San Francisco.

En total se observaron 40 glaciares, algunas de las principales diferencias encontradas fueron al observar con mayor detalles las geoformas en el campo, se cambiaron algunas clasificaciones de los glaciares de activos a inactivos y viceversa (Anexo 7.2).

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 YGEODESTAS. Mendoza.

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.

- 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.
- Cogley, J.G., Hock, R., Rasmussen, L.A., Arendt, A.A., Bauder, A., Braithwaite, R.J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson L. y Zemp, M. 2011. Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.
- Corte, A. 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.
- Fujisada, H., Bailey, G. B., Kelly, G. G., Hara, S., y Abrams, M. J. 2005: ASTER DEM performance, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43, 2707-2714.
- 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.
- 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.
- Ikeda, A. 2004: Rock glacier dynamics near the lower limit of mountain permafrost in the Swiss Alps.

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.

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, Argentine. 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"). *Heidelberger Geographische Arbeiten*, Heft 90: 171 páginas, Heidelberg, Alemania.

Trombotto, D. 2002. "Inventory of fossil cryogenic forms and structures in Patagonia and the mountains of Argentina beyond the Andes". *South African Journal of Science*, 98: 171-180, Review Articles, Pretoria, Sudáfrica.

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.

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 de la cuenca del río San Francisco

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

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

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

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

Satélite: **LANDSAT 5**

Sensor: TM (Thematic Mapper)

Resolución espacial: 30 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
LT52310772009221COA01	09 agosto 2009	Base georreferenciación
LT52310762009221COA01	09 agosto 2009	Base georreferenciación
LT52310772009221COA01	09 agosto 2009	Base georreferenciación
LT52310772006081COA01	17 agosto 2006	Comparar manchones nieve

Satélite: Terra

Sensor: **ASTER**

Resolución espacial: 15 m

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

ID imagen	Fecha	Objetivo
AST_L1A.003:2081199075	21 septiembre 2010	Base inventario
AST_L1A.003:2081199086	21 septiembre 2010	Apoyo para delimitación de GE
AST_L1A.003:2081199078	21 septiembre 2010	Apoyo para delimitación de GE
AST_L1A.003:2081199073	21 septiembre 2010	Apoyo para delimitación de GE

Satélite: **CBERS 2B** (China Brasil Earth Resources Satellite)

Sensor: HRC (High-Resolution Panchromatic Camera)

Resolución espacial: 2,5 m

Imágenes de INPE <http://www.inpe.br>

ID imagen	Fecha	Objetivo
CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_3	30 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_2	30 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_126_1	22 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_125_5	22 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_4	30 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20080728_174_C_126_2	28 julio 2008	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090830_173_B_126_5	30 agosto 2009	Base inventario
CBERS_2B_HRC_20090814_174_D_126_4	14 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE
CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_126_2	22 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE
CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_126_3	22 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE
CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_126_4	22 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE
CBERS_2B_HRC_20090822_173_A_126_5	22 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE
CBERS_2B_HRC_20090814_174_D_126_3	14 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE
CBERS_2B_HRC_20090814_174_D_125_5	14 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE
CBERS_2B_HRC_20090814_174_D_126_1	14 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE
CBERS_2B_HRC_20090814_174_D_126_2	14 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE
CBERS_2B_HRC_20090814_174_D_126_2	14 agosto 2009	Apoyo para delimitación de GE

Satélite: **SPOT**

Sensor: 4

Resolución espacial: 10 m

Proveedor: CONAE

ID imagen	Fecha	Objetivo
HRVIR2_2012-06-23_13-49-32_M_678_398	23 junio 2012	Base inventario
HRVIR2_2012-06-23_13-49-40_M_678_399	23 junio 2012	Base inventario
HRVIR1_2012-04-01_13-51-17_M_677_397	01 abril 2012	Apoyo para delimitación de GE
HRVIR1_2012-04-01_13-51-26_M_677_398	01 abril 2012	Apoyo para delimitación de GE

7.2. Control de campo en la cuenca del río San Francisco



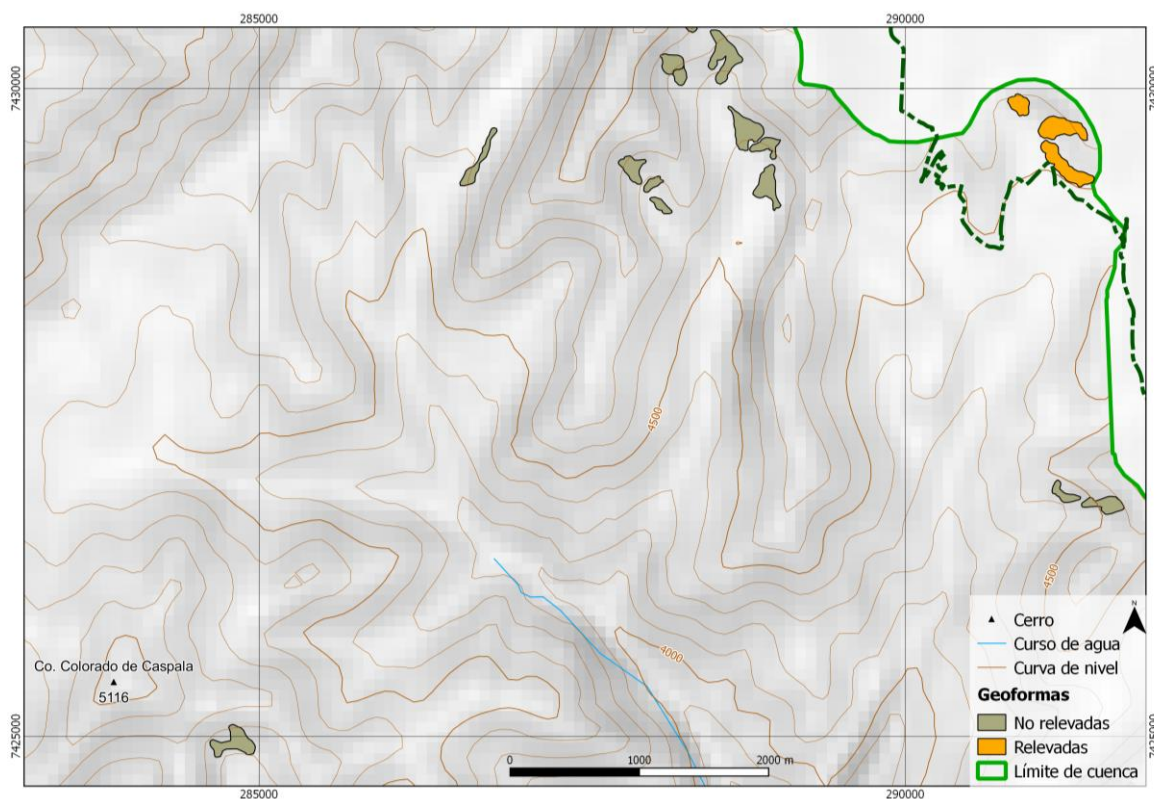
7.2.1 Objetivos

Los objetivos de la campaña son:

- ✓ 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

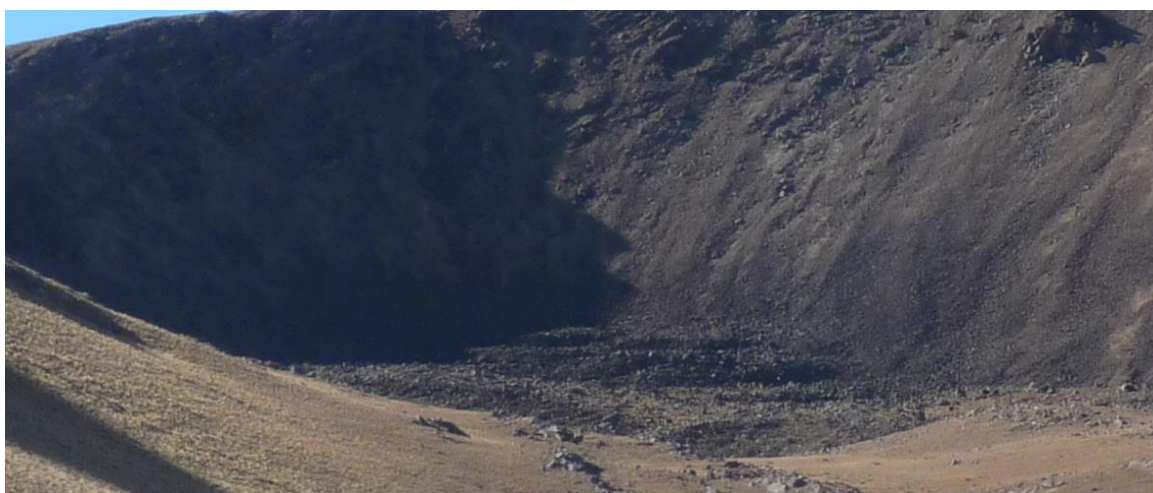
Zona Cordillera del Zenta

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 G650437O232270S

Glaciar de escombros inactivo, de origen criogénico y forma lobada. Tiene una exposición hacia el sureste.



Frente del glaciar de escombros G650437O232270S

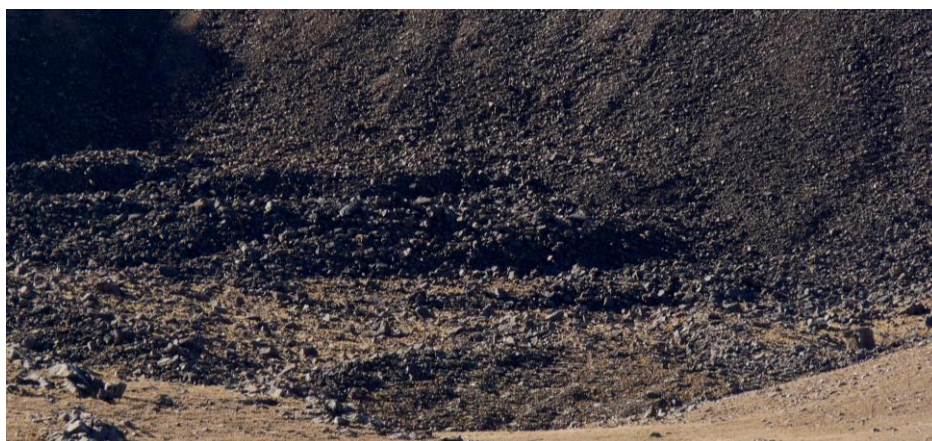
Geoforma G650406O232287S

Glaciar de escombros activo. Destaca esta geoforma de las otras dos que tiene en sus costados, por su abrupto talud y su zona de alimentación bien definida. Se observa material de tamaño fino en el talud y bloques de mayor tamaño en su superficie.



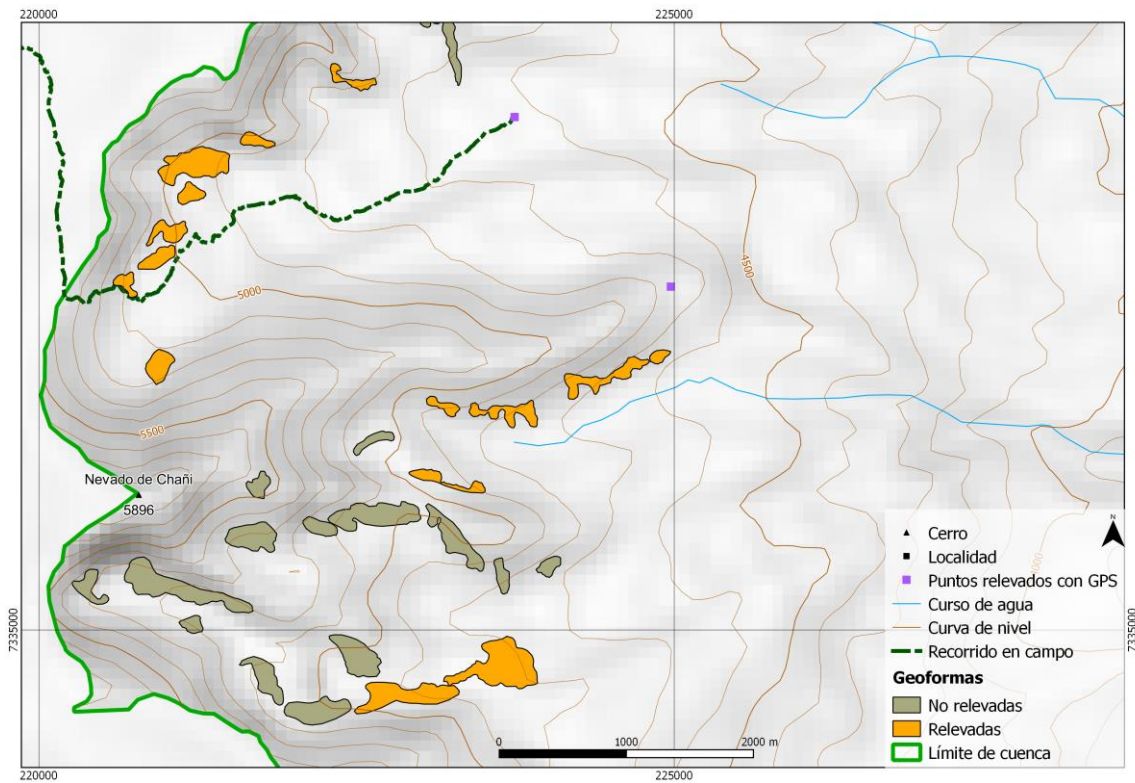
Geoforma G650403O232313S

Glaciar de escombros inactivo. Parte de la geoforma G650405O232287S reposa sobre este glaciar. Se observa una superficie colapsada, con bloques de diferente tamaño.



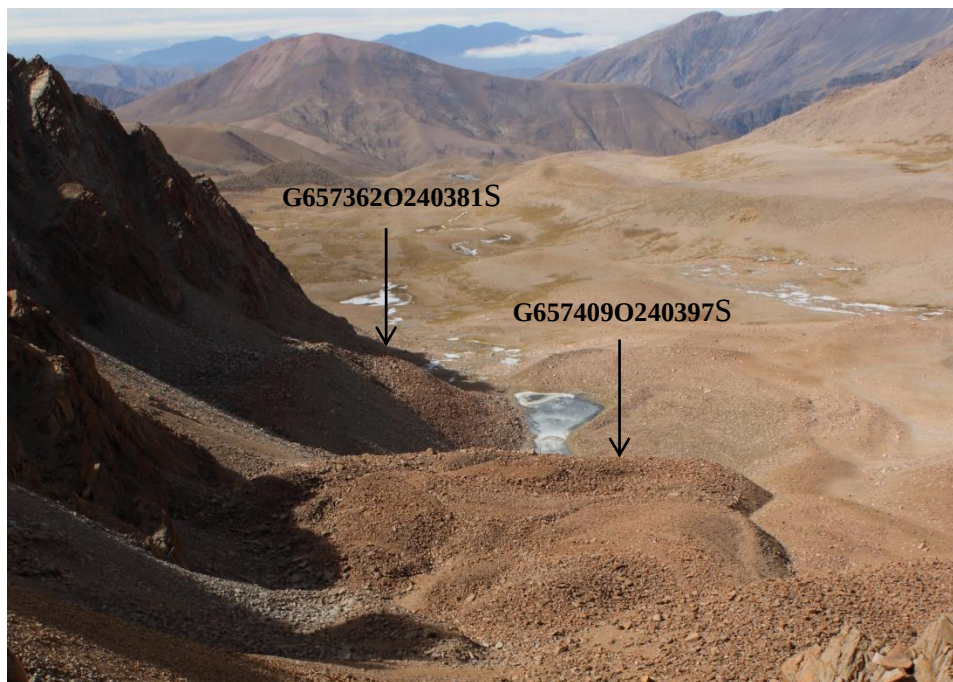
Panorámica de los glaciares G650437O232270S, G650405O232287S y G650403O232313S

Sector Chañi



Geoformas G657409O240397S y G657362O240381S

Se trata de dos glaciares de escombros activos. En esta perspectiva se ven desde arriba. En el glaciar G657409O240397S se observan taludes sobrepuestos en su parte alta, tiene forma coalescente.



En la geoforma G657362O240381S se ven taludes con fuerte pendiente, de 40° aproximadamente



Detalle de la geoforma G657362O240381S

Geoforma G657414O240418S

Se trata de un glaciar de escombros, en un principio clasificado como GEI, pero según lo observado en el terreno, se cambia a GEA, ya que se ven taludes bien activos. Su espesor es un poco más pequeño en relación a los glaciares (G657409O240397S y G657362O240381S) que tiene alrededor.



Geoforma G657296O240339S

Se trata de un glaciar de escombros. Estaba clasificado como inactivo en primer lugar. En el terreno se observó que está debajo de una pared bien abrupta y en sombra. Presenta importantes taludes de mucha inclinación y bloques grandes en superficie. Por estos rasgos se decide cambiar su clasificación a GEA.



Geoformas G657221O240572S, G657171O240578S, G657103O240558S y G657054O240540S

Se observa una panorámica de estos glaciares de escombros activos. Son de forma coalescente y presentan una exposición hacia el sureste.





Detalle del glaciar G657103O240558S. Se separó de la geoforma que tiene al lado y se clasificó como un glaciar de escombros activo. Se observa más colapsada su superficie y menor pendiente en su frente.



Panorámica de las geoformas G657221O240572S, G657171O240578S, G657103O240558S y G657054O240540S

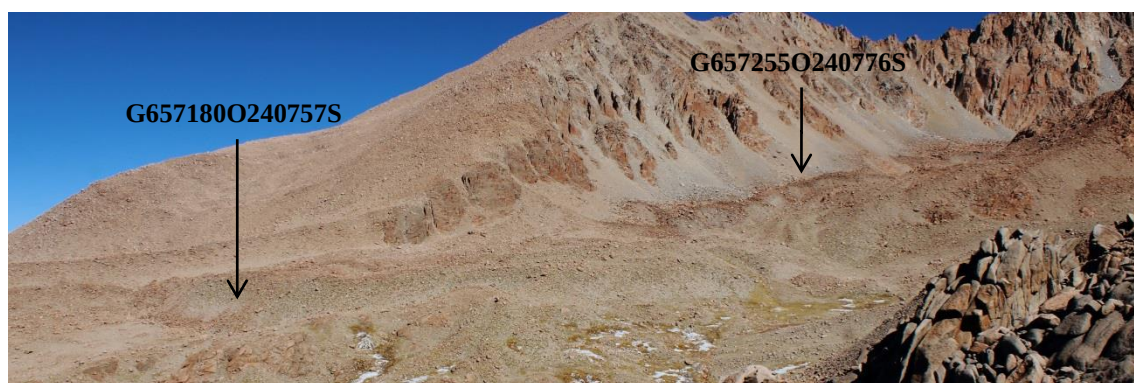
Geoforma G657232O240620S

Se trata de un glaciar de escombros inactivo. Se observa sólo una parte de la geoforma, pero se ve que los rasgos que presenta corresponden con un glaciar inactivo según se había clasificado en gabinete.



Geoformas G657255O240776S y G657180O240757S

Se trata de dos glaciares de escombros. El glaciar G657255O240776S es un glaciar de escombros activo de forma coalescente. La geoforma G657180O240757S es un glaciar ubicado a menor altitud, se trata de un glaciar de escombros inactivo, con forma espatulada.



Geoformas G657440O240463S y G657431O240445S

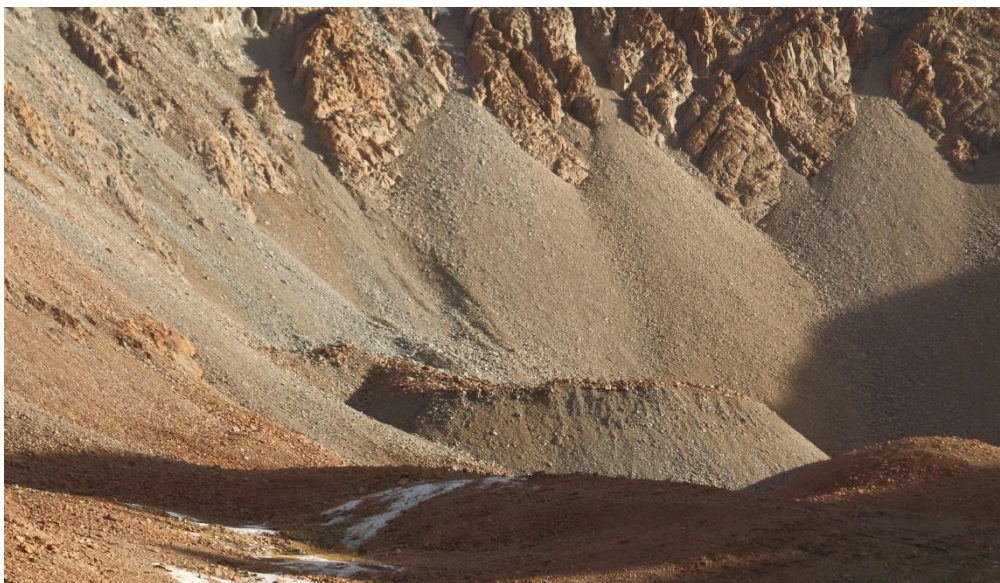
Se trata de dos glaciares de escombros activos. Ambos de origen criogénico y de forma lobada.



Las geoformas G657440O240463S y G657431O240445S vistas desde arriba

Geoforma G657440O240539S

Se trata de un glaciar de escombros activo, de origen criogénico. Se observa su talud con una pendiente muy pronunciada y con material muy fino, a diferencia de los grandes bloques presentes en superficie. Su exposición es hacia el noreste.

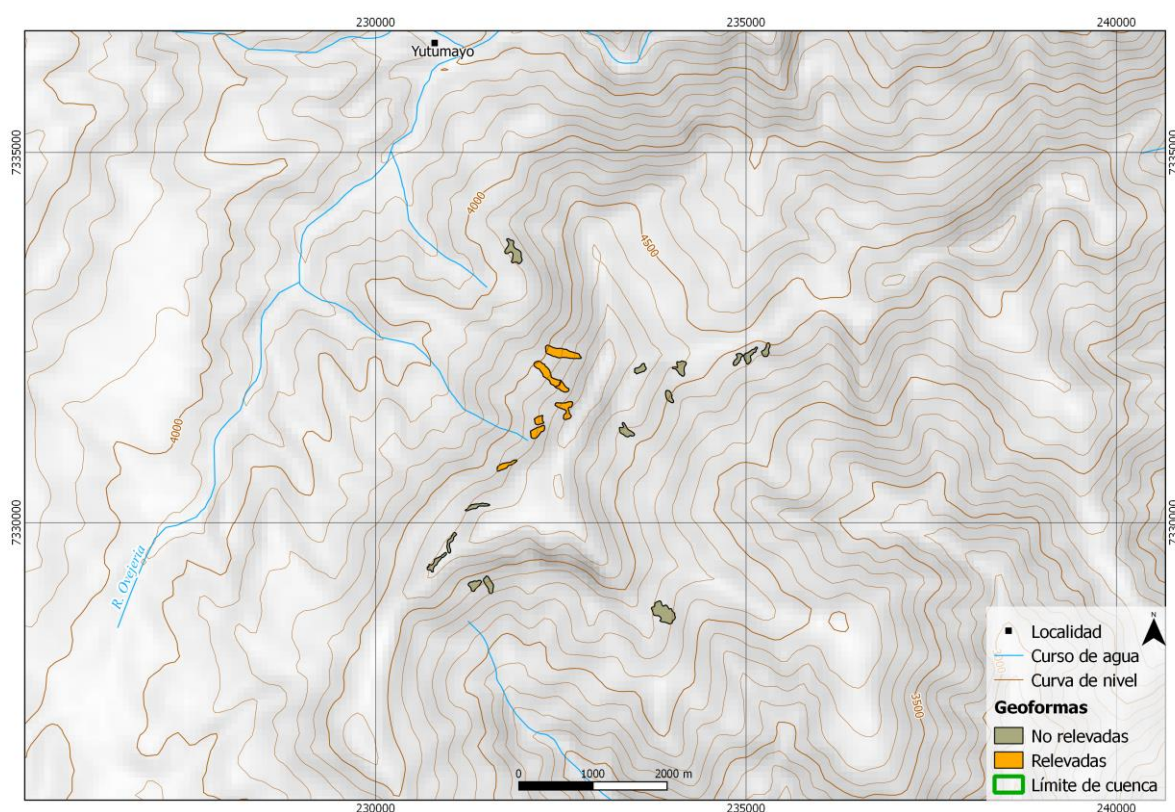


Geoforma G657465O240480S

Este glaciar no estaba mapeado antes de ir al terreno. Se encuentra entre los glaciares G657440O240539S y el G657440O240463S. Se trata de un glaciar de escombros inactivo de origen criogénico. Se caminó por arriba de la geoforma para acceder al otro lado del valle y se pudieron ver rasgos más en detalle de la geoforma.

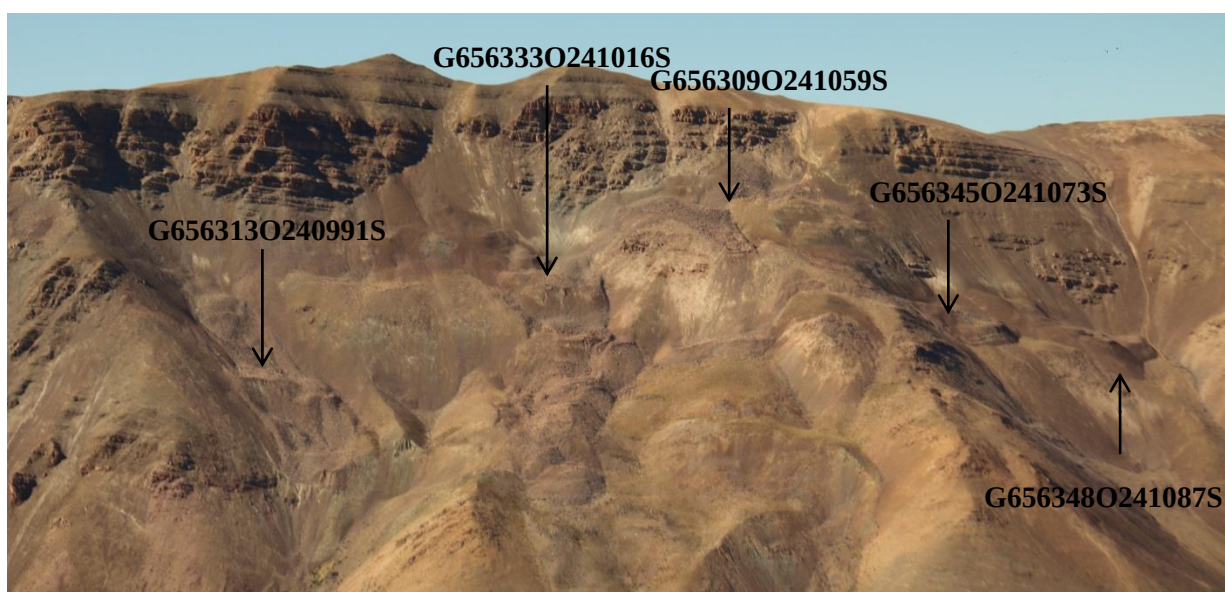


Sector sureste Chañi (Yutamayo)



Geoformas G656313O240991S, G656333O241016S, G656309O241059S, G656345O241073S, G656348O241087S y G656390O241127S

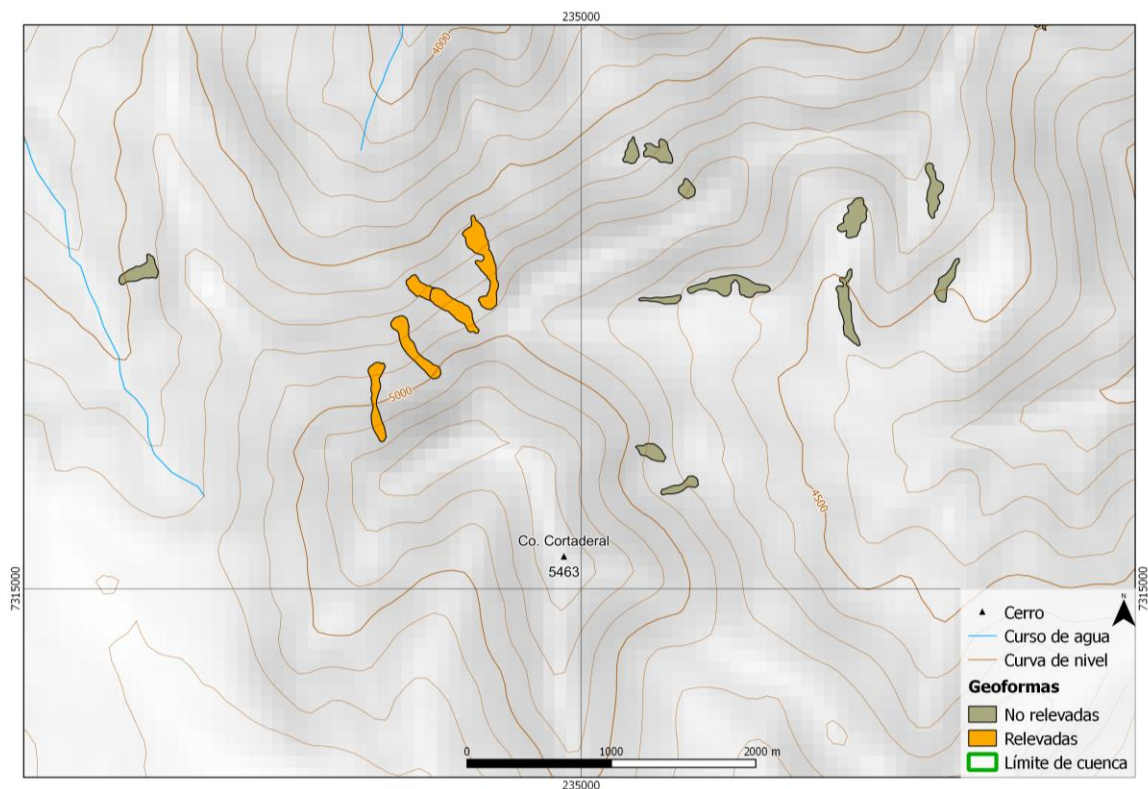
Se observaron estas geoformas, todas glaciares de escombros inactivos, salvo un pequeño sector correspondiente a G656333O241016S que presenta mayor actividad, se observa un talud.



En la foto de abajo se puede ver en detalle el glaciar de escombros inactivo G656390O241127S.

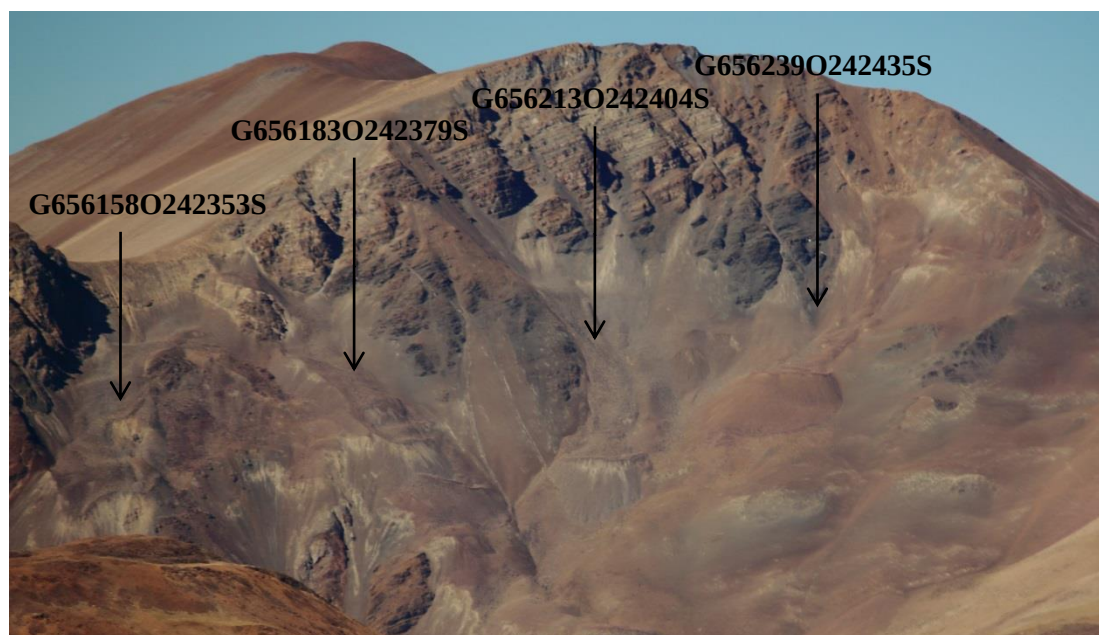


Sector C° Cortaderal

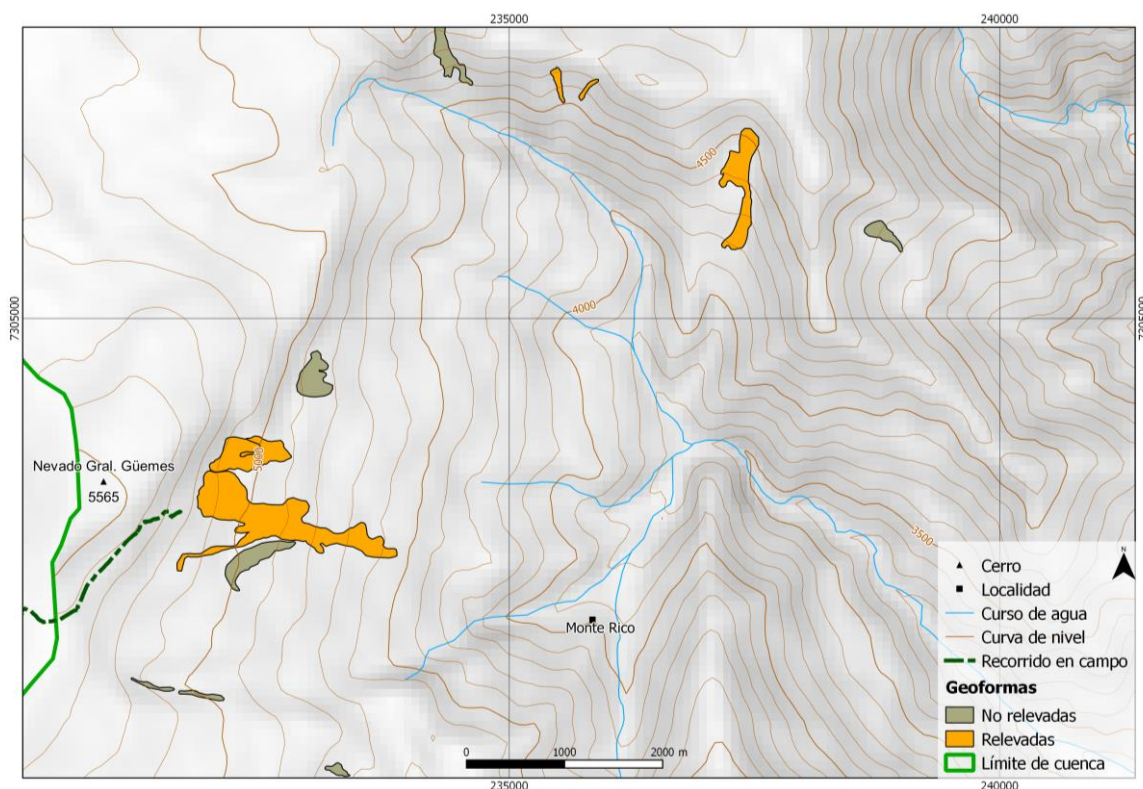


Geoformas G656158O242353S, G656183O242379S, G656213O242404S y G656239O242435S

Estas geoformas fueron observadas desde el cerro Nevado de Chañi. Son todos glaciares de escombros activos, salvo uno de ellos que está formado por una unidad con una parte de glaciar de escombros inactivo (es un glaciar sobreimpuesto).

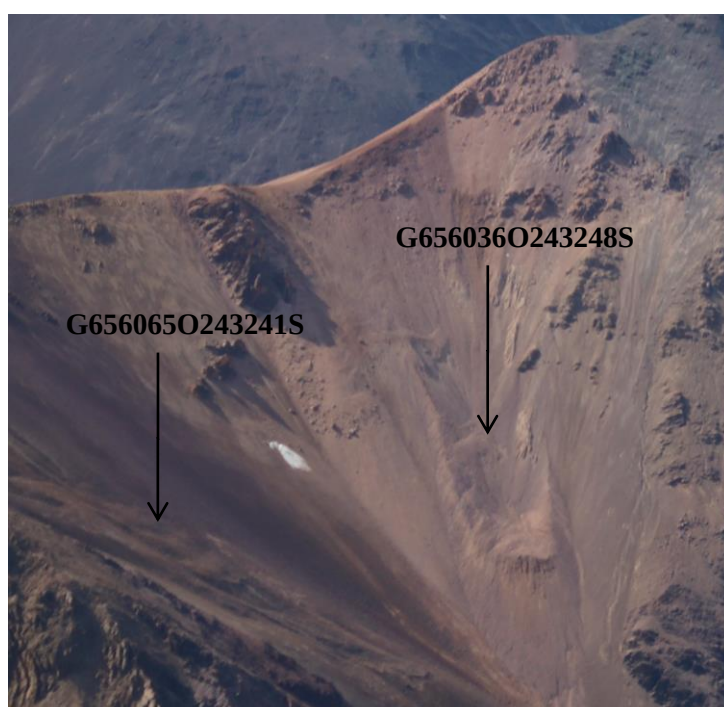


Nevado del Castillo



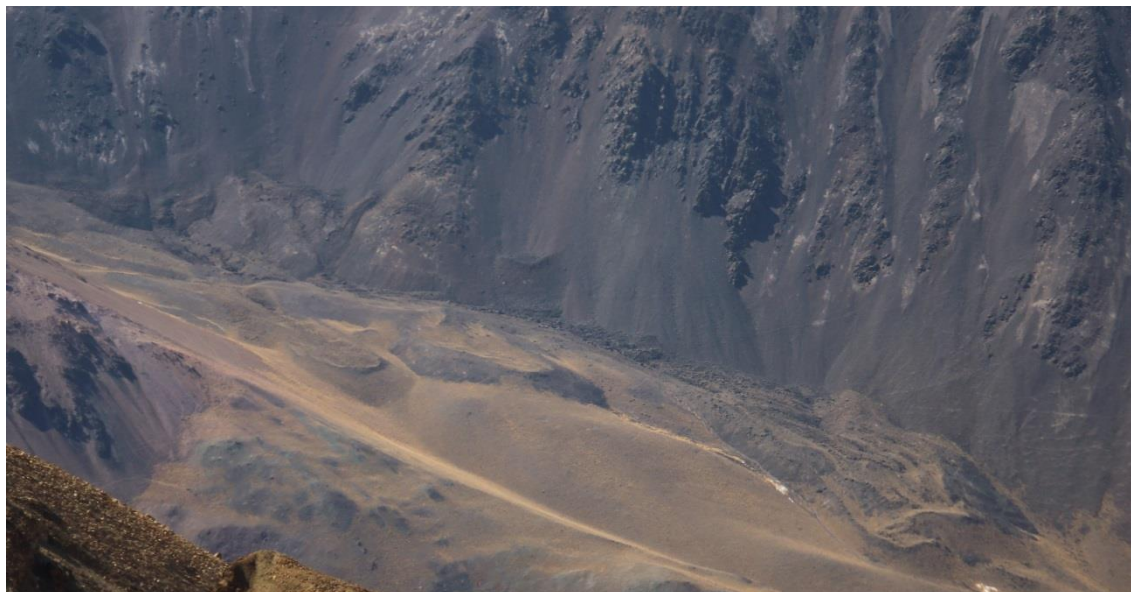
Geoformas G656065O243241S y G656036O243248S

La geoforma G656036O243248S no estaba mapeada previamente, pero como se observa en la foto se trata de un glaciar de escombros activo, por lo que se añadió. El glaciar G656065O243241S es un glaciar de escombros activo, se observa en la foto su parte superior, donde se ven varias crestas superpuestas.



Geoforma G655887O243322S

Se trata de un glaciar de escombros activo de gran tamaño con una forma incierta. Se ven varias lenguas y diferentes estados de actividad dentro de la geoforma, que podrían incluir algunos sectores activos, pero en rasgos generales es un glaciar con poca actividad y superficie colapsada.



Geoformas G656395O243580S y G656359O243639S

Sector complejo de glaciares de escombros. Se tratan de glaciares de origen combinado (criogénico-glacigénico) que nacen a partir de un circo glaciar (alcanzando los 5.181 msnm). Alrededor de estos glaciares se observan otras geoformas que pueden formarse mediante procesos de remoción en masa, por lo que resulta difícil establecer con exactitud los límites del glaciar.

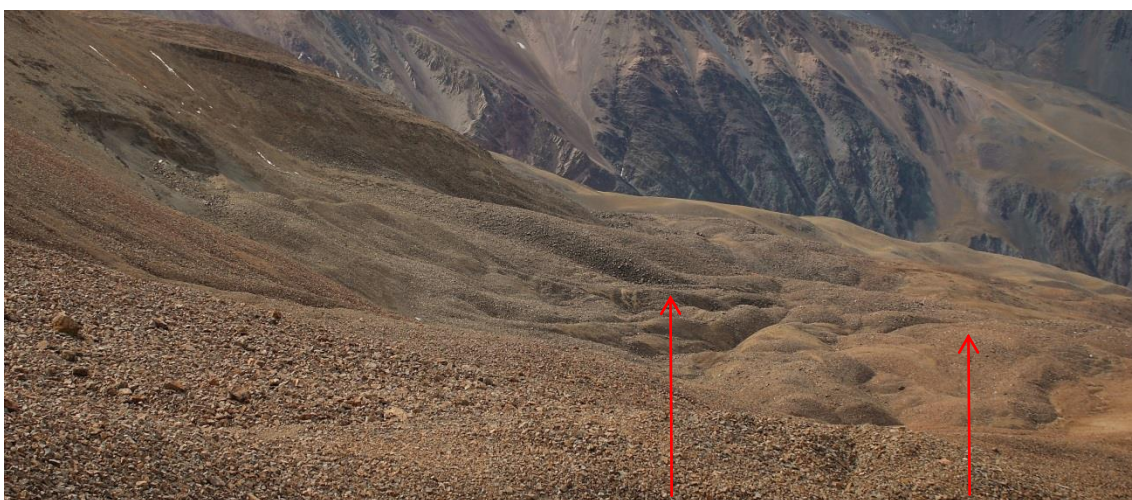


Panorámica de las geoformas G656395O243580S y G656359O243639S



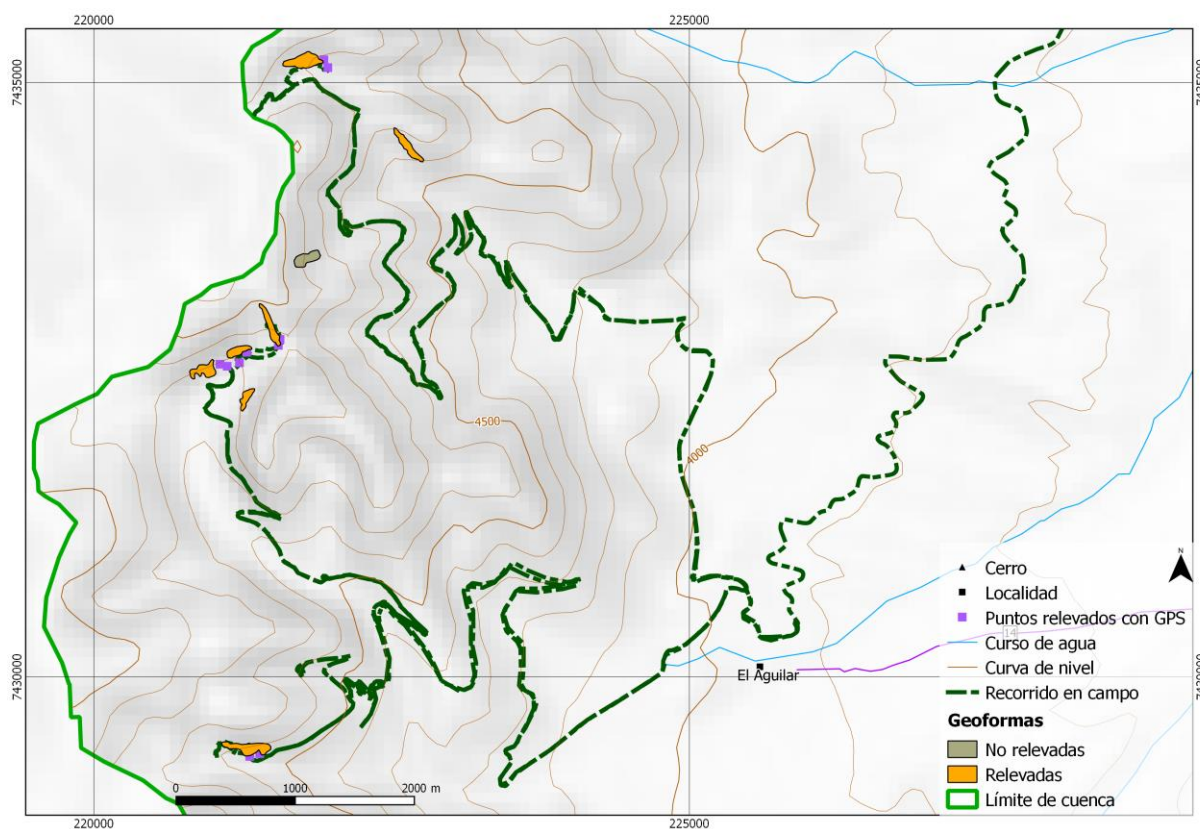
Flechas en el frente del glaciar y G656359O243639S y algunos de sus límites laterales

La geoforma G656395O243580S se trata de una unidad formada por una parte de glaciar de escombros activa y otra inactiva.



Zonas activas e inactivas

Sector Mina Aguilar



Geoformas G657263O231923S y G657236O231909S

La geoforma G657263O231923S es un glaciar de escombros activo, se ve bien el talud y sobre la superficie se observan los bloques que corresponden con la capa activa. El glaciar G657236O231909S es inactivo, se puede ver una superficie más colapsada si lo comparamos con el glaciar del al lado. Tampoco presenta un talud con fuerte pendiente.



Geoforma G657208O231890S

Vemos un glaciar de escombros inactivo, de origen criogénico y con forma de lengua. En la foto se ve a una persona que sirve como escala. La estructura del glaciar está colapsada y no presenta un talud abrupto. Se observa algo de vegetación a su alrededor.



Otra vista de la geoforma G657208O231890S

Geoforma G657229O231945S

Nuevo pequeño glaciar de escombros inactivo. Se encuentra justo enfrente del glaciar G657263O231923S. Tiene una buena zona de aporte y se le ve algo de talud. No tiene vegetación.



Geoforma G657232O232210S

Es un glaciar de escombros inactivo, que está impactado por los caminos que han construido a su alrededor y encima de él.

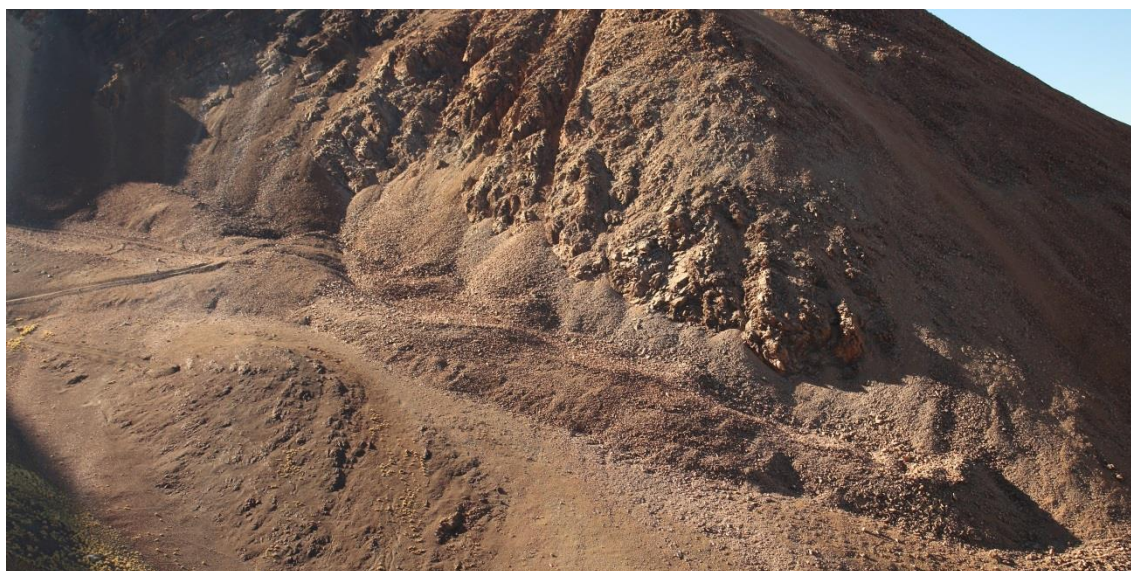




Detalle de la superficie del glaciar G657232O232210S

Geoforma G657093O231755S

Glaciar de escombros inactivo, de origen criogénico y con forma de lengua. La estructura del glaciar está en rasgos generales colapsada y no presenta un talud abrupto. Algún pequeño sector del glaciar podría estar activo aún.



Geoforma G657177O231690S

Glaciar de escombros inactivo. Está impactado por un camino, que atraviesa la parte alta de su zona de alimentación y parte del frente. Presenta una estructura colapsada y frente con poca pendiente. En las proximidades de su frente ya se observa presencia de vegetación.



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 recristalización de la nieve y/o hielo, sin cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento

por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias), y de un área mayor o igual a 0,01 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 nivó-detriticas.
2. Glacigénico: aquellos glaciares de escombros originados a partir de un glaciar descubierto o cubierto.
3. Combinado 1 y 2

19. Actividad del GE

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

20. Forma del GE

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

21. Estructura _I

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

22. Estructura II

0. Incierto
1. Una raíz: una única fuente de alimentación.
2. Multiraíz: un glaciar de escombros que se alimenta de varias fuentes de alimentación o raíces, sea cual fuere su origen.

- 23. Longitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
- 24. Latitud:** coordenadas geográficas de cada polígono (obtenida a partir de un centroide ubicado en el interior del mismo).
- 25. Área:** área de cada polígono expresada en km².
- 26. Largo_total:** largo de cada unidad, considerando la línea de flujo más larga de todo el glaciar, desde la zona más alta, atravesando la unidad hasta el frente de la misma, siempre lo más perpendicular posible a las curvas de nivel. Se expresa en metros (m).
- 27. H_max_total:** Altura máxima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
- 28. H_med_total:** Altura media total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
- 29. H_min_total:** Altura mínima total de la unidad. Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
- 30. Pendiente:** (Se expresa en grados).
- 31. Orientación:** Correspondiente a los 8 puntos cardinales.
- 32. H_max_parcial:** Altura máxima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
- 33. H_med_parcial:** Altura media de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
- 34. H_min_parcial:** Altura mínima de los polígonos que conforman cada unidad (si los hubiere) Se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm).
- 35. Img_ba_F:** Fecha de la imagen de base a partir de la cual se realizó el inventario.
- 36. Img_ba_S:** tipo de sensor que capta la imagen empleada para el inventario (AVNIR, PRISM, CBERS, etc.).
- 37. Img_ap_F:** Fecha de la imagen de apoyo utilizada.
- 38. Img_ap_S:** tipo de sensor que capta la imagen de apoyo empleada.



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación

IANIGLA



CONICET

U. N. C U Y O
GOBIERNO
DE MENDOZA

El 28 de Octubre de 2010 fue promulgada la Ley 26.639 de “Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”. Esta ley contempla, entre otras medidas, la creación de un Inventario Nacional de Glaciares. Este inventario es fundamental para un estudio de largo plazo de los cuerpos de hielo de Argentina, su dinámica, hidrología y relación con el ambiente, definiendo metodologías de mapeo y monitoreo sistemáticos aplicables a las diferentes regiones y condiciones ambientales de nuestro país.

A partir del trabajo realizado por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), con la coordinación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, se han inventariado 16.078 glaciares y geoformas periglaciares en la cordillera de Los Andes y 890 en las Islas del Atlántico Sur, los cuales ocupan una superficie de 5.769 y 2.715 km² respectivamente. El Inventario Nacional de Glaciares describe por primera vez, en un instrumento sistematizado, todos los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional, con toda la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo.

El presente informe describe los resultados del Inventario Nacional de Glaciares de la cuenca del río San Francisco, provincias de Jujuy y Salta.

