

# **Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Plan de actualización**

**Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y  
Ciencias Ambientales**

**Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y  
Técnicas**

**IANIGLA-CONICET**

**Octubre de 2019**



## Contenidos

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1 Objetivos específicos.....	3
3. Avances desde el 2010 en técnicas de inventario y monitoreo de glaciares.....	4
3.1 Definiciones y lineamientos operativos.....	4
3.2 Umbral de perennidad y área mínima.....	5
3.3 Variaciones recientes de glaciares.....	6
3.4 Volumen y significancia hidrológica de los glaciares.....	6
3.5 Cambio climático y glaciares.....	8
4. Propuesta de actualización del ING.....	9
5. Variaciones recientes de los glaciares.....	11
5.1 Variaciones de área, largo y volumen de cuerpos de hielo.....	11
5.2 Cambio de masa y dinámica en cuerpos de hielo de referencia.....	12
6. Significancia hidrológica y volumen de hielo almacenado.....	13
6.1 Aporte hidrológico.....	13
6.2 Volumen de hielo.....	13
7. Estimación del impacto del cambio climático en los glaciares.....	15
8. Publicación de resultados.....	16
Referencias.....	17
Anexo 1.....	23
Anexo 2.....	24

## 1. Introducción

El último informe del Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares indica que las tasas actuales de adelgazamiento de los glaciares a nivel global no tienen precedentes en el último siglo y que se han duplicado desde la década de 1990 (WGMS 2017). Por ejemplo, en los Andes, entre 2000 y 2018 los grandes glaciares de la Patagonia han perdido un promedio de 70 cm de espesor de hielo por año, totalizando un adelgazamiento de casi 14 m (Dussaillant *et al.* 2019). El preocupante retroceso de los glaciares es impulsado en gran parte por el aumento de las temperaturas durante las últimas décadas (Marzeion *et al.* 2014). En los Andes Áridos y parte de los Andes del norte de la Patagonia el proceso de calentamiento global ha sido acompañado por una tendencia negativa de las precipitaciones, originando una sequía de una persistencia y extensión sin antecedentes en el registro histórico. La severidad del periodo seco que comenzó en esta porción de la cordillera en 2010 (y que persiste hasta la actualidad) es tan marcada que ha sido nombrado “Megasequía” (Garreaud *et al.* 2017, 2019, Rivera *et al.* 2017). Los estudios de proyecciones climáticas indican que estas condiciones se agudizarán en el futuro, contribuyendo a una progresiva aridificación de los Andes Centrales y de Patagonia Norte (CR2 2015). Los glaciares de los Andes Argentinos no son ajenos a estas tendencias climáticas, y es muy probable que continúen perdiendo hielo en décadas venideras. La pérdida de volumen de los glaciares reduce su capacidad de regular el régimen y la calidad de los ríos de montaña, haciendo más vulnerables a los ecosistemas y sociedades que dependen de ellos (Huss *et al.* 2017, Díaz *et al.* 2019). Este escenario implica grandes desafíos para el manejo de los recursos hídricos en un contexto de creciente demanda de la sociedad sobre dichos recursos.

En 2015 la República Argentina suscribió al Acuerdo de París (que incluye 185 países hasta el 2019) para reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, con el objetivo de mantener el aumento de la temperatura global en este siglo por debajo de los dos grados centígrados (2°C). En el Acuerdo también se establecieron pautas para limitar aún más el aumento de la temperatura en el futuro, y para incrementar la capacidad de los países para hacer frente a los efectos del cambio climático. Diferentes iniciativas se encuentran actualmente en desarrollo para hacer frente a esta problemática global, que tiene a los ambientes de los Andes entre las regiones más impactadas por cambios en el clima (Johansen *et al.* 2018). En prácticamente todos los casos, estas iniciativas resaltan la necesidad urgente de generar información climática y ambiental actualizada y de calidad junto con planes de educación y comunicación que permitan concientizar a la población y hacer más efectivas y duraderas las medidas de mitigación y adaptación. En este contexto de consenso científico y esfuerzos internacionales coordinados, en 2016 fue creado el Gabinete Nacional de Cambio Climático. Sus objetivos consisten en diseñar políticas públicas coherentes con una mirada estratégica que permitan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y generar respuestas para hacer frente a los impactos del cambio climático.

La publicación del primer Inventario Nacional de Glaciares (ING) de la Argentina en junio de 2018 dio cumplimiento a lo establecido en el Artículo 3 de la Ley 26639 (IANIGLA-Inventario Nacional de Glaciares 2018). Este trabajo en conjunto entre el IANIGLA-CONICET y la entonces Secretaría

de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS), representó no sólo un logro histórico para la política pública, la ciencia y la glaciología de nuestro país, sino también un avance concreto y significativo en la dirección planteada por el Acuerdo de París y el Gabinete Nacional de Cambio Climático. Este primer ING también respondió algunas preguntas fundamentales como: ¿Cuántos glaciares hay en Argentina? ¿Dónde están ubicados? ¿De qué tipo son nuestros glaciares? Gracias a este primer paso histórico hoy sabemos que en Argentina hay 16968 cuerpos de hielo permanente con una superficie de 8484 km<sup>2</sup> (IANIGLA-Inventario Nacional de Glaciares 2018). Sin embargo, este nivel de detalle mínimo aún no es suficiente para conocer cuáles han sido los cambios recientes de los glaciares y criofomas en las distintas zonas, cuál es su significancia hidrológica en los distintos sectores de la cordillera, ni cómo responderían estos cuerpos de hielo ante los cambios en el clima.

Para poder responder a estos interrogantes es necesario actualizar el ING, realizando estudios para conocer los cambios de los glaciares a lo largo de la cordillera, determinar qué tan intensa es la pérdida de hielo, identificar tendencias, y proveer información confiable para desarrollar escenarios futuros. También es fundamental complementar estos análisis con estudios detallados para cuantificar el volumen de hielo almacenado, la contribución de distintos tipos de glaciares a los caudales de los ríos, y la relación entre los glaciares y el clima en diferentes sitios de referencia. La necesidad de actualizar los datos de los glaciares y geoformas periglaciares que actúan como reservas hídricas existentes en el territorio nacional está establecida en la Ley de Glaciares (26639), y se encuentra justificada por el alarmante retroceso que muestra la gran mayoría de los glaciares durante las últimas décadas.

En este documento se presentan en forma resumida los fundamentos y lineamientos científicos que el IANIGLA-CONICET propone para la actualización del ING, según lo establece la Ley 26639 y el decreto reglamentario 207/2011. Estas tareas están basadas en las recomendaciones de los principales organismos científicos internacionales especialistas en la materia (IGS, WGMS, GLIMS e IPA<sup>1</sup>) y en los conocimientos en glaciología, geocriología, cartografía, geografía, hidrología y climatología con que cuentan los especialistas del IANIGLA-CONICET. En esta propuesta de trabajo también se tuvo en cuenta la enorme extensión de terreno montañoso que se pretende monitorear, las dificultades técnicas y logísticas que esto conlleva, los recursos humanos y materiales disponibles, y los tiempos necesarios para cumplir con las metas previstas. Junto con los resultados obtenidos en el primer ING (IANIGLA-Inventario Nacional de Glaciares 2018), los nuevos datos que se obtendrán con esta actualización permitirán contar con información comparable, confiable, completa y actualizada de los cuerpos de hielo que actúan como reservas hídricas en el país. Esta información es fundamental para el estudio de los impactos del cambio climático en los Andes, para un manejo y protección efectivos de las reservas y recursos hídricos andinos, y para la formulación de medidas de mitigación y adaptación en todas las cuencas hídricas con glaciares del oeste argentino.

---

<sup>1</sup> IGS: *International Glaciological Society*, WGMS: *World Glacier Monitoring Service*, GLIMS: *Global Land Ice Measurements from Space* e IPA: *International Permafrost Association*.

## 2. Objetivos

El principal objetivo del Inventario Nacional de Glaciares consiste en identificar, caracterizar y monitorear los glaciares y crioformas que actúan como reservas hídricas estratégicas en la República Argentina, estableciendo los factores ambientales que regulan su comportamiento, y determinando la significancia hidrológica de estos cuerpos de hielo a la escorrentía andina.

Este objetivo general, y las tareas de actualización del ING que el IANIGLA-CONICET propone en este documento, se enmarcan en los artículos 3, 4 y 5 de la Ley 26639 y en la resolución 1141/15 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

El presente plan de actualización del Inventario Nacional de Glaciares fue elaborado por el IANIGLA y puesto a consideración del CONICET, como paso previo del envío al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. El CONICET consideró oportuno que se conforme una Comisión que incluya especialistas en la materia para analizar dicho plan de actualización.

A partir de las propuestas de CONICET y la Universidad Nacional de Cuyo, se conformó un grupo de especialistas. Se tuvo en cuenta además, la respuesta de la provincia de Mendoza, que se abstuvo de revisar el documento, manifestando que “las tareas de producción y análisis de tareas eminentemente investigativas le corresponden a esos ámbitos científicos y académicos y a la Provincia aquellas cuestiones que hacen a la gestión y aplicación de esos conocimientos en el territorio”.

El grupo de especialistas se reunió en dos ocasiones, coordinadas por CONICET, la primera de ellas el jueves 17 de septiembre y la segunda el viernes 2 de octubre de 2020. Como resultado de estas reuniones, se elaboró un informe que se presentó al Directorio de CONICET (Anexo 2). Las recomendaciones surgidas de este informe fueron puestas a consideración del IANIGLA para que las evalúe e incorpore aquellas que considere necesario para fortalecer la presentación de la propuesta, antes de ser elevada al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. Las modificaciones surgidas a partir de las sugerencias del grupo de especialistas están incluidas en este documento.

### 2.1. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente plan de trabajo son:

1. Actualizar el Inventario Nacional de Glaciares a partir de imágenes satelitales obtenidas en el periodo 2015-2020.
2. Analizar las variaciones durante los últimos años/décadas de glaciares seleccionados en las diferentes regiones de los Andes.
3. Estimar el volumen de hielo actual y el aporte hídrico de los cuerpos de hielo inventariados a la escorrentía de los ríos andinos.
4. Realizar estimaciones sobre los impactos que el cambio climático podría tener en los glaciares de Argentina.

### 3. Avances desde el 2010 en técnicas de inventario y monitoreo de glaciares

#### 3.1. Definiciones y lineamientos operativos

A nivel mundial, las definiciones de los cuerpos de hielo y los lineamientos generales para la realización de inventarios de glaciares se basan en estándares de organismos científicos de referencia como el WGMS y la IPA (UNESCO/IASH 1970, Harris *et al.* 1988, WGMS 2017). Estos estándares fueron la base del primer ING, tienen vigencia en la actualidad, y por lo tanto serán utilizados en el presente plan de actualización. Estas definiciones y lineamientos permiten además identificar cuerpos de hielo que cumplen con la condición de ser reservas estratégicas de agua en estado sólido, característica principal que debe tener toda unidad para ser incluida en el ING según el Artículo 3 de la Ley 26639.

Para la actualización del ING se propone 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. Además, debido a sus características físicas, pueden ser identificados y delimitados en forma precisa en base a imágenes satelitales.

**Glaciar (descubierto y cubierto):** cuerpo de hielo permanente generado sobre suelo a partir de la recristalización de la nieve y/o hielo debido a la compactación de su propio peso, sin o con cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) o no y de un área mayor o igual que 0,01 km<sup>2</sup>. Dentro de esta definición de glaciar se propone incluir a los manchones o campos de nieve permanentes que, como no tienen evidencia de movimiento, en general no se consideran glaciares. Sin embargo, los manchones o campos de nieve permanentes son reservas significativas de agua en estado sólido.

**Glaciar de escombros:** cuerpo de detrito congelado y hielo, con evidencias de movimiento por acción de la gravedad y deformación plástica del permafrost, cuyo origen está relacionado con los procesos criogénicos asociados con suelo permanentemente congelado y con hielo subterráneo o con el hielo proveniente de glaciares descubiertos y cubiertos, y de un área mayor o igual que 0,01 km<sup>2</sup>.

En la presente actualización del ING (al igual que se hizo en el primer ING) se propone incluir dentro del ambiente periglacial a los glaciares de escombros, porque al estar formados por suelo permanentemente congelado sobresaturado en hielo son los más importantes desde el punto de vista de reserva hídrica (Corte 1976, Schrott 1996, Azócar & Brenning 2010, Jones *et al.* 2018). Es precisamente el alto contenido de hielo el que favorece la reptación del suelo permanentemente congelado de montaña (Haeberli 1985, Barsch 1996). Este movimiento es el que genera los rasgos característicos superficiales (crestas y surcos transversales y longitudinales) que permiten identificar a los glaciares de escombros en las imágenes satelitales (Haeberli 1985, Trombotto Liaudat *et al.* 2014, Jones *et al.* 2019). En el ambiente periglacial andino existen otras geofomas que pueden contener hielo en su interior (Trombotto Liaudat *et al.* 2014). Sin embargo, en la

actualidad no hay suficientes antecedentes que cuantifiquen de forma fehaciente la significancia hidrológica de estas crioformas.

### 3.2. Umbral de perennidad y área mínima

En la naturaleza no existe un límite taxativo entre las masas de hielo perennes y las estacionales, por ello todos los inventarios de glaciares utilizan un umbral de perennidad para separar las reservas de agua en estado sólido que actúan a largo plazo, de aquéllas que actúan a escala estacional. El umbral de perennidad de 2 años, utilizado en el primer inventario, es el indicado por GLIMS para el inventario y monitoreo de glaciares a través de imágenes satelitales (Paul et al. 2010) y para la definición de permafrost de la IPA (Harris *et al.* 1988).

A los fines prácticos y operativos, todo proyecto cartográfico (como lo es cualquier inventario de glaciares) requiere que se defina un tamaño mínimo de superficie para que un elemento o unidad pueda ser incluido en el mapeo (Campbell 2011). El umbral de área mínima puede considerarse como el límite inferior para mapear glaciares con cierta certeza (Paul *et al.* 2010). También, corresponde al menor tamaño que puede ser identificado con seguridad a partir de satélites de observación terrestre que operan a una resolución espacial media de 15 a 30 metros (por ejemplo: Terra ASTER, ALOS, SPOT-HRV, Landsat TM/ETM+/OLI). Además, estas imágenes cubren amplias extensiones bajo las mismas condiciones de adquisición, y aseguran disponibilidad para lograr una cobertura global del país. Por el contrario, las imágenes satelitales de alta resolución espacial, que permiten obtener mayor nivel de detalle, cubren extensiones menores y se requiere un número mayor de escenas para cubrir un mismo espacio. Por lo tanto, la cobertura es más heterogénea y las imágenes disponibles no siempre aseguran tener las condiciones necesarias para poder ser empleadas en un inventario de glaciares de la extensión regional como la República Argentina (por ejemplo: libres de nubes y/o de nieve estacional). En este sentido, actualmente, las imágenes de resolución espacial media son las recomendadas para realizar mapeos homogéneos y coherentes de grandes extensiones de terreno (Paul *et al.* 2010).

Los dos programas referentes a nivel internacional en materia de inventario de glaciares, el programa global de mapeo de glaciares GLIMS (*Global Land Ice Measurements from Space*) y el RGI (The Randolph Consortium *et al.* 2014, RGI Consortium 2017) especifican un umbral de 0,01 km<sup>2</sup> como un límite recomendable para compilar información de inventario y monitoreo de glaciares a través de imágenes satelitales. Además, una revisión bibliográfica de publicaciones recientes en materia de inventarios nacionales y regionales de glaciares, comparables con el ING de Argentina, indica que los mismos han sido realizados teniendo en cuenta un tamaño mínimo de unidad cartográfica que varía entre 0,1 y 0,01 km<sup>2</sup> (Tabla 1).

Es por ello que tanto el primer ING como el presente plan de actualización definen un umbral de 0,01 km<sup>2</sup> y 2 años de permanencia para los elementos a ser incluidos en el inventario. Estos criterios permiten disminuir la incertidumbre en la definición cartográfica, hacen que los inventarios sean homogéneos y coherentes a lo largo del país, y permiten comparar los mapas de glaciares provenientes de cuencas, regiones y/o fechas diferentes.

**Tabla 1. Estudios recientes de inventarios de glaciares.**

Región o país	Área mínima utilizada (km <sup>2</sup> )	Referencia
Chile	0,01	Barcaza <i>et al.</i> 2017
Patagonia (Ar/Ch)	0,025	Meier <i>et al.</i> 2018a
Alaska	0,025	Kienholz <i>et al.</i> 2015
Francia	0,01	Gardent <i>et al.</i> 2014
Perú	0,01	Burns & Nolin 2014
China	0,01	Guo <i>et al.</i> 2015
Himalaya	0,01	Nagai <i>et al.</i> 2016
Karakoram y Pamir	0,02	Mölg <i>et al.</i> 2018a
Norte de Asia	0,01	Earl & Gardner 2016
Asia	0,05	Nuimura <i>et al.</i> 2015

### 3.3. Variaciones recientes de glaciares

En algunas zonas de la cordillera se han realizado investigaciones detalladas sobre cambios en la extensión y posición del frente de los glaciares en las últimas décadas (Falaschi *et al.* 2014, Paul & Mölg 2014, Masiokas *et al.* 2015, 2016, Falaschi, Bolch, *et al.* 2016) y en algunos casos en los últimos siglos (Masiokas *et al.* 2009, Leclercq *et al.* 2012, Ruiz *et al.* 2012). También se han analizado cambios volumétricos en algunos sectores de la cordillera, donde en general se observa un claro adelgazamiento y pérdida de masa durante las últimas décadas (Willis *et al.* 2012, Falaschi, Bolch, *et al.* 2016, Ruiz *et al.* 2017, Falaschi *et al.* 2018)

Muy recientemente, una evaluación exhaustiva de los cambios de espesor de los glaciares en los Andes durante el periodo 2000-2018 (Dussaillant *et al.* 2019) demostró que las tasas más negativas ( $-0.86 \pm 0.27$  metros de agua equivalente por año, en promedio) se encuentran en los Andes del sur de la Patagonia. Los glaciares del norte de la Patagonia y de Tierra del Fuego también mostraron tasas de adelgazamiento muy altas ( $-0.57 \pm 0.22$  y  $-0.48 \pm 0.27$  m agua eq. por año, respectivamente). En los Andes Centrales las tasas de adelgazamiento fueron ligeramente menores ( $-0.31 \pm 0.19$  m agua eq. por año), mientras que los Andes Desérticos mostraron en promedio cambios menos pronunciados ( $-0.12 \pm 0.17$  m agua eq. por año). Análisis adicionales de cambio de espesor para los periodos 2000-2009 y 2009-2018 demostraron que en las regiones del sur de la Patagonia y Tierra del Fuego los valores de adelgazamiento anual de los glaciares no difieren significativamente de un período a otro. Por el contrario, en el norte de la Patagonia y en los Andes Centrales y Desérticos las tasas de cambio de elevación fueron cercanas a cero o ligeramente positivas durante el primer subperíodo, pero negativas o muy negativas durante el segundo subperíodo. La tasa de cambio de espesor promedio, ponderada para estas tres regiones, disminuyó de  $0.04 \pm 0.18$  m agua eq. por año entre 2000 y 2009, a  $-0.63 \pm 0.18$  m agua eq. por año entre 2009 y 2018 (Dussaillant *et al.* 2019).

### 3.4. Volumen y significancia hidrológica de los glaciares

En los últimos años se han producido avances significativos en el conocimiento del volumen de hielo contenido en los glaciares (Carrivick *et al.* 2016, Farinotti *et al.* 2019, Millan *et al.* 2019).



También han habido avances importantes para cuantificar la cantidad de hielo presente en los glaciares de escombros (Ikeda & Matsuoka 2002, Monnier & Kinnard 2013, Janke *et al.* 2017, Jones *et al.* 2018) y en los posibles impactos del cambio climático en su dinámica (Haerberli 2013, Deline *et al.* 2015, Iribarren Anacona *et al.* 2015). La importancia de los glaciares de escombros como reservas de agua en zonas áridas también ha sido reconocida tanto a escala regional como global (Rangecroft *et al.* 2015a, Schaffer *et al.* 2019, Jones *et al.* 2018). Junto con los glaciares, estos cuerpos de hielo constituyen una reserva hídrica de carácter estratégico y pueden desempeñar un papel hidrológico significativo durante períodos secos prolongados o cuando la mayor parte de la nieve estacional ha desaparecido de las montañas (Gascoin *et al.* 2011; Radic y Hock 2014). Farinotti *et al.* (2019), estiman que los glaciares en los Andes del Sur (Argentina y Chile) contienen un volumen de agua equiparable a 1,2 cm de aumento del nivel del mar, los que representan aproximadamente el 5 % del volumen glaciar en zonas de montaña (sin contar Groenlandia y la Antártida). Por su parte, Jones *et al.* (2019), concluyen que los Andes del Sur contienen el mayor volumen de hielo preservado en glaciares de escombros del mundo.

En los Andes del centro de nuestro país, la nieve estacional constituye el principal aporte a los caudales de los ríos (por ejemplo, Masiokas *et al.* 2006). La relevancia hidrológica de las masas de hielo permanentes se ha incrementado en los últimos años debido a la preocupante falta de nieve que viene afectando esta región desde el 2010. Dussaillant *et al.* (2019) reportaron que, después de 2009, la escorrentía superficial de los ríos San Juan y Mendoza disminuyó un 46% y 28% respectivamente, con respecto al periodo 2000-2009. Este fenómeno estuvo acompañado por un aumento sustancial en la pérdida de hielo en estas cuencas, lo que ayudó en parte a mitigar los impactos de la sequía contribuyendo entre 5% y 8% de la descarga total de estos ríos (Dussaillant *et al.* 2019). Estos valores de contribución glaciar, que representan estimaciones cuasi-decadales, serían probablemente mayores si pudieran analizarse de forma estacional y hacia el final del verano, cuando el aporte de la poca nieve existente alcanza valores cercanos a los mínimos anuales (Gascoin *et al.* 2011, Radic & Hock 2014).

En el sur de la Patagonia, la cuenca del río Santa Cruz contiene casi 3000 km<sup>2</sup> cubiertos por glaciares en la porción oriental del Campo de Hielo Patagónico Sur (Zalazar *et al.* 2020). Esta enorme extensión de hielo y la presencia de dos grandes lagos (Viedma y Argentino, con un área total de unos 2500 km<sup>2</sup>) tienen una fuerte influencia en el régimen hidrológico de este caudaloso río, que muestra caudales máximos a fines del verano cuando el aporte glaciar alcanza su apogeo, y un mínimo al final del invierno antes del inicio de la temporada de fusión (Depetris & Pasquini 2000, Pasquini & Depetris 2011; Masiokas *et al.* 2019). En esta cuenca también se registra un fenómeno poco común generado por el endicamiento de los brazos Sur y Rico del Lago Argentino, producto del avance esporádico del glaciar Perito Moreno sobre la península Magallanes (Depetris & Pasquini 2000, Pasquini & Depetris 2011). El aumento del nivel del agua y la presión que genera rompen eventualmente el dique de hielo, provocando el drenaje súbito de una enorme cantidad de agua hacia el lago argentino. Más allá de la espectacularidad visual de estos eventos de ruptura del frente del glaciar (famosos a nivel mundial), este aporte de agua extra en la parte alta de la cuenca puede llegar a duplicar en pocos días el caudal del río Santa Cruz, manteniéndolo por encima de los valores previos al evento por varias semanas. Estos

eventos esporádicos demuestran nuevamente el fuerte impacto hidrológico que las variaciones de los glaciares pueden tener en las cuencas hídricas andinas.

### 3.5. Cambio climático y glaciares

Gracias a la disponibilidad de pronósticos climáticos a largo plazo basados en los diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero propuestos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC 2014), se han realizado predicciones del volumen de los glaciares para el siglo XXI a nivel local, regional y global (Marzeion *et al.* 2012, Chaturvedi *et al.* 2014, Réveillet *et al.* 2015). En este sentido es importante destacar que la gran cantidad y enorme extensión que abarcan los glaciares de los Andes del Sur de Sudamérica constituyen una importante fuente potencial de aumento del nivel del mar (Marzeion *et al.* 2017).

Recientemente, Hock *et al.* (2019) realizaron la primera comparación de modelos numéricos glaciológicos que analizan el cambio de volumen futuro de glaciares según diferentes modelos climáticos y posibles escenarios climáticos. Según estos autores, dependiendo del escenario, es posible que entre un 30% (RCP 2.6) y un 60% (RCP 8.5) del volumen total de glaciares en los Andes del Sur (Argentina y Chile) desaparezca para fines de este siglo. En forma general, es esperable que aquellas regiones con pequeños glaciares sean las más afectadas. Sin embargo, debido a las diferencias en los tipos y tamaños de los glaciares, así como también de las condiciones climáticas a lo largo de los Andes, el impacto de los cambios futuros y sus consecuencias en la disponibilidad y calidad de agua, afectará de manera diferencial a lo largo de nuestro país.



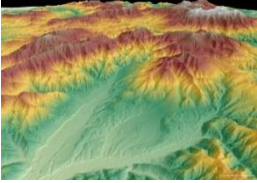
## 4. Propuesta de actualización del ING

El IANIGLA-CONICET propone realizar la actualización de todos los glaciares incluidos en el primer ING en base a imágenes satelitales ópticas y radar de resolución espacial alta y media del período 2015-2020 (Tabla 2). Esto implica un intervalo típico de 5-10 años entre los mapeos lo que permite detectar los cambios ocurridos. Se priorizarán las imágenes más recientes disponibles dentro de este intervalo, siempre buscando en el caso de las imágenes ópticas la menor interferencia por cobertura de nieve estacional y nubes. En caso de no estar disponibles en algún sitio imágenes de la calidad necesaria para el período propuesto, se utilizarán imágenes de otras fechas, pero en todos los casos las mismas deberán ser posteriores a las utilizadas en el primer ING. Se utilizarán imágenes disponibles de manera gratuita y por convenio con CONAE. Para esta actualización se propone realizar visitas de campo sólo en aquellas zonas donde se estime necesario.

Para la actualización de los límites del hielo descubierto del ING se utilizará el primer inventario como base y métodos de extracción semi-automáticos y edición manual basada en una interpretación visual de las imágenes. La extracción semi-automática de hielo descubierto (aplicación de cocientes de bandas, índice de nieve y clasificaciones supervisadas, entre otros) sigue siendo uno de los métodos más rápidos, robustos y precisos empleados en la realización de inventario de glaciares (Paul *et al.* 2013, Meier *et al.* 2018, Mölg *et al.* 2018). Estos métodos son además los más adecuados para aplicar en grandes extensiones de terreno, como es el caso de la Cordillera de los Andes de Argentina. En caso de ser necesario comprobar la perennidad de un cuerpo de hielo se recurrirá a imágenes satelitales de al menos dos años de antigüedad considerando la escena utilizada como base de la actualización.

Si bien se espera que las áreas de hielo cubierto y los glaciares de escombros no cambiarán sustancialmente, la disponibilidad de nuevas imágenes permitirá, en algunos casos, mejorar la delimitación. Por lo tanto, los límites del hielo cubierto por detritos y los glaciares de escombros serán ajustados mediante digitalización manual en base a imágenes satelitales de alta resolución espacial. La digitalización manual es considerada el método más preciso para la identificación de este tipo de coberturas (Stokes *et al.* 2007, Barcaza *et al.* 2017, Jones *et al.* 2018, Mölg *et al.* 2018). En este caso no es recomendable la utilización de métodos semi-automáticos debido a que las características espectrales del hielo cubierto y glaciares de escombros son muy similares a las superficies que los rodean (Rangecroft *et al.* 2015, Janke *et al.* 2017).

**Tabla 2. Información satelital disponible y aplicación.**

Fuente	Satélite	Tipo	Resolución espacial	Uso
Imágenes satelitales	SENTINEL 2A,2B LANDSAT 8 ASTER SPOT 4	Óptica	10 y 20m 30m 15m 10 y 20m	Hielo descubierto y manchones de nieve perenne 
	HRC (CBERS2) *SPOT 5 *SPOT 6 y 7 *CBERS 4A SAOCOM 1A y 1B Cosmo-Skymed	Óptica Radar	2,5m 2,5, 5 y 10m 1,5 y 6m 2 y 16m 10-100m 1-100m	Hielo cubierto y glaciares de escombros 
Modelos digitales de elevación	Pléiades ALOS PRISM DEM SRTM ALOS PALSAR DEM TanDEM-X MDE-Ar	Óptica Radar	0,5 y 4 m 30 m 30 y 90 m 12,5 y 30 m 90 m 30 m	Mapeo y topografía superficial 

\*También se pueden emplear para identificar hielo descubierto

La base de datos que incluirá la actualización del ING mantendrá los 38 campos del primer inventario de glaciares (IANIGLA-CONICET 2010). Se actualizará la información de aquellos campos donde sea necesario recalcular parámetros físicos de las geoformas, y se detallarán las fechas y características de las nuevas imágenes de base empleadas. Es muy importante, antes de comenzar con las tareas de actualización, considerar la incorporación de nuevo personal y su capacitación continua, dado que la identificación y digitalización manual dependen de la formación y experiencia del operador.

## 5. Variaciones recientes de los glaciares

### 5.1. Variaciones de área, largo y volumen de cuerpos de hielo

Para conocer la situación actual de los glaciares en nuestro país es necesario desarrollar un análisis que incluya información detallada de sus variaciones recientes. Para ello se propone la selección de macizos montañosos o sectores que agrupen varios glaciares y/o crioformas representativas en cada una de las regiones (Figura 1 y Tabla 3). Las variaciones de los cuerpos de hielo se identificarán y mapearán a partir de imágenes satelitales que abarquen aproximadamente los últimos 30 años. Se buscará tener al menos una medición cada cinco años durante el periodo analizado. Para conocer los cambios recientes en el espesor de los cuerpos seleccionados se realizarán comparaciones entre Modelos Digitales de Elevación (MDE) de libre disponibilidad de distintas fechas, siguiendo la metodología utilizada en estudios recientes en los Andes (Willis *et al.* 2012, Pitte *et al.* 2016, Dussailant *et al.* 2018, 2019, Ferrri Hidalgo *et al.* 2020).

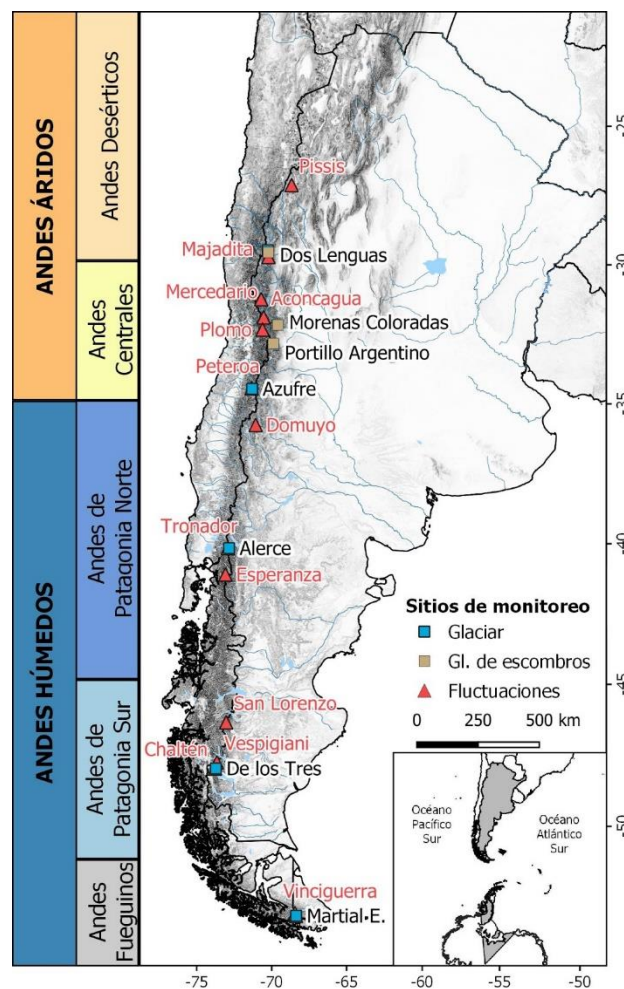


Figura 1. Mapa donde se indican los sitios de monitoreo de balance de masa glaciar, glaciares de escombros y fluctuaciones de glaciares. En los sitios de monitoreo de balance de masa y glaciares de escombros se instalaron estaciones meteorológicas e hidrológicas.

## 5.2. Cambio de masa y dinámica en cuerpos de hielo de referencia

En los glaciares descubiertos, el balance de masa es un indicador de su “estado de salud” y permite conocer la relación con las principales variables atmosféricas (precipitación, temperatura, etc.). Las mediciones de balance de masa y variables atmosféricas se vienen realizando en sitios de referencia a lo largo de los Andes (ver Figura 1) y son la base para interpretar los cambios de forma (largo y área), volumen y dinámica de glaciares obtenidos a partir de datos de sensores remotos.

Las mediciones para conocer el balance de masa se continuarán en glaciares de referencia (Figura 1 y Tabla 2 en Anexo 1) y siguiendo el método tradicional de balizas y calicatas (pozos de nieve) con pequeños ajustes dependiendo de las características de cada sitio. En aquellos lugares donde existe una gran acumulación y no sea posible medir la distribución de nieve correctamente utilizando sólo calicatas, se utilizará un radar de penetración terrestre (GPR). En los Andes Centrales y Desérticos la sublimación (cambio de estado del agua de sólido a gaseoso en forma directa) puede ser un proceso de pérdida de hielo muy importante. Por ello, en estas regiones se considerará este componente de la ablación en estudios complementarios de balance energético.

La topografía superficial de los glaciares descubiertos de referencia se obtendrá a partir de MDE de alta resolución espacial (2 a 4 metros tamaño de pixel, Tabla 2). A partir de las imágenes ortorrectificadas se realizarán los mapas del contorno y de los rasgos superficiales de estos glaciares. La velocidad superficial se obtendrá con una combinación de mediciones de campo (desplazamiento de balizas medidas con GPS en modo diferencial) junto con información de sensores remotos (correlación cruzada de las imágenes de satélite, LePrince *et al.* 2007, Ruiz *et al.* 2015). Estas técnicas tienen precisiones estimadas del orden de algunos decímetros, lo que permite medir tanto las velocidades de los grandes glaciares de descarga de Patagonia como los más pequeños glaciares de montaña.

Los glaciares de escombros tienen velocidades de desplazamiento, variaciones de área y cambios de volumen de menor magnitud que los glaciares descubiertos, por lo que requieren estudios con técnicas específicas. El contenido de hielo, el espesor del permafrost, y las condiciones térmicas de los glaciares de escombros condicionan el espesor y la velocidad de los cuerpos (Ikeda & Matsuoka 2002, Kääb *et al.* 2002). Para estudiar la dinámica de estas geofomas se utilizarán imágenes de radar por satélite y técnicas interferométricas (DInSAR) que permiten la detección de cambios en la superficie terrestre del orden de unos pocos centímetros (Strozzi *et al.* 2010, Liu *et al.* 2013, Villarroel *et al.* 2018).

## **6. Significancia hidrológica y volumen de hielo almacenado**

### **6.1. Aporte hidrológico**

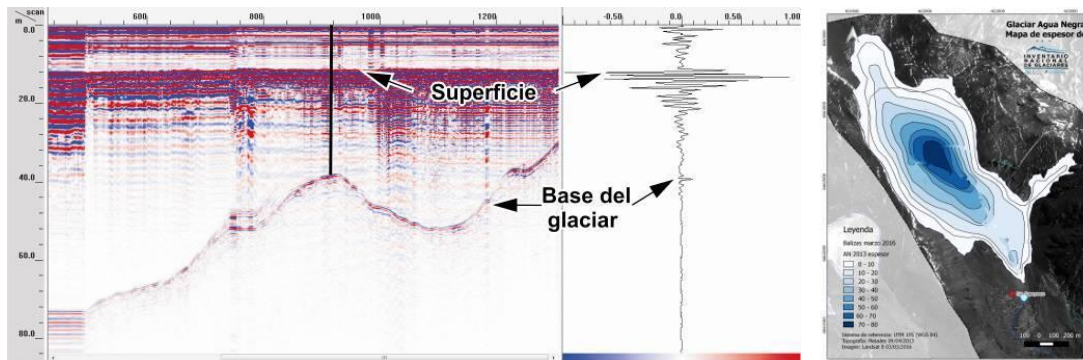
La cuantificación del aporte hídrico de los cuerpos de hielo puede estimarse utilizando mediciones de escorrentía superficial en arroyos proglaciales y distintos modelos numéricos. En este plan de trabajo se propone continuar con las mediciones automáticas de caudales en sitios elegidos junto con la realización de aforos (Tabla 3 en Anexo 1, Figura 1). En el caso de los glaciares de escombros también se propone realizar perforaciones superficiales (<10 m) donde se instalarán termistores o termómetros digitales a diferentes profundidades (Hernández 2002, Trombotto Liaudat & Borzotta 2009) para conocer los ciclos estacionales de congelamiento y descongelamiento de la capa activa y su relación con los caudales medidos en cada sitio.

También se propone continuar con los registros meteorológicos para determinar gradientes altitudinales de las distintas variables observadas, diferencias en distribución y cantidad de nieve acumulada en distintos sectores, y flujos energéticos en sitios seleccionados. Estos datos permitirán correlacionar los regímenes de los caudales erogados por los glaciares y/o criofomas con las variaciones observadas en las estaciones meteorológicas. Además, se propone instalar un sistema de transmisión satelital de datos en cada una de las estaciones meteorológicas para poder tener información en tiempo real. Esta iniciativa tiene como fin poder acceder a los datos en forma remota facilitando el monitoreo y control de las estaciones, y brindar información en caso de tormentas, nevadas extraordinarias u otros eventos extremos. Esto permitirá además el acceso libre y gratuito a los datos por parte del público en general e instituciones nacionales y provinciales.

En base a la información colectada en cada sitio de estudio, se desarrollarán modelos hidrológicos específicos donde se pondrá especial atención en las estimaciones de la significancia hídrica de los cuerpos de hielo y al balance hidrológico global de las cuencas que los contienen. De esta manera se buscará determinar y diferenciar el aporte hídrico proveniente del derretimiento glaciar comparado con el aporte de otras fuentes como por ejemplo, la nieve estacional.

### **6.2. Volumen de hielo**

En los glaciares de referencia se han realizado mediciones con radar de penetración terrestre que han permitido estimar el espesor de hielo en estos sitios (Tabla 3, Figura 1). Estos estudios han arrojado buenos resultados para algunos glaciares en los Andes Desérticos (Figura 2), pero es conveniente adquirir nuevas herramientas (antenas y GPR) para obtener resultados similares en Patagonia y ampliar las mediciones a los diferentes tipos de glaciares. Estos datos se utilizarán para ajustar diferentes tipos de modelos numéricos, que incluyen los de Volumen-Área, los modelos de inversión, y los de conservación de masa, que permitirán estimar el volumen de hielo almacenado en los glaciares.



**Figura 2. Ejemplo de traza de GPR (SIR 3000, antena 80 MHz), con mediciones de espesor de hielo y mapa derivado para calcular el volumen hielo del glaciar de referencia Agua Negra (San Juan).**

Para determinar el volumen de hielo contenido en los glaciares de escombros se requiere de estudios que permitan comprender su estructura interna. Para ello se solicitarán estudios de geofísica (Tomografías de Resistividad Eléctrica, ERT) en perfiles transversales y longitudinales en los cuerpos de hielo (Schneider *et al.* 2013, Emmert & Kneisel 2017). En forma complementaria se requerirán estudios de Tomografías de Refracción Sísmica (RST) y se realizarán estudios con radar de penetración terrestre (Trombotto Liaudat *et al.* 1999, Maurer & Hauck 2007, Monnier & Kinnard 2013). Tanto los levantamientos con ERT como RST deben terciarizarse ya que el instituto no cuenta con estos equipos.

Los cambios decadales en la temperatura de permafrost son importantes indicadores de cambios en el clima. Estos cambios afectan además la estabilidad del terreno produciendo hundimientos o erosión, cambios en la vegetación y los ecosistemas y modificaciones en los flujos de humedad del suelo y flujo de gases. Para medir la temperatura del permafrost a distintas profundidades será necesario realizar e instrumentar perforaciones profundas (más de 50 m) con termómetros automáticos (Smith & Brown 2009, Schoeneich 2012, Bodri y Cermak 2007). Dependiendo de la técnica de perforación se obtendrán testigos de composición interna de los glaciares de escombros y observaciones con cámaras especiales. También se propone la medición de deformaciones del suelo mediante la instalación de inclinómetros (Arenson *et al.* 2002).



## 7. Estimación del impacto del cambio climático en los glaciares

Los resultados obtenidos de la actualización del Inventario Nacional de Glaciares, el monitoreo de las masas de hielo, su aporte a la escorrentía de los ríos y las variaciones en su volumen serán insumos clave para analizar el impacto del cambio climático y sus posibles implicancias desde el punto de vista hidrológico. Las proyecciones futuras en las principales variables climáticas serán obtenidas de datos mensuales de modelos de clima acoplados (Taylor *et al.* 2012, Eyring *et al.* 2016). En los análisis se considerarán los distintos escenarios de forzantes antropogénicos generados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC 2014). También se considerarán las proyecciones climáticas realizadas para la Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.

En este contexto, una primera aproximación utilizará la información sobre la extensión de los glaciares determinada en el inventario y se aplicarán relaciones de escalamiento volumen-área para calcular el volumen actual de los glaciares del país. Posteriormente, en base a los cambios de área (fluctuaciones) y a los cambios en volumen obtenidos en el monitoreo de los glaciares, se extrapolarán las tasas de cambio a los glaciares de una región proyectando en forma lineal la pérdida de volumen de los glaciares en el futuro. Si bien es claro que estas proyecciones pueden contener altas incertidumbres, los resultados pueden ser de utilidad para detectar tendencias regionales. A medida que se obtengan mejores conocimientos sobre el espesor, volumen y tasas de cambio de los glaciares, estas predicciones podrán hacerse más representativas y precisas.

Como segunda aproximación se propone un estudio que tiene en cuenta los cambios en la respuesta dinámica de los glaciares y los cambios en el clima. Para ello se utilizarán la extensión y características de los glaciares y las mediciones de espesor de hielo para ajustar y validar modelos numéricos de distribución de espesor de hielo. Tomando en cuenta las mediciones de balance de masa, mediciones meteorológicas y de caudales y las variaciones de área, en esta segunda aproximación se propone desarrollar modelos numéricos glacio-hidrológicos que reproduzcan los cambios de masa y volumen de los glaciares que nos permitan estudiar el aporte de los mismos a la escorrentía de los ríos. Una vez ajustados y validados con mediciones directas, se reemplazarán los datos de entrada con las proyecciones climáticas disponibles para cada región a fin de estimar los cambios en los glaciares y su aporte a la escorrentía de los ríos en las próximas décadas.

## **8. Publicación de resultados**

La información obtenida de la actualización del Inventario Nacional de Glaciares junto con los resultados de los monitoreos, cuantificación de volumen, aporte hidrológico y estimaciones del impacto climático se presentará en un informe por cada región (Andes Desérticos, Andes Centrales, Andes del Norte de la Patagonia, Andes del Sur de la Patagonia, Andes de Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur) hasta completar la totalidad del país en un periodo no mayor a cinco años, lo que estará fuertemente supeditado a la disponibilidad de adecuados recursos presupuestarios. Los archivos digitales con toda la información obtenida estarán disponibles de forma libre y gratuita en la página web oficial del ING ([www.glaciaresargentinos.gob.ar](http://www.glaciaresargentinos.gob.ar)).

Además, el trabajo se articulará con organismos de los gobiernos provinciales y nacionales, a los fines de coordinar y difundir las actividades, así como para facilitar la disponibilidad de los resultados.

## Referencias

- Arenson, L., M. Hoelzle & S. Springman. 2002. Borehole deformation measurements and internal structure of some rock glaciers in Switzerland. *Permafr. Periglac. Process.* 13: 117–135.
- Azócar, G.F. & A. Brenning. 2010. Hydrological and geomorphological significance of rock glaciers in the dry Andes, Chile (27°–33°S). *Permafr. Periglac. Process.* 21: 42–53.
- Barcaza, G., S.U. Nussbaumer, G. Tapia, J. Valdés, J.-L. García, Y. Videla, A. Albornoz & V. Arias. 2017. Glacier inventory and recent glacier variations in the Andes of Chile, South America. *Ann. Glaciol.* 58: 166–180.
- Barsch, D. 1996. *Rock Glaciers, Series in Physical Environment.* Springer, Berlin.
- Bodri L & Cermak V. 2007. Borehole climatology. A new method on how to reconstruct climate. Elsevier, 325p.
- Burns, P. & A. Nolin. 2014. Using atmospherically-corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Peru from 1987 to 2010. *Remote Sens. Environ.* 140: 165–178.
- Campbell, W. 2011. *Introduction to Remote Sensing.* Guilford.
- Carrivick, J.L., B.J. Davies, W.H.M. James, D.J. Quincey & N.F. Glasser. 2016. Distributed ice thickness and glacier volume in southern South America. *Glob. Planet. Change* 146: 122–132.
- Chaturvedi, R.K., A.V. Kulkarni, Y. Karyakarte, J. Joshi & G. Bala. 2014. Glacial mass balance changes in the Karakoram and Himalaya based on CMIP5 multi-model climate projections. *Clim. Change, Mass balance model - Himalaya* 132: 315–328.
- Corte, A. 1976. The Hydrological Significance of Rock Glaciers. *J. Glaciol.* 17: 157–158.
- CR2. 2015. La megasequia 2010-2015. Una lección para el futuro. Informe a la Nación. Center for Climate and Resilience Research.
- Deline, P., S. Gruber, R. Delaloye, L. Fischer, M. Geertsema, M. Giardino, A. Hasler, M. Kirkbride, M. Krautblatter, F. Magnin, S. McColl, L. Raveland & P. Schoeneich. 2015. Ice Loss and Slope Stability in High-Mountain Regions, p. 521–561. *In* John F. Shroder, W. Haeberli & C. Whiteman (eds.). *Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters.* Academic Press.
- Depetris, P.J. & A.I. Pasquini. 2000. The hydrological signal of the Perito Moreno Glacier damming of Lake Argentino (southern Andean Patagonia): the connection to climate anomalies. *Glob. Planet. Change* 26: 367–374.
- Díaz, S., S. Josef & E. Brondízio. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IBPES.
- Dussaillant, I., E. Berthier & F. Brun. 2018. Geodetic Mass Balance of the Northern Patagonian Icefield from 2000 to 2012 Using Two Independent Methods. *Front. Earth Sci.* 6.
- Dussaillant, I., É. Berthier, F. Brun, M.H. Masiokas, R. Hugonnet, A. Rabatel, P. Pitte & L. Ruiz. 2019. Two decades of glacier mass loss along the Andes. *Nat. Geosci., Mass balance geodetic - Andes* 16.
- Earl, L. & A. Gardner. 2016. A satellite-derived glacier inventory for North Asia. *Ann. Glaciol.* 57: 50–60.
- Emmert, A. & C. Kneisel. 2017. Internal structure of two alpine rock glaciers investigated by quasi-3-D electrical resistivity imaging. *The Cryosphere* 11: 841–855.
- Espizua LE. 1987. Fluctuaciones de los glaciares del río del Plomo, Mendoza. *Rev. Asoc. Geológica Argent.* XLII, 112–121.

- Eyring, V., S. Bony, G.A. Meehl, C.A. Senior, B. Stevens, R.J. Stouffer & K.E. Taylor. 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev.* 9: 1937–1958.
- Falaschi, D., T. Bolch, P. Rastner, M.G. Lenzano, L. Lenzano, A.L. Vecchio & S. Moragues. 2016. Mass changes of alpine glaciers at the eastern margin of the Northern and Southern Patagonian Icefields between 2000 and 2012. *J. Glaciol.* 1–15.
- Falaschi, D., M. Castro, M. Masiokas, T. Tadono & A.L. Ahumada. 2014. Rock Glacier Inventory of the Valles Calchaquíes Region (~ 25°S), Salta, Argentina, Derived from ALOS Data: Rock Glacier Inventory of the Valles Calchaquíes, Argentina. *Permafr. Periglac. Process.* 25: 69–75.
- Falaschi, D., M.G. Lenzano, T. Tadono, A.I. Vich & E. Lenzano. 2018. Balance de masa geodésico 2000-2011 de los glaciares de la cuenca del río Atuel, Andes Centrales de Mendoza (Argentina). *Geoacta, Mass balance geodetic - Andes Centrales* 42: 1–22.
- Falaschi, D., M. Masiokas, T. Tadono & F. Couvreur. 2016. ALOS-derived glacier and rock glacier inventory of the Volcán Domuyo region (~36° S), southernmost Central Andes, Argentina. *Z. Für Geomorphol.* 60: 195–208.
- Falaschi D., M.G. Lenzano, R. Villalba, T. Bolch, A. Rivera & A. Lo Vecchio. 2019 Six decades (1958–2018) of geodetic glacier mass balance in Monte San Lorenzo, Patagonian Andes. *Front. Earth Sci.* 7 DOI:10.3389/feart.2019.00326.
- Farinotti, D., M. Huss, J.J. Fürst, J. Landmann, H. Machguth, F. Maussion & A. Pandit. 2019. A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth. *Nat. Geosci.* 2019 1.
- Ferri Hidalgo, L., I. Dussailant, L. Zalazar, M. Masiokas, L. Ruiz, P. Pitte, H. Gargantini, M. Castro, E. Berthier y R. Villalba. 2020. Ice mass loss in the . Andes Centrales of Argentina between 2000 and 2018 derived from a new glacier inventory and satellite stereo-images. *F. in Earth Sciences.* DOI: 10.3389/feart.2020.530997
- Gardent, M., A. Rabatel, J.-P. Dedieu & P. Deline. 2014. Multitemporal glacier inventory of the French Alps from the late 1960s to the late 2000s. *Glob. Planet. Change* 120: 24–37.
- Garreaud, R.D., C. Alvarez-Garreton, J. Barichivich, J.P. Boisier, D. Christie, M. Galleguillos, C. LeQuesne, J. McPhee & M. Zambrano-Bigiarini. 2017. The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21: 6307–6327.
- Garreaud, R.D., J.P. Boisier, R. Rondanelli, A. Montecinos, H.H. Sepúlveda & D. Veloso-Aguila. 2019. The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *Int. J. Climatol.*
- Gascoïn, S., C. Kinnard, R. Ponce, S. Lhermitte, S. MacDonell & A. Rabatel. 2011. Glacier contribution to streamflow in two headwaters of the Huasco River, Dry Andes of Chile. *The Cryosphere* 5: 1099–1113.
- Guo, W., S. Liu, J. Xu, L. Wu, D. Shangguan, X. Yao, J. Wei, W. Bao, P. Yu, Q. Liu & Z. Jiang. 2015. The second Chinese glacier inventory: data, methods and results. *J. Glaciol.* 61: 357–372.
- Haeberli, W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers, *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie.* ETH, Zurich, Switzerland.
- Haeberli, W. 2013. Mountain permafrost — research frontiers and a special long-term challenge. *Cold Reg. Sci. Technol.* 96: 71–76.
- Harris, S.A., H.M. French, J.A. Heginbottom, G.H. Johnston, B. Ladanyi, D.C. Sego & R.O. van Everdingen. 1988. Glossary of permafrost and related ground-ice terms, Permafrost. Permafrost Subcommittee. Associate Committee on Geotechnical Research. National Research Council of Canada, Ottawa, Canada.

- Hernández, J. 2002. Perforadora a percusión para suelos detríticos criogénicos, p. 71–72. In IANIGLA, 30 años de investigación básica y aplicada en ciencias ambientales, Permafrost - Borehole. IANIGLA-CONICET, Mendoza, Argentina.
- Hock, R., A. Bliss, B. Marzeion, R.H. Giesen, Y. Hirabayashi, M. Huss, V. Radić & A.B.A. Slangen. 2019. GlacierMIP – A model intercomparison of global-scale glacier mass-balance models and projections. *J. Glaciol.* 65: 453–467.
- Huss, M., B. Bookhagen, C. Huggel, D. Jacobsen, R.S. Bradley, J.J. Clague, M. Vuille, W. Buytaert, D.R. Cayan, G. Greenwood, B.G. Mark, A.M. Milner, R. Weingartner & M. Winder. 2017. Toward mountains without permanent snow and ice. *Earths Future*, Mass balance model 5: 418–435.
- IANIGLA-CONICET. 2010. Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: fundamentos cronograma de ejecución, Glacier law. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza, Argentina.
- IANIGLA-Inventario Nacional de Glaciares. 2018. Resumen ejecutivo de los resultados del Inventario Nacional de Glaciares, Glacier inventory - Andes. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Mendoza, Argentina.
- Ikeda, A. & N. Matsuoka. 2002. Degradation of talus-derived rock glaciers in the Upper Engadin, Swiss Alps. *Permafr. Periglac. Process., Rock glaciers - Alps* 13: 145–161.
- IPCC. 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate. IPCC.
- Iribarren Anaconda, P., A. Mackintosh & K.P. Norton. 2015. Hazardous processes and events from glacier and permafrost areas: Lessons from the Chilean and Argentinean Andes. *Earth Surf. Process. Landf.* 40: 2–21.
- Janke, J.R., S. Ng & A. Bellisario. 2017. An inventory and estimate of water stored in firn fields, glaciers, debris-covered glaciers, and rock glaciers in the Aconcagua River Basin, Chile. *Geomorphology* 296: 142–152.
- Johansen, K.S., B. Alfthan, E. Baker, M. Hesping, T. Schoolmeester, K. Verbist & others. 2018. The Andean glacier and water atlas: the impact of glacier retreat on water resources. UNESCO Publishing.
- Jones, D.B., S. Harrison, K. Anderson & R.A. Betts. 2018. Mountain rock glaciers contain globally significant water stores. *Sci. Rep.* 8: 2834.
- Jones, D.B., S. Harrison, K. Anderson & W.B. Whalley. 2019. Rock glaciers and mountain hydrology: A review. *Earth-Sci. Rev.* 193: 66–90.
- Kääb, A., C. Huggel, F. Paul, R. Wessels, B. Raup, H. Kieffer & J. Kargel. 2002. Glacier monitoring from Aster imagery: accuracy and implications, p. 43–54. Presented at the EARSeL-LISSIG Workshop. Observing our Cryosphere from Space, Remote sensing of ice and snow.
- Kienholz, C., S. Herreid, J. Rich, A. Arendt, R. Hock & E. Burgess. 2015. Derivation and analysis of a complete modern-date glacier inventory for Alaska and northwest Canada. *J. Glaciol.* 61: 403.
- Leclercq, P.W., P. Pitte, R.H. Giesen, M.H. Masiokas & J. Oerlemans. 2012. Modelling and climatic interpretation of the length fluctuations of Glaciar Frías (north Patagonian Andes, Argentina) 1639–2009 AD. *Clim Past* 8: 1385–1402.
- Leiva J.C., L.E. Espizua, R.J. Iturraspe, M. Massiokas, F. Norte and R. Villalba. 2008. The response of the Argentinian glaciers to the climate of the XX and XXI centuries. *Terra Glacialis*, 179–192.

- Lenzano M.G., J.C. Leiva and L. Lenzano. 2010. Recent variation of the Las Vacas Glacier Mt. Aconcagua region, Central Andes, Argentina, based on ASTER stereoscopic images. *Adv. Geosci.* **22**, 185–189. DOI:10.5194/adgeo-22-185-2010.
- Leprince, S., S. Barbot, F. Ayoub & J.-P. Avouac. 2007. Automatic and Precise Orthorectification, Coregistration, and Subpixel Correlation of Satellite Images, Application to Ground Deformation Measurements. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Remote sensing - COSI CORR* **45**: 1529–1558.
- Liu, L., C.I. Millar, R.D. Westfall & H.A. Zebker. 2013. Surface motion of active rock glaciers in the Sierra Nevada, California, USA: inventory and a case study using InSAR. *The Cryosphere* **7**: 1109–1119.
- Marzeion, B., N. Champollion, W. Haerberli, K. Langley, P. Leclercq & F. Paul. 2017. Observation-Based Estimates of Global Glacier Mass Change and Its Contribution to Sea-Level Change. *Surv. Geophys.* **38**: 105–130.
- Marzeion, B., J.G. Cogley, K. Richter & D. Parkes. 2014. Attribution of global glacier mass loss to anthropogenic and natural causes. *Science* **345**: 919–921.
- Marzeion, B., A.H. Jarosch & M. Hofer. 2012. Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *The Cryosphere* **6**: 1295–1322.
- Masiokas, M.H., Cara, L., Villalba, R. *et al.* Streamflow variations across the Andes (18°–55°S) during the instrumental era. *Sci Rep* **9**, 17879 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53981-x>
- Masiokas, M.H., D.A. Christie, C. Le Quesne, P. Pitte, L. Ruiz, R. Villalba, B.H. Luckman, E. Berthier, S.U. Nussbaumer, Á. González-Reyes, J. McPhee & G. Barcaza. 2016. Reconstructing the annual mass balance of the Echaurren Norte glacier (Central Andes, 33.5°S) using local and regional hydroclimatic data. *The Cryosphere* **10**: 927–940.
- Masiokas, M.H., S. Delgado, P. Pitte, E. Berthier, R. Villalba, P. Skvarca, L. Ruiz, J. Ukita, T. Yamanokuchi, T. Tadono, S. Marinsek, F. Couvreur & L. Zalazar. 2015. Inventory and recent changes of small glaciers on the northeast margin of the Southern Patagonia Icefield, Argentina. *J. Glaciol.* **61**: 511–523.
- Masiokas, M.H., A. Rivera, L.E. Espizua, R. Villalba, S. Delgado & J.C. Aravena. 2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **281**: 242–268.
- Masiokas, M.H., R. Villalba, B.H. Luckman, C. Le Quesne & J.C. Aravena. 2006. Snowpack variations in the central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region. *J. Clim.* **19**: 6334–6352.
- Maurer, H. & C. Hauck. 2007. Geophysical imaging of alpine rock glaciers. *J. Glaciol., Rock glaciers - Alps* **53**: 110–120.
- Meier, W.J.-H., J. Griesinger, P. Hochreuther & M.H. Braun. 2018. An Updated Multi-Temporal Glacier Inventory for the Patagonian Andes With Changes Between the Little Ice Age and 2016. *Front. Earth Sci.* **6**: 62.
- Millan, R., E. Rignot, A. Rivera, V. Martineau, J. Mougnot, R. Zamora, J. Uribe, G. Lenzano, B. De Fleurian, X. Li, Y. Gim & D. Kirchner. 2019. Ice thickness and bed elevation of the Northern and Southern Patagonian Icefields. *Geophys. Res. Lett.* **2019GL082485**.
- Mölg, N., T. Bolch, P. Rastner, T. Strozzi & F. Paul. 2018. A consistent glacier inventory for Karakoram and Pamir derived from Landsat data: distribution of debris cover and mapping challenges. *Earth Syst. Sci. Data* **10**: 1807–1827.
- Monnier, S. & C. Kinnard. 2013. Internal structure and composition of a rock glacier in the Andes (upper Choapa valley, Chile) using borehole information and ground-penetrating radar. *Ann. Glaciol.* **54**: 61–72.

- Nagai, H., K. Fujita, A. Sakai, T. Nuimura & T. Tadono. 2016. Comparison of multiple glacier inventories with a new inventory derived from high-resolution ALOS imagery in the Bhutan Himalaya. *The Cryosphere* 10: 65–85.
- Nuimura, T., A. Sakai, K. Taniguchi, H. Nagai, D. Lamsal, S. Tsutaki, A. Kozawa, Y. Hoshina, S. Takenaka, S. Omiya, K. Tsunematsu, P. Tshering & K. Fujita. 2015. The GAMDAM glacier inventory: a quality-controlled inventory of Asian glaciers. *The Cryosphere* 9: 849–864.
- Pasquini, A.I. & P.J. Depetris. 2011. Southern Patagonia's Perito Moreno Glacier, Lake Argentino, and Santa Cruz River hydrological system: An overview. *J. Hydrol.* 405: 48–56.
- Paul, F., N.E. Barrand, E. Berthier, T. Bolch, K. Casey, H. Frey, S.P. Joshi, V. Konovalov, R. Le Bris, N. Mölg, C. Nuth, A. Pope, A. Racoviteanu, P. Rastner, B. Raup, K. Scharrer, S. Steffen & S. Winswold. 2013. On the accuracy of glacier outlines derived from remote sensing data. *Ann. Glaciol.* 54: 171–182.
- Paul, F., J.G. Barry, H. Cogley, H. Frey, W. Haeberli, A. Ohmura, C.S.L. Ommanney, B. Raup, A. Rivera & M. Zemp. 2010. Guidelines for the compilation of glacier inventory data from digital sources, Glacier inventory. University of Zürich, WGMS, GLIMS, Globglacier.
- Paul, F. & N. Mölg. 2014. Hasty retreat of glaciers in northern Patagonia from 1985 to 2011. *J. Glaciol.* 60: 1033–1043.
- Pitte P, L. Ferri Hidalgo and L.E. Espizua. 2009. Aplicación de sensores remotos al estudio de glaciares en el Cerro Aconcagua. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brazil, 1473–1480.
- Pitte, P., E. Berthier, M.H. Masiokas, V. Cabot, L. Ruiz, L. Ferri Hidalgo, H. Gargantini & L. Zalazar. 2016. Geometric evolution of the Horcones Inferior Glacier (Mount Aconcagua, Central Andes) during the 2002–2006 surge. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 2015JF003522.
- Pitte P., L. Zalazar, L. Ferri Hidalgo, H. Gargantini, L. Ruiz, M. Masiokas, I. Dussaillant, M. Viale, L. López Callejas, C. Ogier, E. Berthier, R. Villalba and A.R. Castaño Gañán. 2018. ¿Que está pasando con los glaciares del complejo volcánico Planchón Peteroa? International Center for Earth Sciences, Malargüe, Argentina.
- Radić, V. & R. Hock. 2014. Glaciers in the Earth's Hydrological Cycle: Assessments of Glacier Mass and Runoff Changes on Global and Regional Scales. *Surv. Geophys.* 35: 813–837.
- Rangecroft, S., S. Harrison & K. Anderson. 2015. Rock Glaciers as Water Stores in the Bolivian Andes: An Assessment of Their Hydrological Importance. *Arct. Antarct. Alp. Res.* 47: 89–98.
- Réveillet, M., A. Rabatel, F. Gillet-Chaulet & A. Soruco. 2015. Simulations of changes to Glaciar Zongo, Bolivia (16° S), over the 21st century using a 3-D full-Stokes model and CMIP5 climate projections. *Ann. Glaciol.* 56: 89–97.
- RGI Consortium. 2017. Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0: Global Land Ice Measurements from Space, Colorado, USA. Digital Media.
- Rivera, J.A., O.C. Penalba, R. Villalba & D.C. Araneo. 2017. Spatio-Temporal Patterns of the 2010–2015 Extreme Hydrological Drought across the Central Andes, Argentina. *Water* 9: 652.
- Ruiz, L., E. Berthier, M. Masiokas, P. Pitte & R. Villalba. 2015. First surface velocity maps for glaciers of Monte Tronador, North Patagonian Andes, derived from sequential Pléiades satellite images. *J. Glaciol.* 61: 908–922.
- Ruiz, L., E. Berthier, M. Viale, P. Pitte & M.H. Masiokas. 2017. Recent geodetic mass balance of Monte Tronador glaciers, northern Patagonian Andes. *The Cryosphere* 11: 619–634.
- Ruiz, L., Masiokas, M. H. & Villalba, R. 2012. Fluctuations of Glaciar Esperanza Norte in the north Patagonian Andes of Argentina during the past 400 yr. *Clim. Past* 8: 1079–1090.
- Schaffer, N., S. MacDonell, M. Réveillet, E. Yáñez & R. Valois. 2019. Rock glaciers as a water resource in a changing climate in the semiarid Chilean Andes. *Reg. Environ. Change* 1–17.

- Schneider, S., S. Daengeli, C. Hauck & M. Hoelzle. 2013. A spatial and temporal analysis of different periglacial materials by using geoelectrical, seismic and borehole temperature data at Murtèl–Corvatsch, Upper Engadin, Swiss Alps. *Geogr. Helvetica* 68: 265–280.
- Schoeneich P., T. Echelard, J.M. Krysiacki, F. Kergomard, L. Lorier, L. Maingrat, C. Darricau, P. Jugnet and T. Cotoni. 2012. The borehole 2Alpes-3065: a pilot installation for fiber optic DTS measurements in permafrost. Tenth International Conference on Permafrost, 3p.
- Schrott, L. 1996. Some geomorphological-hydrological aspects of rock glaciers in the Andes (San Juan, Argentina). *Zeitschrift für Geomorphologie* 104, 161-173.
- Smith, S. & J. Brown. 2009. Permafrost and seasonally frozen ground. Permafrost. Assessment of the status of the development of the standards for the Terrestrial Essential Climate Variables. T7, GTOS 62., Permafrost. WMO, UNESCO, UNEP, ICSU, FAO.
- Stokes, C.R., V. Popovnin, A. Aleynikov, S.D. Gurney & M. Shahgedanova. 2007. Recent glacier retreat in the Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra-/proglacial lake development. *Ann. Glaciol.* 46: 195–203.
- Strozzi, T., R. Delaloye, A. Käab, C. Ambrosi, E. Perruchoud & U. Wegmüller. 2010. Combined observations of rock mass movements using satellite SAR interferometry, differential GPS, airborne digital photogrammetry, and airborne photography interpretation. *J. Geophys. Res.* 115: F01014.
- Taylor, K.E., R.J. Stouffer & G.A. Meehl. 2012. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93: 485–498.
- The Randolph Consortium, W.T. Pfeffer, A.A. Arendt, A. Bliss, T. Bolch, J.G. Cogley, A.S. Gardner, J.-O. Hagen, R. Hock, G. Kaser, C. Kienholz, E.S. Miles, G. Moholdt, N. Mölg, F. Paul, V. Radic, P. Rastner, B.H. Raup, J. Rich & M.J. Sharp. 2014. The Randolph Glacier Inventory: a globally complete inventory of glaciers. *J. Glaciol.* 60: 537–552.
- Trombotto Liaudat, D. & E. Borzotta. 2009. Indicators of present global warming through changes in active layer-thickness, estimation of thermal diffusivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rockglacier, Central Andes of Mendoza, Argentina. *Cold Reg. Sci. Technol.* 55: 321–330.
- Trombotto Liaudat, D., E. Buk & J. Hernández. 1999. Rock glaciers in the southern Central Andes (approx. 33° - 34° S), Cordillera Frontal, Mendoza, Argentina. *Bamberger Geogr. Schriften* 19: 145–173.
- Trombotto Liaudat, D., P. Wainstein & L. Arenson. 2014. "Guía Terminológica de la Geocriología Sudamericana" / "Terminological Guide of the South American Geocryology." Buenos Aires.
- UNESCO/IASH. 1970. Perennial ice and snow masses: a guide for compilation and assemblage of data for a world inventory, Technical Papers in Hydrology. UNESCO/IASH, Paris.
- Villarroel, C., G. Tamburini Beliveau, A. Forte, O. Monserrat & M. Morvillo. 2018. DInSAR for a Regional Inventory of Active Rock Glaciers in the Dry Andes Mountains of Argentina and Chile with Sentinel-1 Data. *Remote Sens.* 10: 1588.
- WGMS. 2017. Global glacier change Bulletin. Bulletin No. 2 (2014-2015), Glacier fluctuations. WGMS, Zurich, Switzerland.
- Willis, M.J., A.K. Melkonian, M.E. Pritchard & A. Rivera. 2012. Ice loss from the Southern Patagonian Ice Field, South America, between 2000 and 2012. *Geophys. Res. Lett.* 39: 1–6.
- Zalazar, L., L. Ferri, M. Castro, H. Gargantini, M. Giménez, P. Pitte, L. Ruiz, M. Masiokas, G. Costa & R. Villalba. 2020. Spatial distribution and characteristics of Andean ice masses in Argentina: results from the first National Glacier Inventory. *J. of Glaciology.* 66 (260): 938–949.



## Anexo 1

Tabla 3. Sitios seleccionados para el estudio de las variaciones recientes de los glaciares.

Región	Sitio	Latitud	Longitud	Elevación	Referencia
A. Desérticos	Monte Pissis	-27.7543	-68.7984	6792	-
	Cº Majadita	-30.4167	-69.7833	6280	-
A. Centrales	Cº Mercedario	-31.9785	-70.1125	6710	-
	Cº Aconcagua	-32.6531	-70.0116	6959	Lenzano et al 2010, Pitte et al 2009
	Nevado del Plomo	-33.1037	-70.0662	6070	Leiva et al 2008, Espizua et al 1987
	Volcán Peteroa	-35.2733	-70.5819	4133	Trombotto et al 2014, Pitte et al 2018
A. del Norte de la Patagonia	Domuyo	-36.6333	-70.4287	4709	Falaschi et al 2016
	Monte Tronador	-41.1655	-71.8806	3450	Ruiz et al 2017
	Cordón del Turbio, glaciar Esperanza	-42.1345	-72.0467	2425	Ruiz et al 2012
A. del Sur de la Patagonia	Monte San Lorenzo	-49.5912	-72.3108	3706	Falaschi et al 2019
	Cº Chaltén (Fitz Roy)	-49.2712	-73.0432	3405	Masiokas et al 2009
	Vespigiani (Lago del Desierto)	-49.0501	-72.9246	2146	Masiokas et al 2009
A. de Tierra del Fuego	Cº Martial, Cordón Martial	-54.7819	-68.4073	1261	Strelin e Iturraspe 2007, Buttstadt et al 2009
	Cº Vinciguerra, Cordón Vinciguerra	-54.6846	-68.4745	1260	Iturraspe et al 2010

**Tabla 4. Sitios de monitoreo.**

Región	Tipo	Nombre del glaciar, zona o macizo	Tareas realizadas en el primer ING	Tareas propuestas para la actualización del ING	Otros antecedentes
Andes Desérticos	Glaciares	Glaciar Agua Negra, San Juan (Lat-30.1655, Long-69.8091; 4950 msnm)	Instrumentado en 2014. Balance de masa, velocidad, espesor/volumen, escorrentía y clima	Continuar con los estudios iniciados en 2014	
	Glaciares de escombros	Glaciar Dos Lenguas y cuerpos cercanos, San Juan (Lat-30.245; Long-69.7828; 4340 msnm)		Integrar los datos disponibles. Instrumentación de glaciares de escombros	Dinámica y estructura interna (Halla et al 2020)
Andes Centrales	Glaciares	Glaciar Azufre, Mendoza (Lat-35.2934, Long-70.5642; 3500 msnm)	Instrumentado en 2016. Balance de masa, velocidad, escorrentía y clima	Continuar con los estudios iniciados en 2016. Emplear un GPR de baja frecuencia para medir espesor/volumen	
	Glaciares de escombros	Glaciar Morenas Coloradas, Cordón del Plata, Mendoza (Lat-32.9407, Long-69.394; 4025 msnm)		Integrar los datos disponibles. Continuar y ampliar los estudios en la geoforma	Instrumentado en 1989 por Geocriología de IANIGLA-CONICET. Datos de capa activa y tope de permafrost.
Andes del Norte de la Patagonia	Glaciares	Glaciar Alerce, Monte Tronador, Río Negro (Lat-41.1657, Long-71.8225; 2000 msnm)	Instrumentado en 2013. Balance de masa, velocidad, espesor/volumen, escorrentía y clima	Continuar con los estudios iniciados en 2013	
Andes del Sur de la Patagonia	Glaciares	Glaciar de Los Tres. Santa Cruz (Lat-49.2732, Long-73.0025; 1400 msnm)	Instrumentado en 2013. Balance de masa, velocidad, escorrentía y clima	Continuar con los estudios iniciados en 2013. Emplear un GPR de baja frecuencia para medir espesor/volumen	
Andes de Tierra del Fuego	Glaciares	Glaciar Martial, Tierra del Fuego (Lat-54.7815, Long-68.4034; 1050 msnm)		Integrar los datos disponibles.	Instrumentado en 1999 por DGRH Tierra del Fuego. Balance de masa, velocidad, escorrentía y clima

## Anexo 2

### **Informe técnico de especialista sobre el Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Plan de actualización el cual propuesto por Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales**

Se presenta el análisis realizado por el grupo de especialistas convocados por CONICET y Universidad Nacional de Cuyo. La provincia de Mendoza se excusó de participar dada la capacidad y experticia de los miembros del IANIGLA involucrados en la mencionada actualización del ING, así como en la idoneidad de los profesionales que puedan aportar tanto el CONICET y la UNCuyo en la mencionada Comisión de Análisis

El grupo de especialistas convocados considera que el Inventario Nacional de Glaciares y Ambiente Periglacial: Plan de actualización presentado por el IANIGLA es completo y con un buen desarrollo de cada uno de sus ítems. Se reconoce además el arduo trabajo que significó la realización del Primer Inventario para el IANIGLA y el esfuerzo en la elaboración de esta propuesta.

En este marco, este grupo, realiza algunas recomendaciones, con el objeto de dar mayores precisiones al documento metodológico, esperando sirvan como facilitadores para la actualización del Inventario Nacional de Glaciares.

#### **Recomendaciones generales:**

Se recomienda:

Incorporar un mapa y/o tabla que muestre las ubicaciones específicas a lo largo de la Cordillera donde el equipo planea hacer algunas mediciones específicas en el campo: balance de masa, espesor del hielo, instalación de estaciones meteorológicas, a fin de determinar mejor el alcance de las actividades a realizar. Se debería especificar, por ejemplo, la ubicación de las crioformas representativas, sitios de referencia, cuerpos de hielo de referencia, sitios elegidos, registros meteorológicos mencionados en el documento.

Incorporar información geográfica y estado del conocimiento de los glaciares seleccionados que se mencionan en el objetivo específico 2 y posteriormente en la metodología.

Especificar, de manera general, en todos aquellos sitios en que se continuará o no con las tareas de monitoreo presentadas en el Primer Inventario Nacional de Glaciares (ING1) y especificar si corresponde el agregado de nuevos sitios. De igual modo en lo que respecta al balance de masas.

Dado que estimar el volumen de hielo es una tarea compleja, se recomienda empezar con los sitios de referencia actualmente seleccionados y explicar cómo se va hacer.

Incluir una ventana temporal no menor a 5 años en el análisis realizado en el entre el ING1 y la Actualización del Inventario Nacional de Glaciares (ING2).

Indicar si la actualización del inventario se realizará en el total de glaciares planteados en el ING1.

Articular con las provincias, las actividades del ING2, dado que las mismas podrían colaborar en las tareas a realizar (validando, mapeando, cruzando información propia ya generada, etc.) y así tener un mejor manejo de los recursos ya sean humanos como económicos.

Evitar hablar de monitoreo de crioformas, cuando las mediciones se llevarán solamente en los glaciares de escombros.

En relación a los Objetivos específicos 3, especificar sobre qué glaciares se realizará la estimación de volumen de hielo.

### 3.1 Definiciones y lineamientos operativos

Glaciares de Escombro: se consulta si estos glaciares de escombro habrán cambiado lo suficientemente rápido como para que estos cambios pueden observarse a partir de imágenes de satélite de resolución media, es necesario inventararlo nuevamente a fin de tener el registro actualizado?. Tal vez sería conveniente evaluar los cambios en glaciares de mayor superficie sea suficiente en un primer paso.

### 4. Propuesta de actualización del ING

En este aspecto se recomienda

- Especificar si se va a re-medir todos el ING1.
- utilizar imágenes de alta resolución cuando estén disponibles.

En cuanto al tema de imágenes satelitales

- Habría que especificar mejor las plataformas citadas, algunas ya no están operativas.
- Se recomienda incluir datos satelitales disponibles en CONAE (además de varios de los citados) tales como COSMO SkyMed 1,2,3 y4 radar en banda X, y el SAOCOM 1A radar en banda L. Además, se cuenta con datos SPOT 6 y 7 entre 2015 y 2018
- Se recomienda utilizar también imágenes de alta resolución cuando estén disponibles, para glaciares descubiertos ya sea para el mapeo de más detalle y/o su validación.
- Si fuera posible especificar qué tipo de dato satelital de alta resolución se está pensando utilizar para todos los tipos de glaciares.

Se recomienda un mayor grado de detalle en algunos aspectos de la metodología (perforaciones profundas en glaciares de escombro, determinación del volumen de hielo), a fin de permitir realizar una valoración de las actividades en relación al resto de las propuestas para el segundo ING.

En relación a punto, 5.2. Cambio de masa y dinámica en cuerpos de hielo de referencia, se recomienda incluir la fuente de los MDE (Modelo Digital de Elevaciones) que se disponen actualmente o de qué zonas, y en caso que no existan, cómo se generarán. Este tipo de datos es escaso y requieren de un tiempo considerable para generarlos con la precisión mencionada.

En referencia al tema de la metodología para determinar la velocidad superficial, es importante mencionar desde el punto de vista de la metodología que la incertidumbre en esta determinación no debe ser pasada por alto. En los glaciares con velocidades superficiales pequeñas es difícil realizar estas mediciones.



República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional  
2020 - Año del General Manuel Belgrano

**Hoja Adicional de Firmas**  
**Informe gráfico**

**Número:**

**Referencia:** Plan de Actualización del Inventario Nacional de Glaciares

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 28 pagina/s.