

# MONITOREO PARTICIPATIVO DEL GLACIAR EXPLORADORES (46°S): OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS PARA EL DESARROLLO DEL TURISMO CIENTÍFICO EN GLACIARES DE LA PATAGONIA CHILENA

Participatory monitoring of the Exploradores glacier (46°S): Opportunities and challenges for the development of Scientific Tourism in the glaciers of Chilean Patagonia

Marcos Cole<sup>1</sup>, Fabien Bourlon<sup>2</sup>, Pablo Iribarren<sup>3</sup> & Iñigo Irarrazaval<sup>4</sup>

## RESUMEN

La estimación del balance de masa glaciar, incluyendo acumulación y ablación, es desafiante debido a las complejidades meteorológicas y dificultades de acceso en zonas de montaña, lo que limita la resolución temporal de los datos recolectados en terreno. Sin embargo, en diversas regiones, los glaciares turísticos permiten involucrar a visitantes en proyectos científicos, enmarcándose en la denominada "Ciencia Comunitaria". El Glaciar Exploradores (46°S), uno de los más visitados de Chile desde 2001, ha sido escenario de caminatas sobre hielo, lo que lo convierte en un candidato ideal para iniciativas de monitoreo participativo. Esta investigación busca estimar la ablación de su zona terminal mediante Ciencia Comunitaria. Se adaptó el modelo de los "Trabajadores Comunitarios", implementando talleres participativos, instalación de balizas de ablación y recolección de datos por voluntarios. Los datos obtenidos entre el 1 de noviembre de 2021 y el 31 de marzo de 2022 permitieron estimar la ablación estival, con una pérdida promedio de 8 a 13 cm día<sup>-1</sup>. Este estudio concluye que la Ciencia Comunitaria facilita investigaciones en zonas de difícil acceso, extendiendo la cobertura temporal y espacial de la recolección de datos. Además, destaca la importancia de considerar fuentes de error que pueden afectar la precisión de los resultados obtenidos mediante metodologías participativas.

## PALABRAS CLAVES

Monitoreo Participativo; Balance de Masa Glaciar; Ciencia Comunitaria; Turismo Científico.

## ABSTRACT

Estimating glacier mass balance, including accumulation and ablation, is challenging due to meteorological complexities and difficult access in mountain regions, which limit the temporal resolution of field data collection. However, in various regions, tourist glaciers provide

<sup>1</sup> **Marcos Cole** – MSc Water Resources. Estudiante, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Los Ríos, Chile. E-mail: marc.cole.geo@gmail.com

<sup>2</sup> **Fabien Bourlon** – Phd. Geografía Social, Investigador, Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia, Coyhaique, Chile & Université Grenoble Alpes, CNRS, Sciences Po Grenoble, Laboratoire PACTE, Grenoble, France. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9885-1580>. E-mail: fabienbourlon@ciep.cl.

<sup>3</sup> **Pablo Iribarren** – Phd. Geografía Física. Profesor, Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad Austral de Chile, Isla Teja, Valdivia, Chile. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1693-3561>. E-mail: pablo.iribarren@uach.cl.

<sup>4</sup> **Inigo Irarrazaval** – Phd. Ciencias de la Tierras, Investigador, Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia, Coyhaique, Chile. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8594-9669>. E-mail: inigo.irrazaval@ciep.cl.

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

opportunities to engage visitors in scientific projects, fitting within the concept of “Community Science”. Exploradores Glacier (46°S), one of the most visited glaciers in Chile since 2001, has hosted ice hiking activities, making it an ideal candidate for participatory monitoring initiatives. This study aims to estimate ablation in its terminus using Community Science. The “Community Workers” model was adapted, implementing participatory workshops, ablation stake installation, and data collection by volunteers. Data gathered between November 1, 2021, and March 31, 2022, allowed for the estimation of summer ablation, with an average ice loss of 8 to 13 cm per day. This study concludes that Community Science facilitates research in remote areas, extending the temporal and spatial coverage of data collection. Additionally, it highlights the importance of considering potential sources of error that may affect the accuracy of results obtained through participatory methodologies.

#### KEYWORDS

Participatory Monitoring; Glacier Mass Balance; Citizen Science; Scientific Tourism.

#### INTRODUCCIÓN

Los glaciares cumplen un importante rol en la provisión de agua en muchas zonas del planeta. Estos no sólo permiten la sobrevivencia de distintos ecosistemas, sino también son un importante recurso para el desarrollo de diferentes actividades humanas (Viviroli et al., 2007). Diversos estudios muestran una fuerte disminución de la cubierta de nieve y la sostenida pérdida de masa en la mayor parte de los glaciares a nivel mundial (IPCC, 2019). Investigaciones realizadas en los Andes de Chile y Argentina demuestran que el escenario es concordante con la tendencia mundial (Dussailant et al., 2019; Masiokas et al., 2020). El estudio y monitoreo de los glaciares es una urgente necesidad, en vista de los escenarios proyectados para los próximos años en relación a la disponibilidad hídrica (IPCC, 2019). Además, la creciente urbanización de las zonas de montaña exige también una mejor comprensión de los cambios que suceden en los glaciares y su entorno, los que pueden constituirse como una seria amenaza para quienes habitan estos territorios (Iribarren, 2014).

El estudio de los cambios volumétricos en glaciares durante un periodo y zona determinada de un glaciar es lo que se conoce como el “*Balance de Masa Glaciar*” (Rivera et al., 2017). Cuando los montos de acumulación superan a los montos de pérdida o ablación en un glaciar se habla de un balance de masa positivo. Mientras que, si los montos de ablación o pérdida de masa de un glaciar superan a los montos de acumulación, se habla de un balance de masa negativo. Existen diferentes metodologías para la estimación del balance de masa glaciar, entre ellos los

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

denominados: “directos” (in-situ) y los “indirectos” (utilizando sensores remotos). Entre los métodos directos se encuentra el llamado “balance de masa glaciológico”, el que consiste en la instalación y medición periódica de balizas de acumulación y ablación, que permiten estimar la tasa de cambios en la masa de un glaciar. Pese a la gran cantidad de glaciares existentes en Chile, 26.169 de acuerdo al último Inventario Público de Glaciares publicado por la DGA (2022), sólo uno de ellos posee un monitoreo realizado durante más de 30 años (Glaciar Echaurren Norte (33°35’S-70°08’O) (Escobar et al., 1995; Farías-Barahona et al., 2019). Esta situación podría explicarse por las dificultades de acceso que gran parte de los glaciares de Chile poseen.

Una de las herramientas ampliamente utilizadas en ecología y estudios sobre el paisaje es la llamada: “Ciencia Comunitaria” o “Ciencia Ciudadana”, en la cual colaboradores no-científicos participan en proyectos científicos, colaborando con científicos profesionales. Existen diferentes modelos de trabajo basados en Ciencia Comunitaria, los que se diferencian entre otros aspectos por el grado de involucramiento de los colaboradores en el proyecto. De acuerdo a Wilderman (2007), se pueden identificar 4 modelos de Ciencia Comunitaria:

1. Modelo de los Trabajadores Comunitarios
2. Modelo de Consultoría Comunitaria
3. Variante del Modelo de los Trabajadores Comunitarios
4. Modelo basado en la comunidad – Investigación Participativa

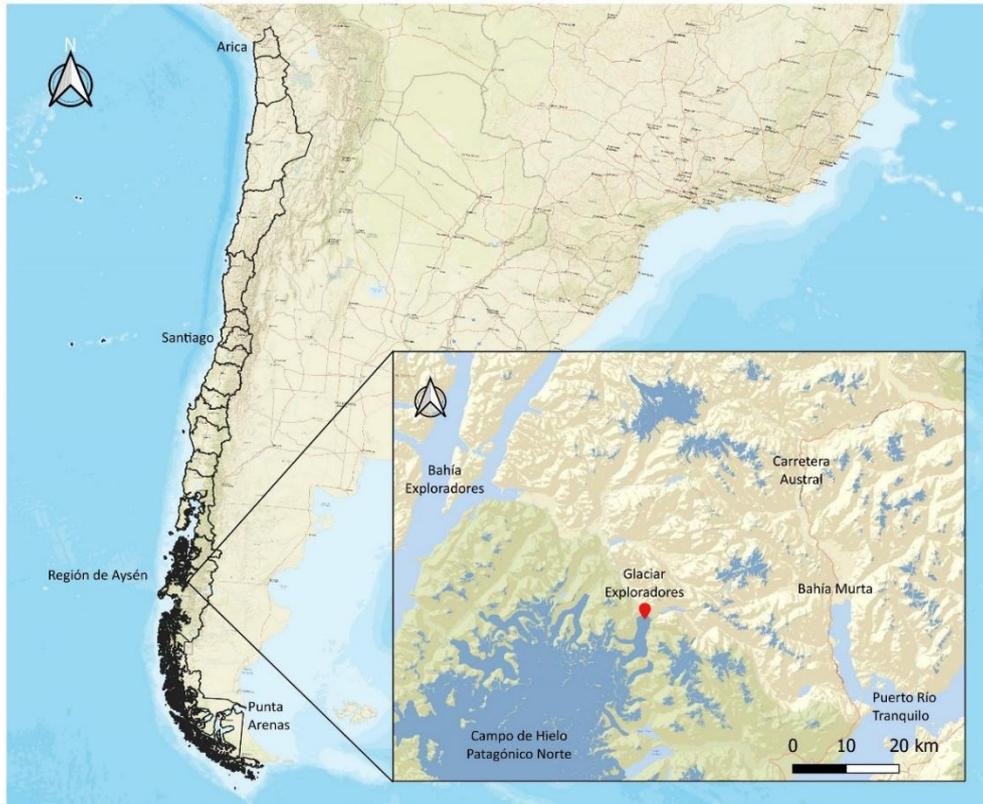
El objetivo general de la presente investigación consiste en estimar el balance de masa del Glaciar Exploradores a través de técnicas provenientes de la Ciencia Comunitaria.

## **METODOLOGÍA**

El área de estudio de la presente investigación corresponde la zona terminal del glaciar Exploradores (46°30’S-73°10’O), localizado en el margen Norte del Campo de Hielo Patagónico Norte, a 52 Km del poblado de Puerto Río Tranquilo. El glaciar Exploradores es un glaciar de valle, cuyo frente se encuentra cubierto de detritos. La zona terminal, correspondiente a la zona de estudio, se encuentra a una elevación de 170-200 m s.n.m. De acuerdo al Inventario Público de Glaciares (DGA, 2022), el Glaciar Exploradores posee una superficie de 80,7 Km<sup>2</sup> y un largo aproximado de 22Km (Figura 1).

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

**Figura 1. Mapa del área de estudio**



**Fuente:** Elaboración propia.

En la actualidad, el glaciar Exploradores genera una especial atención en la región, debido a su relevancia para el turismo local, pero también por los acelerados cambios morfológicos que ha experimentado en el último tiempo, incluyendo la formación de una laguna marginal y múltiples geoformas asociadas a la desintegración del frente del glaciar (Irrarrazaval et al., 2022).

Entre los distintos tipos de estudios que se realizan en glaciares, se encuentra el análisis de balance de masa glaciar, el que puede ser llevado a cabo mediante métodos directos (in-situ) e indirectos (mediante información proveniente de sensores remotos) (Rivera et al., 2017). El balance de masa glaciológico es un método directo de estimación de las variaciones volumétricas de un glaciar, en donde se hace necesario recolectar datos de terreno para realizar esta medición. Estos datos puntuales recolectados en terreno pueden ser interpolados para así obtener el balance de masa para toda o una parte específica del glaciar (Cuffey K.M. & Paterson W.S.B., 2010; Rivera et al., 2017).

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

Este trabajo se enfoca a estimar una componente del balance de masa glaciar correspondiente a la ablación de la zona terminal del glaciar. Las tareas que se deben llevar son: la medición sucesiva (al menos en 2 momentos diferentes), de la emergencia desde la superficie de las balizas de ablación instaladas en un glaciar. En segundo lugar, se requiere obtener el dato de la densidad del hielo en el entorno cercano a la baliza de ablación medida para lo cual puede realizarse un pozo estratigráfico. La simple multiplicación de la diferencia de la emergencia de cada baliza de ablación (en metros), con el valor de la densidad del hielo (expresado en Kg/m<sup>3</sup>), resulta el balance de masa glaciar expresado en metros equivalentes en agua (en inglés m.w.e) (Rivera et al., 2017). En este estudio se utiliza un valor de la densidad del hielo de 917Kg/m<sup>3</sup>. Este valor, ampliamente utilizado en la actualidad por diversos estudios glaciológicos (ej. Sauter et al., 2020).

En cuanto a la medición en terreno de las variaciones en la emergencia de las balizas de ablación, el método se restringe a medir sucesivamente la altura del segmento de la baliza que emerge a la superficie. Estas mediciones comienzan con una medida inicial (1) de la emergencia de la baliza de ablación, desde una superficie inicial (1), para luego medir una altura final (2) desde una superficie final (2). La diferencia entre ambas alturas (expresada en metros), corresponde al balance de masa superficial en ese punto del glaciar. En este caso, no existe acumulación en la zona de estudio, por lo que el producto entre esta diferencia de alturas de la baliza y la densidad del hielo corresponde al monto de ablación en cada baliza.

Esta investigación fue llevada a cabo diseñando e implementando un modelo de trabajo bajado en Ciencia Comunitaria, utilizando como base, uno de los modelos descritos por Wilderman (2007) denominado: "Modelo de Trabajadores Comunitarios". A partir de esta adaptación al modelo de Wilderman (2007), se diseñó un esquema de trabajo, cuyo punto de partida es la pregunta de investigación. El proyecto fue implementado en terreno a través de una serie de tareas: desarrollo de una jornada de presentación del proyecto ante la comunidad, intercambio de ideas y mejoras al proyecto, inducción sobre la modalidad de colaboración, y un proceso de instalación participativa de balizas de ablación. A continuación, se detalla cada una de estas tareas:

1. *Desarrollo de una jornada de presentación del proyecto ante la comunidad:* El día 4 de Noviembre de 2021 se realizó una jornada de presentación del proyecto abierta a la comunidad

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

de Puerto Río Tranquilo, incluyendo pobladores locales, turistas y guías de turismo. Sin embargo, fue a la comunidad de guías de caminata sobre hielo a quienes estuvo principalmente dirigida la presentación del proyecto e invitación a participar. Los guías de caminata sobre hielo fueron seleccionados como el grupo de interés para llevar a cabo este proyecto. De un total de 35 guías de turismo que conforman la “*Agrupación de Guías del Glaciar Exploradores*”, 10 de ellos se comprometieron a colaborar con el levantamiento periódico de datos de terreno.

2. *Intercambio de ideas y mejoras al proyecto*: Luego de la presentación del proyecto ante la comunidad, se sistematizaron las principales ideas e inquietudes sobre la implementación efectiva del proyecto, por parte de la comunidad y del equipo científico con el fin de realizar las mejoras necesarias a este.

3. *Inducción sobre la modalidad de colaboración*: Una vez ajustada la forma de implementación del proyecto, se generó un listado de los colaboradores interesados en formar parte del proyecto (todos ellos guías de caminata sobre hielo), a quienes se les capacitó en el correcto levantamiento de información y envío de datos hacia el equipo de científicos profesionales.

4. *Instalación participativa de balizas de ablación (Figura 2)*: Finalmente, durante los días 5 y 6 de Noviembre de 2021 se realizaron 2 jornadas de instalación y georreferenciación en terreno de las balizas de ablación. Este fue un proceso participativo, cuyo principal objetivo fue el intercambio de conocimientos y el fortalecimiento de la vinculación de los colaboradores voluntarios con el proyecto. La instalación de balizas de ablación se realizó mediante la perforación del hielo utilizando un sistema de perforación que funciona con vapor de agua (Heucke), instalándose una red de 5 balizas de 12 metros de largo cada una (cortadas en segmentos de 2m cada uno, los que fueron amarrados entre sí).

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

**Figura 2. Jornada en terreno para la instalación participativa de las balizas de ablación**



**Fuente:** Elaboración propia.

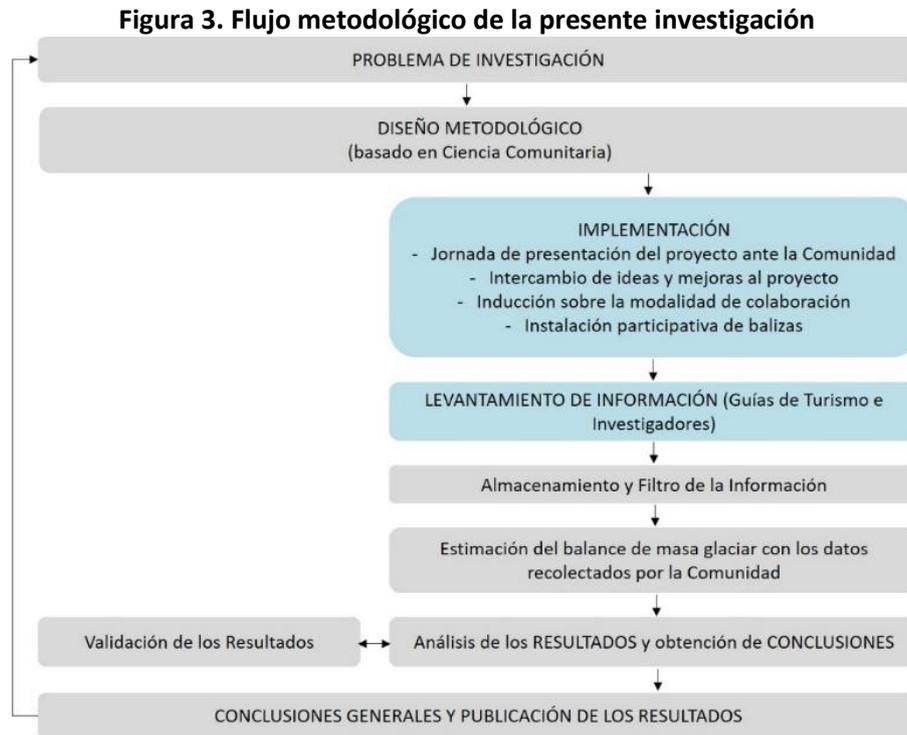
Una vez implementado en terreno el proyecto, comenzó la fase de levantamiento de información tanto por parte de la comunidad de colaboradores como también por parte de los científicos profesionales. Esta fase se desarrolló durante los meses de Noviembre de 2021 al mes de Marzo de 2022 (Figura 7). Los datos recopilados por la comunidad de guías de turismo fueron compartidos con los científicos profesionales a través de una plataforma de libre acceso creada en la aplicación KoboToolbox. Esta herramienta permite generar formularios que pueden completarse sin conexión a Internet, almacenando la información localmente hasta que el dispositivo se conecte a una red y pueda enviarla al servidor. Como respaldo adicional, también se facilitó el uso de la aplicación de mensajería WhatsApp para el envío de datos. El formulario implementado en la aplicación KoboToolbox consistió en una lista de 5 preguntas:

1. Nombre del colaborador
2. Fecha
3. Número de baliza
4. Segmento de la baliza
5. Fotografía

Los datos recolectados por los colaboradores voluntarios del proyecto, fueron enviados por estos al equipo de científicos profesionales, quienes almacenaron y filtraron con el fin de estimar

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

posteriormente los montos de ablación superficial del periodo estival en la zona de ablación del Glaciar Exploradores. El flujo metodológico de la investigación se resume en la Figura 3.



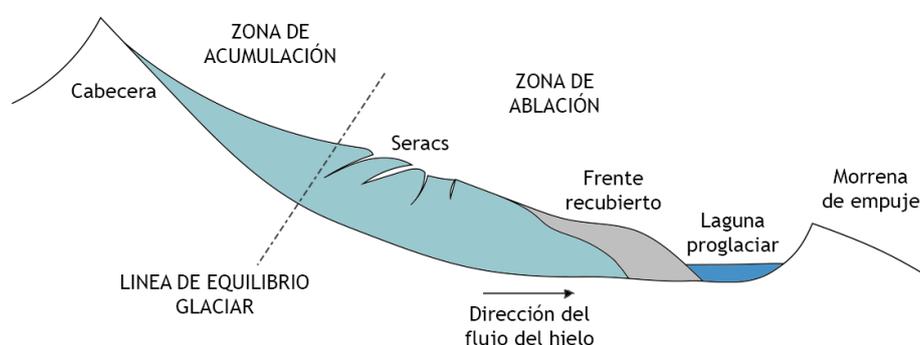
**Fuente:** Modificado de Wilderman (2007).

El modelo de trabajo de trabajo implementado posee como característica principal, la posibilidad de iterar todas las veces que se requiera con el modelo, ya que se trata de un tipo de investigación que se retroalimenta no sólo con la participación de científicos profesionales, sino también con la de comunidades no-científicas y muchas veces locales, lo que facilita su permanencia en el tiempo. El flujo del trabajo comenzó con el planteamiento del problema de investigación por parte de los científicos profesionales, diseñándose un modelo de trabajo basado en Ciencia Comunitaria para dar respuesta a las preguntas de este problema y en conjunto con una comunidad de voluntarios no-científicos se realizó una implementación en terreno del proyecto, el cual se tradujo en que la comunidad de voluntarios compartiera los datos de terreno levantados por ellos, con los científicos profesionales y de esta forma los científicos profesionales pudieran almacenar y filtrar estos datos con el fin de utilizar posteriormente aquellos que tuvieran una calidad óptima para ser analizados. A partir de estos datos levantados en terreno por la comunidad de voluntarios se estimaron los montos de ablación superficial del Glaciar Exploradores (uno de los componentes básicos de un balance de

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

masa glaciar, Figura 4), en un sector la zona de ablación de este. Para validar los datos obtenidos por los colaboradores voluntarios del proyecto, se realizaron mediciones de control por parte del equipo investigador, con una frecuencia mensual, así validar posteriormente las mediciones realizadas por los colaboradores voluntarios.

**Figura 4. Zonas que intervienen en el balance de masa de un glaciar**



**Fuente:** Elaboración propia, adaptado de Cuffey & Paterson (2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estimación de la ablación en la zona terminal para el periodo estival 2021-2022 mediante técnicas provenientes de la Ciencia Comunitaria, arrojó que el Glaciar Exploradores perdió un espesor promedio acumulado de 15,42 metros o el equivalente a 14,14 metros equivalentes en agua (siglas en inglés m.w.e) durante el periodo del estudio (01 de Noviembre de 2021 al 31 de Marzo de 2022).

El detalle para cada baliza de ablación (m) y su equivalente en volumen de agua (m.w.e) para el total del periodo de análisis se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Pérdida de masa promedio del Glaciar Exploradores durante el periodo de análisis**

| Baliza de ablación | Total periodo (m) | Total periodo (m.w.e) |
|--------------------|-------------------|-----------------------|
| B1                 | 19,56             | 17,93                 |
| B2                 | 14,37             | 13,18                 |
| B3                 | 17,10             | 15,68                 |
| B4                 | 13,49             | 12,37                 |
| B5                 | 12,57             | 11,53                 |
| Promedio acumulado | 15,42             | 14,14                 |
| Periodo            | 149 días          |                       |

**Fuente:** Elaboración propia.

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

En relación a la tasa diaria de pérdida de masa del Glaciar Exploradores durante el periodo de análisis, la mayor ablación se produjo en el mes de Enero de 2022 (con un promedio diario de espesor de 0,13 m), seguido por el mes de Febrero de 2022 (con un promedio diario de ablación de 0,11 m). En tercer lugar, el mes con la mayor pérdida diaria de espesor de hielo corresponde al mes de Noviembre de 2021 (con un promedio de 0,10 m de pérdida). En cuarto lugar, el mes que registró la mayor pérdida de espesor fue el mes de Diciembre de 2021 (con un promedio diario de 0,09 m). Finalmente, el mes con la menor tasa de ablación del periodo de análisis fue el mes de Marzo de 2022, con una pérdida promedio diaria de 0,08 m. El detalle por cada baliza medida durante el periodo de análisis se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Promedio diario de pérdida de espesor del Glaciar Exploradores por baliza**

| Promedio de pérdida de espesor por día (m) |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|
| Baliza de ablación                         | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  |
| B1   | 0,10 | 0,11 | 0,20 | 0,14 | 0,11 |
| B2   | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,10 | 0,08 |
| B3   | 0,12 | 0,09 | 0,13 | 0,13 | 0,11 |
| B4   | 0,10 | 0,08 | 0,11 | 0,11 | 0,06 |
| B5   | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,05 |
| Promedio diario por mes                    | 0,10 | 0,09 | 0,13 | 0,11 | 0,08 |

**Fuente:** Elaboración propia.

Por otra parte, la participación de los colaboradores voluntarios en las mediciones de las balizas de ablación comenzó con el envío de la información a través de la plataforma KoboToolbox, tal como fue planteada en el diseño inicial del proyecto. Sin embargo, transcurrido el primer mes de las mediciones, se advirtió que los colaboradores prefirieron espontáneamente hacer envío de los registros numéricos y fotográficos a través de la aplicación de mensajería WhatsApp. Este ajuste al proyecto fue implementado, haciendo caso a los argumentos de los colaboradores: facilidad para manipular esta segunda aplicación en el contexto del glaciar (dada el poco tiempo que los guías de turismo poseen para colaborar en ciencia y a las condiciones climáticas imperantes en el glaciar), como también la posibilidad de hacer envío de la información una vez de regreso en la localidad de Puerto Río Tranquilo (punto más cercano de conexión a Internet) (Figura 5).

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

**Figura 5. Mediciones en terreno de las balizas de ablación realizadas por los guías de caminatas sobre el glaciar**



**Fuente:** Agrupación de Guías del Glaciar Exploradores (2022).

En relación a la frecuencia de las colaboraciones realizadas por los científicos comunitarios en el proyecto, se contabilizaron en total 24 mediciones realizadas por 9 colaboradores. Al analizar la cantidad de mediciones realizadas por los colaboradores en cada uno de los meses del periodo de análisis, se observó una disparidad en estas. El mayor número de mediciones compartidas por los colaboradores se registró en el primer mes transcurrido desde la implementación en terreno del proyecto (Noviembre) con un total de 9 mediciones, seguido por el siguiente mes (Diciembre), en el que se compartieron 5 mediciones. Posteriormente, las mediciones compartidas por la comunidad con el equipo de científicos profesionales decayeron en el mes de Enero (3 mediciones), subiendo levemente en Febrero (4 mediciones) y descendiendo hasta 3 mediciones compartidas en el mes de Marzo.

En relación a la cantidad de colaboradores de la comunidad que participó en estas mediciones, el número se mantuvo constante durante los meses de Noviembre, Diciembre y Enero (2 colaboradores), decayendo en Febrero (1 colaborador) y volviendo al mismo número de los meses anteriores a Febrero en el mes de Marzo (2 colaboradores).

Con el fin de monitorear la tendencia y validar los datos levantados por la comunidad, se levantaron datos en terreno de forma paralela (por parte de los investigadores profesionales), de esta forma se pudo realizar un seguimiento que permitiera advertir cualquier anomalía en

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

los datos numéricos relativos a la ablación en cada baliza. Durante el mismo periodo de análisis, el promedio de la ablación obtenida por los investigadores fue de entre 8 y 10 cm por día. La tendencia entre ambos resultados es similar, aunque la diferencia entre ambos puede ser atribuida simplificaciones realizadas en las mediciones del terreno.

## DISCUSIÓN

Pese a la escasa cantidad de iniciativas de Ciencia Comunitaria implementadas en glaciares, el proyecto de medición comunitaria de la nieve, llamado “Community Snow Observations” (CSO), ha demostrado que mediante la participación de colaboradores voluntarios es posible observar cambios en las características de la nieve. Esto sugiere que también sería factible realizar observaciones similares en glaciares, como variaciones en el espesor del hielo, cambios morfológicos y características del recubrimiento detrítico.

Si bien existen diferencias entre los montos de ablación obtenidos por la comunidad y los registrados por científicos profesionales, se identifica una tendencia similar que apunta a una pérdida de masa glaciar. Esto refuerza la idea de que la Ciencia Comunitaria, aunque pueda diferir en precisión respecto a mediciones científicas tradicionales y satelitales, permite identificar patrones y tendencias que contribuyen al conocimiento sobre la dinámica glaciar. Además, la Ciencia Comunitaria sensibiliza a los participantes sobre los procesos en curso, fortaleciendo el turismo y facilitando la adaptación a los cambios ambientales, especialmente en lo relacionado con la seguridad en actividades turísticas de montaña.

En este contexto, la participación de operadores turísticos y visitantes en la Ciencia Comunitaria es clave. Los guías de turismo, al estar en contacto constante con el entorno glaciar y los visitantes, pueden actuar como mediadores entre la comunidad científica y el público en general. Su involucramiento no solo aporta datos valiosos para la investigación, sino que también fomenta la educación ambiental y la concienciación sobre los impactos del cambio climático en los glaciares. A su vez, los turistas que participan en estas iniciativas no solo viven una experiencia enriquecedora, sino que también contribuyen a la recopilación de datos, lo que permite ampliar la cobertura espacial y temporal de las observaciones.

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

Desde una perspectiva operativa, la Ciencia Comunitaria como herramienta para la estimación del balance de masa glaciar presenta diversas ventajas:

- Ampliar la resolución temporal de la recolección de datos de terreno.
- Obtener información sin necesidad de realizar campañas de terreno costosas o logísticamente complejas.
- Facilitar la participación de las comunidades locales en la generación de proyectos científicos que impactan en su propio territorio, mejorando la resiliencia del turismo ante los cambios ambientales (Bourlon et al., 2022).
- Promover la generación de nuevos proyectos basados en ideas de la comunidad y la continuidad de proyectos en curso.

Lecciones similares han sido observadas en proyectos de Ciencia Comunitaria en ecología y estudios del paisaje. Sin embargo, también existen desafíos:

- Dificultades de acceso y condiciones climáticas adversas en zonas de montaña.
- Necesidad de mantener la motivación de los colaboradores a lo largo del tiempo.
- Importancia de una comunicación fluida entre gestores y colaboradores del proyecto.
- Requerimiento de un lenguaje accesible para garantizar la comprensión entre todas las partes.
- Desarrollo de herramientas de transferencia de datos amigables y eficientes en lugares con conectividad limitada.

Muchas de estas dificultades pueden ser abordadas con el tiempo, ya que tanto los investigadores como los colaboradores aprenden y se adaptan a las necesidades del proyecto. En este sentido, la experiencia demuestra que los colaboradores pueden introducir mejoras en los métodos de trabajo originalmente planteados por los científicos. Un ejemplo de ello es la preferencia de los guías de turismo por utilizar WhatsApp en lugar de la aplicación KoboToolbox

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

para el envío de datos de campo. Aunque WhatsApp presentó nuevos desafíos, como la falta de conexión en el glaciar Exploradores y el riesgo de errores en la carga de datos, su uso refleja la necesidad de adaptar las herramientas a las condiciones reales de trabajo de los colaboradores voluntarios.

Este estudio también permitió identificar estrategias para optimizar la recopilación de datos, como la instalación de balizas de ablación con marcas visibles en fotografías o el desarrollo de una aplicación enfocada en el uso de imágenes para facilitar las mediciones.

El análisis de la evolución temporal de la participación en la medición de balizas de ablación mostró una disminución tras un pico inicial en noviembre, con un leve repunte en febrero. Este comportamiento podría estar relacionado con la carga laboral de los guías de turismo durante la temporada alta y con el aprovechamiento del proyecto como una herramienta de divulgación para los turistas. La caída en marzo se asocia con el fin de la temporada turística y la menor presencia de guías en el glaciar.

De acuerdo con Thiel et al. (2020), la precisión en la estimación del balance de masa glaciar mediante el método glaciológico puede verse afectada por factores como la rugosidad de la superficie, la cobertura detrítica y errores en la lectura de mediciones. Además, la variabilidad espacial y temporal de los datos y la falta de información sobre la densidad del hielo introducen incertidumbres. Tal como sugiere la literatura (Thiel et al., 2020), el método glaciológico puede ser complementado con el balance de masa geodésico para mejorar la validación del uso de la Ciencia Comunitaria en la estimación del balance de masa glaciar. La integración de estos enfoques no solo fortalece la calidad de los datos, sino que también refuerza el rol de los actores locales en la generación de conocimiento y la gestión del cambio ambiental.

## **CONCLUSIONES**

Los datos recolectados entre el 1 de noviembre de 2021 y el 31 de marzo de 2022 fueron procesados para estimar la ablación estival de la zona terminal del glaciar, arrojando un promedio de ablación de -14,14 m.w.e para el período. Los datos recolectados indicaron que durante enero ocurrió la máxima ablación promedio (0.13 m), para luego disminuir en marzo a

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

(0.8 m). Estos datos pueden contribuir para la calibración de otros métodos de balance de masa indirectos como el balance geodésico o energético.

Este estudio confirma que es posible estimar la ablación utilizando técnicas provenientes de la Ciencia Comunitaria. Los resultados de las mediciones de la ablación del periodo estival 2021-2022 obtenidos con datos recolectados por científicos comunitarios son concordantes con la tendencia regional y global de los glaciares a la pérdida de masa. Por otra parte, en el análisis detallado de la ablación, se advirtió también la importancia de la cobertura detrítica en la tasa de ablación, situación ampliamente documentada en la literatura.

La participación de operadores turísticos y visitantes en el proceso de recolección de datos demostró ser un factor clave para la viabilidad del proyecto. Su involucramiento no solo permitió ampliar la frecuencia de medición, sino que también contribuyó a la concienciación sobre los impactos del cambio climático en los glaciares. La integración de estos actores en la recolección y transmisión de datos es un aspecto a considerar en la aplicación de protocolos similares en otros glaciares con oferta turística, asegurando la sostenibilidad y continuidad de la iniciativa.

La presente investigación permite concluir que la implementación de un proyecto basado en Ciencia Comunitaria es una herramienta eficaz para realizar mediciones glaciológicas, pero que exige un especial cuidado en el diseño metodológico debido a las características meteorológicas y de accesibilidad de las zonas de montaña. Asimismo, la articulación con el sector turístico puede fortalecer la recolección de datos y mejorar la transferencia de conocimientos, facilitando la adaptación y resiliencia de las comunidades locales ante los cambios ambientales.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen la colaboración en la investigación de la Agrupación del Guías del Glaciar Exploradores, al Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia, al Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad Austral de Chile, a la Corporación Nacional Forestal de la región de Aysén y a los siguientes proyectos de investigación; Fondecyt de Iniciación N°11190389 "Glacial Lakes in Chile: Evolution and Outburst Flood Hazard Assessment" y aportes de 1. ANID Fondecyt de Iniciación 11190389, ANID Fortalecimiento al Desarrollo Científico de Centros Regionales, PATSER, R20F0002, y el proyecto FIC BIP 40049360-0, Gobierno Regional de Aysén, Chile.

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bourlon, F., Vialette, Y., & Mao, P. (2022). Science as a resource for territorial and tourism development of mountainous areas of Chilean Patagonia. *Revue de Géographie Alpine*, 110(1). [Link](#)
- Cuffey, K. M., & Paterson, W. S. B. (2010). *The physics of glaciers* (4ª ed.). Elsevier. [Link](#)
- Dirección General de Aguas (DGA). (2022). *Inventario público de glaciares*. Ministerio de Obras Públicas de Chile.
- Dussailant, I., Berthier, E., Brun, F., Masiokas, M., & Rabatel, A. (2019). Two decades of glacier mass loss along the Andes. *Nature Geoscience*, 12, 802–808. [Link](#)
- Escobar, F., Casassa, G., & Peña, H. (1995). Variaciones de un glaciar de montaña en los Andes de Chile central en las últimas dos décadas. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 24(3), 683–695.
- Farías-Barahona, D., Vivero, S., Casassa, G., Masiokas, M., & Rodríguez, C. (2019). Geodetic mass balances and area changes of Echaurren Norte Glacier (Central Andes, Chile) between 1955 and 2015. *Remote Sensing*, 11(19), 2247. [Link](#)
- Huintjes, E., Sauter, T., Schröter, B., Maussion, F., Yang, W., Kropáček, J., & Schneider, C. (2015). Evaluation of a coupled snow and energy balance model for Zhadang Glacier, Tibetan Plateau, using glaciological measurements and time-lapse photography. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 47(3), 573–590. [Link](#)
- IPCC. (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, & N. M. Weyer, Eds.). Cambridge University Press.
- Irarrazaval, I., Dussailant, A., Vivero, S., Iribarren-Anacona, P., & Mariethoz, G. (2022). Ice dynamics and morphological changes during proglacial lake development at Exploradores Glacier, Patagonia. *Frontiers in Earth Science*, 10, 791487. [Link](#)
- Iribarren Anacona, P., Norton, K. P., & Mackintosh, A. (2014). Moraine-dammed lake failures in Patagonia and assessment of outburst susceptibility in the Baker Basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 3243–3259. [Link](#)

Cole, M., Bourlon, F., Iribarren, P., & Irarrazaval, I. (2025). Monitoreo participativo del Glaciar Exploradores (46°S): oportunidades y desafíos para el desarrollo del Turismo Científico en Glaciares de la Patagonia chilena. *Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 17(Dossiê Turismo Científico: Relações Ciências e Turismo no Continente Americano), e170206. <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v17ip170206>

- Masiokas, M. H., Rabatel, A., Rivera, A., Ruiz, L., Pitte, P., Ceballos, J. L., Barcaza, G., Soruco, A., Bown, F., Berthier, E., Dussailant, I., & MacDonell, S. (2020). A review of the current state and recent changes of the Andean cryosphere. *Frontiers in Earth Science*, 8. [Link](#)
- Rivera, A., Bown González, F., Napoleoni, F., Muñoz, C., & Vuille, M. (2017). *Manual balance de masa glaciar*. CIREN. [Link](#)
- Sauter, T., Arndt, A., & Schneider, C. (2020). COSIPY v1.3 – An open-source coupled snowpack and ice surface energy and mass balance model. *Geoscientific Model Development*, 13(11), 5645–5662. [Link](#)
- Thiel, K., Arndt, A., Wang, P., Li, H., Li, Z., & Schneider, C. (2020). Modeling of mass balance variability and its impact on water discharge from the Urumqi Glacier No. 1 catchment, Tian Shan, China. *Water*, 12(12), 3297. [Link](#)
- Viviroli, D., Dürr, H. H., Messerli, B., Meybeck, M., & Weingartner, R. (2007). Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. *Water Resources Research*, 43(7). [Link](#)
- Wilderman, C. C. (2007). *Models of community science: Design lessons from the field*. [Link](#)