



Trabajo Final Integrador
Ingeniería Ambiental

Impacto del Retroceso de los Glaciares del cerro
Perito Moreno sobre el Abastecimiento de Agua de
Riego de Mallín Ahogado

Ailin Rocío Clavería

Mgtr. Ing. Martín Nini
Director

Ing. Federico Schmidt
Codirector



A Dios

A mi familia

“Y al fin y al cabo, actuar sobre la realidad y cambiarla, aunque sea un poquito, es la única manera de probar que la realidad es transformable.”

Eduardo Galeano

Índice de contenidos

Índice de contenidos.....	2
Índice de figuras.....	4
Índice de tablas.....	8
Abreviaciones.....	10
Resumen.....	12
Abstract.....	13
1. Introducción.....	14
1.1 Motivación.....	14
1.2 Objetivos.....	15
2. Marco Teórico.....	16
2.1 Agua y Glaciares.....	16
2.2 Retroceso de Glaciares.....	16
2.3 Métodos.....	20
2.4 Gestión Integrada de Recursos Hídricos.....	21
3. Marco Normativo.....	23
3.1 Internacional.....	23
3.2 Nacional.....	25
3.3 Provincial.....	27
3.4 Municipal.....	28
4. Área de Influencia.....	29
4.1 Características Naturales.....	30
4.2 Características Socioeconómicas.....	36
5. Caso de Estudio.....	42
5.1 Glaciares del cerro Perito Moreno.....	42
5.2 Sistema de Riego.....	45
6. Evolución de los glaciares del Cerro Perito Moreno.....	50
6.1 Metodología.....	50
6.2 Resultados.....	50
6.3 Conclusiones Parciales.....	61
7. Impacto del Retroceso de los Glaciares en los Caudales del Arroyo Pedregoso y Sistema de Riego de Mallín Ahogado.....	63
7.1 Análisis de Datos Hidrometeorológicos.....	63
7.1.1 Metodología.....	63
7.1.2 Resultados.....	65
7.2 Relevamiento de campo.....	72
7.2.1 Metodología.....	73
7.2.2 Resultados.....	77



7.3 Determinación del Caudal Ecológico.....	82
7.3.1 Metodología.....	82
7.3.2 Resultados.....	83
7.4 Aportes de los Glaciares del Cerro Perito Moreno.....	84
7.4.1 Metodología.....	85
7.4.2 Resultados.....	87
7.5 Conclusiones Parciales.....	92
8. Medidas de adaptación y su costo económico.....	93
8.1 Reservorios Descentralizados.....	93
8.2 Eficiencia en la Distribución de Agua y Sistemas de Riego Parcelario.....	96
8.3 Acceso al Agua Potable.....	103
8.4 Educación Ambiental y Asesoramiento Técnico.....	104
8.5 Fortalecimiento de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos.....	106
8.6 Conclusiones Parciales.....	109
9. Conclusiones y Recomendaciones.....	110
9.1 Conclusiones.....	110
9.2 Ejes de trabajo.....	111
10. Agradecimientos.....	112
11. Bibliografía.....	113
ANEXO 1.....	122
ANEXO 2.....	123
ANEXO 3.....	124
ANEXO 4.....	125

Índice de figuras

Figura 2.1: distintas zonas dinámicas de un glaciar (Tarbuck, 2005).....	17
Figura 2.2: explicación gráfica del balance de masa en glaciares (Gutierrez Elorza, 2008).....	18
Figura 2.3: fases típicas del impacto hidrológico durante el retroceso glaciar. (Adaptado de Baraer et al., 2012).....	20
Figura 4.1: ubicación del área de estudio (Producción Propia).....	29
Figura 4.2: Comarca Andina del Paralelo 42° (INTA, 2021).....	29
Figura 4.3: ubicación de los glaciares del cerro Perito Moreno en relación a los poblados cercanos (Producción propia, fuente: Google Earth).....	30
Figura 4.4: balance hídrico de San Carlos de Bariloche, estación Aeropuerto, y El Bolsón (Pulita, 1989).....	31
Figura 4.5: (a, b y c) vegetación de alta montaña y (d) mallín de altura colgante en cercanías de los glaciares del cerro Perito Moreno (fuente propia, 2023).....	32
Figura 4.6: cobertura vegetal en el sudoeste de Río Negro (Producción propia, fuente: CIEFAP y MAyDS, 2016).....	33
Figura 4.7: mapa geológico y las principales estructuras del sector de El Bolsón y Bariloche. (Giacosa y Heredia, 2004).....	35
Figura 4.8: rocas volcánicas jurásicas corridas sobre granitos del Batolito Patagónico Cordillerano en el noroeste de la cumbre del cerro Perito Moreno (SEGEMAR, 2001).....	36
Figura 4.9: registro de turistas en oficina de informes, El Bolsón 2000-20009 (Secretaría General de Planificación, 2012).....	38
Figura 4.10: área que comprende la Reserva de Biosfera Andino Norpatagónica (MAyDS, 2023).....	39
Figura 4.11: ubicación y superficie del Área Natural Protegida Río Azul – Lago Escondido (MAyDS, 2023).....	41
Figura 5.1: subcuencas de los ríos Manso y Foyel (MAyDS et al., 2018).....	42
Figura 5.2: glaciares del cerro Perito Moreno. Vista desde la zona alta del plateau (fuente propia, 2023).....	43
Figura 5.3: cuenca del arroyo Pedregoso (Producción propia, fuente: DPA, 2023).....	43
Figura 5.4: Modelo Digital del Elevación de la subcuenca del arroyo Pedregoso (Producción propia, fuente: MDE-Ar v2.0 IGN).....	44
Figura 5.5: sección descubierta del lecho de afluente del arroyo Pedregoso (fuente propia, 2023).....	44
Figura 5.6: primeros canales de riego construidos en Mallín Ahogado. (Producción Propia, fuente: DPA, 2022).....	46
Figura 5.7: toma de agua del A° Pedregoso hacia el canal de Luden (fuente propia, 2023).....	47
Figura 5.8: sistema de canales de riego y cursos de agua en Mallín Ahogado (Producción Propia, fuente: DPA, 2022).....	48
Figuras 5.9 y 5.10 : canales Secundario II y secundario III respectivamente,	

secciones sin revestimiento (ALUSA, 2022).....	49
Figura 6.1: evolución histórica del frente del Glaciar Sur del cerro Perito Moreno (DPA, 2023).....	52
Figura 6.2: área del Glaciar Sur del cerro Perito Moreno a partir de fotogrametría, marzo de 2021 y 2022 (DPA, 2023).....	53
Figura 6.3: pérdida de espesor anual del Glaciar Sur del cerro Perito Moreno a partir de fotogrametría, marzo de 2020 - 2021 y marzo 2021 - 2022 (DPA, 2023).....	54
Figura 6.4: camino hacia el glaciar Norte (fuente propia, 2023).....	55
Figura 6.5: evolución del frente del Glaciar Norte del cerro Perito Moreno de abril 2016 y febrero 2018 (Producción Propia, fuente: Google Earth, 2023).....	55
Figura 6.6: área del Glaciar Norte del cerro Perito Moreno 2021 y 2022 (DPA, 2023).....	56
Figura 6.7: pérdida de espesor del Glaciar Norte del cerro Perito Moreno 2020 - 2022 (DPA, 2023).....	57
Figura 6.8: tasas de retroceso del frente del glaciar Sur del cerro Perito Moreno (DPA, 2023).....	58
Figura 6.9: ubicación histórica del frente del Glaciar Sur (DPA, 2023).....	58
Figura 6.10: vista panorámica del Glaciar Sur (fuente propia, 2023).....	59
Figura 6.11: vista desde el sureste del Glaciar Sur (fuente propia, 2023).....	59
Figura 6.12: vista panorámica del Glaciar Norte (fuente propia, 2023).....	60
Figura 6.13: cueva de hielo ubicada sobre el margen este del Glaciar Norte (fuente propia, 2023).....	60
Figura 6.14: musgos y algas observados en sitios próximos al Glaciar Sur (fuente propia, 2023).....	61
Figura 7.1: ubicación de las estaciones meteorológicas (Producción Propia, fuente: DPA, 2022).....	64
Figura 7.2: gráfico del comportamiento medio de la precipitación y la temperatura a lo largo del año hidrológico (Producción propia, fuente: series SMN 1978-2023 y DPA 1998-2023).....	65
Figura 7.3: gráfico del comportamiento del caudal medio mensual del arroyo Pedregoso a lo largo del año hidrológico promedio (Producción propia, fuente: serie DPA 1998-2022).....	66
Figura 7.4: caudal mensual medio histórico del arroyo Pedregoso, (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022).....	67
Figura 7.5: caudal anual medio, máximo y mínimo absoluto del arroyo Pedregoso y sus tendencias (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022).....	68
Figura 7.6: método de Dobles Masas, correlación entre las precipitaciones acumuladas de la estación SMN y Hielo Azul 2011-2023.....	70
Figura 7.7: precipitación acumulada mensual y su valor medio El Bolsón y el refugio Hielo Azul, periodo de 2011-2022 (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022, SMN 1978-2023 y Hielo Azul 2011-2023).....	71
Figura 7.8: serie de temperatura y caudal del arroyo Pedregoso para febrero y marzo 2012-2022 (Producción propia, fuente: series Hielo Azul 2011-2023 y DPA).....	71

Figura 7.9: imágenes de los caminos recorridos en las salidas de campo (fuente propia, 2023).....	73
Figura 7.10: esquema de aforo mediante molinete hidrométrico para cálculo de caudal (Chow, 1994).....	74
Figura 7.11: punto fotográfico y punto fijo de referencia utilizados en monitoreo (fuente propia, 2023).....	74
Figura 7.12: uso de GPS diferencial de doble frecuencia (fuente propia, 2023).....	75
Figura 7.13: marcas georreferenciadas en distintos sitios alrededor de los glaciares (fuente propia, 2023).....	75
Figura 7.14: esquema del método de cálculo de caudal mediante flotadores (Nini, 2018).....	76
Figura 7.15: área de aporte de la cuenca del arroyo Pedregoso hasta la ubicación del limnígrafo (Producción propia, fuente: MDE-Ar v2.0 IGN).....	77
Figura 7.16: subcuencas delimitadas (Producción propia, fuente: MDE-Ar v2.0 IGN).....	78
Figura 7.17: trayectorias recorridas en salidas de campo (Producción propia).....	78
Figura 7.18: toma de agua del arroyo Pedregoso (fuente propia, 2023).....	79
Figura 7.19: aforo en punto 1 y punto 2 respectivamente (fuente propia, 2023).....	80
Figura 7.20: imágenes de los cauces secos observados en el relevamiento (fuente propia, 2023).....	80
Figura 7.21: imágenes de los aforos de los glaciares Norte y Sur respectivamente (fuente propia, 2023).....	81
Figura 7.22: Curva de Duración de Caudales histórica para el arroyo Pedregoso en la toma de agua (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022).....	83
Figura 7.23: Curva de Duración de Caudales mensual para el arroyo Pedregoso en la toma de agua (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022).....	84
Figura 7.24: esquema del sistema hidrológico en estudio (Producción propia).....	85
Figura 7.25: correlación lineal entre el caudal de descarga de los glaciares del cerro Perito Moreno y la temperatura de la estación de El Bolsón.....	88
Figura 7.26: datos hidrometeorológicos obtenidos de marzo y febrero 2016-2022 del refugio Hielo Azul.....	89
Figura 8.1: ejemplos de reservorios excavados (SAyDS & INTA, 2019).....	94
Figura 8.2: ejemplo de una tanque australiano sobre platea de cemento y funda (Lonera LJ, 2022).....	94
Figura 8.3: ejemplos de tanques de polietileno (Infinity Rotomolding, 2023) (Rotoplas S. A., 2023).....	95
Figura 8.4: esquema de etapas para el revestimiento de un canal con hormigón (DPA, 2022b).....	97
Figura 8.5: esquema de toma de agua de fondo (Adaptación de DPA, 2022b).....	97
Figura 8.6: estado del sistema de distribución de agua de riego de Mallín Ahogado (Producción propia, fuente: ALUSA, 2022; DPA, 2022a y DPA, 2022b).....	98
Figura 8.7: toma de agua desde acequias o reservorios de sistemas de riego	



presurizados (Bongiovanni & Rolando, 2022).....	101
Figura 8.8: área con acceso a red de agua potable en El Bolsón (Producción propia, fuente: Secretaría General de Planificación, 2012).....	104
Figura 8.9: diagrama del desarrollo sostenible (CEPEI, 2021).....	105
Figura 8.10: esquema de Política Hídrica Nacional Argentina (Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica, 2023).....	107

Índice de tablas

Tabla 4.1 : crecimiento demográfico de El Bolsón 1960-2010 (Secretaría General de Planificación, 2012).....	36
Tabla 6.1: parámetros geométricos aproximados del Glaciar Perito Moreno Norte (DPA, 2012).....	50
Tabla 6.2: parámetros geométricos aproximados del Glaciar Perito Moreno Sur (DPA, 2012).....	50
Tabla 7.1: estaciones meteorológicas utilizadas.....	63
Tabla 7.2: estadísticos mensuales de temperatura de El Bolsón (Producción propia, fuente: serie SMN 1978-2023).....	66
Tabla 7.3: estadísticos mensuales de precipitación de El Bolsón (Producción propia, fuente: serie SMN 1978-2023).....	66
Tabla 7.4: estadísticos mensuales de caudal de El Bolsón (Producción propia, fuente: serie DPA 1998-2022).....	67
Tabla 7.5: significancia estadística de las tendencias.....	69
Tabla 7.6: precipitación anual acumulada de las estaciones Perito Moreno, Hielo Azul y DPA-SMN 2004 a 2022.....	70
Tabla 7.7: significancia estadística de las tendencias.....	72
Tabla 7.8: aforos de afluentes del arroyo Pedregoso en el área de interés.....	79
Tabla 7.9: resultados de aforos realizados en las descargas de los glaciares del cerro Perito Moreno.....	81
Tabla 7.10: caudal ecológico mensual para el arroyo Pedregoso en la toma de agua, según distintos métodos seleccionados.....	84
Tabla 7.11: datos de caudal de descarga de los glaciares Norte y Sur del cerro Perito Moreno de campañas de monitoreo (fuente: DPA, 2023).....	87
Tabla 7.12: porcentaje de demanda de agua para riego cubierta en febrero y marzo de cada año, en escenario con aporte de glaciares y escenario sin el mismo (SG).....	91
Tabla 7.13: porcentaje de días de febrero y marzo 2016-2022 que no es cubierta la demanda de agua para riego.....	91
Tabla 8.1: costo económico de reservorios descentralizados	96
Tabla 8.2: Longitud de las secciones del sistema de distribución de Agua de Mallín Ahogado (Producción propia, fuente: DPA, 2022a).....	99
Tabla 8.3: costos correspondientes al revestimiento de 3900 m de canales y 5 tomas de agua por parte de ALUSA S.A. (Adaptación de DPA, 2022b).....	99
Tabla 8.4: costo por metro lineal de obra de revestimiento de canales actualizado.....	100
Tabla 8.5: costo económico de obra de revestimiento de 51175 m de canales y reconstrucción de 5 tomas de agua al 3 de noviembre de 2023.....	100
Tabla 8.6: costos para la implementación de riego presurizado (Adaptado de MercadoLibre, 2023a, b, c y d).....	102
Tabla 8.7: costo económico programa de educación ambiental y capacitaciones técnicas correspondiente a un extensionista (Adaptado de SAPROCEA, 2023).....	106



Abreviaciones

- A°: arroyo.
- ACRA: Autoridad de la Cuenca del Río Azul.
- AMC: Condiciones antecedentes de humedad (*Antecedent Moisture Conditions*).
- ANPRALE: Área Natural Protegida Río Azul - Lago Escondido.
- ARSA: Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima.
- ARSE: Aguas Rionegrinas Sociedad del Estado.
- CDC: Curva de Duración de Caudales.
- CIAMA: Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente.
- CIEFAP: Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico.
- CN: número de curva.
- COHIFE: Consejo Hídrico Federal Argentino.
- COP: Conferencia de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- DPA: Departamento Provincial de Aguas.
- Fa : abstracción continuada de la precipitación.
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization*)
- FDC: Curva de duración de caudales (*Flow Duration Curve*).
- GPS: Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System*).
- GIRH: Gestión integral de recursos hídricos.
- GIS: Sistema de Información Geográfica.
- GWP: *Global Water Partnership*.
- HA: Refugio Hielo Azul.
- I : infiltración.
- Ia : abstracción inicial de la precipitación.
- IGN: Instituto Geográfico Nacional.
- INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- IOVIF: Instituto de Ordenación de Vertientes e Ingeniería Forestal.
- IPCC: Panel Intergubernamental del Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).
- MAyDS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- MDE: Modelo Digital de Elevación.
- ODS: Objetivos de desarrollo sostenible.
- ONU: Organización Naciones Unidas.
- P : precipitación.
- PA: precipitación diaria acumulada.
- PARLATINO: Parlamento Latinoamericano y Caribeño.
- Pe : precipitación efectiva.
- Q: caudal.
- Qd : caudal de agua disponible al conservar el caudal ecológico.



- Q_{dsg} : caudal disponible en escenario sin glaciares.
- Q_e : caudal ecológico calculado.
- Q_{ex} : caudal exceso resultante de conservar el caudal ecológico y derivar agua para riego.
- Q_g : caudal correspondiente al aporte de los glaciares del cerro Perito Moreno.
- Q_{ot} : otros aportes de agua.
- Q_p : caudal del arroyo Pedregoso anterior a la derivación de agua para riego.
- Q_r : mediana del flujo estival derivado para riego en el canal de Luden.
- Q_x : caudal mensual superado o igualado el x% del tiempo.
- S : retención máxima.
- SAyDS: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- SCS: Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos.
- SG : escenario sin el aporte de descarga de glaciares.
- SMN: Sistema Meteorológico Nacional.
- UNEP: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (*United Nations Environment Programme*).
- UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*).
- USGS: Servicio Geológico de Estados Unidos (*United State Geological Survey*).



Resumen

El agua dulce es un recurso valioso, escaso y vulnerable que se puede encontrar de forma sólida en glaciares, cuerpos de hielo perennes formados por la acumulación, compactación y recristalización de nieve. Los glaciares son capaces de regular caudales y proporcionar agua en las épocas más calurosas del año, funciones que se encuentran en peligro debido a su retroceso. El presente trabajo final integrador de Ingeniería Ambiental consiste en evaluar el impacto del retroceso de los glaciares Norte y Sur del Cerro Perito Moreno sobre los caudales del arroyo Pedregoso y sobre el abastecimiento de agua al sistema de riego de Mallín Ahogado, Río Negro, Patagonia Argentina. Se recopiló y analizó la información disponible, compuesta principalmente por relevamientos anuales del DPA para el período 2012-actual. Los glaciares se encuentran en proceso de retroceso y disminución de su espesor. De acuerdo a las mediciones disponibles, presentan una tasa de retroceso media de 5,4 m/año y retracción acumulada de 53,6 m. Se realizó análisis de datos hidrometeorológicos históricos, relevamiento en terreno y aforos. Se determinó el caudal ecológico del arroyo Pedregoso para febrero, de 0,315 m³/s, y marzo, de 0,246 m³/s y se obtuvo una serie de caudales medio diarios de descarga de los glaciares mediante una correlación con la temperatura, los cuales oscilan entre 0 m³/s y 0,167 m³/s, con un valor medio de 0,047 m³/s. Se obtuvo el flujo de agua disponible para uso en el canal de Luden en un escenario actual y uno futuro en el cual los glaciares han desaparecido. Se propusieron medidas de adaptación al déficit hídrico y su costo económico, basadas en reservorios descentralizados, eficiencia del sistema de distribución de agua, método de riego en parcela y la necesidad de acceso al agua potable para la población. Se presenta la educación ambiental, el asesoramiento técnico y el fortalecimiento de la GIRH como herramientas imprescindibles.

Palabras clave: retroceso glaciar, abastecimiento de agua, Mallín Ahogado, riego, adaptación al déficit hídrico, Gestión Integral de los Recursos Hídricos.



Abstract

Freshwater is a valuable, scarce, and vulnerable resource that can be found in a solid state in glaciers, perennial ice bodies formed by the accumulation, compaction, and recrystallization of snow. Glaciers are capable of regulating flow rates and providing water during dry or warm seasons, functions that are endangered due to their retreat. This final integrative project in Environmental Engineering aims to evaluate the impact of the retreat of the North and South glaciers of Cerro Perito Moreno on the flow rates of the Pedregoso stream and on the water supply to the irrigation system of Mallín Ahogado, Río Negro, Argentine Patagonia. Available information, primarily composed of annual surveys by the DPA for the period 2012 to the present, was collected and analyzed. The glaciers are currently experiencing retreat and a decrease in thickness. According to available measurements, they show an average retreat rate of 5.4 meters per year and an accumulated retreat of 53.6 meters. Historical hydrometeorological data were analyzed, along with field surveys and measurements. The ecological flow of the Pedregoso stream was determined for February, at 0.315 m³/s, and for March, at 0.246 m³/s. A series of daily mean discharge flows from the glaciers was obtained by correlating them with temperature, ranging between 0 m³/s and 0.167 m³/s, with an average value of 0.047 m³/s. The available water flow for use in the Luden canal was obtained for the current scenario and a future scenario in which the glaciers have disappeared. Adaptation measures to the water deficit and their economic cost were proposed, based on decentralized reservoirs, water distribution system efficiency, on-site irrigation methods, and the need for access to drinking water for the population. Environmental education, technical advice, and the strengthening of Integrated Water Resources Management (IWRM) are presented as essential tools.

Keywords: glacial retreat, water supply, Mallín Ahogado, irrigation, adaptation to water deficit, Comprehensive Management of Water Resources.

1. Introducción

1.1 Motivación

Los glaciares son cuerpos de agua dulce que brindan servicios ecosistémicos asociados al aprovisionamiento y reservorio del recurso hídrico, la regulación de la temperatura, calidad y cantidad de agua que escurre por los cauces y servicios culturales, estéticos y espirituales (SAyDS, 2019). Alrededor del mundo proveen de sustento a las comunidades humanas, tanto en cercanía de los mismos como en regiones alejadas de ubicación geográfica específica. No solo son fuente de agua para consumo e higiene, sino que también alimentan el desarrollo socioeconómico de numerosas poblaciones. El agua potable y el saneamiento son indispensables para sostener el bienestar humano, considerados como derechos básicos y reconocidos por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015).

La actual tendencia de aumento de las temperaturas medias y reducción de las precipitaciones invernales en la Patagonia coinciden con la observación del retroceso de glaciares en la región. Este suceso aumenta la vulnerabilidad de los glaciares y pone en riesgo su perpetuidad a lo largo del tiempo, amenazando la disponibilidad de reservorios de agua dulce (MAyDS et al., 2018) (IPCC, 2019).

La dinámica glaciar en un sistema ambiental, donde las partes están íntegramente relacionadas y forman un todo, no solo condicionan al ecosistema del cual forman parte, sino también a la sociedad. La dinámica glaciar regional histórica ha modelado el terreno, transformando regiones en lugares propicios para el aprovechamiento humano en cuanto a la actividad agro-pastoril. Comprender y conocer la evolución de los glaciares constituye una herramienta importante para el ordenamiento territorial, la evaluación ambiental, el estudio del cambio climático y la gestión integrada de los recursos hídricos, entre otras. Tener en cuenta los resultados de su estudio y monitoreo es imprescindible para la toma de decisiones y la planificación socioeconómica estratégica ya que la disponibilidad de agua históricamente ha sido y es un condicionante importante para el establecimiento de las poblaciones. Esta disponibilidad condicionarán también sus características y desarrollo (Lo Vecchio, 2020).

El desarrollo del presente trabajo consiste en la evaluación de los caudales del arroyo Pedregoso en relación a las variables meteorológicas, a la evolución de los glaciares que lo alimentan, ubicados en el Cerro Perito Moreno, y a los requerimientos de agua para riego de la zona de Mallín Ahogado.

Mallín Ahogado se ubica en la ciudad de El Bolsón, al suroeste de la provincia de Río Negro, Patagonia, Argentina. El poblado constituye un núcleo en desarrollo, con gran crecimiento poblacional en las últimas décadas debido a la división de tierras en las zonas que anteriormente eran grandes extensiones rurales. Anteriormente era considerada el área rural de la ciudad, asociada principalmente a actividades de producción agrícola y ganadera de subsistencia y pequeño comercio pero como consecuencia del cambio en el uso del suelo actualmente la zona está sufriendo un proceso de transición hacia un uso del suelo de características urbanas, aumentó la densidad



poblacional y comenzaron a surgir otras actividades económicas orientadas al turismo y al comercio. Este aspecto fuerza una mayor demanda de infraestructura y servicios como los de captación, conducción y distribución del agua. Este sector de la ciudad de El Bolsón se abastece de agua, sin potabilizar, por medio de perforaciones y a través de una red de canales circundantes (FAO, 2014) (Municipalidad de El Bolsón, 2015).

Actualmente el uso del agua proveniente del sistema de distribución se encuentra habilitado para riego, pero debido a los altos costos económicos que presentan las perforaciones se estima que gran parte de la población lo utiliza como agua de consumo. Uno de los aportes principales a dicho sistema proviene del canal de Luden, cuya fuente de agua es el arroyo Pedregoso. Este es alimentado, primordialmente en verano, por el deshielo de dos glaciares ubicados en el cerro Perito Moreno. Estos forman parte de la cuenca del Río Manso, dentro de la Subcuenca del Río Foyel (DPA, 2012, 2022).

Los glaciares del cerro Perito Moreno podrían ser de suma importancia en cuanto a la regulación de los caudales de base en el arroyo Pedregoso debido a que esta región posee un clima mediterráneo (Kottek et al., 2006), el cual presenta fríos inviernos lluviosos y veranos secos. En la época estival, de mayor demanda de agua y en la cual generalmente no nieva en la cabecera de la cuenca, el aporte de los glaciares es crucial para el abastecimiento, garantizando el riego de cultivos y provisión de agua a los ciudadanos de la zona y, como consecuencia, el sustento de su actividad económica. En los últimos años se ha evidenciado el retroceso de los glaciares, identificando potenciales impactos en los caudales disponibles para el sistema de distribución de agua de Mallín Ahogado (Crespo, 2023) (DPA, 2022) (Nini et al., 2017) (UNESCO, 2018) (Young & Lipton, 2006).

1.2 Objetivos

General

Evaluar el impacto del retroceso de los glaciares del Cerro Perito Moreno sobre los caudales del arroyo Pedregoso y sobre el abastecimiento de agua al sistema de riego de Mallín Ahogado.

Específicos

1. Evaluar la variación en los glaciares del Cerro Perito Moreno durante los últimos años.
2. Determinar el impacto del retroceso de los glaciares en los caudales del arroyo Pedregoso y en el sistema de riego de Mallín Ahogado, considerando su posible desaparición.
3. Proponer medidas de adaptación ante un posible déficit hídrico y evaluar su costo económico.

2. Marco Teórico

2.1 Agua y Glaciares

Gracias a las propiedades físicas y químicas únicas del agua en sus distintos estados (estructura atómica, pH, densidad, calor específico, entre otras) es posible la vida en la Tierra tal y como la conocemos. Es un recurso imprescindible e insustituible para el sostén de todas las especies, el ambiente y el desarrollo. El agua es considerada como un recurso escaso, valioso y vulnerable ya que su calidad es generalmente alterada durante su uso y, además de ser necesaria en los procesos vitales, lo es para la integridad de los ecosistemas e innumerables procesos productivos, actividades de recreación, saneamiento y aspectos culturales. Es por ello que su preservación y adecuada gestión son esenciales (COHIFE, 2003).

El agua se encuentra abundantemente en nuestro planeta, en estado sólido, líquido y gaseoso suman alrededor de 1.360 millones de km³; sin embargo, el porcentaje disponible para el consumo humano es escaso. Solo el 2,8% del volumen total de agua que se encuentra en nuestro planeta corresponde a agua dulce, del cual, el 77,8% se encuentra en glaciares y hielos, conformando importantes reservas de agua dulce (USGS, 2017).

Los glaciares son cuerpos de agua en estado sólido, hielos mayormente perennes, formados en la superficie terrestre por la acumulación, compactación y recristalización de la nieve, que muestran señales de movimiento por acción de la gravedad y poseen un área mayor o igual que 1 ha. Actualmente ocupan un 10 % del total de la superficie terrestre emergida (SAyDS, 2019) (Gutierrez Elorza, 2008). La ley los define como “toda masa de hielo perenne estable o que fluye lentamente, con o sin agua intersticial, formado por la recristalización de nieve, ubicado en diferentes ecosistemas, cualquiera sea su forma, dimensión y estado de conservación. Son parte constituyente de cada glaciar el material detrítico rocoso y los cursos internos y superficiales de agua” (Congreso Nacional de la República Argentina, 2010).

2.2 Retroceso de Glaciares

Los glaciares se forman en zonas donde las condiciones climáticas y geomorfológicas permiten que se acumule nieve y hielo, es decir, que haya un balance positivo entre la acumulación de masa durante el invierno y la pérdida de la misma durante el verano. Estos poseen una zona de ganancia de masa, una línea de equilibrio o nieves perpetuas y un área donde predomina la pérdida, zona de ablación (*Figura 2.1*).

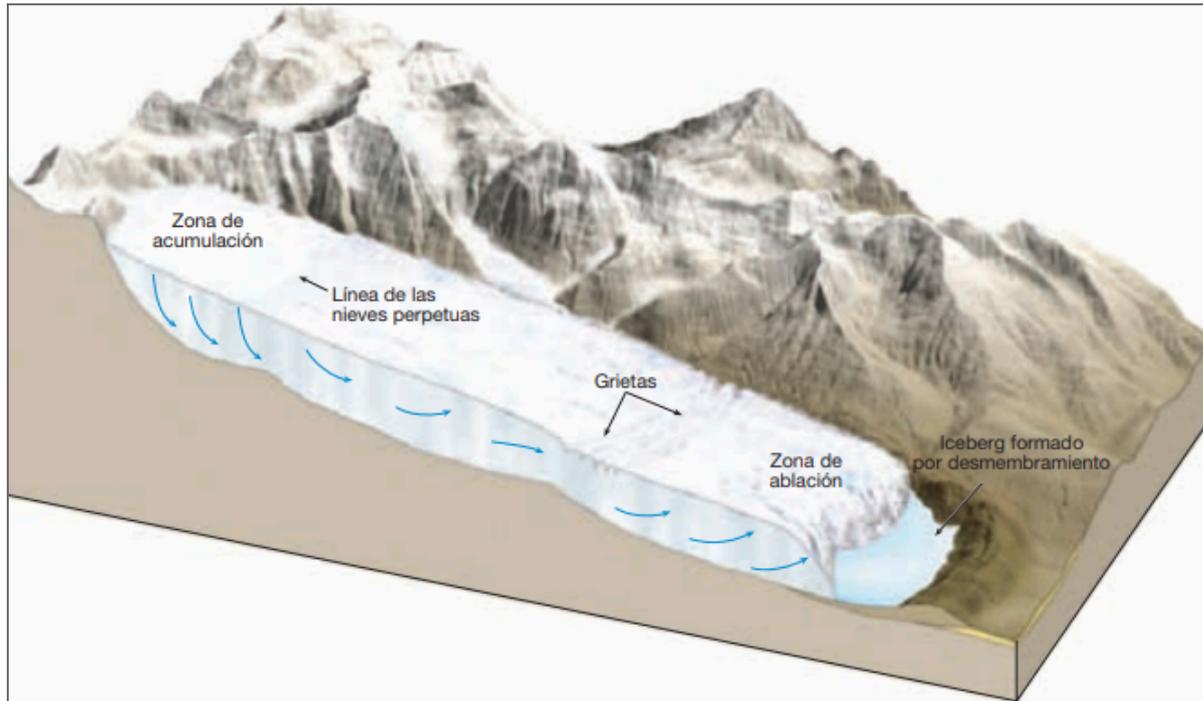


Figura 2.1: distintas zonas dinámicas de un glaciar (Tarbuck, 2005).

Por encima del límite de las nieves perpetuas, en la zona de acumulación, la adición de nieve aumenta el espesor del glaciar y fomenta su movimiento. Más allá de este límite se encuentra la zona de ablación. Los glaciares pierden masa principalmente mediante la fusión de hielo y nieve y también a través de un proceso denominado desmembramiento, el cual consiste en que se rompan grandes fragmentos de hielo de su frente.

El avance, retroceso o estado de equilibrio de un cuerpo criogénico depende del balance neto de masa glaciaria, el cual queda determinado mediante la diferencia anual entre la acumulación en el extremo superior del glaciar y la pérdida en el extremo inferior (Figura 2.2). Si la acumulación de hielo supera la ablación, el frente glaciar avanza hasta que los dos factores se equilibran. Cuando esto ocurre, el glaciar permanece estacionario. Si aumenta la ablación o si una reducción de las nevadas disminuye la acumulación, o ambas, el balance de masa del glaciar es negativo y el frente de hielo se retira. Si este fenómeno, denominado retroceso de glaciares, se repite año a año reiteradamente; puede ocurrir la pérdida total de la masa glaciar. El balance de masa glaciar puede traducirse a escorrentía y expresarse en m eq.a (metros equivalentes de agua). Considerando el balance hidrológico (Bh), que el proceso de acumulación es cuantificado principalmente por la precipitación (P) y el proceso de ablación es cuantificado por la fusión (F) y la sublimación (S) tenemos:

$$Bh = P - F - S$$

Se desprecia la alimentación por avalanchas y el viento como agente de redistribución de las masas de nieve.

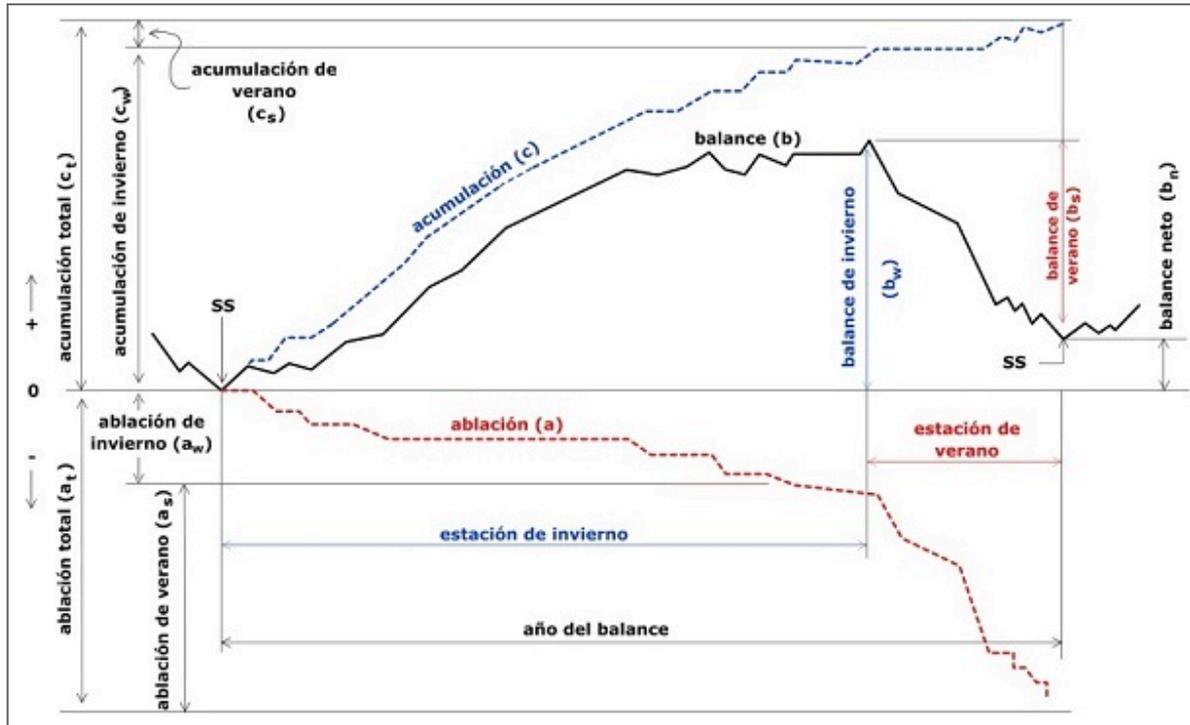


Figura 2.2: explicación gráfica del balance de masa en glaciares (Gutierrez Elorza, 2008).

Si bien los glaciares están constantemente ganando y perdiendo masa, aunque estén avanzando, retrocediendo o en estado estacionario; el hielo dentro del glaciar fluye hacia el frente (Figura 2.2). Existen variados factores que intervienen en la dinámica glaciar a distintas escalas. Influyen de forma regional el clima, la sismología y el volcanismo y como variables locales, la temperatura superficial glaciar y la litología sobre la cual se asienta. Los principales componentes meteorológicos que intervienen en la intensidad de la ablación, y por lo tanto, en el balance hidrológico del glaciar, son la radiación solar absorbida (influyendo sobre la fusión), la temperatura del aire (influyendo sobre la fusión y sublimación) y la precipitación (acumulación) (Tarbuck, 2005) (Lo Vecchio, 2020).

Los glaciares son importantes reservorios de agua dulce y su balance de masa anual presenta un medio para poder inferir sobre la disponibilidad del recurso hídrico a futuro. La forma de conocerlo es mediante el equivalente de agua de la nieve acumulada o fundida, es decir, la profundidad de agua que resultaría de su fusión. Obtener este dato resulta difícil debido a la variación de densidad del hielo en sus distintos sectores y la profundidad del mismo. La nieve fresca al depositarse en un glaciar se comprime debido a precipitaciones subsecuentes, esta compactación crece a medida que caen más y más precipitaciones a lo largo de los años, lo que provoca un aumento en la densidad de las partículas, desde nieve fresca (40 kg/m^3 aproximadamente) a hielo glaciar (mayor a 910 kg/m^3). Para conocer el balance neto de masa de un glaciar se necesitan medidas *in situ* del hielo y sensores remotos (Linsley et al., 1977) (UNEP, 1992).

El retroceso glaciar es un fenómeno evidente que preocupa a la comunidad científica, ciudadanos y tomadores de decisiones a escala mundial. En los últimos decenios, se ha observado

una gran reducción de la extensión de la criosfera global, con una pérdida de masa de los mantos de hielo, los glaciares descubiertos y reducciones de los mantos de nieve. En las regiones de alta montaña, la profundidad, la extensión y la duración del manto de nieve han disminuido, especialmente en las zonas de poca altitud. “La línea regional de nieves permanentes se define como la línea que une los puntos topográficos de menor altura sobre el paisaje de montaña, que al final de la época de fusión, que usualmente es el comienzo del otoño, muestran nieve acumulada” (Rabassa, 2019). En el caso de Patagonia y Tierra del Fuego, el aumento de la temperatura media anual, y especialmente de las temperaturas estivales, ha generado un aumento de altitud en la posición de la línea de nieve regional, y por lo tanto, de la línea de equilibrio de los glaciares. Los futuros escenarios posibles contemplan una reducción de masa de los pequeños glaciares mundiales de un 80% e incluso su desaparición (IPCC, 2019) (Dussailant et al., 2019).

El balance de masa negativo de los glaciares tiene impactos locales y regionales en las cuencas hidrográficas. Impacta tanto a los ecosistemas como a las poblaciones aledañas ya que ocasiona cambios en la magnitud y temporalidad de la escorrentía y en el flujo de sedimentos de los cursos de agua nacientes. La importancia de la contribución de los glaciares a la escorrentía depende de la dimensión de distintos componentes del ciclo hidrológico y, por lo tanto, es variable regionalmente. Puede causar un aumento o disminución de los flujos de agua anuales totales a través de cambios en el área cubierta por glaciares y su respectivo volumen. El retroceso de los glaciares amenaza la perpetuidad de reservorios y fuentes naturales de agua dulce, la capacidad amortiguadora de caudales y la belleza paisajística, a su vez, pone en riesgo la continuidad de actividades socioeconómicas como el turismo, la recreación y la producción agropecuaria, además de generar cambios en el paisaje que pueden impactar sobre los valores culturales intrínsecos (Crespo, 2023) (Kaltenborn, 2010) (Ruiz, 2020).

Se estima que los glaciares pasan por tres etapas diferenciables en su período de retroceso, si este es continuo (*Figura 2.3*). Cuando comienza el proceso, el caudal aportante por parte de la fusión de la masa de hielo glaciar a los cauces de la cuenca aumenta (etapa 1) hasta llegar a un valor máximo (etapa 2). Luego de alcanzado el valor máximo el caudal comienza a disminuir y a ser más variable debido a que la masa de hielo que se fusiona es cada vez menor, hasta que finalmente el glaciar desaparece y deja de influir en el caudal (etapa 4). Al estudiar los caudales de salida provenientes de un glaciar es posible entonces conocer la fase en la que este se encuentra (Baraer et al., 2012).

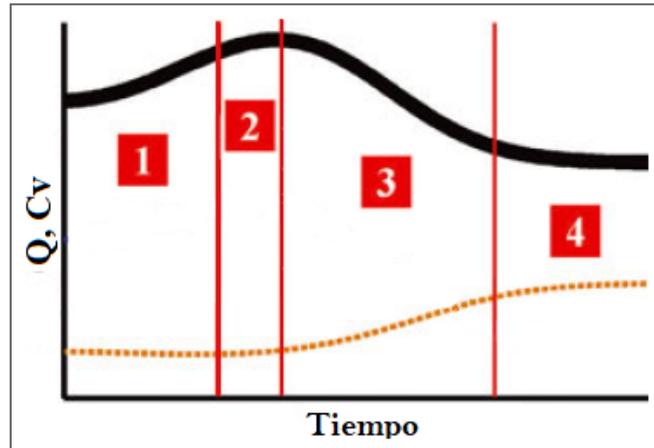


Figura 2.3: fases típicas del impacto hidrológico durante el retroceso glaciar. La línea negra representa el caudal medio anual y la línea punteada corresponde a su coeficiente de variación (Adaptado de Baraer et al., 2012).

2.3 Métodos

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) prevé que la pérdida de masa de los glaciares a escala mundial continúe acentuándose en el corto plazo, 2031-2050, debido a los aumentos de la temperatura del aire en la superficie, con inevitables consecuencias para los recursos hídricos en cuencas fluviales dominadas por la nieve y alimentadas por glaciares. En estos cursos de agua se observa la tendencia a un aumento de la escorrentía de invierno, ocasionada por una mayor proporción de precipitaciones en forma de lluvia, y en verano, debido a la intensificación del derretimiento de las masas de hielo. Esto significa que con el continuo retroceso glaciar se podría alcanzar el punto de inflexión, a partir del cual, la escorrentía comienza a disminuir. El momento en el que ocurre es regionalmente variable y depende del tamaño del glaciar, su tasa de derretimiento, la distancia al punto de estudio en la cuenca y del comportamiento de distintos componentes hidrológicos como las precipitaciones, la evaporación, el aporte de aguas subterráneas y el deshielo. Pueden compensar o fortalecer los efectos de los cambios en la escorrentía de los glaciares (IPCC, 2019) (Kaltenborn et al., 2010).

Para estimar de qué forma el retroceso glaciar afecta a los recursos hídricos aguas abajo es necesario determinar la contribución glaciar de la escorrentía mediante series de datos hidrométricos y meteorológicos regionales obtenidos a través de instrumentos remotos, mediciones de campo y estaciones meteorológicas. Existen distintas metodologías para estimar la evolución de los glaciares y su escorrentía. A continuación se desarrollan las características principales de 4 métodos.

- Balance de Masa Glaciológico: consiste en la medición in-situ del cambio en la altura de la superficie externa del glaciar a través de la observación de una red de balizas instaladas de forma distribuida. Estas son convertidas en equivalentes en agua ganada o perdida mediante la asignación de densidades obtenidas en pozos estratigráficos, testigos someros de nieve u observaciones de hielo en superficie.

- Radio Eco Sondaje (RES): el sistema utiliza un pulso electromagnético emitido por una antena transmisora. Este pulso viaja hacia el interior del glaciar, es reflejado en el lecho rocoso, como también en los distintos obstáculos y capas que se encuentran en su interior. El eco resultante es recogido por la antena receptora y el espesor de hielo y las profundidades de interfaces reflectantes, se determinan mediante el análisis de los retardos de tiempo del pulso en el hielo. Este método debe complementarse con tomas de muestra de hielo glaciar a distintas profundidades o la estimación de una densidad media, con la cual se procede a estimar el volumen equivalente de agua (Oberreuter et al., 2014).
- Geodésico: se realiza la medición de los cambios volumétricos que experimenta un glaciar obtenidos a partir de la diferencia de elevación y densidad del hielo en distintos momentos determinados, mediante el uso de mapas topográficos, Modelos Digitales de Elevación, entre otros. Este método es útil cuando las mediciones in-situ son poco factibles debido a las grandes dimensiones de los glaciares o cuando las condiciones topográficas no las permiten.
- Hidrológico: se aplica a una cuenca o subcuenca hidrográfica que contiene a un glaciar e integra la información registrada del balance de masa glaciológico, datos de escorrentía de los cursos de origen glaciar y observaciones y registros hidrometeorológicos, en los cuales se incluye la cuantificación de la ablación (evaporación, derretimiento y sublimación). Tiene por objetivo estimar un balance hídrico y determinar la contribución glaciar al caudal registrado en el río efluente, diferenciando el área de influencia glaciar (Rivera et al., 2016).

Si bien los métodos mencionados son apropiados, algunos pueden ser poco prácticos y/o no rentables, sujetos a la disponibilidad de recursos económicos y tiempo. Sus implementaciones están limitadas debido a la información de base disponible, accesibilidad segura a los sitios de estudio, disponibilidad e instalación previa de equipos de monitoreo, equipamiento de campo y cantidad y capacidad de los integrantes de los grupos de trabajo. Debido a las limitaciones mencionadas, el método hidrológico es el que fue empleado en el presente Trabajo Final Integrador.

2.4 Gestión Integrada de Recursos Hídricos

El uso de agua dulce se ha multiplicado aproximadamente por seis en los últimos cien años y sigue creciendo a un ritmo anual de casi un 1% desde 1980. Gran parte de este aumento se debe a una combinación de factores, como el crecimiento demográfico, la gobernanza, la urbanización, el desarrollo económico, el cambio en los patrones de consumo y la contaminación. A su vez, el agua posee distinto valor intrínseco según la comunidad de interés y no se encuentra distribuida físicamente de igual forma en las variadas regiones globales ni de manera equitativa en los distintos sectores sociales, lo cual es foco de conflictos emergentes. La centralidad del recurso hídrico para la supervivencia humana y para el desarrollo de distintas actividades fundamentales como la provisión de agua potable y saneamiento para la población, la utilización para el cultivo de alimentos, como así también para la industria, entre otras, exige un abordaje integral.

Se manifiesta la necesidad de integrar aspectos técnicos, sociales, económicos, legales, institucionales y ambientales para planificar e implementar un manejo adecuado del agua. Es por ello que surge la necesidad implementar un manejo sustentable de los recursos hídricos y en el año 1992 comienza a tomar especial consideración internacional el concepto de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) como “un proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinados del



agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (FAO, 2014) (GWP, 2000).

Para lograr la implementación eficiente de la GIRH es necesaria una visión holística e interdisciplinaria junto con la participación activa de actores involucrados y externos, tanto del sector privado como público, de forma cooperativa y coordinada. También deben tenerse en cuenta otros factores como la consideración de los procesos ecológicos y ambientales, disponibilidad de recursos económicos y la eficacia de los marcos normativos e institucionales, planificación estratégica e investigación y desarrollo. Conocer y cuantificar la disponibilidad del agua en las cuencas fluviales influenciadas por la nieve y el derretimiento de los glaciares es un aspecto sumamente relevante para la gestión y la gobernanza del agua, dado que los múltiples y diversos contextos de toma de decisiones, los enfoques y estrategias pueden influir en cómo se accede y distribuye el recurso hídrico (GWP, 2009).

Los datos y la información sobre el agua, tanto cualitativos como cuantitativos y atendiendo su carácter social, económico y ambiental; son componentes claves de la adquisición e intercambio de conocimientos para lograr comprender y valorar el recurso. Para su adquisición es necesario el monitoreo sistemático, la recopilación de datos, su tratamiento e interpretación, que permita dar a conocer y evaluar el estado y la dinámica del recurso hídrico con precisión. Los datos posibilitan llevar a cabo una descripción del escenario actual y punto de partida, la formulación de diagnósticos y la construcción de indicadores y/o patrones necesarios según el objetivo a alcanzar. Conocer el pasado, el presente y su evolución permite estimar posibles situaciones futuras (con intervención y sin ella) y así, decidir cómo actuar ante distintos conflictos emergentes. La investigación, la capacitación y el desarrollo constituyen insumos básicos de todo proceso de GIRH eficaz, proveyendo además información esencial para controlar la eficiencia y sustentabilidad de los sistemas hídricos y del conjunto de las actividades sociales y económicas relacionadas con el agua (COHIFE, 2003).

3. Marco Normativo

En el presente capítulo se presenta el marco legal actual de Argentina a nivel internacional, nacional, provincial y municipal de la zona de estudio con el fin de conocer el contexto regulatorio vinculado a la sostenibilidad, al uso y protección de los recursos naturales, el ambiente y los recursos hídricos en particular, considerando al servicio de riego y la protección de los glaciares específicamente. Conocer la normativa referida a los recursos hídricos nos permite saber el estado de las políticas públicas relacionadas a su gestión, las autoridades competentes y responsables de su fiscalización y cumplimiento, así como también, son fundamentales para la toma de decisiones y medidas tendientes a la protección y uso adecuado del agua.

3.1 Internacional

Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible

Se obtuvo como resultado de la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente en 1992, una reunión técnica previa a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que se desarrolló en Río de Janeiro en 1992. Se establecieron los Principios de Dublín como una acción concertada para invertir las tendencias de consumo excesivo, la contaminación y las amenazas crecientes derivadas de las sequías y crecidas. Se integraron y resumieron los principales aspectos y propósitos de la gestión del agua mediante un proceso de consulta internacional. Su objetivo es el de promover cambios en aquellos conceptos y prácticas que se consideran fundamentales para un mejor manejo de los recursos hídricos. Es por ello que son dinámicos y cada región debe actualizarlos y adaptarlos a su contexto sociocultural y ambiental específico. Se establecieron cuatro principios rectores internacionales de la GIRH:

- El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.
- El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocerse como un bien económico (CIAMA, 1992).

Acuerdo de París

El Acuerdo de París es un tratado internacional legalmente vinculante del cual Argentina es parte firmante. Entró en vigencia en noviembre de 2016 luego la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), en París y fue creado para abordar el cambio climático y sus impactos negativos y uno de sus tres objetivos es “aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos”. Para lograr una implementación práctica, en 2018, en la COP24, se establecieron directrices de implementación del Acuerdo donde se describe cómo llevar un seguimiento de los esfuerzos para mejorar las capacidades nacionales de adaptación a los efectos adversos del cambio climático (Naciones Unidas, 2015).

Agenda 2030 de Naciones Unidas y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible

En el año 2015, en la Cumbre Mundial sobre el desarrollo sostenible realizada por la Organización de las Naciones Unidas en Nueva York se adoptaron un conjunto de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) globales para erradicar la pobreza, proteger el ambiente y tomar medidas referidas al cambio climático como parte de una nueva agenda. Se establecieron 17 objetivos con metas específicas que abarcan las esferas económica, social y ambiental, las cuales deben alcanzarse en el año 2030 pero no son jurídicamente vinculantes.

El objetivo número 6 de los ODS se refiere a los recursos hídricos y busca “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Dentro de las metas establecidas se mencionan a continuación las referidas al uso y gestión del agua:

6.4 Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.

6.5 Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.

6.6 Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos (ONU, 2015).

En Argentina se establecieron indicadores de seguimiento de las metas 6.1 a 6.3 considerando el porcentaje de población con disponibilidad de agua potable y tratamiento de efluentes pero no se ha realizado aún la identificación de los mismos o de intervenciones asociadas a las metas 6.4 - 6.6 (Consejo Nacional de Coordinación y Políticas Sociales, 2022).

Ley Marco para la Protección de los Glaciares, Parlamento Latinoamericano y Caribeño

El Parlamento Latinoamericano y Caribeño (PARLATINO) en el año 2011 creó una ley modelo de protección de los glaciares, mediante la cual los Estados Latinoamericanos deben proteger y conservar las áreas y ecosistemas de glaciares, nevados y de los denominados hielos eternos para garantizar la regulación hídrica y las reservas de agua dulce para sus ciudadanos, conservar la biodiversidad, el suelo, la calidad del agua, la belleza del paisaje y la identidad cultural, así como la conservación de los ecosistemas y las actividades productivas. En la misma se establece la creación de un Programa Nacional de Protección a los Glaciares, el cual deberá tener un presupuesto acorde al cumplimiento de sus objetivos; se enlistan las actividades restringidas que puedan afectar la condición natural o las funciones de los glaciares y se establece la presentación de informes al respecto (PARLATINO, 2011).

Para efectos del cumplimiento de la protección de los glaciares cada estado miembro del parlamento debe promulgar sus propias normas y/o leyes considerando los aspectos locales y definiendo sus propios objetivos. Los estados latinoamericanos han adherido a acuerdos internacionales referidos al cuidado del ambiente y al cambio climático. Algunos países como Venezuela o Colombia poseen relativamente pocos glaciares en su territorio y estos se encuentran dentro de áreas protegidas, comprendidos dentro de sus políticas de protección ambiental. Actualmente el único país de Latinoamérica que cuenta con una legislación específica de protección glaciaria es Argentina, la cual es previa a la creación de la Ley Marco establecida por el PARLATINO.



3.2 Nacional

Constitución Nacional

Artículo 41. “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo (...)”.

Artículo 124. Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio.

Ley N° 25.675/02. Ley General del Ambiente: establece las condiciones mínimas necesarias para la gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. A tales efectos se determinan los objetivos, principios e instrumentos de la política ambiental nacional y se definen procesos y herramientas fundamentales como el ordenamiento ambiental, la evaluación de impacto ambiental, la participación ciudadana, la educación ambiental, entre otros.

Ley N° 25.688/02. Régimen de Gestión de Aguas: otorga presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Mediante la presente ley se establece a la cuenca hídrica como la unidad ambiental de gestión del agua, se crean comités de cuencas interjurisdiccionales, se define el uso del agua y se establecen las competencias de la autoridad de aplicación nacional con el fin de conducir a una gestión ambientalmente sustentable.

Acuerdo Federal de Agua y los Principios Rectores de Política Hídrica de la Argentina

En el año 2003 se crea el Acuerdo Federal del Agua, en el cual, los sectores vinculados con el uso, gestión y protección del agua consensuaron de forma federal los fundamentos de la política hídrica nacional. Se establecieron 49 principios que brindan lineamientos específicos para lograr una gestión eficiente, participativa y sustentable de los recursos hídricos en el país, integrando aspectos socioeconómicos y ambientales. Se crea así, una política de estado que surgió de la participación de todas las provincias nacionales mediante el Consejo Hídrico Federal. Los temas tratados en los principios rectores se dividen en ocho distintas áreas, el ciclo del agua, el ambiente, la sociedad, la gestión, las instituciones, la ley, la economía y sus herramientas (COHIFE, 2003).

Ley N° 26.438/09. Consejo Hídrico Federal (COHIFE): se reconoce al CONSEJO HÍDRICO FEDERAL como persona jurídica de derecho público y como instancia federal para la concertación y coordinación de la política hídrica federal y la compatibilización de las políticas, legislaciones y gestión de las aguas de las respectivas jurisdicciones, respetando el dominio originario que sobre sus recursos hídricos les corresponden a las provincias. El Consejo Hídrico Federal fue creado en el año 2002 como el resultado de un acuerdo sobre la conveniencia y necesidad de que entre las provincias y la Nación exista una instancia federal para la gestión hídrica nacional, pero no fue hasta el año 2009 que el Congreso Nacional le otorgó la competencia legal por medio de la presente ley. Su propósito es el de promover el desarrollo armónico e integral del País en materia de Recursos Hídricos en el marco de los Principios Rectores anteriormente mencionados, participando en la formulación y el seguimiento estratégico de la Política Hídrica Nacional a los fines de una gestión integrada de los recursos hídricos.



Ley N° 26.639/10. Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de Glaciares y Ambiente Periglacial: establece los presupuestos mínimos para la protección de los glaciares y del ambiente periglacial con el objeto de preservarlos como reservas estratégicas de recursos hídricos para el consumo humano; para la agricultura y como proveedores de agua para la recarga de cuencas hidrográficas; para la protección de la biodiversidad; como fuente de información científica y como atractivo turístico. La presente ley establece la creación del Inventario Nacional de Glaciares, donde se individualizan todos los glaciares y geoformas periglaciares existentes en el territorio nacional con la información necesaria para su adecuada protección, control y monitoreo. Este inventario deberá actualizarse con una periodicidad no mayor de cinco años, verificando cambios en superficie de los glaciares y del ambiente periglacial, su estado de avance o retroceso y otros factores que sean relevantes para su conservación. A su vez determina que todas las actividades proyectadas en dichos sitios, que no se encuentran prohibidas, estarán sujetas a un procedimiento de EIA y evaluación ambiental estratégica, según corresponda conforme a su escala de intervención (artículos 19, 20 y 21 de la Ley N° 25.675), exceptuando actividades científicas, de rescate o deportivas.

Ley N° 26.994/14. Código Civil y Comercial de la Nación, artículo 235: determina como bienes pertenecientes al dominio público a “ríos, estuarios, arroyos y demás aguas que corren por cauces naturales, los lagos y lagunas navegables, los glaciares y el ambiente periglacial y toda otra agua que tenga o adquiera la aptitud de satisfacer usos de interés general (...)”.

Plan Nacional del Agua

En el año 2016 el Gobierno Nacional crea el El Plan Nacional del Agua como un instrumento de planificación orientado al cumplimiento de los ODS en cuanto a reducción del porcentaje de la población en situación de pobreza, garantizar el derecho al agua potable y al saneamiento; contemplando el desarrollo productivo sustentable, los múltiples aprovechamientos del recurso, la conservación del agua en un estado compatible con la salud y el ambiente y mejorando la adaptación de la población a fenómenos climáticos extremos. Los objetivos del plan se llevan a cabo mediante una política hídrica de participación ciudadana, innovación y fortalecimiento de capacidades (Presidencia de la Nación et al., 2017).

Ley N° 27.520/19. Ley de Presupuestos Mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Global: establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para garantizar acciones, instrumentos y estrategias adecuadas de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático en todo el territorio nacional con el objetivo de determinar las estrategias, medidas, políticas e instrumentos relativos al estudio del impacto, la vulnerabilidad y las actividades de adaptación al Cambio Climático que puedan garantizar el desarrollo humano y de los ecosistemas; asistir y promover el desarrollo de estrategias de mitigación y reducción de gases de efecto invernadero en el país; y reducir la vulnerabilidad humana y de los sistemas naturales ante el Cambio Climático, protegerlos de sus efectos adversos y aprovechar sus beneficios. La presente ley dicta los principios de las políticas públicas en materia de adaptación y mitigación al cambio climático, las autoridades de aplicación, crea el Gabinete Nacional de Cambio Climático y se obliga a la creación del Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático.

3.3 Provincial

Constitución de la Provincia de Río Negro

Artículo 70. La Provincia tiene la propiedad originaria de los recursos naturales existentes en el territorio, su subsuelo, espacio aéreo y mar adyacente a sus costas.

Artículo 71. Son de dominio del Estado las aguas públicas ubicadas en su jurisdicción, que tengan o adquieran aptitud para satisfacer usos de interés general.

Artículo 84. Todos los habitantes tienen el derecho a gozar de un medio ambiente sano, libre de factores nocivos para la salud, y el deber de preservarlo y defenderlo.

Ley N° 2.833/94. Creación del Área Natural Protegida Río Azul – Lago Escondido (ANPRALE): establece la creación del área natural protegida. La misma fue modificada por la Ley Provincial N° 3.267 en el año 1999; por medio de la cual se amplía su área, contemplando al Cerro Perito Moreno.

Ley N° 2.952/95. Código de Aguas: establece que son aguas del dominio público provincial, todas las que se encuentren dentro de sus límites territoriales, incluyendo las correspondientes al Mar Argentino adyacente y que no pertenezcan al dominio privado de particulares o del Estado, según el Código Civil. Determina a las aguas, integradas todas ellas en el ciclo hidrológico, sus fuentes, los cauces, lechos, playas y capas hídricas del subsuelo, como un recurso unitario subordinado al interés general y al recurso hídrico como un bien del Estado Provincial, concesible, incluso al mismo Estado.

Ley N° 3.183/97. Prestación de los servicios de agua potable, desagües cloacales, riego y drenaje: se otorga al Poder Ejecutivo la facultad de crear Aguas Rionegrinas Sociedad del Estado (ARSE) para la prestación de servicios y se establece al DPA como Ente Regulador. Posteriormente en el año 1999, mediante la Ley Provincial N° 3.309 se constituye Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima (ARSA) con el objetivo de la prestación de servicios y producción de bienes asignados anteriormente a ARSE.

Ley N° 3.218/98. La presente ley aprueba el Convenio de Cooperación Técnica suscripto por las Provincias de Río Negro y Chubut en 1997, en el cual se prevé la constitución de la "Autoridad de la Cuenca del Río Azul" (ACRA), estableciendo las pautas para su constitución y funcionamiento.

Ley N° 3.465/00. Faculta al DPA a otorgar las autorizaciones administrativas de uso de agua pública con destino a riego agrícola.

Ley N° 4.474/09. Crea un Observatorio de Cambio Climático dentro del ámbito del DPA: se crea el observatorio con las funciones de recopilar datos que permitan seguir la evolución de los efectos producidos por cambios en el clima; analizar información e intercambiarla con las áreas del Estado provincial, organismos nacionales, de otros Estados provinciales, regionales y entidades no gubernamentales relacionadas con la temática; proyectar posibles escenarios de los efectos climáticos en el territorio provincial a mediano y largo plazo; proponer medidas que contribuyan a minimizar los efectos de los cambios climáticos; coordinar con organismos estatales similares la implementación en el territorio provincial de las medidas que adopten los organismos internacionales o interestatales para reducir la contaminación que produce el calentamiento global y fomentar la concientización en la opinión pública de lo que el cambio climático significa.



Ley N° 4.736/11. La Provincia de Río Negro adhiere en todos sus términos a la Ley Nacional N° 26.639, que establece Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial.

Ley N° 4.952/14. Establece un régimen de protección y fomento de los sistemas socio-productivos de la Agricultura Familiar mediante políticas públicas de acceso a la tierra, al agua y bienes esenciales para la producción, el trabajo y la comercialización. En el artículo 10 se establece a la autoridad de aplicación, junto a organismo competentes, como los responsables de garantizar el acceso al agua para consumo humano, riego, higiene y saneamiento y consumo de los animales domésticos.

Ley N° 5.140/16. Ley general de cambio climático. Tiene el objetivo de regular la intervención provincial dirigida a reducir la emisión de gases de efecto invernadero y a adoptar las medidas de adaptación frente al cambio climático. Se establecen definiciones, principios, acciones y la creación del Plan Provincial de Acción de frente al Cambio Climático como instrumento guía de la política provincial en este campo y se ordena su desarrollo a la Secretaría de Ambiente y Cambio Climático asistida por un Comité Asesor formado por diversas instituciones.

3.4 Municipal

Carta Orgánica de El Bolsón

Artículo 2. Promueve la sustentabilidad.

Artículo 25. Derecho a un ambiente sano y equilibrado

Artículo 41 y 44. Todo vecino y el Estado de la ciudad de El Bolsón tienen los siguientes deberes: preservar el ambiente, evitar su contaminación, participar en la defensa ecológica, prevenir y reparar los daños ambientales.

Artículo 164. El Municipio de El Bolsón ejerce las facultades otorgadas por la Constitución Provincial en su carácter de autoridad ambiental dentro de su ejido municipal.

Código Ambiental del Municipio de El Bolsón

Artículo 4. Declárase de Interés Municipal el uso sostenible de los recursos naturales existentes en el Ejido Municipal de El Bolsón.

Artículo 5. Todo manejo de los recursos naturales en el Municipio se realizará siguiendo un enfoque sistémico y buscará su desarrollo armónico en sus aspectos naturales, sociales y económicos.

Artículo 6. Aprovechamiento de los recursos naturales.

Ordenanza N° 189-2022. Se amplía la planta urbana y suburbana del Ejido Municipal de El Bolsón. En dicha actualización un sector del área de Mallín Ahogado (SU 3 Y 3A) pasa de ser rural a suburbano.

4. Área de Influencia

El presente proyecto final integrador se enmarca en la zona denominada Mallín Ahogado, la cual es un área rural ubicada del municipio de El Bolsón (19.727 habitantes en 2010). Si bien carece de límites oficiales se puede delimitar dentro de un área de aproximadamente 12.500 hectáreas. Se encuentra 10 km al norte del centro del ejido urbano de la ciudad, emplazada en el departamento de San Carlos de Bariloche, al sudoeste de la provincia de Río Negro, Patagonia, Argentina (Figura 4.1). Mallín Ahogado se encuentra al pie de la Cordillera de los Andes, ubicado en un valle longitudinal a una altitud entre los 200 y 600 msnm en dirección Norte-Sur, lo cual le da características climáticas distintivas en la región. El sitio se encuentra dentro de una región turística y de producción agrícola y silvopastoril a pequeña escala, de gran valor internacional, llamada la Comarca Andina del Paralelo 42 (Figura 4.2). En los últimos años esta región ha tenido un gran crecimiento poblacional, por lo cual, está experimentando el fraccionamiento y la subdivisión de tierras. Actualmente se encuentra en un período de transición entre el uso del suelo rural y urbano.

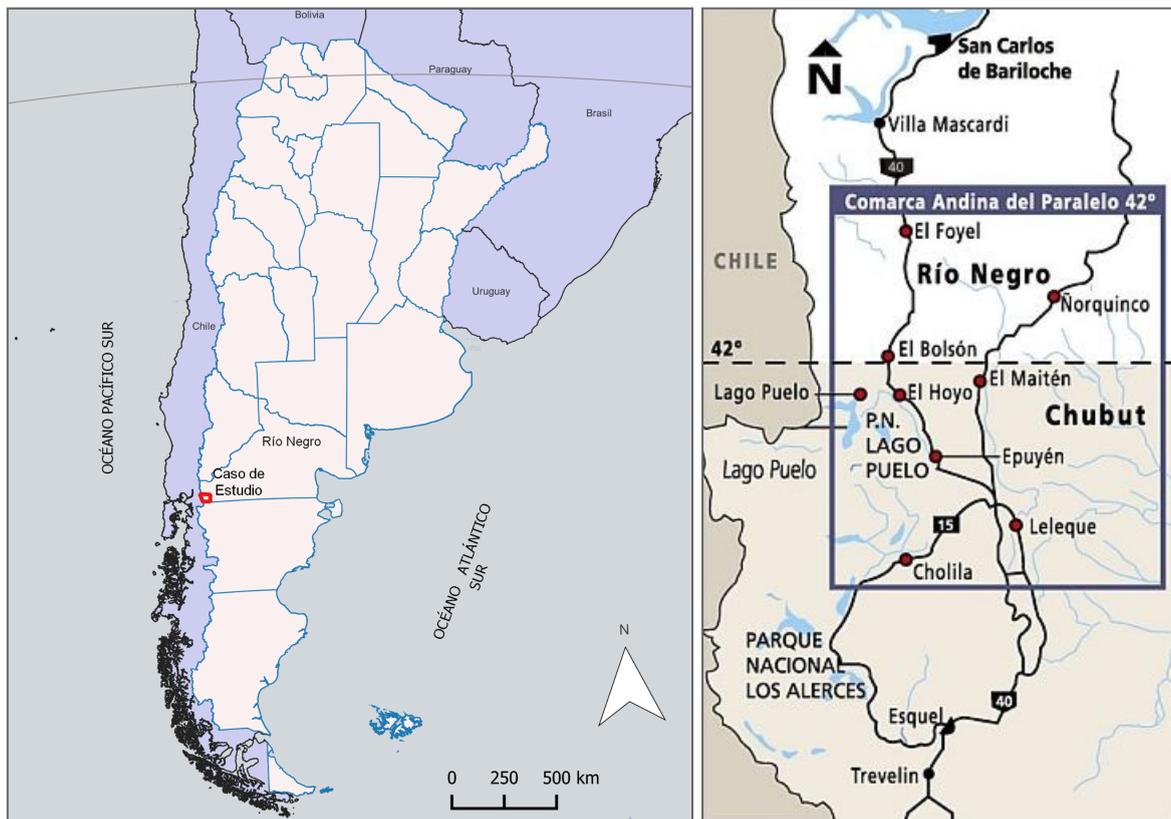


Figura 4.1: ubicación del área de estudio (Producción Propia).

Figura 4.2: Comarca Andina del Paralelo 42° (INTA, 2021).

A una distancia de 25 km hacia el noroeste del centro de El Bolsón, más precisamente al oeste de Mallín Ahogado, se encuentra el cerro Perito Moreno, con una altitud máxima de 2294 msnm (*Figura 4.3*). Este sitio es un punto de gran importancia turística, comercial y ecológica para la región. Allí funciona un centro de ski y un refugio de montaña, con establecimientos comerciales y de gastronomía, al cual llegan alrededor de 2000 pasajeros por día en épocas invernales. En el cerro se realizan actividades de recreación tanto de invierno como de verano, de las cuales, la visita a los glaciares allí ubicados forma una parte primordial de los atractivos (Secretaría de Turismo de El Bolsón, 2020). El cerro está compuesto por afloramientos de roca y suelo desnudo en su parte más alta y tanto flora como fauna de gran valor de conservación, característica del bosque andino patagónico en cotas inferiores a 1700 msnm.

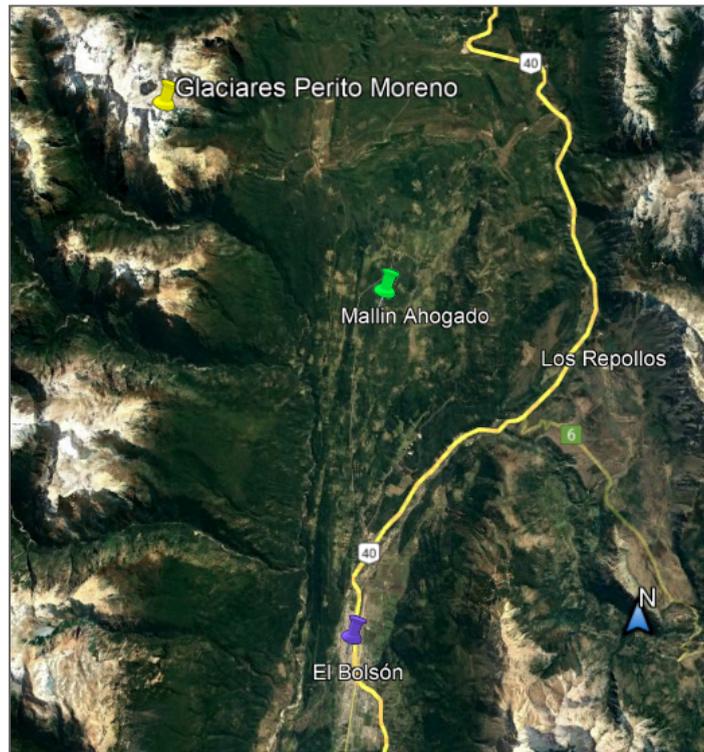


Figura 4.3: ubicación de los glaciares del cerro Perito Moreno en relación a los poblados cercanos (Producción propia, fuente: Google Earth).

4.1 Características Naturales

Clima

Por encontrarse, El Bolsón, ubicada en el fondo de un valle rodeado por cordones montañosos, los datos de clima disponibles no reflejan la situación de importantes sectores de las áreas de mayor altitud; especialmente en cuanto a precipitación, temperatura y vientos, que son notablemente influidos por factores orográficos. En consecuencia se puede concluir la existencia de diversas unidades climáticas en función de las características geomorfológicas.

En promedio, considerando los datos meteorológicos de las estaciones existentes, se trata de una región de clima templado frío y húmedo cordillerano, con un régimen pluviométrico predominantemente invernal y con acentuado contraste de sentido este-oeste; estimándose en el sector occidental y en las regiones de mayor altitud, valores de precipitación superiores a 2.000 mm/a. En El Bolsón, el promedio de lluvias para el período 1941 – 1960 registra un valor anual de 893 mm. La temperatura media anual es de 9,5 °C, la temperatura máxima absoluta es de 37,3 °C y la temperatura mínima absoluta es de -10,3 °C. En la ciudad se registran vientos débiles que predominan de dirección Norte y Sur a una velocidad media de 7 km/h. En contraste, las zonas de mayor altitud cercanas a la ciudad registran fuertes vientos (>30 km/h), intensas precipitaciones que rondan los 1000 mm anuales y exposición solar plena (IOVIF, 1974).

El clima en el área de estudio se caracteriza por una frecuente ocurrencia de eventos como heladas y nevadas tempranas o tardías. Con respecto a la distribución anual de las precipitaciones, el mayor porcentaje corresponde a las ocurridas entre mediados de abril y septiembre, coincidiendo con la época otoñal e invernal. El mayor déficit hídrico mensual se produce en el período estival, durante los meses de enero, febrero y marzo (*Figura 4.4*). Estas condiciones climáticas limitan el desarrollo de la agricultura en la región, la cual solo puede prosperar bajo riego y con especies de crecimiento principalmente primavero-estival, pudiéndose adaptar también especies otoño-invernales dependiendo del manejo (Bondel 2008) (FAO, 2014).

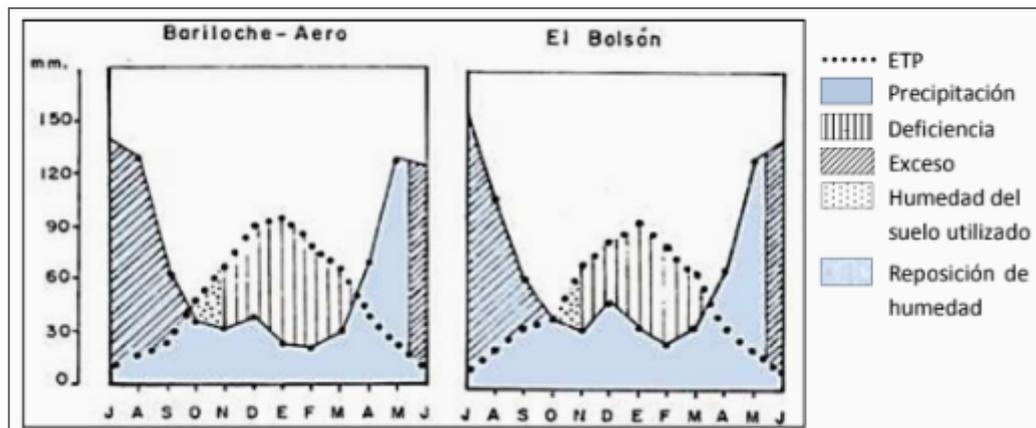


Figura 4.4: balance hídrico de San Carlos de Bariloche, estación Aeropuerto, y El Bolsón (Pulita, 1989).

Flora

La distribución de los biomas de la región de interés obedece a patrones ambientales distintivos tales como la orografía, hidrografía y el clima. Desde el punto de vista fitogeográfico, el área en consideración integra la zona septentrional de la formación forestal andino patagónica, correspondiente a las provincias subantártica austral y altoandina austral. Esta formación se extiende en una angosta franja a lo largo de la Cordillera de los Andes desde el noroeste de la provincia de Neuquén hasta Tierra del Fuego. Se caracterizan por contener densas masas boscosas o de matorrales y vegetación baja, de poca cobertura, respectivamente (IOVIF, 1974).

Las variadas condiciones altitudinales y de exposición presentes determinan ambientes particulares donde factores como tipo, composición, densidad y grado de desarrollo vegetal, tienden a ser bastante homogéneos en su estado natural de evolución. En el área de estudio se encuentra la zona altoandina, que ocupa los espacios ubicados por encima de los bosques, a más de 1650 msnm. Posee una fisonomía semi-desértica con una importante proporción de suelo desnudo y afloramientos rocosos, presenta vegetación arbustiva o herbácea incipiente, erial, de bajo desarrollo y aparición frecuente de matorrales bajos cerrados asociados a la cabecera de ríos y arroyos, así como pastizales y mallines de altura en lugares con anegación (*Figura 4.5*).



Figura 4.5: (a, b y c) vegetación de alta montaña y (d) mallín de altura colgante en cercanías de los glaciares del cerro Perito Moreno (fuente propia, 2023).

Por debajo de los 1650 msnm aproximadamente, se encuentra la flora perteneciente a los bosques subantárticos australes, constituida principalmente por especies del género *Nothofagus* y otras predominantes como el Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*), Radal (*Lomatia hirsuta*) y Notro (*Embothrium coccineum*) en el estrato emergente. En el sotobosque predominan arbustos y plantas bajas, donde prevalece la Caña Colihue (*Chusquea culeou*), el Chilco (*Fuchsia magellanica*), el Michay (*Berberis Darwinii*) y el Maqui (*Aristotelia chilensis*), entre otros (*Figura 4.6*). En zonas de

praderas o mallines se encuentran variadas especies herbáceas de juncos, carex y trébol. Sobre las veras de los arroyos se establecen principalmente los Maitenes (*Maytenus boaria*), Sauces y helechos. También se observan en la región especies hemiparásitas como el Farolito Chino (*Misodendrum*), Quintral (*Tristerix corymbosus*), Quinchamali (*Quinchamalium chilense*), entre otras (Novara y Schauman, 2010) (Cabrera, 1951) (Raffaele et al., 2014).

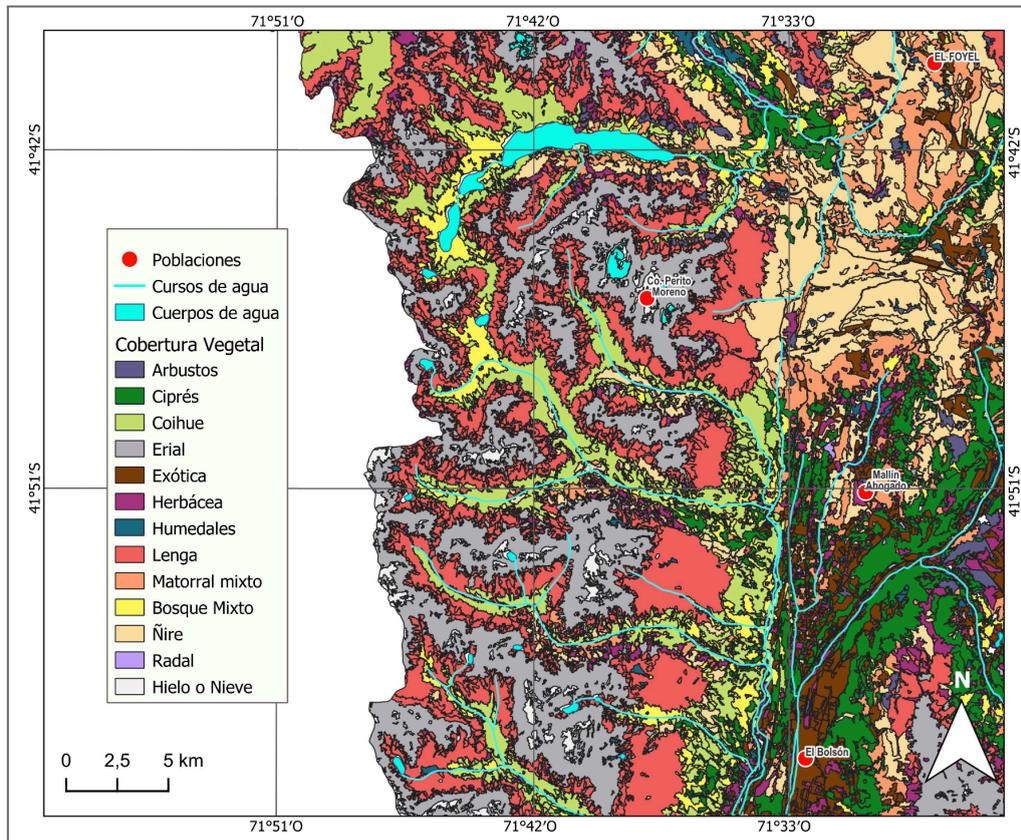


Figura 4.6: cobertura vegetal en el sudoeste de Río Negro (Producción propia, fuente: CIEFAP y MAYDS, 2016).

Fauna

Al igual que la flora de la región, la distribución y riqueza de animales está sectorizada obedeciendo a los distintos ecosistemas desarrollados debido a la gran variación climática longitudinal, de este a oeste. La fauna nativa característica corresponde a la presente en el Bosque Andino Patagónico, la cual posee una amplia diversidad compuesta de más de 370 especies. En la siguiente descripción se mencionan las autóctonas y consideradas de valor especial.

Dentro de la gran diversidad de aves presentes se destacan el Cóndor Andino (*Vultur gryphus*), el Pájaro Carpintero Gigante (*Campephilus magellanicus*), el Chucao (*Scelorchilus rubecula*) y el Picaflor Rubí (*Sephanooides sephanioides*). En cuanto a los invertebrados, en la zona de estudio se halla el abejorro Mangangá (*Bombus dahlbomii*) como especie endémica, se pueden observar Cuncunas (*Ormiscodes amphimone*), diversas especies de arañas, mariposas, hormigas, libélulas y otros insectos nativos. En la clase de los mamíferos sobresalen el Pudú-Pudú (*Puda puda*) y el

Huemul (*Hippocamelus bisulcus*) como cérvidos endémicos, felinos como el Puma y el Gato Huiña, el Huillín (*Lontra provocax*), el Monito del Monte (*Dromiciops gliroides*) y el Zorro Colorado (*Lycalopex culpaeus*), así como también se encuentran roedores y murciélagos. Además habitan en el bosque distintas especies de lagartijas, sapos y ranas autóctonas y endémicas.

En la zona caracterizada también habitan especies exóticas silvestres, introducidas en la región de forma antrópica, que se han expandido a lo largo gran porcentaje del territorio Patagónico, tales como el Ciervo Colorado (*Cervus elaphus*), el Jabalí (*Sus scrofa*), la Liebre Europea (*Lepus europaeus*) y el Visón (*Neovison vison*).

Los cuerpos de agua en la región son sistemas oligotróficos y, particularmente, los arroyos de cabecera se caracterizan por poseer aguas transparentes con concentración de oxígeno alta, valores de pH neutros a ligeramente ácidos y temperaturas bajas que oscilan entre 0 y 4 °C durante el invierno, y entre 10 °C (aguas arriba) y 14 °C (aguas abajo) a fines del verano. Sus cauces son predominantemente escalonados en terrenos pronunciados, con frecuentes saltos o cascadas. Esta morfología determina la capacidad del sistema para retener detritos e impide el acceso de los peces a los tramos superiores de las cuencas (Pedrozo et al. 1993).

En estos ambientes acuáticos, sobre la superficie del fondo, se desarrollan los productores primarios, limitados por la cantidad de luz que les llega. Los consumidores primarios son una amplia variedad de invertebrados, dentro de los cuales se destacan las pancoras (*Aegla abtao*). El compartimiento superior de las redes tróficas lo constituyen fundamentalmente salmónidos exóticos introducidos como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), trucha marrón (*Salmo trutta*) y trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*), además de peces (*Perca*, *Percichthys spp*) y ranas autóctonos (APN, 2023) (Díaz-Villanueva y Albariño, 2021).

Geología

El valle de El Bolsón es un valle tectónico delimitado por montañas hacia el este y el oeste (Figura 4.7), caracterizado en su estructura por un sinclinal de rumbo norte de dimensiones de la escala de kilómetros, desarrollado en sedimentitas miocenas, con sus márgenes formados por arrastre de corrimientos.

La morfología de la región se encuentra influenciada por los procesos de agradación y erosión ocurridos durante la glaciación plio-pleistocena, posteriormente acentuados por la erosión fluvial y periglacial del sistema cuaternario, en conjunto con la conformación de la red de drenaje actual. Esta región reúne sistemas de montañas abruptas con alturas entre los 1800 y 2400 msnm, con faldeos que poseen escasos kilómetros en sus secciones transversales y marcados valles. Entre ríos, arroyos y lagos, se destacan planicies glaciales, fluvio-glaciales y aluviales. Se destaca un modelado del terreno que obedece a la disposición de los sistemas montañosos de la cordillera de los Andes y la actividad volcánica, en conjunto con las características climáticas zonales (Novara y Schauman, 2010).

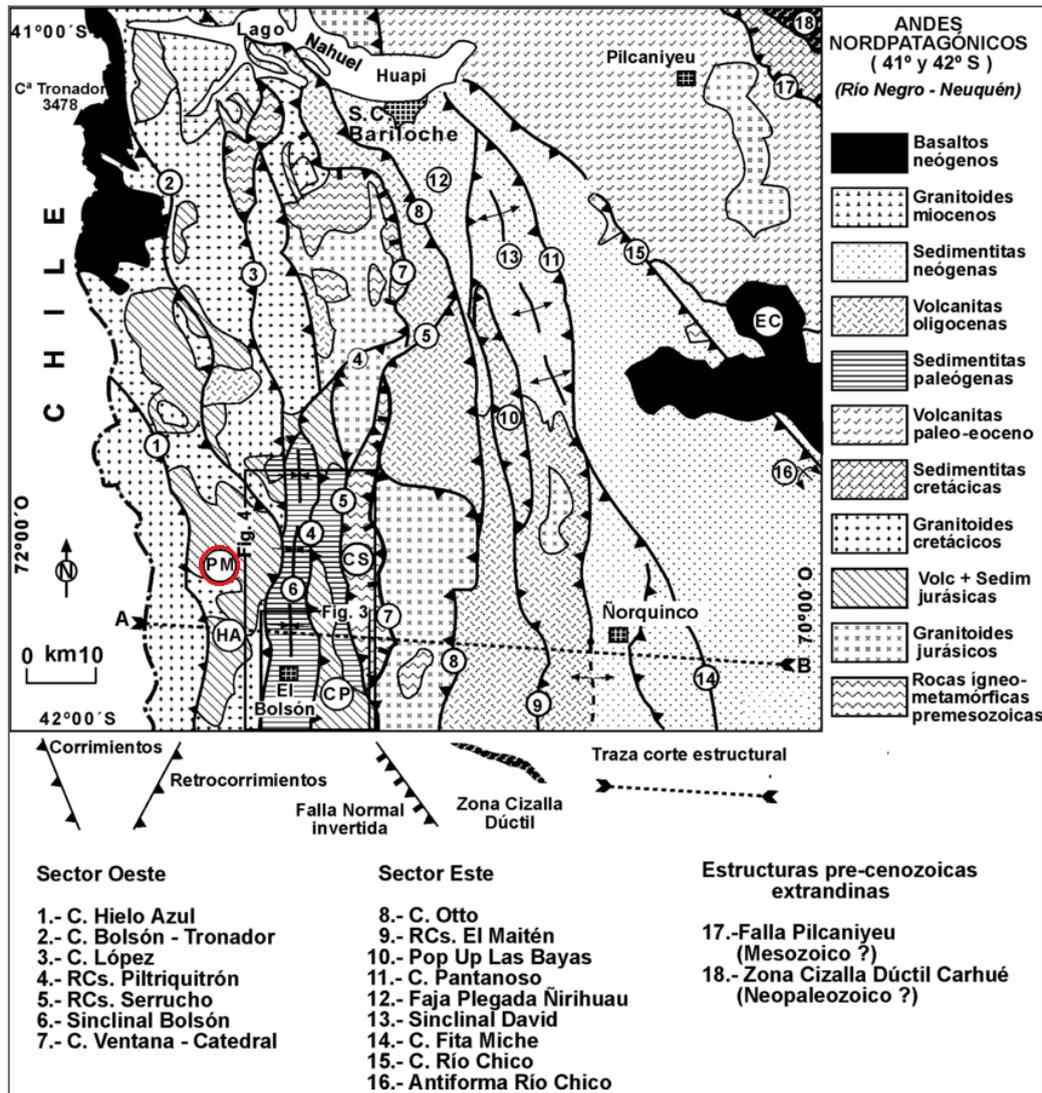


Figura 4.7: mapa geológico y las principales estructuras del sector de El Bolsón y Bariloche. CS Cordon Serrucho, CP Cordón Piltriquitrón, PM Cerro Perito Moreno, HA Cerro Hielo Azul, EC Escorial Chenqueniyeu (Giacosa y Heredia, 2004).

Se puede observar en las Figuras 4.7 y 4.8 que los rasgos distintivos de la estratigrafía en la zona del cerro Perito Moreno son la presencia de importantes sucesiones volcano-sedimentarias y granitoides del periodo jurásico. Sobre el sector más alto afloran extensas masas de rocas plutónicas calcoalcalinas con diques pórfidos andesíticos del Cretácico inferior y superior, que constituyen parte del batolito norpatagónico.

En la parte inferior de la subcuenca del arroyo Pedregoso, sobre la zona de Mallín Ahogado, se encuentra la formación con el mismo nombre, de carácter marino-continental del Eoceno y Oligoceno. Desde el punto de vista litológico pueden destacarse tres asociaciones de rocas, metamórficas e ígneas del basamento neopaleozoico, plutonitas y vulcanitas con sedimentitas marinas intercaladas del Mesozoico y sedimentitas terciarias con intrusiones silíceas (Giacosa y Heredia, 2004).



Figura 4.8: rocas volcánicas jurásicas corridas sobre granitos del Batolito Patagónico Cordillerano en el noroeste de la cumbre del cerro Perito Moreno (SEGEMAR, 2001).

4.2 Características Socioeconómicas

El Bolsón es el centro urbano y administrativo más importante de la Comarca Andina del Paralelo 42. La localidad ha experimentado un rápido crecimiento a partir de la década de los años setenta. En la *Tabla 4.1* se observa que en solo diez años casi consigue duplicar su población; continuando en la década siguiente con un crecimiento demográfico aún más abrupto (más del 150 % en el período intercensal). Si bien el ritmo de crecimiento disminuye significativamente hacia comienzo del siglo XXI debido a la contracción económica, mantiene valores relativos elevados que definen la tendencia de crecimiento demográfico de la ciudad.

1960	2.607	
1970	2.678	3 %
1980	5.001	87 %
1991	12.598	152 %
2001	15.537	23 %
2010	19.727	27 %

Tabla 4.1 : crecimiento demográfico de El Bolsón 1960-2010 (Secretaría General de Planificación, 2012).

La gran tasa de crecimiento demográfico de la localidad desde 1970 ha causado un gran aumento de la superficie del ejido municipal con nula planificación y ordenamiento territorial. Esto crea un déficit en cuanto a la infraestructura de prestación de servicios, impactos negativos en el ambiente y deficiencia institucional a la hora de abarcar las problemáticas asociadas. Esos rasgos son entendidos como críticos y demandan una solución para avanzar en la perspectiva de un crecimiento armónico y ordenado de la ciudad y de las áreas suburbanas y rurales que la rodean.

Mallín Ahogado es una área rural en desarrollo, con alrededor de 600 familias (2015), conformada por predios pequeños y medianos, con distintos tipos de emprendimientos agrícola-ganaderos, turísticos y residencias. Actualmente se encuentra sometida a un progresivo proceso de subdivisión de la tierra, crecimiento poblacional y desarrollo, lo cual está modificando el uso del suelo hacia un aprovechamiento urbano. Consecuentemente ocurre la pérdida del valor productivo y abre las puertas para la valorización de la tierra como bien inmueble y su posterior ingreso al mercado inmobiliario. En las áreas de bosque nativo más próximas se encuentra en pleno desarrollo un emprendimiento turístico e inmobiliario de gran magnitud asociado al centro de esquí, denominado "Proyecto de Desarrollo Integral del Cerro Perito Moreno" (Municipalidad de El Bolsón, 2015) (Secretaría General de Planificación, 2012).

Actividades económicas

Actualmente dentro del ejido urbano la economía se desarrolla sobre cuatro pilares, empleo público, turismo, producción de frutas finas y de lúpulo. Se estima que en la actividad privada, el turismo representa el 46%, las frutas finas el 29% y el lúpulo 18% quedando el 4% a otras actividades como huerta, madera, lana y ganadería (Secretaría General de Planificación, 2012).

En contraste, dentro del poblado de Mallín Ahogado se desarrolla la actividad agrícola principalmente para el autoconsumo y comercialización a pequeña escala. En la región se cultivan hortalizas a campo y bajo cubierta, destacadas por su elevada calidad, en lo que hace al sabor como consecuencia del clima diferenciado de montaña. Se destacan las verduras de hoja (lechuga, acelga, espinaca, repollo), zanahoria, remolacha, papa, choclo, zapallito, entre otras. En invernadero se destacan: tomate, pepino, morrón, verduras de hoja. Además de la elaboración de productos de las mismas.

Existe una relevante cultura de cooperación vecinal, de la cual surge la venta y trueque de los excedentes de las producciones familiares. Allí se comercializan semillas, plantines, plantas, huevos, leche, conejos, gallinas, frutas, etc. En relación a la importancia que tiene esta agricultura se podría decir que aporta a la soberanía alimentaria de las familias y que de algún modo fortalece la trama social a través de los flujos de mercaderías y saberes entre vecinos (FAO, 2014). En la región predomina el cultivo orgánico o agroecológico.

Dentro de las actividades intensivas encontramos la obtención de leche y elaboración de quesos, apicultura, comercialización de turba y la explotación de madera del bosque fiscal. Como principales elementos regionales característicos producidos localmente encontramos las frutas finas como frambuesas, arándanos, grosellas, cerezas, etc. y sus elaborados (conservas, dulces, licores, salsas, entre otras). También se destaca la producción de lúpulo deshidratado, prensado y/o pelletizado, siendo la única región productora del país (INTA, 2021).

Debido al paisaje cordillerano y la biodiversidad de la región de gran atractivo, otros dos sectores de gran importancia para la economía local son el turismo y el mercado inmobiliario. Los cerros que rodean a Mallín Ahogado, junto con los pronunciados valles, rápidos, cascadas y humedales, el denso bosque andino patagónico y la tranquilidad percibida, en contraste con las grandes ciudades del país y del mundo, lo hacen un lugar que capta numerosos visitantes de diversos lugares (*Figura 4.9*). Actualmente el sector turístico presenta una carácter estacional, marcado por las condiciones climáticas estivales e invernales y las actividades que se pueden realizar. Dentro de las más importantes encontramos los deportes invernales como el esquí y snowboard; pesca, trekking, rafting y cabalgatas; la visita a áreas naturales protegidas; un importante circuito gastronómico que comprende casas de té, restaurantes y fábricas de cerveza, así como también comercios de productos artesanales regionales.

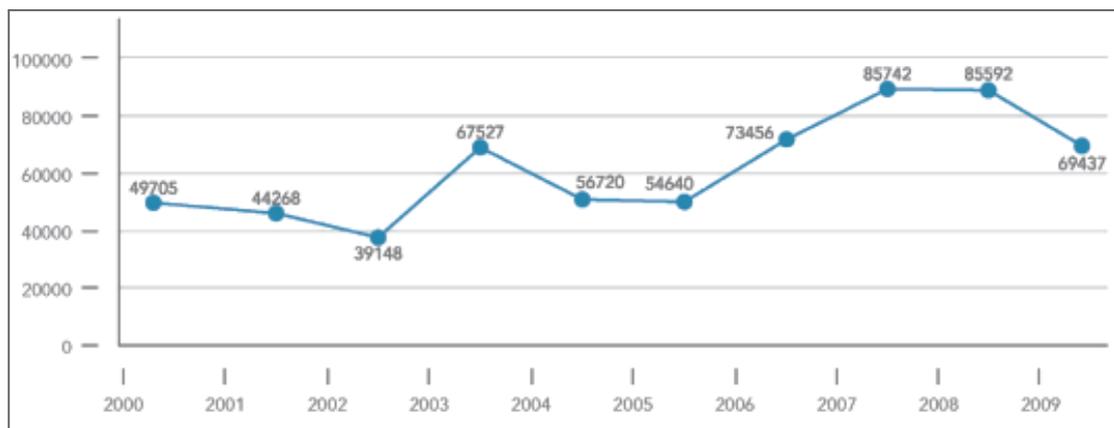


Figura 4.9: registro de turistas en oficina de informes, El Bolsón 2000-2009 (Secretaría General de Planificación, 2012).

Contiguo a la zona de estudio se desarrolla el centro de esquí del cerro Perito Moreno, el cual está conformado por 16 pistas, sumando más de 23 kilómetros esquiables y una capacidad de 2000 pasajeros por día. En la base del cerro se encuentra el Refugio Albrecht Rudolph, administrado por el Club Andino Piltriquitrón, y establecimientos gastronómicos. Actualmente, sobre tierras de dominio privado, adyacentes al sitio se encuentra en marcha el desarrollo de una “villa turística de montaña” de un total aproximado de 400 ha, para la localización de servicios, comercios, alojamientos turísticos y un área residencial de baja densidad y gran extensión, asociado a un club de golf. Este proyecto asume un carácter estratégico para el desarrollo de Mallín Ahogado y El Bolsón pero a su vez condiciona las características ambientales particulares del sector y aumenta de forma significativa la demanda de infraestructura de comunicación y servicios como los de captación, conducción y distribución del agua. Este sector posee servicio de luz pero carece de gas natural y se abastece de agua, sin potabilizar, por medio de perforaciones y a través de una red de canales circundantes (Laderas, 2023) (Secretaría General de Planificación, 2012).

Áreas protegidas

El ejido que corresponde a la jurisdicción municipal de El Bolsón es de aproximadamente 150.000 hectáreas, comprendiendo, además de áreas urbanas, suburbanas y rurales, un territorio montañoso cubierto de bosques naturales hacia el oeste. El alto valor paisajístico y ecológico de la región ha sido reconocido tanto por el gobierno provincial como el municipal, definiendo medidas específicas para la protección de este ambiente natural. A continuación se describen las áreas protegidas que contemplan la zona del caso de estudio del presente trabajo.

- Reserva de Biosfera Andino Norpatagónica: en el año 2007 la Administración de Parques Nacionales, la Provincia de Río Negro y la Provincia de Chubut conforman oficialmente a la Mesa del Consejo Internacional de Coordinación del Programa sobre el Hombre y la Biosfera (Sistema MaB de la UNESCO) para la creación de la reserva y se declara formalmente su delimitación (*Figura 4.10*). Paralelamente en Chile se crea una reserva contemplando la ecorregión de bosques templados.

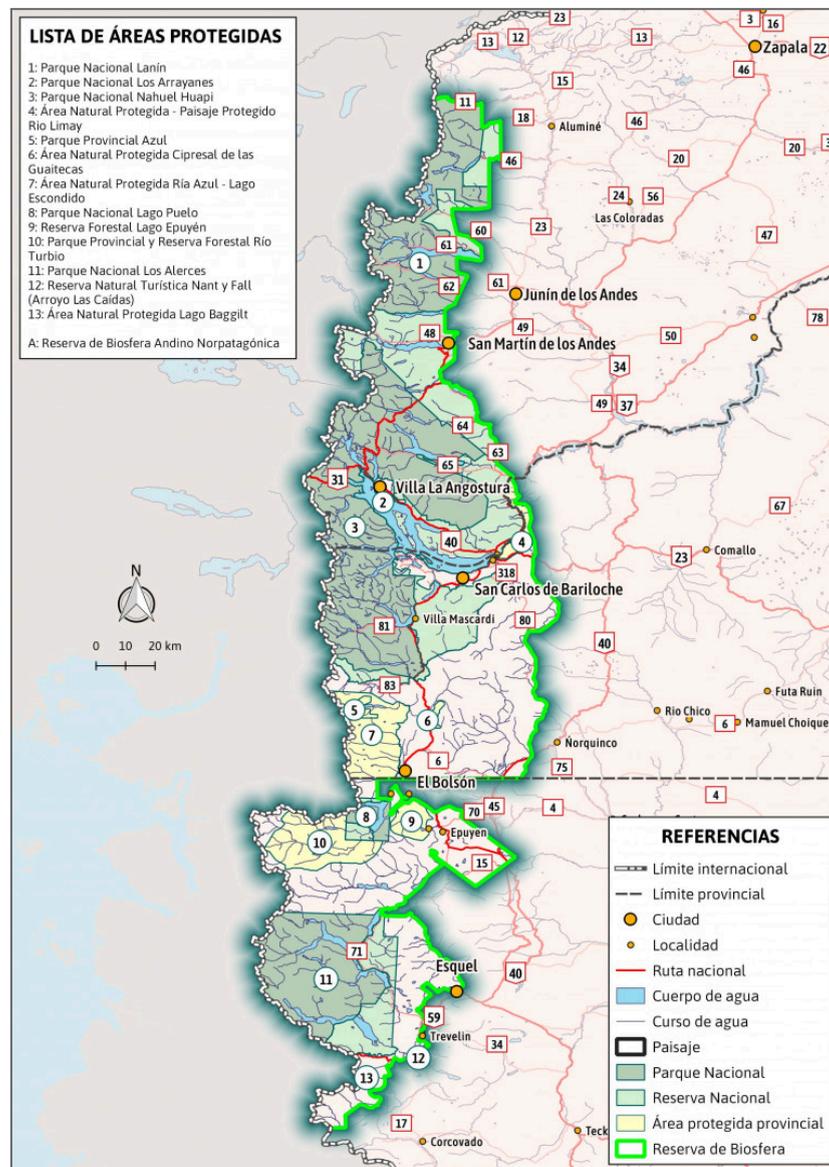


Figura 4.10: área que comprende la Reserva de Biosfera Andino Norpatagónica (MAyDS, 2023).

La reserva funciona a través de un modelo de gestión participativa que, basándose en el desarrollo sostenible, tiene como objetivo la conservación del patrimonio natural y cultural, permitiendo preservar la integridad ambiental de los ecosistemas y de sus servicios a largo plazo, a través del manejo jurisdiccionalmente articulado de los recursos a escala de paisaje. La misma comprende una superficie aproximada de 2.266.942 ha, abarcando el área geográfica de los bosques templados-fríos ubicados en la franja cordillerana norpatagónica. Esta región se integra con los distintos parques nacionales, áreas protegidas provinciales y ejidos municipales que se encuentran dentro de sus límites (*Figura 4.10*) (Reserva de Biósfera Andino Norpatagónica, 2021).

Esta región es de gran importancia para la protección de ecosistemas de montaña, de bosques templados, de praderas y de estepa subandina. La relevancia mundial del sitio, que ocupa el extremo más oriental de la zona de bosques templados lluviosos de los Andes de Chile y Argentina, fue reconocida por el Instituto de Recursos Mundiales (CIEFAP, 2020).

- Área Natural Protegida Río Azul – Lago Escondido: fue creada en el año 1994 mediante la Ley Provincial N° 2833 con el fin de conservar su biodiversidad y garantizar el uso sustentable de sus recursos naturales. Forma parte del Sistema Provincial de Áreas Naturales Protegidas de Río Negro y desde el 2007 forma parte de Reserva de Biósfera Andino Norpatagónica.

Comprende una superficie aproximada de 65.000 ha de Bosque Andino Patagónico destinadas al desarrollo de actividades recreativas, educativas y de investigación. Su área se extiende desde el valle del río Manso, al Norte, hasta el límite con la provincia de Chubut, al Sur, y de Este a Oeste, abarca desde el río Azul hasta la frontera con Chile respectivamente (*Figura 4.11*).

Sus objetivos son promover el bienestar general de la población a través de la realización de actividades recreativas, educativas, científicas, de esparcimiento y toda otra compatible con el goce, uso y usufructo del recurso y su conservación a perpetuidad; crear en la población a través del conocimiento del ecosistema boscoso, una actitud de respeto y compromiso en defensa de este patrimonio natural, consagrado como recurso de usos múltiples; proteger la biodiversidad, los recursos genéticos y nacientes de cuencas; ordenar el actual uso ganadero extensivo de las áreas boscosas, conforme a un planeamiento zonificado de uso silvo-pastoril y adecuar la incorporación de infraestructura y la realización de actividades posibles, de modo tal que el turismo armonice con el medio natural (ANPRALE, 2023).

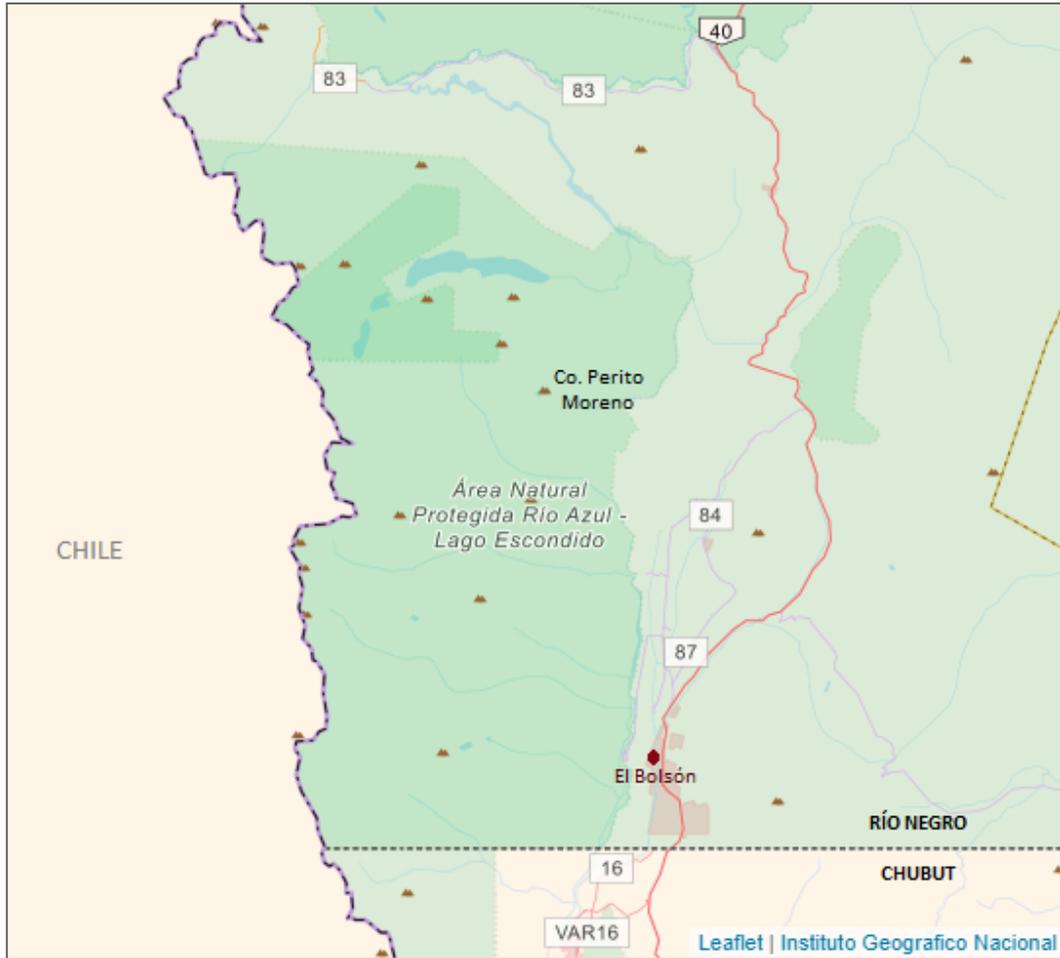


Figura 4.11: ubicación y superficie del Área Natural Protegida Río Azul – Lago Escondido (MAyDS, 2023)

5. Caso de Estudio

5.1 Glaciares del cerro Perito Moreno

Los glaciares del cerro Perito Moreno (entre 2200 y 2300 msnm) se encuentran en la zona Sud-Oeste de la provincia de Río Negro, dentro de la cuenca hidrográfica del Río Foyel, afluente del Río Manso (*Figura 5.1*). Según el inventario Nacional de Glaciares son clasificados y nombrados como Geoformas G716204O417723S (glaciar Sur, con un largo total de 727 m) y G716167O417685S (glaciar Norte, con un largo total de 303 m), correspondientes a cuerpos descubiertos, templados de montaña, ubicados en circos glaciares.

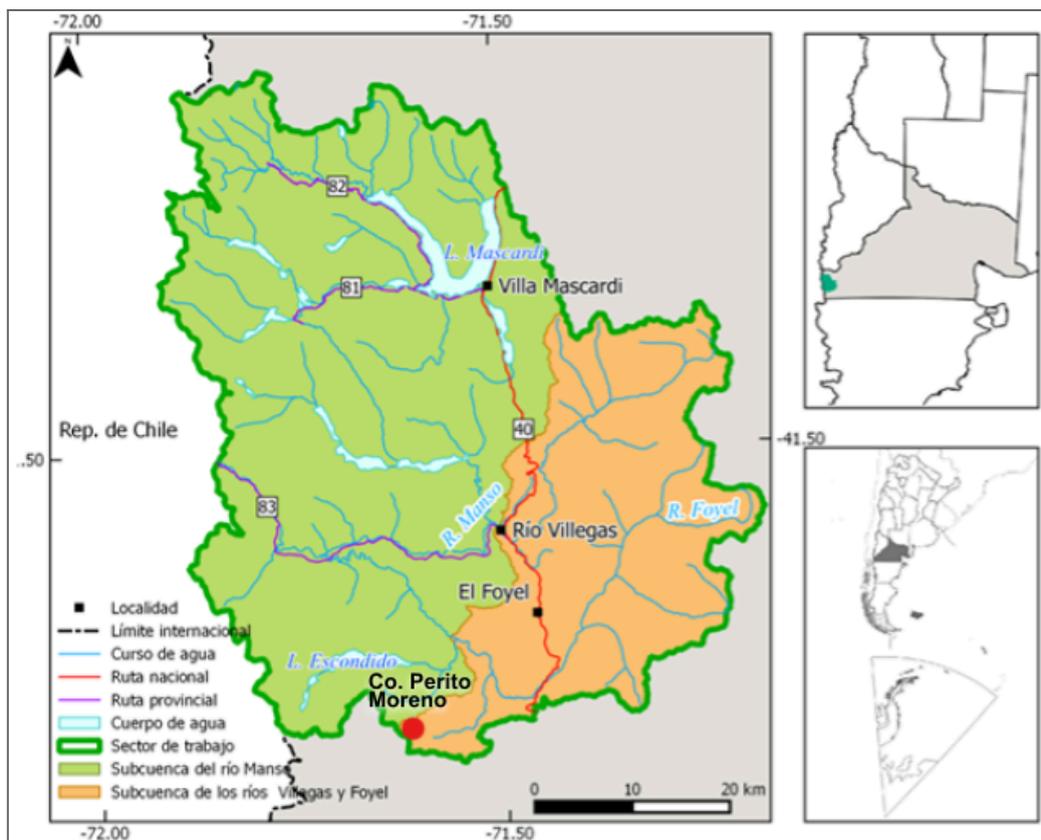


Figura 5.1: subcuencas de los ríos Manso y Foyel (MAyDS et al., 2018).

Dichos cuerpos de hielo se ubican en los circos del cerro (*Figura 5.2*), desarrollándose aproximadamente entre los 1960 y 2165 metros de altitud. Se encuentran confinados por una topografía de terreno montañoso que los rodea, lo cual permitió que se establezcan allí exitosamente a lo largo del tiempo debido a que presentan una exposición a la radiación solar en dirección sureste, la cual corresponde a la menor insolación en el Hemisferio Sur (Nini et al., 2017) (MAyDS et al., 2018).



Figura 5.2: glaciares del cerro Perito Moreno. Vista desde la zona alta del plateau (fuente propia, 2023).

Los glaciares Norte y Sur forman parte de los aportes nacientes del arroyo Pedregoso (Figura 5.3), el cual es afluente del Río Foyel. El Pedregoso es un curso de agua permanente que se encuentra al sur de la cuenca, en el fondo del valle del cerro Perito Moreno. Este abastece de agua de riego al poblado de Mallín Ahogado y sus alrededores, principalmente en época de verano. Considerando la red hidrográfica de la cuenca, los glaciares conformarían una parte importante de los aportes que constituyen el caudal de base del arroyo.

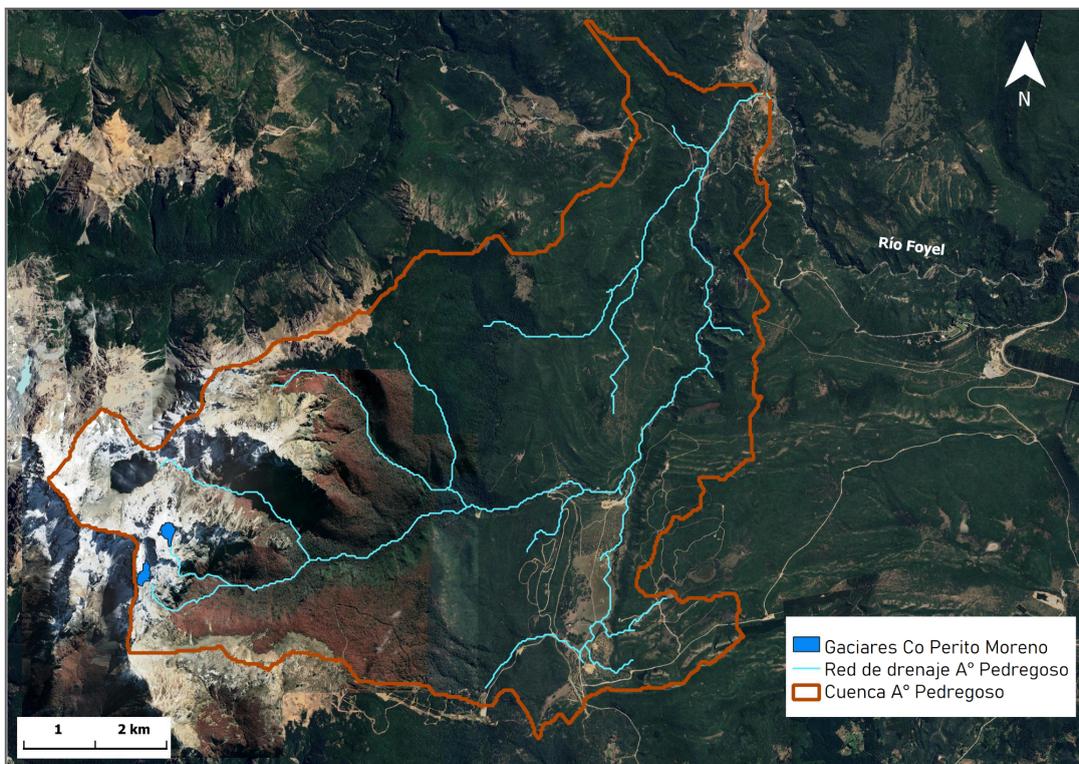


Figura 5.3: cuenca del arroyo Pedregoso (Producción propia, fuente: DPA, 2023).

En cuanto al comportamiento de los sistemas hídricos superficiales de la región, los arroyos patagónicos cordilleranos, en su mayoría, fluyen sobre lechos de alta rugosidad (*Figura 5.4*), en los que se suelen encontrar bloques y cantos rodados de gran tamaño, acompañados de troncos y ramas caídas de los árboles (*Figura 5.5*). Dichos elementos tienen una fuerte influencia física sobre el cauce y además, favorecen la acumulación de grava y arena en las zonas de deposición. Aguas abajo, en consecuencia de la disminución en su pendiente y la presencia de una topografía más suave, los arroyos cordilleranos tienden a acumular mayor cantidad de sedimentos finos (Díaz-Villanueva y Albariño, 2021).

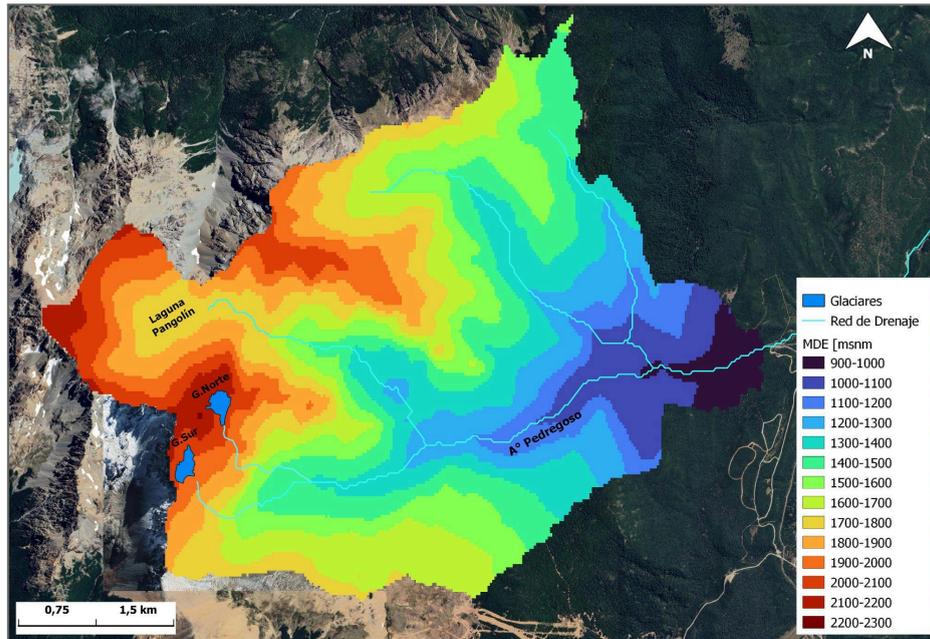


Figura 5.4: Modelo Digital de Elevación de la subcuenca del arroyo Pedregoso, considerando el área de aporte hasta la estación de aforo (Producción propia, fuente: MDE-Ar v2.0 IGN).



Figura 5.5: sección descubierta del lecho de afluente del arroyo Pedregoso (fuente propia, 2023).

El régimen anual del arroyo Pedregoso corresponde con las características respectivas a los arroyos patagónicos cordilleranos. Los mismos se comportan de acuerdo con las singularidades climáticas descritas anteriormente, de precipitaciones más abundantes entre otoño y primavera. Esta condición determina que los ríos y arroyos de la región presenten, en su mayoría, hidrogramas bimodales con valores de caudal máximo, uno entre junio y julio, como consecuencia de las lluvias, y otro entre octubre y diciembre, debido al derretimiento de la nieve en la cumbre de las montañas, las cabeceras de las cuencas. Durante el verano, el caudal se reduce hasta mediados del otoño, estableciendo los caudales mínimos en los segmentos principales y secundarios, acentuándose aún más en los sistemas de cabecera, ya que poseen los caudales más bajos de las cuencas (Díaz-Villanueva y Albariño, 2021).

Los glaciares Norte y Sur, ubicados en el cerro Perito Moreno, actualmente están atravesando el proceso de retroceso. En las últimas décadas, este suceso se evidencia en la mayor parte de los cuerpos de hielo de la región, lo cual coincide con tendencias generales de aumento de la temperatura media anual y disminución de las precipitaciones (Nini et al., 2017).

5.2 Sistema de Riego

En la provincia de Río Negro los sistemas que proveen de agua para el desarrollo de la agricultura irrigada funcionan principalmente a partir de la captación, por medio de bocatomas, de agua en forma libre desde un curso superficial para posteriormente ser canalizada hacia una conducción principal. Finalmente los sistemas se dirigen hacia derivaciones que permiten la distribución y provisión del recurso a los usuarios. La administración, operación y mantenimiento de los mismos actualmente es una tarea conjunta y con responsabilidades delegadas entre instituciones provinciales como el DPA o ARSE, los consorcios de riego y los usuarios beneficiados (FAO, 2014).

Como se describió anteriormente en el capítulo 4, la región de Mallín Ahogado presenta un paisaje de valles rodeados por importantes cordones montañosos que comprende un área de aproximadamente 15.000 hectáreas. La misma se caracteriza por poseer una economía agropecuaria de bajo desarrollo. Actualmente la zona no posee infraestructura de servicio de agua potable, la cual abastece únicamente al centro urbano de la localidad (Anexo 1). Los ciudadanos se abastecen del recurso mediante una red de canales, algunos de los cuales datan de años anteriores al comienzo del crecimiento urbano en la región.

Desde antes de la fundación de la ciudad de El Bolsón (1926), la zona ubicada hacia el sector norte, conocida como Mallín Ahogado, estaba poblada por familias dedicadas a la explotación agrícola, ganadera y maderera, las cuales no tenían acceso cercano a cursos de agua superficiales para riego. Es por esto que el sistema ha sufrido modificaciones y ampliaciones a lo largo de los años, hasta llegar al actual entramado. Aproximadamente en 1950 se comienza con la construcción de los primeros canales de riego del área, mediante obras autorizadas por el gobierno provincial pero a cargo de los vecinos. Posteriormente a comienzos de la década de 1960 la familia Budinek, en conjunto con la expansión de sus cultivos de lúpulo, empieza la construcción de un canal de riego de más de 10 kilómetros de longitud que actualmente lleva su nombre. Dicha obra ha beneficiado a los propietarios y ocupantes de toda su traza, logrando una mayor accesibilidad del recurso hídrico en la

población y ayudando a la diversificación en los cultivos. Posteriormente, entre el año 1990 y 2004, se construyeron en el poblado 3 canales secundarios (*Figura 5.6*) (Ocampo, 2014).

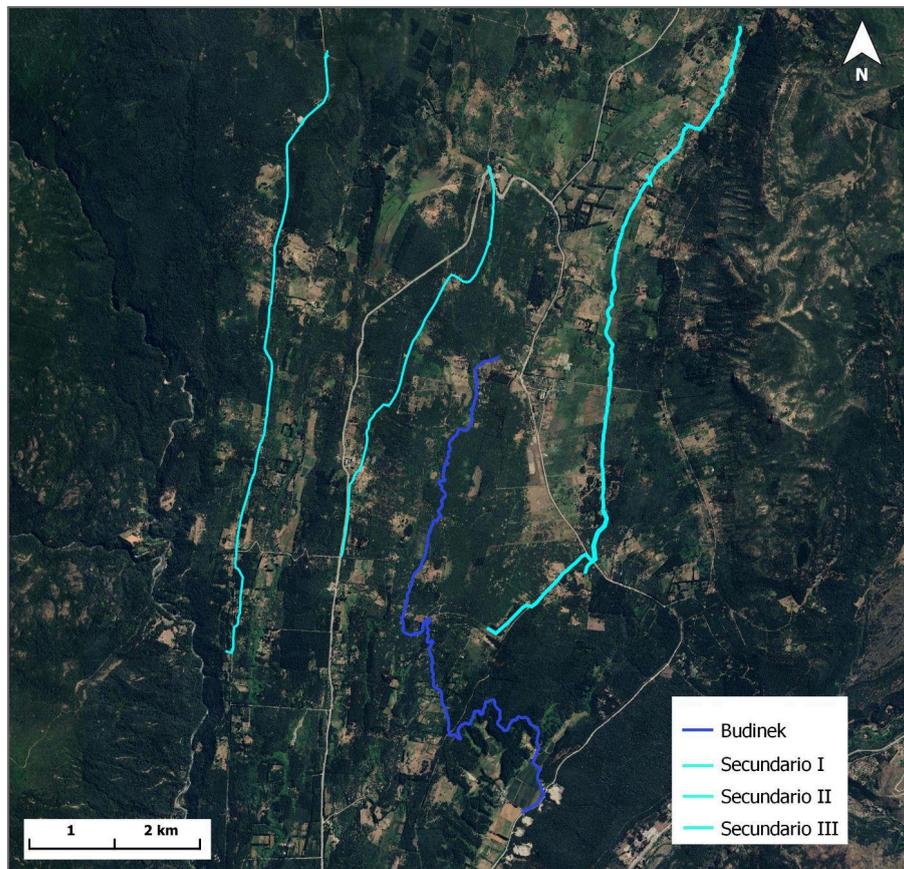


Figura 5.6: primeros canales de riego construidos en Mallín Ahogado. Canal Secundario I (Izquierda), Canal Secundario II (centro), Canal Secundario III (derecha) (Producción Propia, fuente: DPA, 2022).

Así fue el comienzo de una red de tomas de agua desde distintas fuentes, canales, acueductos y reservorios, un sistema de irrigación gravitacional que hoy en día comprende una superficie total de 9.000 has. agrónomicamente aptas. Dentro del área regada, los sistemas de riego se dividen en 2, una red de canales correspondiente a la zona urbana de El Bolsón y otra a Mallín Ahogado (Anexo 2). Los productores de la región, en su gran mayoría, utilizan métodos de riego tradicionales por manto y melgas (inundación), y en menor proporción por surcos o abovedados (surcos más anchos y poco profundos). Alrededor del 9% de la superficie tiene sistemas de riego presurizado por goteo y/o micro aspersión. Las eficiencias parcelarias de aplicación por gravedad están entre un 30% y 50% (son bajas) y son del orden del 75% al 85% en los presurizados. Los sistemas de drenaje parcelario son de muy baja densidad, insuficientes y, por lo general, con escaso mantenimiento y dificultades operativas de captación, conducción y distribución del agua (ALUSA, 2022) (FAO, 2014).

Si bien el uso del agua del sistema de distribución sólo se encuentra habilitado para riego, debido a que el sitio no posee red de agua potable y como consecuencia de los altos costos económicos que presentan las perforaciones, se estima que en la actualidad gran parte de la

población lo utiliza como agua de consumo cotidiano. El actual crecimiento del uso residencial y turístico de la tierra presenta una demanda progresivamente de mayor cantidad de agua, que se abastece sin ningún tratamiento de potabilización. A este escenario se suma la escasa valoración del recurso agua como tal durante los comienzos del poblado, y su importancia estratégica, ambiental y productiva. Esto se observa a lo largo de la historia, no solo desde la comunidad en general, sino también desde los productores agropecuarios y regantes (FAO, 2014).

El actual sistema de riego comprende una compleja red de canales, los cuales están construidos sobre terreno natural y no están revestidos en su totalidad. La red toma el recurso de distintas fuentes de agua, siendo uno de los aportes principales el arroyo Pedregoso, cuenca del río Foyel (*Figura 5.1*). Este es alimentado, primordialmente en verano, por el deshielo de los glaciares ubicados en el cerro Perito Moreno y la laguna Pangolín (DPA, 2012). Parte del caudal del curso es conducido hacia el canal de Luden (*Figura 5.7*), el cual se une con el canal Secundario I y los canales Principales, constituyendo un trasvase hacia el río Azul y Quemquemtreu, cuenca del río Puelo.



Figura 5.7: toma de agua del A° Pedregoso hacia el canal de Luden (fuente propia, 2023).

El sistema de riego (*Figura 5.8*) continúa con una serie de canales que toman agua del arroyo Del Medio (canales Secundario III, Budinek, Rizza, Rosinca y Cerro Bandera), arroyo Bartolo (canales Rosales, Aviles y Secundario II), arroyo Huenchul y arroyo Carrasco (canales Secundario III y reservorios); estos últimos dos desembocan en el arroyo Del Medio y luego en el río Quemquemtreu (Anexo 2). Al sistema formal de canales se le añaden conducciones informales precarias que crean los vecinos para trasladar agua hacia sus terrenos y viviendas, lo cual genera conflictos vecinales y de gestión durante los períodos de escasez del recurso hídrico (Morales, 2022)

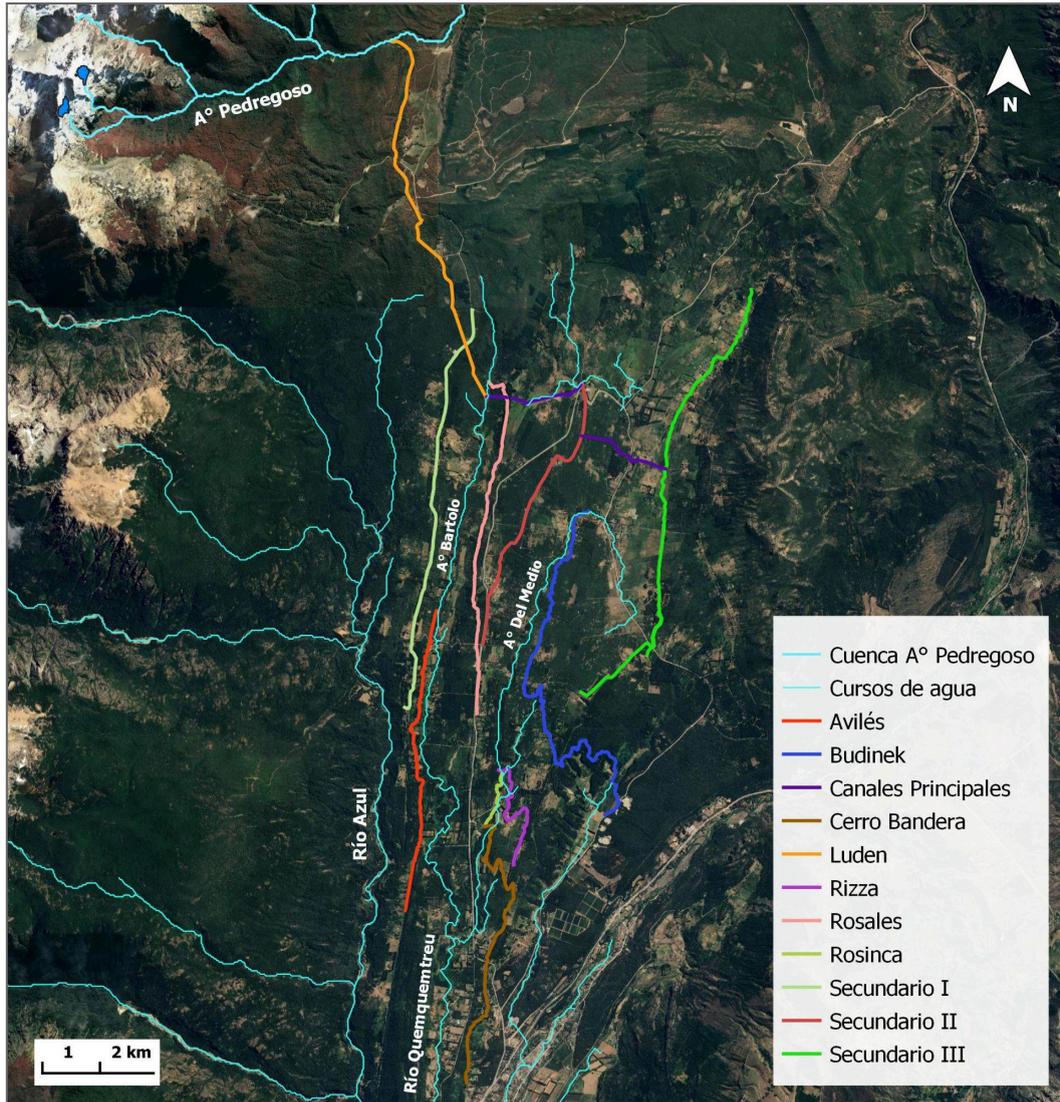
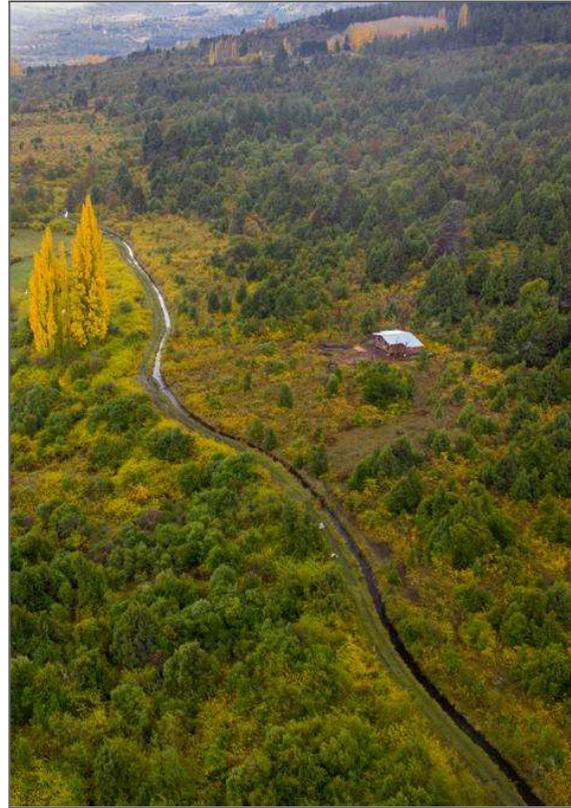
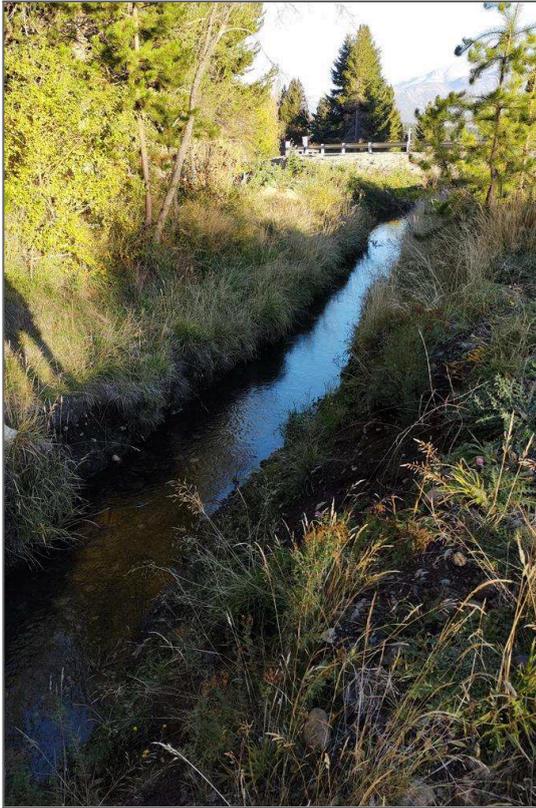


Figura 5.8: sistema de canales de riego y cursos de agua en Mallín Ahogado (Producción Propia, fuente: DPA, 2022).

Hoy en día, en el marco del Proyecto de Inclusión Socio-económica en Áreas Rurales, ejecutado por el Ministerio de producción y Agroindustria Río Negro, se encuentra en marcha un proyecto de obras de remodelación del sistema de riego, consistentes en la reconstrucción y mejora de bocatomas e impermeabilización de los canales de distribución (Figuras 5.9 y 5.10). Se pretende ampliar la disponibilidad del recurso y en particular disminuir el severo déficit estacional estival (noviembre - marzo). Las intervenciones en el sistema de riego actual comprenden la remodelación de cinco obras de toma de canales de distribución, revestimiento canal Secundario II en un tramo de 155 m y otro de 365 m, revestimiento existente de canal Sec. III en un tramo de 440 m, revestimiento canal secundario III en un tramo de 2910 metros y construcción de un reservorio de agua de 2700 m³ (Gobierno de Río Negro, 2022) (ALUSA, 2022).



Figuras 5.9 y 5.10 : canales Secundario II y secundario III respectivamente, secciones sin revestimiento (ALUSA, 2022)

En la región hay establecida una creencia generalizada de que existe agua de buena calidad en exceso y que no faltará. En contraposición a dicho pensamiento, la misma se encuentra disponible pero en lugares y momentos del año limitantes. Los pioneros, pobladores actuales y el Estado han hecho muchos esfuerzos para distribuir agua a lo largo del territorio y a lo largo del año. El aumento de la población; el redimensionamiento de las unidades espaciales traducido en la subdivisión de parcelas, y el surgimiento de nuevas modalidades de uso del suelo, que van transformando a la región hacia una modalidad urbana; muestran un escenario de incertidumbre sobre la disponibilidad del recurso hídrico en el futuro cercano (Concejo Deliberante de El Bolsón, 2022) (Pecollo, 2021) (Ocampo, 2014).

6. Evolución de los glaciares del Cerro Perito Moreno

6.1 Metodología

Se realizó búsqueda bibliográfica y recopilación de información sobre el estado de los glaciares Norte y Sur del cerro Perito Moreno, El Bolsón, Argentina; a lo largo del tiempo. Con este propósito se solicitó al Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA) información de vuelos fotográficos mediante dron, datos de campañas de monitoreo y antecedentes de informes realizados (2012-2023).

Para observar el estado de los glaciares en años y sectores de los cuales no se cuenta con información de campañas de monitoreo, se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución espacial suministradas de forma gratuita por Google Earth. Se descargaron las imágenes a una altura de ojo de 920 m, las cuales fueron georreferenciadas y procesadas en el Sistema de Información Geográfica libre, QGIS. Se añaden observaciones realizadas durante la salida de campo del 4 de abril de 2023.

6.2 Resultados

A continuación se presentan las *Tablas 6.1* y *6.2* que muestran los parámetros geométricos que caracterizan a los glaciares Norte y Sur del cerro Perito Moreno en 2012 respectivamente.

Glaciar Norte	2012
Área (km ²)	0,0593
Perímetro (m)	1050
Ancho medio (m)	250
Longitud (m)	260
Altura máxima (msnm)	2030
Altura mínima (msnm)	2150

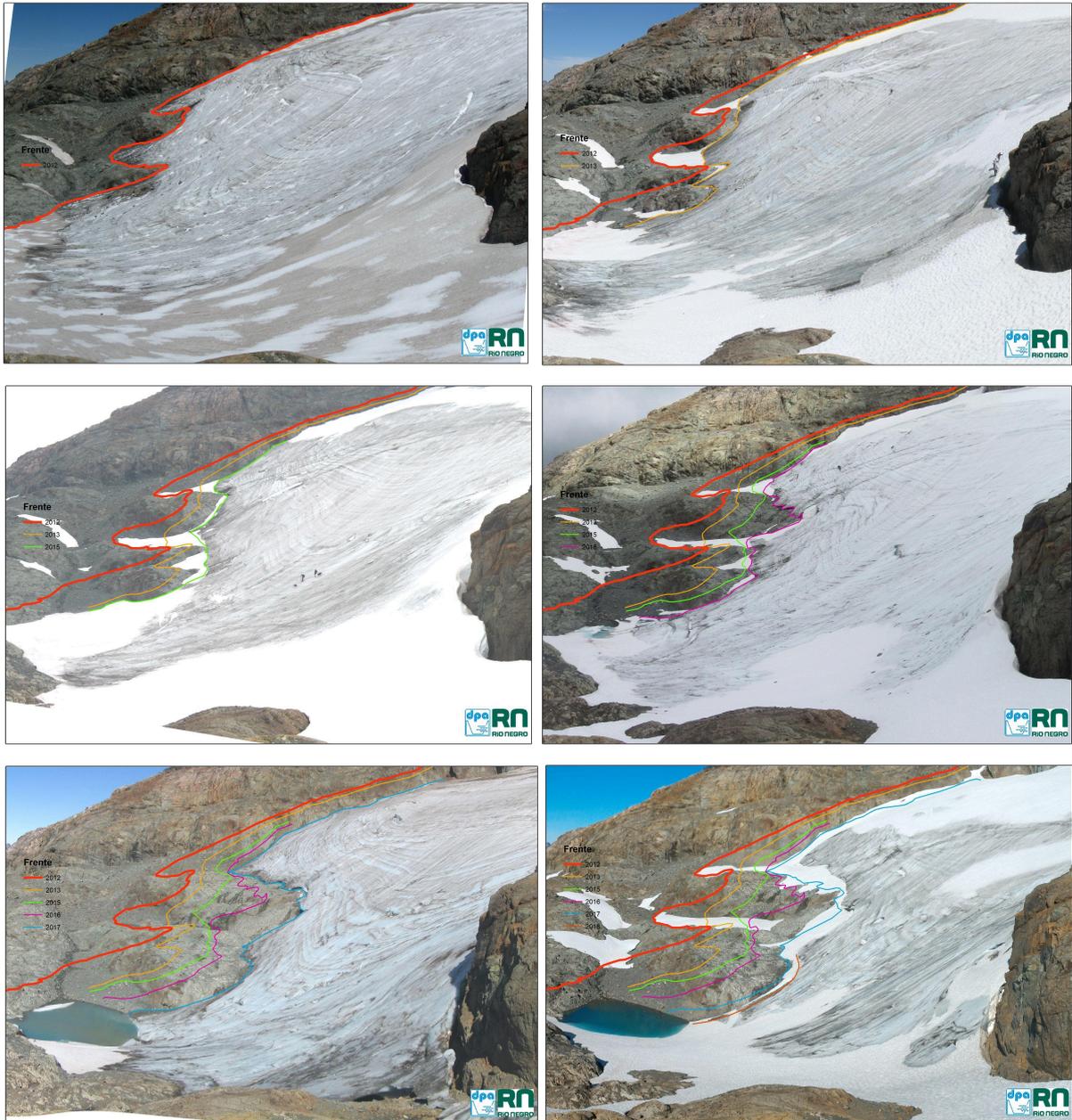
Tabla 6.1: parámetros geométricos aproximados del Glaciar Perito Moreno Norte (DPA, 2012).

Glaciar Sur	2012
Área (km ²)	0,0864
Perímetro (m)	1620
Ancho medio (m)	150
Longitud (m)	690
Altura máxima (msnm)	2160
Altura mínima (msnm)	1920

Tabla 6.2: parámetros geométricos aproximados del Glaciar Perito Moreno Sur (DPA, 2012).

Glaciar Sur

Mediante el análisis de fotografías del glaciar Sur tomadas desde un mismo sitio (*Figura 6.1*), se puede observar su retracción con el paso del tiempo como evidencia de un balance de masa negativo ininterrumpido entre períodos de fin de estío de los años 2012 a 2023. También se puede ver la disminución del área de cobertura total y la progresiva formación de una nueva laguna en una zona que anteriormente formaba parte del hielo glaciar.



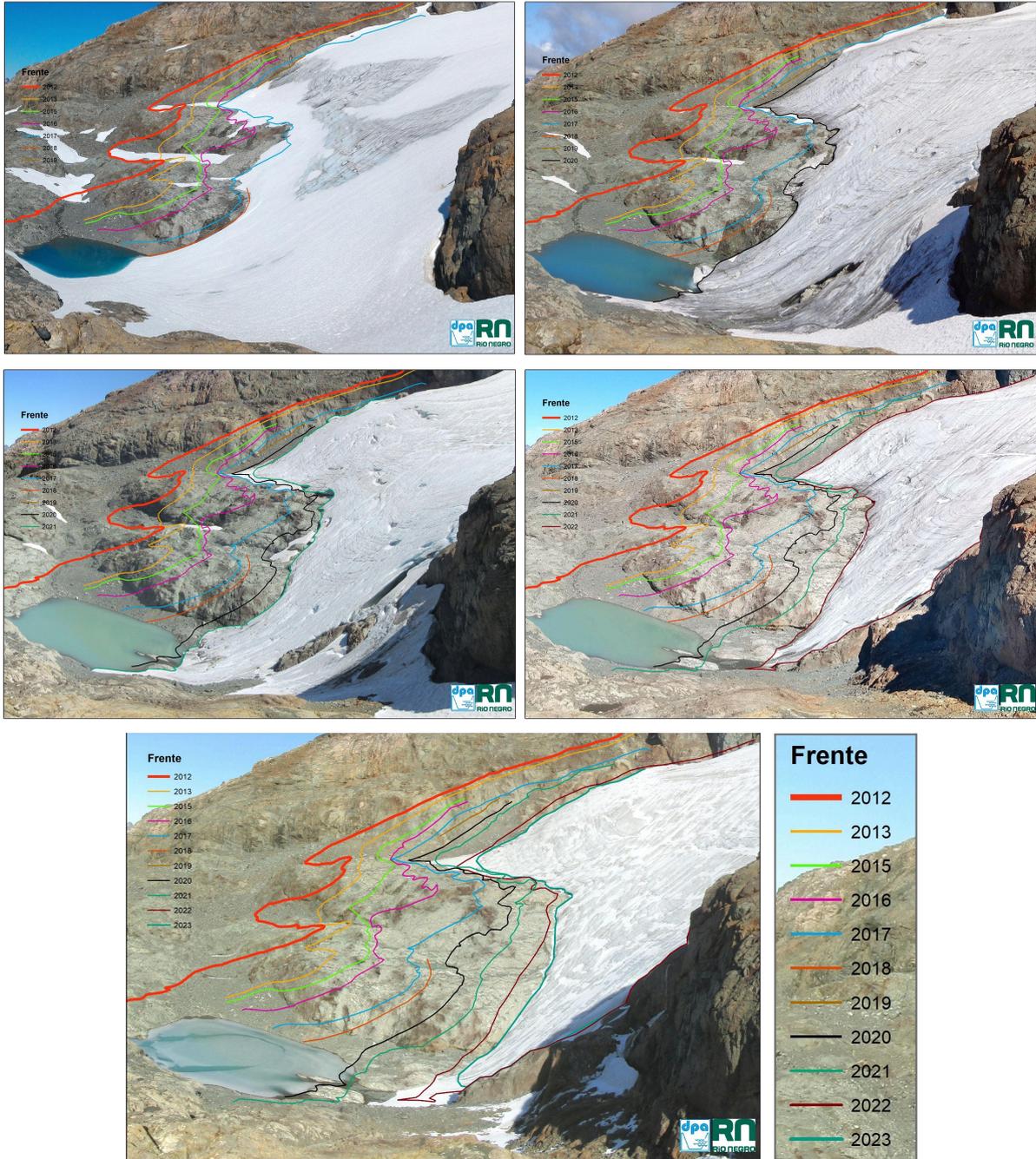


Figura 6.1: evolución histórica del frente del Glaciar Sur del cerro Perito Moreno a partir de fotografías tomadas desde un mismo Punto Fotográfico durante fin de estiaje de 2012 a 2023 (DPA, 2023).

Al desconocer la morfología de la roca madre sobre la cual se asienta la masa de hielo y no contar con datos basados en tecnologías radar, no es posible determinar con certeza cuál es el volumen de los glaciares en los distintos períodos observados. A partir del año 2020 se cuenta con información de fotogrametría de los glaciares Sur y Norte, la cual permite hacer reconstrucciones de terreno a partir de imágenes aéreas, en este caso tomadas mediante drone. Por medio de la georreferenciación y el procesamiento de las imágenes captadas, esta técnica permite observar cambios en el área total de cobertura (*Figura 6.2*) y en la altura de los glaciares entre distintos años, lo cual supone un cambio en su volumen (*Figura 6.3*).

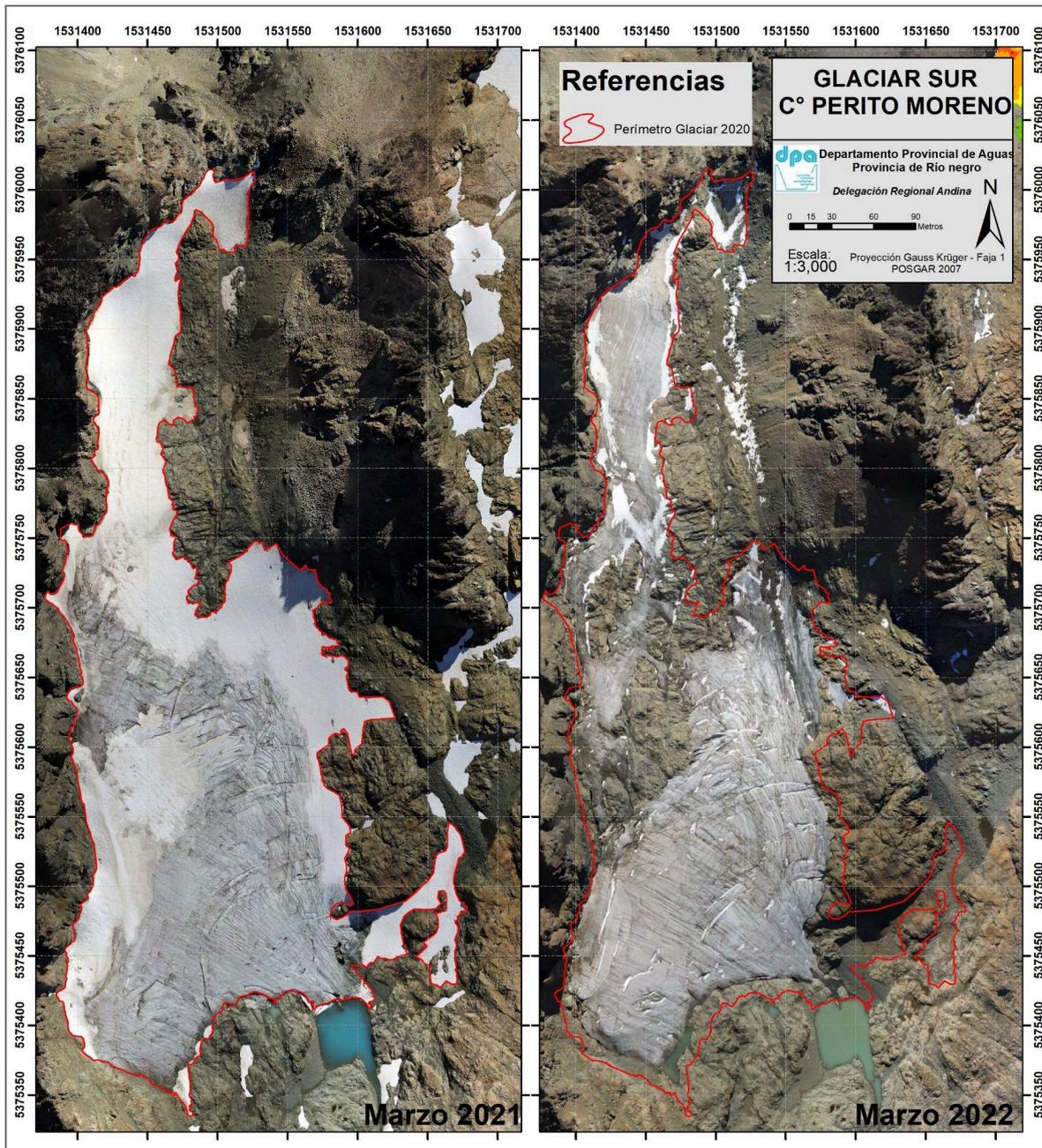


Figura 6.2: área del Glaciar Sur del cerro Perito Moreno a partir de fotogrametría, marzo de 2021 y 2022 (DPA, 2023).

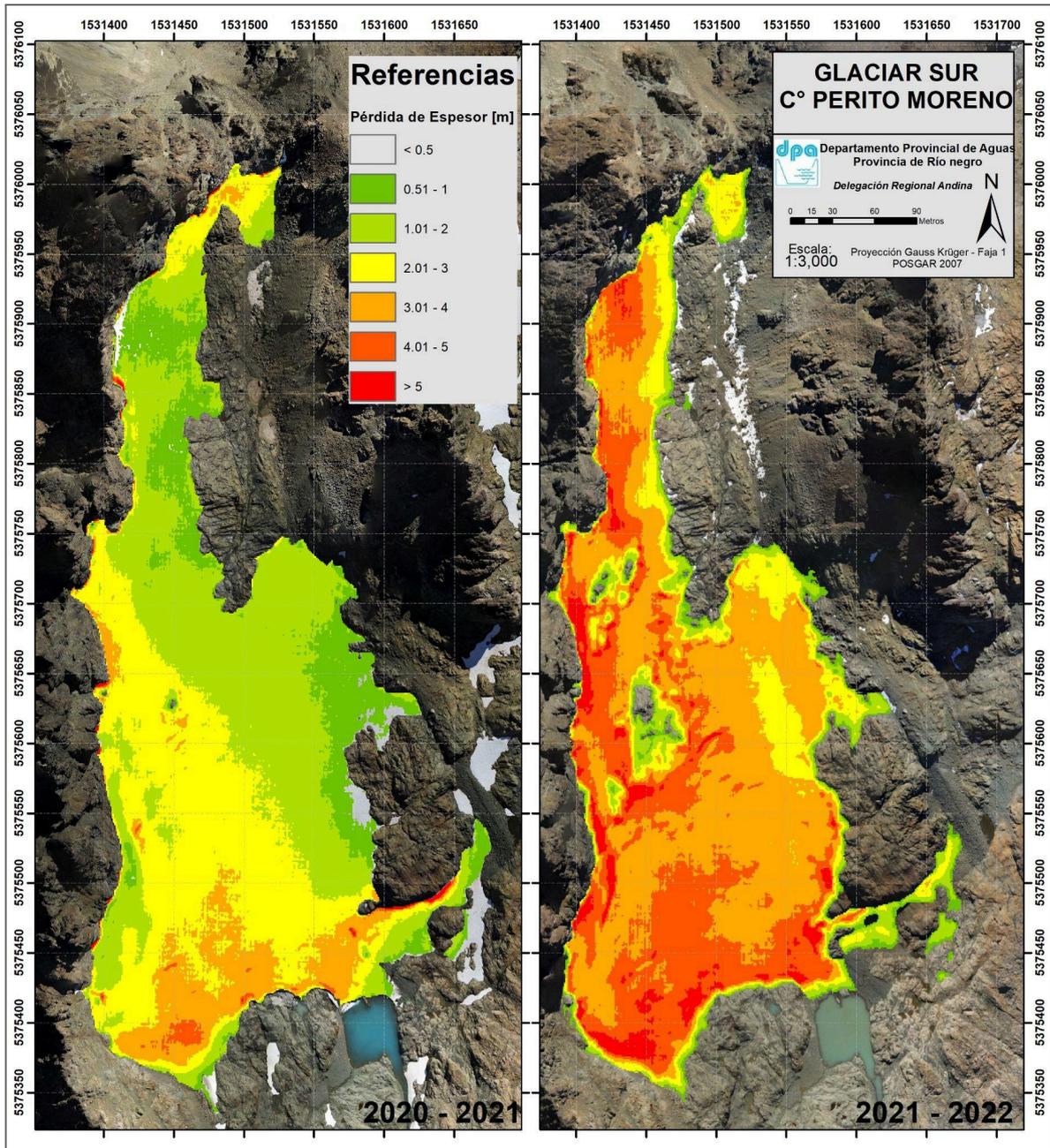


Figura 6.3: pérdida de espesor anual del Glaciar Sur del cerro Perito Moreno a partir de fotogrametría, marzo de 2020 - 2021 y marzo 2021 - 2022 (DPA, 2023).

Se puede observar la disminución del área de cobertura del glaciar y el fraccionamiento del mismo entre los años 2021 y 2022. En la Figura 6.2, año 2022, se destaca el posible comienzo de la formación de una nueva laguna en la zona sureste. En cuanto a la pérdida de espesor se puede ver que la diferencia de altura para el período 2021-2022 es mayor que para la etapa anterior, distinguiendo que en la mayor parte de la superficie glaciar su espesor disminuyó más de 3 m.

Glaciar Norte

Dado el difícil acceso al glaciar Norte (*Figura 6.4*), no se cuenta con información fotográfica de su evolución a lo largo del tiempo. En este caso se observa el cambio temporal mediante recortes de imágenes satelitales disponibles de los años 2016 y 2018 (*Figura 6.5*).



Figura 6.4: camino hacia el glaciar Norte (fuente propia, 2023).

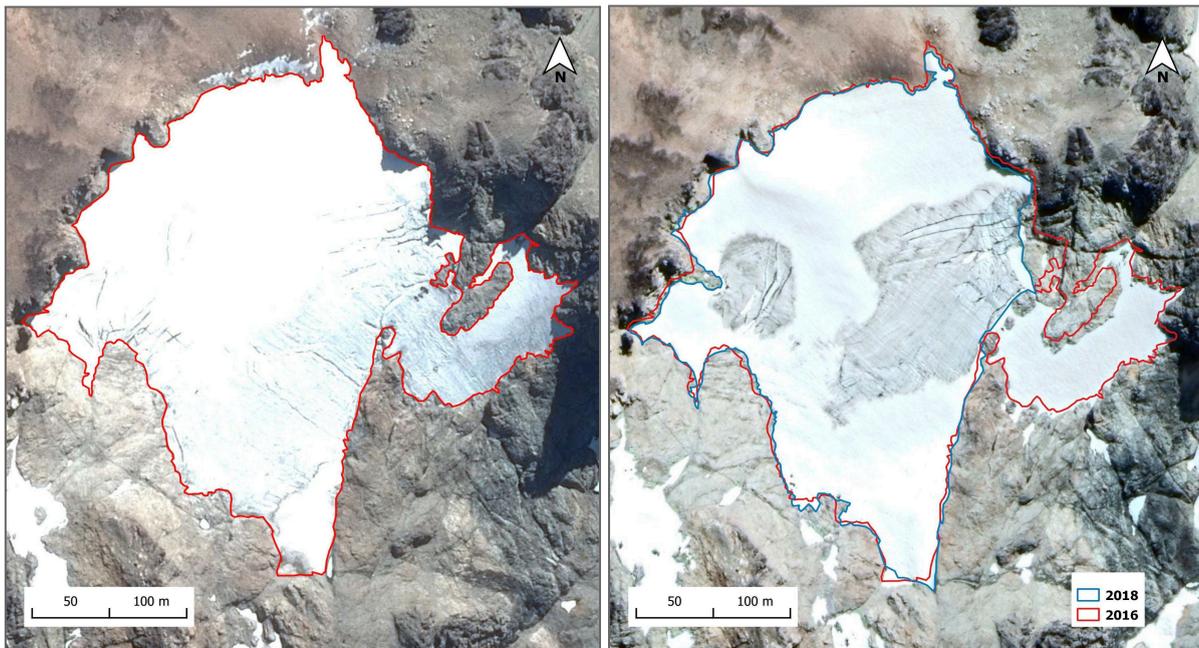


Figura 6.5: evolución del frente del Glaciar Norte del cerro Perito Moreno de abril 2016 y febrero 2018 (Producción Propia, fuente: Google Earth, 2023).

Si bien la disponibilidad de imágenes es acotada y las mismas presentan cobertura nival, la cual dificulta la identificación del frente y de los bordes del glaciar, nos muestran de forma aproximada los cambios de perímetro, forma y área que hubo entre dichos períodos, mostrando una clara retracción.

A continuación se enseña información de fotogrametría para los años 2020-2022, la cual muestra cambios en el área de cobertura (Figura 6.6) y en la altura del glaciar (Figura 6.7).

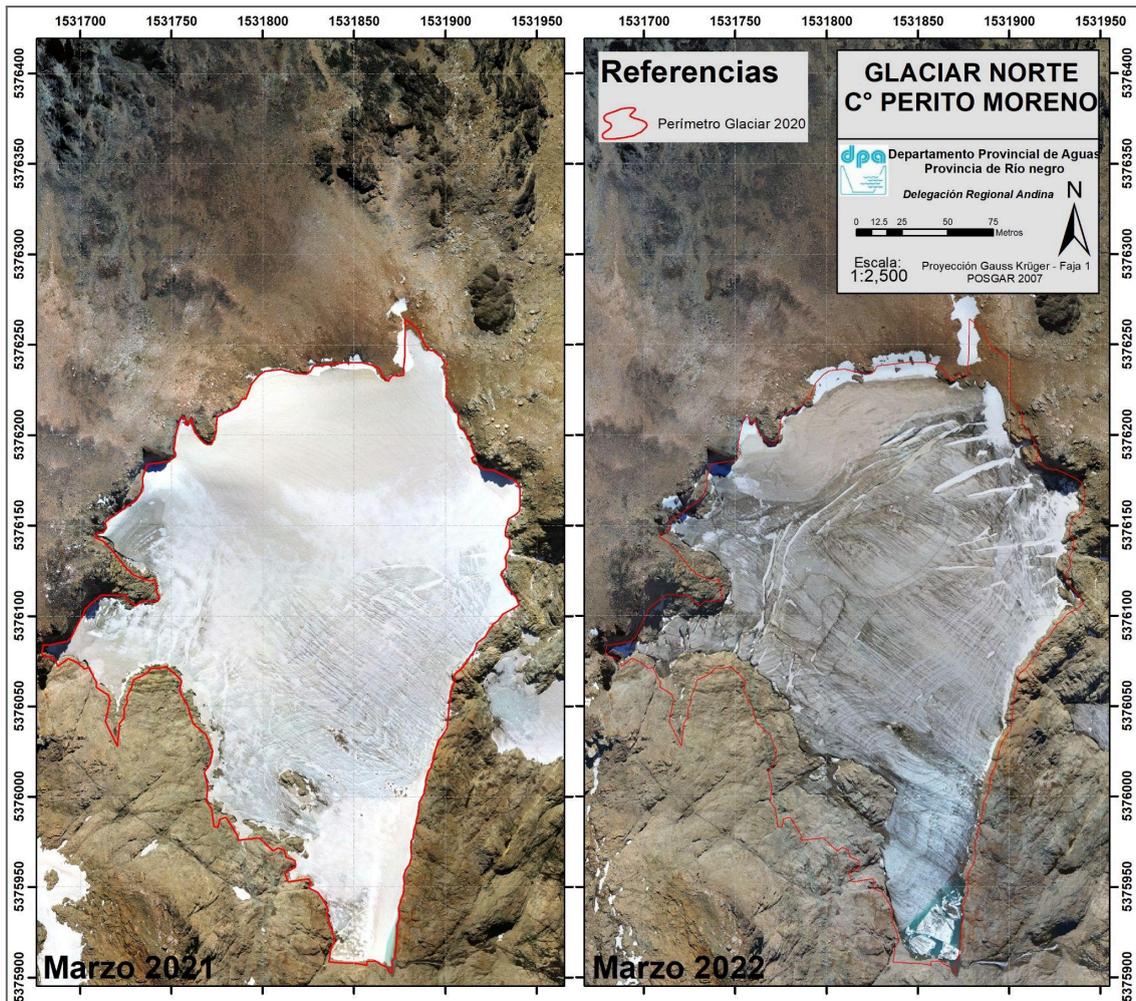


Figura 6.6: área del Glaciar Norte del cerro Perito Moreno 2021 y 2022 (DPA, 2023).

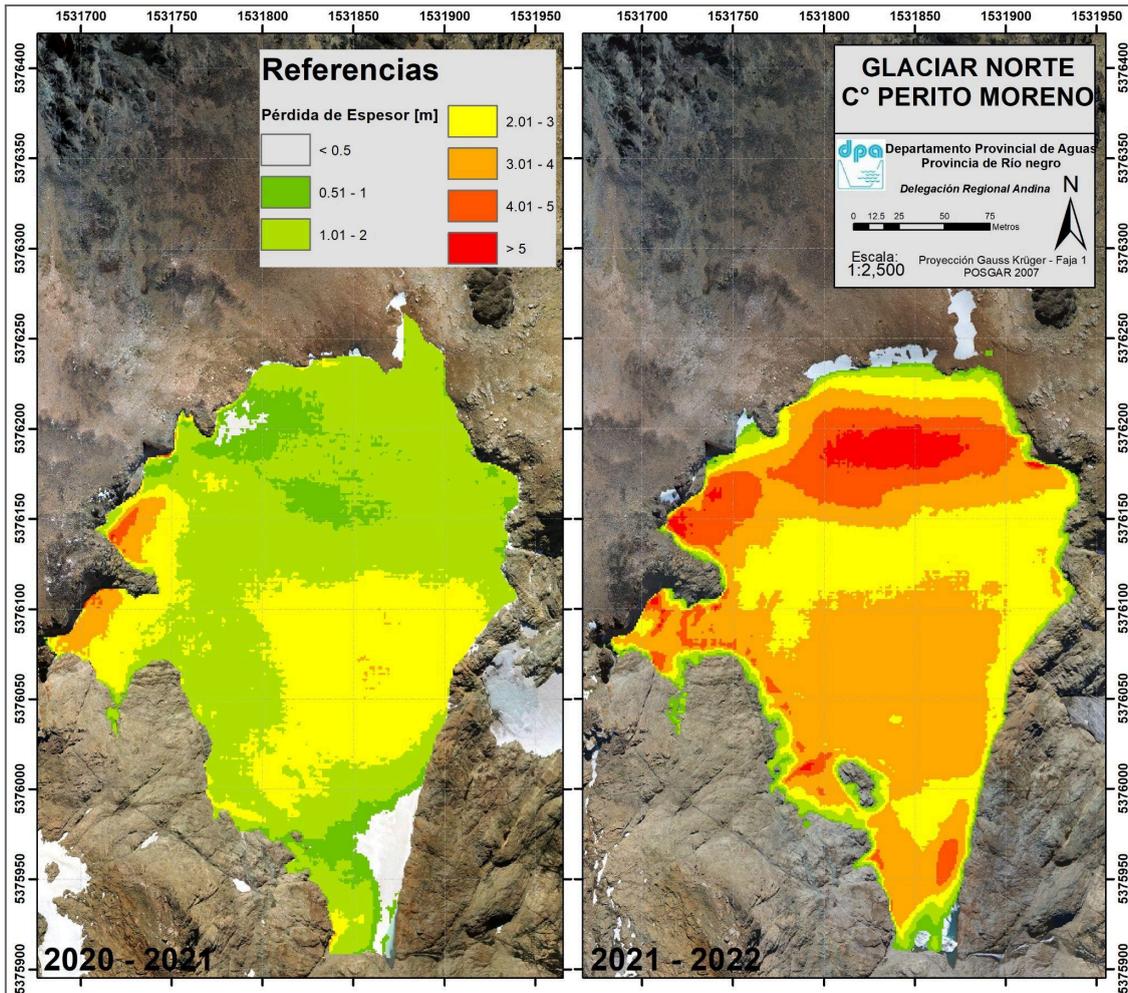


Figura 6.7: pérdida de espesor del Glaciar Norte del cerro Perito Moreno 2020 - 2022 (DPA, 2023).

Al igual que para el glaciar Sur, se observa la disminución del área de cobertura del glaciar y la formación de una laguna en la zona sur, próxima al frente. En cuanto a la pérdida de espesor también se destaca que la diferencia de altura para la etapa 2021-2022 es mayor que para el período anterior y en la mayor parte de la superficie glaciar su espesor disminuyó más de 3 m.

Mediante el análisis de la información presentada se puede destacar que además de disminuir el área glaciar año tras año mediante el retroceso de sus frentes, también disminuye la altura de la masa de hielo. Esto se traduce en una reducción de su volumen total, lo cual pone en riesgo la continuidad de su función como reservorios de agua dulce y de regulación hídrica.

Tasa de Retroceso

La tasa de retroceso presente en glaciares que están en proceso de retracción generalmente varía año a año. Para el caso del glaciar Sur del cerro Perito Moreno, la tasa de retroceso está indicada por la pendiente de las rectas de la Figura 6.8, la cuál fue determinada por el DPA mediante la evolución histórica de la ubicación de su frente (Figura 6.9).

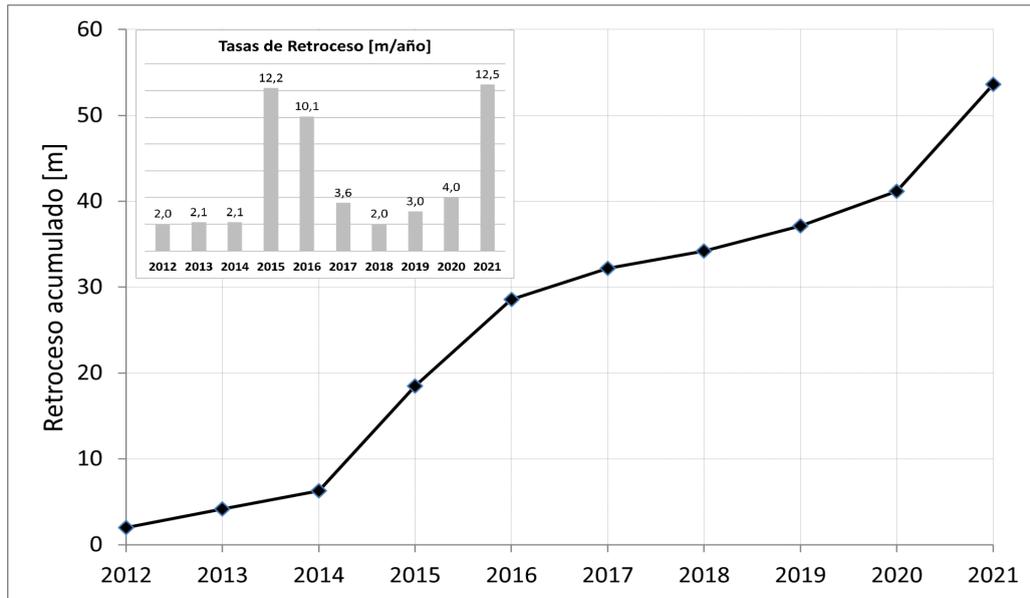


Figura 6.8: tasas de retroceso del frente del glaciar Sur del cerro Perito Moreno (DPA, 2023).

Se puede notar que el aumento más abrupto en el retroceso del glaciar se percibe durante el año 2015, 2016 y 2021, en los cuales las tasas de retroceso aumentaron un orden de magnitud, con valores del orden de entre 2 y 4 m/año a valores mayores a 10 m/año. La tasa de retroceso anual promedio entre 2012 y 2021 es de 5,4 m y se tiene un retroceso acumulado de 53,6 m.

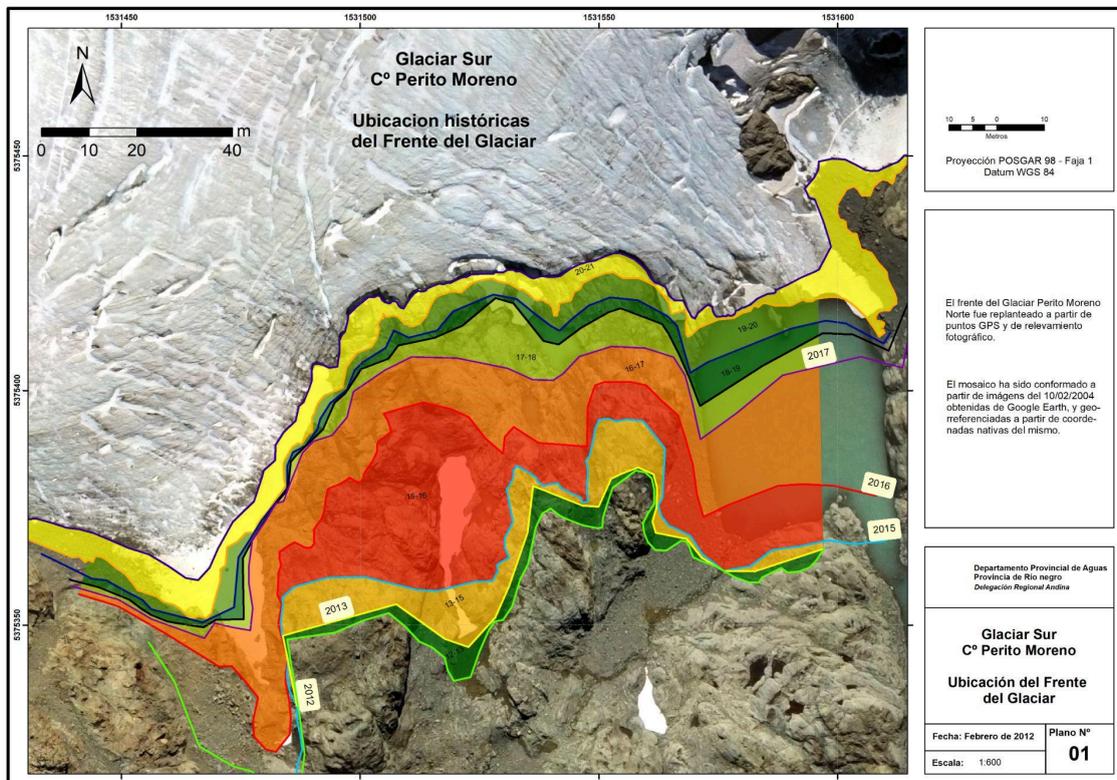


Figura 6.9: ubicación histórica del frente del Glaciar Sur (DPA, 2023).

Observaciones en terreno

A continuación se muestra una serie de imágenes que evidencian signos del retroceso glaciar, tomadas durante la visita al sitio. Tales como la formación de lagunas glaciares, cuevas y el desarrollo de vegetación aledaña a los glaciares (Emmer, 2017) (Grabherr et al., 2010).

Mediante la siguiente se observa el Glaciar Sur completo (*Figura 6.10*). Se puede ver que se encuentra dispuesto sobre un circo de base rocosa, sobre el frente se encuentra la laguna formada allí desde 2015 y en la zona alta se pueden ver manchones de nieve o glaciaretos que antes formaban parte del glaciar.



Figura 6.10: vista panorámica del Glaciar Sur (fuente propia, 2023).

En la siguiente imagen se puede observar la zona sureste del glaciar (*Figura 6.11*). En este área se ha observado la formación de una nueva laguna en el año 2022, la cual se encontraba cubierta de nieve en el momento de la fotografía.



Figura 6.11: vista desde el sureste del Glaciar Sur (fuente propia, 2023).

A continuación se muestra una imagen panorámica del Glaciar Norte (*Figura 6.12*). Abajo, a la izquierda se puede ver la laguna formada allí a partir de 2020, la cual se encontraba congelada al momento de la fotografía. Del lado derecho de la imagen se puede observar un manchón de nieve que años anteriores formaba parte del glaciar (*Figura 6.13*).



Figura 6.12: vista panorámica del Glaciar Norte (fuente propia, 2023).



Figura 6.13: cueva de hielo ubicada sobre el margen este del Glaciar Norte (fuente propia, 2023).

Otro indicador de retroceso glaciar observado en el sitio es la progresión de la vegetación. A medida que un glaciar se retira, la vegetación puede colonizar las áreas ocupadas previamente por el hielo. En este caso incluye la aparición de musgos, algas (*Figura 6.14*), líquenes y pequeñas plantas vasculares (*Figura 4.5*).



Figura 6.14: musgos y algas observados en sitios próximos al Glaciar Sur (fuente propia, 2023).

En un actual contexto de reducción de precipitaciones y aumento de temperatura media regional, sumado a las consecuencias de la retracción glaciar de reducción del albedo y aumento de la temperatura local; se puede considerar al retroceso glaciar estudiado como un proceso de retroalimentación positiva. Esto significa que al retroceder el glaciar, la superficie descubierta es capaz de absorber más calor que antes, lo que a su vez aumenta la temperatura aledaña al cuerpo criogénico e impacta en su preservación.

Observando la evolución de los glaciares del cerro Perito Moreno descrita en este capítulo, se puede decir que existe la posibilidad de que los cuerpos de hielo en estudio sigan reduciendo su tamaño año tras año, manteniéndose este proceso hasta su extinción (MAyDS et al., 2018) (IPCC, 2019).

6.3 Conclusiones Parciales

A través de la búsqueda bibliográfica e información de monitoreos sistemáticos de los glaciares del cerro Perito Moreno se ha podido obtener información de sus parámetros geométricos para los años 2012 y 2016 y se pudo confirmar que por lo menos desde el año 2012 el glaciar Sur se encuentran atravesando un proceso de retroceso, mediante el cual, año tras año se reduce progresivamente su área de cobertura y se retrae su frente.



Por medio de imágenes con información de fotogrametría de los años 2020 a 2022, brindadas por el DPA, se observó que los glaciares Norte y Sur no solo reducen su área, sino que también está disminuyendo el espesor de su masa de hielo entre estiajes. A partir de los datos de las tasas de retroceso del glaciar Sur se obtiene un retroceso medio anual de 5,4 m y un retroceso acumulado entre 2012 y 2022 de 53,6 m, siendo 2015, 2016 y 2021 los años de mayor distancia de retracción. Por último, al analizar la evolución de los glaciares a lo largo del tiempo, sumado a observaciones de campo, se han destacado transformaciones en su morfología y ambiente periglacial. Los mismos se evidencian como manchones de nieve originados por el fraccionamiento de los glaciares, la formación de lagunas y cuevas y el avance de la vegetación.

Es importante resaltar que es evidente el retroceso de los glaciares del cerro Perito Moreno y al no conocer el espesor de sus masas de hielo glaciar, desde la roca madre donde se asientan hasta la superficie, no se puede predecir el tiempo que tardarán en derretirse por completo. Si continúa a lo largo del tiempo la tasa de retroceso observada, es inminente la desaparición de ambos glaciares, lo cual puede ocurrir en aproximadamente décadas o incluso en unos pocos años.

7. Impacto del Retroceso de los Glaciares en los Caudales del Arroyo Pedregoso y Sistema de Riego de Mallín Ahogado

En la presente sección del trabajo se ampliará el procedimiento realizado para obtener datos de campo y un análisis hidrometeorológico del área de interés de la cuenca del arroyo Pedregoso, con el fin de estimar la importancia hídrica de los Glaciares del cerro Perito Moreno como aporte al sistema de riego de Mallín Ahogado. Con este propósito se solicitó al Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA) información de vuelos fotográficos, información cartográfica y datos de precipitación, temperatura y caudal utilizados (Anexo 3).

7.1 Análisis de Datos Hidrometeorológicos

Se realizó un análisis estadístico y de comportamiento a lo largo del tiempo de datos hidrometeorológicos disponibles de la zona de estudio con el fin de poder realizar una caracterización de su comportamiento y una selección de los datos útiles para estimar el impacto del retroceso de los glaciares en los caudales del arroyo Pedregoso y sistema de riego de Mallín Ahogado.

7.1.1 Metodología

Se utilizó la información hidrometeorológica disponible de las siguientes estaciones (*Figura 7.1*) correspondientes a las más cercanas al sitio de estudio.

Estación	Altitud (msnm)	Datos	Serie
Estación Meteorológica automática DPA, El Bolsón	330	Precipitaciones acumuladas, temperatura media, máxima y mínima horarias.	1998-2023
Sistema Meteorológico Nacional en Aeropuerto de El Bolsón	340	Precipitaciones acumuladas horarias	1978-2023
Refugio Hielo Azul	1350	Precipitación acumulada diaria y temperatura máxima y mínima diarias	2011-2020
Refugio Perito Moreno	1360	Precipitación acumulada mensual	2003-2009
Limnógrafo automático DPA	-	Caudal horario	1998-2022

Tabla 7.1: estaciones meteorológicas utilizadas.

Debido a la difícil accesibilidad y las condiciones climáticas extremas que presentan los glaciares en estudio, actualmente no se encuentran estaciones meteorológicas instaladas en el sitio. Los datos utilizados son los mencionados anteriormente, disponibles de las estaciones más cercanas, a una distancia de 4 a 20 km en línea recta.

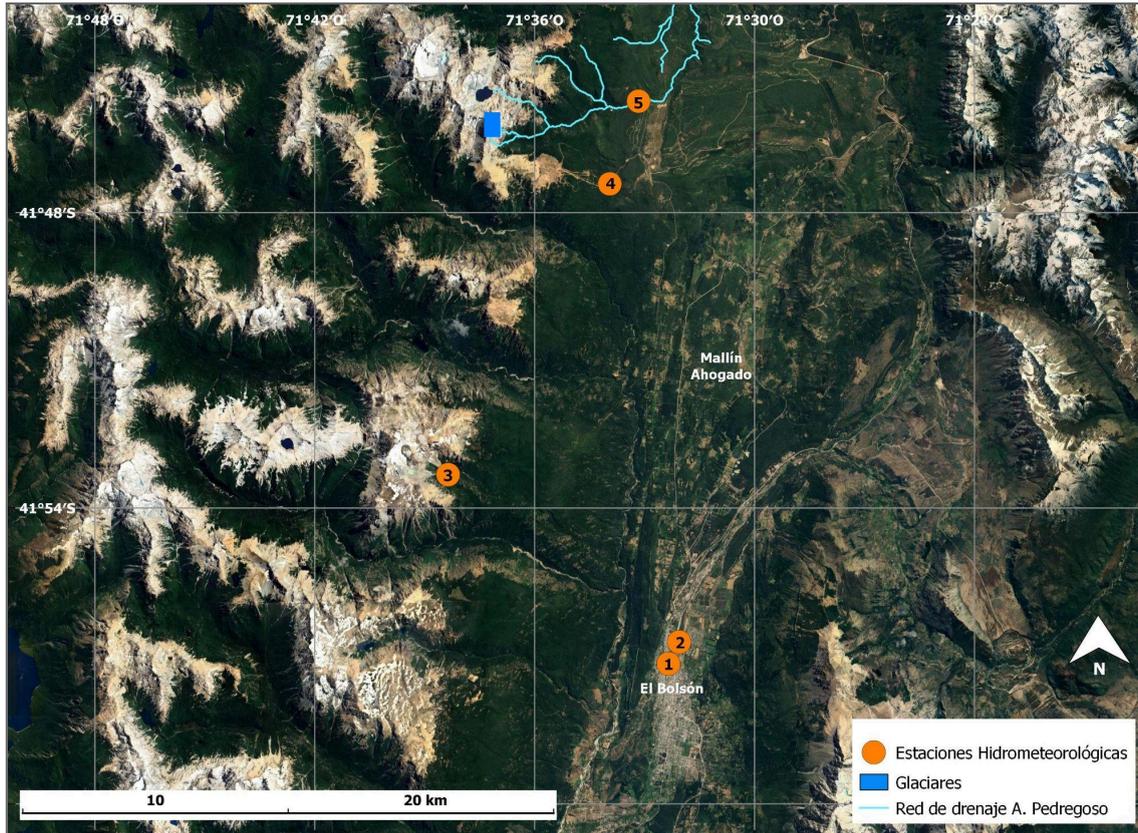


Figura 7.1: ubicación de las estaciones meteorológicas (Producción Propia, fuente: DPA, 2022).

Las series de datos de precipitación y temperatura media fueron analizadas estadísticamente de forma mensual para obtener las características del año hidrológico en la región. Para ello se obtuvo el valor medio mensual de la temperatura y la precipitación media acumulada de cada mes para todos los años de datos disponibles (Figura 7.2). El mismo procedimiento se realizó con los datos de caudal del arroyo Pedregoso con el objetivo de determinar su conducta anual (Figura 7.3).

Luego se observó el comportamiento histórico del caudal desde el año 1998 al 2022. En primer lugar se procedió a completar datos faltantes de la serie de caudales a través del método de regresión lineal utilizando información del arroyo El Lindo. Los datos correspondientes a las fechas de enero a abril de 2004, enero a abril de 2005 y noviembre de 2006 no pudieron ser completados debido a la falta de información de estaciones cercanas. Posteriormente se realizó el cálculo del caudal medio mensual (Figura 7.4), los caudales máximos y mínimos anuales y el caudal medio anual (Figura 7.5) a lo largo del tiempo, se determinó el caudal medio histórico y las líneas de tendencia.

Al encontrarse los glaciares del cerro Perito Moreno a una altitud aproximada de 2000 metros sobre el nivel del mar, la cual influye sobre la magnitud y naturaleza de las precipitaciones, se realizó una comparación de los valores de precipitación entre estaciones ubicadas a distintas altitudes. Se analizó la precipitación acumulada anual para el periodo de 2004-2022 y la acumulada mensual para el periodo de 2011-2023. La comparación se realizó entre las estaciones que se encuentran en el refugio del cerro Perito Moreno y el refugio Hielo Azul, a 1360 msnm, con las situadas en El Bolsón a 340 msnm.

Se seleccionaron dichos datos por no contar con información sistémica más próxima al sitio de estudio y debido a que la misma se ubica a una mayor altitud con respecto a las estaciones ubicadas en el centro de El Bolsón, lo cual implica que los datos sean más representativos respecto al comportamiento de la precipitación. Estos resultados deberán tenerse en cuenta al determinar el impacto del retroceso de los glaciares en el suministro de agua a Mallín Ahogado ya que los datos de precipitación a utilizar pueden condicionar la evaluación.

Para proceder se completaron los datos faltantes de la serie de precipitación de los refugios mediante el método de regresión lineal y con el fin de verificar la homogeneidad de los datos de precipitación entre distintas estaciones meteorológicas se aplicó el método de Dobles Masas, el cuál consiste en construir un gráfico de puntos con los valores acumulados de la variable de cada estación relacionadas entre sí y observar su comportamiento. En este trabajo se realizó con los valores acumulados mensuales de los períodos de datos existentes (Monsalve, 1999).

7.1.2 Resultados

Se obtuvo el comportamiento de los valores medios mensuales de las variables de precipitación acumulada y temperatura como caracterización del año hidrológico en el área de estudio (Figura 7.2). A través del análisis se observó que el año hidrológico obtenido para la región concuerda con las propiedades descritas en la [sección 4.1](#) según bibliografía. El gráfico muestra una gran variación intraanual de las precipitaciones y la temperatura, en el cual, el verano (DIC-MAR) se caracteriza como la época de mayores temperaturas y menor precipitación en la región. Se utilizó la información de precipitación de la estación del Sistema Meteorológico Nacional ya que fue la serie que contempla mayor cantidad de años y con datos más antiguos.

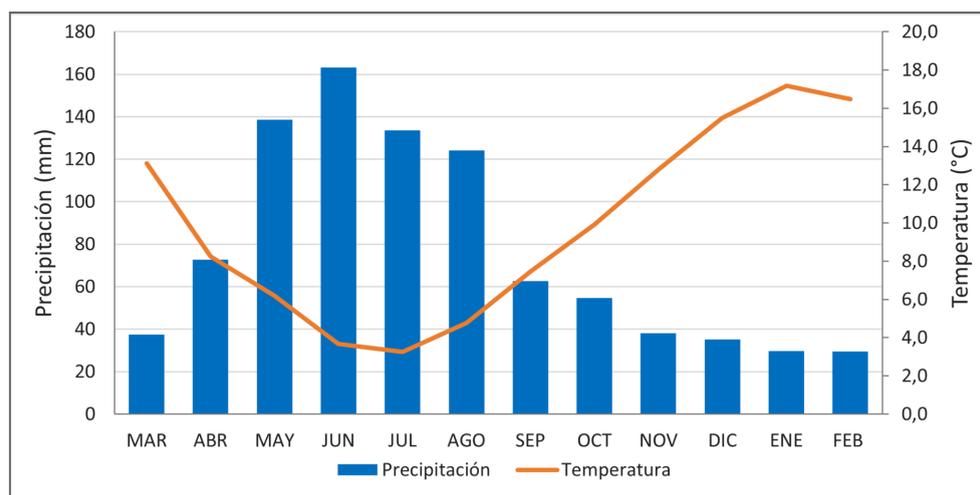


Figura 7.2: gráfico del comportamiento medio de la precipitación y la temperatura a lo largo del año hidrológico (Producción propia, fuente: series SMN 1978-2023 y DPA 1998-2023).

Se obtuvieron los valores de precipitación anual acumulada y temperatura anual media, los cuales caracterizan a la región con un clima frío y templado. A continuación se muestran los

estadísticos mensuales calculados, los cuales manifiestan el comportamiento de las variables analizadas en las diferentes épocas del año (*Tabla 7.1*) (*Tabla 7.2*).

Temperatura anual media	9.9 °C
Precipitación acumulada anual	917 mm

	Temperatura (°C)											
	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Media	13.1	8.2	6.2	3.7	3.3	4.8	7.4	9.9	12.8	15.5	17.2	16.5
Desvío std.	1.9	4.4	0.9	1.1	0.9	0.9	1.5	0.8	2.1	1.6	1.7	2.7
Máximo	34.9	24.1	21.4	18.6	16.7	20.6	24.0	29.7	34.7	36.9	37.4	38.6
Mínimo	-1.8	-3.6	-6.3	-9.3	-10.5	-8.4	-7.2	-3.2	-2.4	-2.1	1.4	-0.9

Tabla 7.2: estadísticos mensuales de temperatura de El Bolsón (Producción propia, fuente: serie SMN 1978-2023).

	Precipitación											
	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Media	37.5	72.6	138.6	163.2	133.5	124.2	62.7	54.6	38.2	35.1	29.7	29.4
Desvío std.	25.8	53.0	92.4	90.3	65.3	63.2	40.6	48.5	33.1	36.8	30.0	31.5
Máximo	112.5	258.9	394.2	397.0	315.2	271.1	152.3	231.0	142.0	176.2	160.0	113.3
Mínimo	4.1	3.7	15.0	3.5	41.3	0.0	7.0	5.0	3.6	1.0	0.0	0.0

Tabla 7.3: estadísticos mensuales de precipitación de El Bolsón (Producción propia, fuente: serie SMN 1978-2023).

Resultado del análisis de los valores medios mensuales del caudal del arroyo Pedregoso distribuidos a lo largo del año (*Figura 7.3*) y sus estadísticos (*Tabla 7.3*):

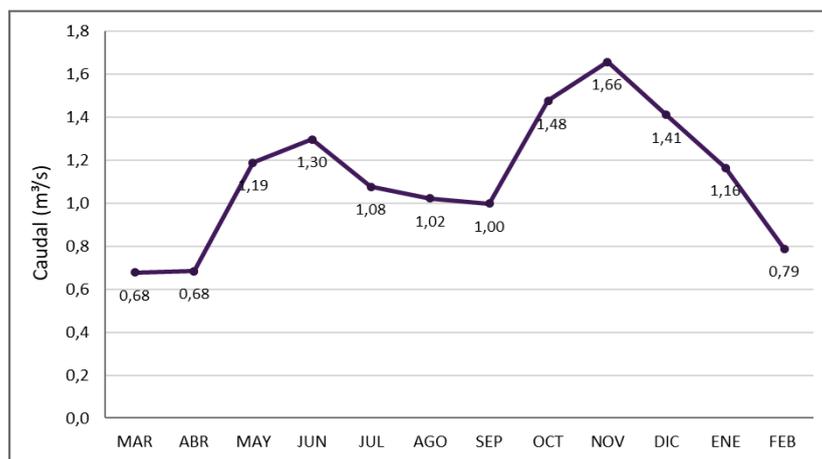


Figura 7.3: gráfico del comportamiento del caudal medio mensual del arroyo Pedregoso a lo largo del año hidrológico promedio (Producción propia, fuente: serie DPA 1998-2022).

	Caudal (m ³ /s)											
	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Media	0,68	0,68	1,19	1,30	1,08	1,02	1,00	1,48	1,66	1,41	1,16	0,79
Desvío est	0,38	0,40	0,78	0,70	0,73	0,53	0,44	0,81	0,98	0,71	0,61	0,38
Máximo	1,43	1,34	3,04	2,60	3,53	2,11	1,69	3,85	3,67	2,83	2,37	1,30
Mínimo	0,15	0,08	0,12	0,17	0,12	0,38	0,41	0,43	0,43	0,35	0,23	0,18

Tabla 7.4: estadísticos mensuales de caudal de El Bolsón (Producción propia, fuente: serie DPA 1998-2022).

Se corroboró que el comportamiento del caudal presenta dos picos anuales, uno a principios del invierno que concuerda con el mes de máximas precipitaciones y otro en primavera, correspondiente al deshielo en las cabeceras de cuenca. Esto demuestra una conducta típica de los arroyos cordilleranos, como se describió en la [sección 4.1](#) según bibliografía.

A continuación se muestran mediante gráficos, los resultados obtenidos del análisis de las series históricas para el caudal medio mensual (Figura 7.4) y medio anual del arroyo Pedregoso (Figura 7.5) para el periodo de 1998 a 2022.

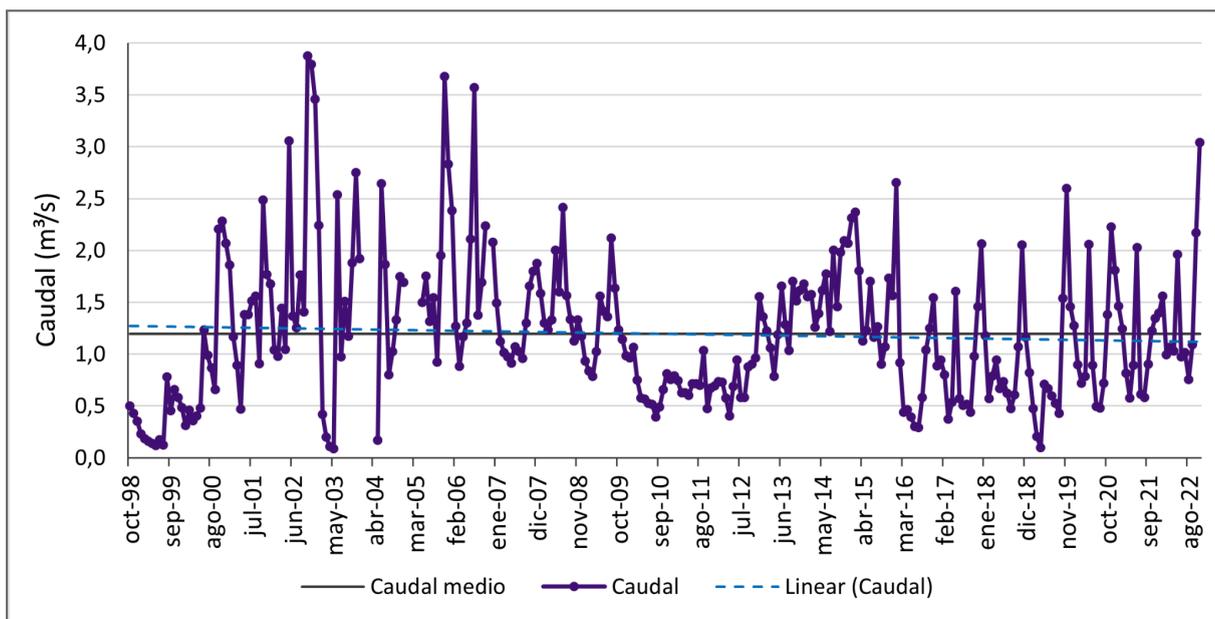


Figura 7.4: caudal mensual medio histórico del arroyo Pedregoso, su valor medio y tendencia (línea punteada) (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022).

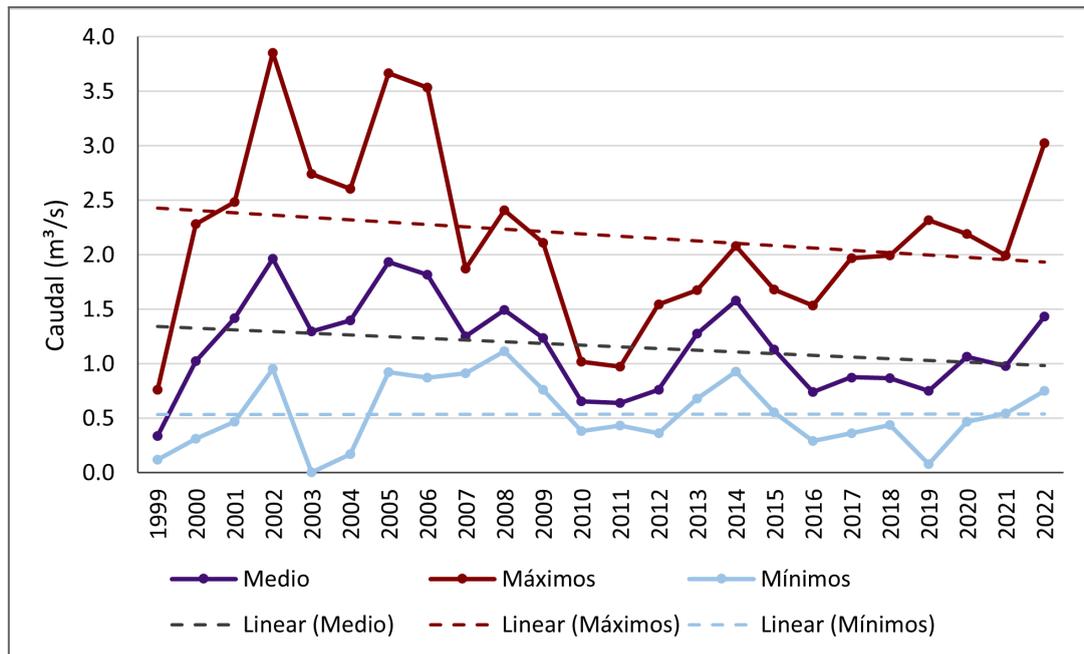


Figura 7.5: caudal anual medio, máximo y mínimo absoluto del arroyo Pedregoso y sus tendencias (líneas punteadas) (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022).

El caudal medio mensual y anual es variable, con un coeficiente de variación de 58 % y 36 % respectivamente. Mediante los datos disponibles no se puede asegurar que exista un ciclo de variación a lo largo del tiempo. Se puede ver que las series de datos de la *Figura 7.5* aparentemente no son estacionarias y que las variables presentan una evolución lineal en el tiempo hacia valores menores para los caudales medio y máximo, tendiendo hacia valores mayores para el caudal mínimo.

Con el fin de evaluar la significancia estadística de las tendencias observadas (*Tabla 7.5*). Se realizaron los test Mann-Kendall (no paramétrico), Spearman's Rho (no paramétrico) y de Regresión Lineal (paramétrico) a través del software TREND (Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 2005).

Caudal anual mínimo					
	Test statistic	Niveles de significancia			Resultado tendencia
	Z	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	
Mann-Kendall	0.05	1.645	1.96	2.576	NSC
Spearman's Rho	0.2	1.645	1.96	2.576	NSC
Linear regression	0.039	1.717	2.74	2.819	NSC
Caudal anual medio					
	Test statistic	Niveles de significancia			Resultado tendencia
	Z	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	
Mann-Kendall	-1.24	1.645	1.96	2.576	NSD
Spearman's Rho	-1.272	1.645	1.96	2.576	NSD
Linear regression	-1.268	1.717	2.74	2.819	NSD
Caudal anual máximo					
	Test statistic	Niveles de significancia			Resultado tendencia
	Z	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	
Mann-Kendall	0.05	1.645	1.96	2.576	NSC
Spearman's Rho	0.2	1.645	1.96	2.576	NSC
Linear regression	0.039	1.717	2.74	2.819	NSC

Tabla 7.5: significancia estadística de las tendencias. SC: significativa creciente, SD: significativa decreciente, NSC: no significativa creciente, NSD: no significativa decreciente.

Mediante los 3 test se obtuvo que los valores de los estadísticos de prueba no superaron negativa o positivamente a los valores críticos para distintos niveles de significancia ($\alpha = 0.1$; $\alpha = 0.05$; $\alpha = 0.01$). Esto significa que las tendencias observadas en la Figura 7.5, tanto para caudal anual medio, máximo y mínimo absoluto, no son estadísticamente significativas.

A continuación se muestran los resultados de la comparación de precipitación entre estaciones a distintas altitudes. En primera instancia se completaron los datos faltantes de la serie de precipitación mediante el método de regresión lineal y luego se llevó a cabo la técnica de Dobles Masas (*Figura 7.6*) para observar la homogeneidad de la serie completada.

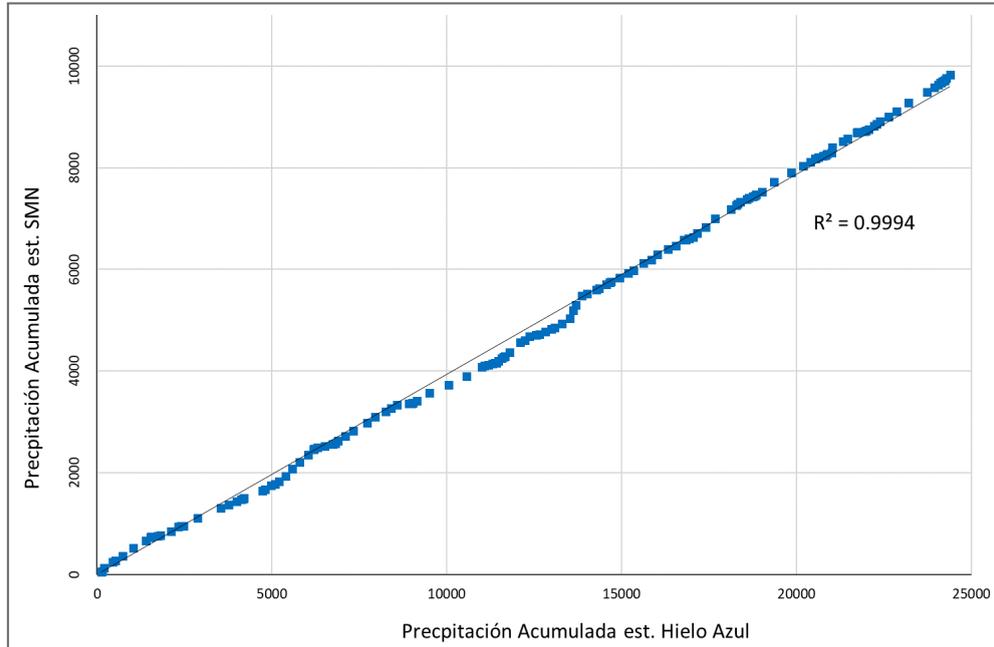


Figura 7.6: método de Dobles Masas, correlación entre las precipitaciones acumuladas de la estación SMN y Hielo Azul 2011-2023.

Comparación entre la precipitación acumulada anual para el periodo de 2004-2022 (*Tabla 7.4*) y mensual para el periodo de 2011-2022 (*Figura 7.7*) de las estaciones meteorológicas de estudio ubicadas en distintas altitudes:

Precipitación Anual Acumulada (mm)																
2004	2005	2006	2007	2008	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Perito Moreno					Hielo azul											
1934	2031	2280	1180	2345	1808	2916	1780	2489	2377	1287	1897	2286	1802	2109	1312	2108
DPA - SMN																
1068	1209	1344	658	988	755	878	875	846	790	574	972	996	814	824	529	812

Tabla 7.6: precipitación anual acumulada de las estaciones Perito Moreno, Hielo Azul y DPA-SMN para el periodo de 2004 a 2022 (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022, SMN 1978-2023, Hielo Azul 2011-2023 y Refugio Perito Moreno 2004-2008)

Las estaciones ubicadas a 1360 msnm presentan una diferencia media de 1120 mm anuales de precipitación por arriba de la estación de El Bolsón.

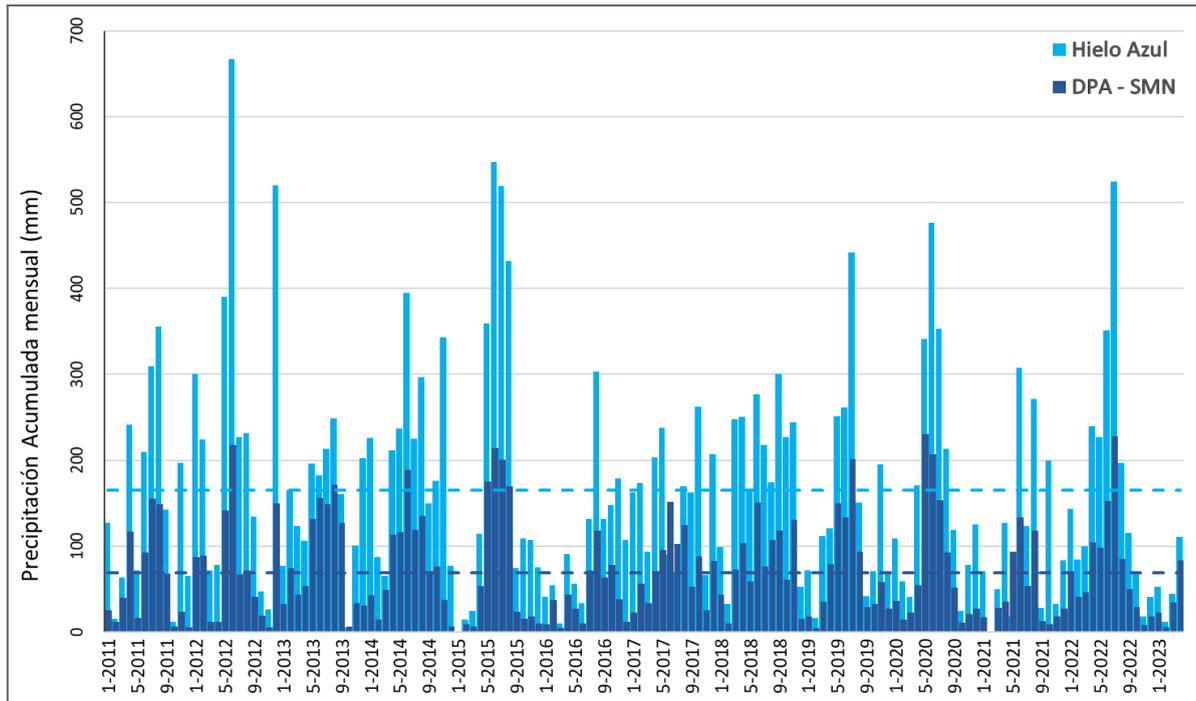


Figura 7.7: precipitación acumulada mensual y su valor medio (línea punteada) para El Bolsón y el refugio Hielo Azul, periodo de 2011-2022 (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022, SMN 1978-2023 y Hielo Azul 2011-2023).

Al caracterizar el año hidrológico de la región (Figura 7.2) se observó un claro comportamiento estacional del caudal, las precipitaciones y la temperatura. Es por ello que se decidió continuar trabajando únicamente con los datos hidrometeorológicos de períodos de fin de estiaje (marzo y febrero) de los años 2012-2022. El mismo corresponde a la estación seca y de mayor temperatura (Figura 7.8) del año, en el cual hay menor influencia de las precipitaciones sobre el caudal del arroyo Pedregoso y sobre la de descarga de los glaciares del cerro Perito Moreno.

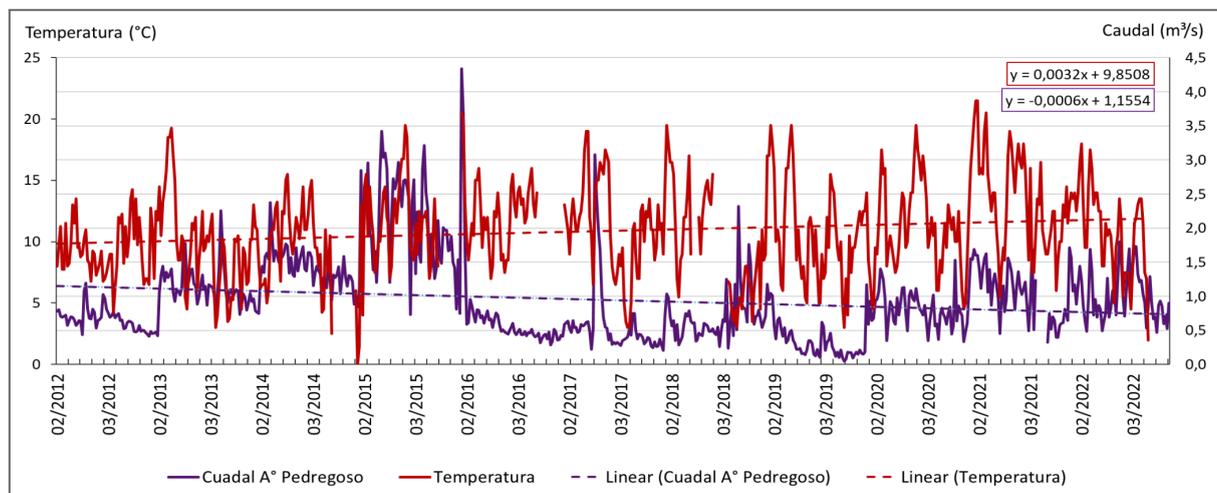


Figura 7.8: serie de temperatura y caudal del arroyo Pedregoso para febrero y marzo 2012-2022 (Producción propia, fuente: series Hielo Azul 2011-2023 y DPA).

Observando las líneas de tendencia de ambas variables se puede ver que la temperatura para los periodos de estudio presenta una tendencia ascendente, mientras que los caudales, una descendente. Este comportamiento concuerda con las observaciones bibliográficas sobre las tendencias climáticas futuras para la región (Rabassa, 2019).

Con el fin de evaluar la significancia estadística de las tendencias observadas (*Tabla 7.7*). Se realizaron los test Mann-Kendall (no paramétrico), Spearman's Rho (no paramétrico) y de Regresión Lineal (paramétrico) a través del software TREND (Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 2005).

Temperatura diaria enero y febrero					
	Test statistic	Niveles de significancia			Resultado tendencia
	Z	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	
Mann-Kendall	4.019	1.645	1.96	2.576	SC (0.01)
Spearman's Rho	4.588	1.645	1.96	2.576	SC (0.01)
Linear regression	3.92	1.651	1.969	2.595	SC (0.01)
Caudal diario enero y febrero					
	Test statistic	Niveles de significancia			Resultado tendencia
	Z	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	
Mann-Kendall	-4.03	1.645	1.96	2.576	SD (0.01)
Spearman's Rho	-4.587	1.645	1.96	2.576	SD (0.01)
Linear regression	-5.168	1.65	1.968	2.593	SD (0.01)

Tabla 7.7: significancia estadística de las tendencias. SC: significativa creciente, SD: significativa decreciente, NSC: no significativa creciente, NSD: no significativa decreciente.

Mediante los 3 test se obtuvo que los valores de los estadísticos de prueba superaron positivamente (temperatura) y negativamente (caudal) a los valores críticos para un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$. Esto significa que las tendencias observadas en la *Figura 7.8*, tanto para temperatura como para caudal diarios en los meses de enero y febrero, son estadísticamente significativas. Estos resultados podrían reflejar un efecto del cambio climático sobre el caudal del arroyo Pedregoso y la temperatura en la estación estival del área de estudio y no sobre los caudales medios anuales, mostrado en la *Tabla y Figura 7.5*.

7.2 Relevamiento de campo

Los días 3 (día 1) y 4 (día 2) de abril de 2023 se realizaron trabajos de campo con el objetivo de aforar en distintos puntos de la subcuenca del arroyo Pedregoso y en las descargas de los glaciares del cerro Perito Moreno, realizar un relevamiento del sitio en general y de la toma de agua para riego y, a su vez, acompañar y colaborar con el monitoreo anual de los glaciares realizado por la Regional Zona Andina del DPA. A continuación se describe el trabajo realizado y se muestran los resultados obtenidos.

7.2.1 Metodología

En primer lugar se realizó trabajo de gabinete previo a la salida de campo. En esta instancia se procedió a determinar el área de aporte hídrico superficial de la cuenca (*Figura 7.15*), aguas arriba al sitio donde se encuentra el limnógrafo. El procedimiento se realizó considerando la ubicación del punto de aforo de los datos disponibles para el caudal del arroyo Pedregoso. Luego se dividió el sistema hidrológico de estudio en subcuencas con el fin de determinar las zonas alimentadas por distintos afluentes del arroyo Pedregoso (*Figura 7.16*) y poder realizar aforos en los mismos durante el relevamiento. Este procedimiento se llevó a cabo mediante el uso de una imagen satelital de alta resolución espacial (Airbus 2023) suministrada por Google Earth y el modelo digital de elevación MDE-Ar v2.0 proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional de forma gratuita, procesado en el Sistema de Información Geográfica libre, QGIS.

Día 1

Nos trasladamos hasta la ubicación de la toma de agua del arroyo Pedregoso (Norte de Mallín Ahogado), sitio donde se encuentra el limnógrafo automático y comienza el canal de Luden. Allí se observó la escala limnimétrica ubicada en el canal (posterior a la toma de agua) y la ubicada sobre el arroyo antes de la toma. Se realizó una caminata de aproximadamente 3,6 km aguas arriba del arroyo sobre la vera del mismo (*Figura 7.9*). Al llegar a los sitios de interés, establecidos por puntos previamente estimados en gabinete y registrados mediante QGIS y GPS, se realizaron cuatro aforos en distintos lugares de la cuenca, contemplando específicamente la ubicación de los distintos afluentes del arroyo Pedregoso.



Figura 7.9: imágenes de los caminos recorridos en las salidas de campo (fuente propia, 2023).

Los aforos fueron realizados mediante vadeo con, el cual se utilizó para medir la velocidad media del caudal durante un minuto, en distintos puntos de la corriente y a distintas profundidades (*Figura 7.10*).

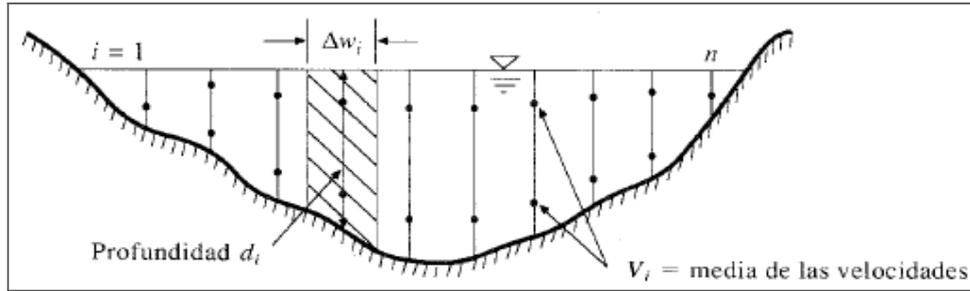


Figura 7.10: esquema de aforo mediante molinete hidrométrico para cálculo de caudal (Chow, 1994).

Día 2

Nos trasladamos hasta la base del cerro Perito Moreno y accedimos en vehículo hasta el plateau, a una altitud de 1700 msnm, con el permiso correspondiente de la actual concesión. Desde allí se realizó una caminata de 2,7 km hasta llegar al frente del glaciar Sur y posteriormente nos dirigimos hacia el glaciar Norte.

Se buscaron e identificaron los puntos fotográficos y puntos fijos de referencia marcados en monitoreos anteriores (Figura 7.11), los cuales permiten observar los cambios de los glaciares año tras año.



Figura 7.11: punto fotográfico y punto fijo de referencia utilizados en monitoreo (fuente propia, 2023).

El equipo del DPA realizó un relevamiento topográfico del frente glaciar Sur mediante GPS diferencial de doble frecuencia (*Figura 7.12*) y se instalaron marcas de referencia para la realización de un vuelo fotográfico con dron (*Figura 7.13*).



Figura 7.12: uso de GPS diferencial de doble frecuencia (fuente propia, 2023).



Figura 7.13: marcas georreferenciadas en distintos sitios alrededor de los glaciares (fuente propia, 2023).

Se realizaron dos aforos en la descarga de los glaciares. En el Sur fue realizado mediante molinete hidrométrico y en el glaciar Norte, debido a las condiciones del sitio y el escaso caudal, se

realizó mediante la técnica de flotadores superficiales (Figura 7.14). A los fines del presente trabajo, estos serán los resultados que se considerarán.

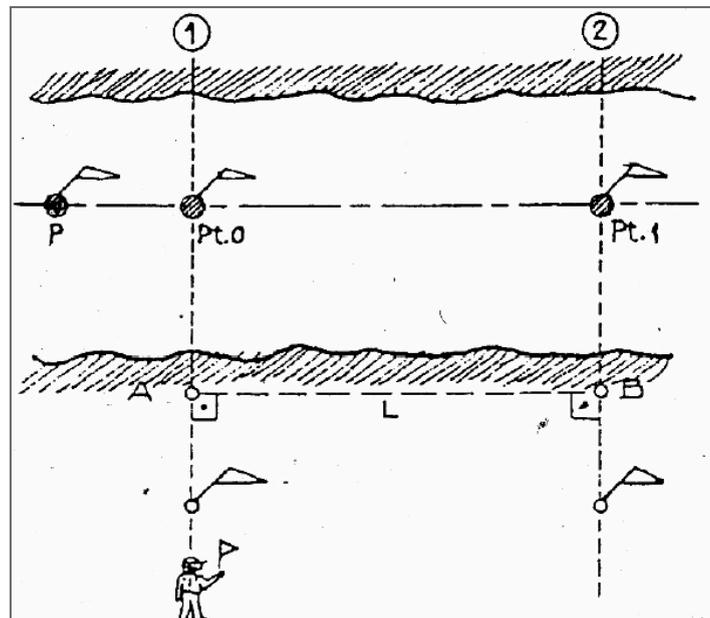


Figura 7.14: esquema del método de cálculo de caudal mediante flotadores (Nini, 2018).

Se eligió una sección uniforme de la zona de descarga, se registraron las dimensiones del área transversal considerada rectangular (D y H) y la distancia a recorrer (L), luego se lanzó el flotador aguas arriba y se registró el tiempo (t) que tardó en atravesar la sección. El procedimiento se repitió ocho veces y se calculó el caudal mediante la siguiente ecuación, luego se realizó el promedio.

$$Q = \frac{\text{Área transversal} * \text{Coef} * L}{t} \quad (1)$$

$$Q = \frac{D * H * 0.90 * L}{t} \quad (2)$$

Q : caudal.

Área transversal: calculada según la forma de la sección.

Coef: coeficiente de corrección.

L : distancia recorrida por el flotador.

t : tiempo promedio que el flotador tardó en recorrer la distancia L .

Durante el transcurso del relevamiento se recorrió el ambiente periglacial de ambos cuerpos de hielo para realizar observaciones con el fin de encontrar y tomar fotografías de indicios y resultados de su retracción.

7.2.2 Resultados

Como resultado del trabajo de gabinete previo al relevamiento de campo se obtuvo una área de aporte hídrico superficial correspondiente a 20,81 km² totales, desde las divisorias de agua hasta el sitio de toma de agua, el cual coincide con la ubicación del limnógrafo (*Figura 7.15*). Esta superficie representa el sistema hidrológico de trabajo, el cual corresponde a la región de la cuenca que aporta agua hacia el sistema de riego de Mallín Ahogado mediante el canal de riego Luden.

El sistema hidrológico de estudio se dividió en subcuencas (*Figura 7.16*) que fueron utilizadas para determinar los sitios de aforo durante el relevamiento de campo. Delimitados por el color violeta en la *Figura 7.16* se puede observar el área de aporte que contiene a los glaciares.

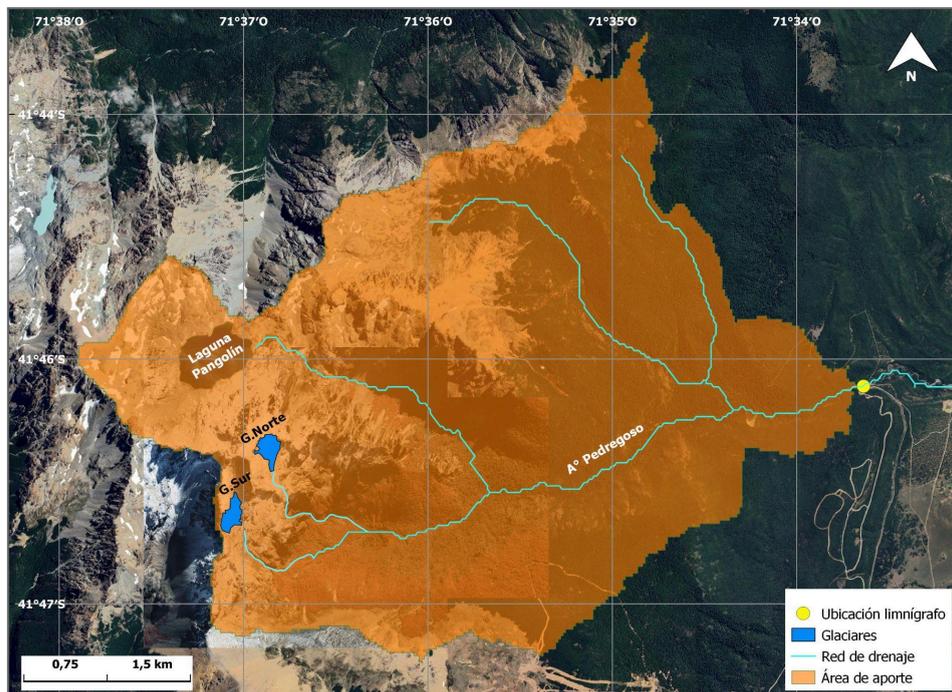


Figura 7.15: área de aporte de la cuenca del arroyo Pedregoso hasta la ubicación del limnógrafo (Producción propia, fuente: MDE-Ar v2.0 IGN).

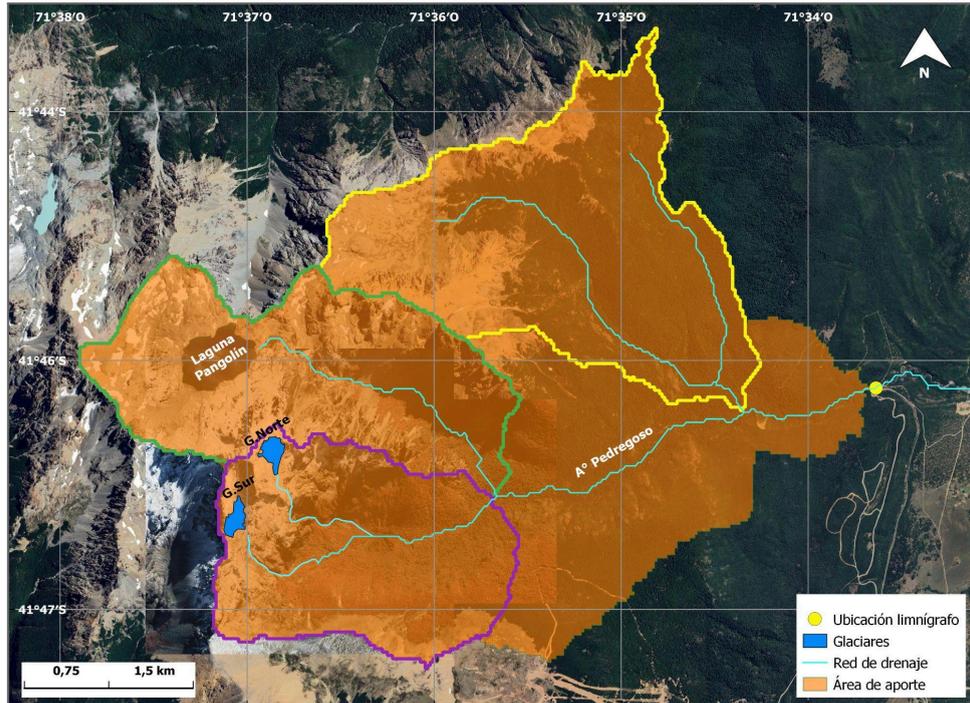


Figura 7.16: subcuencas delimitadas (Producción propia, fuente: MDE-Ar v2.0 IGN).

A continuación se muestra la trayectoria de las áreas recorridas durante las salidas de campo y la ubicación de los sitios aforados (Figura 7.17).



Figura 7.17: trayectorias recorridas en salidas de campo (Producción propia).

Día 1

Al comienzo del camino realizado se encuentra la toma de agua del arroyo Pedregoso. La misma es un azud o presa derivadora (Figura 7.18). A través de este, el flujo de agua es desviado mediante un remanso hacia una compuerta de admisión. Luego el agua es dirigida hacia rejas desarenadoras y conducida a través de una canaleta parshall para comenzar el canal de Luden y la

red de canales para riego de Mallín Ahogado. La canaleta anterior al comienzo del canal contiene una escala limnimétrica, la cual sirve para medir el caudal. El rebalse del azud sigue su curso por el cauce natural del arroyo.



Figura 7.18: toma de agua del arroyo Pedregoso (fuente propia, 2023).

En la imagen anterior se puede observar que en dicha época del año, principio de abril, la obra capta la totalidad del caudal superficial que trae el arroyo y se la deriva en un alto porcentaje hacia el canal de Luden. Esto genera que no se tiene considerado un exceso de agua que continúe su curso natural, por lo tanto, que cumpla las funciones ecológicas y ambientales necesarias aguas abajo de la captación.

Ubicación de los aforos realizados (*Tabla 7.5 y Figura 7.19*) y resultados obtenidos:

Punto	Coordenadas	Descripción	Caudal (l/s)*
1	41°46'12.39"S, 71°34'58.69"O	Glaciares y laguna Pangolín	149
2	41°46'13.00"S, 71°35'34.04"O	Glaciares	21
3	41°46'4.29"S, 71°35'39.61"O	Laguna Pangolín	131
4	41°45'44.04"S, 71°33'12.62"O	Previo a toma de agua	285
Canal de Luden	41°45'44.41"S, 71°33'9.75"O	Comienzo de canal de Luden	280

*La diferencia en la conservación de la masa de agua puede deberse a errores propios de los aforos.

Tabla 7.8: aforos de afluentes del arroyo Pedregoso en el área de interés.



Figura 7.19: aforo en punto 1 y punto 2 respectivamente (fuente propia, 2023).

Durante el relevamiento se pudo evidenciar que los cursos de agua no siguen con total fidelidad las redes de drenaje determinadas previamente mediante Modelos Digitales de Terreno en gabinete en zonas donde se reduce la pendiente del terreno. También se observaron cauces de arroyos secos superficialmente (Figura 7.20).



Figura 7.20: imágenes de los cauces secos observados en el relevamiento (fuente propia, 2023).

Día 2

A continuación se muestra en la *Tabla 7.6* la ubicación de los aforos realizados (*Figura 7.21*) y los resultados obtenidos:

Punto	Coordenadas	Descripción	Caudal (l/s)
5	41°46'8.79"S, 71°36'59.94"O	Glaciar Norte	3
6	41°46'26.99"S, 71°37'11.05"O	Glaciar Sur	0.83

Tabla 7.9: resultados de aforos realizados en las descargas de los glaciares del cerro Perito Moreno.

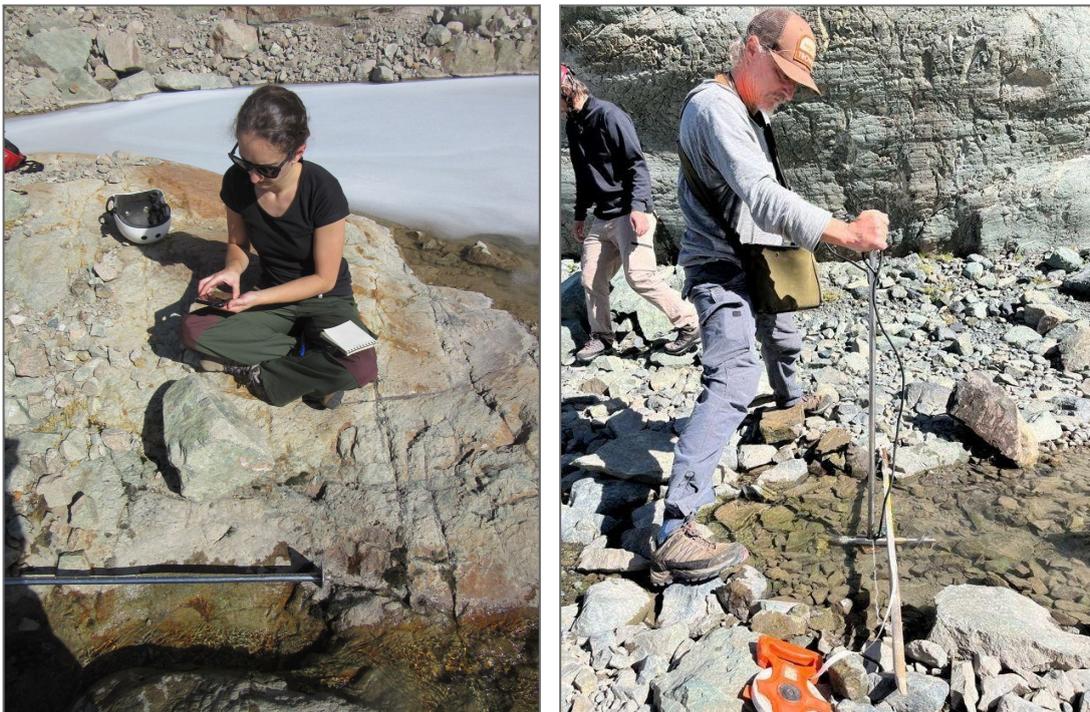


Figura 7.21: imágenes de los aforos de los glaciares Norte y Sur respectivamente (fuente propia, 2023).

Los datos obtenidos de los aforos de los afluentes del arroyo Pedregoso, excepto los obtenidos de la descarga de los glaciares, no fueron utilizados en la continuación del desarrollo del presente trabajo. Pocos días previos a las salidas de campo ocurrieron precipitaciones níveas en la región, tanto en la zona alta de las montañas como en los valles, lo cual generó que los resultados obtenidos no fueran representativos de los caudales de descarga de los glaciares presentes durante un día de fin de estiaje y, por lo tanto, su contribución al caudal del arroyo Pedregoso.

Los resultados obtenidos de la observación del ambiente periglacial de los glaciares Sur y Norte fueron expuestos en la [sección 6.2](#).

7.3 Determinación del Caudal Ecológico

El caudal ecológico es una herramienta de gestión de los recursos hídricos que involucra diferentes enfoques científicos, la cual se refiere al régimen de flujo de agua y su calidad, mínimo necesario para sostener los ecosistemas acuáticos de agua dulce y estuarios. Esto significa que debe mantener el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que ese cauce contiene en condiciones naturales. En este caso se considerará al caudal ecológico como el caudal mínimo que debería seguir su curso aguas abajo, luego de la toma de agua para riego del arroyo Pedregoso (García de Jalón & González del Tánago, 1995).

A continuación se presenta la metodología empleada para el cálculo del caudal ecológico del arroyo Pedregoso para los meses de febrero y marzo y se muestran los resultados obtenidos.

7.3.1 Metodología

Para la determinación del caudal ecológico (Q_e) de los meses de interés (febrero y marzo), en el presente trabajo se realizó la Curva de Duración de Caudales (CDC), la cual determina la frecuencia acumulada de la ocurrencia de caudales como una función del porcentaje de tiempo que un valor de es excedido o igualado durante el periodo de tiempo analizado. La misma se construye mediante la clasificación de los datos y luego, para cada valor se calcula la frecuencia de superación. La determinación de la CDC se realizó mediante un software que provee Hydro Office, herramienta FDC, utilizando la serie de caudales históricos de la subcuenca de estudio. Para ello se conformó una serie histórica de caudales medios diarios del arroyo Pedregoso a partir de datos de paso horario de 1998 a 2022 (Tallaksen & Van Lanen, 2004).

Una vez obtenida la CDC se utilizaron tres métodos hidrológicos de paso mensual para obtener el caudal ecológico, los cuales fueron seleccionados de entre numerosos métodos como desarrollo del trabajo “Evaluación de Caudales Ambientales en el Río Ñirihuau, Asociados al Proyecto de Captación y Potabilización de Agua Para San Carlos de Bariloche” realizado por la Ing. Ambiental Luz Romagnoli (2022). Para determinar los métodos adecuados dicho trabajo analiza cuatro características del régimen natural del curso de estudio a escala mensual.

- Caudales mínimos absolutos: se consideraron los métodos que no presentaron caudales ecológicos inferiores a los mínimos absolutos registrados en el curso de agua.
- Magnitud: se compararon los caudales ecológicos mensuales calculados con los percentiles de caudal del régimen natural. Los métodos con resultados cercanos a percentiles extremos fueron descartados.
- Estacionalidad: esta variable refleja el vínculo entre las condiciones térmicas y de insolación que determinan disponibilidad de agua para la biota acuática. Se evaluó comparando la estacionalidad (diferencia intermensual) del régimen natural con la de los caudales ecológicos.
- Variabilidad intranual: está vinculada a procesos de emergencia, reproductivos, supervivencia de especies, entre otros. Para su evaluación se utilizó la serie de caudal medio mensual para cada año del régimen natural, se calculó el coeficiente de variabilidad y este se comparó con el coeficiente de variabilidad de los caudales ecológicos mensuales (Romagnoli, 2022).

Métodos hidrológicos de paso mensual utilizados para la determinación del caudal ecológico:

- 70%Q50 o 70% de la mediana mensual: fue desarrollado para la región de Nueva Inglaterra, Estados Unidos, con el supuesto de que este caudal es suficiente para proteger el hábitat acuático durante diferentes períodos durante el año. Los meses que climáticamente experimentan caudales más bajos deberían tener valores de caudal ecológico más bajos y viceversa.
- Q90: utiliza datos de duración del caudal diario para cada mes del año durante el período de registro. Las recomendaciones de caudal se expresan en términos del caudal mínimo mensual. El caudal recomendado para cada mes es el que iguala o supera el 90% del tiempo, Q90. Este método de flujo ambiental asume que Q90 proporcionará un nivel adecuado de protección del hábitat de los peces dentro de algún régimen de flujo.
- Q95: es considerado por la autora, siguiendo la misma lógica metodológica que el método anterior (Romagnoli, 2022).

Posteriormente se adoptó el criterio de realizar el promedio de los resultados obtenidos con los tres métodos. Los valores obtenidos son constantes para cada mes considerado.

7.3.2 Resultados

En la *Figura 7.22* se muestra el resultado de la obtención de la CDC mediante el uso de Hydro Office, herramienta FDC, utilizando la serie de caudales históricos. Para ello se calcularon los caudales medios diarios desde 1998 a 2022 a partir de la serie de caudales de paso horario.

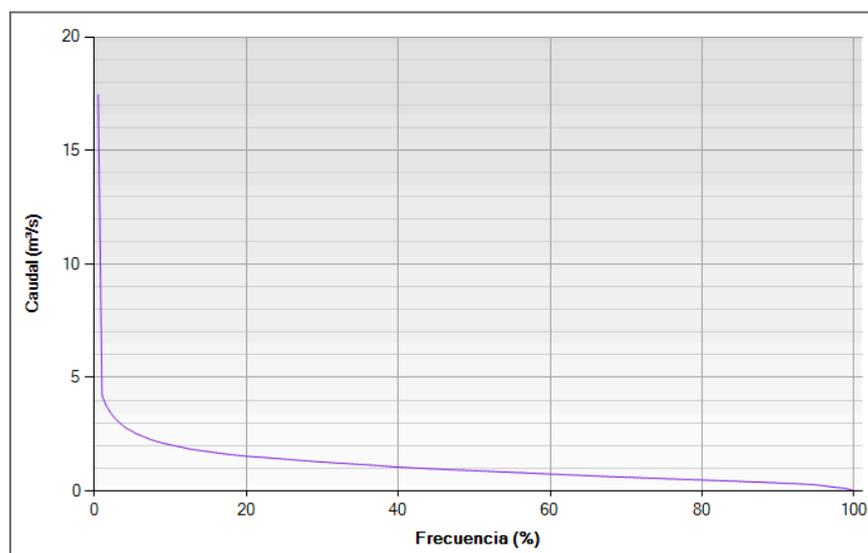


Figura 7.22: Curva de Duración de Caudales histórica para el arroyo Pedregoso en la toma de agua (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022).

Una vez obtenida la CDC histórica, mediante la misma metodología se realizó la CDC mensual (*Figura 7.23*) con el fin de obtener los valores de caudal para cada frecuencia y luego determinar el caudal ecológico para los meses de febrero y marzo (*Tabla 7.7*).

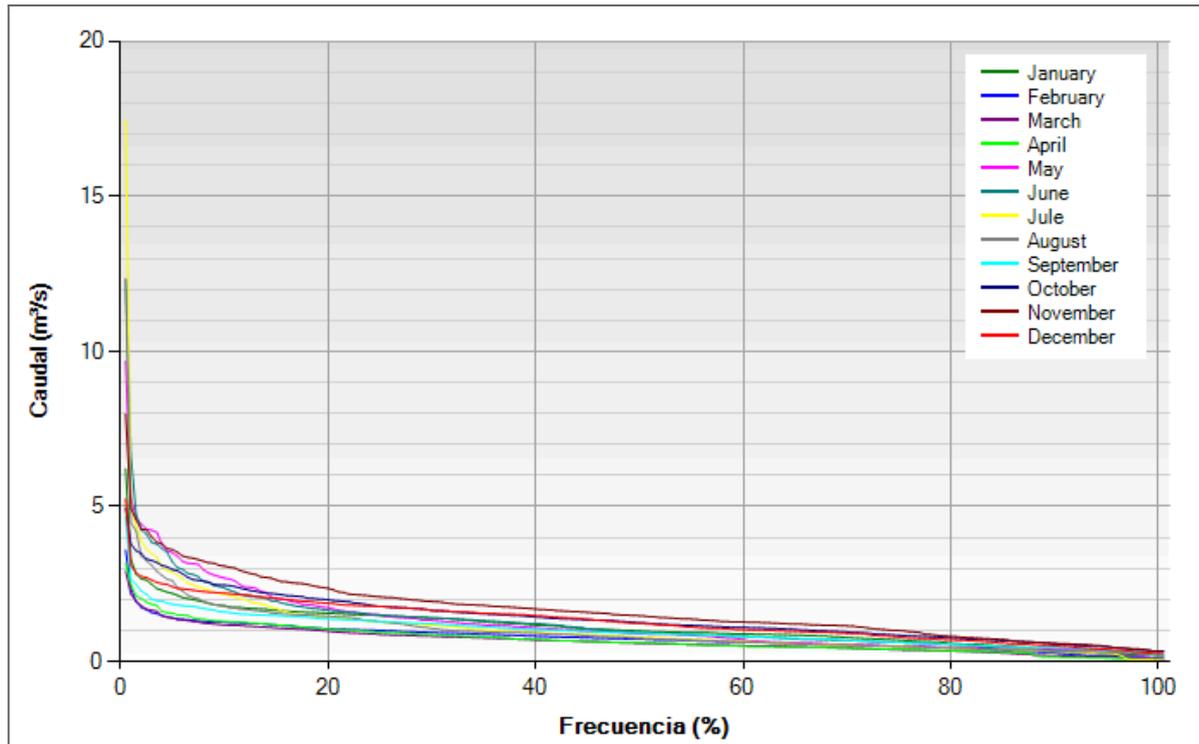


Figura 7.23: Curva de Duración de Caudales mensual para el arroyo Pedregoso en la toma de agua (Producción propia, fuente: series DPA 1998-2022).

La herramienta FDC del software Hydro Office, al calcular la curva CDC mensual para el arroyo pedregoso también brinda los percentiles mensuales, los cuales fueron utilizados para los distintos procedimientos de cálculo del caudal ecológico. A partir de los resultados obtenidos mediante los tres métodos seleccionados para la determinación del caudal ecológico, se realizó su promedio y se obtuvo la siguiente tabla de valores mensuales.

	Caudal Ecológico Mensual (m ³ /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70%Q50	0,683	0,504	0,412	0,423	0,622	0,652	0,544	0,521	0,639	0,870	1,026	0,852
Q90	0,369	0,256	0,186	0,139	0,408	0,314	0,320	0,344	0,440	0,560	0,578	0,498
Q95	0,258	0,184	0,142	0,101	0,330	0,237	0,257	0,304	0,357	0,458	0,460	0,377
Media	0,437	0,315	0,246	0,221	0,453	0,401	0,374	0,389	0,479	0,629	0,688	0,576

Tabla 7.10: caudal ecológico mensual para el arroyo Pedregoso en la toma de agua, según distintos métodos seleccionados.

7.4 Aportes de los Glaciares del Cerro Perito Moreno

En la siguiente sección se describe el procedimiento llevado a cabo para determinar el aporte hídrico de los glaciares del cerro Perito Moreno al arroyo Pedregoso, por lo tanto al sistema de distribución de agua de Mallín Ahogado. Se detallan las metodologías utilizadas y se muestran a continuación los resultados obtenidos.

7.4.1 Metodología

En primera instancia se definió el siguiente sistema hidrológico de trabajo, esquematizado en la *Figura 7.24*, el cual corresponde a la región de la cuenca del arroyo Pedregoso que aporta agua superficial hacia el sistema de riego de Mallín Ahogado mediante el canal de riego Luden (*Figura 7.15*).

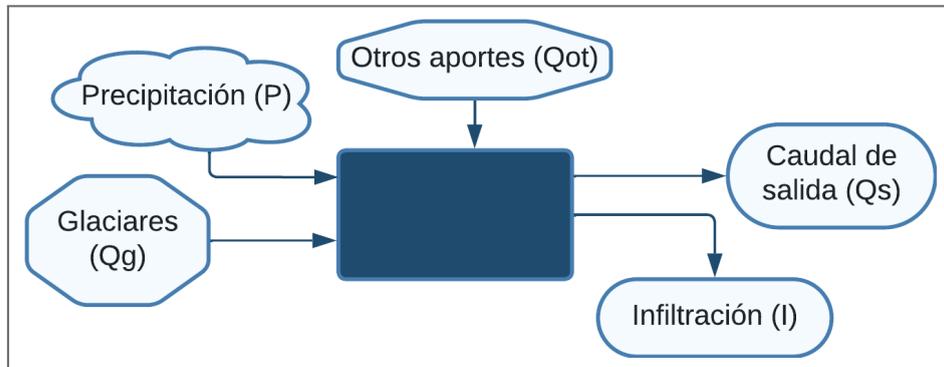


Figura 7.24: esquema del sistema hidrológico en estudio (Producción propia).

Considerando la conservación de la masa, la siguiente ecuación describe el balance hídrico superficial del sistema. En este subsistema la precipitación (P), el aporte del deshielo glaciar (Qg) y otros (Qot) como la contribución de otros afluentes y agua subsuperficial, se consideran como entradas. Como pérdidas, es decir, flujo de agua saliente del sistema; se contempla el escurrimiento superficial (Qp) sumado a la infiltración (I).

$$P + Qg + Qot = Qp + I \quad (3)$$

$$P + Qg + Qot - I = Qp \quad (4)$$

La proporción de la precipitación que genera escorrentía en una cuenca se denomina precipitación efectiva y puede ser calculada mediante métodos empíricos. Debido a que no se cuenta con información sistemática de aforos de la subcuenca del arroyo Pedregoso y a que los datos tomados del relevamiento de campo no pueden ser utilizados debido a que las condiciones climáticas circundantes hacen que los valores obtenidos no sean representativos; no es posible estimar mediante el balance el flujo entregado por los glaciares al arroyo Pedregoso.

Como consecuencia se decidió determinar una serie de caudales medios diarios de descarga de ambos glaciares en conjunto mediante la correlación de datos disponibles de caudal horario de los mismos con la temperatura horaria ambiental. Estos valores fueron obtenidos de aforos realizados al pie de cada glaciar en campañas de monitoreo anual a fines de los periodos de estiaje. Mediante este procedimiento se determinó una relación lineal que permitió estimar una serie diaria de los caudales de los glaciares para los periodos de estiaje analizados (2016-2022).

Teniendo en cuenta el aporte de agua de los glaciares anteriormente estimados y considerando la necesidad de conservar el caudal ecológico en el área de estudio, se retoma la ecuación (4) anteriormente descrita. El flujo de agua saliente del sistema del arroyo Pedregoso luego de la toma de agua (Q_p) se compone del caudal ecológico (Q_e), el flujo extraído para riego (Q_r) y un excedente (Q_{ex}).

$$Q_p = Q_e + Q_r + Q_{ex} \quad (5)$$

Considerando que:

$$P_e + Q_g + Q_{ot} = Q_p \quad (6)$$

Obtenemos:

$$P_e + Q_g + Q_{ot} = Q_e + Q_r + Q_{ex} \quad (7)$$

Con el objetivo de estimar el impacto y aporte de los glaciares en la extracción de agua para riego desde el arroyo Pedregoso hacia el canal de Luden se realizó un análisis del caudal disponible para uso en el periodo de febrero y marzo, 2016 a 2022. Para ello se consideró la necesidad de conservar el caudal ecológico determinado (Q_e), se extrajo el aporte perteneciente a los glaciares (Q_g) con el fin de evaluar el escenario futuro en el que los glaciares del cerro Perito Moreno no aporten agua debido a su ausencia y se tuvo en cuenta la mediana del caudal de demanda (Q_r) desviado hacia el canal principal del sistema de riego de Mallín Ahogado (canal de Luden) durante febrero y marzo.

Retomando la ecuación (5) anteriormente descrita, se tomará en cuenta al caudal extraído para riego y el caudal de exceso juntos como caudal disponible para uso (Q_d):

$$Q_e + Q_d = Q_p \quad (8)$$

Considerando la conservación del caudal ecológico, previamente determinado, aguas abajo de la toma de agua. Se procede a restar el mismo de ambos términos de la ecuación (8):

$$Q_d = Q_p - Q_e \quad (9)$$

Posteriormente se considera como una alternativa posible, un escenario futuro teniendo en cuenta la desaparición de los glaciares del cerro Perito Moreno (Q_{dsg}) y se procede a restar el caudal de descarga de los mismos de ambos términos de la ecuación (9):

$$Q_{dsg} = Q_d - Q_g \quad (10)$$

$$Q_{dsg} = Q_p - Q_e - Q_g \quad (11)$$

Q_{dsg} : caudal disponible al considerar la desaparición de los glaciares como fuente de agua.

Q_d : caudal disponible al conservar el caudal ecológico.

Q_g : caudal correspondiente al aporte de los glaciares del cerro Perito Moreno.

Q_p : caudal del arroyo Pedregoso anterior a la derivación de agua para riego.

Q_e : caudal ecológico calculado.

A partir de estas ecuaciones se evaluó la capacidad de la disponibilidad de recurso hídrico en el arroyo Pedregoso para cubrir la demanda de riego en dos escenarios, uno actual que cuenta con el aporte de agua proveniente del deshielo de los glaciares y otro que supone la desaparición de ambos glaciares.

7.4.2 Resultados

A continuación en la *Tabla 7.11* se exponen los valores de caudal de descarga de ambos glaciares del cerro Perito Moreno tomados mediante información de campañas de monitoreo realizadas por el DPA.

Fecha	Caudal (l/s)	Temperatura (°C)
18/02/2016	22.5	16.8
23/02/2017	120	27
11/03/2020	129	23
13/03/2021	31.5	19
15/03/2022	183	25
04/04/2023	4.5	19

Tabla 7.11: datos de caudal de descarga de los glaciares Norte y Sur del cerro Perito Moreno de campañas de monitoreo (fuente: DPA, 2023).

Para poder obtener una serie de caudales medios diarios de aporte los glaciares Sur y Norte en conjunto se realizó una correlación entre los datos de descarga horaria de los glaciares del cerro Perito Moreno (*Tabla 7.11*) con la temperatura ambiental horaria de la estación de El Bolsón. La relación lineal obtenida se muestra a continuación en la *Figura 7.25*, la cual permitió estimar los caudales medios diarios de los glaciares para los periodos de estiaje analizados. Presenta un coeficiente de determinación lineal del 74%.

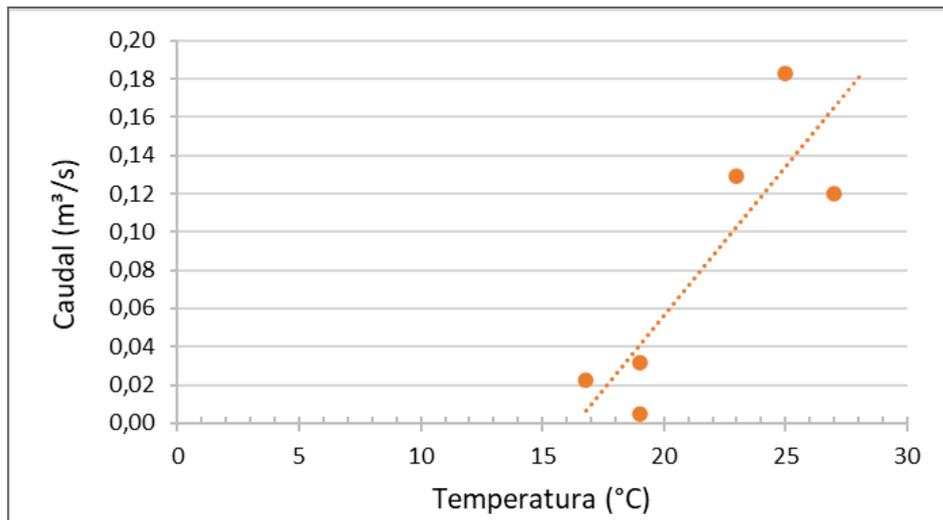


Figura 7.25: correlación lineal entre el caudal de descarga de los glaciares del cerro Perito Moreno y la temperatura de la estación de El Bolsón.

Este gráfico también nos da una estimación de la dependencia del caudal de descarga de los glaciares con respecto a la temperatura ambiente, lo cual influye sobre el caudal del arroyo Pedregoso. Luego de determinar la serie de caudales horarios para los estiajes de 2016 a 2022 (exceptuando 2018 por falta de datos de temperatura) se procedió a estimar los caudales diarios medios de la descarga de los glaciares.

A continuación se exponen los resultados obtenidos del análisis de la información hidrometeorológica diaria disponible para los meses de febrero y marzo de 2016-2022, junto al caudal ecológico obtenido para cada mes, la demanda de agua para riego y los flujos de descarga de los glaciares del cerro Perito Moreno (Figura 7.26).

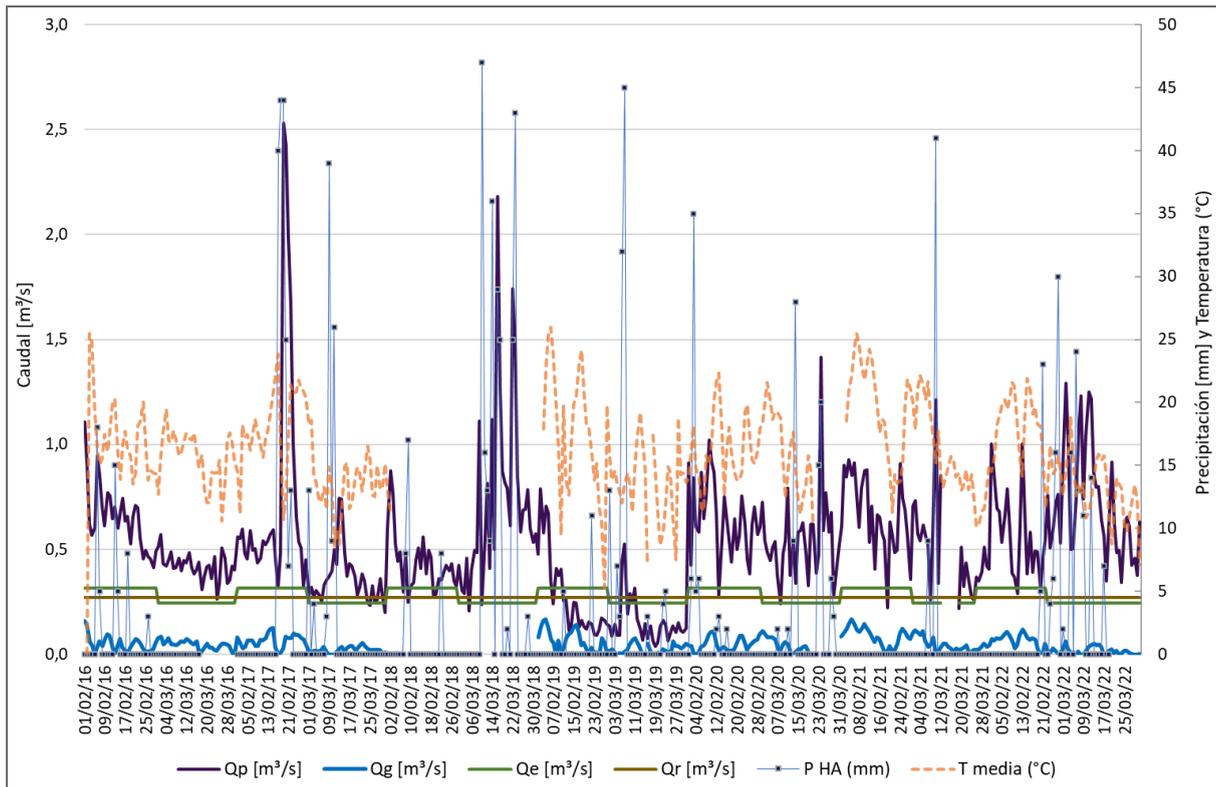


Figura 7.26: datos hidrometeorológicos obtenidos de marzo y febrero 2016-2022. Qd : caudal disponible al conservar el caudal ecológico, Qg : caudal correspondiente al aporte de los glaciares del cerro Perito Moreno, Qp : caudal del arroyo Pedregoso anterior a la derivación de agua, Qe : caudal ecológico, Qr : mediana del flujo estival derivado para riego, PA: precipitación diaria acumulada del refugio Hielo Azul.

Posteriormente se estimó el flujo disponible para riego (Qd) como resultado de la extracción del caudal ecológico (Qe) al caudal del arroyo Pedregoso (Qp) en el escenario actual, en el cual se cuenta con el aporte de agua resultado del deshielo de los glaciares. Luego se obtuvo el caudal disponible para uso considerando el escenario futuro en el cual han desaparecido ambos glaciares y no se cuenta con su aporte de agua ($Qdsg$). Este último se estimó mediante la extracción del caudal ecológico (Qe) y el caudal de los glaciares al caudal del arroyo Pedregoso (Qp). En la siguiente figura (Figura 7.27) se muestran los resultados obtenidos del análisis.

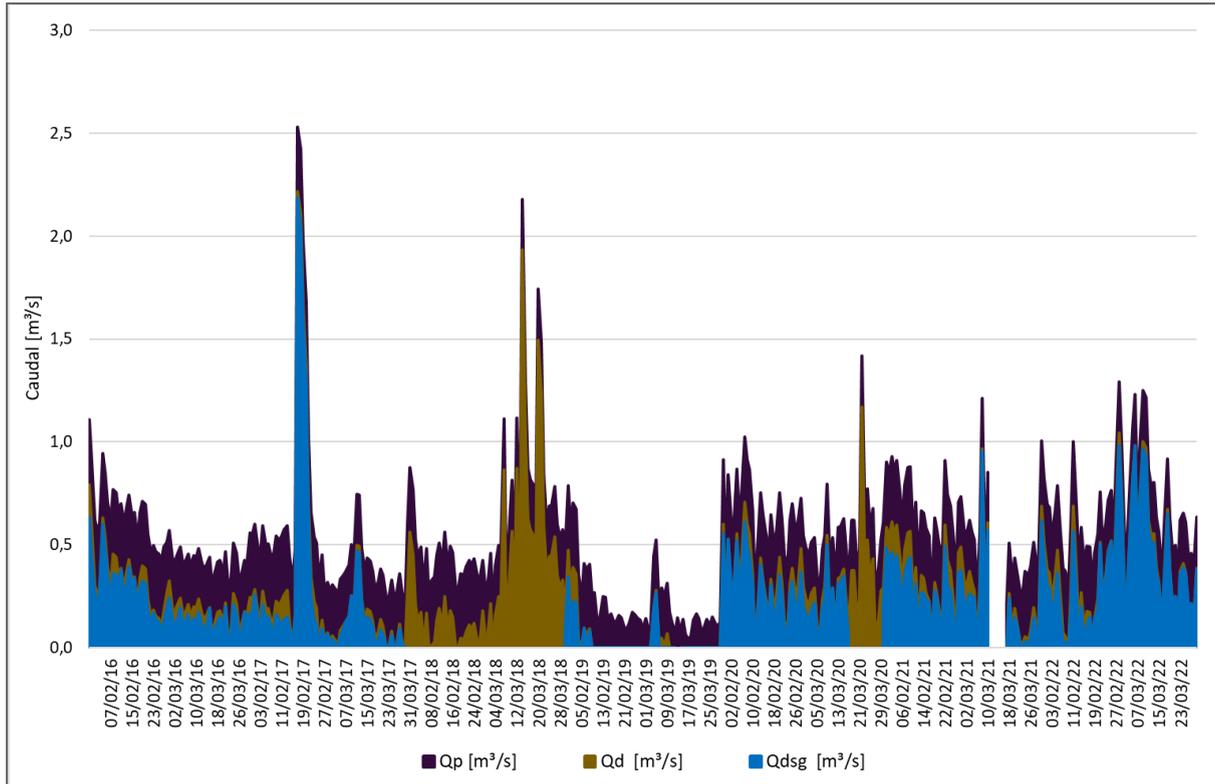


Figura 7.27: Qp: caudal del arroyo Pedregoso anterior a la derivación de agua. Qd: flujo disponible para riego en escenario con aporte glaciar. Qdsg: caudal disponible para riego en escenario sin aporte glaciar.

El caudal del arroyo Pedregoso para los días de febrero y marzo sin precipitaciones, varía entre $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1,984 \text{ m}^3/\text{s}$ y tiene un valor medio de $0,518 \text{ m}^3/\text{s}$ mientras que los valores obtenidos de los flujos diarios de descarga de los glaciares oscilan entre $0 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0,167 \text{ m}^3/\text{s}$, teniendo un valor medio de $0,047 \text{ m}^3/\text{s}$. Según los resultados obtenidos mediante la metodología adoptada, la magnitud del impacto de la posible desaparición de los glaciares como suministro de agua es significativa en períodos de caudales mínimos.

Por otra parte, el caudal ecológico para estos meses corresponde a $0,315 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0,246 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Su conservación, la cual es imprescindible, representa preservar aproximadamente la mitad del caudal medio del arroyo Pedregoso, lo cual implica un impacto relevante en el agua disponible para riego que se deriva hacia el canal de Luden en Mallín Ahogado.

A continuación se muestran los resultados de la evaluación del porcentaje de la demanda de agua para riego promedio que fue cubierta en cada año (*Tabla 7.12*). La misma se realizó promediando el porcentaje de demanda diaria cubierta para cada año, considerando al 100% como valor máximo de la demanda cubierta.

Año	Demanda cubierta	Demanda cubierta SG
2016	75,88%	65,25%
2017	54,94%	43,56%
2018	63,21%	-
2019	13,18%	9,65%
2020	83,03%	74,91%
2021	74,10%	65,93%
2022	84,46%	79,63%

Tabla 7.12: porcentaje de demanda de agua para riego cubierta en febrero y marzo de cada año, en escenario con aporte de glaciares y escenario sin el mismo (SG).

A continuación se muestra el porcentaje de días en que los caudales disponibles (Q_d y Q_{dsg}) no cubrieron la demanda (*Tabla 7.13*). Para determinarlos se contabilizaron los días en los que la demanda de agua fue cubierta en un valor menor al 100% y se calculó el porcentaje respecto del total de días del periodo estudiado (febrero y marzo de cada año).

Año	Días de demanda no cubierta	Días de demanda no cubierta SG
2016	65,00%	71,67%
2017	81,36%	88,14%
2018	61,02%	-
2019	93,10%	98,28%
2020	41,67%	56,25%
2021	47,17%	66,04%
2022	38,98%	47,46%

Tabla 7.13: porcentaje de días de febrero y marzo 2016-2022 que no es cubierta la demanda de agua para riego, en escenario con aporte de glaciares y escenario sin el mismo (SG).

En promedio, el porcentaje de días de febrero y marzo en los que la demanda de uso de agua no es cubierta en el escenario actual es de 61,19%, mientras que en el caso de no contar con los glaciares supone un 71,30%.

7.5 Conclusiones Parciales

Mediante el análisis de los datos hidrometeorológicos disponibles para el área de estudio se pudo caracterizar el año hidrológico en cuanto a las variables de precipitación, temperatura y caudal medio. Se pudo verificar lo especificado en la bibliografía que plantea que la región presenta veranos de bajas precipitaciones, altas temperaturas y reducidos caudales en comparación con otras épocas del año. También se logró analizar el comportamiento histórico y la tendencia del caudal medio mensual, máximo y mínimo anual y caudal medio anual; en los cuales se observa una línea de tendencia ligeramente negativa excepto para los caudales mínimos anuales, la cual es positiva. Esto último podría deberse a la regulación hídrica ocasionada por el caudal de descarga de los glaciares. Debido al alto coeficiente de variación, mediante los datos disponibles no se pudo asegurar que exista algún ciclo en el comportamiento histórico del caudal. Por otra parte, se pudo realizar una comparación entre la magnitudes de las precipitaciones de estaciones meteorológicas ubicadas a 1360 msnm y 340 msnm, la cual dio como resultado una diferencia media de 1120 mm anuales de precipitación, teniendo mayores valores las ubicadas a mayor altitud. Esta comparación es importante a la hora de decidir qué datos utilizar para los análisis.

A través del trabajo de gabinete se pudo determinar el área de aporte de agua superficial al sitio de toma de agua del arroyo Pedregoso y de sus afluentes y se determinaron los sitios para realizar aforos durante el relevamiento de campo. Mediante trabajo en terreno se pudo recorrer el sitio de estudio, tanto el ambiente cercano a los glaciares como el próximo al arroyo Pedregoso y la toma de agua. Se pudieron realizar aforos en los afluentes del arroyo y en la descarga de los glaciares y se observó que los cursos de agua analizados mediante imágenes satelitales y MDE no representan fielmente el trayecto de los cursos de agua en la realidad. Debido a que los días anteriores al relevamiento de campo hubo precipitaciones nivas en el área de estudio, los datos de los caudales aforados en los afluentes del arroyo Pedregoso no fueron utilizados en el desarrollo del trabajo debido a que presentaron valores no representativos de un caudal a fin de estiaje.

Se estimó el caudal ecológico del arroyo Pedregoso para los meses de febrero y marzo mediante la obtención de la Curva de Duración de Caudales, adoptando el criterio de selección de los métodos de bibliografía. La obtención de este caudal es sumamente importante para el sitio de estudio ya que hoy en día no se conserva de forma deliberada, lo cual implicaría un cambio en el uso de agua actual. Finalmente se determinó una serie de caudales medios diarios de descarga de los glaciares del cerro Perito Moreno a través de una correlación con la temperatura media para el fin del estiaje de los años 2016 al 2022. Mediante los resultados obtenidos, junto al caudal ecológico, se obtuvo el flujo de agua disponible para uso en el canal de Luden en un escenario actual, en el que se cuenta con el aporte del deshielo de los glaciares y un escenario futuro posible, en el cual los glaciares han desaparecido.

Es importante destacar que la estimación de los aportes de los glaciares han sido calculados como dependientes únicamente de la temperatura pero se sabe que el deshielo también depende de otras variables meteorológicas como las precipitaciones nivas durante días anteriores y la intensidad de la radiación que llega al glaciar. También es significativo notar que para el cálculo se utilizó la temperatura de El Bolsón y no de las estaciones ubicadas a mayor altitud debido a que no se disponían datos de paso horario.

8. Medidas de adaptación y su costo económico.

La adaptación al déficit hídrico en la zona de estudio es fundamental para enfrentar la situación de desabastecimiento de agua que actualmente ocurre en los períodos de estiaje, la cual se estima que se verá agravada en el futuro escenario en el cual no se encuentren los glaciares del cerro Perito Moreno. A continuación se presentan una serie de posibles medidas a implementar, con el objetivo de contribuir a la mitigación de la escasez de agua en el área, considerando su costo económico. Se recomienda que todas las medidas propuestas se empleen en conjunto por la población y los tomadores de decisiones ya que el crecimiento poblacional, sumado a la urbanización en la zona plantean una demanda creciente del recurso hídrico. Además, las obras de gran envergadura suelen tardar mucho tiempo en concretarse y están sujetas a la disponibilidad de presupuesto estatal, al mismo tiempo que la disponibilidad de agua puede verse reducida en el futuro debido a la extinción de los glaciares y a cambios en el régimen climático.

8.1 Reservorios Descentralizados

Mediante el análisis de los resultados desarrollados en los capítulos anteriores se observa que acontecen dificultades para cumplir con la derivación de los caudales diarios necesarios para satisfacer la derivación de agua desde el canal de Luden hacia el sistema de riego, debido a la magnitud del régimen natural del arroyo Pedregoso en los meses de febrero y marzo. Es por ello que se plantea la implementación de reservorios de agua parcelarios como una medida necesaria. La construcción de los mismos permitiría a la población de Mallín Ahogado que depende del suministro del recurso por medio del canal de Luden y toma de agua del arroyo Pedregoso pueda disponer de un stock de agua aprovechable en el periodo de verano, permitiendo cumplir la demanda actual del recurso. A continuación se describen tres distintos tipos de reservorios capaces de adaptar su dimensionamiento a los requerimientos hídricos de cada poblador y a la disponibilidad del recurso hídrico, se desarrollan sus ventajas, desventajas y el costo económico (*Tabla 8.1*).

Reservorios Excavados

Consisten en zanjas sobre el terreno, las cuales se impermeabilizan con materiales plásticos (*Figura 8.1*). Se considera como la mejor opción de recubrimiento, debido a su vida útil, a la geomembrana de 500 micrones o más de espesor, unida mediante termofusión.

Las ventajas de este tipo de reservorio es que su construcción es sencilla y rápida ya que solo se precisa la excavación, perfilado e impermeabilización del pozo. Es una obra versátil debido a que el productor puede darle al reservorio la forma y tamaño más conveniente y además, requiere bajo mantenimiento. Como desventajas, su construcción debe realizarse en momentos de escaso viento y evitar periodos de lluvia, su emplazamiento se dificulta en áreas donde el nivel freático se encuentra próximo a la superficie y el sitio debe estar lo más alejado posible de árboles que puedan dañar la geomembrana con sus raíces y depositar sobre el reservorio ramas u hojas.

El fácil acceso a los animales puede implicar una ventaja o desventaja, dependiendo del objetivo que el productor desee. Se recomienda considerar en el diseño del reservorio las dimensiones comerciales del material que se usará para revestir, para darle un uso estratégico y evitar desperdicios (SAyDS & INTA, 2019).



Figura 8.1: ejemplos de reservorios excavados (SAyDS & INTA, 2019).

Tanque Australiano

Estos reservorios se basan en construcciones circulares de altura variable, hechos de paredes premoldeadas de hormigón o de chapa corrugada galvanizada (*Figura 8.2*), siendo esta última la de mayor vida útil y resistencia. Para su instalación el terreno debe estar correctamente nivelado e impermeabilizado.

Los tanques australianos poseen la ventaja de que pueden agrandarse o achicarse en caso de ser necesario, según el objetivo del productor. Su colocación es fácil y el mismo puede ir enterrado o sobre la superficie del terreno, además necesita bajo mantenimiento ya que son resistentes a la corrosión. En caso de instalarse sobre la superficie, este tipo de reservorio evita el ingreso de materiales por voladura del viento y animales no deseados como roedores. Como desventajas, se recomienda que el sitio donde irá colocado sea una platea de cemento o el recubrimiento del reservorio mediante geomembrana, lo cual encarece el costo del mismo pero alarga la vida útil del reservorio (Lonera LJ, 2022).



Figura 8.2: ejemplo de una tanque australiano sobre platea de cemento y funda (Lonera LJ, 2022).

Tanque Elevado

Un tanque consiste en un recipiente resistente, instalado en altura. Estos reservorios se adquieren ya listos para su uso y pueden estar hechos de distintos materiales, como acero, aluminio o polietileno. En este caso se considerarán los de polietileno (*Figura 8.3*).

Estos tanques de almacenamiento poseen diversas ventajas, entre ellas encontramos que necesitan bajo mantenimiento debido a que son resistentes a la corrosión, se puede aprovechar la gravedad posteriormente para la distribución de agua y son de fácil transporte e instalación. Además son capaces de soportar temperaturas extremas sin romperse ni agrietarse y al almacenar el agua de forma aislada del ambiente se asegura su calidad. Como principales desventajas encontramos su alto costo económico; la estética visual y que se debe construir una estructura alta donde instalarlo en caso de no poseer una. Esto aumenta aún más la inversión necesaria (Lonera LJ, 2022) (Rotoplas, 2023).



Figura 8.3: ejemplos de tanques de polietileno (Infinity Rotomolding, 2023) (Rotoplas S. A., 2023).

Para llevar a cabo la evaluación del costo económico de los tres reservorios considerados se realizó una búsqueda de precios a través de internet, en la cual se tuvieron en cuenta los datos encontrados en páginas oficiales de empresas dedicadas a la venta y/o construcción de los mismos. A partir de los resultados de esta búsqueda se tuvo en cuenta tanto su precio unitario (una unidad de medida) en pesos al 31 de octubre de 2023, como en dólares, para que el valor estimado sea consistente a lo largo del tiempo (cotización histórica según el Banco de la Nación Argentina). Luego se consideró un reservorio estándar de 15 m³, utilizado hoy en día en la zona con fines multipropósito y, finalmente, se evaluó su costo económico en dólares (DPA, 2023).

Reservorios descentralizados						
Reservorio	Ítems	Unidad	Precio Unitario (\$ARS)	Precio Unitario (\$USD)	Precio 15 m ³ (\$USD)	Precio total 15 m ³ (\$USD)
Excavado	Excavación	m ³	\$ 769,79	\$ 4,31	\$ 64,69	\$ 100,24
	Geomembrana	m ²	\$ 866,24	\$ 2,37	\$ 35,55	
Tanque australiano	Tanque chapa galvanizada	m ³	\$ 34.927,88	\$ 95,56	\$ 1.433,43	\$ 1.579,83
	Platea	m ²	\$ 10.833,33	\$ 36,60	\$ 146,40	
Tanque elevado	Tanque de polietileno	m ³	\$ 103.333,30	\$ 282,72	\$ 4.240,76	\$ 63.611,47

Tabla 8.1: costo económico de reservorios descentralizados (AgroPlastic, 2023) (BNA, 2023) (DPA, 2022b) (GERPLAST, 2023) (Infinity Rotomolding, 2023) (Juncal Construcciones, 2023).

Se propone que esta instancia se implemente acompañada por proyectos de financiamiento nacionales e internacionales o créditos con bajas tasas de interés, con el fin de ayudar a los habitantes de forma económica a implementar las obras y nuevas tecnologías necesarias y poder afrontar su inversión.

8.2 Eficiencia en la Distribución de Agua y Sistemas de Riego Parcelario

La eficiencia de los sistemas de riego parcelario y de distribución se refiere a la capacidad para proporcionar la cantidad correcta de agua en el momento adecuado y en el lugar preciso, con el fin de maximizar así la productividad agrícola y satisfacer las necesidades de los habitantes. La mejora del sistema de distribución de agua de Mallín Ahogado y la adopción de métodos de riego que contemplen la minimización del derroche de agua consisten en herramientas fundamentales para evitar las pérdidas de un recurso estratégico por infiltración en zonas que no son objetivo de riego, de esta forma, aportar a la gestión sostenible de los recursos hídricos y poder contribuir al acceso equitativo al agua.

Optimización del Sistema de Distribución de Agua de Mallín Ahogado

Como se describió en la sección 5.2 del presente trabajo, actualmente la mayor parte del sistema de distribución de agua de Mallín Ahogado consiste en canales sobre terreno natural, lo cual, se estima que implica una pérdida de agua debido a la conducción del 40 %. Dada esta problemática, en la zona se encuentra en marcha un proyecto de obras de reconstrucción y mejora de cinco bocatomas e impermeabilización de dos tramos del sistema. A los fines prácticos del desarrollo de este trabajo dichas obras son consideradas como terminadas. (Gobierno de Río Negro, 2022) (ALUSA, 2022).

A continuación se describen las dos principales obras consideradas para optimizar la conducción del agua en el sistema de distribución. Las mismas fueron seleccionadas debido a que son mejoras permanentes que pueden emplearse en todo el sistema, son obras civiles de baja magnitud y además de proporcionar una optimización en la conducción del agua, contribuyen a conservar su calidad hasta que llega a los predios de los productores.

- Impermeabilización de los canales: consiste en el revestimiento de los canales emplazados sobre suelo natural (*Figura 8.4*). Para ello se realizan excavaciones sobre los canales, se realiza el relleno con material compactado y luego se disponen taludes de placas premoldeadas y soleras in situ de hormigón armado (*ALUSA, 2022*).



Figura 8.4: esquema de etapas para el revestimiento de un canal con hormigón (*DPA, 2022b*).

- Mejora de las tomas de agua de los cursos naturales y derivaciones entre canales: existen distintos tipos de captaciones de agua, en este caso se opta por tomas de fondo que permiten la captación en la zona inferior de escurrimiento, siguiendo modelos obras ya realizadas en la zona (*Figura 8.5*). El emplazamiento se compone de gaviones caja que conducen el agua hacia una cámara transversal de captación. Dicha cámara tiene una rejilla que habilita el ingreso de los caudales de captación y limita la entrada de sedimentos, los cuales se dirigen a una cámara de sedimentación. Las cámaras se construyen con hormigón, barras y mallas de acero (*ALUSA, 2022*).

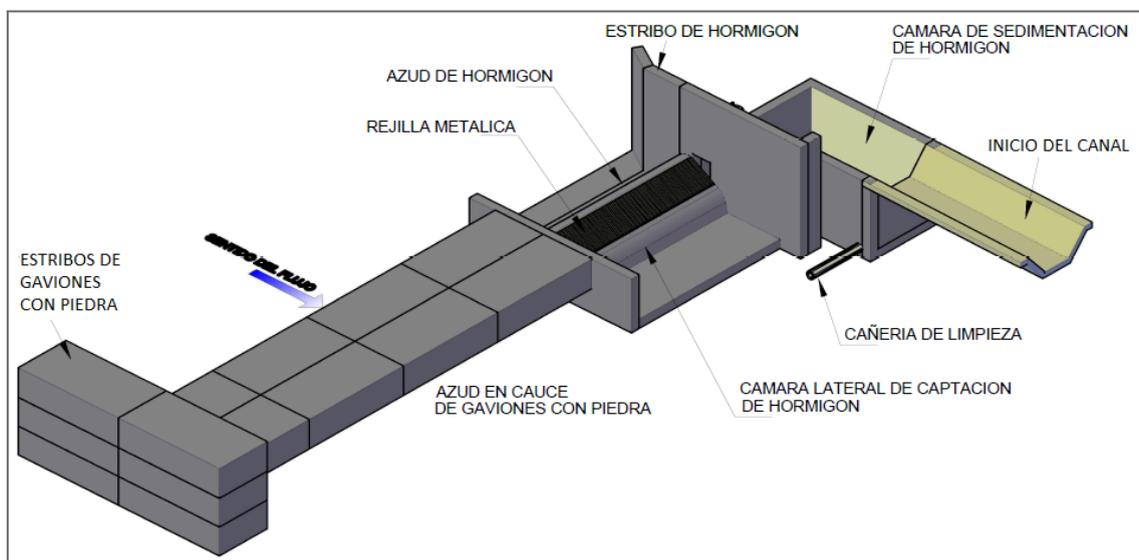


Figura 8.5: esquema de toma de agua de fondo (*Adaptación de DPA, 2022b*).

Ambos trabajos de obra se deben realizar en seco, por lo tanto, es necesario prever el control del agua mediante el corte del suministro a través de un sistema de bypass o mediante una conducción alternativa provisoria. Además se deben tener en cuenta trabajos complementarios

adicionales a la construcción de las mejoras, como relevamientos topográficos, señalización y medidas de seguridad, plan de manejo ambiental y social, entre otras.

Se analizó el estado del sistema de distribución de agua del sistema de distribución de Mallín Ahogado (*Figura 8.6*) (Anexo 4) con el fin de estimar la magnitud de las obras que se necesitan llevar a cabo y posteriormente, su costo económico.

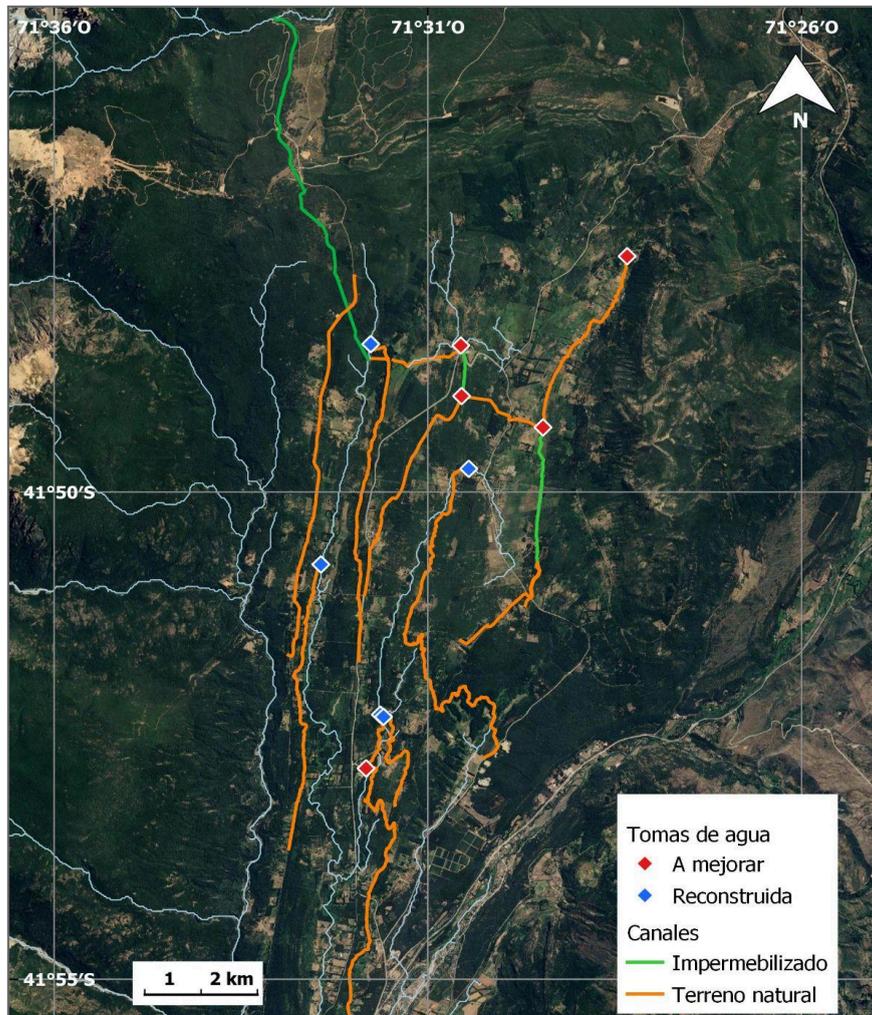


Figura 8.6: estado del sistema de distribución de agua de riego de Mallín Ahogado (Producción propia, fuente: ALUSA, 2022; DPA, 2022a y DPA, 2022b).

Luego se procedió a determinar la longitud de los canales que se encuentran sobre terreno natural mediante el Sistema de Información Geográfica libre, QGIS. El cual tiene incorporadas funciones para calcular propiedades basadas en la geometría de las entidades, tales como la longitud. Como resultado se obtuvo una cantidad de 51175 m de canales a revestir (*Tabla 8.2*) y 5 tomas de agua a ser reconstruidas.

Secciones de canales a revestir	Longitud (m)
Secundario III	3913
Secundario II	4395
Secundario I	7483
Rosinca	1151
Rosales	6557
Rizza	2798
Cerro Bandera	6155
Budinek	9529
Canales principales	3442
Aviles	5751
Total	51175

Tabla 8.2: Longitud de las secciones del sistema de distribución de Agua de Mallín Ahogado emplazadas sobre terreno natural (Producción propia, fuente: DPA, 2022a).

Mediante información obtenida del Certificado de Ejecución de las obras ya realizadas en el sitio (Tabla 8.3), correspondiente al revestimiento de 3900 m de canales y construcción de 5 tomas de agua, se calculó el costo de inversión necesaria para completar las mejoras de todo el sistema. Los valores mostrados a continuación corresponden a pesos argentinos al 15 de diciembre de 2022.

Ítems	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$ARS)	Precio Unitario (\$USD)	Precio Total (\$ARS)	Precio Total (\$USD)
Revestimiento de canales						
Excavacion solera, taludes y banquetas.	m ³	1960	\$ 769,79	\$ 4,31	\$ 1.508.788,20	\$ 8.452,59
Relleno compactado en solera con material seleccionado.	m ³	483	\$ 2.534,44	\$ 14,20	\$ 1.224.135,39	\$ 6.857,90
Relleno compactado taludes y baquina.	m ³	1730	\$ 2.451,40	\$ 13,73	\$ 4.240.921,14	\$ 23.758,66
Provision y colocacion de placas premoldeadas de hormigon con fibras de polipropileno en taludes.	ml	3430	\$ 3.545,61	\$ 19,86	\$ 12.161.458,08	\$ 68.131,42
Hormigon con fibras de polipropileno para solera del canal.	ml	3430	\$ 3.188,70	\$ 17,86	\$ 10.937.244,09	\$ 61.273,08
Colocacion de juntas de dilatacion con material bituminoso.	ml	1743	\$ 589,90	\$ 3,30	\$ 1.028.194,31	\$ 5.760,19
Total					\$ 31.100.741,21	\$ 174.233,84
Tomas de agua						
Demolicion de obras existentes.	Un.	5	\$ 19.894,51	\$ 111,45	\$ 99.472,53	\$ 557,27
Excavacion y relleno.	m ³	75	\$ 3.123,86	\$ 17,50	\$ 234.289,28	\$ 1.312,54
Provision, armado, llenado y colocacion de gaviones.	m ³	75	\$ 18.133,19	\$ 101,59	\$ 1.359.989,48	\$ 7.618,99
Provision y colocacion de reja metalica.	Un.	5	\$ 88.165,83	\$ 493,93	\$ 440.829,14	\$ 2.469,63
Provision y colocacion de compuertas.	Un.	5	\$ 201.414,56	\$ 1.128,37	\$ 1.007.072,78	\$ 5.641,86
Total					\$ 3.141.653,21	\$ 17.600,30

Tabla 8.3: costos correspondientes al revestimiento de 3900 m de canales y construcción de 5 tomas de agua por parte de ALUSA S.A. el 15 de diciembre de 2022 (Adaptación de DPA, 2022b).

A fin de poder estimar los costos actualizados de la obra completa de todo el sistema, se calculó el valor equivalente en dólares y pesos argentinos por metro lineal de revestimiento (*Tabla 8.4*) mediante la cotización oficial histórica del Banco de la Nación Argentina.

Fecha	Precio Total (\$USD)	Precio Total (\$ARS)	Precio metro lineal (\$USD)	Precio metro lineal (\$ARS)
15/12/2022	\$ 174.233,84	\$ 31.100.741,21	\$ 44,68	\$ 7.974,55
3/11/2023	\$ 174.233,84	\$ 63.682.470,10	\$ 44,68	\$ 16.328,84

Tabla 8.4: costo por metro lineal de obra de revestimiento de canales actualizado.

Finalmente se calculó el costo total de la obra de impermeabilización al multiplicar el valor del metro lineal por los 51175 m de canales a revestir. Para estimar el costo económico de la reconstrucción de 5 tomas de agua se actualizó el valor de la obra de ALUSA ya que corresponde a la misma cantidad de tomas (*Tabla 8.5*).

Ítems	Precio Total (\$USD)	Precio Total (\$ARS)
Tomas de agua	\$ 17.600,30	\$ 6.432.908,95
Revestimiento de canales	\$ 2.286.260,76	\$ 835.628.309,54

Tabla 8.5: costo económico de obra de revestimiento de 51175 m de canales y reconstrucción de 5 tomas de agua al 3 de noviembre de 2023.

Método de Riego en Parcela

En la región de Mallín Ahogado los productores y pobladores reciben, cuando el caudal de los arroyos lo permite, de forma continua el agua en sus parcelas. En su gran mayoría utilizan métodos de riego tradicionales superficiales por manto y melgas, en menor proporción por surcos o abovedados y menos del 10% tiene sistemas de riego presurizado por goteo y/o micro aspersión. El tipo de riego de superficie utiliza el suelo como sistema de distribución, es por ello que su eficiencia suele ser escasa debido a que está condicionada por las particularidades del terreno, el manejo de los caudales que ingresan a la parcela, las condiciones estructurales y el mantenimiento del sistema de drenaje y la diversidad en las necesidades de los cultivos (Bongiovanni & Rolando, 2022) (FAO, 2014) (Ministerio de Economía et al., 2022).

Cambios en la tecnología y prácticas de riego pueden significar un impacto positivo en el uso eficiente del agua. No existe el mejor método de riego, sino que existe un método de riego más apropiado para cada situación. Considerando que el agua es un recurso finito con una demanda creciente, la necesidad de tomar medidas de adaptación al déficit hídrico en la zona y que el riego por goteo es hasta un 95% más eficiente en la utilización del agua al compararse con el riego por inundación, se desarrolla a continuación el riego presurizado como una alternativa que minimiza el derroche y optimiza el aprovechamiento del recurso hídrico. Se presentan sus ventajas, desventajas y costo económico (Bongiovanni & Rolando, 2022) (Van der Kooij et al., 2013).

Los métodos de riego por goteo y por aspersión son sistemas presurizados de alta frecuencia debido a que consisten en aplicar dosis reducidas de agua de manera localizada y con intervalos de tiempo cortos entre riegos, acorde a las necesidades del cultivo y el tipo de suelo. Este cambio tecnológico aplicado en zonas con pequeña concesión de agua y donde tradicionalmente se riega con métodos de gravedad, permite aumentar la superficie irrigada con igual cantidad de agua, lo cual, reduce el conflicto entre los regantes. Además, este método puede utilizarse tanto para riego en exterior como bajo cubierta, consisten en sistemas desmontables que permiten un fácil traslado y mantenimiento, si se cuenta con alta presión el caudal de riego puede ser regulable y evita la propagación de malezas al minimizar la humedad en amplias superficies del suelo.

Como desventaja principal, el caudal del sistema depende de la presión de agua, por lo tanto, es necesaria una mayor atención del regante. Debido al reducido diámetro de los emisores de agua, suelen ocurrir obstrucciones que en ocasiones son difíciles de localizar, las cuales pueden evitarse con filtrado previo.

Por último, se destaca que la transformación a esta metodología de riego debe ir asociada a la construcción de reservorios de agua (*Figura 8.7*). No se recomienda que su adopción a nivel local se haga de forma rápida. Su implementación debe llevarse a cabo de manera paulatina, con el debido asesoramiento y acompañamiento a los productores durante la transición desde los métodos tradicionales (Bongiovanni & Rolando, 2022) (Campos et al., 2013).



Figura 8.7: toma de agua desde acequias o reservorios de sistemas de riego presurizados (Bongiovanni & Rolando, 2022).

Tomando como modelo una implementación de riego presurizado se determinaron los materiales necesarios para el armado del sistema de riego con el fin de evaluar su costo económico (Tabla 8.6) (Bongiovanni & Rolando, 2022).

Los materiales consisten en una cañería para conducción del agua desde el reservorio o canal hacia el sitio a regar constituida de una manguera de polietileno alta densidad (PEAD) y una cinta de riego de polietileno de baja densidad (PEBD) de 150 micrones de espesor con goteros cada 10 cm y 1 l/h de caudal máximo a presión nominal. Este último aspecto y la distancia lateral entre las cintas de riego varía según las necesidades y características del cultivo. Por ese motivo se calcula el costo por metro lineal en pesos argentinos y su equivalente en dólares mediante la cotización oficial histórica del Banco de la Nación Argentina.

Ítems	Cantidad	Precio (\$USD)	Precio (\$ARS)
Cinta PEBD	1 m	\$ 0,61	\$ 223,00
Codo	1	\$ 1,15	\$ 418,50
Conexiones 1/2"	1	\$ 7,39	\$ 2.700,00
Manguera PEAD	1 m	\$ 0,74	\$ 271,00

Tabla 8.6: costos para la implementación de riego presurizado (Adaptado de MercadoLibre, 2023a, b, c y d).

Se excluyó a la bomba necesaria para la captación del agua dentro de la evaluación del costo económico ya que su precio varía en gran medida según las necesidades y particularidades de cada parcela. Las mismas tienen un valor mínimo de \$ARS 70.000 (\$USD 200) según la búsqueda realizada en la tienda web MercadoLibre.

Actualmente en Mallín Ahogado el agua llega a las parcelas en forma continua, cuando así lo permite el régimen natural de caudal en las fuentes de agua. Como acción complementaria a las ya mencionadas en cuanto al modo de riego, se plantea la modalidad de turnos entre secciones del sistema de distribución de agua como una medida a implementar. La misma contribuye como adaptación al déficit hídrico en época estival, debido a que el caudal que se entrega es menor al necesario para cubrir la demanda de agua de toda la población, y una herramienta para la sustentabilidad del uso del agua.

La modalidad de rotación o turnos de riego, mediante la agrupación de los usuarios en un consorcio, implica que cada regante recibe a intervalos de tiempo determinados y previamente programados, un caudal que es capaz de manejar y que pueda cubrir sus necesidades. Este cambio no implicaría mayor inversión para los productores que la de instalar un mecanismo para cortar el paso del agua hacia adentro de las parcelas durante los períodos de tiempo en los que no le corresponde regar. La implementación de dicho sistema podría estar en manos de un consorcio de regantes organizados, los cuales velan por su correcto funcionamiento (Bongiovanni & Rolando, 2022).

8.3 Acceso al Agua Potable

Mallín Ahogado cuenta con más de 600 familias residentes de forma permanente y está atravesando la subdivisión de tierras, lo cual puede implicar un aumento futuro en la densidad poblacional. Su reciente crecimiento como atractivo turístico y el incremento en el área de emprendimientos inmobiliarios de gran envergadura lo establecen como un sitio estratégico para el crecimiento de la localidad de El Bolsón y el desarrollo económico regional.

En las secciones anteriores del presente capítulo se describieron medidas de adaptación a la escasez de agua centradas en la mejora de los sistemas de distribución de agua y métodos de riego. Considerando que el área de estudio actualmente está sufriendo una transición de urbanización, surge como cuestionamiento si es realmente necesaria la implementación de estas medidas enfocadas en la producción agrícola o convendría centrar esfuerzos en el desarrollo de un ordenamiento territorial y adecuación de infraestructura adecuados para modalidad urbana del uso del suelo. Esto último implicaría mayor demanda de agua para consumo humano (Concejo Deliberante de El Bolsón, 2022) (Municipalidad de El Bolsón, 2015).

Actualmente los habitantes Mallín Ahogado no poseen acceso al servicio de agua potable. La infraestructura presente abastece únicamente al centro de la localidad de El Bolsón, la cual corresponde a un área de 14 km² (Anexo 1) (*Figura 8.8*). Si bien el agua proporcionada por el sistema de canales solo es apta para riego y consumo de animales debido a cuestiones de salubridad, la carencia de una red de distribución de agua potable que llegue a los hogares ocasiona que los ciudadanos utilicen este recurso para satisfacer sus necesidades cotidianas de higiene y consumo, sin ningún tipo de tratamiento de desinfección previo al ingreso a su terreno (FAO, 2014) (Pecollo, 2021).

Si bien los vecinos del área han hecho reclamos pertinentes e incluso, un recurso de amparo que les concedió aval judicial para el pedido por el acceso a agua apta para consumo humano, la zona hoy en día abarca unos 80 km² y continúa sin tener una red de agua potable. Según el Principio Rector N°8 de la Política Hídrica Nacional, el acceso al agua potable es un derecho humano básico y el consumo de agua no potable constituye una de las causas principales de enfermedades que impactan negativamente en el desarrollo de las comunidades y la salud de la población. Por otro lado, el Principio N° 13 manifiesta que el Estado debe promocionar la equidad en el uso del agua, lo que implica asegurar el acceso a los servicios básicos de agua potable y saneamiento a toda la población urbana y rural. Es por ello que es de suma importancia y urgencia la ampliación de la red de agua potable de El Bolsón o la creación de nuevas redes con distintas fuentes de agua superficial o subterránea, de forma que se contemple la extensa área de Mallín Ahogado (COHIFE, 2003) (Diario Río Negro, 2015).

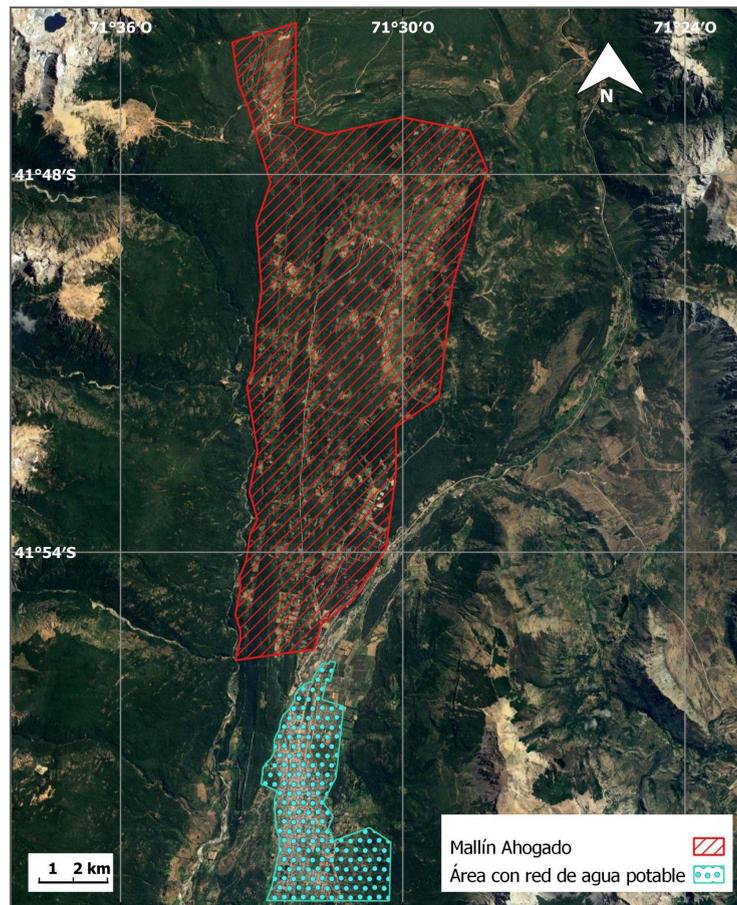


Figura 8.8: área con acceso a red de agua potable en El Bolsón (Producción propia, fuente: Secretaría General de Planificación, 2012).

8.4 Educación Ambiental y Asesoramiento Técnico

Para asegurar la implementación exitosa de las medidas propuestas es de suma importancia que los pobladores del área de estudio tomen conciencia acerca del valor y cuidado del agua como un recurso escaso y vulnerable tanto desde punto de vista productivo como ambiental. Si bien en la región existen numerosos lagos y arroyos como fuentes de agua de buena calidad, la misma se encuentra disponible en lugares lejanos o de difícil acceso y en momentos del año limitantes. La conducción del agua hacia las parcelas de los productores actualmente se encuentra limitada en verano, debido al comportamiento climático regional. Por esta razón es imperante que el recurso hídrico sea utilizado responsablemente y de forma sustentable, minimizando su derroche y aprovechándose de la forma más eficiente posible.

La educación ambiental es un campo de intervención político pedagógica que impulsa procesos educativos integrales orientados a la construcción de una racionalidad ambiental, en la cual distintos conocimientos, saberes, valores y prácticas ambientales confluyen y aportan a la formación ciudadana y al ejercicio del derecho a un ambiente sano, digno y diverso. Es un proceso que defiende el desarrollo sostenible (Figura 8.9) como proyecto social. Busca la articulación y equilibrio entre diversas dimensiones, como la social, la ecológica, la política y la económica (SAyDS, 2016).



Figura 8.9: diagrama del desarrollo sostenible (CEPEI, 2021).

Se propone la educación ambiental como herramienta de transformación de conductas y actitudes hacia el cambio social en su relación con el agua, a través de la cual, los ciudadanos puedan aumentar su conocimiento y entendimiento sobre la problemática y los desafíos locales en lo que respecta a la escasez de agua durante el verano. De esta forma lograr que el público tome conciencia del problema y sea capaz de obtener instrumentos para la evaluación, toma de decisiones informadas y puesta en marcha de acciones responsables al respecto, como así también, se involucre de forma activa en la resolución de la problemática. Dicha tarea debe ser una responsabilidad en conjunto entre quienes administran el agua e instituciones educativas formales y no formales relativas a la temática.

Por otra parte, también se recomienda que existan instancias de formación y acompañamiento a los productores y pobladores locales con el objetivo de que adquieran las habilidades y la confianza necesarias para la correcta y efectiva adaptación al cambio que implican las acciones sugeridas. Se propone que las capacitaciones sean relacionadas con la construcción de reservorios de agua y sobre los cambios en la metodología y modalidad de riego dentro de los terrenos.

Tanto la implementación de instancias de educación ambiental, como de capacitaciones a la población; implican la disposición de un equipo conformado por personal idóneo disponible para trabajo de extensión en territorio. Se recomienda que sean profesionales del área ambiental con experiencia pedagógica y de sector agronómico con experiencia en el trabajo con productores. Los extensionistas se consideran un elemento de suma importancia en la implementación de las medidas de adaptación al déficit hídrico local. Estos deben brindar apoyo a los pobladores mediante la transmisión de sus conocimientos y acompañamiento durante la transición, así como comprender la realidad de su entorno.

Para poder estimar el costo económico (*Tabla 8.8*) de llevar a cabo un programa de educación ambiental y asesoramiento técnico en campo; se consideró un público aproximado de 600 familias y el trabajo de 2 extensionistas como mínimo de cada área de conocimiento durante 1 año, en jornadas de 8 horas en días hábiles (245 días en 2023). Mediante la agrupación de las familias en grupos de 3 para cada taller, se obtiene como resultado 6 visitas de 3 horas a cada grupo durante un año, por parte de cada área profesional.

Fecha	Ítems	Cantidad (h)	Precio Unitario (\$ARS)	Precio (\$USD)	Precio (\$ARS)
3/4/2023	Extensionista	1960	\$ 4.000	\$ 36.212,47	\$ 7.840.000,00
3/11/2023	Extensionista	1960	\$ 6.753	\$ 36.212,47	\$ 13.235.658,20

Tabla 8.7: costo económico de la implementación de un programa de educación ambiental y capacitaciones técnicas correspondiente a un extensionista (Adaptado de SAPROCEA, 2023).

Los valores estimados corresponden al trabajo base de 1 extensionista del área ambiental o agrónoma y fueron extraídos de la Sociedad Argentina de Profesionales, Consultores y Expertos Ambientales al 3 de abril de 2023. Con el fin de actualizar el costo se expresa en dólares y pesos argentinos mediante la cotización oficial histórica del Banco de la Nación Argentina. Los honorarios estimados y la cantidad de personal necesario deberán evaluarse en cada caso en particular, según la complejidad de las tareas a realizar.

8.5 Fortalecimiento de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos

Como se pudo observar, las medidas de adaptación propuestas en las secciones anteriores del presente trabajo no son únicamente técnicas, sino que para llevarse a cabo con éxito e implementen un manejo adecuado del agua que garantice su uso sostenible y eficiente; deben tenerse en cuenta aspectos sociales, ecológicos, económicos, legales e institucionales con un enfoque holístico. Es por ello que resulta importante el fortalecimiento local de la GIRH en el área de estudio apoyada en la Política Hídrica Nacional (*Figura 8.10*). La GIRH se basa en que los múltiples usos e intereses en torno al recurso hídrico, son interdependientes e interdisciplinarios. Es por eso que todos deben ser tenidos en cuenta y considerados en conjunto.



Figura 8.10: esquema de Política Hídrica Nacional Argentina (Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica, 2023).

A continuación se destacan los aspectos locales a fortalecer para poder lograr una sólida coordinación intersectorial y un ejercicio integral en el aprovechamiento de los recursos hídricos:

- La consideración de los aspectos ecológicos con un enfoque integrador y global, enmarcada en políticas ambientales: actualmente Río Negro no posee legislación específica en cuanto a los caudales ambientales para mantener la biodiversidad y la salud de los ecosistemas, lo cual implica la necesidad de una actualización de la normativa vigente mediante el trabajo interdisciplinario de los conocimientos de áreas ambientales e hidrológicas.
- El ordenamiento territorial: hoy en día el mismo no considera el acceso al agua potable de una población en rápido crecimiento. Esto afecta de forma negativa al aprovechamiento del agua de riego por parte de los productores ya que se está utilizando el recurso para un uso que no corresponde, pone en riesgo la salud de los habitantes y presiona sobre su disponibilidad. Es necesario que el sector hídrico participe en la gestión territorial del área de estudio con el objetivo de intervenir en las decisiones sobre el uso del suelo, imponer medidas mitigatorias y restricciones cuando sea pertinente.
- Compromiso y ejecución por parte del Estado para garantizar la equidad en el uso del agua: el Estado es el encargado de la formulación de la política hídrica, la evaluación del recurso, la planificación, la administración, la asignación de derechos de uso. Como se mencionó anteriormente, también es responsable de asegurar el acceso a los servicios básicos de agua potable a toda la población urbana y rural, aspecto que actualmente es deficiente en Mallín Ahogado.

- Participación de actores involucrados: el manejo ético de las aguas y la creación de políticas públicas se debe lograr incorporando la equidad, la participación efectiva y activa de la comunidad local, la comunicación, la transparencia y la capacidad de respuesta a las necesidades. Estos aspectos fortalecen la gobernanza de los recursos hídricos locales y la cooperación entre distintos sectores de la sociedad, tanto de los involucrados como de actores externos y del ámbito privado como público.
- Organización comunitaria de usuarios: para lograr la descentralización operativa en el aprovechamiento del agua es necesario contar con la participación de los usuarios en la gestión hídrica. Con este objetivo, en Mallín Ahogado se podría fomentar la creación y fortalecimiento de un consorcio de regantes hoy inexistente, en los cuales delegar responsabilidades de operación, mantenimiento y administración de la infraestructura hídrica que utilizan mediante marcos regulatorios pertinentes.
- Acceso a la información: la información al alcance de la sociedad puede ayudar a evitar pérdidas económicas, conflictos sociales e impacto negativo en el ambiente. Corresponde a las autoridades hídricas provinciales y nacionales garantizar el acceso libre y gratuito de todos los ciudadanos a la información básica relacionada con las instancias de monitoreo, evaluación, manejo, aprovechamiento, protección y administración de los recursos hídricos. También resulta importante la divulgación de experiencias del sector para promover mejores prácticas en cuanto al uso y protección del recurso.
- Subsidios económicos: la obtención de las prestaciones para el acceso al agua potable, obras de almacenamiento hídrico y mejora de los sistemas de riego pueden representar elevados costos económicos, difíciles de afrontar para la población. La intervención del Estado mediante subsidios totales o parciales ayuda a posibilitar los proyectos hídricos de interés. Estos subsidios económicos pueden ser solventados mediante cooperación entre el sector provincial y el ámbito nacional o financiamientos internacionales.
- Adaptación al cambio climático: considerando las tendencias climáticas de la región de estudio es necesario que sean contempladas en la planificación hídrica local y desarrollar estrategias para hacer frente a posibles cambios en los patrones de lluvia y la disponibilidad de agua (COHIFE, 2003) (FAO, 2014).

Las acciones planteadas por la GIRH se enfocan en planes de gestión que no deben llevarse a cabo mediante un ejercicio lineal que se aplica una sola vez, sino que se implementan en forma cíclica y retroalimentada por la experiencia y resultados de su aplicación. Es por ello que la gestión de los recursos hídricos debe estar acompañada de monitoreo y evaluación sistemática en constante actualización.

8.6 Conclusiones Parciales

Mediante el relevamiento de información bibliográfica y análisis de resultados obtenidos anteriormente se realizó la propuesta de diversas medidas de adaptación al déficit hídrico a implementarse de forma conjunta e integrada, mediante la acción de diferentes actores y considerando inversiones públicas e intraparcularias de los privados, a fines de mejorar la eficiencia de todo el sistema. Se estimó su costo económico y se recomendó la implementación de reservorios descentralizados mediante tanques australianos, tanques elevados de polietileno y reservorios excavados, siendo estos últimos los más económicos. Se propuso mejorar la eficiencia del sistema de distribución de agua de Mallín Ahogado mediante su completa impermeabilización y mejora de las tomas de agua como complemento al cambio en el método de riego en parcela, para el cual se describe el riego presurizado. Se plantea la necesidad de que la población del sitio de estudio cuente con acceso al agua potable, hoy en día inexistente.

Por último se presenta la educación ambiental, el asesoramiento técnico a productores y el fortalecimiento de la GIRH como herramientas imprescindibles al momento de desarrollar y aplicar las medidas de adaptación. Estas mejoran la transición hacia la nuevas tecnologías por parte de la población, brindan espacios interdisciplinarios de vinculación entre los distintos sectores de la sociedad relacionados con el uso del agua, ayudan a los habitantes a tomar consciencia sobre el verdadero valor del agua y allanan el camino hacia un manejo sostenible e integral del recurso hídrico.

9. Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

Mediante el presente Trabajo Final Integrador de Ingeniería ambiental se logró utilizar la información disponible de hidrometeorología del área de estudio y monitoreo de los glaciares Norte y Sur del cerro Perito Moreno para evaluar y estimar la evolución de los mismos durante la última década y su importancia como fuente de agua dulce. Se pudo constatar que los glaciares se encuentran atravesando un proceso de retroceso; con el cual, año tras año se reducen progresivamente su áreas de cobertura, se retraen sus frentes y disminuye el espesor de su masa de hielo. Esto trae aparejado una transformación del ambiente periglacial mediante la formación de lagunas y el avance de la vegetación. El interés en el relevamiento de los cambios de los glaciares reside en la estimación del recurso hídrico disponible en el futuro para las poblaciones establecidas en la cuenca.

Mediante la determinación del caudal ecológico y una serie de caudales de descarga de los glaciares en estudio se llegó a la conclusión que en la actualidad, en promedio, el 61,19% de los días de febrero y marzo (2016-2022) no se cumple con la demanda de agua para uso en el sector del sistema de distribución de agua de Mallín Ahogado que se abastece mediante el Canal de Luden. Por otra parte, para el supuesto escenario en el que los glaciares han desaparecido este porcentaje aumentaría a 71,30%. Es importante destacar que esta situación no solo afecta a la producción agropecuaria sino que impacta directamente sobre una de las fuentes de agua que los habitantes utilizan para satisfacer sus necesidades básicas ya que la zona no cuenta con acceso a una red de agua potable.

Las medidas de adaptación al déficit hídrico propuestas resultan complementarias entre sí e imprescindibles. Se recomienda que a la hora de su implementación se tenga en cuenta la percepción social y su aceptación, para lo cual se presentan las herramientas de educación ambiental y asesoramiento enmarcado en la GIRH. Por otra parte resulta trascendental el apoyo económico a los pobladores para que las medidas propuestas se lleven a cabo de forma adecuada dentro de los predios privados. Esto no solo los beneficia de forma individual, sino que contribuye a una gestión sostenible y equitativa del recurso hídrico; el cual, siendo aprovechado de forma más eficiente, ayuda a que más personas puedan valerse del mismo.

Cabe resaltar que las tendencias climáticas estimadas por el IPCC consideran aumento de las temperaturas medias y reducción de las precipitaciones invernales en la Patagonia, lo que aumenta la vulnerabilidad de los glaciares como reservorios de agua dulce y pone en riesgo su perpetuidad a lo largo del tiempo. Por lo cual, resulta de suma importancia y obligación de los tomadores de decisiones; fomentar la investigación relacionada a los recursos hídricos, brindar financiamiento para la producción de información pública confiable e impulsar una adecuada implementación de la GIRH; con el fin de lograr la conservación de la calidad y el uso más eficiente posible del agua, un recurso vital, invaluable, de escasez en aumento y sumamente vulnerable.

Los glaciares, al igual que todos los componentes de la naturaleza, no constituyen elementos aislados, sino que consisten en sistemas complejos que interactúan con la hidrósfera, atmósfera, litósfera, los organismos vivos que los rodean y, sobre todo, con la sociedad.

9.2 Ejes de trabajo

En lo que respecta a aspectos de aplicación ambiental se proponen algunos ejes de desarrollo como opción para que sean abordados en el futuro a fin de complementar el trabajo realizado:

- Dimensionamiento de sistema de captación, potabilización y distribución de agua para la población de Mallín Ahogado.
- Aplicación de trazado isotópico en la subcuenca del arroyo Pedregoso con el fin de discriminar sus diferentes afluentes y aportes.
- Evaluar la influencia de fenómenos climáticos como el niño y la niña en el retroceso glaciar y descarga de agua.
- Evaluación de la implementación de GIRH en comunidades.
- Implementación de sistema o metodología para mejor uso del recurso hídrico en caso puntual de estudio.

10. Agradecimientos

A Dios por su amor y sostén.

A mis directores Martín y Federico, por su guía y acompañamiento, por su gran paciencia, su disposición y por motivarme durante todo el proceso de trabajo. Les doy las gracias por su calidez y por ser un ejemplo de dedicación y amor por su trabajo y por el cuidado del ambiente y las personas.

A los docentes de la carrera, por su entusiasmo, por motivarnos siempre y dar lo mejor de ellos para brindarnos conocimientos y experiencias de calidad que nos formen como personas de pensamiento crítico y futuros profesionales.

Al personal no docente de la universidad, en especial a Mari y Sandra de la biblioteca y a los/las bedeles, que nos acompañan en el día a día como estudiantes y siempre buscan la manera que tengamos todo lo necesario, por escucharnos y ayudarnos.

A mis directores, junto al personal del DPA; Hernán Soto, Marcos Budniewski, Nicolás Popoff y a Julia Nash por formar un equipo excepcional y ser una muy buena compañía en las salidas de campo realizadas para este trabajo.

A Migue por motivarme a avanzar día a día, por ser mi compañero de vida y mi especial soporte durante este proceso. Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional, darme ánimo y acompañarme durante el transcurso de la carrera.

A mis amigas y compañeras de la carrera, en especial a Mili Tártalo, Fio Laco Mazzone, Maca Díaz, Agus de la Fuente y Juli Sepúlveda por todo lo compartido y por su apoyo. Son para mí un ejemplo de amor, fuerza y perseverancia. El paso por la universidad ha sido mucho más significativo y divertido gracias a ustedes.

A mis compañeros y compañeras de la As. Civil Circuito Verde porque me brindaron el espacio para transmitir conocimientos y el amor por el cuidado del ambiente más allá del ámbito profesional. Gracias por su acompañamiento y por ser ese motor de cambio en la sociedad.

11. Bibliografía

Administración de Parques Nacionales. Sistema de Información de Biodiversidad. Argentina. Extraído el 5 de febrero de 2023 de: <https://sib.gob.ar/>

AgroPlastic. (27 de octubre de 2023). *Lista de Precios - Rollos*. Recuperado de: [AgroPlastic](#)

ALUSA S. A., (2022). Plan de Mejoramiento Ambiental y Social. Proyecto: Obra Menor. Mejoramiento de Obras de Riego. Sistema Mallín Ahogado - Micro Región Andina.

Aparicio Mijares, F. J. (2004). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa. México D. F., México.

Área Natural Protegida Río Azul - Lago Escondido (ANPRALE). (2023). Recuperado de: <https://anprale.com/>

Banco de la Nación Argentina (BNA). (2023). *Cotizaciones históricas de las principales monedas*. Recuperado de: <https://www.bna.com.ar/Personas>

Baraer M., Mark B. G., McKenzie J. M., Condom T., Bury J., Huh K., Portocarrero C., Gómez J., Rathay S., (2012). Glacier recession and water resources in Peru 's Cordillera Blanca. *Journal of Glaciology*, 58(207). Recuperado de: [Glacier recession and water resources in Peru 's Cordillera Blanca](#)

Bondel. (2008). Transformaciones territoriales y análisis geográfico en ámbitos patagónicos de montaña. La Comarca Andina del Paralelo 42. Extraído el 22 de mayo de: www.memoria.fahce.unlp.edu.ar

Bongiovanni M. & Rolando A., (2022). *Riegos de gravedad a riegos de presión(goteo)*. INTA Ediciones, Colección Divulgación.

Cabrera A. L., (1951). Territorios Fitogeográficos de la República Argentina. Volumen 4. Extraído el 25 de enero de 2023 de: botanicaargentina.org.ar

Campos N., Gauna A., Mazzeo H. & Rapallini J. A., (2013). *Sistema de riego por goteo*. Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata.

Carta Orgánica de la Municipalidad de El Bolsón. Convención Municipal de El Bolsón. El Bolsón, Río Negro. Argentina. 15 de agosto de 2006. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: [Carta Orgánica El Bolsón](#).

Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) - Área de Extensión y Divulgación. (2020). Reconocimiento Internacional de la Reserva de Biosfera Andino Norpatagónica. Recuperado de: www.ciefap.org.ar

- Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) y MAYDS. (2016). Actualización de la Clasificación de Tipos Forestales y Cobertura del Suelo de la Región Bosque Andino Patagónico. Cartografía para el Inventario Forestal Nacional de Bosques Nativos. Informe Final.*
- Centro de Pensamiento Estratégico Internacional (CEPEI). (24 de mayo de 2021). El desarrollo sostenible: pensar integralmente, hacer en común. Recuperado de: <https://cepei.org>*
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W., (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia.*
- Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA). (1992). El desarrollo en la perspectiva del Siglo XXI. Dublín, Irlanda.*
- Consejo Hídrico Federal. (2003). Principios Rectores de política hídrica de la República Argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: www.cohife.org*
- Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales. (2022). Tercer Informe Voluntario Nacional. Argentina 2022. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: www.argentina.gob.ar*
- Constitución de la Provincia de Río Negro. 1988. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 3 de junio de 1988. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: [Constitución Provincial](#)*
- Constitución Nacional. (1994). Artículos 14, 41, 144. Extraído el 10 de agosto del 2022 de: [infoleg](#)*
- Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. (2005). User Guide for first full release of TREND version. Recuperado de: <https://toolkit.ewater.org.au/Tools/TREND/documentation>*
- Crespo S. (2023). Persiguiendo al río: aportes de aguas glaciares y periglaciares en cabeceras de cuencas de los Andes centrales. Seminario Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA).*
- Departamento Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro (DPA). (2012). Relevamiento de los Glaciares del Cerro Perito Moreno.*
- Departamento Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro (DPA). (2020). Monitoreo del Glaciar Hielo Azul 2011-2020, Mediciones de Campo y Análisis de su Variabilidad.*
- Departamento Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro (DPA). (2023). Datos hidrometeorológicos y campañas de monitoreo de los glaciares Norte y Sur del cerro Perito Moreno.*

Departamento Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro (DPA). Intendencia General de Recursos Hídricos Delegación Regional Andina, Sub-Delegación El Bolsón. (2022a). Esquema del Sistema de Riego de Mallín Ahogado.

Departamento Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro (DPA). (2022b). Mejoramiento de Riego Sistema Mallín Ahogado Micro Región Andina. Certificado de Ejecución.

Díaz-Villanueva V. y Albariño R., (2021). *Una aproximación al funcionamiento de los arroyos de montaña del norte de la Patagonia Andina.* Asociación Argentina de Ecología. *Ecología Austral* 31:129-147.

Dussailant I., Berthier E., Brun F., Masiokas M., Hugonnet R., Favier V., Rabatel A., Pitte P. & Ruiz L., (2019). Two decades of glacier mass loss along the Andes. *Nature Geoscience*, 12 : 802–808.

Emmer, A. (2017). *Climate change and the fading cryosphere: assessment of Glacial Lake Outburst Flood (GLOF) hazards in the Himalayas.* *Earth-Science Reviews*, 168, 122-152.

García de Jalón D. & González del Tánago M., (1995). *El Concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los Ríos Españoles.* Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

GERPLAST. (2023). *Tanques Australianos.* Recuperado de: [GERPLAST](#)

Giacosa R. E. y Heredia M., (2004). Estructura de los Andes Nordpatagónicos en los cordones Piltriquitrón y Serrucho y en el valle de El Bolsón (41° 30' - 42 ° 00' S), Río Negro. *Asociación Geológica Argentina*, 59 (1): 91-102.

Global Water Partnership. (2000). Manejo integrado de recursos hídricos. Technical Advisory Committee, Background Papers n4.

Global Water Partnership & International Network of Basin Organizations (INBO). (2009). Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas.

Gobierno de Río Negro. (5 de abril de 2022). En el marco del proyecto PISEAR, se realizarán obras para mejorar el sistema de riego en Mallín Ahogado. Recuperado de: rionegro.gov.ar

Gobierno de Río Negro, Agua y Saneamiento. (20 de abril de 2022). El DPA actualiza mediciones de Glaciares en Zona Andina. Recuperado de: rionegro.gov.ar

Gobierno de Río Negro- Secretaría General de Planificación. (2012). Agenda Territorial El Bolsón - Documento Final.

Grabherr, G., Gottfried, M., Gruber, A., & Pauli, H. (2010). *Patterns and current changes in alpine plant diversity.* In N. E. Stork, *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico.* Oxford University Press.

Gutiérrez Elorza M., (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación.

Infinity Rotomolding. (27 de octubre de 2023). *Tanques Verticales*. Recuperado de [Infinity Rotomolding](#)

Instituto de Ordenación de Vertientes e Ingeniería Forestal (IOVIF) (1974). "Ordenación de Cuencas de los Ríos Quemquemtreu, Azul y Epuyén. Plan Inmediato de Corrección en las Zonas de El Bolsón y Lago Puelo".

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (1999). Los Suelos del Área de Influencia de la Agencia de Extensión Rural de El Bolsón.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2021). Sistema de Información Patagonia Norte (SIPAN).

Juncal Construcciones. (2023). *Platea de Hormigón*. Recuperado de: [Juncal Construcciones](#)

Kaltenborn, B. P., Nellesmann, C., Vistnes, I. I. (Eds). 2010. High mountain glaciers and climate change – Challenges to human livelihoods and adaptation. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal

Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15, 259-263. Recuperado de: [DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130).

Laderas S. A.,. (2023). *Cerro Perito Moreno - Patagonia Argentina, El Bolsón*. Recuperado de: <https://laderas.com.ar/>

Ley Nacional N° 24.105. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 19 de noviembre de 1991. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: [infoleg](#)

Ley Nacional N° 25.675. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 6 de noviembre de 2002. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: [infoleg](#).

Ley Nacional N° 25.688. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 28 de noviembre de 2002. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: [infoleg](#).

Ley Nacional N° 26.438. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 28 de noviembre de 2002. Extraído el 16 de enero de 2023 de: [infoleg](#).

Ley Nacional N° 26.639. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 28 de octubre de 2010. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: [infoleg](#).

Ley Nacional N° 26.994. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 08 de octubre de 2014. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: [infoleg](#)

Ley Nacional N° 27.520. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 17 de diciembre de 2020. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: [infoleg](#)

Ley Nacional N° 27.621. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 03 de junio de 2021. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/>

Ley Provincial N° 2.952. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 28 de diciembre de 1995. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: web.legisrn.gov.ar

Ley Provincial N° 2.833. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 22 de septiembre de 1994. Extraído el 5 de septiembre de 2022 de: <https://anprale.com/normativa/>

Ley Provincial N° 3.183. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 22 de diciembre de 1997. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: web.legisrn.gov.ar

Ley Provincial N° 3.218. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 26 de agosto de 1998. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: web.legisrn.gov.ar

Ley Provincial N° 3.465. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 26 de agosto de 1998. Extraído el 18 de enero de 2023 de: web.legisrn.gov.ar

Ley Provincial N° 4.474. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 26 de noviembre de 2009. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: web.legisrn.gov.ar

Ley Provincial N° 4.736. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 30 de diciembre de 2011. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: web.legisrn.gov.ar

Ley Provincial N° 4.952. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 28 de marzo de 2014. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: web.legisrn.gov.ar

Ley Provincial N° 5.140. Legislatura de Río Negro. Viedma, Río Negro, Argentina. 16 de septiembre de 2016. Extraído el 10 de agosto de 2022 de: [Ley Provincial N°5.140](#)

Lindley R. K., Kohler M. A. & Paulus J. L. H., (1977). *Hidrología para Ingenieros*. McGraw-Hill Latinoamericana.

Lonera LJ - San Marcos Sud. (2022). *¿Qué Son Las Construcciones De Reservorios De Agua?*. Recuperado de: [Lonera LJ](#)

Lo Vecchio Repeto A., (2020). *Dinámica Glaciar de la Cuenca del Río Santa Cruz, Andes Patagónicos Australes: estudio y análisis multiescalar mediante el uso de geotecnologías*.

MercadoLibre S.R.L., (8 de noviembre de 2023a). *Cinta de goteo por 100 metros*. Recuperado de: [MercadoLibre](#)

MercadoLibre S.R.L., (8 de noviembre de 2023b) *Caño de polietileno de ½ pulgada*. Recuperado de: [MercadoLibre](#)

MercadoLibre S.R.L., (8 de noviembre de 2023c). *Codo para caño o manguera de riego por goteo*. Recuperado de: [MercadoLibre](#)

MercadoLibre S.R.L., (8 de noviembre de 2023d). *Válvulas de ½ pulgada para cinta de riego por goteo*. Recuperado de: [MercadoLibre](#)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Datos Abiertos de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Porcentaje y superficie de áreas naturales protegidas por provincia. Recuperado de: datos.ambiente.gob.ar

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Paisaje Andino Norpatagónico. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales & Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (2018). *Inventario Nacional de Glaciares*. Buenos Aires, Argentina.

Ministerio de Agroindustria - Presidencia de la Nación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) & Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP/UCAR). (2015). Manual de Capacitación - Riego Superficial.

Ministerio de Economía; Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca & Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2022). Gestionar el agua de riego para aumentar la eficiencia y la productividad. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/>

Ministerio de Obras Públicas - Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica. (2023). Política Hídrica. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/hidricas/politica-hidrica>

Monsalve Sáenz G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Alfaomega. México D. F., México.

Morales A. D., (19 de febrero de 2022). El Bolsón: Vecinos de Mallín Ahogado plantean problemas en los canales de riego del sector rural. *Límite 42*. Recuperado de: limite42.com

Municipalidad de El Bolsón. (2015). Lineamientos Estratégicos para las dinámicas de crecimiento de El Bolsón y Plan de Sector Loma del Medio. El Bolsón, Argentina. Extraído el 15 de agosto de 2022 de: <https://www.mininterior.gov.ar/>

Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de: www.un.org

Naciones Unidas. (2015). Acuerdo de París. Recuperado de: unfccc.int

Nini M. (2018). *Cátedra de Hidrología*. Universidad Nacional de Río Negro.

Nini M., Schmidt F., Popoff N., Merg C., Antenao J., Rodriguez K., Bodoira F. y Lema S. (2017). Monitoreo del Glaciar Sur del Cerro Perito Moreno, Prov. de Río Negro. Departamento Provincial de Aguas. San Carlos de Bariloche, Argentina.

Novara M. y Schauman D., (2010) Caracterización Actual del Turismo Recreativo en Montaña, en la Subcuenca del Río Azul - El Bolsón. Extraído el 25 de enero de 2023 de: <https://www.researchgate.net/profile/Mauro-Novara>

Oberreuter J. A., Uribe J. P., Zamora R.M., Gacitúa G. C. & Rivera A. I., (2014), *Mediciones de Espesor de Hielo en Chile Usando Radio Eco Sondaje*. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Recuperado de: www.scielo.org.ar

Ocampo M. A., (2014). *El Impacto de la Disponibilidad de Agua en el Callejón de Zúñiga - Mallín del Medio - El Bolsón*. Licenciatura en Agroecología. Universidad Nacional de Río Negro. El Bolsón, Argentina.

Ordenanza N° 189-2022. Concejo Deliberante. El Bolsón, Río Negro, Argentina. 20 de diciembre de 2022.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). *Informe de Diagnóstico de los principales valles y áreas con potencial agrícola de la Provincia de Río Negro*. Proyecto FAO UTF ARG 017.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021. El Valor del Agua.

Parlamento Latinoamericano y Caribeño (PARLATINO). (2011). Ley Marco para la Protección de los Glaciares. Panamá. Recuperado de: [parlat](http://parlat.org)

Pecollo A. (4 de septiembre de 2021). Aval de Río Negro a loteos privados en el Cerro Perito Moreno. *Río Negro*. Recuperado de: www.rionegro.com.ar

Pedrozo F., Chillrud S., Temporetti P., y Díaz M., (1993). *Chemical composition and nutrient limitation in rivers and lakes of northern Patagonian Andes (39.5-42 S; 71 W) (Rep. Argentina)*. Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen 25:207-214. <https://doi.org/10.1080/03680770.1992.11900093>

Presidencia de la Nación, Subsecretaría de Recursos Hídricos y Secretaría de Obras Públicas. (2017). Plan Nacional del Agua. Objetivos, Políticas, Estrategias y Acciones.

- Pulita A. E., (1989). El Clima de Río Negro - Unidad III. Extraído el 25 de enero de 2023 de: www.academia.edu
- Rabassa J. O., (2019). *Impacto del Cambio Climático en los Glaciares Patagónicos y Fueguinos*. Congreso Internacional sobre Cambio Climático y Desarrollo Sustentable. Recuperado de: sedici.unlp.edu.ar
- Raffaele E., Torres Curth M., Morales C. L. y Kitzberger T., (2014). *Ecología e historia natural de la Patagonia Andina: un cuarto de siglo de investigación en biogeografía, ecología y conservación*. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Redacción. (2 de mayo de 2015). ARSA debe instalar agua potable en Mallín Ahogado. *Diario Río Negro*. Recuperado de: <https://www.rionegro.com.ar/>
- Reserva de Biósfera Andino Norpatagónica. (2021). *¿Quiénes somos?*. Recuperado de: <http://biosferapatagonica.org/index.html>
- Rivera, A., Bown F., Napoleoni F., Muñoz C. & Vuille M., (2016). Balance de masa glaciar. Ediciones CECs, Valdivia, Chile.
- Romagnoli M. L., (2022). *Evaluación de caudales ambientales en el Río Ñirihuau, asociados al proyecto de captación y potabilización de agua para San Carlos de Bariloche*. Universidad Nacional de Río Negro. S. C. de Bariloche, Argentina. Recuperado de: rid.unrn.edu.ar
- Rotoplas S. A., (2023). *Tecnologías de Almacenamiento de Agua: Tanques Elevados vs. Tanques Subterráneos*. Recuperado de: Rotoplas
- Ruiz L., (19 de junio de 2020). Did you know... the Andes are so cryo-diverse?. *EGU Blogs*, Cryospheric Sciences. Recuperado de: blogs.egu.eu
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS). (2016). Estrategia Nacional de Educación Ambiental. Recuperado de: www.sib.gob.ar
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS), Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) & Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (2019). Atlas de Glaciares de la Argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS) & Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2019). Construcción de Reservorios Excavados de Agua para Riego Presurizado en el Valle Bonaerense del Río Colorado. Recuperado de: www.argentina.gob.ar

Secretaría de Turismo de El Bolsón. (2020). Atractivos Naturales. Refugios de montaña. Recuperado de: <https://www.turismoelbolson.gob.ar/refugios-de-montana>

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). (2001). Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000 - Hoja Geológica 4172-IV San Carlos de Bariloche, Provincias de Río Negro y Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <https://repositorio.segemar.gob.ar/handle/308849217/174>

Sociedad Argentina de Profesionales, Consultores y Expertos Ambientales (SAPROCEA). (2023). Honorarios mínimos ambientales - ejercicio 2023.

Tallaksen L. M. & Van Lanen H. A., (2004). *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Elsevier.

Tarbutck E. J., Lutgens F. K. & Tasa D., (2005). *Ciencias de la Tierra*. Pearson Educación.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2018). El Atlas de Glaciares y Aguas Andinos: el impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000266209>

United Nations Environment Programme. (1992). *Glaciers and The Environment*.

United State Geological Survey. (29 de agosto de 2017). Distribución del agua de la Tierra. Recuperado de: <http://water.usgs.gov/gotita/waterdistribution.html>

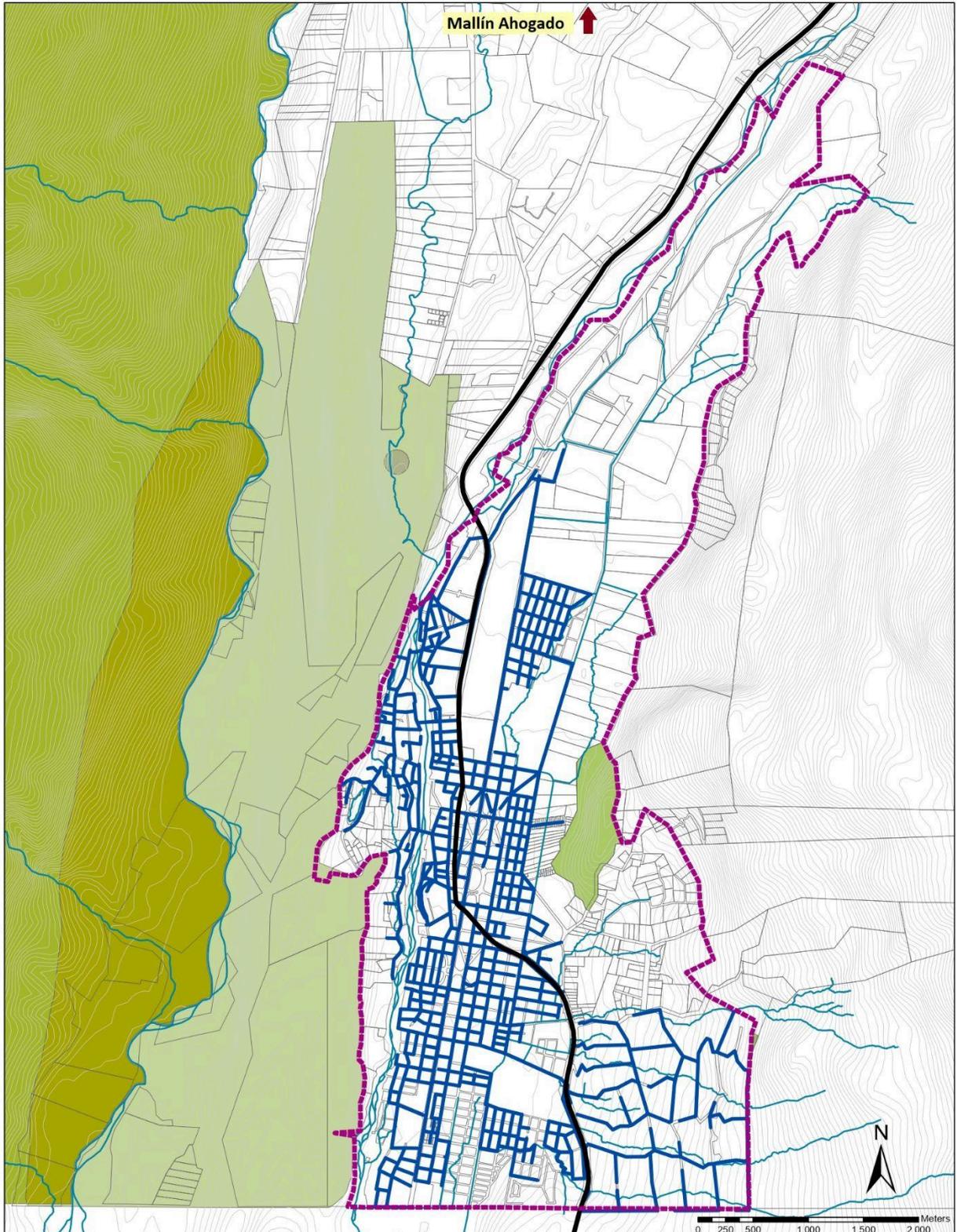
Van der Kooij S., Zwarteveen M., Boesveld H. & Kuper M., (2013). *The efficiency of drip irrigation unpacked*. Agricultural Water Management - Elsevier. 123, 103-110. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.014>

Villarroya J. P., Farias H. D. & Amarilla M. E., (2018). *Estimación del parámetro hidrológico del Número de Curva NC: Automatización del cálculo mediante S.I.G. y nuevas fuentes de información cartográfica. Caso del área urbana de Pozo Hondo Jorge Prieto*. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA ISSN N° 1853-7871.

Young K. R. & Lipton, J. K. (2006). *Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of Western South America*. Climatic Change 78(1).

ANEXO 1

Plano de Red de agua potable de la ciudad de El Bolsón (Secretaría General de Planificación, 2012)



REFERENCIAS:

- RADIO URBANO
- RED DE AGUA
- RUTA NAC. Nº 40
- HIDROGRAFIA

INFRAESTRUCTURAS DE SERVICIOS - RED DE AGUA

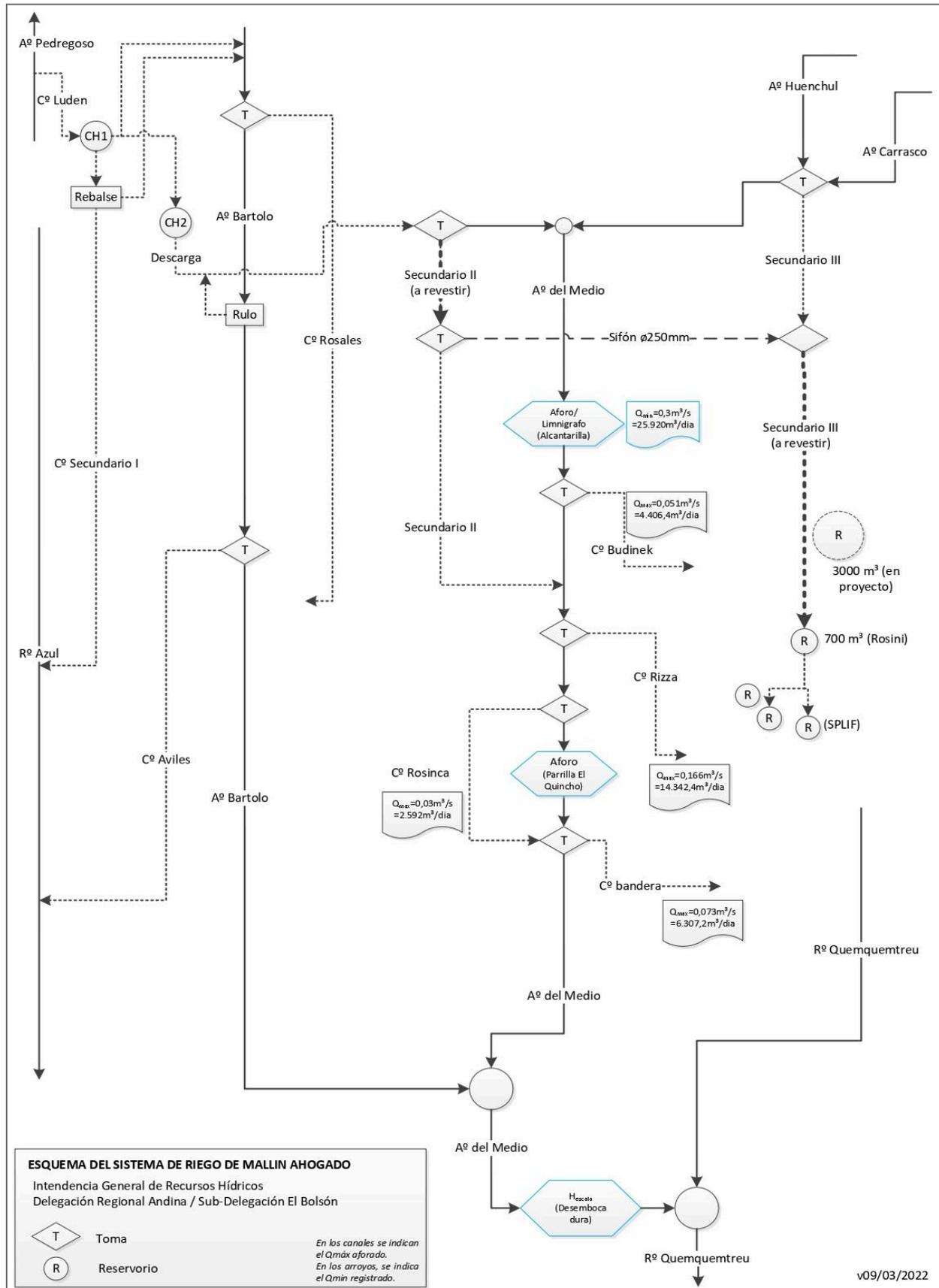


Gobierno de Río Negro
Subsecretaría de Planificación
Secretaría de Estado General



ANEXO 2

Diagrama de flujo del sistema de riego de Mallín Ahogado (DPA, 2022a).



ANEXO 3

Solicitud de información hidrometeorológica enviada al Departamento Provincial de Aguas.

FORMULARIO DE SOLICITUD INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Señor.
Superintendente General
Departamento Provincial de Aguas.
Ing. Fernando Curetti.
San Martín N° 249
8500 Viedma.

Me dirijo a Ud. a fin de solicitar la información
Hidrometeorológica que se detalla:

Localidad - Lugar		Arroyo Pedregoso, El Bolsón, Río Negro, Argentina.			
De no disponer de datos del lugar indicado, informar los datos de la estación más próxima					Si
Variables	Indicar con "X"	Período (*)		Frecuencia del Dato. (**)	Tipo de Dato(***)
		Inicio	Fin		
Lluvia	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Temperatura	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Dirección de Viento	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Velocidad de Viento	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Caudal	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Altura Hidrométrica	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Otra					

(*) Indicar DD/MM/AAAA. (**) Mensual - Diario - Horario. (***) Máximo - Mínimo - Promedio.

Localidad - Lugar		Arroyo Lindo, El Bolsón, Río Negro, Argentina.			
De no disponer de datos del lugar indicado, informar los datos de la estación más próxima					Si
Variables	Indicar con "X"	Período (*)		Frecuencia del Dato. (**)	Tipo de Dato(***)
		Inicio	Fin		
Lluvia	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Temperatura	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Dirección de Viento	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Velocidad de Viento	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Caudal	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Altura Hidrométrica	X	30/01/2023		Mensual, diario y horario	Máximo mínimo y promedio.
Otra					

(*) Indicar DD/MM/AAAA. (**) Mensual - Diario - Horario. (***) Máximo - Mínimo - Promedio.

El uso que se le pretende dar a la presente documentación es: realización de tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Río Negro.

El que suscribe se compromete a citar la fuente de los datos cada vez que sean utilizados.

Nombres y Apellido del solicitante (Empresas: Razón Social, CUIT, Condición de IVA): Ailin Clavería

Domicilio: Jaime Dávalos 209

Teléfono: 2944233013

E-mail: ailin.claveria@gmail.com



Firma del solicitante

ANEXO 4

Diagrama de flujo del sistema de riego de Mallín Ahogado, donde se muestran los canales y tomas de agua a mejorar (Adaptado de DPA, 2022a).

