

TRABAJO FINAL INTEGRADOR
INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES EN EL
RÍO ÑIRIHUAU, ASOCIADOS AL PROYECTO DE
CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA
SAN CARLOS DE BARILOCHE**

María Luz Romagnoli
Alumna

Mgter. Ing. Martin Nini
Director

Universidad Nacional de Río Negro - Sede Andina
Argentina

A mi familia

Índice de símbolos

- **ARSA:** Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima
- **CDC:** Curva de duración de caudales
- **CSJN:** Corte Suprema de Justicia de la Nación Argentina
- **CV:** Coeficiente de variabilidad
- **DFM:** Método de distribución de caudal (*Distribution Flow Method*)
- **DPA:** Departamento Provincial de Aguas
- **ENOHSA:** Ente Nacional De Obras Hídricas De Saneamiento
- **FDC:** Curva de duración de caudales (*Flow Duration Curve*)
- **GEI:** Gases de efecto invernadero
- **GIC:** Gestión integral de cuencas
- **GIRH:** Gestión integral de recursos hídricos
- **INDEC:** Instituto Nacional de estadística y censos
- **IPCC:** Panel Intergubernamental del Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)
- **MM:** Medias móviles
- **MTMMCH:** Método Tennant Modificado basado en condiciones de hábitat multinivel (*Modified Tennant method based on multilevel habitat conditions*)
- **NPGRP:** Programa de Recursos de las Grandes Llanuras del Norte (*Northern Great Plains Resource Program*)
- **ODS:** Objetivos de desarrollo sostenible
- **PNA:** Plan Nacional del Agua
- Q_{50} : Caudal de la mediana mensual
- **QMA:** Caudal medio anual
- **QMM:** Caudal medio mensual
- Q_x : Caudal mensual superado o igualado el x% del tiempo.

- **RAC**: Régimen ambiental de caudales
- **RN**: Régimen natural
- **SiFAP**: Sistema Federal de Áreas Protegidas
- **UNESCO**: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*)
- **VMF**: Flujo Mensual Variable
- **WWF**: Fondo Mundial para la Naturaleza (*World Wildlife Fund*)

Índice de contenidos

Índice de símbolos	iii
Índice de contenidos	v
Índice de figuras	ix
Índice de tablas	xiii
Resumen	xv
Abstract	xvii
1. Introducción	1
1.1. Contexto y motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estructura de la tesis	3
2. Marco Teórico	5
2.1. Gestión Integrada de Recursos Hídricos	6
2.2. Metodologías	8
3. Normativa y Antecedentes	11
3.1. Internacional - Latinoamérica	11
3.1.1. Chile	12
3.1.2. Colombia	13
3.1.3. Costa Rica	13
3.1.4. México	14
3.2. Nacional	15
3.2.1. Legislación Ambiental	15
3.2.2. Legislación de Gestión de Recursos Hídricos	16
3.3. Provincial	17
3.3.1. Tierra del Fuego	18
3.3.2. Jujuy	18

3.3.3.	Salta	18
3.3.4.	Misiones	19
3.3.5.	Santa Fe	19
3.3.6.	Fallo Río Atuel	19
3.3.7.	Río Negro	20
3.4.	Antecedentes	21
3.4.1.	Mendoza	21
3.4.2.	Santa Cruz	22
4.	Caso de Estudio	25
4.1.	Proyecto: “Provisión de agua del río Ñirihuau”	25
4.1.1.	Área de Influencia	25
4.1.2.	Propuesta de Captación	31
4.1.3.	Análisis de la obra	34
4.2.	Línea base	36
4.2.1.	Cuenca del río Ñirihuau	36
4.2.2.	Áreas Protegidas	37
4.2.3.	Clima	39
4.2.4.	Geología	40
4.2.5.	Suelos y geomorfología	43
4.2.6.	Características Biológicas	43
5.	Análisis Hidrológico	53
5.1.	Caracterización morfológica de la cuenca	53
5.1.1.	Características topográficas	55
5.1.2.	Parámetros de forma	56
5.1.3.	Parámetros del relieve	58
5.1.4.	Aspectos lineares del sistema de canales	59
5.1.5.	Densidad de drenaje	61
5.1.6.	Patrón natural del cauce	61
5.1.7.	Resumen	62
5.2.	Estudio de la serie de caudales	63
5.2.1.	Adecuación y traslado de caudales	63
5.2.2.	Curva de duración de caudales	69
6.	Evaluación del Régimen de Caudal Ambiental	73
6.1.	Metodologías de paso anual	75
6.1.1.	Descripción de las Metodologías	75
6.1.2.	Resultados	79
6.2.	Metodologías de paso mensual	81

6.2.1. Descripción de las Metodologías	81
6.2.2. Resultados	89
6.3. Proceso de Selección	93
6.3.1. Caudales Mínimos Absolutos	94
6.3.2. Estacionalidad	94
6.3.3. Magnitud	95
6.3.4. Variabilidad Intranual	96
6.3.5. Indicadores de recursos hídricos	99
6.3.6. Selección final	100
7. Propuestas Finales	103
7.1. Régimen Ambiental de Caudales	103
7.2. Proyecto de Captación	105
7.2.1. Redeterminación de Precios	105
7.2.2. Recomendaciones de Obra	108
7.3. Variabilidad climática	113
7.4. Indicadores	117
8. Conclusiones y Recomendaciones	121
8.1. Conclusiones	121
8.2. Recomendaciones	122
A. Planos de la Obra de Captación de Agua en el Río Ñirihuau	125
Bibliografía	127
Agradecimientos	137

Índice de figuras

2.1. Esquema conceptual de la influencia directa e indirecta de los cinco componentes principales del régimen hidrológico natural [1].	7
4.1. Ubicación de San Carlos de Bariloche [Fuente propia].	26
4.2. Crecimiento poblacional estimado por la “Dirección de Estadística y Censos de la provincia de Río Negro” para el departamento de Bariloche y municipio de San Carlos de Bariloche, desde el año 2010 a 2025 [2]. .	28
4.3. Representación gráfica de la estructura del servicio de agua potable [3].	30
4.4. Gráfico y ubicación de la obra de toma del río Ñirihuau y de la planta de potabilización, incluyendo además el área servida propuesta [3]. Se puede encontrar el plano completo en el apéndice A.	32
4.5. Ubicación de la obra de toma del río Ñirihuau (coordenadas: 41°14'16,8"S; 71°09'56,2"W) y área a servir [Fuente propia].	32
4.6. Plano de la obra de toma propuesta para el río Ñirihuau [3]. Se puede encontrar el plano completo en el apéndice A.	33
4.7. Fotografía del sitio de la obra de toma propuesta para el río Ñirihuau [Fuente propia, tomada en la fecha: 08/05/2022]	34
4.8. Cuenca del río Ñirihuau [4].	37
4.9. Fotografía del río Ñirihuau [Fuente propia, tomada en la fecha: 08/05/2022].	37
4.10. Áreas protegidas de influencia a la ubicación del proyecto de toma [Fuente propia].	38
4.11. Valores climáticos medios para el periodo 1981-2010, obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional [67].	40
4.12. Recorte de la carta geológica Bariloche, con escala 1:200.000 [5]	42
4.13. Clasificación de la vegetación de la cuenca del Ñirihuau [6].	45
4.14. Ilustración del huillín (<i>Lontra provocax</i>) [7].	48
4.15. Imágenes gráficas de las siguientes especies nativas de peces del río Ñirihuau: perca de boca chica (<i>Percichthys trucha</i>) y puyen chico (<i>Galaxias maculatus</i>)[8].	50

4.16. Imágenes gráficas de las siguientes especies nativas de peces del río Ñirihuau: bagrecito del torrente (<i>Hatcheria macraei</i>) y bagre aterciopelado (<i>Diplomystes viedmensis</i>) [8].	51
4.17. Imágenes gráficas de las siguientes especies de salmónidos del río Ñirihuau: trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>), trucha de arroyo (<i>Salvelinus fontinalis</i>) y trucha marrón (<i>Salmo trutta</i>) [8].	52
5.1. Límites de la cuenca del río Ñirihuau, junto con la red de drenaje y las subcuencas principales [5].	54
5.2. Curva hipsométrica adimensional de la cuenca del río Ñirihuau, y la comparación con la edad de los ríos según la forma de la curva. [5].	56
5.3. Histograma de las frecuencias altimétricas del río Ñirihuau [5].	56
5.4. Relación entre la forma de algunas cuencas y el caudal pico para eventos máximos de precipitación [9].	57
5.5. Rectángulo equivalente de la cuenca del río Ñirihuau [5].	58
5.6. Resultado de la aplicación del método Strahler en la cuenca del río Ñirihuau [5].	60
5.7. Número de datos faltantes de la serie de caudales del río Ñirihuau, representando los grupos de datos faltantes consecutivos en diferentes barras apiladas por año [Fuente propia].	63
5.8. Número de datos faltantes de la serie de caudales del río Villegas [Fuente propia].	64
5.9. Número de datos faltantes de la serie de caudales del río Ñireco [Fuente propia].	64
5.10. Estación de medición y ubicación de toma en el río Ñirihuau, y sus áreas de aporte correspondientes [Fuente propia].	66
5.11. Serie de caudales del río Ñirihuau, mostrando los caudales medios anuales junto con la media de la serie completa [Fuente propia].	67
5.12. Año hidrológico para la serie de caudales del río Ñirihuau [Fuente propia].	67
5.13. Curva de duración de caudales para la serie del río Ñirihuau de 1978-2021 [Fuente propia].	70
5.14. Curva de duracion de caudales mensual para la serie del río Ñirihuau de 1978-2021 [Fuente propia].	71
6.1. Número y tipo de metodologías para la determinación de régimen de caudal ambiental en uso [10].	74
6.2. Usos de los índices para cálculo de caudales a partir de la CDC [11].	77
6.3. Resultados de caudales ambientales en $\frac{m^3}{s}$, obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso anual para el río Ñirihuau [Fuente propia].	80

6.4. Resultados de caudales ambientales en $\frac{m^3}{s}$, obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso mensual para el Río Ñirihuau [Fuente propia].	92
6.5. Gráfico de los resultados obtenidos a partir del proceso de selección planteado para todos los escenarios de RAC. Cada escenario se encuentra graficado según su puntuación global de aspectos ambientales en el eje de abscisas, y la demanda ambiental respectiva en el eje de ordenadas. Además, se presentan los límites de los percentiles 50, 65, 75, 85 y el mínimo absoluto del RN [Fuente propia].	100
6.6. Escenarios de RAC resultantes del proceso de selección final, graficados junto al QMM del RN y los caudales mínimos [Fuente propia].	102
7.1. RAC propuesto para el tramo de análisis del río Ñirihuau [Fuente propia].	104
7.2. RAC propuesto para el tramo de análisis del río Ñirihuau, junto con el caudal de diseño del proyecto de captación y potabilización [Fuente propia].	104
7.3. Resultado de la redeterminación de precios del presupuesto para el proyecto “Acueducto y planta de agua potable - Río Ñirihuau, Abastecimiento zona Este de Bariloche”(*[12]).	106
7.4. Continuación del resultado de la redeterminación de precios del presupuesto para el proyecto “Acueducto y planta de agua potable - Río Ñirihuau, Abastecimiento zona Este de Bariloche”(*[12]).	107
7.5. Estructuras de funcionamiento continuo que permiten el paso de peces, para infraestructuras transversales construidas sobre cursos de agua [13].	110
7.6. Representación del corte lateral del azud, incluyendo la modificación en rojo asociada a la escala de peces [3].	111
7.7. Representación aproximada de la propuesta de escala de peces para la obra [Fuente propia].	112
7.8. Representación gráfica de la serie de caudal medio diario del río Ñirihuau (1978-2021), en escala logarítmica y aplicando medias móviles, para el análisis de tendencia de la variable [Fuente propia].	115
7.9. Representación gráfica de la serie de caudales mensuales medios, máximos y mínimos, del río Ñirihuau (1978-2021), en escala logarítmica, para el análisis de tendencia de la variable [Fuente propia].	115
7.10. Representación gráfica de la serie de precipitación mensual del aeropuerto de San Carlos de Bariloche (1984-2020), para el análisis de tendencia de la variable [Fuente propia].	116

7.11. Representación gráfica de la serie de precipitaciones medias estacionales del aeropuerto de San Carlos de Bariloche (1984-2020), para el análisis de tendencia de la variable [Fuente propia].	116
A.1. Detalle de toma sobre el río del anteproyecto de provisión de agua del río Ñirihuau para la zona este de San Carlos de Bariloche [3].	125
A.2. Ubicación del anteproyecto de provisión de agua del río Ñirihuau para la zona este de San Carlos de Bariloche [3].	126

Índice de tablas

5.1. Resumen de las características morfológicas de la cuenca del río Ñirihuau [5].	62
5.2. Grupos de datos faltantes y completamiento de serie de caudales del río Ñirihuau [Fuente propia].	65
5.3. Caracterización estadística de la serie mensual de caudales en $\frac{m^3}{s}$ de río Ñirihuau (1978-2021), en el punto da la toma de agua [Fuente propia].	68
6.1. Método de Montana para la fijación de caudales según niveles de calidad de hábitat [14].	76
6.2. Método suizo para la fijación de caudales mínimos [15].	79
6.3. Resultados de caudales ambientales en $\frac{m^3}{s}$, y en relación al QMA y Q_{50} , obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso anual para el río Ñirihuau [Fuente propia].	80
6.4. Método de flujo mensual o VMF para la fijación de caudales ecológicos [16].	85
6.5. Escenarios de gestión ambiental (EMC) utilizadas en el método FDC shifting [17].	86
6.6. Umbrales para distintos escenarios ambientales [18].	89
6.7. Resultados de caudales ambientales en $\frac{m^3}{s}$, obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso mensual para el río Ñirihuau [Fuente propia].	90
6.8. Resultados de caudales ambientales en relación al QMM, obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso mensual para el río Ñirihuau (datos relativos sin unidades) [Fuente propia].	90
6.9. Resultados de caudales ambientales en relación a la mediana mensual (Q_{50}) , obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso mensual para el río Ñirihuau (datos relativos sin unidades) [Fuente propia].	91
6.10. Comparación de los caudales mensuales de los escenarios de los RAC calculados, con los caudales mínimos absolutos del RN [Fuente propia].	94
6.11. Categorías para la evaluación de la estacionalidad [19].	95

6.12. Comparación de la estacionalidad de los escenarios de los RAC calculados con el RN [Fuente propia].	95
6.13. Categorías para la evaluación de la magnitud y su valoración [19].	96
6.14. Resultado de la evaluación del aspecto magnitud para los RAC [Fuente propia].	96
6.15. Categorías para la evaluación de la variabilidad intranual y su valoración [19].	97
6.16. Resultado de la evaluación del aspecto de variabilidad intranual para los RAC [Fuente propia].	98
6.17. Indicador del recurso hídrico evaluado para los RAC [Fuente propia].	99
6.18. Resultados obtenidos a partir del proceso de selección planteado para todos los escenarios de RAC de cada metodología [Fuente propia].	100
6.19. Escenarios de RAC, que no poseen puntuaciones negativas en alguno de los tres indicadores ambientales y tampoco presentan caudales mensuales inferiores a los mínimos absolutos del RN [Fuente propia].	101
7.1. Escenarios seleccionados y RAC promedio propuesto para el río Ñirihuau [Fuente propia].	103
7.2. Escenarios seleccionados y RAC promedio propuesto para el río Ñirihuau [Fuente propia].	105

Resumen

Los caudales ambientales son los flujos de agua, el momento de su aplicación y la calidad de las aguas precisos para mantener los ecosistemas de agua dulce y de los estuarios, así como los medios de subsistencia y bienestar de las personas que dependen del ecosistema. El presente trabajo final integrador consiste en la evaluación de caudales ambientales del río Ñirihuau. Dicha evaluación se encuentra centrada en una posible fuente de abastecimiento de agua para su potabilización y abastecimiento a la ciudad de San Carlos de Bariloche, tomando agua del río Ñirihuau. Este proyecto tiene el fin de abastecer el área Este del casco urbano, que actualmente se abastece desde un centro de distribución, que además de ser distante de la zona, tiene una escasa capacidad remanente, limitando la extensión del servicio de agua potable a servir en los proyectos de crecimiento urbano.

En primer lugar, se realiza un análisis de la justificación del proyecto y la caracterización de la línea base del área de influencia. Posteriormente, se lleva a cabo la caracterización de la cuenca del río, y un estudio de la serie de caudales correspondientes a los años 1978 a 2021, donde se obtienen las variables estadísticas para el tramo de análisis. Entre otros resultados, el caudal medio anual calculado es de $4,47 \frac{m^3}{s}$.

Por su parte, para la evaluación de caudal ambiental se aplican 28 metodologías de cálculo de carácter hidrológico, de paso anual y mensual. Para la selección de las mismas, se implementa un proceso propuesto por el trabajo de WWF “Caudales ecológicos: Un patrimonio esencial para la biodiversidad de España y Portugal”, permitiendo evaluar los escenarios calculados, tanto desde el punto de vista ambiental como del uso de los recursos hídricos. De este proceso resultan apropiadas, para el caso de estudio, tres metodologías: “ Q_{90} ”, “ $70\%Q_{50}$ ” y “ Q_{95} ”. Finalmente, el RAC propuesto consiste en el promedio de las tres, con un caudal medio anual de $2,43 \frac{m^3}{s}$.

Palabras clave: CAUDAL AMBIENTAL, GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS, GESTIÓN INTEGRAL DE RECURSOS HÍDRICOS, RÍO ÑIRIHUAU, SAN CARLOS DE BARILOCE, POTABILIZACIÓN.

Abstract

Environmental flows are the water flows, timing and water quality required to maintain freshwater and estuarine ecosystems, as well as the livelihoods and well-being of people who depend on the ecosystem. The present integrative final work consists of the evaluation of the environmental flows of the Ñirihuau River. Said evaluation is focused on a possible source of drinking water supply for the city of San Carlos de Bariloche, extracting water from the Ñirihuau River. The purpose of this project is to supply the eastern area of the urban center, which is currently supplied from a distribution center, that in addition to being distant from the area, has little remaining capacity, limiting the extension of the potable water service to be served in urban growth projects.

First of all, an analysis of the justification of the project and the characterization of the base line of the area of influence is carried out. Subsequently, the characterization of the river basin, and the study of the flow series corresponding to the years 1978 to 2021 is presented, where the statistical variables for the analysis section are obtained. Among other results, the average annual flow calculated is $4,47 \frac{m^3}{s}$.

Subject to the evaluation of the environmental flow, 28 hydrological methodologies are applied, with an annual and monthly frequency flow. For their selection, a procedure proposed by the WWF work “Ecological flows: An essential patrimony for the biodiversity of Spain and Portugal” is implemented, allowing the calculated scenarios to be evaluated, both from the environmental point of view and of the use of water resources. Resulting in three methodologies appropriate for the case study: “ Q_{90} ”, “ $70\%Q_{50}$ ” y “ Q_{95} ”. Finally, the proposed environmental flow regime consists of the average of the three, with a mean annual flow of $2,43 \frac{m^3}{s}$.

Keywords: ENVIRONMENTAL FLOWS, INTEGRATED RIVER BASIN MANAGEMENT, INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT, ÑIRIHUAU RIVER, SAN CARLOS DE BARILOCHE, WATER PURIFICATION

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contexto y motivación

En la actualidad hay grandes desafíos que configuran la crisis del agua en América Latina: una creciente urbanización, crecimiento poblacional, globalización, contaminación, deforestación de cuencas, conflictos crecientes por uso de agua y suelo, entre otros factores, a los que se suman el efecto del cambio y variabilidad climática [11].

Los conflictos reales y aparentes entre las necesidades de agua de los seres humanos y la naturaleza, han contribuido a la necesidad de encontrar un modelo alternativo en la gestión de los recursos a nivel mundial. La estrategia eficaz a seguir es una gestión integrada del recurso hídrico (GIRH), que promueva el manejo y desarrollo coordinado del agua, el suelo y los recursos relacionados. Desde hace varios años este concepto viene ganando aceptación como una estrategia para asegurar un manejo equitativo, ambiental y económicamente sostenible de los recursos hídricos y de los servicios que proveen [11].

El régimen ambiental de caudales (RAC) es parte elemental de la GIRH y está definido como aquel caudal que debe mantenerse en cada sector hidrográfico de tal manera que los efectos producidos por la disminución del caudal natural no alteren significativamente los servicios ambientales que presta el ecosistema fluvial [11].

La motivación de este trabajo consiste en la aplicación de un procedimiento de estimación y propuesta de un RAC, asociado a un proyecto de captación y potabilización de agua en el río Ñirihuau, habiendo escasos antecedentes en la zona e incluso en la Argentina. Específicamente, promoviendo el uso sustentable del agua, que en la actualidad se encuentra asociada a una preocupación por períodos de estiaje de mayor duración y una posible disminución de los servicios que provee.

En este sentido el abordaje se realiza considerando la cuenca como unidad de gestión, un análisis crítico de las características e impactos de obra que se pretende desarrollar, y el análisis de los componentes que se asocian a la temática del caudal

ambiental. Aunque centrado en el uso de un único recurso, el trabajo tiene implicancia sobre el equilibrio de todo el medio, para lo cual se requiere una línea de base con respecto a las características ambientales del sitio y una mirada integral.

En específico, el río Ñirihuau está ubicado en los departamentos de San Carlos de Bariloche y Pilcaniyeu, al sudeste de la ciudad de San Carlos de Bariloche. Nace a partir de agua de deshielo y precipitaciones del cordón Ñirihuau, que se ubica en el sector oriental de la cadena andina y desemboca en el lago Nahuel Huapi [8].

Por otro lado, el área Este del casco urbano de San Carlos de Bariloche, delimitada por el lago Nahuel Huapi, el arroyo Ñireco, y el camino de circunvalación, se abastece desde un centro de distribución que actualmente, además de ser distante de la zona, tiene una escasa capacidad remanente, limitando la extensión del servicio de agua potable a servir en los proyectos de crecimiento urbano. En este contexto se planteó la incorporación de una nueva fuente de abastecimiento de agua potable a la ciudad, tomando el agua del río Ñirihuau para ser procesada y almacenada en un punto cercano al camino de circunvalación. Este proyecto se encuentra enmarcado dentro del “Plan director de saneamiento y agua potable de San Carlos de Bariloche y Dina Huapi” [3].

Finalmente, se debe destacar que el agua potable y el saneamiento son reconocidos como derechos humanos básicos, dado que son indispensables para sostener medios de vida saludables y son fundamentales para mantener la dignidad de todos los seres humanos [20]. Además de encontrarse entre los “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS), que en 2015, se adoptaron por las Naciones Unidas como un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible [21].

En la ciudad de San Carlos de Bariloche, debido al gran crecimiento poblacional de los últimos años, la falta de previsión y de un orden territorial que tenga en cuenta las características del entorno físico, ha llevado a que se ocupen sitios sin todos los servicios correspondientes [22]. Por ello se califica la importancia de proyectos como el expuesto, sin embargo, no debe oponerse a la importancia de conservar y proteger las cuencas hidrográficas, debido en los grandes beneficios que éstas entregan a la sociedad, cumpliendo funciones ecológicas, sociales y económicas [4]. Las políticas centradas en las personas para proveer servicios de agua y saneamiento y una gestión sólida y sostenible de los recursos hídricos y de nuestros ecosistemas como un todo son, por tanto, parte integral del desarrollo sostenible y del pleno disfrute de los derechos humanos [20].

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consiste en proponer un RAC para el proyecto de captación de agua en el río Ñirihuau, para provisión de agua potable, y así garantizar un aprovechamiento sustentable, minimizando los impactos sobre el medio.

En cuanto a los objetivos específicos, en primer lugar, se debe realizar una descripción de la obra de aprovechamiento y una caracterización del área de estudio implicada.

Luego, se plantea estudiar y determinar metodologías de cálculo de caudal ambiental aplicables para este caso.

Como objetivo final, se espera calcular y proponer un RAC, incluyendo medidas preventivas y/o mitigatorias, para promover el desarrollo sustentable del proyecto.

1.3. Estructura de la tesis

Este trabajo está organizado en ocho capítulos, el primero consiste en la presente introducción, en la cual se detalla la motivación y los objetivos del trabajo a realizar. En el segundo y tercer capítulo, se encuentran el marco teórico y la descripción de normativa respectivamente. Estos capítulos presentan los antecedentes y bibliografía necesaria para la comprensión del trabajo.

En cuanto a la descripción más específica del caso, la misma se puede encontrar en el capítulo número cuatro. Allí se describe el proyecto de captación y potabilización propuesto y su justificación. También, se detalla la línea base y área de influencia del mismo.

Luego, orientados a la temática de evaluación de caudal ambiental se tiene el quinto y sexto capítulo. En el primero de estos, se realiza el análisis hidrológico, incluyendo la caracterización de la cuenca y el estudio de la serie de caudales del río Ñirihuau. A razón de la investigación realizada hasta aquí, en el sexto capítulo se proponen las metodologías de cálculo a aplicar, y se concluye con la obtención de los resultados y su selección.

Por último, para complementar el trabajo, en el capítulo número siete se establecen las propuestas para el proyecto, y finalmente, en el octavo capítulo se presentan las conclusiones obtenidas y recomendaciones de trabajo a futuro.

Capítulo 2

Marco Teórico

El caudal ambiental tiene muchas acepciones en el mundo, dependiendo de los aspectos que son incluidos en su definición, tales como aspectos ecológicos, sociales, entre otros. La definición más aceptada a nivel mundial señala que “los caudales ambientales son los flujos de agua, el momento de su aplicación y la calidad de las aguas precisos para mantener los ecosistemas de agua dulce y de los estuarios, así como los medios de subsistencia y bienestar de las personas que dependen del ecosistema” [23].

En un comienzo, la aplicación de caudales ambientales surgió por la necesidad de establecer límites de extracción de agua en ríos con el fin de que mantuvieran la capacidad de dilución y evitaran niveles de contaminación inadmisibles. Posteriormente, se consideró la cantidad de agua que debía permanecer en los ríos para mantener poblaciones de peces de interés comercial. Actualmente, también se busca conservar los servicios ecosistémicos, entendidos como los beneficios que proveen los ecosistemas a los seres humanos, contribuyendo a su bienestar. De esta manera, el concepto de caudales ambientales plantea específicamente el interés de sostener los ecosistemas y el bienestar humano que depende de estos [24].

Entonces, esta herramienta se presenta como una instancia de integración y equilibrio entre los requerimientos del sistema natural y el sistema social [25]. Asimismo, al equilibrar las demandas para los seres humanos y la naturaleza, las necesidades de agua de los sistemas acuáticos y de la sociedad, permite mantener o restaurar la integridad del ecosistema. De igual modo, los ecosistemas son reguladores importantes de la cantidad y calidad del agua, para realizar estas funciones, requieren protección y gestión, sin lo cual se generarían serias consecuencias ambientales, sociales y económicas [11]. Por ello, los caudales ambientales, son el resultado de un proceso de concertación entre los actores en la cuenca o unidad sistémica en análisis, teniendo implicancias sobre todo el ecosistema y formando parte de un sistema de retroalimentación [25].

En Argentina, se cuenta con abundantes recursos hídricos, albergando a una de las cuencas hidrográficas más grandes del mundo, pero estos recursos están distribuidos

geográficamente de manera desigual. La demanda del recurso, además, ha aumentado más del 30% desde 1995, reflejando tanto el crecimiento de la población como el desarrollo económico y las dificultades para desacoplar la demanda de agua de los patrones macroeconómicos y demográficos [26]. A pesar de las afirmaciones anteriores, y teniendo en cuenta que de todas formas Argentina se encuentra muy por encima del umbral de estrés hídrico, las normas y antecedentes de análisis de caudal ambiental y sus metodologías son escasos en el país [25].

Los procesos de acuerdo para la implementación de caudales ambientales, no pueden desagregarse de la GIRH y de la gestión ambiental, por lo tanto, sufre de las mismas limitaciones. Se ha avanzado mucho más en las formulaciones conceptuales y en las posturas y declamaciones, que en sus aplicaciones. Si bien aparece como deseable que el establecimiento de caudales ambientales responda a un programa de alcance amplio, la realidad muestra que los logros se conquistan en pequeños territorios y a partir de realidades concretas y acotadas [25].

2.1. Gestión Integrada de Recursos Hídricos

La GIRH, como se menciona anteriormente, es un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. El concepto del GIRH ha atraído particular atención siguiendo las conferencias internacionales llevadas a cabo en 1992 sobre los temas de agua y ambiente en Dublín y Río de Janeiro [27].

Además, la integración de otras aproximaciones como la gestión integrada de cuencas (GIC) es también fundamental, dada la estrecha relación entre la hidrología, la función de una cuenca y sus ecosistemas que incluyen: regulación, recreación, transporte y suministro del agua, entre otros. Asimismo, los procesos sociales, culturales y económicos tienen como referente natural los servicios ambientales que prestan los ecosistemas; por lo cual, una GIRH ambiental, social y económicamente eficiente, debe considerar la integración de todas esas aproximaciones, para complementarse y potenciarse [11].

Actualmente, se reconoce que el funcionamiento natural e integral del sistema fluvial depende de una gran cantidad de variables, determinadas en gran medida por el régimen hidrológico, que modelan el hábitat de las especies y controlan los procesos ecosistémicos [24]. Existen cinco modelos conceptuales o paradigmas que ilustran el fundamento de las relaciones de dichas variables [28]. El paradigma del régimen hidrológico natural es uno de ellos, y plantea que para que un río se mantenga sano, resiliente y productivo hay que manejarlo dentro de su rango de variabilidad hidrológica natural, para sostener la biodiversidad y la integridad de los ecosistemas acuáticos [1].

Dentro de este modelo conceptual, se argumenta que el régimen hidrológico juega un papel crítico en el mantenimiento de la integridad del ecosistema. Por lo tanto, el caudal está fuertemente correlacionado con muchas características físico-químicas críticas de los ríos, y puede considerarse la variable principal que limita la distribución y abundancia de las especies fluviales. Presenta a su vez, que cinco componentes del régimen hidrológico impactan sobre la regulación de los procesos ecológicos: magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasa de cambio de las condiciones hidrológicas. Estos componentes se pueden utilizar para caracterizar toda la gama de caudales y fenómenos hidrológicos específicos, como crecidas o caudales bajos, que son fundamentales para la integridad de ecosistemas fluviales [1]. En la figura 2.1 se presenta un esquema conceptual, mostrando los componentes y relaciones del paradigma del régimen natural.

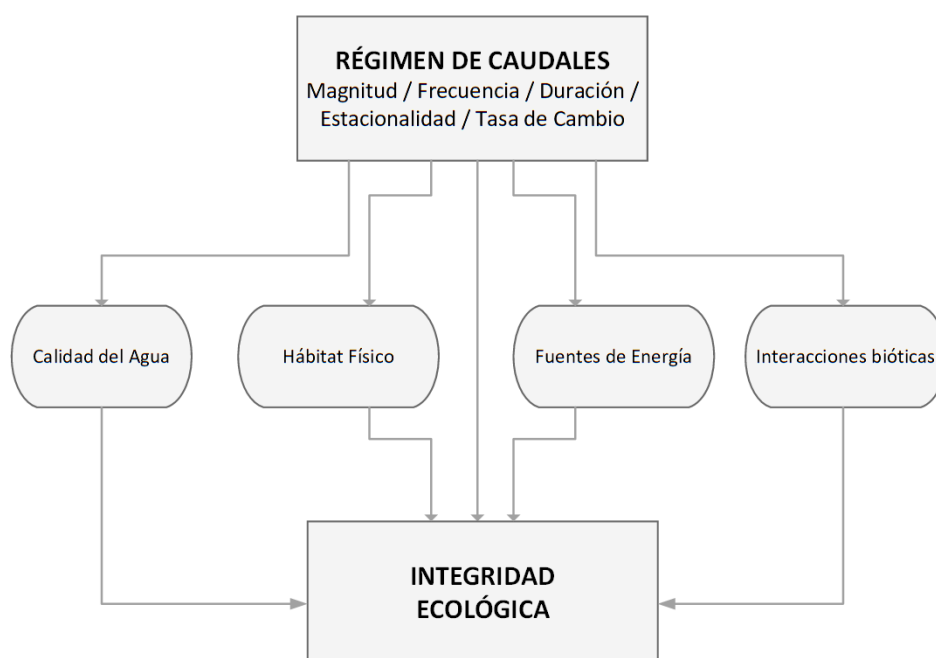


Figura 2.1: Esquema conceptual de la influencia directa e indirecta de los cinco componentes principales del régimen hidrológico natural [1].

Teniendo en cuenta que las obras antrópicas sobre los cursos pueden alterar los regímenes de flujo, modificar la forma del río o separar los cauces de sus planicies de inundación, tienden entonces a modificar los procesos ecológicos y morfológicos naturales y su régimen en general. Esto puede resultar en un ecosistema homogéneo en el espacio, que no puede proporcionar características de hábitat variadas para que exista una amplia biodiversidad, y disminuir sus servicios ecosistémicos. Por lo tanto, es importante mantener la estructura y función de los ecosistemas fluviales, mediante herramientas que brinda la GIRH y así minimizar los impactos producidos a partir de la utilización de estos recursos [24].

Los caudales ambientales como herramienta de la GIRH aportan elementos para

responder a algunas de las preguntas que surgen al abordar el uso sustentable de los recursos hídricos. Además, contribuye a lograr las condiciones para generar una adecuada implementación de la normativa, debido a que requiere de acuerdos entre usuarios y de instancias de participación social. El desafío de determinar cuánto del régimen hidrológico puede ser alterado sin comprometer la salud y los servicios de los ecosistemas implica establecer límites de sustentabilidad en un marco de decisión tanto socio-político como científico [24].

A su vez, como se menciona anteriormente, no basta con fijar un único valor de caudal mínimo que debe ser mantenido en el río, sino que también debe considerarse su régimen de variación interanual e incluso espacial. En este sentido, el RAC establece cuánto del régimen hidrológico natural de un río debería seguir fluyendo aguas abajo y hacia la planicie de inundación para mantener los valores característicos del ecosistema [24]. La determinación del RAC, en una cuenca, sirve de instrumento para lograr la gestión sostenible del recurso hídrico y las funciones ecosistémicas, en el marco de la GIRH, aportando elementos para contribuir a resolver el reto de revertir la degradación de los ecosistemas y satisfacer las mayores demandas de sus servicios [11].

A lo largo de estos últimos años, no han sido pocos los países que han desarrollado marcos jurídicos adecuados y pertinentes para incorporar el concepto de caudales ambientales a la gestión de los recursos hídricos nacionales y a aquellos compartidos con los países limítrofes. Del análisis de estas normativas, se puede apreciar que existe una marcada tendencia a regular los recursos hídricos desde una óptica territorial y ecosistémica desde una visión de la GIRH centrado en la regulación de los usos y el aprovechamiento, la calidad del recurso, y la función de la sociedad en la regulación y la gestión, entre otras. En este mismo sentido, son tenidas en cuenta las obligaciones mundiales y regionales asumidas por los países, a través de la ratificación de los tratados internacionales que regulan los recursos hídricos que se refieren al uso sustentable y a la conservación del agua y de los ambientes acuáticos, en los cuales la cuenca hidrográfica constituye la unidad de gestión para la GIRH [24].

2.2. Metodologías

Existe una gran cantidad de metodologías para determinar caudales ambientales, las que presentan limitaciones y ventajas. Se han realizado recopilaciones de más de 200 metodologías utilizadas en 50 países. Entre éstos destacan los Métodos Hidrológicos (29,5%), Hidráulicos (11,1%), Simulación del Hábitat Físico (28,0%), Métodos combinados de los anteriores y otras aproximaciones (23,7%); y Holísticos (7,7%) [23].

Las diferencias en los métodos no implican necesariamente que unos sean mejores que otros, ya que la idoneidad de su implementación depende de diversos factores. Debido a esta diversidad de metodologías, la elección del procedimiento más adecuado

para determinar caudales ambientales no es sencilla y depende de las características del sistema fluvial, de la información existente en el cauce a intervenir, del nivel de alteración hidrológica o incluso del nivel de controversia que puede causar en la comunidad su determinación. En este sentido, cobran relevancia los criterios para la elección del método más adecuado y su aplicación en la evaluación de impacto ambiental de proyectos que pueden alterar los recursos hídricos [23].

Los métodos hidrológicos son estimaciones simples del caudal mínimo que debería dejarse circular por el cuerpo de agua, para mantener el hábitat, y constituyen el enfoque más simplificado para la estimación de los caudales ambientales. Se basan exclusivamente en el análisis de series temporales de caudales naturales, tratándose de distintas formas mediante análisis estadístico [29].

Los métodos desarrollados son sencillos, versátiles, fáciles y rápidos de aplicar, y poco costosos. Por ello, son considerados como métodos apropiados en la evaluación y planificación de actuaciones basadas en la utilización de recursos hídricos, donde deberían aplicarse como base para la determinación de objetivos preliminares y para la selección de métodos apropiados [28]. Por otro lado, como principal desventaja, se puede mencionar que en la mayoría de los métodos hace falta introducir aspectos biológicos y geomorfológicos del cauce, lo cual puede conducir a que se propongan caudales mínimos invariables en el tiempo, excesivos o insuficientes para el ecosistema [11].

En segundo lugar en los métodos hidráulicos, el caudal ambiental se deduce de la relación entre algún parámetro hidráulico normalmente velocidad del flujo, perímetro mojado o profundidad, y el caudal. De esta forma se admite que el mantenimiento de un valor mínimo de una de estas variables, permite el sostenimiento de la integridad del ecosistema [29].

Frente a los métodos hidrológicos, su ventaja es la utilización de criterios ecológicos, aunque esto suponga un ligero aumento en los costos, pero aún así los métodos son relativamente fáciles y rápidos de aplicar. Entre sus desventajas se debe mencionar que supone que una única variable hidráulica o un grupo de ellas pueden representar adecuadamente las necesidades de caudal de la especie a conservar, y requiere la localización de secciones transversales que sean representativas de todo el ecosistema fluvial [11].

En cuanto al enfoque hidrobiológico o de simulación de hábitats, implica una cuantificación previa del hábitat físico (cantidad e idoneidad) de una especie de referencia o especie objetivo y del análisis de su relación con el caudal mediante simulación hidráulica. Este enfoque solo admite aplicaciones a tramos concretos de ríos y tienen el inconveniente de obtener distintos valores de caudales ambientales para cada especie y estadio [29].

El punto de partida para su aplicación es obtener una exhaustiva cantidad de información sobre un estado inicial de referencia en el que se estudia el comportamiento

de la especie o grupo de especies que interese, en relación con las características totales de su medio. El requerimiento de información de este enfoque es moderadamente alto, incluye series históricas de caudal, variables hidráulicas de múltiples secciones transversales, e información de disponibilidad de hábitat de varias especies de la biota acuática [11]. Los métodos hidrobiológicos poseen además una mayor resolución, complejidad y fiabilidad que las anteriores, y una gran flexibilidad en la definición de los caudales ambientales [29].

Por último, el enfoque holístico no es un método de cálculo en sí, es más un procedimiento o protocolo con el que deducir el caudal de mantenimiento, a partir de un análisis independiente de la magnitud y distribución del caudal que necesitan los diferentes componentes del ecosistema fluvial objetivo; ya sean aspectos abióticos, ecológicos, perceptuales (paisaje), socioeconómicos o todos en conjunto. La buena resolución de sus resultados y su flexibilidad hacen que sean apropiados para ser utilizados cursos de gran importancia estratégica o de conservación. En la práctica su aplicación puede ser compleja, en función de la heterogeneidad de los resultados parciales obtenidos para cada componente considerado [29].

Estos enfoques, son esencialmente interdisciplinarios, donde cada especialista aplica las metodologías específicas para entender la relación entre el régimen hidrológico y los componentes del ecosistema, pero luego interactúa con otros especialistas para relacionar variables entre sí, sus interacciones con el régimen hidrológico y los efectos de las modificaciones en dicho régimen. El resultado es una descripción de un régimen hidrológico necesario para mantener determinada condición del ecosistema [29].

Capítulo 3

Normativa y Antecedentes

La normativa, si bien resulta un elemento de facilitación importante para apoyar la inserción del concepto de caudales ambientales en las políticas de los países, es el reflejo de los objetivos ambientales que estos se proponen; objetivos que son variables en tiempo y espacio y deben ajustarse a la dinámica de los procesos. Es por ello que la legislación que se desarrolle en cada caso, debe al tiempo que normar sobre los principios fundamentales que la política impulse, disponer de criterios de flexibilidad y adaptación que haga la regla aplicable y reúna las aspiraciones sociales con las demandas de la naturaleza. A su vez, esa normativa sólo será de utilidad si cuenta con estructuras de gestión capaces y capacitadas para llevarlas a cabo, contando para ello con los recursos necesarios y una sostenibilidad en el tiempo que le permita desarrollar un proceso virtuoso de aprendizaje a partir de la propia práctica [25].

En este capítulo, se revisarán las normativas y antecedentes, centrados en la temática de caudal ambiental, presentes en algunos países de la región latinoamericana y finalmente haciendo hincapié a nivel nacional y provincial. Se incluye además, en estos últimos aquella normativa aplicable al caso de estudio del presente trabajo.

3.1. Internacional - Latinoamérica

En Latinoamérica, las políticas públicas en materia ambiental se remontan a la segunda mitad del siglo XX. A partir de ello, los países reconocen la necesidad de preservar la calidad del medio ambiente, proteger la salud humana y garantizar un uso racional de los recursos naturales en la búsqueda de un equilibrio con la expansión económica y así promover el desarrollo sostenible. Su importancia en la consideración de los marcos jurídicos de los países de la región hizo que fuese mencionado expresamente en la aquellas constituciones que tuvieron reformas en las últimas décadas; como son los casos de Ecuador, Chile, Argentina, entre otros [25].

El rango constitucional que el ambiente ha merecido se refleja en estructuras de

gestión encargadas de llevar a la práctica las definiciones de políticas guiada por los textos constitucionales. De este modo, en prácticamente todos los países de la región, se han sancionado leyes y creado organismos cuyos objetivos, misiones y funciones están en línea con el mandato constitucional del reconocimiento del ambiente como un actor relevante para el logro de un desarrollo sostenible [25].

Por su parte, el agua ha sido desde el comienzo de los tiempos sinónimo de vida y de desarrollo, y así las políticas públicas relacionadas con este aspecto, por lo general preceden a las de carácter ambiental. El agua considerada como un recurso, ha sido motor de crecimiento y de mejora de la calidad de vida de las poblaciones. Por ello no es de extrañar que su participación en las estructuras institucionales de los países ha estado mucho más ligado al desarrollo de la infraestructura o el riego, que a su consideración como elemento clave del sostenimiento del sistema natural [25].

En cuanto a las legislaciones relacionadas directa o indirectamente a la temática de caudales ambientales, remite inequívocamente a normativas de carácter ambiental que conviven y se interrelacionan con leyes que norman la gestión del agua, creándose incluso estructuras gubernamentales que se vinculan al tema desde ambas ramas de la normativa. El grado de especificidad con que las normativas vigentes enfocan el problema es sumamente variado. Se pueden encontrar entonces, estructuras de gestión encuadradas en organismos de ambiente, donde se presentan normativas más abiertas, que permiten adecuar procedimientos y metodologías a los objetivos ambientales que se persiguen, evitando el establecimiento de protocolos rígidos que se pretendan imponer de forma generalizada. Por su parte también, se tienen normativas más rígidas y con parámetros más estandarizados, que responden en general a organismos de gestión vinculados al aprovechamiento del recurso. En síntesis, la problemática de los caudales ambientales, si bien de manera incipiente y con muy diferente grado de profundidad, se ha ido incorporando en la normativa en muchos de los países de América Latina. Los enfoques dados al tema resultan diferentes según el ámbito de pertenencia de los organismos de gestión correspondientes y los antecedentes presentes en cada país [25].

3.1.1. Chile

La normativa chilena cuenta con un Código de Aguas desde 1981, y en 2005 sufre una modificación mediante la ley n° 20.017. En el artículo 129 bis de la ley anterior, se señala que la Dirección General de la Calidad Ambiental (DGA), será la institución con atribuciones para preservar la naturaleza y el medio ambiente mediante el establecimiento de un caudal ecológico mínimo. Este no podrá ser superior al veinte por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial; exceptuando a casos calificados, donde se podrán fijar caudales ecológicos mínimos diferentes, no superiores al cuarenta por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial [30].

Además, la DGA posee un “Manual de Norma y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos”, donde se propone mantener actualizados los criterios que utilizan luego de las modificaciones introducidas al Código de Aguas, la experiencia recogida a través de la resolución de problemas asociados a este cambio, y entrega instrucciones respecto a los caudales ecológicos [25].

Asimismo, cuenta con una resolución y dos decretos ampliando y realizando ajustes a las instrucciones y determinación de caudales ecológicos, planteando variaciones estacionales y casos particulares [31]. Por último, se adhieren nuevas institucionalidades ambientales en el país, como el Ministerio del Medio Ambiente, una Superintendencia del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y el Servicio Nacional de Pesca, que tienen atribuciones sobre el caudal ecológico, en el sentido de emitir recomendaciones sobre el valor del caudal ecológico según el servicio ecosistémico de competencia [25].

3.1.2. Colombia

En el caso de Colombia, no cuenta con una normativa concreta en cuanto a caudal ambiental, sin embargo, sí se encuentra explicitado el concepto dentro del decreto 50 de 2018, que resulta del ejercicio de atribuciones del decreto - ley n° 2811 [32]. En dicha normativa se sanciona el código nacional de recursos naturales renovables, y sienta precedentes en cuanto al derecho de uso de las aguas, dentro de los que se encuentran las concesiones, sujetas a las disponibilidades del recurso y a las necesidades que imponga el objeto por el cual se destina. Establece de una manera muy general la facultad del gobierno nacional de reservar aguas de una o varias corrientes o parte de dichas aguas, sin establecer una finalidad específica y un procedimiento especial [11].

Por otro lado, es relevante mencionar que a partir de la ley n° 9 se regula la distribución de competencias del marco institucional colombiano, y se crea el Ministerio de Medio Ambiente [11]. Aunque no se encuentre ninguna norma con respecto al cálculo de caudales ambientales, el ministerio nombrado anteriormente posee una publicación denominada “Metodología para estimación y evaluación del caudal ambiental”, asociada únicamente a proyectos que requieren licencia ambiental [33].

3.1.3. Costa Rica

En un principio, Costa Rica consta de la ley n° 276 de 1942, donde se otorga al ministerio de ambiente, energía y mares la potestad para disponer y resolver en el Estado sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia de las aguas y los vasos que las contienen [34].

En el año 1991, se implementó en el país, la metodología de cálculo del caudal ambiental, la cual consiste en aplicar un porcentaje al caudal aforado en la fuente de

agua y ese porcentaje asignarlo como cuota para uso de los ecosistemas asociados. Para los proyectos hidroeléctricos, ese porcentaje puede variar desde un 5 % hasta un 10 % del promedio anual, según las condiciones de los cuerpos de agua. Para el caso de concesiones aprovechadas en otros usos, el porcentaje aplicado al caudal aforado es de un 10 %, esto con el propósito de mantener los ecosistemas propios de los cuerpos de agua y de mantener la dinámica natural con la mínima afectación [35].

Luego el año 2015, se implementó el Plan Sectorial de Energía (PSE), donde en uno de sus ejes se incluye la revisión de la normativa legal vigente y el análisis de los criterios y métodos aplicados en la asignación de caudales de ambientales. En respuesta a este, se realiza una guía de selección de metodologías para la estimación del caudal ambiental en Costa Rica, donde se incluye un resumen de metodologías para el cálculo de caudales ambientales y mediante un sistema de puntajes se recomienda una metodología. Según el caso de estudio, se tienen en cuenta las siguientes variables para el cálculo de puntajes: tipo de cauce, ubicación en la cuenca, caudal solicitado $\frac{l}{s}$, obra en cauce, tipo de consumo, sistema de reuso de agua, conflicto de uso, afectación sobre los ecosistemas frágiles y nivel de amenaza de eventos extremos secos por cantones. Esta guía se utilizó de base para presentar un decreto para la metodología de cálculo de caudal ambiental [35].

3.1.4. México

En el caso de México, el caudal ecológico está contemplado en la ley de Aguas Nacionales como “uso ambiental” o “uso para conservación ecológica”; este concepto fue introducido en la modificación realizada en el año 2004 de la misma. Esta incluye además, el concepto de GIRH como prioridad y asunto de seguridad nacional y establece como unidad de reglamentación la cuenca hidrológica [36].

A partir de la normativa citada anteriormente y los trabajos experimentales realizados en relación al caudal ecológico, se redacta un procedimiento para la determinación del caudal ecológico. Este procedimiento, conocido como “Norma Mexicana PROY-NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas”, tiene como objetivo establecer el procedimiento y especificaciones técnicas para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales en una cuenca hidrológica [25].

Esta norma incluye, en primer lugar, una orientación en cuanto a metodología de cálculo según la importancia ecológica y la presión de uso. Luego, según las clasificaciones de las metodologías hidrológicas, hidráulicas, hidrobiológicas y holísticas, se establecen procedimientos para la selección del régimen ambiental ecológico. Por último, contiene una recopilación de los objetivos ambientales para todas las cuencas hidrológicas de México, un instrumento utilizado para orientar la estimación de cau-

dales ecológicos, y que concilia la importancia ecológica de una cuenca y su presión de uso [37].

3.2. Nacional

En el caso de Argentina, no existe una legislación específica que regule la estimación e implementación de caudales ambientales. Esto puede verse influenciado principalmente por las complicaciones derivadas de la presencia de distintos niveles jurisdiccionales que aplican, y la forma federal en la que se encuentran gestionados los recursos hídricos en el país. Sin embargo, hay un nutrido marco jurídico a nivel nacional y subnacional que constituye un ambiente facilitador para avanzar en políticas que tiendan a su inserción en la gestión de los recursos hídricos y materia ambiental [25].

A continuación, se describen en primer lugar las legislaciones relacionadas indirectamente con la temática, centradas en el cuidado del ambiente, y luego aquellas centradas en la gestión de recursos hídricos.

3.2.1. Legislación Ambiental

Como se mencionó anteriormente, la reforma de la Constitución Nacional en el año 1994 contempla expresamente la protección del ambiente, en su artículo 41. Inicialmente establece que el ambiente debe respetar las cualidades de sano y equilibrado, características que contribuyen a definir lo que el ambiente debe necesariamente tener para proporcionar una adecuada calidad de vida. Asimismo, se incorpora el concepto de desarrollo sostenible disponiendo que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin perjudicar las de las generaciones futura, incluyendo también el correlativo deber de preservarlo. La reforma introduce la obligación de reparar el daño causado como una prioridad, en cuanto a la restauración del ambiente a su anterior estado [38].

Por último, atribuye a las autoridades la responsabilidad de desarrollar estrategias e implementar políticas a través de planificación y programación para organizar el consumo de recursos y evitar la sobre explotación, con criterios de eficiencia y producción más limpia. Imponiendo además, un nuevo esquema de distribución de competencias para la protección del ambiente, para asegurar un piso común y uniforme se establece que la Nación dictará normas de presupuestos mínimos y que las provincias podrán, sobre esa base mínima o legislación básica, dictar normas complementarias [38].

A partir de los lineamientos establecidos en el artículo descripto anteriormente, se sientan las bases para las legislaciones de presupuestos mínimos, fundamentales para el derecho ambiental en el país. Se entiende entonces por presupuesto mínimo, a toda norma que concede una tutela ambiental uniforme o común para todo el territorio

nacional, y tiene por objeto imponer condiciones necesarias para asegurar la protección ambiental. En su contenido, debe prever las condiciones necesarias para garantizar la dinámica de los sistemas ecológicos, mantener su capacidad de carga y, en general, asegurar la preservación ambiental y el desarrollo sustentable [38].

Según lo dispuesto por la Constitución Nacional, será el Congreso de la Nación el órgano que determinará cuáles son las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, dejando a las provincias el dictado de las normas complementarias. Esas normas nacionales deberán contener principios y directrices para la regulación de la relación ambiental, que se consideren fundamentales para garantizar una base jurídica en todo el territorio nacional. Las autoridades provinciales toman como base mandatoria las leyes nacionales de presupuestos mínimos, teniendo por su parte, facultades normativas para complementar las leyes de presupuestos mínimos de protección ambiental y para dictar los reglamentos que sean necesarios para la ejecución tanto de las leyes nacionales de presupuestos mínimos como de las respectivas normas complementarias. Entendiendo que, para el caso que existan normas locales menos restrictivas que una ley de presupuestos mínimos, aquéllas deberán adecuarse a ésta [38].

De estas leyes es relevante nombrar la ley n° 25675, ley General del Ambiente, que establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Dentro de los instrumentos determinados por la ley, se encuentra la reglamentación de la evaluación de impacto ambiental [39]. También, dentro de esta clasificación, se encuentra la ley n° 25688 de “Régimen de Gestión Ambiental de las Aguas”, que se describe más adelante.

3.2.2. Legislación de Gestión de Recursos Hídricos

El entorno institucional multinivel para la provisión de servicios de agua y la gestión de los recursos hídricos en Argentina tiene sus raíces en las decisiones de políticas y reformas de los años ochenta y noventa. En 1980, la provisión de servicios de agua potable y saneamiento fue transferida a las provincias, con la descentralización de la empresa estatal Obras Sanitarias de la Nación (OSN). En 1994, Argentina se sometió a una reforma constitucional que introdujo una disposición ambiental (artículo 124) que reconoce el derecho histórico según el cual los recursos hídricos son propiedad de las 23 provincias y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, incluidos los ríos interjurisdiccionales, y por el que también son responsables de la prestación de servicios [26].

Entre 1991 y 2002, un total de 13 provincias privatizaron la gestión de los servicios de agua, lo que requirió el desarrollo a nivel provincial de marcos regulatorios, así como el establecimiento de reguladores económicos especializados. Sin embargo, la crisis económica de 2001-02, llevó a la terminación de la mayoría de los contratos de concesión

de servicios de agua administrados por compañías multinacionales [26].

Luego, en 2002 se aprobó la ley 25.688 “Régimen de Gestión Ambiental de las Aguas”, con importantes consecuencias en la gestión de los recursos hídricos. Esta ley estableció requisitos mínimos a nivel nacional para la protección ambiental de los recursos hídricos, y también declaró la necesidad de establecer comités para promover la gestión ambiental sostenible de las cuencas interjurisdiccionales. La ley recibió muchas críticas por parte de la mayoría de las autoridades provinciales del agua, alegando que interfería con poderes legales provinciales, como la gestión de los recursos naturales, el desarrollo de instituciones locales o de cuencas, o la planificación, uso y gestión del agua. Las autoridades provinciales buscaron sin éxito que la ley fuera declarada inconstitucional [26].

En 2003 las 23 provincias, la ciudad de Buenos Aires y el Gobierno Nacional firmaron un Acuerdo Federal del Agua, que sentó las bases de una política nacional del agua con un fuerte enfoque en la gestión de los recursos (más que en los servicios). Un total de 49 Principios Rectores reconocieron el valor del agua como un recurso social y ambiental, respetando la importancia histórica de cada jurisdicción y buscando conciliar los intereses locales, provinciales y nacionales. Los Principios cubren temas relacionados con el ciclo del agua, el ambiente, la sociedad, la gestión, las instituciones, el derecho, o la economía, entre otros. Definen la cuenca como escala adecuada para planificar y gestionar los recursos hídricos y exigen una planificación a largo plazo. A raíz del Acuerdo Federal del Agua, todas las provincias que no tenían leyes sobre el agua, gradualmente sancionaron su propia legislación [26].

El hito más reciente en la política del agua en Argentina fue la aprobación del Plan Nacional del Agua (PNA) por el Gobierno Nacional en 2016. El PNA estableció objetivos ambiciosos para enfrentar algunos de los riesgos hídricos más apremiantes del país y colocar la temática del agua en el centro del discurso económico y de desarrollo social. Para 2023, el PNA establece el objetivo de llevar la cobertura urbana de suministro de agua potable al 100 % y las conexiones de alcantarillado al 75 %. El PNA también tiene como objetivo aumentar la protección contra inundaciones y sequías a través de acciones estratégicas que combinan las infraestructuras duras, como la construcción de infraestructura de protección contra inundaciones en las ciudades o el aumento del número de represas, con mejores sistemas de información y alerta temprana [26].

3.3. Provincial

A nivel provincial, se pueden encontrar ejemplos de legislación específica acerca de caudales ambientales. Sin embargo, en el caso de la provincia de Río Negro, no se cuenta con normativa específica. En consecuencia en esta sección se enumeran las legislaciones específicas por provincia, y luego, aquellas normativas de la provincia de

Río Negro aplicables al caso de estudio. Luego, en la siguiente sección se describen dos antecedentes de aplicación que resultan relevantes como casos de aplicación.

3.3.1. Tierra del Fuego

En primer lugar, con respecto a Tierra del Fuego, se cuenta con la ley n° 1126, una ley marco de gestión integral de los recursos hídricos. Inicialmente, establece que la autoridad de aplicación tiene a su cargo un Inventario o Catastro que registra la cantidad, calidad y ubicación de los recursos hídricos de la provincia y contemplando a su vez, el registro de caudales máximos, medios y mínimos correspondientes, determinando también caudales ecológicos y ambientales de cursos según defina mediante reglamentación. En el caso de las concesiones, se indica que el uso del recurso sólo puede autorizarse cuando no se comprometa el caudal ecológico y ambiental determinado para la fuente de agua de acuerdo al criterio establecido mediante reglamentación. [40].

Se debe destacar que se trata de la primera normativa en Argentina en incluir una definición de caudal ecológico. Este se describe como aquel caudal capaz de mantener el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que ese cauce contiene en condiciones naturales; el caudal mínimo que debe mantenerse en un curso fluvial al utilizar agua para distintos fines o construir una presa, en la captación o derivación, de forma que no se alteren las condiciones naturales y se garantice el desarrollo de una vida fluvial igual a la que existía anteriormente. De esta forma, se considera que es el agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce del mismo, como: los hábitats naturales que cobijan una riqueza de flora y fauna las funciones ambientales como dilución de contaminantes, amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos, preservación de paisajes [40].

3.3.2. Jujuy

En este caso, en el año 1998, se sanciona la ley provincial n° 5063, denominada Ley General de Medio Ambiente. En su artículo 88, inciso < I > se dictamina que: “Para la prevención y control de la contaminación del agua corresponde al Poder Ejecutivo Provincial, fijar los caudales mínimos ecológicos que deberán conservarse en cada curso de agua natural” [39].

3.3.3. Salta

La Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la provincia de Salta, en su tratado para el “Desarrollo integrado y sustentable de la cuenca del Río Bermejo: uno de los mega proyectos del país”, menciona la creación de la Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE), según ley provincial n° 22697, y define el caudal ecológico

para las Juntas de San Antonio (confluencia de los ríos Bermejo y Tarija) de $12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ [25].

3.3.4. Misiones

En la ley XVI n° 15, de la provincia de Misiones de regulación de los recursos hídricos pertenecientes al dominio público, se establece en el artículo 41 que la Autoridad de Aplicación fija, por zonas o por cuencas, las dotaciones mínimas y máximas para los distintos usos. Se dispone que en todos los casos debe permitirse la circulación en el curso de agua de al menos 30 % del caudal módulo o del caudal afluente, el que sea menor y las oscilaciones de caudal provocadas en un período de tiempo de veinticuatro horas deben mantenerse dentro del rango de cinco veces el caudal mínimo del período considerado [41].

3.3.5. Santa Fe

En el caso de la provincia de Santa Fe en el artículo 9 de la ley de aguas de la provincia, n° 13740, describe los lineamientos que definen la política hídrica provincial. Entre estos se establece, “Conservar y proteger los ciclos hidrológicos, las reservas naturales de aguas, los usos ambientales y los caudales ecológicos”. Sin embargo, no se retoma el concepto en el cuerpo de la ley, aunque se sienten precedentes de regulaciones en las concesiones y usos del agua [42]

3.3.6. Fallo Río Atuel

La Corte Suprema de Argentina, intervino en la causa CSJ 243/2014 (50-L)/CS1 “La Pampa, Provincia de c/ Mendoza, Provincia de s/ uso de aguas” (Provincia de La Pampa, contra Provincia de Mendoza, sobre uso de aguas), para la resolución del conflicto entre las provincias de Mendoza y La Pampa, por la utilización de las aguas del río interprovincial Atuel y los impactos producidos en el ambiente del noroeste de La Pampa por la falta de escurrimiento del río en este territorio [43].

En un fallo histórico, que comenzó a dar forma a la solución del conflicto que viene ocurriendo desde hace más de 70 años, se ordenó en 2017 que las provincias involucradas asignaran, dentro de 30 días, el flujo de agua del río Atuel para permitir la restauración del ecosistema que había sido afectado por las presas de Los Nihuales [44]. En el fallo, se ordena que las dos provincias, junto con el gobierno nacional, presentaran un plan de trabajo para la asignación de las aguas del río Atuel, con un plazo de 120 días para presentarlo. Sin embargo, vencido el plazo, las partes no llegaron a una solución consensuada en cuanto a la fijación de un caudal hídrico apto para la recomposición del ecosistema afectado [43].

En tales condiciones, en 2020, la corte realiza una nueva intervención en la cual fija como meta interina un caudal mínimo permanente del río Atuel en el límite entre La Pampa y Mendoza. Previamente, ambas provincias mediante distintas metodologías, propusieron caudales mínimos, sin poder consensuar. Por un lado, la provincia de La Pampa aplicando un método holístico propone el caudal mínimo de $4,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$. Los representantes de Mendoza, por su parte, sostuvieron que, según la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), los métodos hidrológicos son los más utilizados mundialmente, y agregaron que el plazo fijado por el Tribunal -ya vencido- no permitía aplicar el método holístico para el cálculo del caudal hídrico apto y no convalidaron la propuesta enunciada por La Pampa. El caudal mínimo propuesto por su parte fue de $1,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ [43].

Finalmente, la Corte fija como caudal mínimo permanente el recomendado por el Instituto Nacional del Agua (INA). La Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación, tomando como base el trabajo realizado por el INA desde una perspectiva hidrológica, mediante una tarea estadística y como promedio de los resultados obtenidos con los diferentes métodos, estima un “valor mínimo de referencia” de $3,2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, que se podría alcanzar una vez que se realizaran una serie de obras e inversiones, que detalla, con un plazo de desarrollo. Destaca que esta propuesta es intermedia entre las que han hecho las provincias [43].

3.3.7. Río Negro

Por último, como se mencionó anteriormente, en vista de que Río Negro no posee legislación específica en cuanto a los caudales ambientales, se enumeran aquellas normas aplicables al caso de estudio.

- Ley n° 2952, Código de Aguas: este constituye un cuerpo único ordenado que involucra la tutela y administración de las aguas públicas y su uso por los particulares; el servicio de riego y drenaje; el servicio de agua potable y desagües cloacales; la ejecución de obras públicas de saneamiento e hidráulicas y los aspectos ambientales de protección y conservación de los recursos hídricos. Asimismo, establece al Departamento Provincial de Aguas (DPA), como autoridad de aplicación y tendrá a su cargo, a los fines de proveer en todo lo relativo a la tutela, gobierno, administración y policía de los recursos hídricos provinciales, así como a la regulación de su uso y goce y la prevención contra sus efectos nocivos [45].
- Ley n° 3183: en esta ley se aprueba el marco regulatorio para la prestación de los servicios de agua potable, desagües cloacales, riego y drenaje en la Provincia de Río Negro, será complementario de las prescripciones del Código de Aguas [46].

- Ley n° 3184: se faculta al Poder Ejecutivo a crear una Sociedad del Estado denominada “Aguas Rionegrinas”, que tuvo por objeto fundamental la prestación directa de los servicios sanitarios, quedando el DPA como Ente Regulador [47].
- Ley n° 3309: se autoriza al Poder Ejecutivo a constituir una Sociedad Anónima, la cual se denominó “Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima”(ARSA) y a la que se transfirió el contrato de concesión suscripto a Aguas Rionegrinas Sociedad del Estado [48].
- Ley n° 3266, Evaluación de Impacto Ambiental: la presente ley tiene por objeto regular el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental como instituto necesario para la conservación del ambiente en todo el territorio de la provincia a los fines de resguardar los recursos naturales dentro de un esquema de desarrollo sustentable. Entre los principios definidos en la norma, se establece que el uso y aprovechamiento del ambiente y de los recursos naturales debe ser realizado de forma tal de no producir consecuencias dañosas para las generaciones presentes y futuras. Asimismo indica que los ecosistemas y sus elementos integrantes deben ser utilizados de un modo integral, armónico y equilibrado, teniendo en cuenta la interrelación e interdependencia de sus factores y asegurando un desarrollo óptimo y sustentable [49].

3.4. Antecedentes

Para concluir este capítulo, en esta sección se describen dos antecedentes de casos de aplicación de caudal ambiental en dos provincias argentinas. Ambos casos, se encuentran relacionados a proyectos de gran magnitud a nivel nacional, y sus evaluaciones de caudal ambiental asociadas, son de gran relevancia para el estudio de la materia de caudales ambientales en Argentina.

3.4.1. Mendoza

En la provincia de Mendoza, se cuenta con un antecedente asociado a la propuesta del Proyecto Aprovechamiento Multipropósito Portezuelo del Viento (AMPDV). Este tiene como objetivo principal la utilización del recurso hídrico superficial mediante la regulación de los caudales que escurren por el cauce del río Grande, y sistemas hídricos asociados, enfocado a provisión de agua a las poblaciones; el riego; la atenuación de crecidas; y la generación hidroeléctrica. El proyecto comprende la construcción de una presa y central hidroeléctrica sobre el río Grande, ubicadas a 20 km al oeste de la localidad de Bardas Blancas, en el departamento de Malargüe, al sur de la provincia de Mendoza; y generaría una energía de 887 GWh anuales [50].

Dentro del estudio de impacto ambiental del proyecto, se incluye una primera aproximación al análisis de caudal ambiental. Este es realizado a partir de siete métodos de enfoque hidrológico, desarrollando el cálculo a partir de dos estaciones de medición de la cuenca del Río Colorado; que cuentan con una serie suficientemente extensa para respaldar el cálculo y además se mantienen en condiciones prácticamente naturales, sin embalses que regulen el derrame ni derivaciones importantes que alteren las mediciones. Además, se tiene en cuenta la variabilidad del régimen de caudales y, mediante el Método de Tennant modificado se toman en consideración los caudales presentes durante las épocas de estiaje y de crecidas [51].

Finalmente, para la presentación de resultados, se realiza un análisis comparativo entre los valores resultantes de los diferentes métodos propuestos, se representan hidrogramas de caudales ambientales demostrando así las fortalezas de cada método aplicado. Se concluye entonces, a partir de dichos hidrogramas, que aún para situaciones donde no se consideran usos consuntivos, la operación prevista para portezuelo del viento para condiciones medias, estaría afectando al sistema natural; en tanto no cumple con una adecuada consideración de los elementos del régimen hidrológico que deben componer un RAC [51].

3.4.2. Santa Cruz

En este caso, se tiene como antecedente el estudio de caudal ecológico durante la fase de llenado del proyecto del aprovechamiento hidroeléctrico del río Santa Cruz, localizado en el río homónimo dentro de la provincia de Santa Cruz. La elaboración de este se realiza utilizando el marco metodológico de la aplicación IFIM (“Instream Flow Incremental Methodology”), y el procedimiento optimizado del modelo de hábitat PHABSIM (“Physical Habitat Simulation System”). Este evalúa los efectos de cambios incrementales de caudal en la estructura del cauce y en la disponibilidad de hábitat físico utilizable para los distintos organismos objetivo de la evaluación, combinando modelos hidráulicos y biológicos con datos hidrológicos [52].

El modelaje PHABSIM diseñado para este estudio consta de las siguientes cuatro fases, en las cuales se generan los datos hidráulicos y biológicos de entrada, y se combinan de un modo conveniente enfocado a evaluar el efecto del caudal ecológico mínimo durante el período de llenado:

1. Caracterización del cauce y determinación de los criterios de preferencia de hábitat;
2. Modelaje hidráulico de profundidad (1D) y de velocidad (pseudo-2D);
3. Análisis espacial de la conectividad hidráulica en el cauce para los peces;

4. Obtención de las funciones caudal-hábitat para el conjunto de organismos objetivo (y procesos).

Entonces, en primer lugar, se presenta una línea base de aquellos componentes del medio socioeconómico y natural que pueden ser afectados, también se incluye la caracterización fluvial e hidrológica del sector del río que será afectado durante el llenado de los dos embalses, y se indican los lineamientos para la modelación hidráulica de profundidad (1D) y de velocidad (pseudo-2D) que fundamentará la evaluación de hábitat. Por último, para la aplicación de la metodología, se determina el conjunto de organismos objetivo y se adoptan unas curvas de preferencia biológica de hábitat que han sido desarrolladas en ríos de otros países, pero aplicables para una primera evaluación. Las especies seleccionadas son:

- Macrorinvertebrados: Efemerópteros, Tricópteros, Coleópteros, Plecópteros.
- Perifiton: diatomeas.
- Peces nativos: Puyén chico (*Galaxias maculatus*) y Lamprea (*Geotria australis*).
- Salmónidos: Trucha arco iris (*Onchorynchus mykiss*) y Salmón chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*).

Finalmente, a partir de la primera simulación, se obtiene un caudal ecológico de $250 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, que sería capaz de mantener el 80 % del hábitat usable para los organismos que ocurre durante un estiaje medio. Con esa misma referencia de los estiajes normales naturales, un caudal ecológico mínimo de $188 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ conservaría niveles de hábitat por encima del 60 % de la condición original [52].

Capítulo 4

Caso de Estudio

Este capítulo aborda la descripción del proyecto del caso de estudio de este trabajo, y la línea base, necesarias para la evaluación de caudales ambientales. Se incluye entonces, la descripción del área de influencia del proyecto, los precedentes del mismo, la presentación y análisis de la propuesta. Por último, la descripción de la línea base del área de estudio.

4.1. Proyecto: “Provisión de agua del río Ñirihuau”

4.1.1. Área de Influencia

La ciudad de San Carlos de Bariloche está ubicada hacia el lado occidental de la provincia de Río Negro, y es una de las ciudades argentinas más poblada de los Andes Patagónicos, en la figura 4.1 se puede observar su ubicación. La ciudad se encuentra dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi y limita en su frontera norte con el lago Nahuel Huapi, y hacia el Sur, está delimitada por la Ruta 40 que conduce hacia El Bolsón. Es uno de los principales destinos turísticos de la Patagonia, elegido además por el turismo estudiantil. Esta se convierte entonces, en la actividad económica primordial de la ciudad, contando con importantes centros de esquí y otras actividades destinadas a los viajeros; además constituye un gran polo científico y tecnológico dentro del país [53].

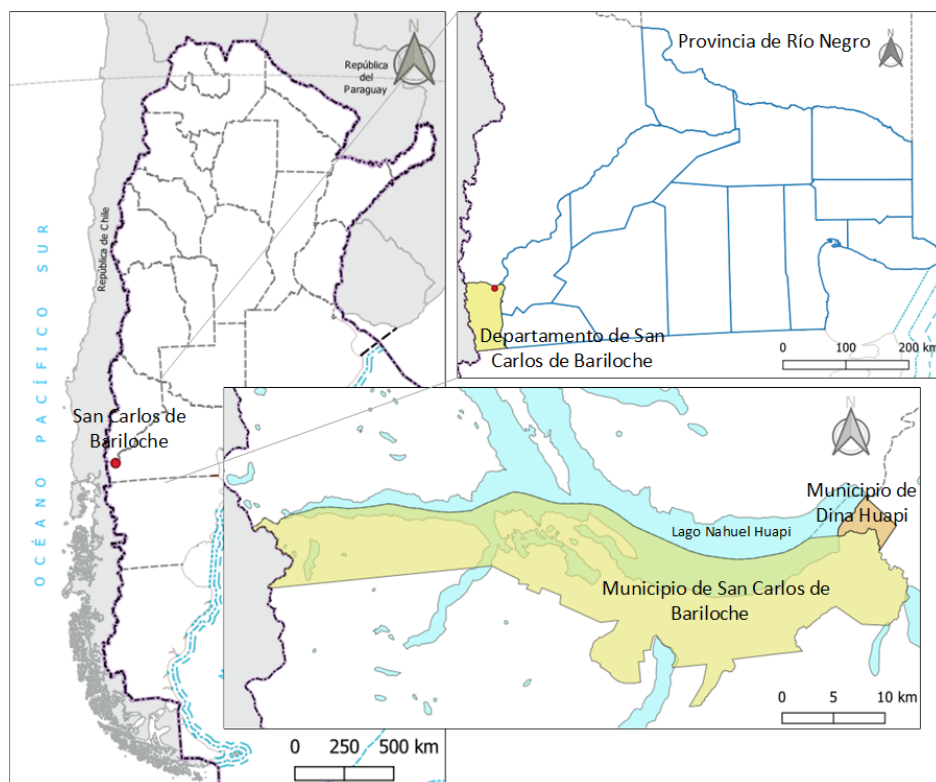


Figura 4.1: Ubicación de San Carlos de Bariloche [Fuente propia].

Precedentes de la ciudad

En la actualidad, la ciudad se encuentra en una sección extendida y heterogénea. Su desarrollo territorial presenta algunos límites geográficos marcados y se da en contigüidad con espacios de alto valor ambiental y con escasa incidencia de la planificación en la ordenación física del espacio urbano y territorial. También, existen dificultades de conectividad y articulación entre los distintos sectores urbanos, muchos de ellos degradados ambientalmente y segregados socialmente, con deficiencias en el transporte público, infraestructura de servicios y escasez de equipamientos y espacio público. Estas problemáticas presentadas se encuentran fuertemente ligadas a la historia y desarrollo de la ciudad [54].

En un principio, en 1902, las divisiones de lotes agrícolas o chacras existentes dibujaron líneas en el territorio que sirvieron de base para los numerosos fraccionamientos realizados a partir de mediados de 1940. De esta manera, loteo y modelo económico agrícola forestal marcaron la impronta de la subdivisión del suelo que permaneció omnipresente y guió el desarrollo urbano del municipio en las décadas siguientes [54].

Luego en 1958, con la llamada Ley Luelmo, se incorporaron al ejido municipal amplias porciones de tierras del Parque Nacional, convirtiendo a la ciudad en uno de los municipios más extensos del país. Posteriormente, en las décadas del 60 y 70 la población se triplica y se duplica la afluencia de turistas, acompañada por la apari-

ción de asentamientos marginales y la ocupación de los barrios del Oeste, donde se adopta un modelo de baja densidad y un alto consumo de suelo. Así, el crecimiento urbano discontinuo, acentuado por las barreras topográficas, resulta una invariante en la configuración de la ciudad [54].

En la actualidad, la ocupación del suelo se ha extendido en virtud de la conectividad existente, la oferta de redes de servicio y equipamiento urbano, así como las condiciones ambientales y paisajísticas del entorno. Esto ha significado una segmentación, con tendencia a la concentración espacial de las desigualdades sociales y económicas [54]. Sólo el 20% de la población habita en el 1% de la superficie “consolidada”, localizada principalmente en el microcentro y en algunos barrios próximos hacia el Oeste. Mientras que el 80% de la población habita en superficies en “vías de consolidación” o directamente “sin consolidar”. Esto significa que, existe una insuficiente prestación de servicios e infraestructura y equipamiento social, lo que determina una marcada interdependencia de estas zonas hacia el centro consolidado [55].

El nivel y eficiencia de las infraestructuras y servicios urbanos, a diferencia de la creencia generalizada, se satisfacen tanto mejor cuanto más densa y compacta es la trama urbana; y de hecho, la condición de ciudad extensa y de baja densidad de San Carlos de Bariloche implica una dificultad para el financiamiento de las obras de infraestructura [54].

Además de propiciar estos patrones de crecimiento disperso, los códigos y ordenanzas urbanísticas vigentes tampoco incorporan medidas de control y atenuación de los impactos derivados de la urbanización. Esto implicó e implica para la Municipalidad una acción correctiva sistémica de dotación de servicios sobre extensas superficies del ejido, lo cual acarrea un alto costo inicial y operativo en relación al número total de contribuyentes servidos. Esta situación afecta directamente a la eficiencia en la dotación y provisión de servicios, a la administración de los recursos públicos y a la autonomía funcional del municipio. No obstante, es también necesario remarcar que la mayor parte de la población se encuentra concentrada en la zona con mejor dotación de servicios [54].

Por último, a partir de las dificultades de planificación y ordenamiento territorial de la ciudad, deriva la principal problemática ambiental. Esta se ve reflejada en el avance de la urbanización sobre espacios naturales que ha generado una progresiva fragmentación de la matriz natural, con la consecuente disminución de la calidad ambiental y aumento de riesgos ambientales como incendios de interfase, degradación de las unidades de vegetación nativa y del recurso hídrico [54].

Crecimiento poblacional

En cuanto al crecimiento poblacional, se podría anticipar que al menos en los últimos quince a veinte años, la ciudad de San Carlos de Bariloche se encuentra transitando un proceso de fuerte crecimiento, no sólo en lo que respecta al aumento poblacional, sino también a la extensión de la mancha urbana, la demanda creciente de bienes y servicios, el surgimiento de problemas vinculados a la movilidad, etc. Este incremento puede verse a través de estadísticas e índices oficiales que superan ampliamente las medias nacionales y están entre los primeros puestos en su comparación con otras localidades patagónicas [55].

La población local ha pasado de 20.000 habitantes en el año 1960 a 110.000 aproximadamente en el año 2010, con un ingreso anual de turistas que supera el medio millón de personas al año. Incluso, tomando como punto de partida la población correspondiente al año 2010, unos 112.887 habitantes y utilizando la estimación de crecimiento poblacional provistas por la Dirección de Estadística y Censos de la provincia de Río Negro, basadas en el INDEC (Instituto Nacional de estadística y censos), para el año 2025 estarían alcanzando unos 147.942 habitantes, lo que daría un aumento del intervalo del 31 % [2]. Se debe tener en cuenta, que en la actualidad se está llevando a cabo el censo correspondiente al año 2020. En la figura 4.2, se muestra un gráfico de crecimiento poblacional para el departamento de Bariloche y el municipio.

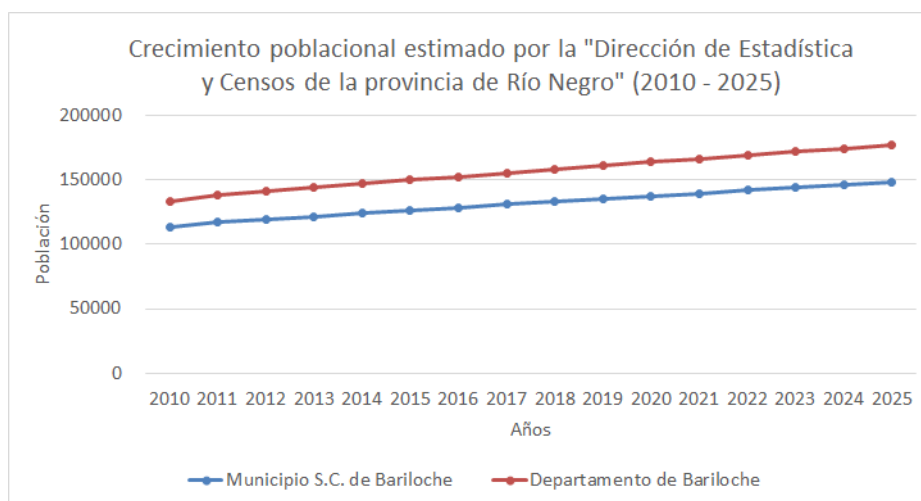


Figura 4.2: Crecimiento poblacional estimado por la “Dirección de Estadística y Censos de la provincia de Río Negro” para el departamento de Bariloche y municipio de San Carlos de Bariloche, desde el año 2010 a 2025 [2].

Con base en estos escenarios de crecimiento poblacional, la continuidad en la forma de ocupación actual del territorio, a través de loteos o fraccionamientos del suelo regidos casi exclusivamente por las variables del mercado, como se mencionó anteriormente, contribuiría a una mancha urbana aún más extendida y fragmentada [54]. Las estimaciones respecto de la superficie afectada por la expansión de la mancha urbana

entre el periodo 2001 al 2010 dan un aumento del 53 %, acompañado de un aumento del consumo del suelo por habitante del 23 %, lo que implicaría una disminución en la densidad poblacional a escala municipal [55].

Por último, la actividad económica que sustenta la ciudad, el turismo, genera una sobrecarga en las infraestructuras de servicio. Entonces, es relevante señalar, que en lo que respecta al arribo de turistas tanto de origen nacional como de origen internacional, vemos que se mantiene relativamente estable entorno a los 700.000, con picos de hasta 800.000, según los resultados de la comparación anual de la Encuesta de Coyuntura Hotelera de la MSCB [55].

Servicio de Agua potable

El recurso hídrico superficial en Río Negro, es un bien público regido por la ley Q n° 2952/94, y su autoridad de aplicación es el DPA. En junio de 1998, se concreta la división entre el DPA y la empresa de Aguas Rionegrinas Sociedad del Estado (ARSE). A partir de esta división, el DPA permanece con tareas de supervisión, mientras que ARSE tiene a su cargo el proyecto y la ejecución de obras y la administración de los servicios de agua potable y riego. Luego, en el año 1999 y a fin de proporcionar mayor flexibilidad en la gestión de la empresa, la Legislatura Provincial autoriza mediante la ley n° 3309 la constitución de Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima (ARSA) con el objeto de prestar el servicio de agua potable concesionados oportunamente a ARSE. En la actualidad, ARSA presta el servicio de agua potable y cloacas a 42 localidades y 32 parajes de la provincia de Río Negro [56].

En cuanto al estado del servicio, en base a los datos proporcionados por el Censo Nacional de Población y Vivienda en 2010, se tiene que la red de aguas cuenta con 94,8 % de hogares cubiertos. Luego, según lo relevado en el Plan de Ordenamiento Territorial del año 2011, sólo el 15 % de la superficie de manzanas del ejido tiene una opción de servicios muy satisfactoria (involucrando los servicios de agua, electricidad, gas, cloacas, recolección de residuos y transporte urbano de pasajeros); un 24 % de la superficie sólo cuenta con los servicios de agua y electricidad; y el 61 % restante de la superficie del ejido no cuenta con la infraestructura urbana necesaria para brindar los servicios públicos básicos [57].

Por otro lado, la estructura del servicio de agua potable para el casco urbano central se muestra en la figura 4.3, y como se puede observar, se abastece de tres puntos de captación: Toma de Manantiales, Toma Arroyo Ñireco, y Toma del Lago Nahuel Huapi. Entre estos últimos el lago Nahuel Huapi es el recurso de agua más importante y cercano al área urbana de la localidad [3].

En primer lugar, la toma de manantiales, tiene una capacidad de producción de $600 \frac{m^3}{h}$. Esta capta el agua de manantiales y de dos galerías filtrantes en el subálveo del río

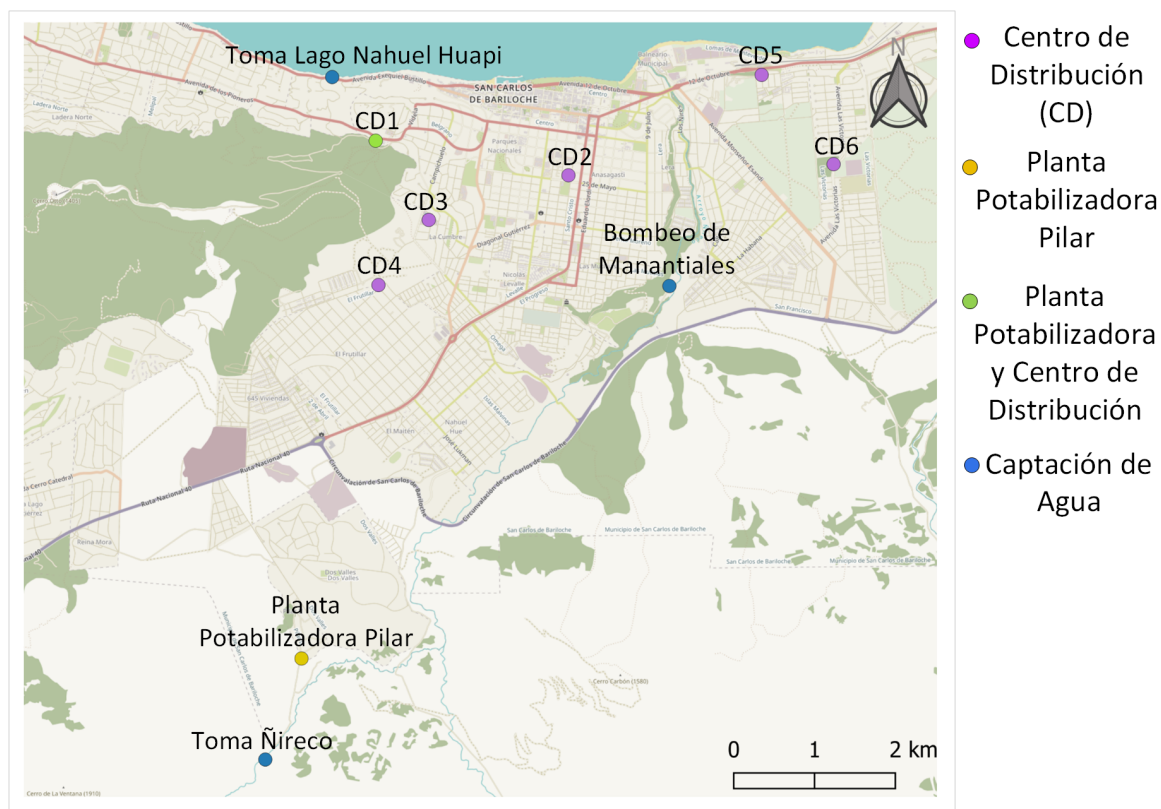


Figura 4.3: Representación gráfica de la estructura del servicio de agua potable [3].

Ñireco. Después, es elevada al centro de distribución 2, donde se cuenta con una reserva de 7000 m^3 , más un tanque 300 m^3 ubicados en calle Fagnano para su distribución a la red [3].

Luego, en el Km 1,5 de la Av. Bustillo se encuentra emplazada la Toma del Lago, con una capacidad instalada de $2100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, desde donde por bombeo se eleva el agua a la Planta Potabilizadora del km 1 de Av. Pioneros para su potabilización. Esta planta cuenta con una reserva de 3000 m^3 , desde donde se abastece la red distribución y bombeo a los centros de distribución 2 y 3 [3].

Por último, en la Toma Ñireco, se tiene una capacidad máxima de producción de $500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. El agua escurre por gravedad desde la toma ubicada entre los cerros hasta los filtros del centro de distribución 3, donde es potabilizada y almacenada en tres cisternas de 1000 m^3 cada una, para su distribución a la red y los centros de distribución de la zona alta de la ciudad [3].

En la actualidad, desde Aguas Rionegrinas se señala que el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) financiará la realización de un Plan Director de Aguas para la ciudad. El organismo nacional realizó el estudio diagnóstico para el posterior diseño del Plan Director. En dicho Plan se buscará satisfacer la proyección de demanda prevista con la obra que comprende la toma de agua en el río Ñirihuau, y una planta potabilizadora que abastecerá a los sectores sur y este de la ciudad [57].

4.1.2. Propuesta de Captación

El área Este del casco urbano de San Carlos de Bariloche delimitado por el lago Nahuel Huapi, el arroyo Ñireco, y el camino de circunvalación, incluye los barrios Las Victorias, Aldea del Este, La Colina, San Francisco, Villa Verde, el Cóndor, Lomas de Monteverde, 35 ha, el Polo Tecnológico y la Ciudad Judicial. Esta zona es abastecida de agua potable desde el centro de distribución 3. Dicho centro de distribución, además de ser distante de la zona este, sirve a la mayoría de los barrios altos de Bariloche siendo actualmente nula su capacidad remanente, impidiendo la extensión del servicio de agua potable a servir en los proyectos de crecimiento urbano [3].

En este contexto se plantea la incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable a la ciudad, que permitan servir la basta área Este en expansión y desarrollo. La ejecución de las obras necesarias para este objetivo incluyen tomas desde el río Ñirihuau y desde el lago Nahuel Huapi. Ambas permiten abastecer a gravedad al sector Este durante el 85,7% del tiempo desde el Río Ñirihuau y el 14,3% del tiempo restante desde el lago Nahuel Huapi [58].

En las figuras 4.4 y 4.5, se pueden observar la propuesta, el área a servir y la localización específica para la toma del río Ñirihuau ($41^{\circ}14'16,8''S$; $71^{\circ}09'56,2''W$). De esta forma, se espera cubrir la demanda actual y futura, descongestionando la capacidad actual de las otras fuentes [3].

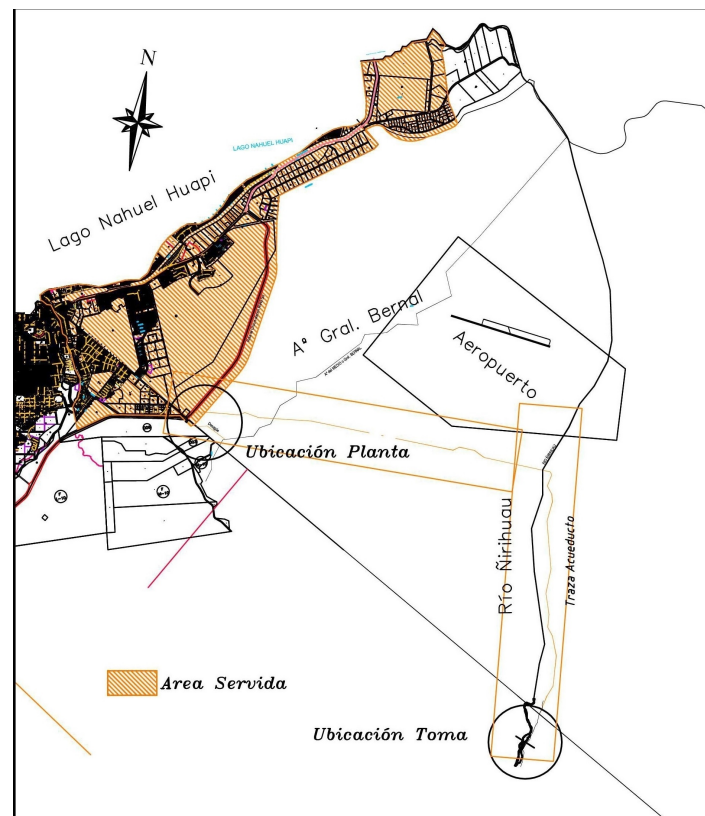


Figura 4.4: Gráfico y ubicación de la obra de toma del río Ñirihuau y de la planta de potabilización, incluyendo además el área servida propuesta [3]. Se puede encontrar el plano completo en el apéndice A.

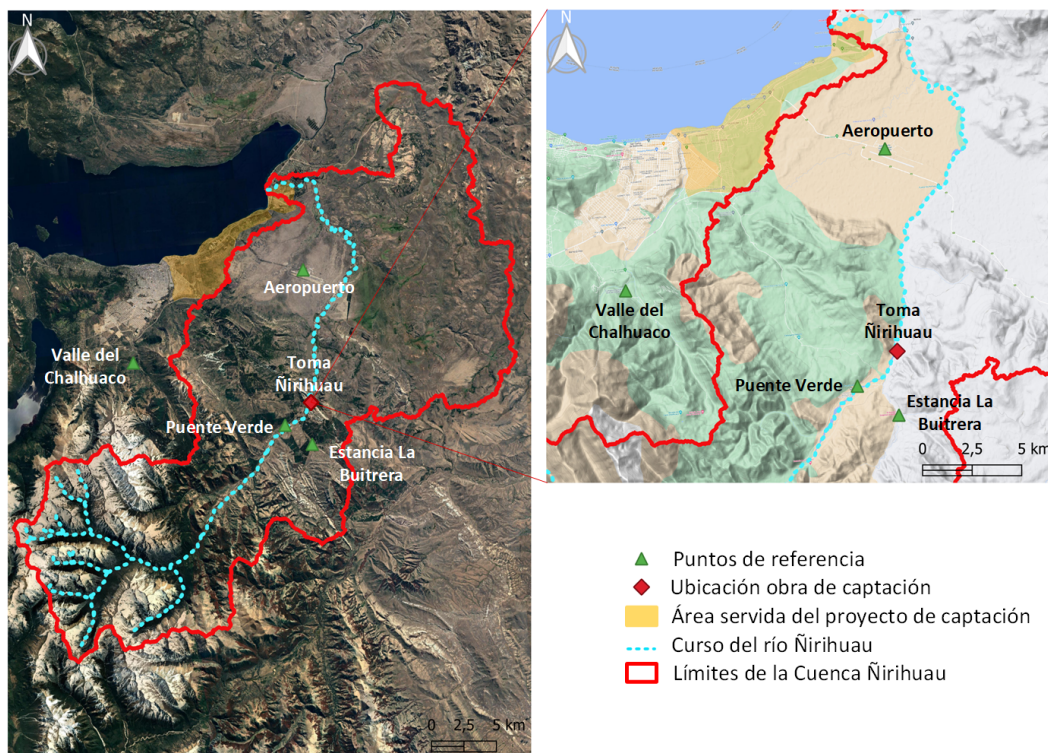


Figura 4.5: Ubicación de la obra de toma del río Ñirihuau (coordenadas: $41^{\circ}14'16,8''S$; $71^{\circ}09'56,2''W$) y área a servir [Fuente propia].



Figura 4.7: Fotografía del sitio de la obra de toma propuesta para el río Ñirihuau [Fuente propia, tomada en la fecha: 08/05/2022]

4.1.3. Análisis de la obra

La obra propuesta para la captación de agua del río Ñirihuau, presentada anteriormente, es de tipo de captación lateral. Esta es una obra de toma directa en el curso por medio de gravedad, y consiste en una estructura de captación ubicada en los márgenes del curso. Este tipo de captación por lo general está compuesta de una presa derivadora o azud y una toma localizada lateralmente, esta a su vez consta de una protección con escollera, gaviones o muros, una boca de entrada, una cámara de captación, rejillas protectoras de entrada para el material extraño y un conducto o canal de derivación [59].

Como se mencionó anteriormente, y se observa en la figura 4.6, la primer intervención sobre el curso de agua es la presa derivadora o azud de gaviones. En términos generales, son aprovechamientos hidráulicos superficiales que cumplen el propósito de

facilitar la captación del agua en corrientes de bajo tirante o que presenten épocas de estiaje prolongadas, para diversos usos. Es decir, mediante la interrupción del paso de la corriente en la sección elegida, los niveles de agua mencionados aumentan, permitiendo de esta manera su captación [60]. Esta estructura, debe mantener el tirante de aguas arriba 0,45 m sobre la cota de fondo del canal de aducción (938,70), siendo el desarrollo total del azud de 108 m aproximadamente alcanzando las cotas máximas del perfil (939,18), estimándose un tirante de 1,92 m para los caudales máximos registrados en el río [3].

Luego, se encuentra la obra de toma lateral, formada por la boca de entrada que no posee rejillas y las compuertas operadas con mecanismos manuales. Una de las compuertas es utilizada para el control del canal de limpieza, para el arrastre de sedimento, y la otra compuerta, seguida de una rejilla que conduce el agua hacia la cámara de carga y desarenador [3].

Este tipo de captación se suele utilizar en ríos navegables o de fondo inestable, con caudal limitado o con grandes variaciones estacionales, y que no produzcan socavación profunda [61]. Además, son recomendables por razones económicas y, en el caso de cursos de agua preferentemente angostos. Se debe tener en cuenta, que aguas abajo del muro, las velocidades aumentan notablemente, debiéndose proyectar en caso necesario los dispositivos para disipar la energía del agua dentro de la longitud de la platea, antes de la descarga del río. Tales dispositivos, podrán consistir en una batea para resalto hidráulico, disipadores constituidos por deflectores, dados de impacto u otros elementos amortiguadores. Por otro lado, aguas arriba de la presa, debido a la sobreelevación del pelo de agua, las velocidades se reducirán y como consecuencia se producirán sedimentaciones que podrán afectar el normal funcionamiento de la boca de toma, para lo cual se utiliza el canal de limpieza [62].

Finalmente, se enumeran algunas ventajas y desventajas que se desprenden a partir del uso de este tipo de obra de captación.

- Ventajas

- Se ejerce un excelente control sobre la dosificación o regulación del caudal de ingreso.
- Es posible mantener un caudal derivado constante.
- Es posible mantener un nivel constante en la superficie libre del agua del río.
- Es una opción más económica dentro de los distintos tipos de obras de captación.

- Desventajas

- La estructura de cierre elimina o disminuye los efectos del flujo secundario.
- El azud o presa derivadora impone un obstáculo físico para el transporte de la fauna ictícola presente en el río.
- Se requiere de obras de desvío para la construcción.
- Existe tendencia a la sedimentación en el embalse.
- Se requiere de dissipador de energía al pie de la estructura de cierre.
- Se requiere de un control y de mantenimiento permanente.

4.2. Línea base

En esta sección se describe la línea base para el área de estudio de emplazamiento del proyecto de la toma de agua del río Ñirihuau. Se incluye una descripción general del sitio y sus cursos de agua, las áreas protegidas de influencia, el clima, su geología, características biológicas y sus suelos y geomorfología.

4.2.1. Cuenca del río Ñirihuau

La cuenca del río se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas 41,4°S 71,4° W y 41,02°S 71,02°W; rodeado por las cuencas del arroyo Ñireco al oeste y la del río Pichileufu al este, al sur del lago Nahuel Huapi, desarrollándose en la transición entre el ambiente de bosques andino-patagónicos y el ambiente de estepa [5]. La misma presenta una forma elongada, con una dirección predominante NNE-SSO, encontrándose sus nacientes en las altas cumbres precordilleranas y su desembocadura en el lago Nahuel Huapi. Presenta un largo de aproximadamente 51,5 km y un ancho medio de 13,5 km, abarcando una superficie de 67,15 ha (671500 m²) [4]. En la figura 4.8 se encuentran graficados los límites de la cuenca, junto con los cursos de agua dentro de la misma y sus pisos altimétricos.

En el área se pueden diferenciar tres sectores: a) La cuenca superior que se encuentra entre los 1200 y 2200 msnm, que presenta un relieve montañoso con fuertes pendientes; b) La cuenca media que está entre los 1000 y 1200 msnm, con un relieve fuertemente ondulado y pendientes pronunciadas; c) La cuenca inferior que está entre los 800 y 1000 msnm, con un relieve suavemente ondulado a plano y pendientes de suaves a muy suaves [4].

El curso principal de agua en la cuenca es el río Ñirihuau. Es un afluente del lago Nahuel Huapi, perteneciente a la cuenca alta del río Limay; y, por lo tanto, a la cuenca del río Negro. En la figura 4.9 se puede observar una fotografía del mismo. El mismo, cuenta con cuatro afluentes principales: El arroyo Tristeza en el sector superior de la cuenca, el arroyo Las Minas en el sector medio, el arroyo del Medio y el arroyo La

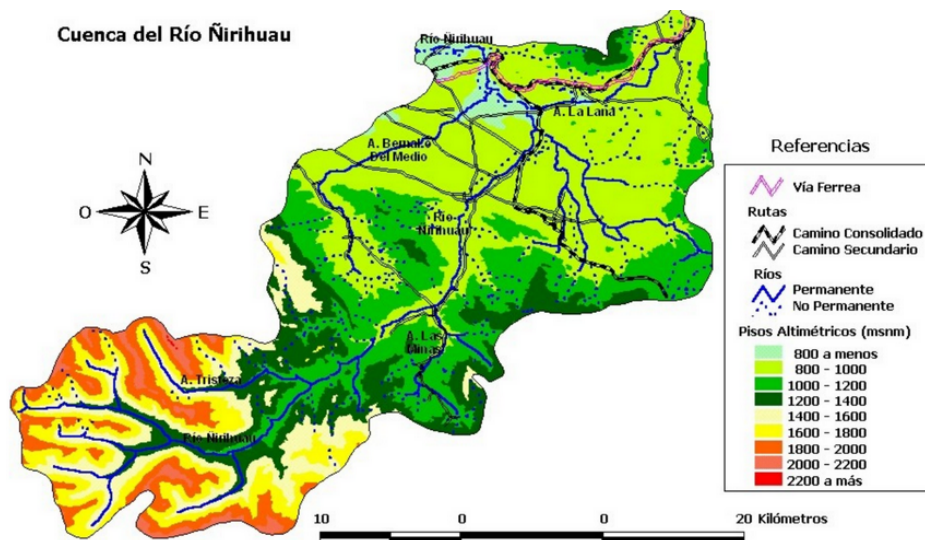


Figura 4.8: Cuenca del río Ñirihuau [4].

Lana en el sector inferior de la cuenca; además de contar con numerosos afluentes de carácter transitorio [4].



Figura 4.9: Fotografía del río Ñirihuau [Fuente propia, tomada en la fecha: 08/05/2022].

4.2.2. Áreas Protegidas

Las áreas protegidas son zonas de ecosistemas continentales (terrestres o acuáticos), costeros/marinos o marinos, o una combinación de los mismos, con límites definidos y bajo un marco normativo acorde con sus objetivos de conservación. Estas constituyen

una estrategia fundamental para la conservación a largo plazo de la diversidad biológica y cultural, proporcionando bienes y servicios ecosistémicos esenciales para la sociedad y la vida en general [63].

El Sistema Federal de Áreas Protegidas (SiFAP) se constituyó en el año 2003 mediante un acuerdo firmado por la Administración de Parques Nacionales (APN), la entonces Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS) y el Consejo Federal de Medio Ambiente (CoFeMA). Las áreas protegidas que integran el SiFAP incluyen 57 áreas protegidas de jurisdicción nacional bajo la Administración de Parques Nacionales y 476 áreas protegidas reconocidas por las provincias. También, algunas áreas protegidas cuentan con designación internacional: reservas de biósfera, sitios Ramsar, bienes de patrimonio mundial natural y cultural UNESCO [63].

En la figura 4.10 se muestran las áreas protegidas de influencia a la ubicación del proyecto de toma, que incluyen el Parque Nacional Nahuel Huapi y la Reserva de la biosfera Andino Norpatagónica. Al encontrarse la ubicación de la toma del río en el límite externo del parque, el área es considerada de interés para la conservación de ecosistemas. Esto tiene implicancia sobre las obras, servicios y desarrollos de los asentamientos humanos que se deseen realizar en dicha área, y deben aprobarse y ejecutarse en la medida que sean compatibles con la preservación [64].

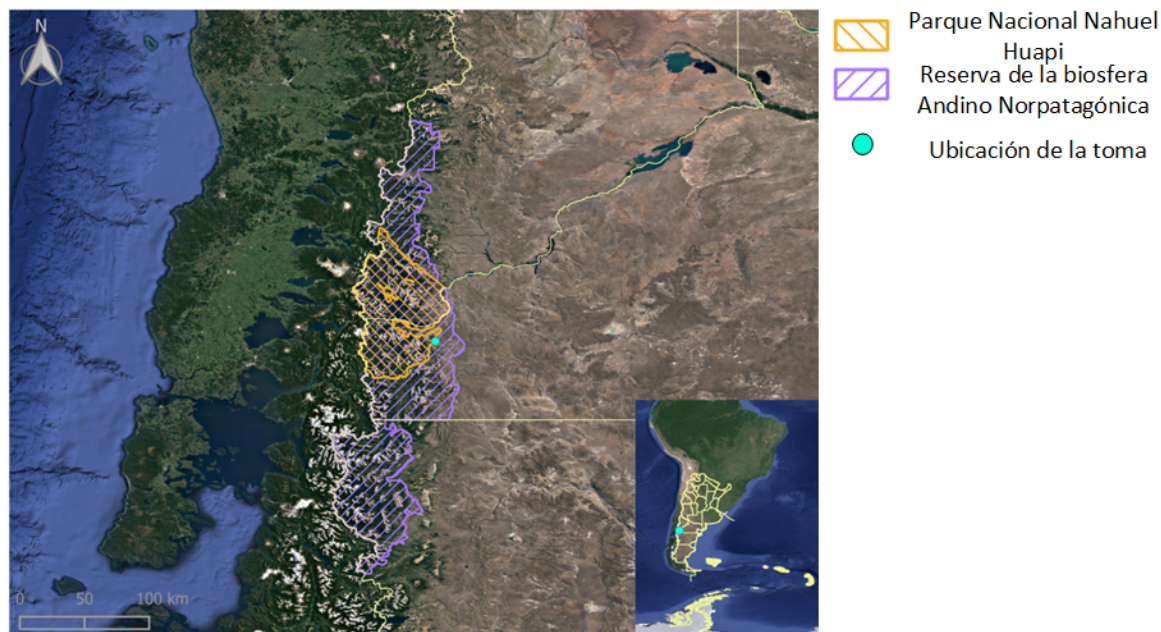


Figura 4.10: Áreas protegidas de influencia a la ubicación del proyecto de toma [Fuente propia].

Reserva de la biosfera Andino Norpatagónica

La Reserva de Biosfera comprende una superficie aproximada de 2.500.000 hectáreas abarcando el área geográfica de los bosques templados-fríos ubicados en la franja

cordillerana norpatagónica. Esta región se integra con los Parques Nacionales Lanín, Nahuel Huapi, Los Arrayanes, Lago Puelo y Los Alerces; el Parque Provincial Río Turbio de Chubut y otras áreas provinciales cordilleranas de Río Negro y Chubut; y ejidos municipales como Esquel, Trevelin, Lago Puelo, El Hoyo, Epuyén, Cholila, El Bolsón y Bariloche. Los núcleos de población vecinos de la reserva se benefician de las actividades relacionadas con el turismo, la pesca deportiva, el esquí, el senderismo y otras actividades de servicios [65].

Parque Nacional Nahuel Huapi

El Parque Nacional Nahuel Huapi se ubica al sur de la República Argentina y al noroeste de la Patagonia, y debe su nombre al principal cuerpo de agua el lago Nahuel Huapi. Las 710.000 hectáreas que componen su territorio se emplazan en dos provincias: Neuquén y Río Negro, su vecindad con ciudades como San Carlos de Bariloche, Dina Huapi y Villa La Angostura; y cuenta con la existencia dentro del parque de dos villas como Mascardi y Traful, parajes rurales como Cuyin Manzano y más de 700 loteos privados, resultando un lugar de encuentro de pobladores, comunidades, vecinos, instituciones, organizaciones y visitantes [66].

Este parque es refugio de naturaleza y cultura, su principal objetivo es la conservación de una porción de los bosques andinos norpatagónicos y de la estepa, promoviendo un mayor conocimiento de estos ambientes y generando otras formas de integración armoniosa con la vida en la naturaleza y el desarrollo humano, compatible con la preservación de estos ambientes [66].

4.2.3. Clima

La descripción climática de la cuenca se realiza en base a los datos de la estación termopluiométrica del aeropuerto de San Carlos de Bariloche, debido a que es la estación más próxima al área de trabajo y específicamente representativa de la cuenca inferior [4].

La temperatura media anual en la zona del aeropuerto es de 8,7 °C, registrándose una máxima media anual de 14,9 °C y una temperatura mínima media anual de 2,4 °C. La amplitud térmica media anual es de 12,5 °C, siendo la estación de verano la que presenta mayor amplitud térmica y la estación de invierno la de menor amplitud térmica [67].

Los inviernos son fríos y húmedos, presentando valores elevados de precipitación acumulada. Esto se puede explicar debido a que durante el invierno es más frecuente el paso de frentes fríos sobre la región que durante el resto del año. Estos fenómenos meteorológicos son acompañados por ingresos de masas de aire frío al continente entre 2 y 5 veces al mes (en invierno). Algunas de estas entradas de aire frío pueden llegar

a ser muy intensas registrándose temperaturas muy por debajo de la línea de 0 °C. A diferencia de la estación de invierno, los veranos son cálidos y secos, y las estaciones de otoño y primavera presentan características de transición [67].

En cuanto al régimen pluviométrico, en la zona presenta un fuerte gradiente de oeste a este, por ejemplo, la costa occidental del lago Nahuel Huapi presenta una precipitación anual de 3000 mm, mientras que en la costa oriental es de alrededor de 650 mm [4]. En la estación se registra que la precipitación anual suma 809,4 mm, siendo enero el mes más seco (20,0 mm) y junio el más lluvioso (170,1 mm). Además, se debe tener en cuenta que para el período entre mayo y agosto se concentra el 64 % de las precipitaciones del año [67]. En la figura 4.11, se pueden observar las variables del clima, temperatura y precipitación, para el periodo de 1981-2010.

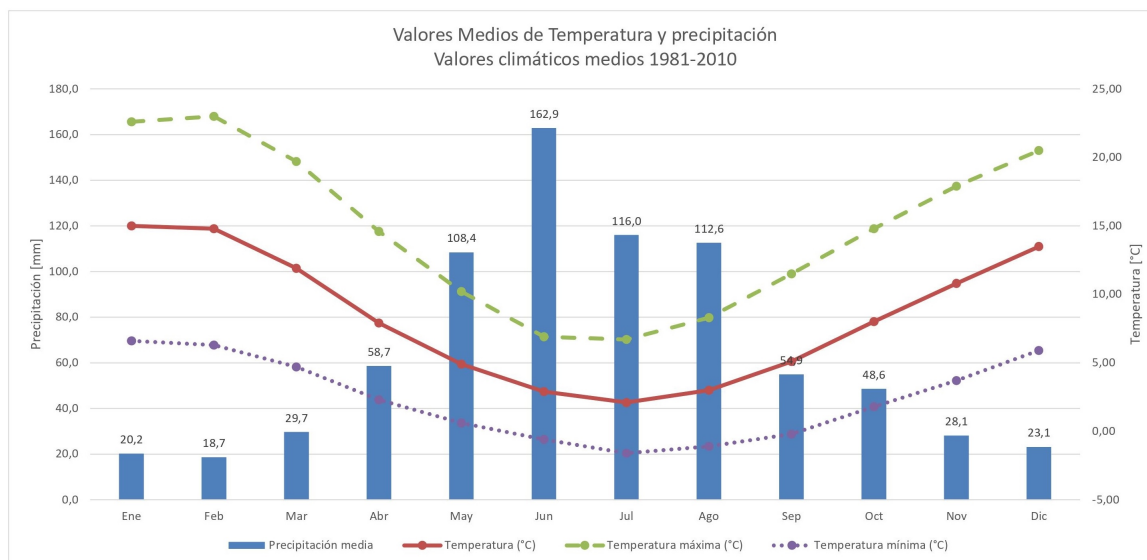


Figura 4.11: Valores climáticos medios para el periodo 1981-2010, obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional [67].

Por último, los vientos dominantes pertenecen al sector ONO, y en términos generales son los más intensos, registrándose velocidades entre 12 y 20 $\frac{m}{s}$. La velocidad media anual de los vientos es de 5,8 $\frac{m}{s}$ con ráfagas superiores a los 20,0 $\frac{m}{s}$ y una velocidad máxima de 47,4 $\frac{m}{s}$ reportada el 07/02/1981 [67].

Se debe tener en cuenta que para la cuenca superior, dominada por una cobertura vegetal de un bosque denso y a una altura media de 1600 msnm., se estima que aumentan las precipitaciones anuales y disminuyen levemente las temperaturas medias [4].

4.2.4. Geología

Desde el punto de vista geológico, en la cuenca superior dominan los complejos metamórficos y granitoides del Precámbrico superior a Paleozoico inferior de la Cordillera

Norpatagónica en Neuquén y Río Negro, asociados a granitos cordilleranos Mesozoicos. En algunos valles existen depósitos coluviales del Cuaternario [4].

Luego, en la cuenca media aflora la formación Ventana, constituida por lavas, arcillas, areniscas y conglomerados de origen continental (volcánico) y marino del Terciario inferior; se encuentra asociada a la Formación Ñirihuau, formada por areniscas, conglomerados, tobas, calizas y arcilitas, de origen continental y marino y también del Terciario inferior. Esta última formación se dispone como una faja plegada de rumbo NNO, pasando por los valles de los arroyos Ñireco, Ñirihuau y Pichileufú [4].

Por otro lado, la cuenca inferior, está constituida por depósitos glaciares, glacifluviales y glacialacustres del período Cuaternario, recubiertos por una delgada capa de cenizas volcánicas de período Holoceno. La base del sector está conformada por grandes masas de rocas volcánicas, como andesitas, basaltos, brechas e ignimbritas alternadas con franjas de material sedimentario [8].

Por último, hacia el sector noreste de la cuenca inferior se observa el relieve múltiple de las rocas volcánicas eocenas, mayormente desarrolladas hacia el valle del río Limay. Es así, que la actividad volcánica se deja ver a través de afloramientos rocosos, algunos parcialmente cubiertos por material sedimentario de las glaciaciones y otros descubiertos completamente, ambos desgastados por la erosión del agua y del viento. Las planicies de inundación actual del valle se encuentran recubiertas por depósitos fluviales recientes de gravas, arenas y limos. Se ven morenas terminales, laterales y basales; además hay extensos sectores llanos de depósitos glacifluviales ubicados hacia el este de los arcos morénicos [8].

En la figura 4.12, se puede observar un recorte de la carta geológica de Bariloche, con escala 1:200.000 de la cuenca.

4.2.5. Suelos y geomorfología

El área se caracteriza por un paisaje glaciario no funcional de tipo alpino, desarrollado sobre un sustrato rocoso cristalino, el sector medio presenta un paisaje de estructuras longitudinales del Ñirihuau y en el sector inferior se observan morenas y extensos planos de depósitos glacifluviales y glacialacustres [68].

En cuanto a las características y distribución de los suelos, presentan un fuerte condicionamiento de los factores formadores: los materiales parentales, particularmente cenizas y arenas volcánicas; el clima, que varía de húmedo a subhúmedo; los organismos: vegetación de bosque y/o estepa; el tiempo: que se expresa en el desarrollo del perfil y la topografía que condiciona principalmente su distribución en el relieve y algunas características locales [4].

En la cuenca superior dominan los suelos del orden Andisol, desarrollados a partir de cenizas volcánicas, de texturas medias, en un ambiente húmedo. Comúnmente presentan un nulo déficit hídrico estival, con un moderado desarrollo del perfil, los que evolucionaron bajo una vegetación de bosques densos. En cambio, en la cuenca media predominan los suelos del orden Andisol en un ambiente húmedo a subhúmedo. Comúnmente presentan un leve déficit hídrico estival, con un moderado desarrollo del perfil, los que evolucionaron bajo una vegetación de matorrales y estepas semidensas [68].

Luego, en la cuenca inferior dominan los suelos de transición entre los órdenes Andisoles a Molisoles xéricos, desarrollados a partir de cenizas y arenas volcánicas, de texturas medias a gruesas, con un moderado desarrollo del perfil y un marcado déficit hídrico estival [68].

Por último, se debe mencionar que estos suelos, en general, presentan una alta susceptibilidad a la erosión eólica e hídrica; debe destacarse que esta fragilidad está atenuada por la cobertura vegetal, por la presencia de relieves relativamente suaves y por las propiedades de agregación del suelo [68].

4.2.6. Características Biológicas

Flora

En la cuenca, la vegetación presenta una marcada variación estructural y florística, destacándose la transición bosque húmedo-ecotono-estepa en sentido oeste-este, y la presencia de fajas de distintos tipos de vegetación en sentido altitudinal. Esto es debido a la magnitud del gradiente de precipitaciones (marcada disminución de oeste a este) y a un fuerte gradiente térmico altitudinal a los que se suman otros factores como la exposición y los fenómenos locales de circulación de vientos, entre otros [4]. En la figura 4.13 se representa una clasificación de la vegetación que se encuentra dentro de

la cuenca.

Por encima de los 1500-1600 msnm, donde nace el río, puede observarse un semidesierto de altura. Predomina un estrato arbustivo-herbáceo, con gramíneas xerofíticas y dicotiledóneas en cojín, con una altura inferior a los 25 cm y de muy baja cobertura, con porcentajes de suelo desnudo normalmente superiores al 80% [4]. A medida que el Ñirihuau desciende surge un bosque discontinuo de lenga (*Nothofagus pumilio*) y matorrales de ñire (*Nothofagus antarctica*) [8].

Luego, entre los 1500 y 1000 msnm, aparecen bosques de ciprés (*Austrocedrus chilensis*) o bosques mixtos de radial (*Lomatia hirsuta*), ñire y maitén (*Maytenus boaria*) [8]. En el sotobosque predominan los arbustos bajos y enanos, siendo las especies más frecuentes *Drimys winteri*, *Berberis serratodentata* y *Maytenus disticha* [4].

Por otro lado, en la cuenca inferior predomina el paisaje de estepa, la vegetación que allí crece es arbustiva y herbácea, encontrándose laura (*Schinus patagonicus*), chaura (*Gaultheria sp.*) y mutisia (*Mutisia sp.*). Hacia el final del río se observan coirón amargo (*Stipa speciosa*), neneo (*Mulinum spinosum*), espino negro (*Discaria articulata*), palo piche (*Fabiana imbricada*), entre otros [8].

En sectores de muy bajas pendientes de la cuenca inferior también se encuentran grandes áreas de mallines, principalmente en el mallín grande y el último tramo del arroyo Bernal. Los mallines se encuentran en el fondo de valles, sobre suelos anegadizos y comprenden praderas de ciperáceas, juncáceas y gramíneas. Las principales especies son: *Carex sp.*, *Juncus balticus*, *Eleocharis albibracteata*, coirón de mallín *Deschampsia caespitosa*, coirón blanco (*Festuca pallescens*) y *Poa pratensis*. También, dentro de este tipo se incluyen las turberas de *Sphagnum sp.* y Ciperáceas [5].

También, cabe destacar las especies exóticas invasivas, entre ellas están las Salicáceas y rosa mosqueta (*Rosa rubiginosa*), que se encuentran densamente en las zonas ribereñas e islas en el tramo inferior [5]. Además, se cuenta con la presencia de pinos (mayormente *Pinus sp.*), debido a las plantaciones dentro de la cuenca [8].

Por último, específicamente en el área de emplazamiento de la obra de toma, al ser una zona de costa ribereña, en primer lugar, resaltan las Salicáceas. Luego, se encuentran especies asociadas a zonas mallinosas, como el coirón blanco, el coirón de mallín y el chacay (*Discaria chacaye*). También, se pueden hallar casi todas las especies arbustivas y herbáceas de estepa nombradas anteriormente, principalmente el palo piche, el espino negro, el coirón amargo, el neneo y *Acaena splendens*. Finalmente, más alejado de la costa de río pueden encontrarse ejemplares de ñire y maitén; y dentro de las exóticas pino y rosa mosqueta.

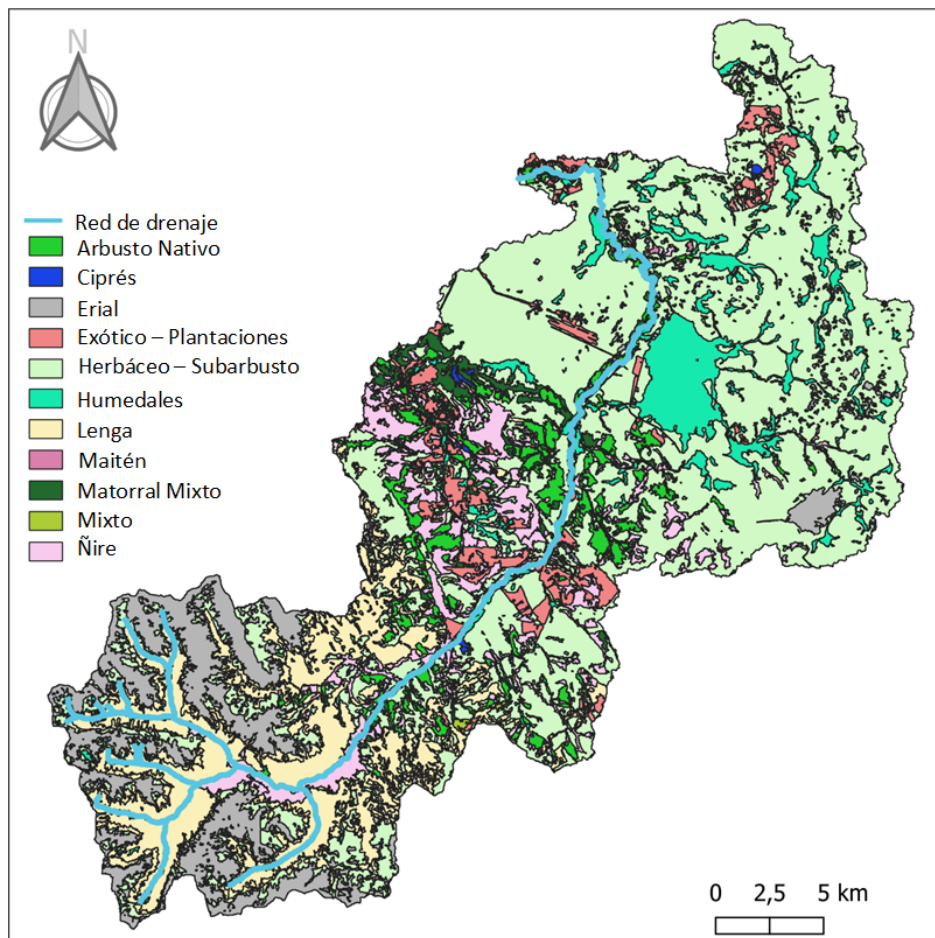


Figura 4.13: Clasificación de la vegetación de la cuenca del Ñirihuau [6].

Fauna

A continuación, se describe la fauna de la zona, mencionando en primer lugar aquellas especies autóctonas, indicando en el caso necesario si pertenecen a categorías de valor especial y cuál, obtenidas a partir del Sistema de Información de Biodiversidad (SIB) [69]. Luego, se mencionan algunos ejemplares de fauna exótica que posiblemente hayan impactado sobre el área de influencia del proyecto. Por último, se hace una descripción más detallada de las especies que a priori se consideran con mayor posibilidad de ser impactadas por el proyecto, que incluyen a la fauna ictícola, y por su estado de conservación y hábitat de desarrollo, el huillín (*Lontra provocax*).

La fauna de la zona se encuentra expuesta a fuertes variaciones de temperatura y humedad, circunstancia que ha favorecido los hábitos cavadores como en el piche (*Zaedyus pichiy*), y roedores, como el cuis (*Microcavia australis*) y el tuco tuco (*Ctenomys sociabilis*) [8], siendo una especie que se encuentra en “Peligro Crítico” según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), endémica y cuya distribución poblacional en Argentina se encuentra únicamente en el Parque Nacional Nahuel Huapi (categorías de valor especial 1, 2, 3 y 4) [69].

Luego, en la tierra hay mamíferos felinos carnívoros como el puma (*Puma concolor*) y el gato huiña (*Leopardus guigna*) [8], ambas especies emblemáticas de la zona (categoría de valor especial 9), y en el caso del puma es clave para la estructuración y funcionamiento del ecosistema (categoría de valor especial 7), y el gato huiña se encuentra además en estado “Vulnerable” según la UICN (categoría de valor especial 1) [69]. También, dentro de los mamíferos carnívoros se encuentran el zorro gris y colorado (*Lycalopex gymnocercus* y *Lycalopex culpaeus* respectivamente), otros básicamente carnívoros pero con inclusión de frutos y raíces como el zorrino (*Conepatus chinga*). Luego entre los herbívoros se tiene el guanaco (*Lama guanicoe*), el pudú (*Pudu puda*) y el huemul (*Hippocamelus bisulcus*) [8]. Son todas especie emblemáticas de la zona (categoría de valor especial 9), y en el caso de los últimos dos, especies incluidas en alguna categoría de amenaza, en el caso del pudú “Casi Amenazada” y el huemul en “En Peligro” según la UICN (categoría de valor especial 1) [69].

A su vez, entre los reptiles, se pueden observar varias especies de lagartijas como el lagarto verde y lagartija de vientre anaranjado (*Liolaemus pictus argentinus* y *Liolaemus chiliensis*, respectivamente) [8], que se encuentran dentro de las especies de valor especial debido a que una fracción importante de su distribución en la Argentina se encuentra dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi (categoría de valor especial 4) [69]; y escasos ejemplares de serpientes como la culebra cordillerana (*Tachymenis chilensis*) [8], especie que se encuentra “Casi Amenazada” según la UICN y de valor especial debido a su gran distribución en la zona (categorías de valor especial 1 y 4) [69]. También, es relevante mencionar entre los anfibios a la ranita del chahuaco (*Atelognathus nitoi*),

especie endémica, “Vulnerable” según la UICN y emblemática de la zona (categorías de valor especial 1, 2, 3, 4 y 9) y sapito vaquero (*Rhinoderma darwini*), especie “En Peligro” según la UICN, emblemática y con una fracción importante de su distribución dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi (categorías de valor especial 1, 3, 4 y 9) [69]. Los invertebrados, bien adaptados a la desecación, están representados mayormente por insectos (saltamontes, avispas, escarabajos, hormigas, etc.) y arácnidos (arañas y escorpiones) [8].

Además en la zona, existe una gran diversidad de aves, están las pequeñas, capaces de volar o ser grandes caminadoras, que se alimentan de semillas en insectos del suelo, como por ejemplo la calandria mora (*Mimus patagonicus*), el jilguero (*Sicalis lebruni*), el chorlo cabezón (*Oreopholus ruficollis*) y la martineta (*Eudromia elegans*). También se encuentran aves de mayor porte, de caza y rapiña, como el carancho (*Caracara plancus*), el águila mora (*Geranoaetus melanoleucus*), los halcones (*Falco Peregrinus*) y el búho ñacurutú (*Bubo virginianus*). Finalmente, se debe mencionar el cóndor (*Vultur gryphus*), un ave muy representativa de ésta zona [8]. Es una especie emblemática, clave para la estructuración del funcionamiento del ecosistema, especialista y se encuentra dentro de la categoría “Amenazada” según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y Aves Argentinas (MADS y AA), o “Casi Amenazada” según la UICN (categorías de valor especial 1, 7, 8 y 9) [69].

A la vera de los cursos de agua, debido a la cercanía de las napas, se suma la presencia de aves acuáticas como patos, entre los que se puede encontrar el pato barcino (*Anas flavirostris*), pato de anteojos (*Specularias specularis*) encontrándose en a categoría de especies “Amenazada” según el MADS y AA, o “Casi Amenazada” según la UICN (categoría de valor especial 1); y el pato de los torrentes (*Merganetta armata*), una especie de valor especial para el Parque Nacional Nahuel Huapi, que se encuentra “Amenazada” según el MADS y AA, y es especialista (categorías de valor especial 1 y 8) [69]. Otras especies presentes incluyen a los cormoranes, como el cormorán imperial (*Phalacrocorax atriceps*) una especie endémica (categoría de valor especial 2) [69]; y al martín pescador (*Megaceryle torquata*) [8].

Por otro lado, en el río Ñirihuau, se ofrece un ambiente óptimo para el desarrollo de diferentes individuos y los de menor tamaño son invertebrados, que suelen vivir asociados al fondo del río. Entre estos se puede encontrar una variedad de insectos, microcrustáceos, pequeños caracoles y gusanos. Los insectos bentónicos están representados por estadios inmaduros (huevo, larva y pupa) de adultos de vida aérea. Entre los más conocidos se encuentran las libélulas (especies más comunes en la zona son *Rhionaeschna variegata*, *Cyanallagma interruptum*, *Erhytrodiplox connata* y *Rialla villosa* [70]), efímeras, moscas de la piedra (*Plecoptera*), mosquitos y jejenes [8].

Por último, la llegada de los primeros inmigrantes europeos a esta zona ocasionó una serie de cambios a nivel biológico debido a las introducciones de especies exóticas.

La cría de animales, mayormente ovejas, como así también vacas, aves de corral y caballos, es una actividad que puede generar sobreexplotación y desencadenar un proceso de desertificación, que produce zonas de tierra erosionadas y pobres en nutrientes que ya no dan pasturas, perjudicando a toda la biota autóctona. Además, se han introducido especies en este ambiente como la liebre (*Lepus europaeus*, que se observa con mucha frecuencia), el ciervo colorado (*Cervus elaphus*), el jabalí (*Sus scrofa*) y animales domésticos (perros y gatos) que han desplazado a las especies típicas de la zona como aves pequeñas y roedores [8].

Huillín

El huillín es una nutria, una especie de mamífero carnívoro y anfibio, ya que depende del agua y de las costas para completar su ciclo de vida. Es autóctona de la Patagonia de Argentina y Chile, y por su actual estado de conservación se la considera en situación vulnerable, según la UICN se encuentra en la categoría de “En Peligro”. Esto es debido a que en el pasado, fue cazado para aprovechar y comercializar su piel [71]. Además, es una especie de característica especialista, y altamente emblemática de la zona, siendo el símbolo del Parque Nacional Nahuel Huapi (categorías de valor especial 1, 4, 8 y 9) [69].

El cuerpo del huillín está diseñado para moverse muy bien en el agua y también puede desplazarse en la tierra. Sus patas son cortas y tienen membranas completas entre sus dedos. Puede pesar hasta 15 kilos, y posee una larga cola que permite la propulsión del animal para nadar [71]. En la figura 4.14 se puede observar una ilustración del mismo.

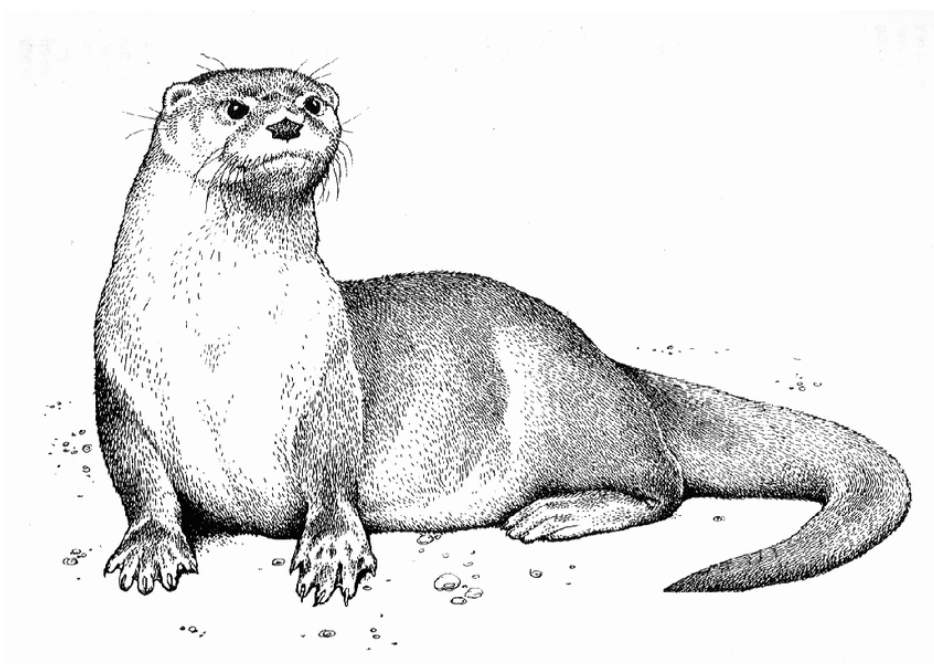


Figura 4.14: Ilustración del huillín (*Lontra provocax*) [7].

En general, el hábitat que utiliza el huillín incluye costas angostas de arena o rocas, y sus descansaderos incluyen cavidades o sitios con raíces expuestas, ramas caídas y buena cantidad de vegetación. Los sitios conocidos como madrigueras, son aquellos que solamente la especie utiliza para parir a sus crías [71]. En específico, en el norte de la Patagonia, ocupa la mayor parte de las costas de lago del Parque Nacional Nahuel Huapi y una extensión de 3815 ha dentro de la cuenca del río Limay [72].

Los requerimientos ambientales particulares del hábitat incluyen costas complejas con abundante vegetación, baja presencia humana, y la disponibilidad de refugios. Sin embargo la mayor limitación en el desarrollo de hábitats para el huillín es la distribución de su presa principal en esta zona los macro-crustáceos. Su alimentación se basa principalmente en los crustáceos como se mencionó, seguido de peces, moluscos y aves. En los ríos de alta montaña suele ser menor la proporción de macrocrustáceos, por lo que representa una limitante a su desarrollo. Por último, la existencia de barreras para la dispersión de origen antrópico (degradación de las costas, diques, contaminación, navegación) no ha sido suficientemente estudiada [72].

Finalmente, es importante destacar que esta especie es considerada como indicadora del estado de la integridad del ecosistema, siendo la primera en desaparecer cuando el ambiente sufre alteraciones, por su localización en la cadena trófica. Debido a estas características, el huillín es considerado una “especie paraguas” ya que mediante su conservación se puede promover la conservación de una región o un ecosistema, especialmente en lo que hace a sus ambientes acuáticos [72].

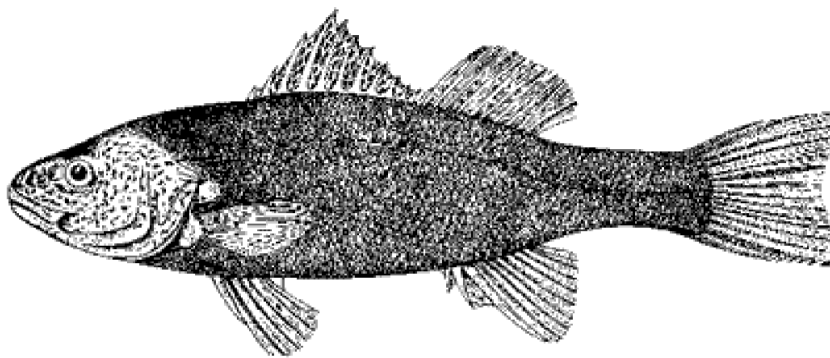
Fauna Ictícola

En cuanto a la ictiofauna, el río provee ambientes aptos, no sólo para el desove, sino también para el desarrollo y crecimiento de alevinos y juveniles, estadios en los que están más expuestos a las condiciones ambientales adversas y a la depredación por peces, aves e insectos carnívoros. En otoño son remontadas sus aguas para dar inicio al periodo reproductivo principalmente durante los meses de abril a mayo. Luego, a partir de este último mes, hasta fines de noviembre será la época de desove. Es posible también encontrar poblaciones que viven todo el año en el río (poblaciones residentes). Está compuesta por especies nativas y peces de origen exótico, como los salmónidos, introducidos en aguas patagónicas a principios del siglo pasado. Existen poblaciones de perca de boca chica (*Percichthys trucha*), puyen chico (*Galaxias maculatus*), bagrecito del torrente (*Hatcheria macraei*) y bagre aterciopelado (*Diplomystes viedmensis*) [8].

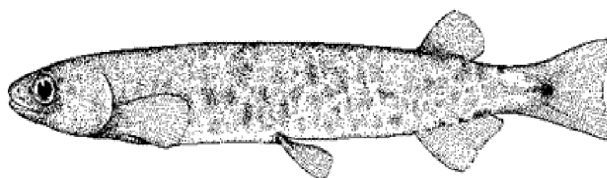
La perca de boca chica se reconoce por estar cubierta de escamas grandes con manchas oscuras, mide hasta 50 cm. Se alimenta de pequeñas presas (microcrustáceos, larvas de insectos, caracoles, peces, etc.). Es de cierta importancia para la pesca deportiva, suele capturarse con señuelos artificiales y en el ámbito del Parque Nacional Nahuel Huapi debe ser devuelta al agua [8]. Esta habita tanto ambientes lénticos como lóticos. En ríos y arroyos sus estadios juveniles están asociados a bajas velocidades de

corriente, zonas deposicionales con limo y macrófitas que proveen refugio [73].

Por otro lado, el Puyen chico, es un pez de tamaño pequeño (10 cm máximo), que muestra como particularidad la ausencia de escamas en su cuerpo. Se desplaza en cardúmenes en zonas costeras con vegetación y se alimenta de pequeños crustáceos e insectos acuáticos. Los salmónidos y percas se alimentan de él, tanto en estadios juveniles como adultos [8]. Tiene preferencias por hábitats con velocidades de corriente de entre 0,1 y 0,7 $\frac{m}{s}$, temperaturas de alrededor de 20 °C, cobertura riparia vegetal abundante y camas de vegetación sumergida con parches de aguas libres para alimentarse. Los fondos de sustrato finos, grava y/o rodados desnudos son considerados un mal hábitat, siendo raramente usados como cobertura por la especie [73].



Perca de boca chica *Percichthys trucha*



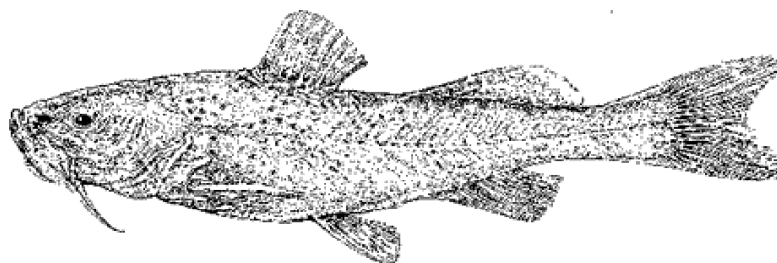
Puyen chico (*Galaxias maculatus*)

Figura 4.15: Imágenes gráficas de las siguientes especies nativas de peces del río Ñirihuau: perca de boca chica (*Percichthys trucha*) y puyen chico (*Galaxias maculatus*)[8].

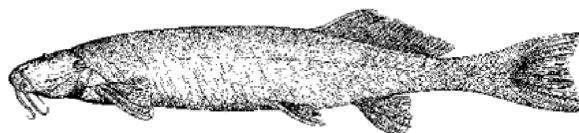
Los bagres por su parte, se reconocen por poseer barbillas a ambos lados de la cabeza, no poseen escamas, aunque algunos pueden presentar placas óseas. El bagrecito del torrente, de piel desnuda, posee una coloración marrón con manchas oscuras en el dorso y es más claro en el vientre; puede llegar a medir hasta 12 cm. De hábito bentónico, suele desplazarse en zonas de poca profundidad y se protege de la corriente escondiéndose entre las rocas. Se alimenta de larvas acuáticas de insectos. Los juveniles (menores a 20 mm de largo total) prefieren pozones pequeños poco profundos con sustrato de arena o pequeñas piedras. Mientras que los adultos se encuentran en microhábitats con velocidades de corriente alta y sustratos con espacios intersticiales

abundantes evitando los sustratos finos [73].

El bagre aterciopelado, en cambio, posee una coloración grisácea con manchas oscuras y el vientre color crema y es de mayor tamaño que el bagrecito del torrente, alcanzando hasta 35 cm de longitud. También es de hábito bentónico, pero vive en aguas más profundas. Se alimenta de crustáceos, sanguijuelas e insectos acuáticos. Es depredado por la trucha marrón. Este bagre tiene gran valor de conservación [8]. Prefieren zonas con sustratos rugosos, alta turbulencia, niveles de oxígeno alto y bajas temperaturas. En ríos, los adultos viven en zonas profundas mientras que los juveniles lo hacen en zonas someras y de menor corriente cercanas a las orillas. Su presencia en cuerpos de agua de bajo orden es rara [73].



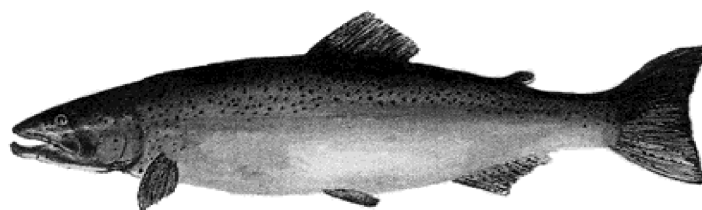
Bagre aterciopelado (*Diplomystes viedmensis*)



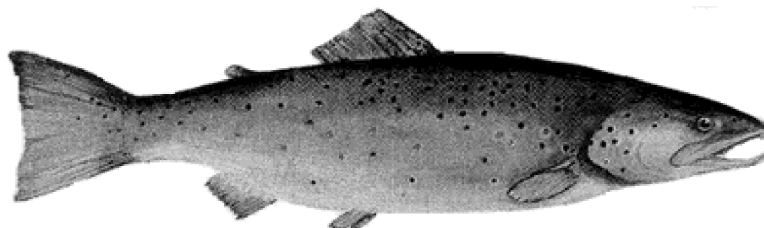
Bagrecito del torrente
(*Hatcheria macraei*)

Figura 4.16: Imágenes gráficas de las siguientes especies nativas de peces del río Ñirihuau: bagrecito del torrente (*Hatcheria macraei*) y bagre aterciopelado (*Diplomystes viedmensis*) [8].

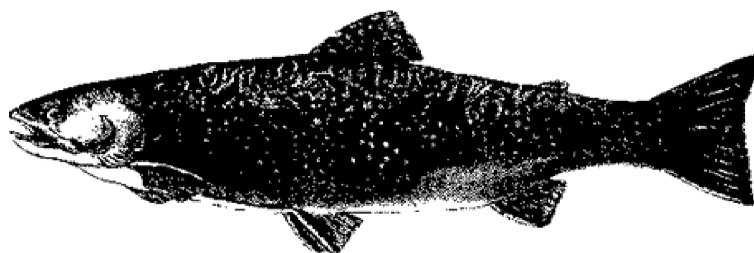
En cuanto a los salmónidos, fueron introducidos por su gran tamaño y atractivo con el fin de fomentar la pesca deportiva, debido a que la abundancia de especies nativas se consideraba escasa. Las especies que habitan este río son la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y la trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*), provenientes de Estados Unidos y Canadá, y la trucha marrón (*Salmo trutta*), originaria del norte europeo. Con fondos de grava en aguas corrientes y bien oxigenadas, el río cobra gran importancia en el desarrollo de estos salmónidos, ya que les ofrece áreas aptas para el desove. Las hembras cavan nidos en el fondo, donde depositan los óvulos que serán fecundados por varios machos. Luego, la hembra tapa el nido con grava y lo abandona [8].



Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)



Trucha marrón (*Salmo trutta*)



Trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*)

Figura 4.17: Imágenes gráficas de las siguientes especies de salmónidos del río Ñirihuau: trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*) y trucha marrón (*Salmo trutta*) [8].

Debe tenerse en cuenta que el ensamble de ictiofauna, presenta dominancia de salmónidos frente a especies nativas. De las tres especies presentes, la trucha arcoiris suele ser la más abundante, luego la trucha marrón y por último, la trucha de arroyo. En cuanto, a la disminuida presencia de especies nativas podría deberse tanto a factores biogeográficos y ambientales, como a la presencia de los salmónidos. Es esperable que varias de las especies nativas descritas hayan tenido mayor abundancia en algún momento, por lo que se puede suponer que la introducción de salmónidos originó algún tipo de interacción negativa. Aunque, es muy difícil determinar dicha relación, la interacción entre salmónidos y nativos ha sido estudiada con énfasis en diferentes partes del mundo y se sabe que han tenido un impacto ecológico significativo [73].

Capítulo 5

Análisis Hidrológico

Para el desarrollo de este capítulo se realiza una caracterización hidrológica a la cuenca del Río Ñirihuau. Se incluye una descripción de las características morfológicas de la misma y el estudio hidrológico de caudales, con el objetivo de poder aplicar de forma consecuente el estudio de caudal ambiental. Cabe resaltar que en el capítulo anterior 4, se cuenta con la caracterización de la línea base de la cuenca que completa la descripción necesaria.

Como pequeña introducción, reiterando información del capítulo anterior, la cuenca del río Ñirihuau se encuentra entre las coordenadas $41,4^\circ$ S $71,4^\circ$ W y $41,02^\circ$ S $71,02^\circ$ W, encontrándose sus nacientes en las altas, cumbres precordilleranas y su desembocadura en el lago Nahuel Huapi; desarrollándose en la transición entre el ambiente de bosques andino-patagónicos y el ambiente de estepa. En la figura 5.1, se puede observar la red de drenaje y sus principales subcuencas.

En primer lugar, se incorpora la descripción de las características morfológicas de la cuenca Ñirihuau.

5.1. Caracterización morfológica de la cuenca

Entendemos por cuenca hidrográfica a toda el área o superficie del terreno que aporta sus aguas de escorrentía a un mismo punto de desagüe o punto de cierre. La escorrentía la constituyen las aguas que fluyen por la superficie terrestre cuando, tras producirse una precipitación pluvial o cualquier otro aporte de agua, el agua comienza a desplazarse a favor de la pendiente hacia puntos de menor cota como consecuencia de la gravedad; las aguas que no han sido infiltradas por el suelo, y han quedado por lo tanto en la superficie, generan la escorrentía superficial [74].

El análisis morfométrico de una cuenca es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie y de relieve; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la

5.1.1. Características topográficas

En primer lugar, se informa el área de la cuenca, que incluye el área plana en proyección horizontal, encerrada por su divisoria [75]. En este caso, la cuenca abarca un área de 722,5 km² [5]. El área tiene implicancia sobre la respuesta hidrológica, en una cuenca pequeña la cantidad y distribución del escurrimiento son influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo y cobertura. En cambio para grandes cuencas, el efecto del almacenamiento en el cauce llega a ser pronunciado y habrá que darle más atención a la hidrología de la corriente principal [75].

En cuanto al perímetro de la cuenca, informa sucintamente sobre la forma de la cuenca; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor se corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas. El perímetro de la cuenca es de 252,80 km [5]. Por otro lado, la dirección general del escurrimiento es SO-NE, recorriendo los últimos 10 km en dirección N, hasta desembocar en dirección NO en lago Nahuel Huapi. [5].

Al igual que la superficie, la longitud del cauce principal influye enormemente en la generación de escorrentía y es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos [74]. Esta longitud es la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba, siguiendo la dirección del cauce principal. En esta cuenca, dicha longitud es de 65 km [5]. También, se cuenta con la longitud máxima de la cuenca, la distancia entre el punto de salida de la cuenca y el punto más alejado en línea recta. En este caso, la misma es de 39,10 km, mientras que la máxima distancia en línea recta entre dos puntos dentro de la cuenca es de 51,50 km en alineación SO-NE [5].

Para finalizar con las características topográficas, se tiene la curva hipsométrica y el histograma de frecuencias altimétricas. La curva hipsométrica representa el área drenada (en km² o en porcentaje) variando con la altura (en metros) de la superficie de la cuenca, el cual se lleva al eje de las ordenadas. La función hipsométrica, en su forma adimensional, es muy útil para el estudio de similitud entre dos cuencas, y también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas [74]. Como se puede observar en la figura 5.2, el perfil de la curva hipsométrica del río Ñirihuau, coincide con los denominados ríos viejos [5].

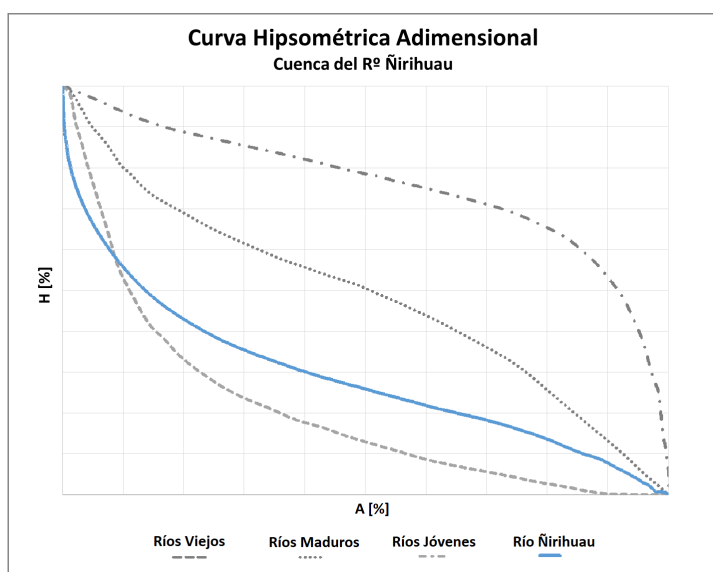


Figura 5.2: Curva hipsométrica adimensional de la cuenca del río Ñirihau, y la comparación con la edad de los ríos según la forma de la curva. [5].

En cuanto al histograma de frecuencias altimétricas, es la representación de la superficie comprendida entre dos cotas. La representación de varios niveles da lugar al histograma, que puede ser obtenido de los mismos datos de la curva hipsométrica [74]. A partir de la imagen 5.3 se concluye, de igual forma que con la curva hipsométrica, que el mayor porcentaje de área de la cuenca se encuentra en las cotas de alturas menores.

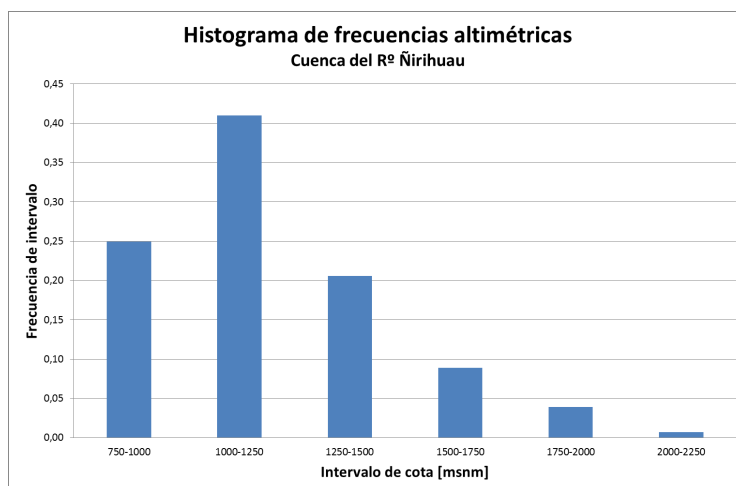


Figura 5.3: Histograma de las frecuencias altimétricas del río Ñirihau [5].

5.1.2. Parámetros de forma

La forma de la cuenca afecta las características de la descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujo máximo. En general, los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a los de otra, estrecha y alargada, de

la misma área [75]. En la figura 5.4, se puede observar como pueden afectar distintas formas al caudal pico para eventos máximos de precipitación [9].

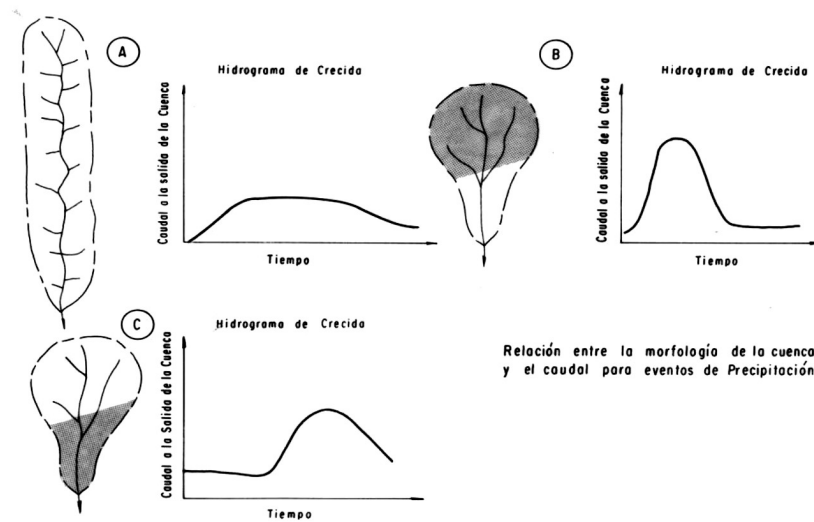


Figura 5.4: Relación entre la forma de algunas cuencas y el caudal pico para eventos máximos de precipitación [9].

Entonces, debido a que la forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico, se cuentan con algunos parámetros que tratan de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes [74]. Se enumeran posteriormente parámetros de forma para la cuenca del Ñirihuau.

Primero, se presenta el factor de forma, que se define como la relación entre el área y la longitud máxima de la cuenca en línea recta y para la cuenca tiene un valor de 18,48 km [5]. También, se cuenta con el coeficiente de compacidad o coeficiente de Gravelius, que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de una cuenca teórica circular de igual área [74]. El coeficiente de compacidad tendrá como límite inferior la unidad, indicando entonces que la cuenca es circular y conforme su valor crece indicará una mayor distorsión en su forma, es decir, se vuelve alargada o asimétrica [75]. En esta cuenca adopta un valor de 2,65 [5], indicando un tipo de cuenca más alargada.

La forma circular de una cuenca, valores de compacidad cercanos a 1, presentan mayor facilidad para concentrar la escorrentía. Sin embargo, las cuencas alargadas presentan alta peligrosidad a las crecidas cuando la tormenta se mueve en la dirección aguas abajo. También en las cuencas circulares, las aguas circulan por más cauces secundarios y su tiempo de concentración (tiempo que tarda la gota más alejada de la sección de salida en llegar hasta dicha sección) será mayor que en las cuencas alargadas [75]. Otro parámetro para calificar esta característica de una cuenca es la circularidad, que relaciona el área de la cuenca y el área de un círculo con igual perímetro de la

cuenca, teniendo un valor de 0,91 en la cuenca del río Ñirihuau [5].

Continuando con este tipo de parámetros, se tiene el de elongación, que se define como la relación entre el diámetro de un círculo con igual área de la cuenca y la longitud máxima en línea recta entre la salida de la cuenca y el punto más alejado [75]. El valor de la relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana y circular, cuando la cuenca es plana con porciones accidentales, la relación de elongación está entre 0,5 y 0,8. La elongación de esta cuenca es de 0,78.

Por último, para poder comparar el comportamiento hidrológico de dos cuencas, se utiliza el concepto de rectángulo equivalente. Se trata de una aproximación puramente geométrica en la cual se asemeja la cuenca a un rectángulo de igual área e igual perímetro que la misma; y por lo tanto igual coeficiente de compacidad. En la figura 5.5 se puede observar el resultado para la cuenca del Ñirihuau [5].

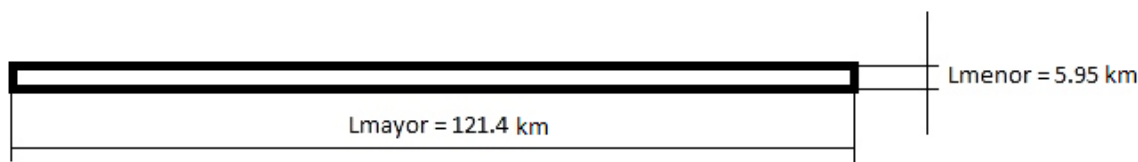


Figura 5.5: Rectángulo equivalente de la cuenca del río Ñirihuau [5].

5.1.3. Parámetros del relieve

Estos parámetros son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma. Con carácter general podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores [74].

La pendiente media o promedio de una cuenca surge de realizar el promedio ponderado de las pendientes de cada superficie de la misma, siendo un importante factor en la generación de escurrimiento. Tiene una compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas [75]. En este caso, se cuenta con una pendiente media de 12% [5], un terreno medianamente accidentado [9].

Por otro lado, la elevación media de la cuenca, que corresponde a la elevación para la cual por sobre y por debajo de la misma existe la misma superficie, es de 1192 msnm. Esta tiene influencia fundamental en el régimen hidrológico, puesto que la tiene sobre las precipitaciones que alimentan al ciclo hidrológico de la cuenca. También, se caracteriza la pendiente del curso, que refiere a la pendiente media del curso principal,

dada en grados o en porcentaje. Para el río Ñirihuau, la pendiente media es de 0,88 % [5].

Finalmente, se tienen algunas funciones que caracterizan la pendiente, la potencia del relieve, el factor del relieve y el número de rugosidad. La primera, es la diferencia entre el punto más alto y el punto de salida de la cuenca. El punto más alto de la cuenca está a 2230 msnm, mientras que el punto de salida de la misma se ubica en la desembocadura del río en el lago Nahuel Huapi, cuya cota media es de 770,40 msnm resultando en una potencia del relieve de 1460 m. El factor de relieve, es la relación entre la potencia y la longitud máxima de la cuenca, adoptando en este caso un valor de 0,037. El último, es el producto entre la potencia y la densidad de drenaje, produciendo un valor de 714 [5].

5.1.4. Aspectos lineares del sistema de canales

- Número de orden de los ríos

La jerarquización del orden del río Ñirihuau y sus tributarios, se realiza a partir de la clasificación de Strahler. Como corolario el orden de una cuenca de drenaje está dado por el curso de orden mayor [5]. En la figura 5.6 se muestra la red de drenaje clasificada, observándose que el río Ñirihuau adquiere un orden 5 desde la confluencia con el arroyo Las Minas hasta su desembocadura en el lago Nahuel Huapi [5].

Por otro lado, la relación de bifurcación describe un aspecto de la organización de la red. En el esquema de Strahler, el menor valor teórico de esta es 2, y corresponde a dos tributarios y un colector. Una red de drenaje de tipo dendrítico tiende a valores altos, mientras que una de tipo paralelo, con fuerte control estructural, puede dar valores próximos a 2. El valor promedio en esta cuenca es de 3,7 [5].

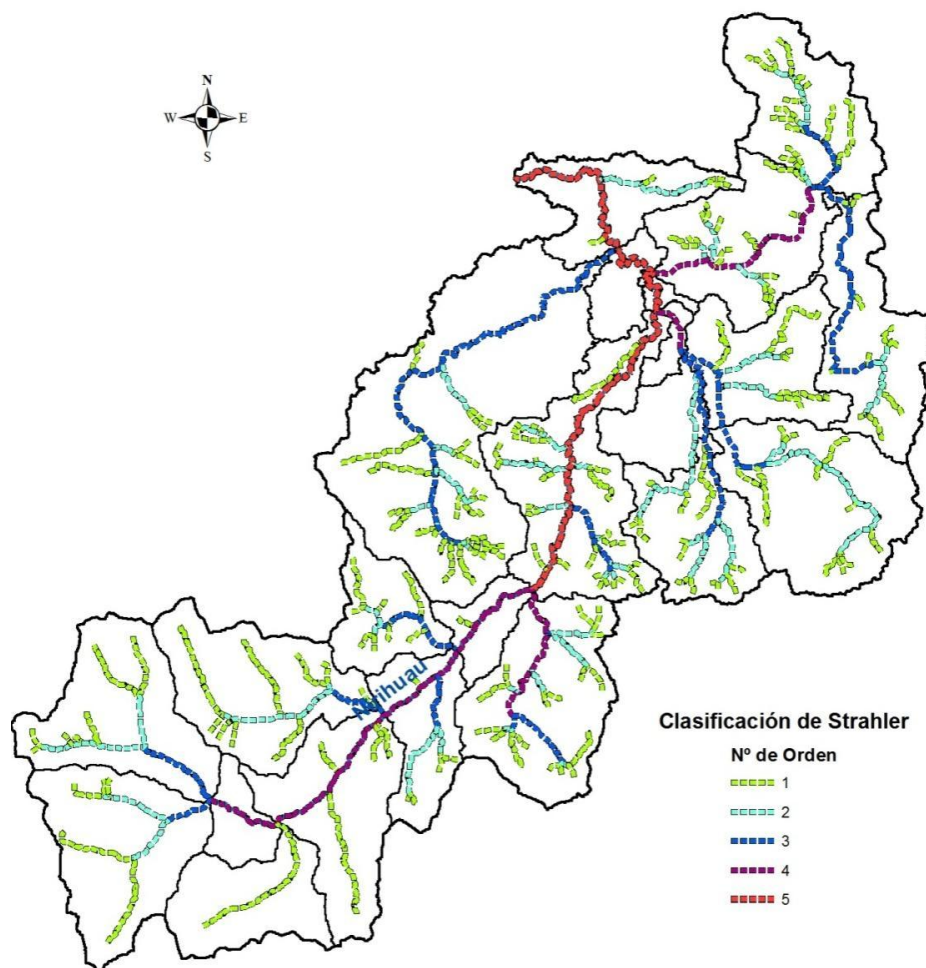


Figura 5.6: Resultado de la aplicación del método Strahler en la cuenca del río Niriuhau [5].

5.1.5. Densidad de drenaje

La densidad de drenaje, se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene. Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. Bajas densidades de drenaje, se realcionan con regiones de rocas resistentes o de suelos muy permeables con vegetación densa y donde el relieve es débil. En cambio, se obtienen altas densidades de drenaje en áreas de rocas débiles o de suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso [75].

En este caso, considerando la red de drenaje a escala 1:100.000, la longitud total de cauces es de 354 km y la densidad de drenaje de la cuenca del río Ñirihuau es de 0,49, siendo un valor de índice bajo. La inversa de este parámetro, se denomina la constante de mantenimiento y está definida como el área mínima necesaria para una unidad de longitud de cauce, su valor es de 2,04. Luego, también se informa la frecuencia de canales, que se calcula como la cantidad de cauces dividido por el área de la cuenca y su valor es de 0,35 [5].

5.1.6. Patrón natural del cauce

De acuerdo con el trazado, los cauces naturales pueden clasificarse en rectos, entrelazados o meandriformes. Un río se clasifica como meandriforme si la longitud del mismo medida sobre el eje es igual o mayor a 1,5 veces la longitud del valle. Esta medida se llama sinuosidad del canal. En ríos rectos, esta sinuosidad es inferior a 1,25. Por otro lado, un cauce entrelazado consiste en una serie de canales interconectados separados por islas. Dichos cauces tienen muy poca profundidad y suelen ser muy anchos, con material del lecho relativamente grueso [76].

El río Ñirihuau puede clasificarse en casi todo su recorrido como entrelazado de thalweg meandriforme, con tramos donde se comporta como puramente meandriforme [5]. Tanto el entrelazamiento como los meandros constituyen mecanismos naturales de disipación de energía. En cualquiera de los casos, el cauce sinuoso representa una forma de equilibrio relativo, donde se producen cambios locales para mantener la pendiente del tramo. Estos cambios locales son las desviaciones e intercambios de jerarquía entre brazos en los entrelazados, mientras que en los meandriformes hay patrones sucesivos de erosión del lado cóncavo de las curvas y deposición en el lado convexo [76].

5.1.7. Resumen

Finalmente, en la tabla 5.1 se encuentra el resumen de las características presentadas anteriormente para la cuenca del río Ñirihuau.

Tabla 5.1: Resumen de las características morfológicas de la cuenca del río Ñirihuau [5].

Parámetro		Valor	Unidad
Área		722,5	km ²
Longitud de cauce		65	km
Perímetro		252,8	km
Elevación media		1192	msnm
Longitud máxima		39,1	km
Longitud máxima entre dos puntos		51,5	km
Factor de forma		18,48	km
Coeficiente de compacidad		2,65	
Circularidad		0,91	
Elongación		0,78	
Rectángulo equivalente	Lado mayor	121,39	km
	Lado menor	5,95	km
Pendiente media		12	%
Potencia del relieve		1460	m
Factor de relieve		0,037	
Densidad de drenaje		0,49	
Número de rugosidad		714,3	
Pendiente del curso		0,880	%
Relación de bifurcación		3,7	
Frecuencia de Canales		0,35	
Constante de mantenimiento		2,04	

5.2. Estudio de la serie de caudales

5.2.1. Adecuación y traslado de caudales

En un primer análisis de la serie de caudales del río Ñirihuau de 1978 a 2021, entregada por el DPA, se detecta que hay períodos de datos faltantes. Para poder proceder con la evaluación de caudal ambiental, es imprescindible comenzar con el completamiento de estos datos. En la figura 5.7, se pueden observar los datos faltantes para la serie histórica de caudales del río Ñirihuau.

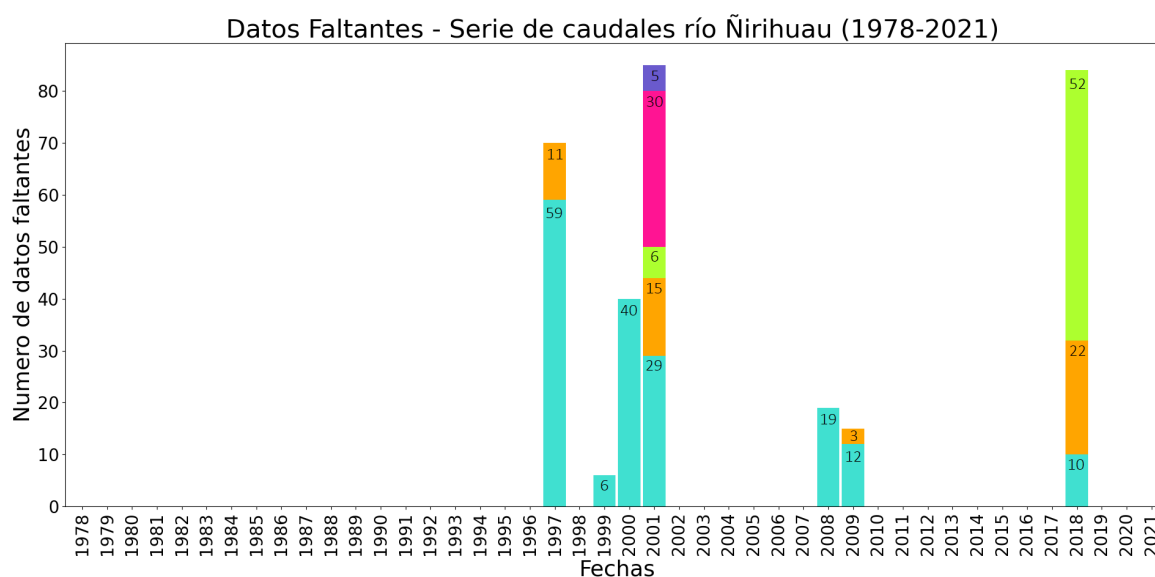


Figura 5.7: Número de datos faltantes de la serie de caudales del río Ñirihuau, representando los grupos de datos faltantes consecutivos en diferentes barras apiladas por año [Fuente propia].

Como se advierte en la figura 5.7, los grupos de datos faltantes son 15, y ninguno supera en cantidad los 59 datos faltantes de forma consecutiva. Para completar dicha serie, se proponen dos metodologías: interpolación y correlación con series de caudales de otros ríos. La aplicación de cada metodología depende del tamaño de grupo de datos faltantes a completar, ya que la interpolación disminuye su error cuanto menor es el número de datos faltantes consecutivos. En este caso, se toma como criterio general, que para los grupos de hasta 10 datos faltantes (inclusive) se utiliza la interpolación.

En cuanto a la correlación con otros ríos cuyo comportamiento sea similar al río Ñirihuau, se propone la utilización de la serie de caudales del río Villegas y Ñireco. En el caso del río Villegas, las nacientes de ambos se encuentra en la misma zona geográfica. Por otro lado, con respecto al río Ñireco, poseen entre estos el mismo régimen hidrológico.

Se debe tener en cuenta, que la serie histórica a utilizar, depende si esta a su vez presenta datos faltantes en la misma porción de tiempo que la del Ñirihuau. En el caso de que esto no suceda con ninguna de las dos series de caudales, se utiliza aquel río que

tenga un mejor ajuste con la serie a completar. Se presenta entonces, en las figuras 5.8 y 5.9 los datos faltantes en ambas series. Identificando, que en la serie del río Villegas no habría conflictos con ningún grupo de datos faltantes del Ñirihuau, y no así con la serie del Ñireco.

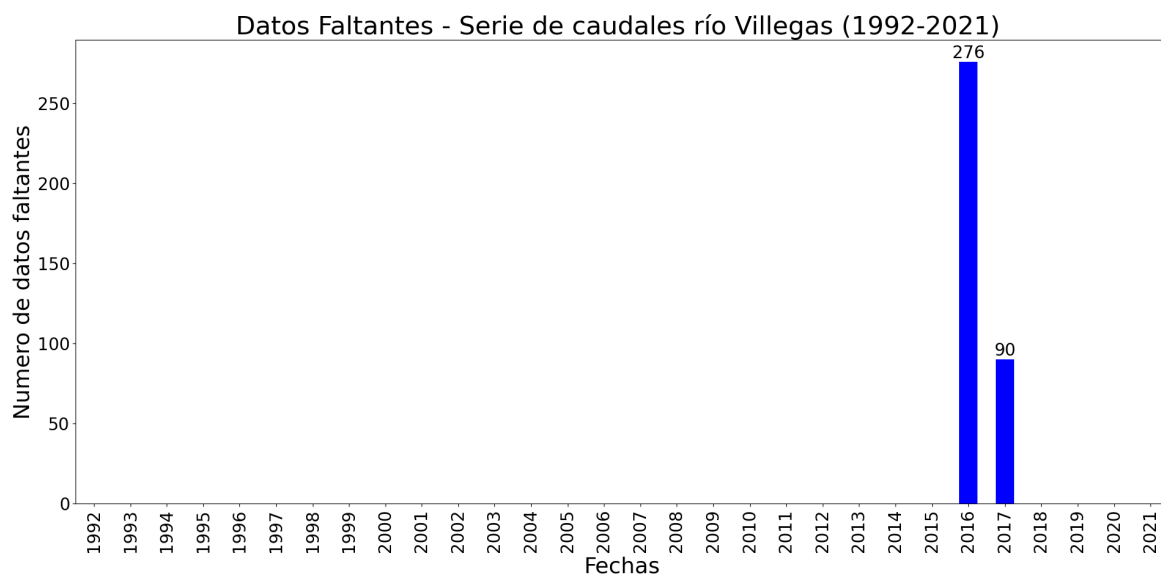


Figura 5.8: Número de datos faltantes de la serie de caudales del río Villegas [Fuente propia].

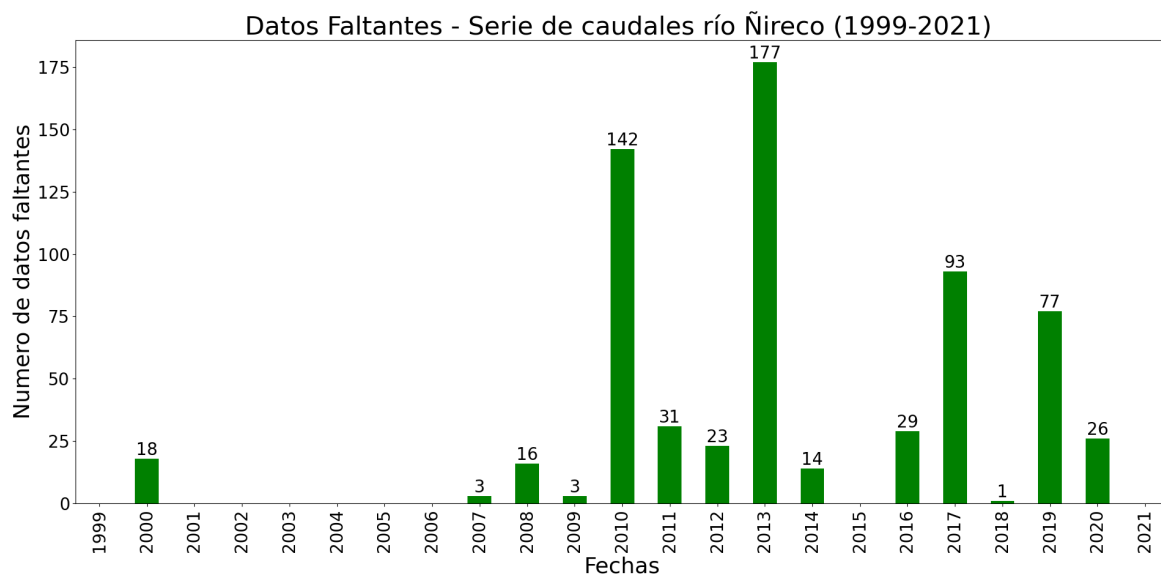


Figura 5.9: Número de datos faltantes de la serie de caudales del río Ñireco [Fuente propia].

En la tabla 5.2, se resumen los grupos de datos faltantes, las metodologías a aplicar, y en el caso de la correlación, el río utilizado y el ajuste de la misma. En aquellos donde se pudo utilizar ambos ríos, se selecciona la opción que se encuentra resaltada.

Tabla 5.2: Grupos de datos faltantes y completamiento de serie de caudales del río Ñirihuau [Fuente propia].

Completamiento de Serie de Caudales Río Ñirihuau				
Fecha de Inicio	Número de datos faltantes	Método	Serie de Caudales	R ²
1/1/1997	59	Correlación	Villegas	0,74
20/4/1997	11	Correlación	Villegas	0,81
19/12/1999	6	Interpolación	-	-
1/1/2000	40	Correlación	Villegas	0,94
3/3/2001	29	Correlación	Ñireco	0,17
			Villegas	0,70
7/6/2001	15	Correlación	Ñireco	0,20
			Villegas	0,77
1/7/2001	6	Interpolación	-	-
23/7/2001	30	Correlación	Ñireco	0,61
			Villegas	0,77
23/10/2001	5	Interpolación	-	-
3/1/2008	19	Correlación	Ñireco	0,90
			Villegas	0,94
14/1/2009	12	Interpolación	-	-
1/11/2009	3	Interpolación	-	-
1/1/2018	10	Interpolación	-	-
7/4/2018	22	Correlación	Ñireco	0,75
			Villegas	0,66
7/7/2018	52	Correlación	Ñireco	0,65
			Villegas	0,41

Una vez completa la serie de caudales, se procede a trasladar los valores de caudales al punto de la toma desde el punto de medición. Dado que no se cuenta con mediciones de caudales que permitan vincular o establecer relaciones entre los puntos de interés, la relación de caudales entre ambos puntos se realiza mediante el uso del área de aporte de cada punto, a través de la relación que se muestra en la ecuación 5.1. En la figura 5.10, se puede observar el área de aporte para cada punto. Con los valores de cada área y la serie de caudales de la estación de medición, se calculan los caudales en el punto de la toma.

$$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2} \quad (5.1)$$

$$Q_1 \times 0,41 = Q_2 \quad (5.2)$$

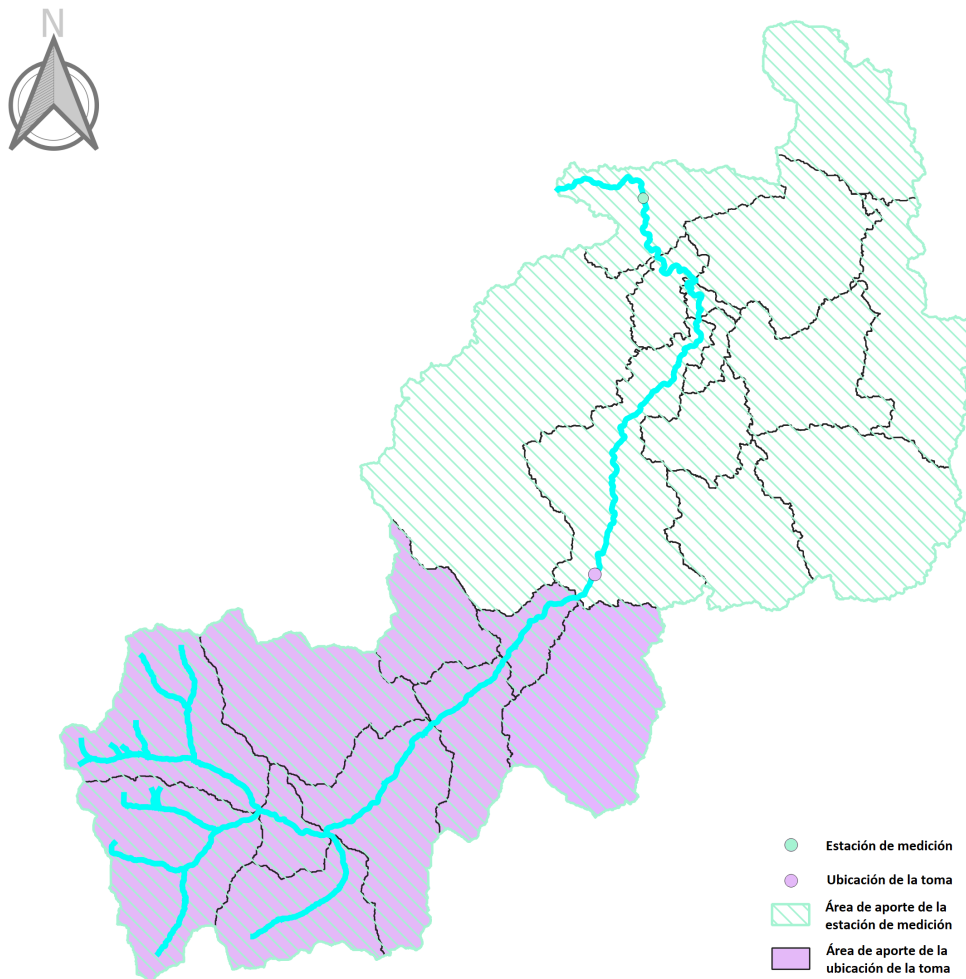


Figura 5.10: Estación de medición y ubicación de toma en el río Ñirihuau, y sus áreas de aporte correspondientes [Fuente propia].

Finalmente, a partir de la serie de caudales completa y trasladada al punto de interés se obtienen los siguientes resultados: la figura 5.11 donde se muestran los caudales medios anuales, la figura 5.12 donde se muestra el año hidrológico obtenido a partir de la serie anterior y por último, la tabla 5.3 que muestra la caracterización estadística mensual de la misma.

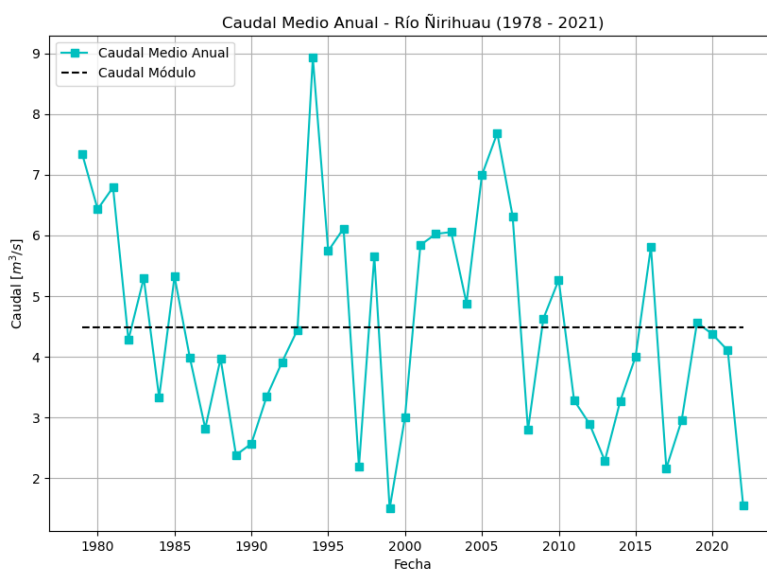


Figura 5.11: Serie de caudales del río Ñirihuau, mostrando los caudales medios anuales junto con la media de la serie completa [Fuente propia].

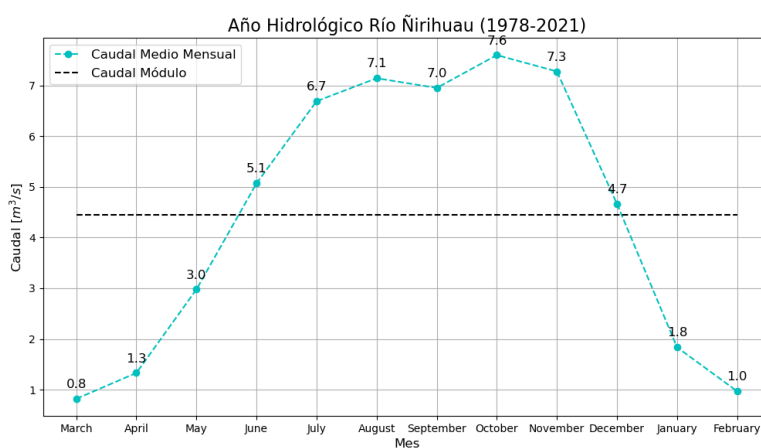


Figura 5.12: Año hidrológico para la serie de caudales del río Ñirihuau [Fuente propia].

Tabla 5.3: Caracterización estadística de la serie mensual de caudales en $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ de río Ñirihuau (1978-2021), en el punto de la toma de agua [Fuente propia].

Mes	Media ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)	Mediana ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)	Desvío Estándar ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)	Máximo ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)	Mínimo ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)	Q ₁₀ ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)	Q ₂₅ ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)	Q ₇₅ ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)	Q ₉₀ ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)
Marzo	0,82	0,73	0,54	9,14	0,27	1,31	0,96	0,49	0,40
Abril	1,33	0,92	1,43	23,21	0,32	2,52	1,43	0,67	0,49
Mayo	2,98	1,70	4,45	74,31	0,38	6,34	2,86	1,10	0,75
Junio	5,07	3,28	6,07	91,85	0,54	10,00	6,32	1,94	1,26
Julio	6,69	4,29	7,59	73,94	0,87	14,34	7,72	2,28	1,48
Agosto	7,14	5,30	6,50	70,01	1,03	13,72	8,23	3,59	2,23
Septiembre	6,95	5,62	4,32	36,08	1,25	12,64	8,51	3,99	3,08
Octubre	7,60	6,57	4,42	73,02	1,46	12,22	9,25	4,96	3,57
Noviembre	7,28	6,77	3,67	30,01	1,30	12,40	9,20	4,52	3,02
Diciembre	4,66	3,87	3,29	24,04	0,74	8,59	6,09	2,37	1,36
Enero	1,84	1,49	1,29	9,28	0,35	3,76	2,32	0,89	0,67
Febrero	0,97	0,83	0,57	4,78	0,27	1,70	1,19	0,54	0,45

5.2.2. Curva de duración de caudales

Para terminar con la caracterización hidrológica de este capítulo se realiza la curva de duración de caudales (CDC). La CDC traza la frecuencia acumulada de la ocurrencia de caudales como una función del porcentaje de tiempo que se excede el flujo de corriente. Como tal, la curva se construye clasificando los datos, y para cada valor se calcula la frecuencia de superación. En algunos casos, para mejorar la legibilidad de la curva, el caudal a menudo se representa en una escala logarítmica, también es común dejar que la escala de abscisas se base en la distribución de probabilidad normal [77].

Esta curva puede basarse en intervalos de tiempo diarios, mensuales o anuales. Si se analizan los datos diarios, se muestra la relación entre los valores de caudal diario y sus correspondientes frecuencias de excedencia de caudal. Como el caudal entre pasos de tiempo sucesivos generalmente está correlacionado, y las características del caudal son estacionalmente dependientes, la curva de duración del flujo no puede verse como una curva de probabilidad [77]. Además al ser series de duración parcial, no cronológicas, y no tener en cuenta los períodos del año en que se producen los caudales, significa que se puede trabajar con series no completas [78].

La forma de la CDC, da una idea cualitativa del comportamiento del curso. Una curva que tiende a ser plana indica un curso autorregulado, con baja frecuencia de caudales muy altos o bajos, contrariamente una curva con fuerte pendiente indica un río con alta frecuencia de caudales extremos (altos y bajos). Igualmente, si un río es regulado la curva de duración de caudales se modifica (se aplana) [78].

En este caso, para la obtención de la CDC se realiza la aplicación de las siguientes metodologías:

- Método de los rangos: donde se establecen clases o intervalos de caudal, distribuyendo los caudales existentes en esos intervalos. Se cuenta el número veces que sucede cada intervalo, expresándolo en porcentaje del tiempo considerado. Se empieza por el valor o intervalo máximo, se van sumando los porcentajes de tiempo respectivo para obtener los porcentajes acumulados a partir del límite inferior de cada clase.
- Método de la frecuencia: esta metodología permite estimar caudales vinculados a una determinada probabilidad de excedencia, ordenando los caudales diarios de forma ascendente, asignando un número según el orden a cada dato y luego calculando la frecuencia correspondiente.
- Utilizando un software que provee “HydroOffice” [79], específicamente la herramienta “FDC”, con la serie de caudales de la cuenca.

Finalmente, como se puede observar en la figura 5.13, no se observan diferencias significativas en los resultados obtenidos de las tres metodologías y se propone utilizar

el método de frecuencia de aquí en adelante. Se muestra entonces, en la figura 5.14 las curvas de duración para cada mes resultado de la aplicación del método de frecuencia.

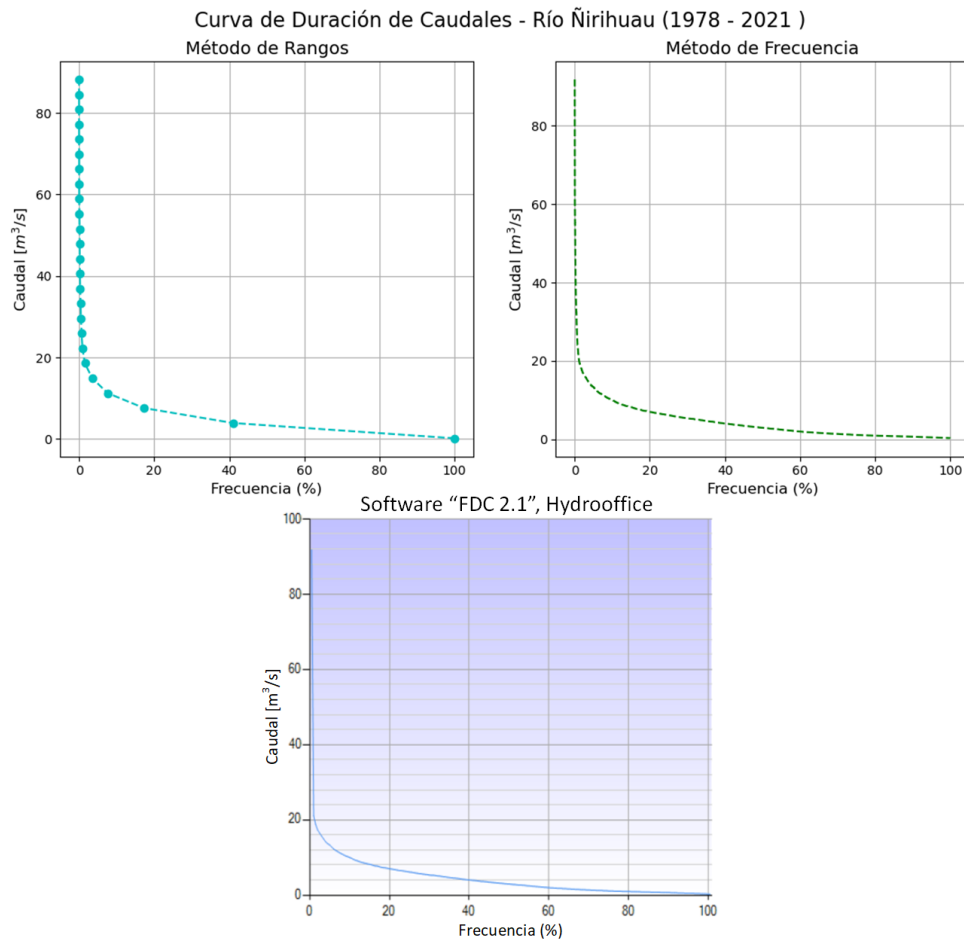


Figura 5.13: Curva de duración de caudales para la serie del río Ñirihuau de 1978-2021 [Fuente propia].

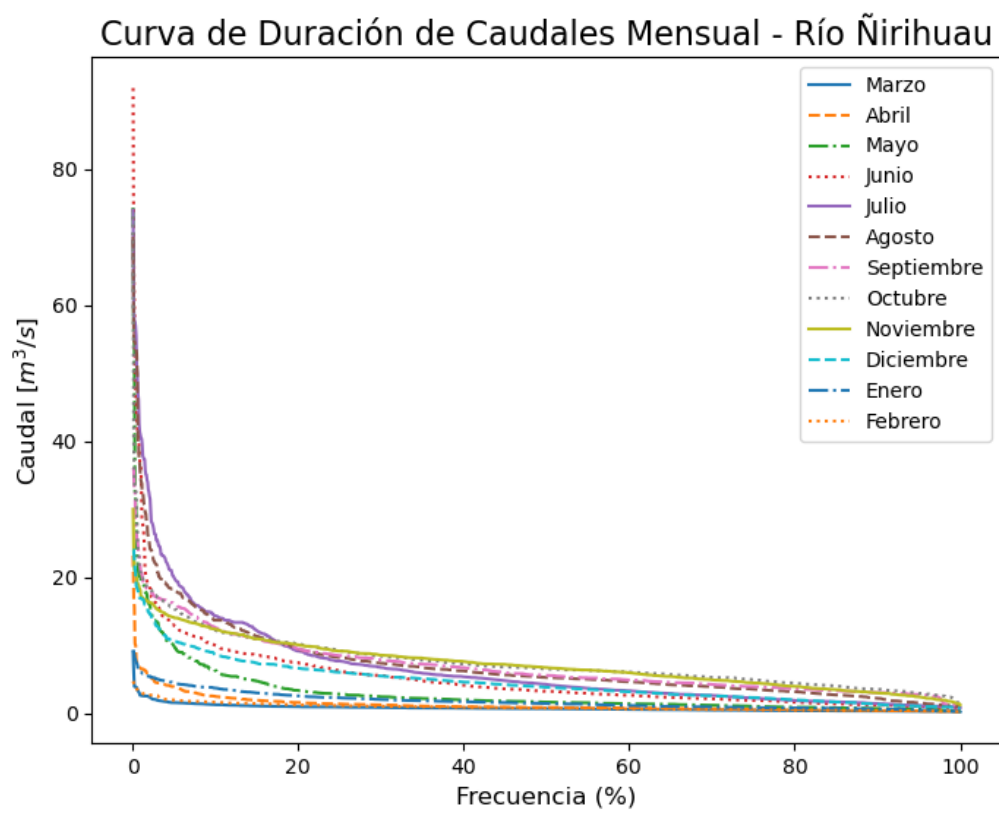


Figura 5.14: Curva de duracion de caudales mensual para la serie del río Ñirihuau de 1978-2021 [Fuente propia].

Capítulo 6

Evaluación del Régimen de Caudal Ambiental

Una evaluación de caudales ambientales para un río, puede definirse simplemente como la evaluación de cuánto del régimen de flujo original de un río debe continuar fluyendo hacia abajo y hacia sus llanuras aluviales para mantener características específicas y/o valiosas del ecosistema. Esta evaluación resulta en una o más descripciones de posibles cambios en el régimen hidrológico del río, según los requisitos vinculados a un predeterminado objetivo en términos de la condición futura del ecosistema. Por ejemplo, estos objetivos pueden estar dirigidos al mantenimiento o mejora de todo el ecosistema fluvial, incluidas sus diversas biotas acuáticas y ribereñas, para maximizar la producción de especies de peces comerciales, para conservar especies en peligro de extinción, o características de valor científico, cultural o recreativo [10].

El desarrollo de metodologías para la determinación de caudales ambientales comenzó a fines de la década de 1940, en los Estados Unidos de América y específicamente se logró un gran progreso durante la década de 1970. Actualmente, el reconocimiento de la necesidad de establecer hasta qué punto el régimen de caudal de un río puede ser alterado del natural, manteniendo al mismo tiempo la integridad, o un nivel aceptado de degradación, del ecosistema ha proporcionado el ímpetu para un desarrollo acelerado de una ciencia relativamente nueva de evaluación de caudales ambientales [10].

En específico, los métodos hidrológicos que se utilizarán en el desarrollo de este capítulo, constituyen el abordaje más simplificado para la estimación de caudales ambientales, ya que están centrados únicamente en el análisis de información de series temporales de caudales naturales del curso de agua. Las series temporales pueden ser resultado del registro histórico en estaciones de aforos o estimaciones obtenidas mediante regionalización hidrológica o modelación numérica hidrológica-hidrodinámica. Esto implica que la viabilidad de aplicación de un método hidrológico está fuertemente condicionada con la disponibilidad de información (tipo, calidad y cantidad de infor-

mación) en el curso que interese estimar el caudal ambiental [18].

Estos métodos, si bien son de rápida y económica aplicación, no incorporan una relación explícita entre los componentes hidrológicos y biológicos. Por esto, debe tenerse en cuenta la imprecisión que puede significar su utilización ya que su extrapolación a otra región con diferentes características de donde se originó puede no tener validez ecológica. Además, algunos métodos han sido aplicados como una condición de caudal mínimo, a partir de lo cual cualquier valor por encima de ese valor de umbral podía ser extraído en todo momento y circunstancia [18]. En la actualidad, existe un acuerdo generalizado que cualquier método para la determinación de caudales ambientales (aún los hidrológicos) deberían considerar una cierta variabilidad de los caudales en el tiempo con el propósito de mantener la integridad de los ecosistemas [1]. De todas formas, como se puede observar en la figura 6.1, los métodos hidrológicos continúan siendo la mayor proporción de las metodologías utilizadas en la actualidad, ya sea en su forma original o con algún grado de modificación para mejorar la transferibilidad entre diferentes regiones hidrológicas y ecotipos fluviales [10].

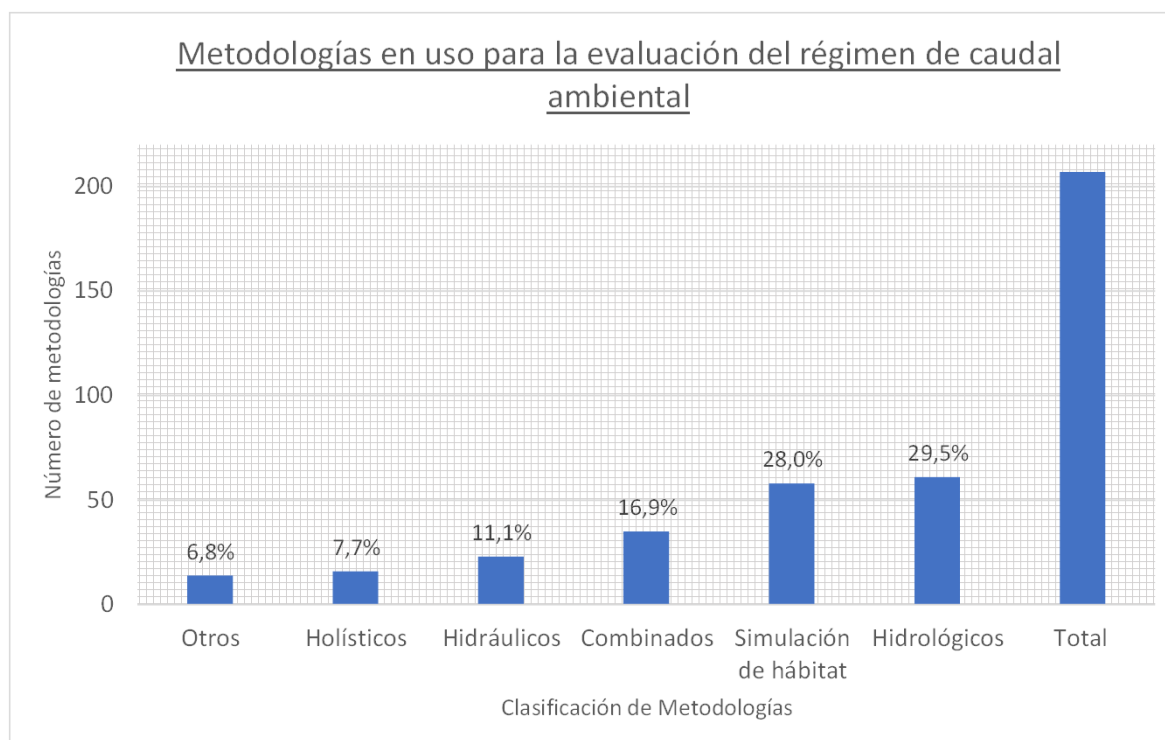


Figura 6.1: Número y tipo de metodologías para la determinación de régimen de caudal ambiental en uso [10].

En este capítulo, se procede a realizar la aplicación del estudio de caudal ambiental al río Ñirihuau, teniendo en cuenta toda la información relevada anteriormente. Se describen entonces las distintas metodologías de carácter hidrológico a aplicar, en primer lugar las de paso anual (sin variabilidad mensual) y luego, las de paso mensual. A pesar de lo expuesto anteriormente, y que la variabilidad no es concebida en los métodos de

paso anual, se considera de interés su aplicación ya que se cuenta con el precedente de análisis de caudal ambiental realizado para el Atuel, en el fallo de la CSJN, donde se utilizan las mismas [80]. Posteriormente, se aplica cada metodología y se muestran los resultados. Por último, para finalizar con la evaluación del caudal ambiental, se realiza un proceso de selección comparando los resultados obtenidos.

6.1. Metodologías de paso anual

6.1.1. Descripción de las Metodologías

Método de Tennant

El método de Tennant, conocido también como Método de Montana, es uno de los más usados mundialmente y se ha utilizado básicamente en corrientes que no tienen estructuras de regulación como represas, diques u otras modificaciones en el cauce [11]. El servicio de pesca y vida silvestre de Estados Unidos (US Fish and Wildlife Service) realizó un estudio en 11 arroyos ubicados en Montana, Nebraska y Wyoming, cuyo objetivo era encontrar una relación entre el caudal y la disponibilidad de hábitat para la biota acuática. Tennant dividió el año en un período seco y otro lluvioso, para los cuales propuso caudales expresados como porcentajes del caudal medio anual (QMA) relacionándolos con grados de conservación, esto se resume en la tabla 6.1. A partir del estudio, se determinó que el hábitat comenzaba a degradarse cuando el flujo era inferior al 10 % del flujo medio anual, esto asociado a una velocidad media de $0,25 \frac{m}{s}$ y una profundidad media de 0,3 m [14].

Entonces, se establecen diferentes caudales, basados en el QMA:

1. 10 %QMA: mínimo recomendable a corto plazo para mantener el hábitat a nivel de sobrevivencia para la mayoría de las formas de vida en el cauce.
2. 30 %QMA: permite adecuar el hábitat para la sobrevivencia de las formas de vida acuática.
3. 60 %QMA: es adecuado para generar un hábitat de excelente a excepcional para la mayoría de las formas de vida acuática durante el período de crecimiento inicial, así como para diversos usos recreativos [14].

El método presenta algunas deficiencias puesto que define dos semestres aplicables a los ríos donde se desarrolló, y que presentan esas particulares características hidrológicas, así que su aplicación en otras regiones debe darse después de definir la variación hidrológica propia de la región de estudio [11]. En particular, los períodos de crecidas y estiajes que propone el método 6.1 no coincidirían con los del río Ñirihuau, que ocurren en los meses de junio a noviembre y de diciembre a mayo respectivamente.

Tabla 6.1: Método de Montana para la fijación de caudales según niveles de calidad de hábitat [14].

Descripción narrativa de caudales	Regímenes de flujo base recomendados	
	Oct. – Mar.	Abr. – Sept.
Crecidas o Máximo	200% del caudal medio	
Rango óptimo	60% - 100% del caudal medio	
Sobresaliente	40%	60%
Excelente	30%	50%
Bueno	20%	40%
Justo o Degradado	10%	30%
Pobre o Mínimo	10%	10%
Degradación severa	10% del caudal medio al caudal cero	

Métodos de 7Q

Estos métodos involucran una frecuencia de caudal mínimo para el análisis de series de caudales, durante un período de muestra determinada, por ejemplo 7 días; y para cierto período de recurrencia. El 7Q10, en específico, corresponde al caudal mínimo establecido sobre una media de siete días consecutivos con un intervalo de recurrencia de 10 años. Originalmente esta metodología por Tharpe de 1975, se utilizó como criterio para permitir la descarga de una cantidad específica de efluentes residuales en los arroyos; y luego, para establecer los límites permitidos para las extracciones de agua superficial de los arroyos [81].

Se ha señalado la falta de adecuación del 7Q10 como un método de cálculo de caudales ambientales ya que no se ha utilizado ni probado su validez para la protección de la vida acuática. Diversas agencias ambientales advirtieron que el caudal 7Q10 podía subestimar de manera significativa el caudal ambiental, y que el uso de estos métodos podía conducir a graves daños en las comunidades biológicas [28].

A continuación, se detallan las metodologías basadas en el 7Q:

- 7Q1: caudal para periodos secos, utilizado también para la concesión de extracciones de agua, y para la regulación de ríos pequeños.
- 7Q2: método muy utilizado como procedimiento de determinación de caudales ambientales para el mantenimiento de hábitats acuáticos. También, se ha empleado para la concesión de licencias de vertido de aguas residuales y para la modelación de infraestructuras hidráulicas, como tanques de tormentas.
- 7Q5: caudal crítico mínimo para aguas piscícolas de baja calidad.
- 7Q10: es de los más comunes utilizado, asociado a la protección o regulación de la calidad del agua.

- 7Q20: utilizado como valor mínimo para el mantenimiento del ecosistema fluvial, como caudal de dilución, o como caudal para la protección de actividades turísticas.
- 7Q25: caudal crítico mínimo para aguas piscícolas de elevada calidad [28]

En este caso se aplicará únicamente el método 7Q10. Para ello se parte de una serie de caudales medios diarios, y se calcula la serie de caudales de medias móviles (MM7Q) para siete días consecutivos. Luego, con la serie de valor mínimo anual de las MM7Q de cada año, se procede a ajustarle una función de distribución de valores extremos Tipo III (Weibull) [18].

Índices con la curva de duración de caudales

La CDC es uno de los procedimientos más sencillos y efectivos de mostrar el rango de los caudales de una serie hidrológica, desde los caudales bajos hasta los eventos de avenida [28]. En la figura 6.2, se observan los diferentes usos que se han dado a los índices sacados a partir de la CDC.

Índice de flujo	Uso	Fuente
Q95	Usado como índice de caudal mínimo o indicador de condiciones mínimas extremas.	Smakhtin, (2001); Wallace & Cox, (2002); Tharme, (2003)
	Condición mínima mensual en los puntos de descarga.	Michigan Department of Environmental Quality, (2002)
	Índice biológico que indica el caudal mínimo mensual.	Dakova <i>et al.</i> , (2000)
	Usado para mantener la variación estacional mensual.	Stewardson & Gippel, (2003)
Q90	Usado como índice de caudal base.	Smakhtin <i>et al.</i> , (1995); Smakhtin, (2001)
	Valor mensual que brinda condiciones de caudal estable.	Caissie & El-Jabi, (1995)
	Caudal mínimo mensual para el hábitat acuático.	Yulianti & Burn, (1998)
	Caudal crítico considerado como el caudal mínimo limitante.	Rivera-Ramirez <i>et al.</i> , (2002)
	Describe las condiciones límite de la corriente y fue usado como un estimador conservativo de caudal base.	Wallace & Cox, (2002)
Q50 Mensual	Caudal base para el manejo y planeación del recurso.	Ries & Friesz, (2000); Ries, (1997)
	Usado para proteger la biota acuática	U.S. Fish & Wildlife Service, (1981)
	Mínimo caudal recomendado en ríos con represas	Metcalf <i>et al.</i> , (2003)

Figura 6.2: Usos de los índices para cálculo de caudales a partir de la CDC [11].

El uso de los índices Q_{95} y Q_{90} , debe tomarse con precaución pues en algunos ríos representan caudales mínimos extremos que sólo se presentan en las temporadas más secas y que por lo tanto no pueden ser recomendados como caudales ambientales a mantener en un río. En cambio el Q_{50} , representa la mediana del período de registro y es un caudal generoso con el río y el ecosistema fluvial. Sin embargo, el valor no puede considerarse único a lo largo del año, porque hay eventos climáticos naturales en los que ese caudal no es satisfecho, además de restringir los usos del agua [11].

Métodos basados en el caudal medio anual

Existen algunos métodos que definen el caudal ecológico de un río directamente como un porcentaje del QMA. Entre ellos los más destacados son:

- 10 % del QMA,
- 25 % del QMA,
- 30 % del QMA.

Estos son métodos de extrema sencillez que requieren poco tiempo para su aplicación, así como escasa financiación, conocimiento hidrológico e información. Por ello, sólo pueden considerarse válidos para ríos o tramos de escaso valor ecológico. No dejan de ser, por el contrario, índices que permiten obtener unas primeras valoraciones de las posibilidades de manejo del río. En cualquier caso, no pueden competir con otros métodos más complejos en cuanto a resolución y flexibilidad en su aplicación [28].

Método Suizo

La Ley Federal suiza propone unos algoritmos constituidos por un caudal mínimo base y un caudal complementario variable en función del Q_{347} (caudal superado 347 días del año). Además, hace una diferenciación para encontrar el caudal mínimo, si éste es para aguas piscícolas o no piscícolas. Para aguas no piscícolas fija como caudal mínimo el valor de $50 \frac{L}{s}$ o el 35 % del Q_{347} siempre que Q_{347} sea inferior a $1 \frac{m^3}{s}$. Para las aguas piscícolas se especifican unos valores de caudales mínimos en función de los valores de Q_{347} que se presentan en la tabla 6.2 [15].

Tabla 6.2: Método suizo para la fijación de caudales mínimos [15].

Aguas no piscícolas	Aguas piscícolas		
Q min [L/s]	Q347 [L/s]	Q min [L/s]	Caudal Adicional
50 o el 35% del Q347 sí y solo sí Q347 < 1 [m ³ /s]	<60	50	8 [L/s] por cada 10 [L/s]
	=160	130	4,4 [L/s] por cada 10 [L/s]
	=560	280	31 [L/s] por cada 100 [L/s]
	=2500	900	21,3 [L/s] por cada 100 [L/s]
	=1000	2500	150 [L/s] por cada 1000 [L/s]
	=6000	10000	0

Método Asturiano

La normativa asturiana establece tres niveles de protección de los cauces, basando el cálculo del caudal mínimo en el método suizo. El caudal ecológico se calcula a partir del Q347. Para el nivel de protección base I, el caudal ecológico será el mayor de los valores obtenidos de las siguientes fórmulas:

$$Q_{eco} = 0,35 \times Q_{347} \quad (6.1)$$

$$Q_{eco} = \frac{15 \times Q_{347}}{(\ln Q_{347})^2} \quad (6.2)$$

$$Q_{eco} = 0,25 \times Q_{347} + 75 \frac{L}{s} \quad (6.3)$$

Para el nivel de protección medio II, el caudal correspondiente al nivel de base I se incrementará en $2 \frac{l}{s.km^2}$ de cuenca aprovechada. En el nivel de protección máximo III, el caudal correspondiente al nivel de base I se incrementa en $4 \frac{l}{s.km^2}$ de cuenca aprovechada [18].

6.1.2. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de las metodologías descritas anteriormente en la tabla 6.3 y en la figura 6.3. Además, se presentan los resultados de cada metodología en relación al QMA, y al Q_{50} , indicando en cuanto a magnitud en qué proporción representan al caudal natural del río, con las limitaciones de los escenarios que ofrecen estas metodologías de carácter anual.

Teniendo en cuenta lo mencionado en la introducción del capítulo, que estos métodos han sido aplicados como primera referencia debido al antecedente de la CSJN [80]; y ya que no representan la variabilidad del régimen hidrológico natural, los resultados de estas metodologías serán utilizados como guías iniciales y no serán considerados a la hora de realizar el proceso de selección final.

Tabla 6.3: Resultados de caudales ambientales en $\frac{m^3}{s}$, y en relación al QMA y Q_{50} , obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso anual para el río Ñirihuau [Fuente propia].

	Resultados ($\frac{m^3}{s}$)	Qamb/QMA	Qamb/ Q_{50}
QMA	4,47		
Q_{50}	2,96		
Tennant (10%QMA)	0,45	0,10	0,15
Tennant (30%QMA)	1,34	0,30	0,45
Tennant (60%QMA)	2,68	0,60	0,91
25%QMA	1,12	0,25	0,38
Q_{90}	0,69	0,15	0,23
Q_{95}	0,51	0,11	0,17
7Q10	0,92	0,21	0,31
Suizo	0,28	0,06	0,09
Asturiano I	0,20	0,05	0,07
Asturiano II	0,79	0,18	0,27
Asturiano III	1,37	0,31	0,46

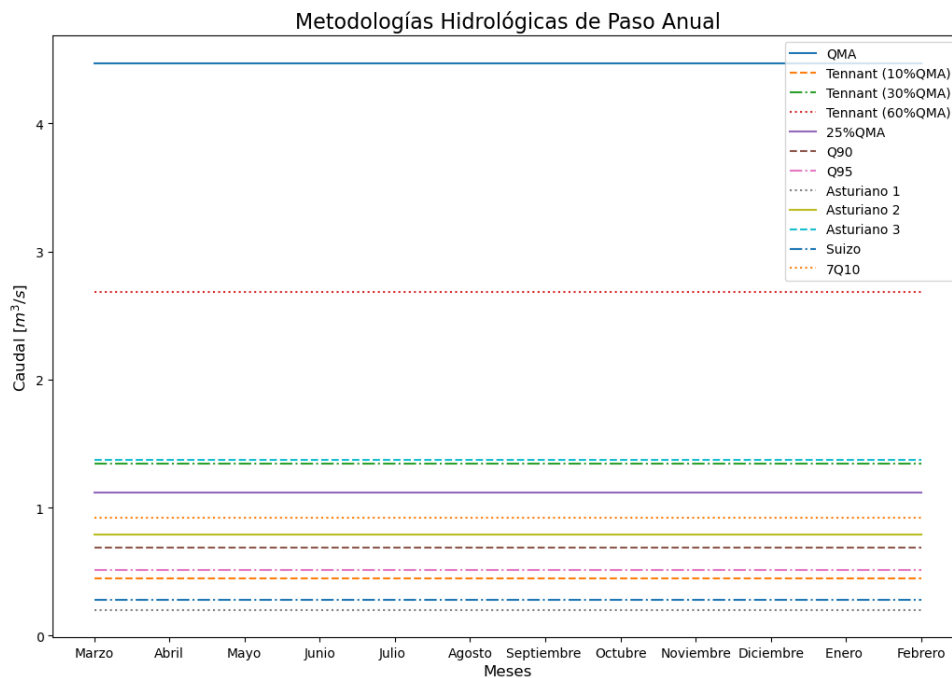


Figura 6.3: Resultados de caudales ambientales en $\frac{m^3}{s}$, obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso anual para el río Ñirihuau [Fuente propia].

6.2. Metodologías de paso mensual

6.2.1. Descripción de las Metodologías

Métodos de duración de caudal del Q_{50} y $70\%Q_{50}$

El método de la mediana mensual fue desarrollado para la región de Nueva Inglaterra (EE.UU.), con el supuesto básico de que el caudal de la mediana mensual debe ser suficiente para proteger el hábitat acuático durante diferentes períodos dentro del año. Cuando un curso de agua tiene un área de cuenca de drenaje superior a 130 km^2 y se dispone de registros hidrométricos, se puede calcular el caudal mensual medio (o Q_{50}) para cada mes y utilizarlo con fines de caudal ambiental. Cuando no se cumple el criterio anterior, se propone el método de Caudal Base Acuático (ABF, por sus siglas en inglés) [82].

El método ABF fue usado inicialmente en los proyectos relacionados con la gestión de los recursos hídricos. El caudal ecológico se calcula como la media aritmética de los valores de la mediana, calculada para los caudales medios diarios del mes de agosto, de cada año de la serie considerada [28]. La selección del mes agosto se basó en el hecho de que este es un mes de bajo flujo que también experimenta altas temperaturas del agua en esa región [82].

Los métodos de evaluación del caudal ambiental basados en el Q_{50} sugieren que el caudal medio debería ser capaz de mantener o proteger las poblaciones de peces a medida que han evolucionado para maximizar su adecuación a dicho hábitat y condiciones de caudal en diferentes épocas del año. Esto significa que los meses que naturalmente experimentan caudales más bajos deberían tener valores de caudal ambiental más bajos y viceversa. En la aplicación del método Q_{50} , se debe tener en cuenta que los meses de flujo bajo pueden ocurrir en diferentes épocas del año. Una variante del método Q_{50} , es el $70\%Q_{50}$ [82].

Métodos basados en un porcentaje del caudal medio mensual

Este método se encuentra basado en los caudales medios mensuales (QMM), conocido como método del 30% del QMM, que utiliza este porcentaje para definir el caudal ecológico preciso en cada mes del año [28].

Método NGPRP

El método NGPRP o por su nombre completo “*Northern Great Plains Resource Program*” (Programa de Recursos de las Grandes Llanuras del Norte), se basa en la descripción de las condiciones hidrológicas de cada mes. Propone que los caudales ecológicos sean calculados como los caudales que son igualados o superados el 90% del

tiempo, una vez descartados los caudales extremos correspondientes a periodos secos y húmedos. Con la excepción, de los meses de caudal más elevado, en los que el caudal mínimo recomendado corresponde el caudal que es igualado o superado el 50 % del tiempo [28].

En primer lugar, para eliminar los caudales extremos, se hace uso de la disgregación en meses húmedos, medios y secos que proporciona la metodología de los Índices de Alteración Hidrológica 75 %-25 %. Es decir, se eliminan aquellos caudales que se encuentren por encima del percentil 75 % o debajo del 25 % para cada mes. Posteriormente, se definen los meses de caudales elevados como aquellos en los que el QMM supera el 75 % del QMA [18].

Cabe indicar, que no es valorado positivamente, en algunos casos, el descarte de caudales extremos, dado que se elimina así parcialmente el registro de variabilidad del río en cuestión [28].

Porcentaje de excedencia Q_{90} y Q_{95}

Este método, similar al método Q_{50} , utiliza datos de duración del caudal diario para cada mes del año durante el período de registro. Con base en el NGPRP, 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, Q_{90} . Este método de flujo ambiental asume que Q_{90} proporcionará un nivel adecuado de protección del hábitat de los peces dentro de algún régimen de flujo. Antes del análisis de duración del caudal, NGPRP recomendó un análisis estadístico para cada mes para descontar los eventos extremos de flujo (meses de flujo bajo y flujo alto). Se ha considerado, además, siguiendo la misma lógica metodológica, la aplicación del caudal Q_{95} [82].

Normativa Chilena

La Dirección General de Aguas de Chile establece una metodología para obtener un caudal ecológico mínimo para los nuevos derechos de aprovechamiento de aguas que se constituyan en fuentes superficiales. Estas metodologías se basan en relación a porcentajes de excedencia y porcentajes del QMA, considerando los derechos ya otorgados, y son determinadas según los siguientes criterios:

- a) Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo, considerando como fórmula de cálculo el criterio del 10 % del QMA, se considerará el 50 % del Q_{95} , para cada mes, con las restricciones siguientes:
 - 1) Para aquellos meses, en los cuales el 50 % del Q_{95} es menor al 10 % del QMA, el caudal ecológico mínimo para ese mes será igual al 10 % del QMA.

- 2) Para aquellos meses, en los cuales el 50 % del Q_{95} es mayor a diez por ciento del QMA y menor al 20 % del QMA, el caudal ecológico mínimo será igual al 50 % del Q_{95} .
 - 3) Para aquellos meses, en los cuales el 50 % del Q_{95} es mayor al 20 % del QMA, el caudal ecológico mínimo será el 20 % del QMA.
- b) Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo del menor de 50 % del Q_{95} , se considerará como caudal ecológico mínimo el 50 % del Q_{95} , para cada mes, con las restricciones siguientes:
- 1) Para aquellos meses, en los cuales el 50 % del Q_{95} es menor al 20 % del QMA, el caudal ecológico mínimo será 50 % del Q_{95} .
 - 2) Para aquellos meses, en los cuales el 50 % del Q_{95} es mayor al 20 % del QMA, el caudal ecológico mínimo, en esos meses, será el 20 % del QMA.
- c) Para aquellos cauces donde no existen derechos con caudal ecológico mínimo, aplicará, para los nuevos derechos, el criterio establecido en la letra b).
- d) Respecto a los cauces que presenten un comportamiento hídrico que no se ajuste a las fórmulas señaladas en los literales a) y b), tales como vertientes, el criterio para establecer el caudal ecológico es el 20 % del caudal del promedio de los aforos, como valor constante sin variación mensual.
- e) Para los lagos y lagunas, con salida, el caudal ecológico será el que se determine en el desagüe, el cual se evaluará en base a los criterios definidos en las letras a) y b) según corresponda.
- f) Para aquellos derechos de aprovechamiento de agua cuya captación se haga mediante un embalse, el cumplimiento del caudal ecológico mínimo calculado con los criterios definidos en las letras a) o b), según corresponda se verificará inmediatamente aguas abajo de la barrera ubicada en el álveo.

En este caso, el cauce no cuenta con derechos de caudal ecológico mínimo, por lo que se toma la metodología del inciso c), que refiere a su vez el inciso b) [83].

Método de Tennant Modificado

Esta adaptación del método de Tennant, fue realizada para las zonas tropicales y subtropicales de México. En primer lugar, se modifican los meses considerados para la época de estiaje y el período de lluvias, para ajustarlo a la zona. Para su aplicación se propone que la época de estío corresponde a los meses que presentan valores de QMM

menores al QMA, y la época de lluvia es aquella donde el QMM sea mayor al QMA [84].

Además, como se menciona anteriormente, los cálculos se basan en los QMM, en lugar de los QMA, con el fin de tener una descripción más detallada durante el año. Sin embargo, para determinar los caudales ecológicos se necesitan los registros de los QMM y QMA de, por lo menos, diez años [84].

Entonces, con los meses clasificados según su época, se hace uso de los porcentajes de QMA propuestos originalmente por Tennant, para cada categoría de caudal ecológico: justo, bueno, excelente y sobresaliente [84].

Métodos de Tessman

El método de Tessman es otra modificación del método de Montana, y así es conocido también como Método de Tennant modificado. Determina los caudales mínimos comparando un porcentaje determinado del QMA con el QMM. Presenta una mejora con respecto al método de Tennant, al calcular caudales mínimos para cada mes del año [18].

Este método diferencia tres condiciones de flujo, meses bajos, intermedios y altos. Luego, para cada condición de flujo, establece un cálculo del caudal ecológico o requerimiento de flujo que será función del propio QMM o QMA, según sea el caso [18].

El caudal mínimo del mes es aquel que satisface alguna de las siguientes condiciones:

- Para los meses en que el $QMM \leq 0,4QMA$, el caudal recomendado es el QMM.
- Para meses en los que $0,4QMM \geq 0,4QMM$, el caudal mínimo recomendado es $0,4QMM$.
- De no cumplirse ninguna de las desigualdades anteriores el caudal mínimo recomendado es $0,4QMA$.

Método VMF

El método de flujo mensual variable o VMF, sigue la variabilidad natural de la descarga del río mediante la definición de los requisitos de caudal ambiental mensualmente y al igual que el método de Tessmann se encuentra basado en el método de Tennant. Fue desarrollado para aumentar la protección de los ecosistemas durante la temporada de flujos bajos, con una reserva del 60 % del QMM y un mínimo de 30 % del QMM durante la estación de flujos altos. Propone además las condiciones para las temporadas de caudales bajos y altos, e incluye meses intermedios entre los meses de flujos alto y bajo, para que la transición sea suave [16]. En la tabla 6.4 se puede observar las condiciones para cada mes y los caudales ecológicos recomendados respectivamente.

Tabla 6.4: Método de flujo mensual o VMF para la fijación de caudales ecológicos [16].

Flujo	Condición	Caudal Ecológico
Bajo	$QMM < 0,4QMA$	0,6 QMM
Intermedio	$QMM > 0,4QMA \wedge QMM < 0,8QMA$	0,45 QMM
Alto	$QMM > 0,8QMA$	0,3 QMM

Método FDC shifting

El método FDC-shifting, usa datos mensuales y es desarrollado a través de una CDC. El mismo incluye las siguientes cuatro etapas para evaluar el caudal ambiental:

- Etapa 1: *Simulación de condiciones hidrológicas de referencia*. Este paso consiste en calcular una CDC para el curso en estudio usando datos mensuales. La CDC se representa a través de una tabla de caudales correspondientes a 17 porcentajes de referencia: 0.01, 0.1, 1.5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, 99.9, y 99.99 % [17]. Para la construcción de la CDC, la función de distribución de probabilidad recomendada es la Ley de Weibull. Sin embargo, al aplicar dicha función, el máximo percentil que se puede calcular va a estar dado por la cantidad de datos disponibles. En caso de que la cantidad de datos no permita calcular algunos porcentajes de referencia, se propone asumir como el caudal correspondiente al percentil 100 % al menor valor de la serie, y completar los faltantes a través de interpolación lineal [18].
- Etapa 2: *Definición de niveles de gestión ambiental (EMC)*. El propósito de determinar el caudal ambiental es mantener o mejorar el ecosistema hacia alguna condición futura deseable o nivel de gestión ambiental. Niveles más estrictos requieren mayores asignaciones de agua para el mantenimiento o conservaciones del ecosistema y para la preservación de la variabilidad de los caudales. Idealmente, los niveles deberían basarse en relaciones empíricas entre el flujo y las condiciones ecológicas asociadas con umbrales claramente identificables. Sin embargo, la evidencia para tales umbrales es insuficiente hasta ahora. Entonces, se proponen seis EMC relacionadas a un concepto de gestión que se pueden observar en la tabla 6.5. Según recomendaciones, del total de EMC, sólo deben adoptarse el B, C, D y E; ya que los niveles planteados en A y F se consideran extremos no aplicables en situaciones reales [17].

Tabla 6.5: Escenarios de gestión ambiental (EMC) utilizadas en el método FDC shifting [17].

EMC	Condición ecológica más probable	Perspectiva de gestión
A (natural)	Ríos naturales con modificaciones menores de los caudales ambientales y de los hábitats ribereños.	Ríos y cuencas protegidas; reservas y parques nacionales; no se permiten nuevos proyectos de agua (presas, desviaciones).
B (ligeramente modificada)	Ríos levementes modificados y/o ecológicamente importantes con biodiversidad y hábitats en gran parte intactos a pesar del desarrollo de los recursos hídricos y/o modificaciones de la cuenca.	Planes de suministro de agua o desarrollo de riego presentes y/o permitidos
C (moderadamente modificada)	Los hábitats y la dinámica de la biota se han alterado, pero las funciones básicas del ecosistema aún están intactas; algunas especies sensibles se pierden o se reducen en extensión; especies exóticas presentes.	Múltiples perturbaciones (por ejemplo, presas, desvíos, modificación del hábitat y reducción de la calidad del agua) asociadas con la necesidad de desarrollo socioeconómico.
D (en gran parte modificada)	Se han producido grandes cambios en el hábitat natural, la biota y las funciones básicas del ecosistema; la riqueza de especies es claramente menor de lo esperado; presencia muy reducida de especies intolerantes; las especies exóticas prevalecen.	Perturbaciones significativas y claramente visibles (incluidas presas, desvíos, transferencias, modificación del hábitat y degradación de la calidad del agua) asociadas con el desarrollo de cuencas y recursos hídricos.
E (seriamente modificada)	La diversidad y la disponibilidad del hábitat han disminuido; la riqueza de especies es sorprendentemente menor de lo esperado; solo quedan especies tolerantes; las especies autóctonas ya no pueden reproducirse; especies exóticas han invadido el ecosistema.	Alta densidad de población humana y explotación extensiva de recursos hídricos; en general, este estado no debería ser aceptable como objetivo de gestión; las intervenciones de gestión son necesarias para restaurar el patrón de flujo y "mover" un río a una categoría de gestión superior.
F (críticamente modificado)	Las modificaciones han alcanzado un nivel crítico; el ecosistema ha sido completamente modificado con una pérdida casi total de hábitat natural y biota; en el peor de los casos, las funciones básicas del ecosistema se han destruido y los cambios son irreversibles.	Este estado no es aceptable desde la perspectiva de la gestión; las intervenciones de gestión son necesarias para restaurar el patrón de flujo y los hábitats de los ríos (si aún es posible / factible) para "mover" un río a una categoría de gestión superior.

- Etapa 3: *Definición de curvas de frecuencias de caudales ambientales para cada nivel de gestión ambiental.* Las CDC para cada nivel son determinadas mediante defasajes sucesivos de la CDC de referencia, a la izquierda en el eje de probabilidad. Esto quiere decir que para determinar la clase A, se defasa la CDC de referencia un escalón a la izquierda en eje de probabilidad. Para obtener la clase B, se defasa la CDC de referencia dos escalones a la izquierda del eje de probabilidad [17].
- Etapa 4: *Obtención del caudal ambiental mensual para cada escenario de gestión ambiental.* Una vez obtenidas las CDC para cada nivel, es posible determinar la serie de caudales ambientales mensuales para cada uno. Para esto, se debe identificar primero los porcentajes de excedencia correspondientes a los QMM en condición natural. Con esos porcentajes, se entra a las CDC de cada nivel y se determinan los caudales equivalentes. De esta forma quedan conformadas series de QMM para cada nivel de gestión ambiental [17].

Método Tennant modificado con variabilidad espacio-temporal

Este método de Tennant modificado basado en condiciones de hábitat multinivel se denomina MTMMHC-III. Este incluye una variabilidad de flujo mensual e interanual, considerando además una variabilidad espacial y los problemas de escalabilidad [85].

El enfoque mejorado consta de cuatro pasos:

- Se considera la variabilidad del flujo mensual y año a año, las series de flujo diario natural se agrupan en 12 categorías mensuales y cada categoría se subdivide en grupos de años húmedos, normales y secos.
- Teniendo en cuenta la influencia de los eventos extremos de flujo interanual y la distribución intranual desigual en el caudal periódico promedio, se toma el flujo diario medio para cada mes y el año hidrológico como el techo del caudal ecológico óptimo.
- En cuanto a la variabilidad espacial del caudal, considera el caudal medio diario con una probabilidad superior al 90% en las curvas de duración del caudal mensual como el límite inferior del caudal ecológico mínimo.
- Los criterios del caudal ecológico, de mínimo a óptimo, se diseñan utilizando la idea de progresión aritmética del método de Tennant, y el número de clasificación se reajusta adecuadamente [18].

En este caso, se hace la aplicación del método sin variabilidad interanual. Para la cual se debe determinar el Q_{50} y Q_{90} de cada mes, a partir de la CDC. Luego, se aplica la ecuación siguiente 6.4 para cada escenario y cada mes.

$$Q(n) = Q_{90} + \left(\frac{n-1}{9}\right) * (Q_{50} - Q_{90}) \quad (6.4)$$

- Mínimo: n=1;
- Justo: n=2;
- Bueno: n=3;
- Excelente: n=4;
- Sobresaliente: n=5;
- Óptimo: n=6.

Método DFM

El método DFM (Distribution Flow Method), se desarrolla como una alternativa de base ambiental frente a los métodos hidrológicos que establecen umbrales considerando (i) porcentajes del caudal medio diario anual o mensual, (ii) caudales correspondientes a percentiles de excedencia de la curva de caudales clasificados, (iii) caudales que resultan de considerar distintos períodos de días consecutivos con períodos de retorno ($7Q_5 =$ caudal mínimo en siete días consecutivos para un período de retorno de cinco años) [18].

Su hipótesis fundamental se apoya en la teoría de idoneidad ecológica: las magnitudes de los factores ambientales que determinan las condiciones más adecuadas para el crecimiento y reproducción de los organismos son las que se presentan con mayor frecuencia. En términos estadísticos implica asumir que, dado un factor ambiental, el valor correspondiente al máximo de su función de densidad será el óptimo para los organismos que hábitat ese biotopo. Es decir, que el caudal óptimo para un mes determinado será el correspondiente al máximo de la función de densidad de los caudales de dicho mes [18].

Para la aplicación de este método se debe contar con la serie de caudales medios diarios, máximos y mínimos de cada mes, de todos los años de la serie histórica de caudales. Luego, para cada mes, a partir de las tres series anteriores se debe calcular a su vez el caudal máximo, mínimo y el caudal que maximiza la función de densidad de Kernel. En cuanto a la obtención de este último valor, se requiere calcular el ancho de banda óptimo para Kernel a partir de la expresión desarrollada por Silverman 6.5. Finalmente, contando con estos valores se procede a establecer el caudal ambiental a partir de la tabla 6.6, y se utiliza en este caso la categoría de $Q_{mínimo}$ [18].

$$h_G = 0,9 \times n^{\frac{-1}{5}} \times \min\left(\sigma, \frac{\text{rango intercuartil}}{1,349}\right) \quad (6.5)$$

Donde:

- n : es el número de datos.
- μ : el desvío estándar.
- Rango intercuartil: diferencia entre el tercer y primer el cuartil.

Tabla 6.6: Umbrales para distintos escenarios ambientales [18].

Escenarios Ambientales	Definición de umbrales
Q máximo avenida	El máximo entre 1) Máximo de los caudales medios diarios mensual; 2) Caudal que maximiza la función Kernel de caudales máximos mensuales.
Q máximo	El mínimo entre 1) Máximo de los caudales medios diarios mensual; 2) Caudal que maximiza la función Kernel de caudales máximos mensuales.
Q óptimo superior	Promedio entre 1) Caudal que maximiza la función Kernel de caudales máximos mensuales; 2) Caudal que maximiza la función Kernel de caudales medios mensuales.
Q óptimo	Caudal que maximiza la función Kernel de caudales medios mensuales.
Q óptimo inferior	Promedio entre 1) Caudal que maximiza la función Kernel de caudales mínimos mensuales; 2) Caudal que maximiza la función Kernel de caudales medios mensuales.
Q mínimo	El máximo entre 1) Mínimo de los caudales medios diarios mensual; 2) Caudal que maximiza la función Kernel de caudales mínimos mensuales.
Q mínimo sequía	El mínimo entre 1) Mínimo de los caudales medios diarios mensual; 2) Caudal que maximiza la función Kernel de caudales mínimos mensuales.
Q mínimo absoluto	Mínimo de los caudales mínimos medios mensuales.

6.2.2. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de las metodologías descritas anteriormente en la tabla 6.7 y en la figura 6.4. Luego, en las tablas 6.8 y 6.9, se muestran los resultados en relación al QMM y Q_{50} respectivamente.

Entre todas las metodologías observadas, la que presenta menores valores absolutos para todos los meses, es la normativa chilena, variando aproximadamente entre 0,2 - 0,9 $\frac{m^3}{s}$. También, en el límite inferior de los escenarios propuestos por las metodologías, se encuentran los métodos de Tennant modificados, principalmente la categoría *justo*, FDC nivel D, y 30%QMM. Después, el método con mayores valores absolutos es el

método Q_{50} , que presenta valores entre $0,7-6,7 \frac{m^3}{s}$. En el límite superior, se encuentran además los métodos Q_{90} y NGPRP. Finalmente, con estos resultados se dispone a realizar el proceso de selección del RAC para la propuesta final.

Tabla 6.7: Resultados de caudales ambientales en $\frac{m^3}{s}$, obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso mensual para el río Ñirihuau [Fuente propia].

Resultados ($\frac{m^3}{s}$)	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
QMM	0,82	1,33	2,98	5,07	6,69	7,14	6,95	7,60	7,28	4,66	1,84	0,97
30% QMM	0,25	0,40	0,89	1,52	2,01	2,14	2,09	2,28	2,18	1,40	0,55	0,29
Q_{50}	0,73	0,92	1,70	3,28	4,29	5,30	5,62	6,57	6,77	3,87	1,49	0,83
70% Q_{50}	0,51	0,64	1,19	2,30	3,00	3,71	3,93	4,60	4,74	2,71	1,04	0,58
NGRP	0,53	0,69	1,23	3,28	4,33	5,30	5,62	6,57	6,77	3,87	0,94	0,58
Q_{90}	0,53	0,69	1,23	2,17	2,67	3,97	4,27	5,34	4,96	2,60	0,94	0,58
Q_{95}	0,51	0,68	1,16	2,03	2,48	3,70	4,07	5,24	4,75	2,48	0,92	0,56
Normativa Chilena	0,18	0,19	0,35	0,52	0,60	0,79	0,89	0,89	0,89	0,55	0,27	0,21
Tennant Modificado - Justo	0,45	0,45	0,45	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	0,45	0,45
Tennant Modificado - Bueno	0,89	0,89	0,89	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	0,89	0,89
Tennant Modificado - Excelente	1,34	1,34	1,34	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	1,34	1,34
Tessmann	0,82	1,33	1,79	2,03	2,68	2,86	2,78	3,04	2,91	1,87	1,79	0,97
VMF	0,49	0,80	1,34	3,04	4,01	4,29	4,17	4,56	4,37	2,80	0,83	0,58
FDC - nivel C	0,37	0,49	0,97	1,90	2,76	2,95	2,85	3,15	3,05	1,64	0,64	0,39
FDC - nivel D	0,34	0,38	0,67	1,28	1,91	2,07	1,99	2,25	2,16	1,13	0,48	0,35
DFM - mínimo	0,43	0,58	0,89	1,22	2,08	3,03	3,95	5,02	4,84	2,18	1,22	0,49
MTMMCH III - mínimo	0,40	0,49	0,75	1,26	1,48	2,23	3,08	3,57	3,02	1,36	0,67	0,45
MTMMCH III - justo	0,44	0,54	0,86	1,48	1,79	2,57	3,36	3,90	3,44	1,64	0,76	0,49

Tabla 6.8: Resultados de caudales ambientales en relación al QMM, obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso mensual para el río Ñirihuau (datos relativos sin unidades) [Fuente propia].

Resultados/QMM	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
30%QMM	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Q_{50}	0,89	0,69	0,57	0,65	0,64	0,74	0,81	0,86	0,93	0,83	0,81	0,86
70% Q_{50}	0,62	0,48	0,40	0,45	0,45	0,52	0,57	0,61	0,65	0,58	0,57	0,60
NGRP	0,65	0,52	0,41	0,65	0,65	0,74	0,81	0,86	0,93	0,83	0,51	0,60
Q_{90}	0,65	0,52	0,41	0,43	0,40	0,56	0,61	0,70	0,68	0,56	0,51	0,60
Q_{95}	0,62	0,51	0,39	0,40	0,37	0,52	0,59	0,69	0,65	0,53	0,50	0,58
Normativa Chilena	0,21	0,14	0,12	0,10	0,09	0,11	0,13	0,12	0,12	0,12	0,15	0,21
Tennant Modificado - Justo	0,55	0,34	0,15	0,26	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,29	0,24	0,46
Tennant Modificado - Bueno	1,09	0,67	0,30	0,35	0,27	0,25	0,26	0,24	0,25	0,38	0,49	0,92
Tennant Modificado - Excelente	1,64	1,01	0,45	0,44	0,33	0,31	0,32	0,29	0,31	0,48	0,73	1,38
Tessmann	1,00	1,00	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,98	1,00
VMF	0,60	0,60	0,45	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,60
FDC - nivel C	0,45	0,37	0,32	0,38	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,35	0,35	0,40
FDC - nivel D	0,42	0,29	0,22	0,25	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,24	0,26	0,36
DFM - mínimo	0,52	0,43	0,30	0,24	0,31	0,42	0,57	0,66	0,67	0,47	0,66	0,51
MTMMCH III - mínimo	0,49	0,37	0,25	0,25	0,22	0,31	0,44	0,47	0,42	0,29	0,37	0,46
MTMMCH III - justo	0,53	0,40	0,29	0,29	0,27	0,36	0,48	0,51	0,47	0,35	0,41	0,51

Tabla 6.9: Resultados de caudales ambientales en relación a la mediana mensual (Q_{50}), obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso mensual para el río Ñirihuau (datos relativos sin unidades) [Fuente propia].

Resultados/ Q_{50}	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
30%QMM	0,34	0,43	0,53	0,46	0,47	0,40	0,37	0,35	0,32	0,36	0,37	0,35
Q_{50}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
70% Q_{50}	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
NGRP	0,73	0,75	0,72	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,63	0,70
Q_{90}	0,73	0,75	0,72	0,66	0,62	0,75	0,76	0,81	0,73	0,67	0,63	0,70
Q_{95}	0,70	0,74	0,68	0,62	0,58	0,70	0,72	0,80	0,70	0,64	0,62	0,67
Normativa Chilena	0,24	0,21	0,20	0,16	0,14	0,15	0,16	0,14	0,13	0,14	0,18	0,25
Tennant Modificado - Justo	0,61	0,49	0,26	0,41	0,31	0,25	0,24	0,20	0,20	0,35	0,30	0,54
Tennant Modificado - Bueno	1,23	0,97	0,53	0,55	0,42	0,34	0,32	0,27	0,26	0,46	0,60	1,08
Tennant Modificado - Excelente	1,84	1,46	0,79	0,68	0,52	0,42	0,40	0,34	0,33	0,58	0,90	1,62
Tessmann	1,12	1,45	1,05	0,62	0,62	0,54	0,49	0,46	0,43	0,48	1,20	1,17
VMF	0,67	0,87	0,79	0,93	0,94	0,81	0,74	0,69	0,64	0,72	0,55	0,70
FDC - nivel C	0,50	0,54	0,57	0,58	0,64	0,56	0,51	0,48	0,45	0,42	0,43	0,47
FDC - nivel D	0,47	0,41	0,39	0,39	0,45	0,39	0,35	0,34	0,32	0,29	0,32	0,42
DFM - mínimo	0,59	0,63	0,52	0,37	0,49	0,57	0,70	0,76	0,71	0,56	0,82	0,59
MTMMCH III - mínimo	0,55	0,53	0,44	0,38	0,34	0,42	0,55	0,54	0,45	0,35	0,45	0,54
MTMMCH III - justo	0,60	0,58	0,50	0,45	0,42	0,49	0,60	0,59	0,51	0,42	0,51	0,59

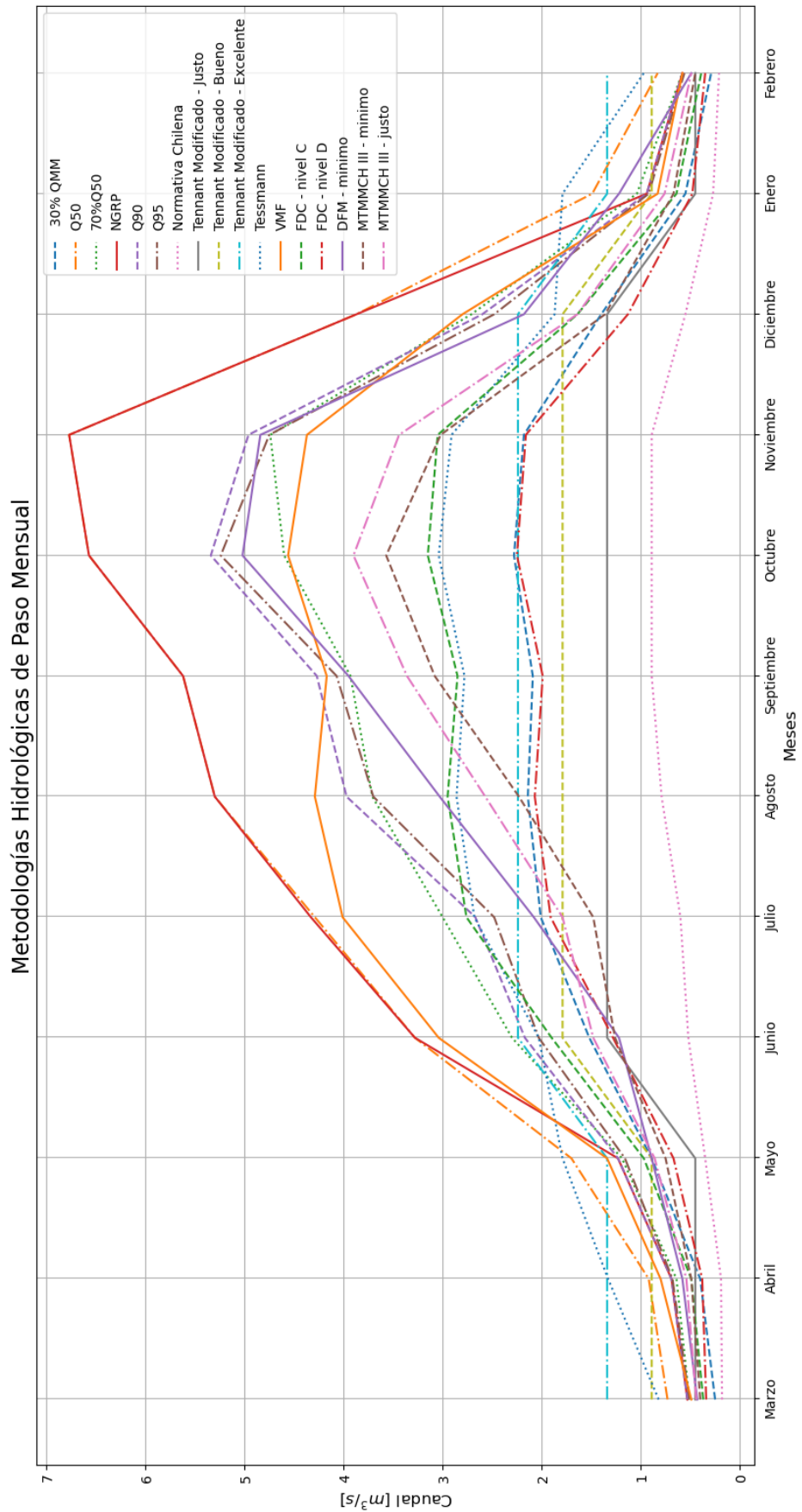


Figura 6.4: Resultados de caudales ambientales en $\frac{m^3}{s}$, obtenidos de la aplicación de metodologías hidrológicas de paso mensual para el Río Ñirihuau [Fuente propia].

6.3. Proceso de Selección

Una vez aplicadas las metodologías y obtenidos los resultados de las mismas, la evaluación de caudal ambiental culmina con la propuesta de un RAC para el recurso hídrico analizado. Sin embargo, presenta un gran desafío contar con un proceso, único, repetible y objetivo para ello, debido a la extrema variabilidad de escenarios geográficos, climatológicos, sociales y de uso que presentan las masas de agua, a las que se aplican dichas metodologías. Además, se debe tener en cuenta la diversidad de metodologías disponibles que deben evaluarse, que no son sólo las aplicadas en este trabajo, como se ha mencionado. También, depende de la información disponible del estado natural del río, con el cual deben ser comparadas las metodologías. Es inmediato entonces aceptar que será difícil que un único método hidrológico sea el más adecuado para todas las masas de agua y sea fácilmente identificable. La metodología implementada para esta evaluación es la propuesta por el trabajo de WWF “Caudales ecológicos: Un patrimonio esencial para la biodiversidad de España y Portugal”. Dicho trabajo desarrolla una metodología que permite evaluar escenarios de RAC, tanto desde el punto de vista ambiental como del uso de los recursos hídricos, ofreciendo una visión que permite, de manera objetiva, informar las características de los distintos escenarios y facilitar la tarea de concertación y aplicación [19].

En primer lugar, el desempeño ambiental de cada método aplicado se evalúa considerando cuatro patrones del régimen natural (RN), establecidos a escala mensual:

- Caudales mínimos absolutos;
- Estacionalidad;
- Magnitud;
- Variabilidad intranual.

Entre los mencionados anteriormente sin duda la magnitud es de suma importancia, y también se evalúa mediante la comparación de los caudales mínimos absolutos. Luego, en el caso de la estacionalidad porque la vinculación de caudales con las condiciones térmicas y de insolación, determinan disponibilidad de agua para la vegetación riparia y biotopos acuáticos para la biota acuática en períodos de desarrollo vinculados con las estaciones. Por último, la variabilidad intranual porque esas variaciones están vinculadas, entre otros, a procesos de emergencia, reproductivos, etc., al tiempo que pueden funcionar como factores que determinan la presencia de especies adaptadas a esos rangos de variabilidad, limitando la entrada de otras [19].

6.3.1. Caudales Mínimos Absolutos

En este caso, se verifica si los caudales mensuales de los escenarios de los RAC son mayores que los respectivos caudales mínimos absolutos registrados en el RN. Esto se debe a que no es ambientalmente aceptable un RAC con caudales mensuales inferiores a los mínimos observados en el RN. Este indicador se valora contabilizando los meses que cumplen y no cumplen la condición. Basta un incumplimiento para que el método sea descartado en la selección final [19]. En la tabla 6.10 se puede observar el resultado de esta metodología para los escenarios calculados de RAC de paso mensual.

Tabla 6.10: Comparación de los caudales mensuales de los escenarios de los RAC calculados, con los caudales mínimos absolutos del RN [Fuente propia].

Métodos	¿RAC ≥ Q min RN?												Nº meses que NO Cumple
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	
Q min RN (m³/s)	0,27	0,32	0,38	0,54	0,87	1,03	1,25	1,46	1,30	0,74	0,35	0,27	
MTMMCH III - mínimo	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
MTMMCH III - justo	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
Tessmann	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
VMF	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
FDC - nivel C	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
FDC - nivel D	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
Q ₅₀	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
70% Q ₅₀	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
Q ₉₀	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
Q ₉₅	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
30% QMM	NO	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1
Tennant - Justo	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	NO	Si	Si	Si	1
Tennant - Bueno	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
Tennant - Excelente	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
Norm. Chile	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	12
NGPRP	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0
DFM	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	0

Entonces, a partir de la tabla 6.10 presentada, se concluye que se deben descartar las metodologías:

- 30 % QMM;
- Tennant - Justo;
- Normativa Chilena.

6.3.2. Estacionalidad

Como se mencionó anteriormente, en regímenes hidrológicos en los que la estacionalidad está muy marcada, es esencial mantenerla, ya que multitud de procesos y ciclos están vinculados a ella. Para este aspecto de la evaluación, en primer lugar, se debe evaluar la estacionalidad del RN. Para ello se utiliza el Q_{50} mensual y se realiza la comparación del valor del mes i con el del mes $i-1$ [19]. Las categorías posibles son las que se muestran en la tabla 6.11.

Una vez categorizada la estacionalidad en el RN, se procede igual con los escenarios de los RAC. Luego, se compara la estacionalidad de los escenarios con la estacionalidad del RN y se contabilizan los meses que coinciden y los que no. Por cada mes del RAC

Tabla 6.11: Categorías para la evaluación de la estacionalidad [19].

Categorías	Estacionalidad
$Q \text{ mes}_i > Q \text{ mes}_{i-1}$	+
$Q \text{ mes}_i < Q \text{ mes}_{i-1}$	-
$Q \text{ mes}_i = Q \text{ mes}_{i-1}$	=

que se coincide el signo con el escenario del RN se asigna un punto, y se resta un punto por cada incumplimiento. La calificación de este aspecto es la suma final de los puntos obtenidos para los doce meses del año. En la tabla 6.12 se presenta el resultado de la valorización de la estacionalidad.

Tabla 6.12: Comparación de la estacionalidad de los escenarios de los RAC calculados con el RN [Fuente propia].

Métodos	Estacionalidad												Nº meses que Cumple	Nº meses que NO Cumple	Puntuación Parcial
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb			
$Q_{50} \text{ RN } (\frac{1}{T})$	0,73	0,92	1,70	3,28	4,29	5,30	5,62	6,57	6,77	3,87	1,49	0,83			
Estacionalidad RN	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-			
MTMMCH III - mínimo	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	11	1	10
MTMMCH III - justo	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	11	1	10
Tessmann	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	10	2	8
VMF	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	10	2	8
FDC - nivel C	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	10	2	8
FDC - nivel D	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	10	2	8
Q_{50}	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	12	0	12
70% Q_{50}	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	12	0	12
Q_{90}	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	11	1	10
Q_{95}	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	11	1	10
30% QMM	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	10	2	8
Tennant - Justo	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	2	10	-8
Tennant - Bueno	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	2	10	-8
Tennant - Excelente	=	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	=	2	10	-8
Norm. Chile	-	+	+	+	+	+	+	+	=	-	-	-	10	2	8
NGPRP	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	12	0	12
DFM	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	11	1	10

Desde la tabla 6.12, se puede observar que las metodologías con menos puntuación son los métodos Tennant modificados (de diferentes clases), esto se debe mayormente a que aunque el método aplica una variabilidad, continúa utilizando porcentajes del QMA y no valores mensuales.

6.3.3. Magnitud

El caudal determina el biotopo hidráulico disponible y sus características, condiciona la dinámica morfológica del sistema y la disponibilidad de agua para la ribera y la llanura de inundación. Pero la magnitud debe considerarse junto con su frecuencia, ya que los dos aspectos son los que determinan y definen las respuestas ecológicas del sistema. Por esta razón, las magnitudes consideradas se establecen en función del percentil [19].

Para evaluar la magnitud del caudal del mes i de cada escenario de los RAC, se compara dicho caudal con el Q_{min} (caudal mínimo absoluto), Q_{95} , Q_{85} , Q_{75} , Q_{50} y Q_{10} . Así, para cada escenario, se obtiene la cantidad de meses que pertenecen a las categorías que se observan en la tabla 6.13 y se les asigna la correspondiente valoración

[19]. Luego, para obtener la puntuación de esta categoría se suman las puntuaciones de cada mes para cada RAC, se observan los resultados en la tabla 6.14.

Tabla 6.13: Categorías para la evaluación de la magnitud y su valoración [19].

Categorías Magnitud		Valoración
1	$RAC < Q_{min} RN$	-4
2	$Q_{min} RN \leq RAC < Q_{95} RN$	-1
3	$Q_{95} RN \leq RAC < Q_{85} RN$	1
4	$Q_{85} RN \leq RAC < Q_{75} RN$	2
5	$Q_{75} RN \leq RAC < Q_{65} RN$	3
6	$Q_{65} RN \leq RAC \leq Q_{50} RN$	4
7	$Q_{50} RN < RAC < Q_{10} RN$	0
8	$RAC \geq Q_{10} RN$	-4

Tabla 6.14: Resultado de la evaluación del aspecto magnitud para los RAC [Fuente propia].

Métodos	Magnitud								Puntuación parcial
	$RAC < Q_{min} RN$	$Q_{min} RN \leq RAC < Q_{95} RN$	$Q_{95} RN \leq RAC < Q_{85} RN$	$Q_{85} RN \leq RAC < Q_{75} RN$	$Q_{75} RN \leq RAC < Q_{65} RN$	$Q_{65} RN \leq RAC \leq Q_{50} RN$	$Q_{50} RN < RAC < Q_{10} RN$	$RAC \geq Q_{10} RN$	
MTMMCH III - mínimo	0	0	12	0	0	0	0	0	12
MTMMCH III - justo	0	0	6	6	0	0	0	0	18
Tessmann	0	1	2	2	2	0	5	0	11
VMF	0	0	0	3	5	4	0	0	37
FDC - nivel C	0	1	7	3	1	0	0	0	15
FDC - nivel D	0	8	3	1	0	0	0	0	-3
Q ₅₀	0	0	0	0	0	0	12	0	0
70% Q ₅₀	0	0	0	3	7	2	0	0	35
Q ₉₀	0	0	0	0	12	0	0	0	36
Q ₉₅	0	0	0	0	12	0	0	0	36
30% QMM	1	4	4	3	0	0	0	0	2
Tennant - Justo	1	5	5	1	0	0	0	0	-2
Tennant - Bueno	0	3	1	4	1	1	2	0	13
Tennant - Excelente	0	3	1	2	2	1	2	1	8
Norm. Chile	12	0	0	0	0	0	0	0	-48
NGPRP	0	0	0	0	5	0	7	0	15
DFM	0	0	1	8	2	1	0	0	27
Puntuación	-4	-1	1	2	3	4	0	-4	

En esta variable las metodologías con menor puntuación, coinciden con aquellas que presentaron valores de QMM menores a los valores mínimos absolutos del RN (30% QMM, Tennant - Justo, Normativa Chilena).

6.3.4. Variabilidad Intranual

En cuanto a la valorización de la variabilidad intranual para el RN, se utiliza la serie de QMM para cada año, se calcula el coeficiente de variabilidad (CV) de cada mes i , siguiendo la expresión:

$$CV_{mes\ i,\ año\ j} = \frac{QMM_{mes\ i,\ año\ j}}{QMM_{min,\ año\ j}} \quad (6.6)$$

El CV así calculado, para un mes i dado, nos indica cuantas veces ha sido mayor su caudal que la del mes de mínimo caudal de ese año j . Entonces, para cada mes i , se dispondrá de una serie de j valores de CV. A partir de esa serie se estiman para cada mes los percentiles de excedencia correspondientes al 10, 50, 65, 75, 85 y 95 %, denominados respectivamente CV10-RN, ..., CV95-RN. Luego, en los escenarios de RAC, se calculan los CV de cada mes de manera análoga, pero en este caso como sólo hay un año, en cada mes habrá sólo un CV. Finalmente, de forma similar a la valorización de la variable magnitud, se definen en la tabla 6.15 categorías y se asignan los valores de cada categoría a cada metodología por mes [19].

Tabla 6.15: Categorías para la evaluación de la variabilidad intranual y su valoración [19].

	Categorías Variabilidad	Valoración
1	$RAC < CV_{95} RN$	-4
2	$CV_{95} RN \leq RAC < CV_{85} RN$	1
3	$CV_{85} RN \leq RAC < CV_{75} RN$	2
4	$CV_{75} RN \leq RAC < CV_{65} RN$	3
5	$CV_{65} RN \leq RAC \leq CV_{50} RN$	4
6	$CV_{50} RN < RAC < CV_{10} RN$	0
7	$RAC \geq CV_{10} RN$	-4

El resultado de la aplicación de lo comentado anteriormente se muestra en la 6.16, dejando a los siguientes métodos con la menor puntuación:

- Tessmann;
- Tennant - Justo;
- Tennant - Bueno;
- Tennant - Excelente.

Tabla 6.16: Resultado de la evaluación del aspecto de variabilidad intranual para los RAC [Fuente propia].

Métodos	Variabilidad Intranual							Puntuación parcial
	CV RAC < CV ₉₅ RN	CV ₉₅ RN < CV RAC < CV ₈₅ RN	CV ₈₅ RN < CV RAC < CV ₇₅ RN	CV ₇₅ RN < CV RAC < CV ₆₅ RN	CV ₆₅ RN < CV RAC < CV ₅₀ RN	CV ₅₀ RN < CV RAC < CV ₁₀ RN	CV RAC > CV ₁₀ RN	
MTMMCH III - mínimo	0	1	6	3	2	0	0	30
MTMMCH III - justo	0	0	5	5	2	0	0	33
Tessmann	4	2	1	2	1	2	0	-2
VMF	0	0	1	6	3	2	0	32
FDC - nivel C	0	0	1	10	1	0	0	36
FDC - nivel D	0	4	4	3	1	0	0	25
Q ₅₀	0	0	0	10	2	0	0	38
70% Q ₅₀	0	0	0	10	2	0	0	38
Q ₉₀	0	0	0	10	2	0	0	38
Q ₉₅	0	0	1	8	3	0	0	38
30% QMM	0	0	0	5	4	3	0	31
Tennant - Justo	6	4	0	1	1	0	0	-13
Tennant - Bueno	9	1	0	1	1	0	0	-28
Tennant - Excelente	9	1	0	1	1	0	0	-28
Norm. Chile	0	6	4	0	1	1	0	18
NGPRP	0	0	0	5	2	5	0	23
DFM	0	1	1	4	3	3	0	27
Puntuación	-4	1	2	3	4	0	-4	

6.3.5. Indicadores de recursos hídricos

Por último, ya finalizada la aplicación de las metodologías para cada aspecto ambiental, se continúa con la evaluación del requerimiento hídrico. Para la evaluación completa de los escenarios de RAC, es necesario incorporar un indicador del volumen de agua que cada escenario requiere para así poder vincular la calidad del desempeño con la demanda de agua, pudiendo así evaluar la eficiencia hidro-ambiental de cada escenario. La variable ampliamente utilizada es el porcentaje del volumen requerido por el escenario representa respecto al del caudal medio anual [19]. Entonces, para cada escenario de RAC se estima su demanda ambiental (D_{amb}) con la siguiente expresión:

$$D_{amb} = \frac{\text{Caudal anual que requiere el RAC}(hm^3)}{\text{Caudal anual medio en RN}(hm^3)} \quad (6.7)$$

En la tabla 6.17 se presenta la D_{amb} para cada escenario de los RAC.

Tabla 6.17: Indicador del recurso hídrico evaluado para los RAC [Fuente propia].

Métodos	Caudal Anual (hm^3)	Demanda Ambiental
RN	139,5	1,00
MTMMCH III - mínimo	48,94	0,35
MTMMCH III - justo	55,53	0,40
Tessmann	65,15	0,47
VMF	81,82	0,59
FDC - nivel C	55,37	0,40
FDC - nivel D	39,30	0,28
Q_{50}	108,18	0,78
70% Q_{50}	75,73	0,54
Q_{90}	78,21	0,56
Q_{95}	74,62	0,53
30% QMM	41,86	0,30
Tennant - Justo	30,50	0,22
Tennant - Bueno	44,61	0,32
Tennant - Excelente	58,72	0,42
Norm. Chile	16,57	0,12
NGPRP	103,79	0,74
DFM	67,67	0,48

6.3.6. Selección final

Por último, en esta sección se presentan los criterios de selección final de las metodologías, utilizando los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los indicadores descriptos anteriormente. En primer lugar, se muestran dichos resultados resumidos en la tabla 6.18 y de forma gráfica en la figura 6.5.

Tabla 6.18: Resultados obtenidos a partir del proceso de selección planteado para todos los escenarios de RAC de cada metodología [Fuente propia].

Métodos	Resultados Proceso de Selección					
	Aportes Mínimos	Estacionalidad	Magnitud	Variabilidad	Puntuación Global	Demanda ambiental
MTMMCH III - mínimo	0	10	12	30	52	0,35
MTMMCH III - justo	0	10	18	33	61	0,40
Tessmann	0	8	11	-2	17	0,47
VMF	0	8	37	32	77	0,59
FDC - nivel C	0	8	15	36	59	0,40
FDC - nivel D	0	8	-3	25	30	0,28
Q50	0	12	0	38	50	0,78
70% Q50	0	12	35	38	85	0,54
Q90	0	10	36	38	84	0,56
Q95	0	10	36	38	84	0,53
30% QMM	1	8	2	31	41	0,30
Tennant - Justo	1	-8	-2	-13	-23	0,22
Tennant - Bueno	0	-8	13	-28	-23	0,32
Tennant - Excelente	0	-8	8	-28	-28	0,42
Norm. Chile	12	8	-48	18	-22	0,12
NGPRP	0	12	15	23	50	0,74
DFM	0	10	27	27	64	0,48

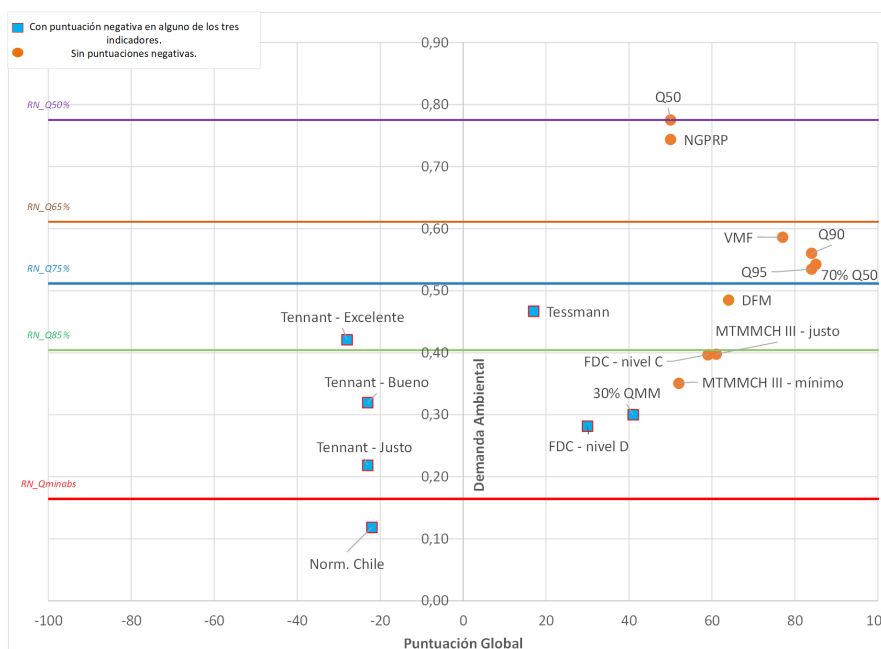


Figura 6.5: Gráfico de los resultados obtenidos a partir del proceso de selección planteado para todos los escenarios de RAC. Cada escenario se encuentra graficado según su puntuación global de aspectos ambientales en el eje de abscisas, y la demanda ambiental respectiva en el eje de ordenadas. Además, se presentan los límites de los percentiles 50, 65, 75, 85 y el mínimo absoluto del RN [Fuente propia].

Para comenzar con la selección final de los escenarios, se utiliza el criterio de que ninguno de los métodos que posee puntuaciones negativas en alguno de los tres indicadores puede ser seleccionado. Además, tampoco se consideran aquellos que presentan caudales mensuales inferiores a los mínimos observados para ese mes en el RN [19]. Entonces, en primer instancia, quedan descartados los siguientes métodos:

- Tessmann;
- FDC - nivel D;
- 30 % QMM;
- Tennant - Justo;
- Tennant - Bueno;
- Tennant - Excelente;
- Normativa Chilena.

Luego de este primer filtro, con los métodos restantes, se establece un proceso de selección final que permita ofrecer una propuesta de los RAC más eficaces ambientalmente, con una adecuada puntuación global en los indicadores, y más eficientes en el uso de los recursos hídricos, con una demanda ambiental más comedida. Es decir, hallando el equilibrio entre la puntuación global y la demanda ambiental [19]. En la tabla 6.19, se pueden observar los escenarios restantes.

Tabla 6.19: Escenarios de RAC, que no poseen puntuaciones negativas en alguno de los tres indicadores ambientales y tampoco presentan caudales mensuales inferiores a los mínimos absolutos del RN [Fuente propia].

Métodos	QMM (m ³ /s)												Puntuación Global	Demanda Ambiental
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb		
Q ₅₀	0,73	0,92	1,70	3,28	4,29	5,30	5,62	6,57	6,77	3,87	1,49	0,83	50	0,78
NGPRP	0,53	0,69	1,23	3,28	4,33	5,30	5,62	6,57	6,77	3,87	0,94	0,58	50	0,74
VMF	0,49	0,80	1,34	3,04	4,01	4,29	4,17	4,56	4,37	2,80	0,83	0,58	77	0,59
Q ₉₀	0,53	0,69	1,23	2,17	2,67	3,97	4,27	5,34	4,96	2,60	0,94	0,58	84	0,56
70% Q ₅₀	0,51	0,64	1,19	2,30	3,00	3,71	3,93	4,60	4,74	2,71	1,04	0,58	85	0,54
Q ₉₅	0,51	0,68	1,16	2,03	2,48	3,70	4,07	5,24	4,75	2,48	0,92	0,56	84	0,53
DFM	0,43	0,58	0,89	1,22	2,08	3,03	3,95	5,02	4,84	2,18	1,22	0,49	63	0,48
MTMMCH III - justo	0,44	0,54	0,86	1,48	1,79	2,57	3,36	3,90	3,44	1,64	0,76	0,49	61	0,40
FDC - nivel C	0,37	0,49	0,97	1,90	2,76	2,95	2,85	3,15	3,05	1,64	0,64	0,39	59	0,40
MTMMCH III - mínimo	0,40	0,49	0,75	1,26	1,48	2,23	3,08	3,57	3,02	1,36	0,67	0,45	52	0,35

A partir del análisis de los escenarios restantes, se propone eliminar aquellos escenarios extremos. Es decir, los de menor puntuación global y los de mayor demanda ambiental. Por último, se seleccionan aquellos que poseen los mejores valores en la puntuación global ambiental y una intermedia demanda ambiental. En la figura 6.6, se pueden observar los tres escenarios de RAC que terminan siendo seleccionados, Q_{90} , $70\%Q_{50}$ y Q_{95} para esta evaluación de caudal ambiental, junto con los QMM del RN y los mínimos absolutos.

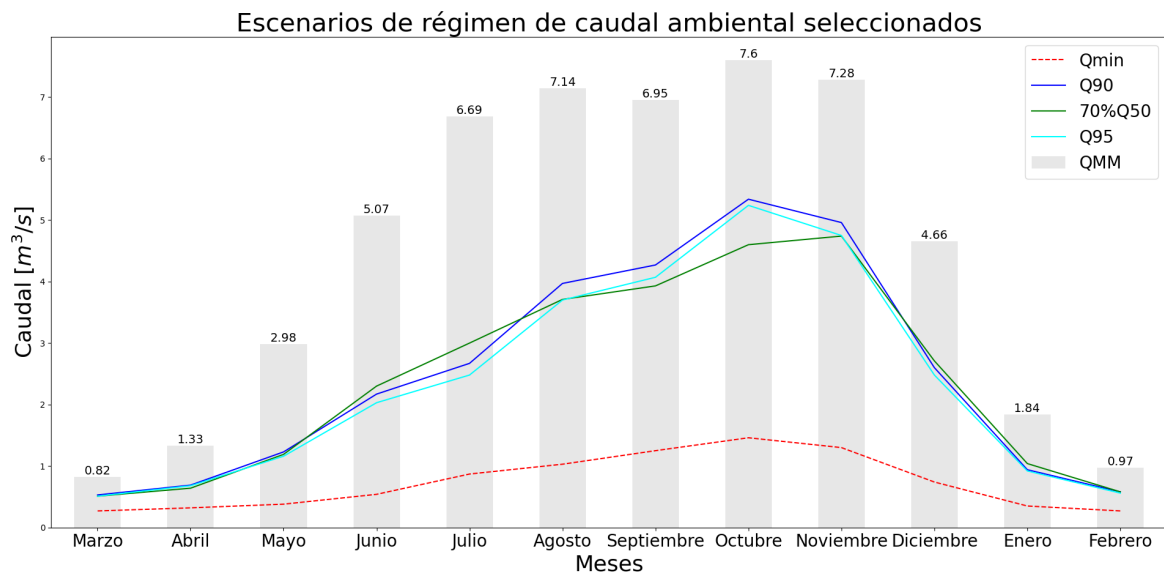


Figura 6.6: Escenarios de RAC resultantes del proceso de selección final, graficados junto al QMM del RN y los caudales mínimos [Fuente propia].

Capítulo 7

Propuestas Finales

En el presente capítulo, se describen las propuestas finales asociadas al proyecto de captación y potabilización de agua del río Ñirihuau. En primer lugar, para la conclusión de la evaluación de caudal ambiental se tiene la obtención del RAC final. Con la obtención de este resultado, puede analizarse la viabilidad del proyecto e incluir las variables económicas del mismo. Finalmente, se realizan recomendaciones de carácter general relacionadas con el tipo de obra proyectada, un análisis relacionado a la variabilidad climática, y propuestas de indicadores a monitorear, necesarios para una correcta implementación de la misma.

7.1. Régimen Ambiental de Caudales

En el capítulo anterior 6, se obtuvo como resultado de la evaluación de caudales ambientales tres escenarios que fueron seleccionados: Q_{90} , $70\%Q_{50}$ y Q_{95} . Para proponer un único valor de RAC que debe dejarse circular en el río Ñirihuau, se adopta el criterio de realizar el promedio de los tres métodos mencionados anteriormente. En la figura 7.1 y la tabla 7.1, se muestran los valores del RAC propuesto para el río, en el sitio del proyecto de captación y potabilización de agua ($41,092437^\circ$ S; $71,142887^\circ$ W).

Tabla 7.1: Escenarios seleccionados y RAC promedio propuesto para el río Ñirihuau [Fuente propia].

Métodos	QMM (m^3/s)											QMA (m^3/s)	
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene		Feb
Q_{90}	0,53	0,69	1,23	2,17	2,67	3,97	4,27	5,34	4,96	2,6	0,94	0,58	2,50
$70\% Q_{50}$	0,51	0,64	1,19	2,3	3	3,71	3,93	4,6	4,74	2,71	1,04	0,58	2,41
Q_{95}	0,51	0,68	1,16	2,03	2,48	3,7	4,07	5,24	4,75	2,48	0,92	0,56	2,38
RAC (promedio)	0,52	0,67	1,19	2,17	2,72	3,79	4,09	5,06	4,82	2,60	0,97	0,57	2,43

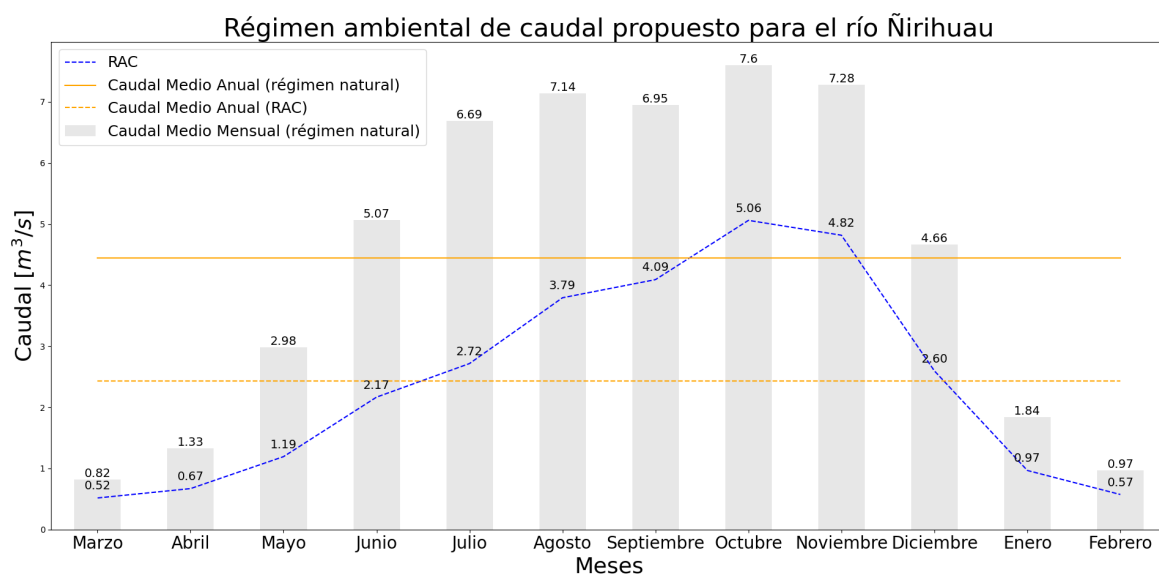


Figura 7.1: RAC propuesto para el tramo de análisis del río Ñirihuau [Fuente propia].

Una vez definido el RAC, corresponde evaluarlo con respecto al caudal de diseño del proyecto y así poder analizar la factibilidad del mismo. Con este fin, en la figura 7.2, se pueden observar el RAC propuesto y el caudal de diseño, junto con la referencia del QMM del régimen natural. La diferencia apreciable entre las barras apiladas y el QMM, representa el caudal excedente o faltante. Luego, en la tabla 7.2, se presentan los valores de los caudales establecidos anteriormente y además se incluye el caudal mínimo mensual histórico. Se analiza en la misma, si se puede respetar el RAC propuesto con el caudal de diseño de la obra, y también si el caudal mínimo mensual pueda presentar conflictos con respecto al caudal de diseño.

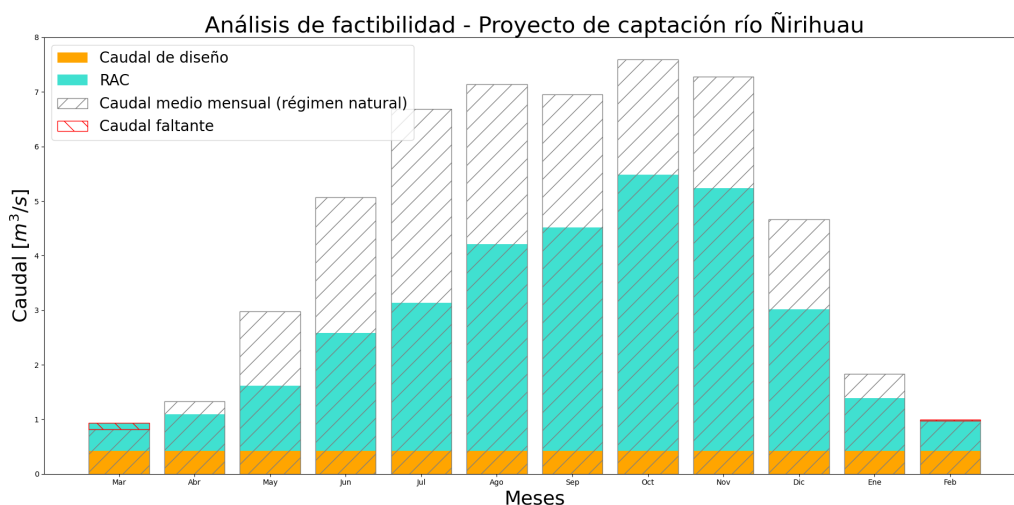


Figura 7.2: RAC propuesto para el tramo de análisis del río Ñirihuau, junto con el caudal de diseño del proyecto de captación y potabilización [Fuente propia].

Tabla 7.2: Escenarios seleccionados y RAC promedio propuesto para el río Ñirihuau [Fuente propia].

Categorías	QMM (m ³ /s)												Caudal Anual (hm ³)
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	
QMM _{RN}	0,82	1,33	2,98	5,07	6,69	7,14	6,95	7,60	7,28	4,66	1,84	0,97	139,53
Qmin _{RN}	0,27	0,32	0,38	0,54	0,87	1,03	1,25	1,46	1,30	0,74	0,35	0,27	22,94
RAC	0,52	0,67	1,19	2,17	2,72	3,79	4,09	5,06	4,82	2,60	0,97	0,57	76,19
Qexcedente (QMM _{RN} - RAC)	0,30	0,66	1,78	2,90	3,97	3,35	2,86	2,54	2,46	2,07	0,87	0,40	63,34
Qdiseño	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	13,25
Cumple: Qexcedente ≥ Qdiseño	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	-
Qexcedente - Qdiseño	-0,12	0,24	1,36	2,48	3,55	2,93	2,44	2,12	2,04	1,65	0,45	-0,02	-
Cumple: Qmin _{RN} ≥ Qdiseño	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	-

Como se puede observar en la tabla 7.2 y en la figura 7.2, para el RAC calculado, el caudal de diseño propuesto para los meses de febrero y marzo no se podría cumplir. En el caso de marzo, respetando el RAC propuesto, se podría extraer un máximo del 72 % del caudal de diseño y en el mes de febrero un 94 %. Sin embargo, para todos los otros meses no presentaría problemas para respetar el RAC.

De todas formas, se debe considerar también el caudal mínimo absoluto, que en el caso del período de enero a mayo (período de estiaje), puede significar días en los que no se pueda extraer caudal del río. Es decir, pueden darse escenarios extremos donde se vea afectado el caudal disponible para abastecimiento.

Se debe tener en cuenta que el análisis realizado para respetar el valor del RAC propuesto, se realiza en comparación con valores medios del RN, y los valores absolutos de este varían año a año. Por esto, es fundamental el monitoreo de los caudales en la operación de proyectos, para controlar el cumplimiento y la disponibilidad del recurso. Además, se debe prever la estacionalidad de la demanda, que aumenta en el periodo estival. Entonces, finalmente el caudal que se puede extraer está limitado por el RN y el RAC propuesto, en aquellos meses en los que no se pueda cumplir con el caudal de diseño o se tengan mayores demandas, se debe suplementar desde otra fuente.

7.2. Proyecto de Captación

7.2.1. Redeterminación de Precios

En la memoria del proyecto para el abastecimiento de la zona Este, se incluye un presupuesto oficial, en el que distinguen las categorías de: obra de toma, desarenador, acueducto, planta potabilizadora, cisterna, y cruce de ruta y cañería de distribución [3]. Dicho presupuesto fue realizado el año de la propuesta, en 2015. En esta sección se lleva a cabo una redeterminación de precios, para conocer a priori un presupuesto estimativo actual.

En el Decreto 691/2016, denominado: “Régimen de Redeterminación de Precios de Contratos de Obra Pública y de Consultoría de Obra Pública”, se establece el procedimiento para estos casos, que complementa la norma Decreto 1295/2002 donde se

determina la metodología de redeterminación de precios de contratos de obra pública. La información estadística requerida por estos decretos se encuentra basada en información producida por el INDEC. Esta corresponde a distintas aperturas del índice del costo de la construcción y al índice de precios internos básicos al por mayor (IPIB). A partir de esta información brindada por el INDEC, se redeterminan los precios de 2015 del presupuesto para el proyecto. En las figuras 7.3 y 7.4 se observan los resultados obtenidos [12].

PLANILLA COMPUTO Y PRESUPUESTO OFICIAL							
03/06/2015				1/6/2022			
ITEM	DESCRIPCION	COMPUTO		PRECIOS		INDICE*	SUBTOTAL ACTUALIZADO
		UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	SUB-TOTAL		
OBRA DE TOMA							
1	Tareas previas e Instalación Obrador	gl	1	\$ 19.525,55	\$ 19.525,55	1023,01	\$ 199.748,33
2	Movimientos de suelos	m ³	324	\$ 302,93	\$ 98.150,50	742,99	\$ 729.251,41
3	Hormigón H-21 (losa de fondo y coronamiento y cuenco azul)	m ³	22	\$ 5.955,58	\$ 131.022,84	1068,10	\$ 1.399.454,95
4	Hormigón Armado H-21 (Tabiques Toma)	m ³	20	\$ 8.235,66	\$ 166.772,05	1199,07	\$ 1.999.711,71
5	Azud con gaviones	m ³	432	\$ 1.075,71	\$ 464.705,91	1192,00	\$ 5.539.275,86
6	Protecciones con gaviones	m ³	78	\$ 1.075,71	\$ 83.905,23	1192,00	\$ 1.000.146,99
7	Colchonetas gavionadas esp. 23cm	m ²	520	\$ 618,89	\$ 321.822,99	1192,00	\$ 3.836.117,17
8	Compuertas metálicas	gl	2	\$ 20.452,94	\$ 40.905,88	1539,35	\$ 629.685,39
9	Desvío provisional de arroyo.	gl	1	\$ 219.495,58	\$ 219.495,58	742,99	\$ 1.630.836,93
DESARENADOR							
10	Movimientos de suelos	m ³	336	\$ 302,93	\$ 101.785,71	742,99	\$ 756.260,76
11	Hormigón Armado H-21	m ³	99	\$ 8.235,66	\$ 815.330,03	1199,07	\$ 9.776.368,48
12	Excavación y relleno en Zanjas	m ³	47	\$ 311,52	\$ 14.653,95	742,99	\$ 108.877,83
13	Colocación de tubería de descarga Desarenador PEAD Ø355	m	56	\$ 914,35	\$ 51.203,71	1133,17	\$ 580.223,76
ACUEDUCTO							
14	Excavación y relleno en Zanjas	m ³	70.308	\$ 178,01	\$ 12.515.673,13	742,99	\$ 92.990.583,07
15	Colocacion de cañería de PEAD Ø 710	ml	16.200	\$ 5.236,05	\$ 84.823.943,06	1266,50	\$ 1.074.295.238,85
16	Cámaras H° A° de Válvulas de aire. Incluida la válvula	gl	19	\$ 50.803,26	\$ 965.261,98	1381,96	\$ 13.339.557,95
17	Cámaras H° A° de Válvulas de limpieza. Incluida la válvula	gl	7	\$ 121.451,51	\$ 850.160,58	1381,96	\$ 11.748.899,84
18	Cámara de Válvulas de H° A° y tapas de acceso metálicas.	gl	3	\$ 132.182,29	\$ 396.546,88	1381,96	\$ 5.480.128,91
19	Cruce de río o A°	gl	2	\$ 447.068,51	\$ 894.137,03	1192,00	\$ 10.658.077,63
PLANTA POTABILIZADORA							
20	Limpieza y preparación del terreno	gl	1	\$ 25.607,82	\$ 25.607,82	1015,79	\$ 260.122,82
21	Movimiento de Suelos	m ³	320	\$ 103,79	\$ 33.211,58	742,99	\$ 246.759,74
22	Ejecución de cerco perimetral olimpico c/porcion	ml	270	\$ 569,06	\$ 153.646,91	1074,89	\$ 1.651.542,45
23	Suministro de Energía ETT	gl	1	\$ 115.844,89	\$ 115.844,89	1740,86	\$ 2.016.697,60
24	Tablero de Distribución general	gl	1	\$ 108.392,88	\$ 108.392,88	870,59	\$ 943.659,77
25	Tablero Secundario	gl	1	\$ 169.363,87	\$ 169.363,87	871,59	\$ 1.476.161,99
26	Instrumentación, Comunicación y Control	gl	1	\$ 1.625.893,19	\$ 1.625.893,19	1539,74	\$ 25.034.463,78
27	Elementos de maniobra, Válvulas y actuadores, compuertas.	gl	1	\$ 3.065.486,12	\$ 3.065.486,12	1184,10	\$ 36.298.543,50
28	Barandas y Pasarelas	gl	1	\$ 840.044,82	\$ 840.044,82	1652,82	\$ 13.884.441,44
29	Edificio de la planta, techado	m ²	270	\$ 16.676,24	\$ 4.502.586,01	1192,00	\$ 53.670.645,14
30	Excavación y Relleno para estructura sin depresión de napa	m ³	104	\$ 213,17	\$ 22.101,04	742,99	\$ 164.209,19
31	Relleno compactado para fundación	m ³	46	\$ 433,81	\$ 19.990,01	962,67	\$ 192.437,40

Figura 7.3: Resultado de la redeterminación de precios del presupuesto para el proyecto “Acueducto y planta de agua potable - Río Ñirihuau, Abastecimiento zona Este de Bariloche” (*[12]).

32	Hormigón de limpieza para asiento de estructura	m ³	17	\$ 3.810,40	\$ 65.843,72	1199,07	\$ 789.511,54
33	Hormigón Armado H-21 para losa de fondo	m ³	86	\$ 9.821,19	\$ 848.550,68	1199,07	\$ 10.174.706,94
34	Hormigón Armado H-21 encofrado	m ³	74	\$ 11.652,23	\$ 864.129,71	1199,07	\$ 10.361.510,24
35	Falso fondo monolítico	m ²	101	\$ 12.261,94	\$ 1.236.004,00	1133,17	\$ 14.005.994,73
36	Material filtrante	Tn	487	\$ 1.839,29	\$ 895.484,90	962,67	\$ 8.620.545,39
37	Misceláneos Metálicos	kg	63	\$ 163,80	\$ 10.319,69	1366,44	\$ 141.011,95
38	Caños de acero e Insertos metálicos embebidos	kg	1.763	\$ 234,67	\$ 413.710,56	815,10	\$ 3.372.173,99
39	Bombas Sumergibles de lavado	u	3	\$ 143.464,75	\$ 430.394,25	1184,10	\$ 5.096.315,49
40	Edificio Guardia, Sala Química y Vestuarios	m ²	57	\$ 3.941,44	\$ 223.715,91	1192,00	\$ 2.666.684,70
41	Sistema de Dosificación y distribución de Coagulante	gl	1	\$ 133.332,81	\$ 133.332,81	1206,97	\$ 1.609.289,25
42	Cisternas de Desinfectante	un	2	\$ 61.309,72	\$ 122.619,44	1206,97	\$ 1.479.981,91
43	Cañerías y accesorios de líneas de proceso de PVC DN500 K6	m	172	\$ 306,15	\$ 52.657,00	1316,00	\$ 692.966,12
44	Excavación y relleno en Zanjas	m ³	916	\$ 311,52	\$ 285.490,43	742,99	\$ 2.121.174,09
45	Colocación de tubería de desagüe PVC Ø355	m	1.091	\$ 914,35	\$ 997.557,94	1316,00	\$ 13.127.862,49
CISTERNA 1500 m³							
36	Limpieza y preparación del terreno	gl	1	\$ 28.680,76	\$ 28.680,76	1.015,79	\$ 291.337,58
37	Movimiento de Suelos	m ³	749	\$ 103,79	\$ 77.735,85	742,99	\$ 577.571,97
38	Relleno compactado para fundación	m ³	207	\$ 433,82	\$ 89.799,79	962,67	\$ 864.473,72
39	Hormigón Armado Losa fondo	m ³	161	\$ 5.764,96	\$ 925.276,05	1.199,07	\$ 11.094.696,96
40	Hormigón Armado Tabiques	m ³	340	\$ 8.235,66	\$ 2.800.123,35	1.199,07	\$ 33.575.407,06
41	Hormigón Armado Losa Superior	m ³	80	\$ 8.235,66	\$ 660.911,47	1.199,07	\$ 7.924.783,61
42	Hormigón contrapiso	m ²	8	\$ 459,02	\$ 3.525,25	1.199,07	\$ 42.270,17
43	Tratamiento Impermeabilizante para interior de recintos	m ²	835	\$ 357,57	\$ 298.569,80	1.362,00	\$ 4.066.520,68
44	Piezas especiales, válvulas, cámaras para tuberías de desborde, limpieza, alimentación, entrada y ventilación s/plano	gl	1	\$ 203.345,04	\$ 203.345,04	1.184,10	\$ 2.407.816,73
Cruce de Ruta y cañería de distribución							
45	Excavación y relleno en Zanjas	m ³	2.160	\$ 311,52	\$ 672.885,65	742,99	\$ 4.999.493,70
46	Colocación de tubería de desagüe PVC Ø355	m	1.591	\$ 914,35	\$ 1.454.733,90	1.316,00	\$ 19.144.298,12
47	Cruce de Ruta Nacional, tunelera, encamizado	gl	1	\$ 196.534,26	\$ 196.534,26	1.192,00	\$ 2.342.680,52
48	Piezas especiales, válvulas, cámaras para tuberías de desborde, limpieza, alimentación, entrada y ventilación s/plano	gl	1	\$ 331.452,42	\$ 331.452,42	1.184,10	\$ 3.924.741,33
Sub-total				\$ 127.980.556,37		Sub-total	
I.V.A. 21%				\$ 26.875.916,84		I.V.A. 21%	
Total				\$ 154.856.473,20		Total	
Sub-total				\$ 127.980.556,37		Sub-total	
I.V.A. 21%				\$ 26.875.916,84		I.V.A. 21%	
Total				\$ 154.856.473,20		Total	

Figura 7.4: Continuación del resultado de la redeterminación de precios del presupuesto para el proyecto “Acueducto y planta de agua potable - Río Ñirihuau, Abastecimiento zona Este de Bariloche” (*[12]).

7.2.2. Recomendaciones de Obra

El análisis de la obra propuesta para el proyecto fue realizado en el capítulo 4. Allí se describe de forma general las obras de captación lateral, y se detalla para que casos se utilizan las mismas. Se cree adecuado el tipo de obra propuesta para el caso presentado, principalmente debido a los períodos de estiaje que presenta el río Ñirihuau. Sin embargo, como se mencionó también en dicho capítulo, las obras de captación lateral presentan algunas desventajas, y a continuación se harán recomendaciones principalmente sobre tres ejes.

En particular, en cuanto a los aspectos ambientales a considerar para cualquier tipo de obra, y minimizar las alteraciones que pueda producir esta en el curso de agua, se tienen en cuenta en específico los perjuicios a la fauna ictícola y otros componentes bióticos del cauce, problemas de embanques y erosiones, y las interferencias provocadas para la navegación, actividades recreativas u otros usos [62]. Concretamente en este caso, se presentan con mayor relevancia las primeras dos problemáticas.

En cuanto a la posible erosión asociada a la obra de captación lateral, reiterando la información descripta anteriormente, se advierte sobre las altas velocidades provocadas aguas abajo de la presa y como esto impacta sobre el curso. Para ello se nota la necesidad de dispositivos para disipar la energía del agua dentro de la longitud de la platea, antes de la descarga del río. Esto es conseguido mediante el uso de gaviones propuestos por la obra, que pueden observarse en el plano A.1. Por lo que se considera que este aspecto ha sido tenido en cuenta desde la propuesta inicial.

En cambio, el impacto sobre la fauna ictícola no ha sido considerado debidamente en esta oportunidad. Una de las desventajas principales de la captación lateral es justamente su efecto para con las especies piscícolas, y el efecto de barrera al transporte de los mismos que provoca. Cuando en los cursos de agua se construye una infraestructura transversal infranqueable, las especies que requieren acceder aguas arriba de la misma para reproducirse desaparecen inexorablemente del tramo superior inaccesible. Para el resto de peces, la limitación del movimiento se traduce en la imposibilidad de colonizar nuevos territorios, pérdida de hábitat aguas arriba, disminución de la diversidad genética (aislamiento de poblaciones) e incluso desaparición de la especie en la zona superior a la estructura [13].

Por otro lado, cuando el obstáculo resulta muy selectivo, siendo remontable por pocos individuos, se producen cambios en la genética poblacional, pues únicamente se consiguen reproducir los ejemplares más vigorosos. Además, si los peces se retrasan en su viaje a la espera de condiciones adecuadas para sortear la estructura (caudales elevados), puede ocurrir que las condiciones óptimas para la reproducción (temperatura, profundidad y velocidad del agua, maduración de los órganos internos, etc.) hayan pasado. Por último, la ausencia de condiciones adecuadas para la reproducción o de

hábitat aguas arriba, también puede deberse a los efectos provocados por las presas y azudes que embalsan el agua a lo largo de la longitud del río, transformando un tramo fluvial, con alternancia de aguas rápidas y pozos [13].

Cualquier solución al problema migratorio provocado por una obra transversal o longitudinal pasa por construir una estructura accesoria que facilite el ascenso y/o descenso: un paso para peces. Generalmente, suelen ser vías de agua que resultan franqueables a los peces y que les conducen arriba o abajo del impedimento. Las condiciones generales que debe satisfacer cualquier paso piscícola son las siguientes:

- Diseño acorde a las características de los peces que lo van a utilizar y a los condicionantes de la obra.
- Localización de entrada fácil de encontrar, considerando la trayectoria prioritaria de las especies presentes.
- Tránsito sencillo (sin estrés, heridas ni agotamiento excesivo).
- Salida segura (evitar desorientaciones, arrastre a vertederos o tomas peligrosas).
- Franqueable por la totalidad de peces autóctonos, que no sean exclusivos para una especie, y durante todo el año.
- Retraso en la migración mínimo.
- Permitir el traslado hacia aguas abajo.
- Funcional durante crecidas y estiajes.
- Mantenimiento e inspección periódicos [13].

Las soluciones para esta problemática tienen distintos grados de complejidad, según sean las dimensiones del obstáculo y los caudales circulantes. Básicamente, se pueden dividir en métodos de funcionamiento continuo que son operativos de manera ininterrumpida, y de funcionamiento discontinuo, donde el movimiento de los peces se realiza por fases: espera o captura, ascenso y suelta aguas arriba. Se presentan las características de los métodos de funcionamiento continuo, más adecuados para este caso, que pueden clasificarse a su vez dos grupos [13]. En la figura 7.5 se pueden observar algunos ejemplos de las estructuras que se mencionan a continuación.

El primer grupo de soluciones dentro de los métodos continuos, se denominan “pasos naturalizados”, por su buena integración con el entorno fluvial. Con un buen diseño y ejecución, pueden permitir el ascenso y descenso de todos los peces, con independencia del tamaño o especie. Además, no interfieren en la obra que permeabilizan, y precisan de un bajo mantenimiento. No obstante, sólo son abordables en obstáculos de mediana

**Río artificial****Pre-presas****Escala de ralentizadores****Escala clásica**

Figura 7.5: Estructuras de funcionamiento continuo que permiten el paso de peces, para infraestructuras transversales construidas sobre cursos de agua [13].

altura. Aquí se incluyen estructuras como, un río artificial (un canal lateral que ofrece un camino alternativo a los peces por una de las márgenes del río para sortear el obstáculo), rampas de piedras (canales rugosos o con tabiques interiores adosados al azud) y pre-presas (pequeñas presas que fraccionan el desnivel total en saltos menores)[13].

Por otro lado, el segundo grupo de soluciones se suele agrupar bajo el nombre de “pasos técnicos”, ya que constan de un diseño hidráulico más complejo, en principio, y se construyen en hormigón y metal. La integración con el medio es menor, pero tienen desarrollos longitudinales más cortos y pueden funcionar con caudales más bajos. Este grupo abarca las siguientes estructuras: escala de ralentizadores (un canal rectilíneo de fuerte pendiente con unos deflectores que reducen las velocidades del flujo) y la escala de artesas o las clásicas escalas para peces (una escalera de agua formada por estanques, conectados con saltos por los que circula un caudal a través de unos vertederos, hendiduras verticales y/u orificios) [13].

Entonces, finalmente, se propone el adicionamiento de una estructura que permita el paso de la fauna ictícola para este proyecto. Se debe realizar un análisis de las estructuras propuestas anteriormente, para la selección de aquella más adecuada, teniendo en cuenta la obra propuesta y las especies presentes en el río. Sin embargo, debido a que en la zona hay antecedentes de uso de las clásicas escalas de peces, a priori, para hacer un análisis inicial, se puede proponer esta clasificación. A continuación, en la figura 7.6 se puede ver un corte de la obra de toma modificado mostrando el desnivel

que la escala debe salvar.

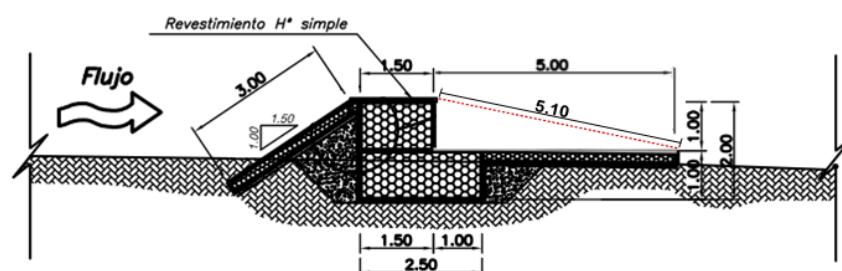


Figura 7.6: Representación del corte lateral del azud, incluyendo la modificación en rojo asociada a la escala de peces [3].

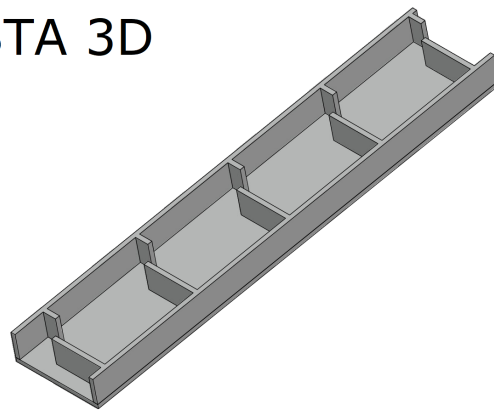
A partir de la diferencia de altura entre el azud y la cota de fondo río abajo de 1 m, y la longitud de 5 metros de la estructura, se calcula una longitud necesaria de la escala de 5,10 m, con una pendiente del 20%. Luego, teniendo en cuenta el tamaño y preferencia de velocidades de los peces presentes en el curso de agua, se puede obtener por bibliografía el salto apropiado entre los vertederos. En este caso se considera apropiado un salto de 0,20 m. Conociendo el desnivel a librar, y el salto, se puede calcular el número de vertederos (n) y de estanques ($n-1$) a diseñar en la escala con la ecuación 7.1 [86].

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{Desnivel}}{\text{Salto}} \\
 n &= \frac{1 \text{ m}}{0,20 \text{ m}} \\
 n &= 5
 \end{aligned}
 \tag{7.1}$$

Por lo tanto serán 5 vertederos con un salto de agua de 0,20 m y 4 estanques. En la figura 7.7, se muestra un esquema aproximado de la escala de peces con las características definidas anteriormente.

Por último, se puede recomendar una posible mejora relacionada a la estructura de la obra propuesta. Debido al aumento de sedimentaciones producido por la reducción de velocidades aguas arriba de la presa, se incluye en la obra un canal de limpieza. Sin embargo, en la apertura para la entrada de agua que se puede observar en el anexo A.1, previo a que el agua siga hacia el canal de limpieza o la toma, no se cuenta con ninguna reja para la retención del material de arrastre. Esto prevendría que este material de mayor tamaño no ingrese al canal y la toma, facilitando el funcionamiento.

VISTA 3D



DIMENSIONES

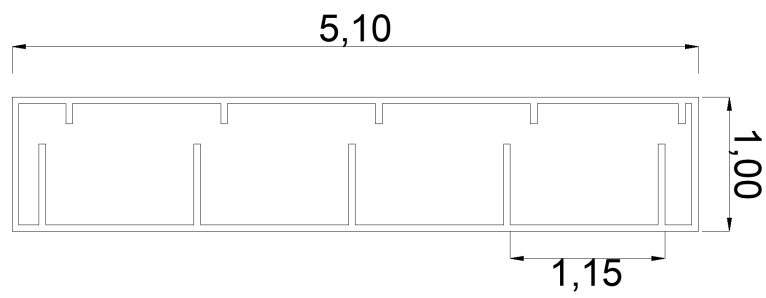


Figura 7.7: Representación aproximada de la propuesta de escala de peces para la obra [Fuente propia].

7.3. Variabilidad climática

En esta sección se pretende realizar una pequeña aproximación a la temática de variabilidad climática, y como esta posiblemente sea un factor a tener en cuenta, para la integridad y entereza de la propuesta general y específica del RAC. Se considera que a futuro es un factor que pueda tener implicancia sobre la recomendación para el proyecto. Entonces, a continuación se hace una descripción reducida de la temática, también cuestiones específicas de la zona y un análisis de tendencias de variables climáticas aplicadas a la zona del proyecto.

La actividad humana ha modificado y continúa modificando la superficie de la Tierra y la composición de la atmósfera. Algunos de estos cambios tienen una repercusión directa o indirecta en el balance energético de la Tierra y son, por lo tanto, impulsores del cambio climático. La variabilidad climática o cambio climático se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos como los antropogénicos (variabilidad externa) [87].

En específico, las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (GEI) se consideran un gran forzamiento externo del cambio climático. Estas han aumentado desde la era preindustrial, en gran medida como resultado del crecimiento económico y demográfico, y actualmente son mayores que nunca. Como consecuencia, se han alcanzado unas concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso sin comparación en por lo menos los últimos 800.000 años. Los efectos de las emisiones, así como de otros factores antropógenos, se han detectado en todo el sistema climático y es sumamente probable que hayan sido la causa dominante del calentamiento observado a partir de la segunda mitad del siglo XX [88]. En el trabajo más reciente del IPCC (por sus siglas en inglés “Intergovernmental Panel on Climate Change”, o Panel Intergubernamental del Cambio Climático), se establece que el total neto de emisiones de GEI han continuado aumentando en el periodo de 2010-2019 y fue la década con mayor cantidad de emisiones, sin embargo, la tasa de crecimiento fue menor en comparación a la de la década pasada [89].

En cuanto a los efectos del cambio climático actual, desde aproximadamente 1950 se han observado cambios en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, como por ejemplo: la disminución de las temperaturas frías extremas, el aumento de las temperaturas cálidas extremas, la elevación de los niveles máximos del mar y el mayor número de precipitaciones intensas en diversas regiones. En específico, cada uno de los tres últimos decenios han sido sucesivamente más cálido en la superficie de la Tierra

que cualquier decenio anterior desde 1850. Los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de $0,85^{\circ}\text{C}$ ($0,65^{\circ}\text{C}$ a $1,06^{\circ}\text{C}$), durante el período 1880-2012 [88].

En particular, a partir de un estudio realizado del cambio climático en la Argentina, se obtuvieron las siguientes tendencias climáticas para la zona de los Andes (entre las latitudes 30° y 42° sur), desde la segunda mitad del siglo pasado:

- En la temperatura hubo un calentamiento general, donde tanto el máximo y la temperatura mínima tuvieron tendencias positivas.
- Las precipitaciones presentaron tendencias negativas, llegando a una reducción de hasta un 30-50 % en algunas localidades.
- En cuanto a los caudales de los cursos de agua, se tienen tendencias negativas significativas, y en algunos casos obteniendo reducciones de hasta un 50 %.
- En el extremo sur del país, en el llamado “campo de hielo continental sur”, de 50 glaciares, 48 están retrocediendo y solo 2 están estacionarios [90].

En base a estas tendencias, y aplicando modelos climáticos, se obtienen proyecciones para distintas variables climáticas para la zona de los Andes. Estas indicarían una probable disminución de la nieve en las montañas y un aumento de temperatura durante el presente siglo. Un aumento en la temperatura significa que la isoterma de 0°C se moverá hacia arriba en las montañas, dejando menos superficie para la acumulación de nieve. En tal escenario, los glaciares probablemente continúen su retroceso y, en algunas cuencas, puedan desaparecer por completo. Estos cambios podrían aumentar seriamente los déficits de agua en lugares aguas abajo [90].

Por último, para completar esta sección se presentan en las figuras 7.8, 7.9, 7.10 y 7.11, las variables de precipitación de la estación de medición del aeropuerto de San Carlos de Bariloche, y los caudales históricos del río Ñirihuau, con sus correspondientes regresiones lineales.

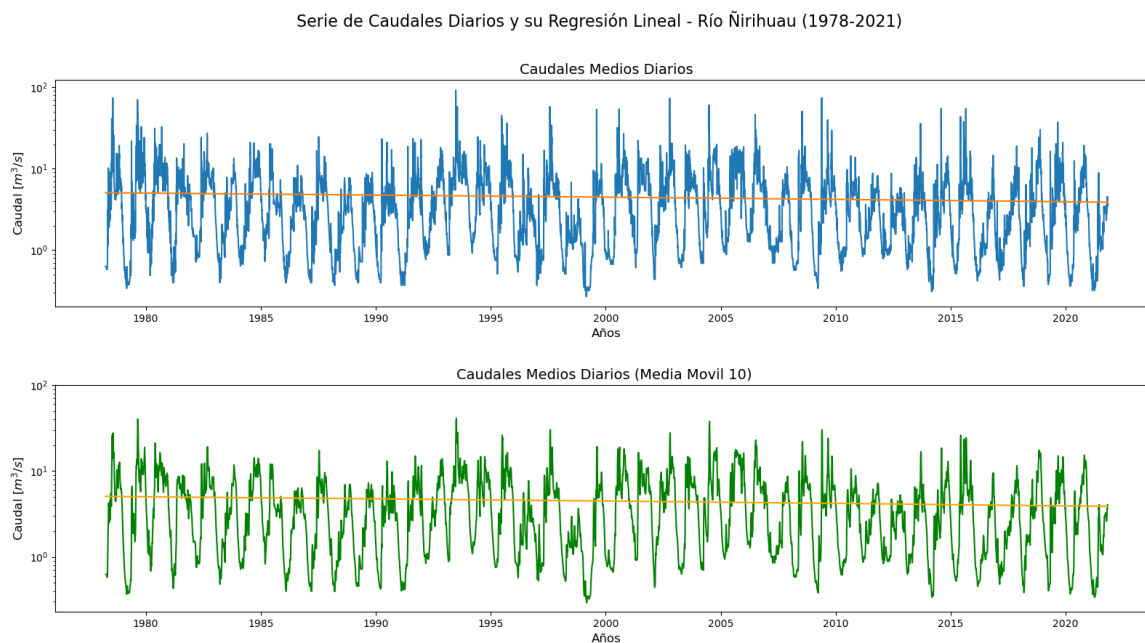


Figura 7.8: Representación gráfica de la serie de caudal medio diario del río Ñirihuau (1978-2021), en escala logarítmica y aplicando medias móviles, para el análisis de tendencia de la variable [Fuente propia].

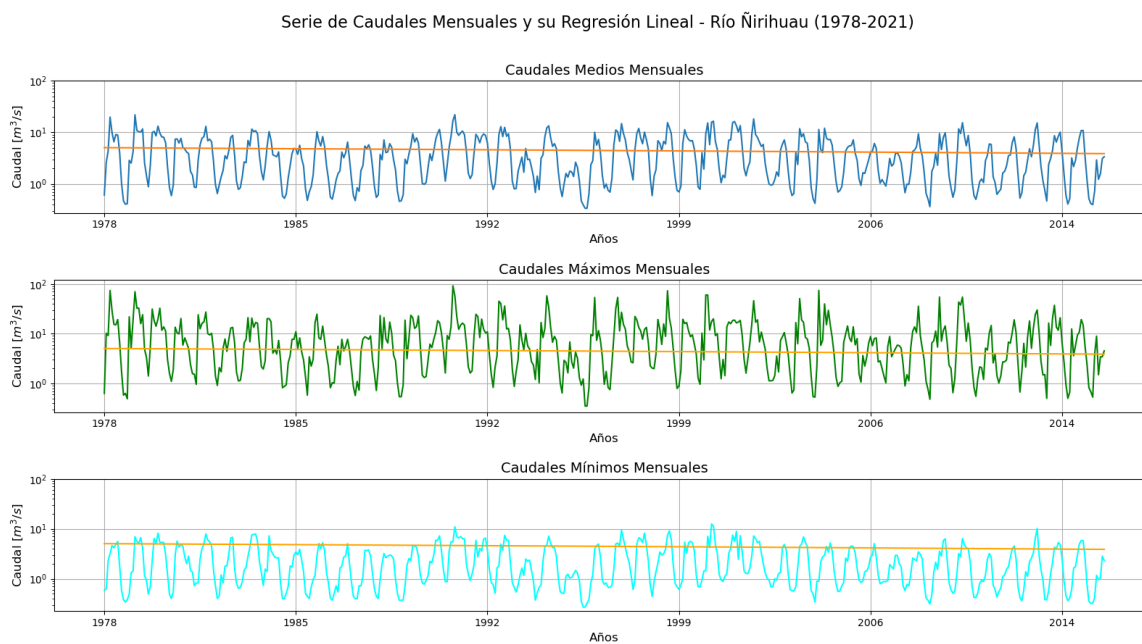


Figura 7.9: Representación gráfica de la serie de caudales mensuales medios, máximos y mínimos, del río Ñirihuau (1978-2021), en escala logarítmica, para el análisis de tendencia de la variable [Fuente propia].

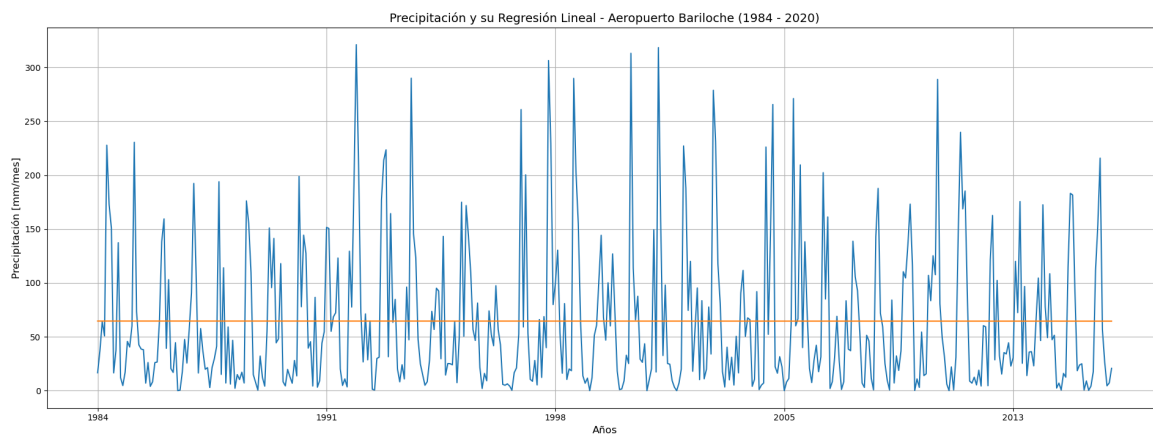


Figura 7.10: Representación gráfica de la serie de precipitación mensual del aeropuerto de San Carlos de Bariloche (1984-2020), para el análisis de tendencia de la variable [Fuente propia].

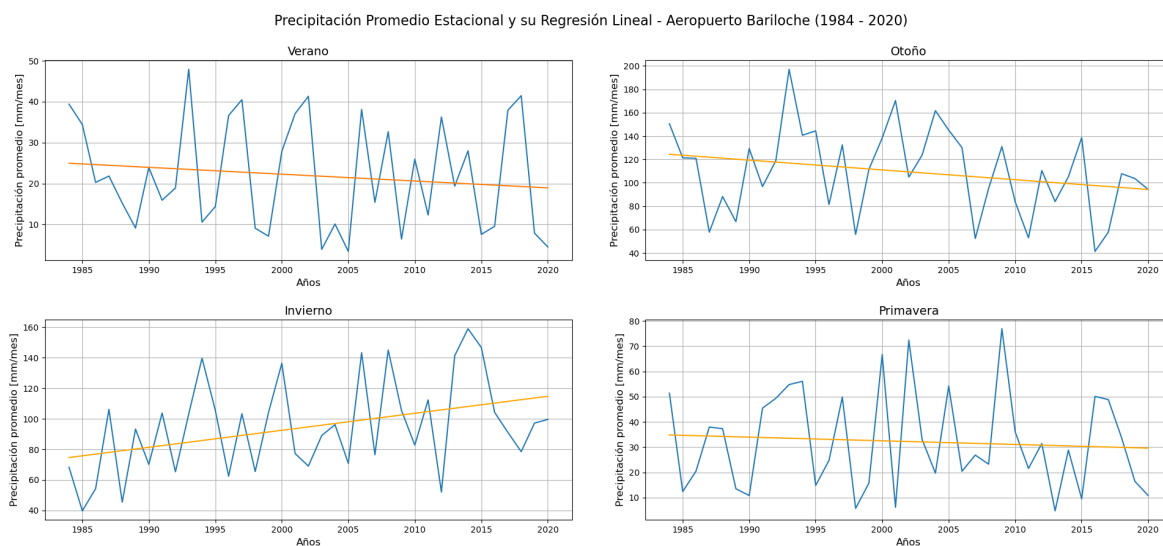


Figura 7.11: Representación gráfica de la serie de precipitaciones medias estacionales del aeropuerto de San Carlos de Bariloche (1984-2020), para el análisis de tendencia de la variable [Fuente propia].

En el caso de los caudales medios diarios en la figura 7.8, se encuentran representados en escala logarítmica para facilitar la visualización del gráfico, y se incluye uno con media móvil cada 10 datos que suaviza el gráfico primero facilitando también su visualización. En ambos casos, se puede observar una leve tendencia negativa. Luego, en el caso de los caudales mensuales 7.9, se encuentran representados los caudales medios, máximos y mínimos en escala logarítmica, y las regresiones lineares en cada caso cuentan también con una tendencia negativa apreciable.

Por otro lado, en el caso de las precipitaciones mensuales de toda la serie 7.10, no se visualiza claramente una tendencia. Sin embargo, en la figura donde se representan las precipitaciones promedio estacionales 7.11, se observa en el caso de las estaciones de verano, otoño y primavera, una clara tendencia negativa, lo cual no ocurre en invierno. La tendencia positiva observada en la regresión lineal de la estación invierno, se supone es debido a la concentración de precipitaciones en dicha estación, provocando épocas de sequías más pronunciadas, aunque la tendencia global pueda ser negativa.

Las conclusiones obtenidas anteriormente deben interpretarse como una primera evaluación y una mera justificación de que el eje de variabilidad climática debe ser tenido en cuenta para la continuidad de un proyecto como el expuesto, y para la integridad de una evaluación de caudal ambiental.

7.4. Indicadores

Para finalizar este capítulo, se considera como última propuesta de suma importancia la continuidad del monitoreo y análisis de indicadores de este proyecto. Como para toda obra que realice una presión de uso sobre un recurso natural, para garantizar que se genere el menor impacto ambiental posible sobre los componentes abióticos y bióticos del entorno, este es un paso extremadamente necesario [11].

En el caso de la evaluación de caudal ambiental, para el monitoreo de los impactos del RAC propuesto, se verá reflejado en las características físico-químicas y biológicas del curso. Es indispensable entonces, considerar y analizar de qué manera, las variaciones en las características hidrológicas (resultadas del nuevo RAC) del sistema acuático, inciden positiva y/o negativamente en la calidad de las aguas naturales bajo los puntos de vista mencionados anteriormente [11].

En primer lugar, se tienen que tener en cuenta ciertas directivas generales para el monitoreo de los parámetros que se presentan a continuación:

- Realizarlo con carácter estacional, tratando de cubrir épocas tanto de bajo como de alto régimen pluviométrico.
- En el caso del sistema lótico, repetir en zonas de la cuenca alta, media y baja.

- Consideración de impactos de otros factores ambientales de origen antrópico en la cuenca, tales como: asentamientos humanos, presencia de vertimientos de aguas residuales de todo tipo y/o sustancias tóxicas, sitios de disposición final de residuos, explotación minera, desviaciones o canalizaciones de cauces, entre otros.
- El muestreo de calidad de aguas debe cubrir zonas y no sitios puntuales, teniendo en cuenta: perfil batimétrico, anchura del cauce principal, velocidad de la corriente, entre otros [11].

En cuanto a las variables a tener en cuenta, uno de los parámetros principales a medir es el caudal. Luego, se tienen los parámetros calidad de agua que incluyen los físico-químicos y microbiológicos. Estos se encuentran en constante variación y así mismo demuestran cambios en la caracterización hídrica en función de las dinámicas de los cuerpos de agua, y la adaptación y distribución de la biota acuática en general. Entre estos se encuentran: pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, dureza, alcalinidad total, sulfatos, sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, nitrógeno, nitritos, nitratos, fósforo total, DBO, DQO, Coliformes totales, Coliformes fecales, Salmonella y Pseudomona [11].

Como son muchos los parámetros físico-químicos que hay que considerar en análisis integrado de la relación: calidad de agua natural y RAC, en la práctica es difícil poder satisfacer todos y cada uno de los estándares de calidad indicados. Por consiguiente, muchas veces es indispensable recurrir a estrategias metodológicas que permitan globalizar la idea y analizar de forma integral la situación y minimizar impactos y efectos negativos [11].

Una de las maneras más prácticas y a la vez más eficientes, es el monitoreo biológico. La evaluación biológica usando específicamente macroinvertebrados tiene una gran ventaja sobre los métodos químicos y es que éstos funcionan como integradores reflejando el estado de un cuerpo de agua durante un período de tiempo de semanas o meses, en cambio los métodos químicos, si bien son más exactos, poseen la desventaja de que solamente dan información instantánea de un evento puntual en un momento determinado [91]. Entre estos se destacan los macroinvertebrados por presentar respuestas claras al disturbio y fuertes relaciones entre las métricas, índices bióticos y las variables ambientales [92]. Los órdenes que predominan en la zona son Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), y estos taxones no toleran condiciones de calidad de agua disminuidas de la natural, lo que las hace buenos indicadores [91].

Por último, como herramientas para la gestión de recursos acuáticos patagónicos se propone para arroyos y ríos de cordillera y piedemonte utilizar el índice biótico BMPS y junto con la riqueza EPT, darían una visión relativamente rápida de la calidad de agua [92]. El índice BMPS (Biotic Monitoring Patagonian Streams) es una adaptación

para la zona biogeográfica del índice BMWP, desarrollado previamente en Inglaterra, ya que la mayor parte de estos índices fueron desarrollados en el hemisferio norte. [91].

Capítulo 8

Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

En este trabajo se logra producir un antecedente de aplicación de evaluación de caudal ambiental en la zona de Patagonia Norte, como una herramienta de conciliación entre las necesidades antrópicas y presiones sobre el agua, y los requerimientos ambientales. La importancia de esto radica, en términos generales, en promover un desarrollo sostenible y una utilización adecuada del recurso. A su vez, se considera de gran interés para la zona, ya que la misma se encuentra en pleno crecimiento poblacional y cuenta con sitios de alta importancia ecológica, turística y ambiental.

A partir de las 28 metodologías de cálculo de RAC investigadas y aplicadas, se obtuvo como selección final: Q_{90} , $70\%Q_{50}$ y Q_{95} . Con resultados similares entre sí, dichos RAC no implicaron mayores compromisos para ninguna de las partes, el uso antrópico del recurso y el mantenimiento del ambiente. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el monitoreo de variables ambientales contribuirá a confirmar lo expuesto anteriormente.

En cuanto al proyecto de captación y potabilización, como se determinó en el capítulo 7, se encuentra limitado por el RAC propuesto y por la oferta del RN del recurso. El mayor conflicto se presenta para los meses de estiaje, donde a priori, en comparación con los valores medios del RN, para los meses de marzo y febrero podría verse comprometido el caudal de diseño. En el caso de ser necesario se deberá suplir la demanda con otras fuentes.

También, se debe tener en cuenta el contexto cambiante manifestado por tendencias de disminución de las precipitaciones y cambios en la temperatura, que podrían profundizar aún más estas tensiones. Para esto es imprescindible el monitoreo constante, y considerar evaluar escenarios de RAC con variación intra e inter anual.

En relación a los posibles impactos que pudiesen surgir de la ejecución del proyecto de captación y potabilización, a través de un primer análisis se desprenden recomen-

daciones y medidas correctivas. El mayor de estos fue con respecto al paso de peces. Este no se encontraba concebido en el correspondiente plano de la obra, y se considera de suma importancia su inclusión en esta clase de proyectos.

Finalmente, cabe resaltar que este tipo de investigaciones relacionadas a la GIRH y las aplicaciones de evaluaciones de caudal ambiental, se encuentran en línea con los ODS y nos acercan a las metas establecidas para el año 2030 en Argentina. Concluyendo sobre la importancia de la contribución realizada para con los siguientes objetivos específicos del ODS número 6:

- Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
- Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos, reduciendo el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
- 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 el número de personas que sufren falta de agua.
- Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza.
- Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos [21].

8.2. Recomendaciones

Por último, se pueden mencionar ciertos ejes en los que se puede profundizar en un futuro, y así complementar el trabajo realizado. Inicialmente, se destaca la posibilidad de aplicar otras metodologías para el cálculo de los RAC. En principio, las metodologías de tipo hidráulicas se consideran un siguiente paso de interés. En específico, una de las más utilizadas dentro de esta categoría es el método del perímetro mojado y así sumar a la evaluación la variable del hábitat útil para la fauna del sitio. Además, como se menciona anteriormente, considerar variaciones de RAC intra e inter anual.

En esta misma temática, si se quisiera continuar reforzando las aplicaciones de caudales ambientales en la zona, sería muy ventajoso contar con investigaciones en relación a las curvas de preferencia de hábitat de fauna autóctona. Estas pueden brindar

información invaluable a la hora de determinar caudales ambientales, en distintas zonas donde dichas especies se puedan encontrar.

Para finalizar en cuanto a contenidos adyacentes, se destaca la relevancia de continuar con el análisis de las variables climáticas y sus tendencias, mediante una evaluación de significación estadística de estas y su implicancia sobre proyectos como este. También, para los indicadores de monitoreo propuestos, se debiese acompañar de un plan de monitoreo, estableciendo metodologías y frecuencia de las mediciones.

Apéndice A

Planos de la Obra de Captación de Agua en el Río Ñirihuau

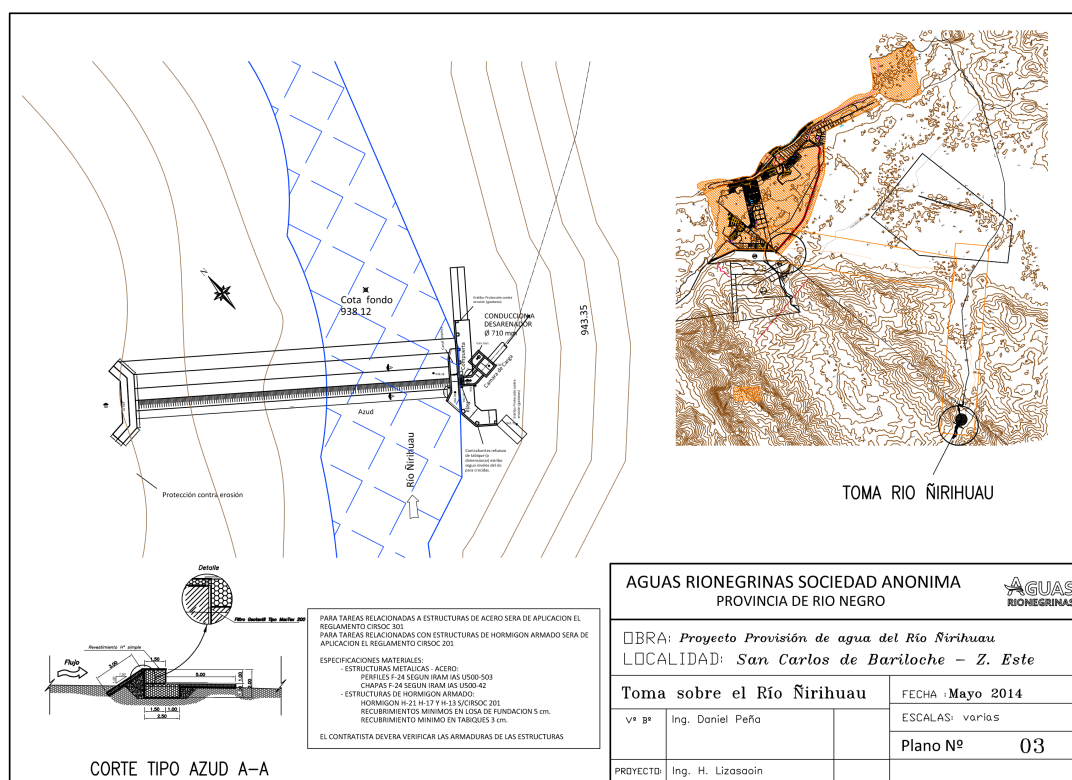
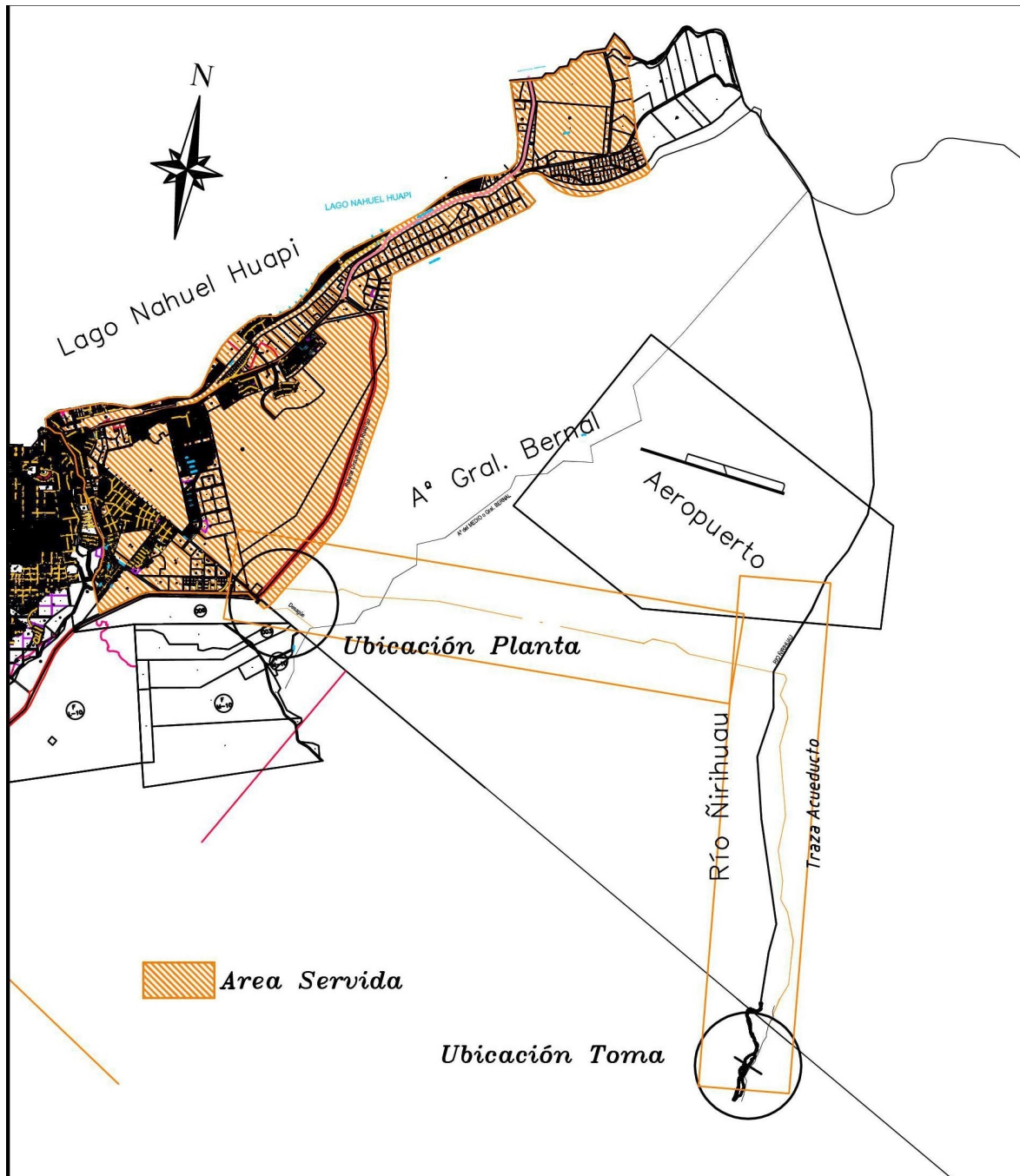


Figura A.1: Detalle de toma sobre el río del anteproyecto de provisión de agua del río Ñirihuau para la zona este de San Carlos de Bariloche [3].



AGUAS RIONEGRINAS SOCIEDAD ANONIMA
 PROVINCIA DE RIO NEGRO



OBRA: *Anteproyecto Provisión de agua del Río Ñirihuau*
 LOCALIDAD: *San Carlos de Bariloche – Z. Este*

Ubicación		FECHA : Mayo 2014
vº Bº	Ing. Daniel Peña	ESCALAS: 1 : 10.000
		Plano N° 01
PROYECTO:	Ing. H. Lizasoain	

Figura A.2: Ubicación del anteproyecto de provisión de agua del río Ñirihuau para la zona este de San Carlos de Bariloche [3].

Bibliografía

- [1] Poff, N., Allan, J. D., Bain, M., Karr, J., Prestegard, K., Richter, B., *et al.* The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, **47**, 12 1997. https://www.fs.fed.us/stream/Poffetal_1997.pdf. (28 de septiembre de 2022). ix, 6, 7, 74
- [2] Dirección de Estadística y Censos de la Provincia de Río Negro. Proyecciones y Estimaciones, Dpto Bariloche proyecciones población por sexo. Años 2010-2025. *Provincia de Río Negro*, 2019. <https://estadisticaycensos.rionegro.gov.ar/?contID=55285>. (28 de septiembre de 2022). ix, 28
- [3] Lizasoain, H., Peña, D. Acueducto y planta de agua potable - Río Ñirihuau - Abastecimiento zona este. Revisión 2. San Carlos de Bariloche, Argentina: Aguas Rionegrinas, 2015. ix, ix, ix, xi, xii, xii, 2, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 105, 111, 125, 126
- [4] Cruzado Rodríguez, S. Evaluación de la erosión hídrica en la cuenca del río Ñirihuau. San Carlos de Bariloche, Argentina: Universidad Nacional del Comahue, 2003. ix, 2, 36, 37, 39, 40, 41, 43, 44
- [5] Departamento Provincial de Aguas. Estudio de caracterización de la cuenca del río Ñirihuau. *Intendencia general de recursos hídricos. Provincia de Río Negro*, 2017. ix, x, x, x, x, x, xiii, 36, 42, 44, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62
- [6] Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico, MAyDS. Actualización de la clasificación de tipos forestales y cobertura del suelo de la región bosque andino patagónico. informe final. *Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino PatagónicoP*, 2016. ix, 45
- [7] Bartheld, J. Conservación de la biodiversidad en isla kent. *Litoral Austral Ltda.*, 2004. ix, 48
- [8] Gobbi, M. E., Aguilar, A. Ñirihuau, sus recursos naturales y su gente. Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue. Programa Nacional de Voluntariado Universitario, Secretaría de Políticas Universitarias -

- Ministerio de Educación de la Nación, 2011. ix, x, x, 2, 41, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52
- [9] Consorcio Pomca Quindio. Planes de ordenación y manejo de la cuenca del río la vieja - actualización pomca. *Ministerio de ambiente y Ministerio de Hacienda de Colombia*, 2018. x, 57, 58
- [10] Tharme, R. E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River research and applications*, **19** (5-6), 397–441, 2003. x, 73, 74
- [11] Cantera Kintz, J. R., Carvajal Escobar, Y., Castro Heredia, L. M. Caudal Ambiental Conceptos, Experiencias y Desafíos. Ciencias Naturales y exactas. Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle, 2018. x, 1, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 75, 77, 78, 117, 118
- [12] Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina . Obras públicas. *Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina*, 2022. <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-5-112>. (28 de septiembre de 2022). xi, xi, 106, 107
- [13] Sanz Ronda, F., Bravo Córdoba, F., Fuentes, J., Ruiz Legazpi, J., García Vega, A., Ramos González, N., *et al.* Pasos para peces: escalas y otros dispositivos de paso. *Notas técnicas del CIREF*, 2013. xi, 108, 109, 110
- [14] Tennant, D. L.; U. S. Fish Wildlife Service. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Billings, Mont: U.S. Fish and Wildlife Service*, 1975. xiii, 75, 76
- [15] Díez J. Metodologías para la estimación de caudales ecológicos. Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, 2000. xiii, 78, 79
- [16] Pastor, A., Ludwig, F., Biemans, H., Hoff, H., Kabat, P. Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, **10**, 14987–15032, 12 2013. xiii, 84, 85
- [17] Shaeri Karimi, S., Yasi, M., Eslamian, S. Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **9**, 07 2012. xiii, 85, 86, 87
- [18] Departamento Provincial de Aguas. Análisis y estimación del caudal ecológico, río colorado. tramo punto unido descargador de catriel. aplicación de metodologías hidrológicas. inédito. *Intendencia General de Recursos Hídricos, Departamento*

- Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro*, 2021. xiii, 74, 77, 79, 82, 84, 85, 87, 88, 89
- [19] Fernández Yuste, T., Martínez, C. Caudales ecológicos: Un patrimonio esencial para la biodiversidad de España y Portugal. *Universidad Politécnica de Madrid. WWF España*, 2022. xiii, xiv, xiv, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 101
- [20] UNESCO. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: no dejar a nadie atrás. *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*, 2019. 2
- [21] Institucional ODS, Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales. Los 17 objetivos de desarrollo sostenible. *Gobierno de la Nación Argentina*, 2022. <https://www.argentina.gob.ar/politicassociales/ods/institucional/17objetivos> (28 de septiembre de 2022). 2, 122
- [22] Medina, V. Las movilizaciones poblacionales y su impacto territorial en la estructura espacial de las ciudades turísticas: El caso de San Carlos de Bariloche. *EURE (Santiago)*, **43**, 71 – 92, 2017. 2
- [23] Servicio de evaluación ambiental. Guía Metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA. *Servicio de Evaluación Ambiental, Gobierno de Chile*, pág. 235, 2020. https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2016/guia_caudal_ambiental.pdf. (28 de septiembre de 2022). 5, 8, 9
- [24] Martínez Valdés, V. M., Yaset; Villalejo García. Caudal ambiental: herramienta ecohidrológica en la gestión de los recursos hídricos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, **41**, 56 – 70, 2020. 5, 6, 7, 8
- [25] Indij, D. Diagnóstico del grado de desarrollo del enfoque de caudales ambientales en países de Latinoamérica. *Banco Interamericano de Desarrollo (BID)*, 2017. 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 19
- [26] Organisation for Economic Cooperation and Development. Gobernanza del agua en Argentina. *Organisation for Economic Cooperation and Development*, pág. 235, 2020. 6, 16, 17
- [27] Global Water Partnership. Manejo integrado de recursos hídricos. *Global Water Partnership. Technical Advisory Committee, Background Papers n4*, 2000. 6
- [28] Magdaleno Mas, F. Manual técnico de cálculo de caudales ambientales. *Monografías. Medio ambiente. Colegio de ingenieros caminos, canales y puertos*, 2009. 6, 9, 76, 77, 78, 81, 82

- [29] Universidad de Cantabria. Estado del arte en la gestión integrada de recursos hídricos a nivel de cuenca. caudales ecológicos. *Climate Technology Centre and Network. United Nations Industrial Development Organization*, 2018. 9, 10
- [30] Ministerio de Obras Públicas Chile. Ley n° 20.017: Modifica el Código de Aguas, 2009. <http://bcn.cl/2er3b> (28 de septiembre de 2022). 12
- [31] Ministerio del Medio Ambiente Chile. Decreto n° 71: Modifica decreto n° 14 de 2012, 2015. <http://bcn.cl/2euxr> (28 de septiembre de 2022). 13
- [32] Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible Colombia. Decreto 50: Modifica el Decreto 1076, 2018. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85084> (28 de septiembre de 2022). 13
- [33] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible Colombia. Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. *Autoridad nacional de licencias ambientales, República de Colombia*, 2013. https://www.anla.gov.co/documentos/ciudadania/03_partic_ciudadana/con-pub/Metodologia_Caudal_Ambiental.pdf (28 de septiembre de 2022). 13
- [34] República de Costa Rica. Ley n° 276: Ley de aguas, 1942. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=11950&nValor3=91553&strTipM=TC. (28 de septiembre de 2022). 13
- [35] Comisión de Caudal Ambiental Costa Rica. Guía de selección de metodologías para la estimación del caudal ambiental en Costa Rica. *Dirección de agua, Ministerio de ambiente y energía, Costa Rica*, 2015. 14
- [36] Secretaría de Servicios Parlamentarios México. Ley de aguas nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 1992. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf (28 de septiembre de 2022). 14
- [37] Secretaría de Economía México. Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012: Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, 2012. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf> (28 de septiembre de 2022). 15
- [38] Nonna, S. La protección del ambiente. Esquema constitucional y de presupuestos mínimos en Argentina. *Universidad Nacional de la Plata. Revista Anales de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales*, **47**, 2017. 15, 16

- [39] Ministerio de ambiente Provincia de Jujuy. Ley n° 5063: Ley General de Medio Ambiente. *República Argentina.*, 1998. <http://www.ambientejujuy.gov.ar/wp-content/uploads/2017/08/B-5063-LEY-GENERAL-DE-MEDIO-AMBIENTE-1.pdf>. (28 de septiembre de 2022). 16, 18
- [40] Provincia de Tierra del Fuego. Ley n° 1126: Ley gestión integral de los recursos hídricos. *República Argentina.*, 2016. <http://www1.tcptdf.gov.ar/wp-content/uploads/leyes/Ley-Provincial-N-1126.pdf>. (28 de septiembre de 2022). 18
- [41] Provincia de Misiones. Ley XVI, n° 15 (antes n° 1838): Ley regulación de los recursos hídricos. *República Argentina*, 1983. <http://www.digestomisiones.gov.ar/uploads/documentos/leyes/LEY%20XVI%20-%20N%2015.pdf>. (28 de septiembre de 2022). 19
- [42] Provincia de Santa Fe. Ley n° 13740: Ley de aguas de la provincia. Derecho humano fundamental de acceso al agua potable, 2018. 19
- [43] Corte Suprema de Justicia de la Nación Argentina. Fallo Judicial CSJ 243/2014 (50-L)/CS1: “La Pampa, Provincia de c/ Mendoza, Provincia de s/ uso de agua”, 2020. <http://sjconsulta.csjn.gov.ar/sjconsulta/documentos/verDocumentoById.html?idDocumento=7591211&cache=1596672000110>. (28 de septiembre de 2022). 19, 20
- [44] Lorenzetti, R. El conflicto del el río Atuel en Argentina. *IUCN WCEL International, Regional and National Reports*, 2018. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/wcel_international_region_national_reports_ricardo_lorenzetti_el_conflicto_del_el_rio_atuel_en_argentina.pdf. (28 de septiembre de 2022). 19
- [45] Provincia de Río Negro. Ley Q n° 2952: Código de aguas. *Boletín oficial n° 3347. República Argentina*, 1995. <https://rionegro.gov.ar/download/archivos/00000612.pdf>. (28 de septiembre de 2022). 20
- [46] Provincia de Río Negro. Ley n° 3183. *Boletín oficial n° 3533. República Argentina*, 1997. <https://rionegro.gov.ar/download/archivos/00000627.pdf>. (28 de septiembre de 2022). 20
- [47] Provincia de Río Negro. Ley n° 3184. *Boletín oficial n° 3533. República Argentina*, 1997. <https://rionegro.gov.ar/download/archivos/00000628.pdf>. (28 de septiembre de 2022). 21
- [48] Provincia de Río Negro. Ley n° 3309. *Boletín oficial n° 3704. República Argentina*, 1999. <https://web.legisrn.gov.ar/legislativa/legislacion/documento?id=3310>. (28 de septiembre de 2022). 21

- [49] Provincia de Río Negro. Ley n° 3266. *Boletín oficial n° 3642. República Argentina*, 1999. <https://web.legisrn.gov.ar/legislativa/legislacion/documento?id=3267>. (28 de septiembre de 2022). 21
- [50] Universidad Nacional de Cuyo. Estudio integrado de impacto ambiental (esiia) de la obra aprovechamiento multipropósito portezuelo del viento (ampvd). *Gobierno de Mendoza*, 2019. <https://www.mendoza.gov.ar/seguridad/wp-content/uploads/sites/15/2020/01/Tomo-I-EsIIA-APMPDV.pdf>. (28 de septiembre de 2022). 21
- [51] Universidad Nacional de la Plata; Universidad Nacional del Litoral. Estudio de Impacto Ambiental Regional: Aprovechamiento Multipropósito Portezuelo del Viento - Cuenca del Río Colorado. Universidad Nacional de la Plata; Universidad Nacional del Litoral, 2018. 22
- [52] UVA, Universidad de Valladolid, España. Estudio Caudal Ecológico: Aprovechamientos hidroeléctricos Río Santa Cruz- Argentina. Informe de Avance -1. *Preparado para UTE Represas Patagonia, Argentina*, 2017. 22, 23
- [53] Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. San Carlos de Bariloche, Río Negro - ALOS AVNIR 2. *Comision Nacional de Actividades Espaciales, catalogo de materiales educativos. Republica Argentina.*, 2010. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/educacion-y-formacion-masiva/materiales-educativos/san-carlos-de-bariloche-rio-negro-alos-avnir2-10-\protect\@normalcr\relaxde-junio-de-2010> (28 de septiembre de 2022). 25
- [54] Municipalidad de San Carlos de Bariloche. Primer Esquema del Plan Estratégico e Integral de Desarrollo de San Carlos de Bariloche. *Bariloche en marcha. Unidad de planeamiento estratégico*, 2015. <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-loc/RIONEGRO/Plan-Estrategico-e-Integral-de-Desarrollo-de-San-Carlos-de-Bariloche.pdf>. (28 de septiembre de 2022). 26, 27, 28
- [55] Barrios García Moar, G. E. San Carlos de Bariloche : Una ciudad en expansión planificada. *VII Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas y XXI Jornadas de Geografía de la Universidad Nacional de La Plata*, 2019. 27, 28, 29
- [56] Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima. Sobre nosotros. *Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima*, 2018. <https://aguasrionegrinas.com/quienes-somos/>. (28 de septiembre de 2022). 29

- [57] Vejsbjerg, L., Pierucci, L. V. Plan estratégico de turismo de bariloche. visión 2025. *Universidad Nacional de Río Negro. Municipalidad de San Carlos de Bariloche*, 2018. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/5179>. (today). 29, 30
- [58] Funes, R. G., Cerialle, R. M. Plan director de provisión de agua potable y desagües cloacales de la ciudad de San Carlos de Bariloche y Dina Huapi. Segunda Etapa. Tomo 1: Planteo y selección de alternativas para los sistemas de abastecimiento de agua potable y desagües cloacales a San Carlos de Bariloche y Dina Huapi. Revisión 2. Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento, 2018. 31
- [59] Ministerio de Obras Públicas Chile. Norma “NCh777/1.cR2008”: Agua potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación. Parte 1: Terminología, clasificación y requisitos generales. https://www.siss.gob.cl/586/articles-6083_recurso_1.pdf, 2008. (28 de septiembre de 2022). 34
- [60] Comisión Nacional del Agua. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. obras de toma. *Comisión Nacional del Agua, Gerencia de ingeniería básica y normas técnicas*, 2002. 35
- [61] Silvestre Paredes, P. J., Gutiérrez Sánchez, L. A. Comprobación de diseños tipo para captaciones de agua superficial en ríos para consumo humano. *Universidad Estatal del sur de Manabí*, 2021. 35
- [62] Enohsa. Fundamentación - Cap. IV Estudios de fuentes y captaciones superficiales. *Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento*, s.f. 35, 108
- [63] Sistema Federal de Áreas Protegidas. Áreas protegidas de la argentina. *Sistema Federal de Áreas Protegidas*, 2022. <https://sifap.gob.ar/>. (28 de septiembre de 2022). 38
- [64] Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Informe Nacional Ambiente y Áreas Protegidas de la Argentina. *Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación*, 2018. 38
- [65] Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Reconocimiento Internacional de la Reserva de Biosfera Andino Norpatagónica. *Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico*, 2022. <https://www.ciefap.org.ar/index.php/articulo-38> (28 de septiembre de 2022). 39
- [66] Administración de Parques Nacionales. Información General - Parque Nacional Nahuel Huapi. *Administración de Parques Nacionales*, 2022. https://www.nahuelhuapi.gov.ar/notas_principal/pnnh.html. (28 de septiembre de 2022). 39

- [67] Menger, L. Análisis de mediciones de calidad de aire en san carlos de bariloche. *Universidad Nacional de Río Negro*, 2018. ix, 39, 40
- [68] López, C. R. Carta detallada de suelos cuenca del río Ñirihuau. *Área de recursos naturales, INTA-EEA*, 2002. 43
- [69] Administración de Parques Nacionales. Sistema de Información de Biodiversidad, s.f. <http://www.sib.gob.ar/> (28 de septiembre de 2022). 46, 47, 48
- [70] Jara, F. G., Muzon, J. El mundo de las libélulas y su rol en los ecosistemas. *Universidad Nacional del Comahue; Desde la Patagonia difundiendo saberes, vol. 10, N16*, págs. 36–43, 2013. 47
- [71] Parque Nacional Nahuel Huapi. Fauna nativa de valor especial: Huillín (lontra provocax). *Administración de Parques Nacionales*, 2020. 48, 49
- [72] Cassini, M., Sepúlveda, M. El huillín lontra provocax: Investigaciones sobre una nutria patagónica en peligro de extinción. *Serie: Fauna Neotropical - Organización PROFAUNA*, 2006. 49
- [73] Lallement, M. E. Plantilla de hábitat y estructura de los ensambles de peces de arroyos tributarios a la cuenca del río limay superior, patagonia argentina. *Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche*, 2016. <http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncomaid/179/Lallement%20M.%20E%20Tesis%20Doctorado%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (28 de septiembre de 2022). 50, 51, 52
- [74] Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., Gisbert Blanquer, J. M. Morfología de las cuencas hidrográficas. *Universidad Politécnica de Valencia, escuela técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural*, 2011. 53, 55, 56, 57, 58
- [75] Aguirre, N. Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas. *Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja*, 2007. 54, 55, 57, 58, 61
- [76] Paulhus, L. K., Linsley, R. Hidrología para ingenieros. Segunda Edición. *Editorial Mcraw-Hill*, 1977. 54, 61
- [77] Tallaksen, L. M., Van Lanen, H. A. Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Elsevier*, 2004. 69
- [78] Fernández, P. C., Fatorelli, S. Diseño Hidrológico. Segunda Edición. *Water Assessment and Advisory Global Network*, 2011. 69
- [79] HydroOffice. FDC, flow duration curve. *HydroOffice*, 2018. <https://hydrooffice.org/Tool/FDC>. (28 de septiembre de 2022). 69

- [80] Instituto Nacional del Agua. Anexo 3. Determinación de los caudales mínimos medios diarios del río Atuel. *Informe Nacional CSJN. IF-2018-51907642-APN-SIPHMI*, 2018. 75, 79
- [81] Telis, P. A. Techniques for estimating 7-day, 10-year low-flow characteristics for ungaged sites on streams in mississippi. *Water-Resources Investigations Report*, 1992. <https://pubs.usgs.gov/wri/1991/4130/report.pdf>. (28 de septiembre de 2022). 76
- [82] Caissie, J., Caissie, D., El'Jabi, N. Hydrologically Based Environmental Flow Methods Applied to Rivers in the Maritime Provinces (Canada). *River Research and Applications*, 2014. 81, 82
- [83] Ministerio de Obras Públicas Chile. Resolución n° 240: Fija criterio para el cálculo del caudal ecológico al constituirse derechos de aprovechamiento de aguas, 2009. <http://bcn.c1/2f365> (28 de septiembre de 2022). 83
- [84] Gonzalez Villela, R., Banderas Tarabay, A. G. Metodologías para el cálculo de caudales ecológicos y ambientales en ríos regulados por presas. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 2015. 84
- [85] Li, C., Kang, L. A new modified tennant method with spatial-temporal variability. *Water Resources Management*, **28**, 2014. 87
- [86] Larinier, M. Pool fishways, pre-barages and natural bypass channels. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, **364**, 54-82, 2002. 111
- [87] IPCC. Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. *Calentamiento global de 1,5° C*, 2018. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf. (28 de septiembre de 2022). 113
- [88] IPCC. Resumen Técnico. Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. *IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EE.UU.*, 2013. 113, 114
- [89] IPCC. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas,

- R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. *IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.*, 2022. 113
- [90] Barros, V. R., Boninsegna, J. A., Camilloni, I., Chidiak, M., Magrín, G., Rusticucci, M. Climate change in argentina: Trends, projections, impacts and adaptation. *Wiley interdisciplinary reviews: Climate Change*, págs. 151–169, 2015. 114
- [91] Mauad, M. Comparación y aplicabilidad de índices bióticos para evaluar la calidad de aguas en ambientes lóticos del parque nacional nahuel huapi. *Universidad Nacional de La Plata*, 2014. 118, 119
- [92] Miserendino, M. L., Epele, L. B., Brand, C., Manzo, L. M. Los indicadores biológicos en la patagonia. calidad de agua e integridad ecológica: Una mirada desde arroyos a mallines. *Eudeba*, págs. 165–173, 2020. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/120087/CONICET_Digital_Nro.25ecf26d-3112-4fdc-98c1-ceb490fb90e4_R.pdf?sequence=8&isAllowed=y. (28 de septiembre de 2022). 118

Agradecimientos

- A mi director Martín, por no sólo responder siempre mis dudas con la mejor predisposición, sino por su gran dedicación como profesor.
- A mis profesores de la carrera que me dejaron una auténtica marca a lo largo de este proceso de aprendizaje.
- A mis padres, Cecilia y Ricardo, por siempre creer en mi.
- A Juan Cruz, por acompañarme y ser mi soporte.
- A mis amigas y compañeras, por ser un apoyo siempre que las necesite.

