



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL

RESUMEN EJECUTIVO

S.I.T. N° 476

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA CHILE S.A.**

SANTIAGO, FEBRERO DE 2022

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**Ministro de Obras Públicas
Sr. Alfredo Moreno Charme**

**Director General de Aguas (S)
Sr. Cristian Núñez Riveros**

**Jefe División Estudios y Planificación
Sr. Mauricio Lorca Miranda**

**Directora General de Aguas Región del Maule
Sra. Paula Castro Lastra**

**Director General de Aguas Región del Libertador Bernardo O´Higgins
Sr. José Goycoolea González**

**Inspector Fiscal
Sr. Óscar López Arenas**

**Inspectores Fiscales Subrogantes
Sra. Andrea Osses Vargas
Sr. Rodrigo Andrés Alonso Salgado
Sra. Tamara Soto Caro**

**Asesor Modelación Integrada
Sr. Pedro Sanzana Cuevas**

**Consultora
Jefe de Proyecto
Sr. Claudio Reyes Hurtado**

**Especialistas y Profesionales
Sr. Eugenio Celedón Correa
Sr. Eugenio Celedón Cariola
Sr. Alejandro Rodríguez Lazcano
Sra. María Sol Tejada
Sra. Cecilia Aqueveque González
Sr. Igor Ruz Ortiz
Sr. Miguel Segur Pelayo
Sr. Diego Carpentier Nazal
Sr. Óscar Romera Martínez
Sr. Diego Niklitschek Flores
Sr. Sebastián Carvajal Marambio
Sr. Francisco Vergara Rizzo
Sr. Nicolas Bravo Reyes
Sr. Diego Gálvez Pino
Sra. Camila Contreras Suazo
Sr. Sebastián Núñez Labrín
Sr. Francisco Molina Villagrán**



ÍNDICE DEL RESUMEN EJECUTIVO

Página

ÍNDICE DEL RESUMEN EJECUTIVO	1-3
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1-5
1.1 Introducción	1-5
1.2 Objetivos	1-6
1.2.1 Objetivo general	1-6
1.2.2 Objetivos específicos	1-6
1.3 Fases del estudio y alcances metodológicos	1-7
2. ESTADO ACTUAL DE LA CUENCA	2-9
2.1 Balance Hídrico	2-9
2.1.1 Oferta Hídrica	2-9
2.1.2 Demanda Histórica y proyectada	2-25
2.1.3 Balance Hídrico	2-26
2.2 Calidad del agua y ecosistemas	2-30
2.2.1 Estado actual.....	2-31
2.3 Brechas y desafíos en torno a la Seguridad Hídrica	2-35
2.3.1 SH para las personas	2-36
2.3.2 SH para los ecosistemas	2-41
2.3.3 SH para actividades productivas.....	2-45
2.3.4 SH ante eventos extremos	2-50
2.3.5 Gestión Institucional	2-51
2.3.6 Gobernanza	2-55
2.3.7 Síntesis de la brecha hídrica	2-57
3. LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INICIATIVAS	3-59
3.1 Método utilizado para levantamiento de medidas	3-59
3.2 Análisis de iniciativas	3-61
3.3 El rol de las instituciones en la implementación del plan	3-68
4. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	4-69
4.1 Cronograma	4-69
4.2 Financiamiento de iniciativas	4-72
4.3 Plan de Monitoreo	4-72
4.3.1 Indicadores	4-72
4.3.2 Seguimiento	4-76
5. REFERENCIAS	5-77



Anexos

Anexo A. Abreviaturas

Anexo B. Referencias

Anexo C. Glosario

Anexo D. Figuras

Anexo E. Antecedentes Recopilados

Anexo F. Aspectos metodológicos

- F1. Metodología
- F2. Resultados demanda
- F3. Oferta y Balance
- F4. Indicadores Hídricos
- F5. Brechas
- F6. Información actores

Anexo G. SIG

- G1. Descripción SIG
- G2. Diccionario

Anexo H. Modelo hidrológico

- H1. Resultados superficiales y subterráneos
- H2. Respaldo Modelo hidrológico numérico
- H3. Validación del producto CR2MET
- H4. Elección modelo GCM

Anexo I. Participación Ciudadana (PAC)

- I0. Comunicación
- I1. Listado de actores
- I2. Lanzamiento
- I3. Primer ciclo taller
- I4. Segundo ciclo taller
- I5. Reuniones de seguimiento con grupo asesor
- I6. Presentación final
- I7. Reuniones

Anexo J. Diagnóstico

- J1. Árbol de Problemas
- J2. Estado de restricciones del uso de agua
- J3. Gobernanza
- J4. Derechos de Aprovechamiento de Aguas

Anexo K. Plan Estratégico

- K1. Iniciativas del Plan
- K2. Calculadora Hídrica
- K3. Memoria de Cálculo de Iniciativas
- K4. Ficha de iniciativas

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.1 Introducción

El presente documento desarrolla el Resumen Ejecutivo del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la **cuenca del río Rapel**. El propósito de este Plan es conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer el balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer una cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

Para dar cuenta del propósito del Plan, se adoptó como concepto estructurante la **Seguridad Hídrica**, entendida como la capacidad de proveer agua en cantidad, calidad y oportunidad requerida para las personas, los ecosistemas y las actividades productivas. Complementariamente, esta provisión de agua debe ser resiliente frente a eventos extremos. Asimismo, se adopta el concepto de **Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)** como una aproximación que trasciende el manejo del recurso, extendiéndose hacia las fuentes o componentes del ciclo hidrológico en su totalidad. De esta forma, la GIRH implica la atención a las múltiples necesidades de diferentes actores, pero en consideración a los diferentes estados del recurso hídrico en cada cuenca. Esta aproximación desde la Seguridad Hídrica y la GIRH se alinean con la propuesta de **gobernanza** conversada con los usuarios, que se operativiza a través de Comités de Seguridad Hídrica, reunidos en un Consejo de Cuenca.

En este contexto, el documento hace un resumen de la recopilación de información, análisis y diagnóstico de las características de la cuenca y las condicionantes del ciclo hidrológico. Asimismo, presenta los resultados de la modelación hidrológica, la campaña geofísica y el proceso de planificación realizado para alcanzar la Seguridad Hídrica. En el contexto de Participación Ciudadana, se identificó, caracterizó y conversó con los actores públicos y privados locales, relacionados con la gestión de los recursos hídricos, para lo cual se realizaron dos talleres de participación, así como numerosas entrevistas y reuniones.

El documento es de carácter ejecutivo y su propósito es presentar de manera resumida y directa el desarrollo del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca. El detalle de cada una de las actividades realizadas, las memorias de cálculo y el respaldo de las actividades de participación presenciales y remotas, se presenta en el informe final, los anexos y apéndices del presente Plan. Para una mejor gestión de la cuenca río Rapel, ésta se dividió en tres Unidades de Gestión: río Cachapoal, Tinguiririca y Rapel.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer un Plan Estratégico indicativo en la **cuenca río Rapel**, para que en su realidad se pueda conocer oferta y demanda actual de agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer una cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

1.2.2 Objetivos específicos

- **OBJETIVO N°1:** Conocer el estado actual de la cuenca río Rapel en cuanto a su oferta, demanda, balance de agua (en cuanto a derechos y demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, gobernanza y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
- **OBJETIVO N°2:** Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
- **OBJETIVO N°3:** Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, por tipo de usuario tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
- **OBJETIVO N°4:** Diagnosticar estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
- **OBJETIVO N°5:** Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares). Analizar el estado de funcionamiento, la antigüedad y confiabilidad de los sistemas en general.
- **OBJETIVO N°6:** Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas y establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
- **OBJETIVO N°7:** Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión según escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo; y adaptativos en el tiempo.

-
- **OBJETIVO N°8:** Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, incrementando cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

1.3 Fases del estudio y alcances metodológicos

Conceptualmente, el trabajo desarrolló las siguientes etapas del proceso del Plan Estratégico:

Caracterización de la cuenca

Diagnóstico de los recursos hídricos en la cuenca

Formulación del Plan

Implementación

Monitoreo y Evaluación

Aspectos Normativos,

A continuación, se describe cada una de las fases del estudio:

Descripción de la cuenca, presenta una caracterización de los elementos que definen, afectan o condicionan el desarrollo del ciclo hidrológico en la cuenca. Se revisa la dimensión política, administrativa y económica; la dimensión ambiental; y la dimensión construida. Se identificaron las nuevas fuentes potenciales de agua, con la posibilidad de aumentar la disponibilidad del recurso para los usuarios; y la gobernanza definida por los actores y su interacción en la cuenca.

Demanda Física y Legal para los Diferentes Usos del Agua, presenta en detalle la demanda de agua requerida para el consumo humano, el medio ambiente y las principales actividades económicas de la cuenca como la agricultura y el uso industrial, así como la demanda no consuntiva dada por la generación hidroeléctrica. Detalla la demanda legal, determinada por los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneos otorgados.

Oferta de Agua, desglosa la oferta de agua superficial y subterránea, identificando las fuentes, cuantificando la disponibilidad y evaluando la calidad de las aguas en cada fuente, tanto actual como proyectada.

Balance de Agua, relaciona la oferta y demanda por medio de los modelos hidrológicos e hidrogeológicos construidos. Se describen los modelos, los escenarios de cambio climático adoptados, y la situación actual y proyectada de los recursos hídricos a 30 años. Se identifican las brechas por eje de Seguridad Hídrica, la sustentabilidad de acuíferos, y se definen y modelan tres escenarios de gestión.

Acciones, presenta el marco conceptual adoptado para la planificación estratégica, destacando la Gestión Integrada de Recursos Hídricos como concepto principal,

estructurada a partir de los ejes de Seguridad Hídrica. Finalmente se propone un modelo de gobernanza para la implementación del Plan Estratégico.

Cartera de Iniciativas Propuestas, define los ejes estratégicos, objetivos y metas del Plan. Para esto, se divide la cuenca en tres Unidades de Gestión. Finalmente se proponen y evalúan las estrategias posibles para alcanzar las metas propuestas, seleccionando aquellas que prueban ser costo-eficientes dentro de una evaluación socioeconómica.

Implementación del Plan, define la cartera de iniciativas existentes y propuestas para la implementación del Plan, estableciendo presupuestos, plazos y responsables para cada una de ellas. En complemento, define una estrategia de implementación, proponiendo una estructura, roles, responsabilidades y atribuciones de los actores de la cuenca.

Seguimiento y Evaluación del Plan, define los indicadores de gestión y de impacto que permiten evaluar el avance en la implementación del Plan, y establece los mecanismos y responsables de la actualización de los objetivos estratégicos y sus metas.

Aspectos Normativos, presenta una revisión de la planificación estratégica de la cuenca y su relación con otros procesos de planificación y desarrollo normativo, identificando sinergias y vacíos que debieran ser abordados.

2. ESTADO ACTUAL DE LA CUENCA

2.1 Balance Hídrico

Para entender el balance hídrico general de la cuenca río Rapel, se estimó la oferta de agua que existe, se consideraron las diferentes demandas tanto para la población como de actividades productivas, y se realizó un análisis comparativo de entradas y salidas en parámetros asociados al balance de aguas en la cuenca. Transversalmente, se consideraron diferentes períodos de tiempo, a saber: período histórico (1990-2014), período actual (2015-2020) y período proyectado (2021-2050), con el fin de comprender de mejor manera el estado actual de los recursos hídricos de la cuenca río Rapel.

2.1.1 Oferta Hídrica

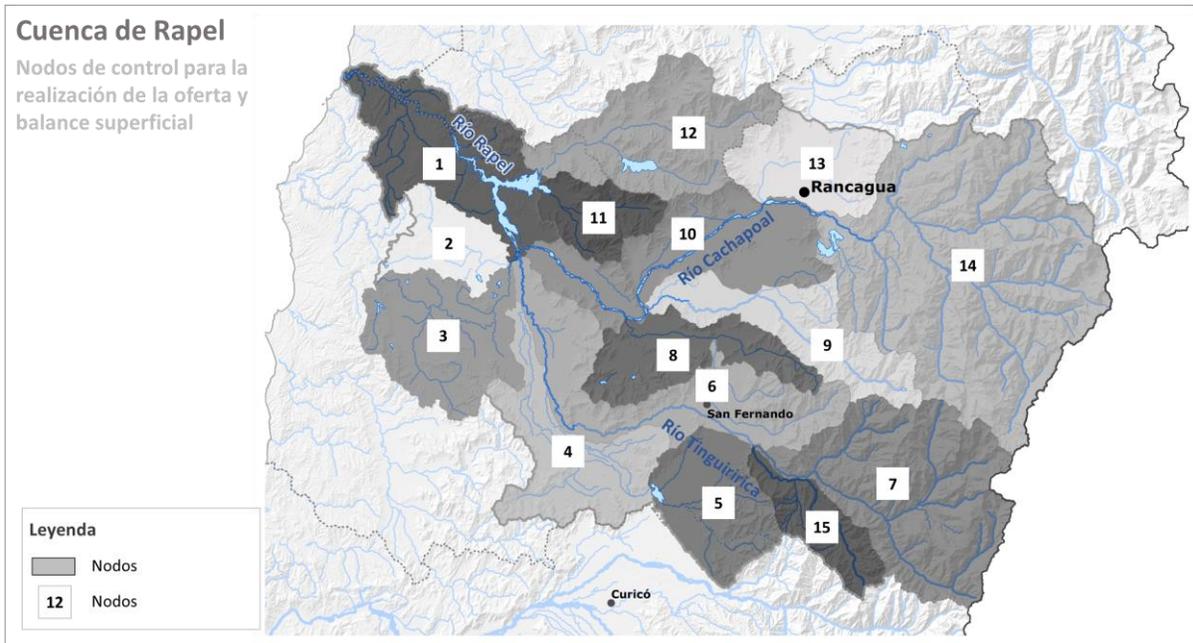
Dentro de las fuentes superficiales de mayor envergadura de la cuenca, se cuenta con dos ríos principales, **río Cachapoal y Tinguiririca**, más dos esteros: Alhué y estero Las Cadenas. Este conjunto de cauces termina en el embalse Rapel, el cual forma el río Rapel para luego desembocar en el Océano Pacífico.

Estas fuentes de agua, adicionalmente, tienen **afluentes aportantes** como el río Pangal, río Claro de Cauquenes, río Coya, río Claro de Rengo, estero Zamorano por la subcuenca de Cachapoal; y río del Azufre, río Clarillo, estero Chimbarongo, estero Las Toscas, por parte del río Tinguiririca.

Es de considerar en la oferta de agua la existencia de los cuerpos de agua que permiten la regulación, como el **Embalse Rapel**, ya mencionado, y el **Embalse Convento Viejo** que recibe aportes del **Canal Teno –Chimbarongo** (cuenca del Mataquito).

Los nodos utilizados para la realización de la oferta y balance superficial se pueden observar en la **Figura 2-1**.

Las fuentes de aguas fueron simuladas en el modelo hidrológico acoplado (WEAP+MODFLOW), dando los siguientes resultados de oferta en la fuente.



Fuente: Elaboración propia a partir de los nodos superficiales definidos por la DGA

Figura 2-1 Nodos de control para la realización de la oferta y balance superficial

2.1.1.1 Aguas superficiales

La oferta superficial se define según el régimen analizado, natural o intervenido, en distintos periodos de tiempo. Por lo tanto, para el presente análisis se definen los siguientes conceptos.

Oferta histórica (1990-2014): Promedio de la oferta entregada en el periodo de tiempo entre abril de 1990 y marzo de 2015.

Oferta actual (2015-2020): Promedio de la oferta entregada en el periodo de tiempo entre abril de 2015 y marzo de 2021.

Oferta proyectada (2021-2050): Promedio de la oferta entregada en el periodo de tiempo entre abril de 2021 y marzo de 2050. Dicho periodo se separa adicionalmente en décadas para mejora análisis de los datos proyectados.

Dichas ofertas se analizan para el régimen hidrológico comentado:

Oferta en régimen intervenido: Tomando los cauces superficiales de los nodos como volúmenes de control para establecer la oferta superficial, en la oferta en régimen intervenido se consideran los ingresos por escorrentía propia, ingresos provenientes de otros nodos a través de cauces superficiales, trasvases desde otros nodos, flujos de retorno superficiales provenientes de las zonas de riego y desembalses, si corresponde. Es decir, en este régimen se considera la cuenca con toda su infraestructura de aprovechamiento hídrico en funcionamiento (canales de riego, embalses, centrales

hidroeléctricas, trasvases, etc.), de acuerdo con las características de cada uno de estos elementos y a las reglas operacionales que han sido comunicadas por los mismos usuarios de aquella infraestructura.

Oferta régimen natural: Al igual que en la oferta en régimen intervenido, en este caso se toman los cauces superficiales de los nodos como volúmenes de control para establecer la oferta de agua, sin embargo, en este caso se considera a la cuenca en su régimen natural. Es decir, se evalúan los caudales en la cuenca considerando que no hay extracciones por parte de los canales, ni acumulación en los embalses. Según la distribución propuesta para el cálculo de la oferta natural sería el sumatorio de los caudales en los nodos: 10, 6, 1, 2, 3, 11, 12 (ver **Figura 2-1**).

En términos históricos (1990-2014) la oferta natural superficial promedio ha sido de **5.794 hm³/año** en la cuenca total del río Rapel. En los últimos años la disponibilidad ha descendido llegando a un promedio actual de **3.377 hm³/año**.

La **Tabla 2-2** muestra que la oferta en un escenario intervenido es de 5.259 hm³/año (1990-2014). La diferencia entre oferta natural e intervenida es de 535 hm³/año. Asimismo, los datos demuestran que existe una disminución de un 41,7% entre el caudal histórico y actual, para el caso de un escenario natural; y de un 42,6% menos para el caudal intervenido en la cuenca.

Tabla 2-1 Oferta Natural periodo histórico y oferta actual (hm³/año)

UG	Nodo	Nombre Nodo	1990-2014	2015-2020	Histórico Completo 1990-2020
Cachapoal	14	Cachapoal Alto	2.092	1.454	1.969
	13	Cachapoal Norte	1.968	1.337	1.846
	9	Claro Rengo	1.172	1.003	1.140
	8	Zamorano	508	354	478
	10	Cachapoal Bajo	3.683	2.553	3.464
Tinguiririca	15	Río Claro	254	175	238
	7	Tinguiririca Alto	1.705	1.297	1.626
	5	ECV	729	482	681
	4	Chimbarongo	277	169	256
	6	Tinguiririca Bajo	3.174	2.142	2.974
Rapel	2	San Miguel	61	33	56
	3	Estero Las Cadenas	322	208	300
	11	Las Palmas	107	67	99
	12	Alhué	365	255	344
	1	Rapel	5.794	3.377	5.326

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual (Acoplado -WEAP-Modflow) (Ver Figura 2-1)

Tabla 2-2 Oferta intervenido periodo histórico y oferta actual (hm³/año)

UG	Nodo	Nombre Nodo	1990-2014	2015-2020	Histórico Completo 1990-2020
Cachapoal	14	Cachapoal Alto	1.894	1.291	1.777
	13	Cachapoal Norte	1.286	757	1.183
	9	Claro Rengo	1.352	1.124	1.308
	8	Zamorano	539	375	507
	10	Cachapoal Bajo	2.892	1.854	2.691
Tinguiririca	15	Río Claro	250	171	235
	7	Tinguiririca Alto	1.632	1.242	1.557
	5	ECV	786	515	734
	4	Chimbarongo	385	274	363
	6	Tinguiririca Bajo	2.244	1.414	2.084
Rapel	2	San Miguel	61	33	56
	3	Estero Las Cadenas	639	439	601
	11	Las Palmas	148	107	140
	12	Alhué	351	239	330
	1	Rapel	5.259	3.018	4.825

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual (Acoplado -WEAP-Modflow). Anexo F3 (Ver Figura 2-1)

Por otra parte, la precipitación y temperatura del periodo proyectado (2020-2050) es obtenida desde el modelo CCSM4 (DGA, 2018). Para este escenario la proyección de la oferta se presenta en la **Tabla 2-3** y **Tabla 2-4**, representando una diferencia de **1.407 hm³/año** para la oferta natural y **1.357 hm³/año** para oferta intervenida, entre el período proyectado (2021-2050) y el período histórico completo (1990-2020), detallado anteriormente.

Tabla 2-3 Oferta Natural periodo proyectado (hm³/año)

UG	Nodo	Nombre Nodo	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2021-2050
Cachapoal	14	Cachapoal Alto	1.662	1.364	1.440	1.490
	13	Cachapoal Norte	1.588	1.287	1.374	1.418
	9	Claro Rengo	1.111	1.018	1.037	1.056
	8	Zamorano	492	397	405	433
	10	Cachapoal Bajo	3.137	2.534	2.696	2.792
Tinguiririca	15	Río Claro	233	194	193	207
	7	Tinguiririca Alto	1.505	1.353	1.347	1.403
	5	ECV	620	531	516	557
	4	Chimbarongo	226	185	185	199
	6	Tinguiririca Bajo	2.656	2.242	2.243	2.385
Rapel	2	San Miguel	53	37	39	43
	3	Estero Las Cadenas	273	224	223	241
	11	Las Palmas	84	61	63	69
	12	Alhué	320	245	253	273
	1	Rapel	4.608	3.433	3.693	3.919

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual (Acoplado -WEAP-Modiflow). Anexo F3. (Ver Figura 2-1)

Tabla 2-4 Oferta intervenida periodo proyectado (hm³/año)

UG	Nodo	Nombre Nodo	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2021-2050
Cachapoal	14	Cachapoal Alto	1.493	1.202	1.294	1.331
	13	Cachapoal Norte	972	703	838	838
	9	Claro Rengo	1.227	1.139	1.147	1.172
	8	Zamorano	503	412	419	446
	10	Cachapoal Bajo	2.357	1.806	2.021	2.063
Tinguiririca	15	Río Claro	230	190	190	203
	7	Tinguiririca Alto	1.442	1.295	1.291	1.345
	5	ECV	652	556	551	588
	4	Chimbarongo	322	269	266	287
	6	Tinguiririca Bajo	1.776	1.449	1.485	1.573
Rapel	2	San Miguel	53	37	39	43
	3	Estero Las Cadenas	522	437	458	473
	11	Las Palmas	120	98	98	106
	12	Alhué	292	220	226	247
	1	Rapel	4.008	2.895	3.254	3.390

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual (Acoplado -WEAP-Modiflow). Anexo F3. (Ver Figura 2-1)

2.1.1.2 Aguas subterráneas

Para la caracterización de la oferta Subterránea en los SHAC se utiliza el Volumen o Stock, la Recarga (l/s), y el nivel de la napa. Para ver la metodología de cálculo referirse al Anexo H, sección 2.2.2. En la **Tabla 2-5**, **Tabla 2-6** y **Tabla 2-7** se presentan los datos de stock, recarga y nivel de la napa para el periodo de tiempo histórico y actual. Se presenta un volumen húmedo total de 74.230 hm³ para el período 1991-2010, en comparación con 72.582 Hm³ del período actual; en tanto la recarga de los acuíferos corresponde a un total de 3.825 Hm³/año en el período 1990-2020.

Tabla 2-5 Volumen húmedo de los acuíferos (Stock - hm³). Periodo Histórico y actual

SHAC	Volumen Bruto	Periodo Histórico		Período completo
		1991-2010	2011-2020	1991-2020
Cadenas Yervas Buenas / El Monte - Tinguiririca	19.890	2.781	2.553	2.667
Tinguiririca Superior / Chimbarongo / San Fernando	120.821	17.465	16.984	17.224
Doñihue-Coinco-Coltauco / Río Rapel / Graneros-Rancagua	97.212	14.711	14.631	14.671
Peumo - Pichidegua - Las Cabras / Laguna San Vicente / Pelequén - Malloa - San Vicente de Tagua Tagua	55.931	8.781	8.751	8.766
Tinguiririca Inferior Este	51.589	7.639	7.631	7.635
Requínoa - Rosario - Rengo - Quinta Tilcoco - Oeste	41.107	6.379	6.353	6.366
Estero Alhué	15.644	2.433	2.200	2.316
Estero Las Palmas / Embalse Rapel	9.506	1.299	1.040	1.169
Cadenas Marchigüe	23.633	3.282	3.213	3.247
Codegua	12.444	1.468	1.474	1.471
Tinguiririca Inferior Oeste	32.292	4.587	4.409	4.498
Requínoa - Rosario - Rengo - Quinta Tilcoco - Este	22.051	3.406	3.343	3.374
Total	502.121	74.230	72.582	73.406

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modiflow). Anexo F3.4

Tabla 2-6 Recarga de los acuíferos (hm³/año). Periodo histórico completo (1990-2020)

hm ³ /año					
SHAC	Recarga Natural	Riego	Relación río acuífero	Canales	Total
Graneros – Rancagua	44,84	35,74	794,52	51,57	926,67
Olivar	16,01	11,75	209,43	99,88	337,07
Requínoa – Rosario – Rengo	58,94	29,98	27,74	42,30	158,95
Doñihue – Coinco – Coltauco	31,00	44,72	164,18	88,92	328,82
Laguna San Vicente	20,61	4,97	-	-	25,58
Pelequén – Malloa – San Vicente	26,87	18,33	92,60	75,20	213,00
Peumo – Pichidegua – Las Cabras	-	-	88,55	181,43	269,97
Estero Alhué	67,07	4,86	-	-	71,93
Estero Las Palmas	26,82	3,65	-	-	30,47
Embalse Rapel	1,16	-	-	-	1,16
San Fernando	84,67	13,08	14,94	111,19	223,88
Chimbarongo	19,56	22,14	3,64	158,60	203,94
Tinguiririca Superior	94,01	34,84	27,30	307,16	463,31
El Monte – Tinguiririca	12,94	0,17	-	-	13,10
Cadenas – Yervas Buenas	21,10	0,27	-	-	21,36
Cadenas Marchigüe	22,73	3,45	-	286,50	312,68
Tinguiririca Inferior	84,95	22,43	33,54	82,67	223,59
Total	633,28	250,38	1.456,42	1.485,40	3.825,48

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modflow). Anexo F3.4

Tabla 2-7 Nivel de la Napa (Profundidad - m). Período Histórico y actual

SHAC	Sup	Período Histórico		Período Completo
	km ²	1991-2010	2011-2020	1990-2020
Cadenas Yervas Buenas / El Monte - Tinguiririca	390,54	151,46	145,94	148,70
Tinguiririca Superior / Chimbarongo / San Fernando	2.205,08	254,09	251,06	252,58
Doñihue-Coinco-Coltauco / Río Rapel / Graneros-Rancagua	1.290,93	409,93	409,13	409,53
Peumo - Pichidegua - Las Cabras / Laguna San Vicente / Pelequén - Malloa - San Vicente de Tagua Tagua	877,41	181,56	181,39	181,47
Tinguiririca Inferior Este	439,25	135,53	135,43	135,48
Requínoa - Rosario - Rengo - Quinta Tilcoco - Oeste	302,58	287,85	287,26	287,56
Estero Alhué	996,02	169,12	163,23	166,17
Estero Las Palmas / Embalse Rapel	409,22	124,44	113,76	119,10
Cadenas Marchigüe	257,84	137,55	135,67	136,61
Codegua	403,12	480,02	480,12	480,07
Tinguiririca Inferior Oeste	505,03	131,27	128,19	129,73
Requínoa - Rosario - Rengo - Quinta Tilcoco - Este	408,98	348,84	346,30	347,57
Total	8.486			

Nota: Profundidad respecto al terreno

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modflow). Anexo F3.4

Se aplica el escenario de cambio climático CCSM4 para obtener una estimación de los parámetros de los SHAC de Stock, recarga y Nivel de la Napa. En la **Tabla 2-8**, **Tabla 2-9** y **Tabla 2-10**, se presentan dichos valores para el periodo 2021-2050. Se da cuenta de un volumen húmedo total de 70.586 Hm³ para el período proyectado, en comparación con 73.406 Hm³ del período actual; en tanto la recarga de los acuíferos corresponde a un promedio total de 3.387 Hm³/año, cifra que disminuye en comparación con el período actual.

Tabla 2-8 Volumen húmedo de los acuíferos (Stock - hm³). Período Proyectado

SHAC	Volumen Bruto	Período Histórico			Período completo
		2021-2030	2031-2040	2041-2050	2021-2050
Cadenas Yervas Buenas / El Monte - Tinguiririca	19.890	2.499	2.474	2.462	2.480
Tinguiririca Superior / Chimbarongo / San Fernando	120.821	16.476	16.171	16.107	16.292
Doñihue-Coinco-Coltauco / Río Rapel / Graneros-Rancagua	97.212	14.340	14.209	14.228	14.284
Peumo - Pichidegua - Las Cabras / Laguna San Vicente / Pelequén - Malloa - San Vicente de Tagua Tagua	55.931	8.725	8.717	8.717	8.721
Tinguiririca Inferior Este	51.589	7.623	7.623	7.625	7.624
Requínoa - Rosario - Rengo - Quinta Tilcoco - Oeste	41.107	6.291	6.260	6.257	6.274
Estero Alhué	15.644	2.135	2.077	2.040	2.088
Estero Las Palmas / Embalse Rapel	9.506	933	854	797	865
Cadenas Marchigüe	23.633	3.171	3.148	3.143	3.157
Codegua	12.444	1.324	1.203	1.195	1.259
Tinguiririca Inferior Oeste	32.292	4.344	4.310	4.301	4.322
Requínoa - Rosario - Rengo - Quinta Tilcoco - Este	22.051	3.250	3.200	3.188	3.219
Total	502.121	71.112	70.245	70.060	70.586

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modlflow). Anexo F3.4

Tabla 2-9 Recarga de los acuíferos (hm³/año). Período proyectado (2021-2050)

hm ³ /año					
SHAC	Recarga Natural	Riego	Relación río acuífero	Canales	Total
Graneros – Rancagua	43,79	24,56	687,54	42,96	798,85
Olivar	15,75	6,89	266,96	79,59	369,19
Requínoa – Rosario – Rengo	58,61	18,27	26,22	25,69	128,80
Doñihue – Coinco – Coltauco	31,78	21,48	183,69	49,99	286,94
Laguna San Vicente	21,85	3,33	-	-	25,18
Pelequén – Malloa – San Vicente	27,11	9,88	90,52	61,35	188,86
Peumo – Pichidegua – Las Cabras	-	-	90,32	171,76	262,08
Estero Alhué	52,49	3,21	-	-	55,70
Estero Las Palmas	19,59	2,77	-	-	22,40
Embalse Rapel	0,80	-	-	-	0,80
San Fernando	76,88	9,36	17,69	94,41	198,33
Chimbarongo	17,77	14,60	4,14	134,67	171,18
Tinguiririca Superior	83,30	21,32	31,53	261,38	397,54
El Monte – Tinguiririca	10,65	0,11	-	-	10,76
Cadenas – Yervas Buenas	17,37	0,18	-	-	17,55
Cadenas Marchigüe	18,94	1,81	-	228,83	249,58
Tinguiririca Inferior	70,40	14,61	37,78	80,79	203,57
Total	567,06	152,38	1.436,43	1.231,43	3.387,30

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modlflow). Anexo F3.4

Tabla 2-10 Nivel de la Napa (Profundidad- m). Período Proyectado

SHAC	Sup km ²	Período Histórico			Período completo
		2021-2030	2031-2040	2041-2050	2021-2050
Cadenas Yervas Buenas / El Monte - Tinguiririca	390,54	144,56	143,93	143,62	144,09
Tinguiririca Superior / Chimbarongo / San Fernando	2.205,08	247,98	246,12	245,69	246,84
Doñihue-Coinco-Coltauco / Río Rapel / Graneros-Rancagua	1.290,93	406,17	404,78	404,97	405,57
Peumo - Pichidegua - Las Cabras / Laguna San Vicente / Pelequén - Malloa - San Vicente de Tagua Tagua	877,41	181,21	181,16	181,17	181,19
Tinguiririca Inferior Este	439,25	135,31	135,33	135,36	135,34
Requínoa - Rosario - Rengo - Quinta Tilcoco - Oeste	302,58	285,79	285,05	284,99	285,39
Estero Alhué	996,02	161,77	160,35	159,51	160,64
Estero Las Palmas / Embalse Rapel	409,22	108,87	105,08	102,37	105,62
Cadenas Marchigüe	257,84	134,50	133,86	133,74	134,12
Codegua	403,12	470,52	461,96	460,97	465,75
Tinguiririca Inferior Oeste	505,03	127,04	126,44	126,28	126,66
Requínoa - Rosario - Rengo - Quinta Tilcoco - Este	408,98	342,67	340,73	340,29	341,48
Total	8.486				

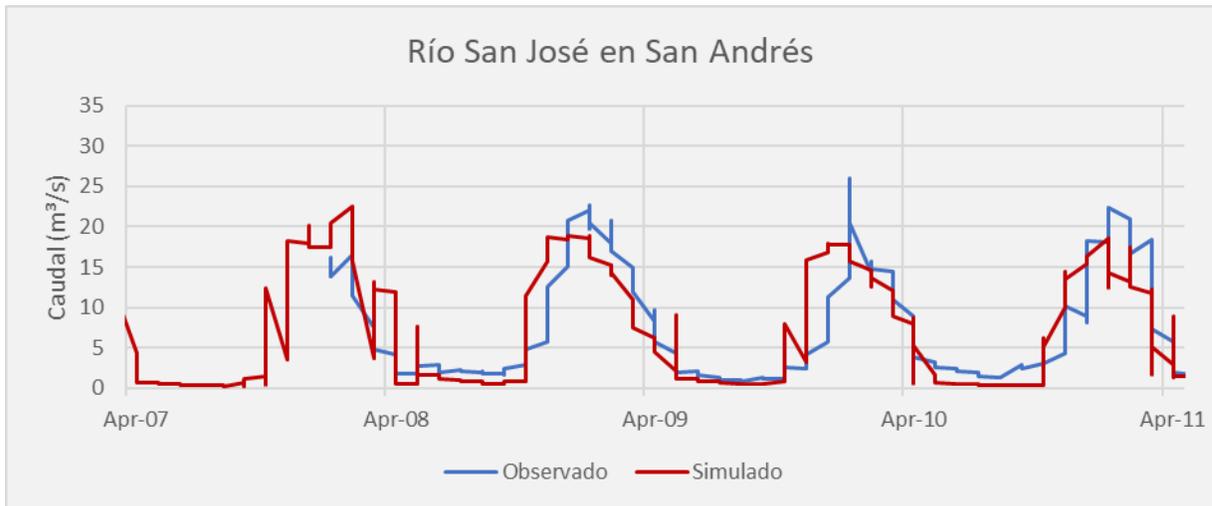
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modiflow). Anexo F3.4

2.1.1.3 Glaciares

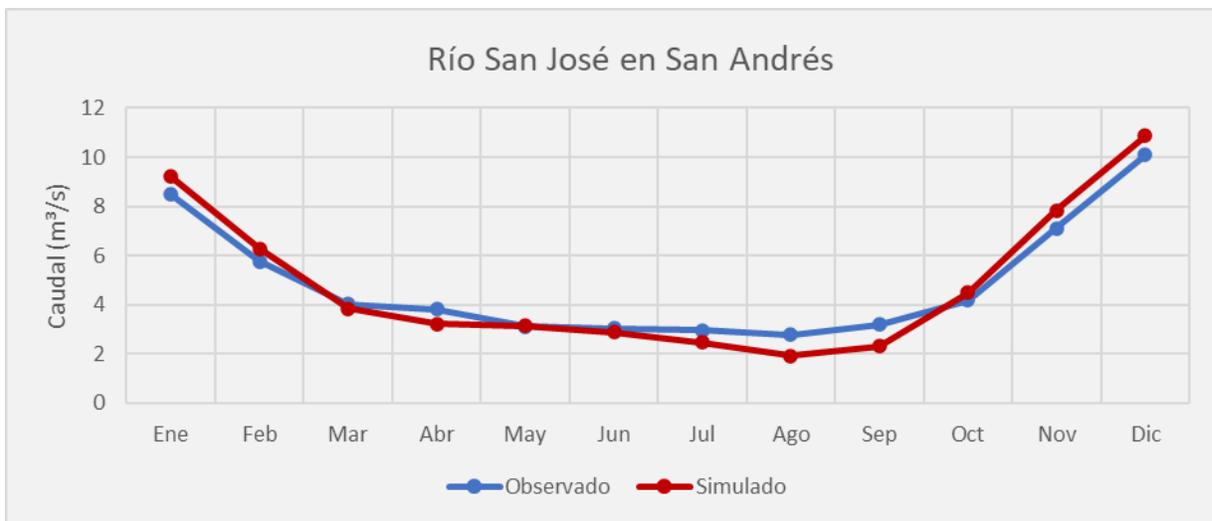
El comportamiento actual y proyectado de los glaciares es clave, en tanto aportan en la regulación hídrica de las cuencas, sobre todo de aquellas que no cuentan con embalses de cabecera, al ser repositorios de agua dulce. A pesar de esto, se dispone de escasa información sobre el estado y funcionamiento de estos cuerpos en la cuenca.

Para poder incorporar los glaciares dentro de la modelación, se realizó un ajuste estadísticamente válido en la estación Río San José en San Andrés (con un KGE obtenido de 0,75); estación fluviométrica que midió caudales en la zona cercana a la central hidroeléctrica San Andrés, en el río San José, afluente al río Tinguiririca. Esta estación midió de forma horaria entre enero de 2008 a abril de 2011, recibiendo caudales de una subcuenca con un 19,6% de área glaciar (aguas abajo el glaciar Universidad). A pesar de los buenos resultados obtenidos, dado que la estación fluviométrica recibe tanto aportes nivales como glaciares, se puede aseverar que el modelo simula satisfactoriamente la dinámica de ambos aportes en conjunto, pero no está claro si se logran simular con éxito los procesos separadamente, es decir: nivales, por un lado; y glaciares, por otro. A

continuación, la **Figura 2-2** se muestran series de caudales simulados y observados para la estación río San José en San Andrés.



(a)



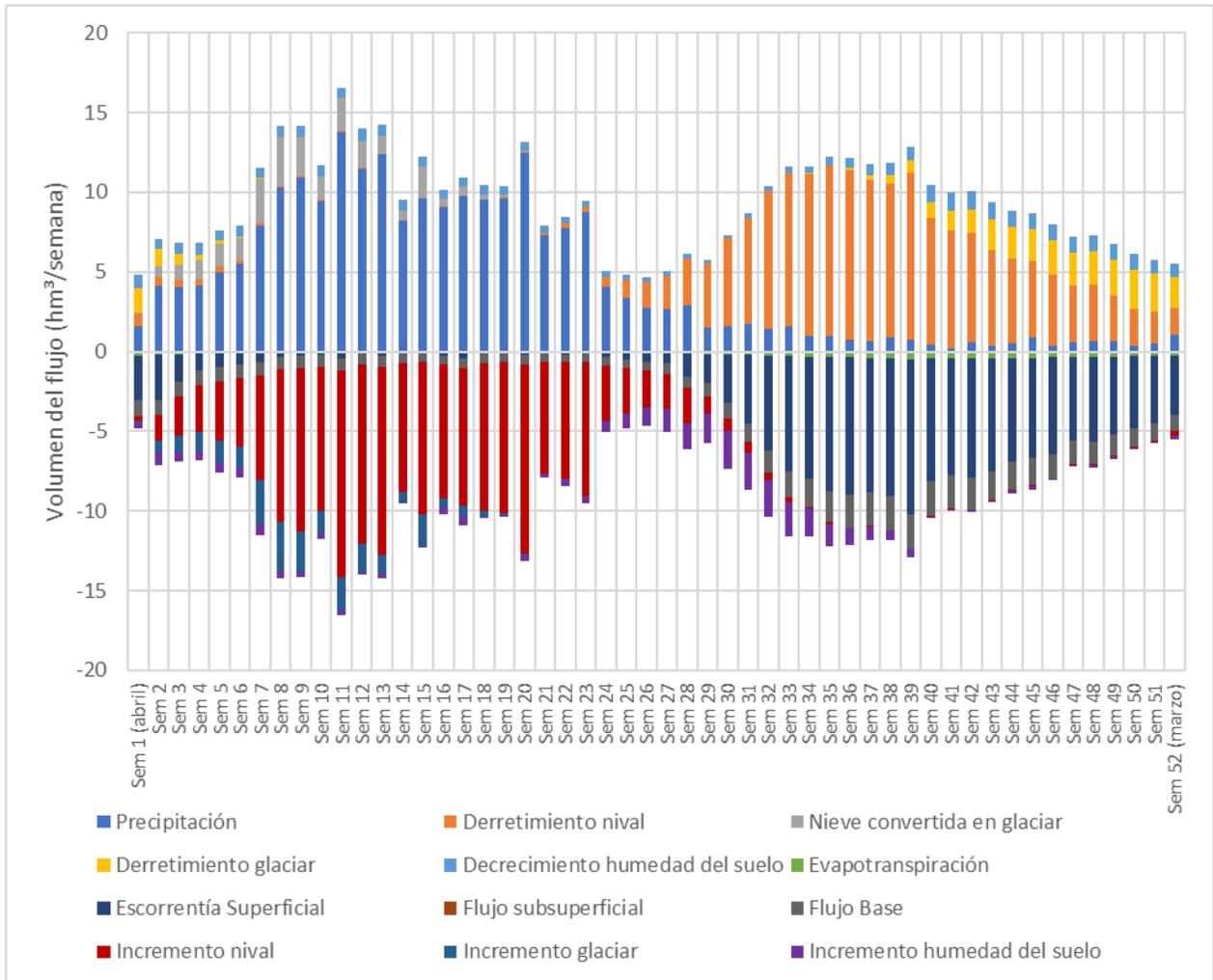
(b)

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2 (a) Gráfico de las series de caudales observados y simulados en estación Río San José en San Andrés. (b) Gráfico de la estacionalidad en promedios mensuales de caudales observados y simulados en estación Río San José en San Andrés

Según el balance hídrico realizado en WEAP para esta unidad hidrológica, el promedio de caudal en temporada de deshielo se compone de la siguiente forma:

- Deshielo glaciar, río San José en San Andrés (AN-05): 0,99 m³/s (Sept-Feb)
- Deshielo nival, río San José en San Andrés (AN-05): 9,65 m³/s (Sept-Feb)
- Total aproximado: 10,64 m³/s (Sept-Feb)



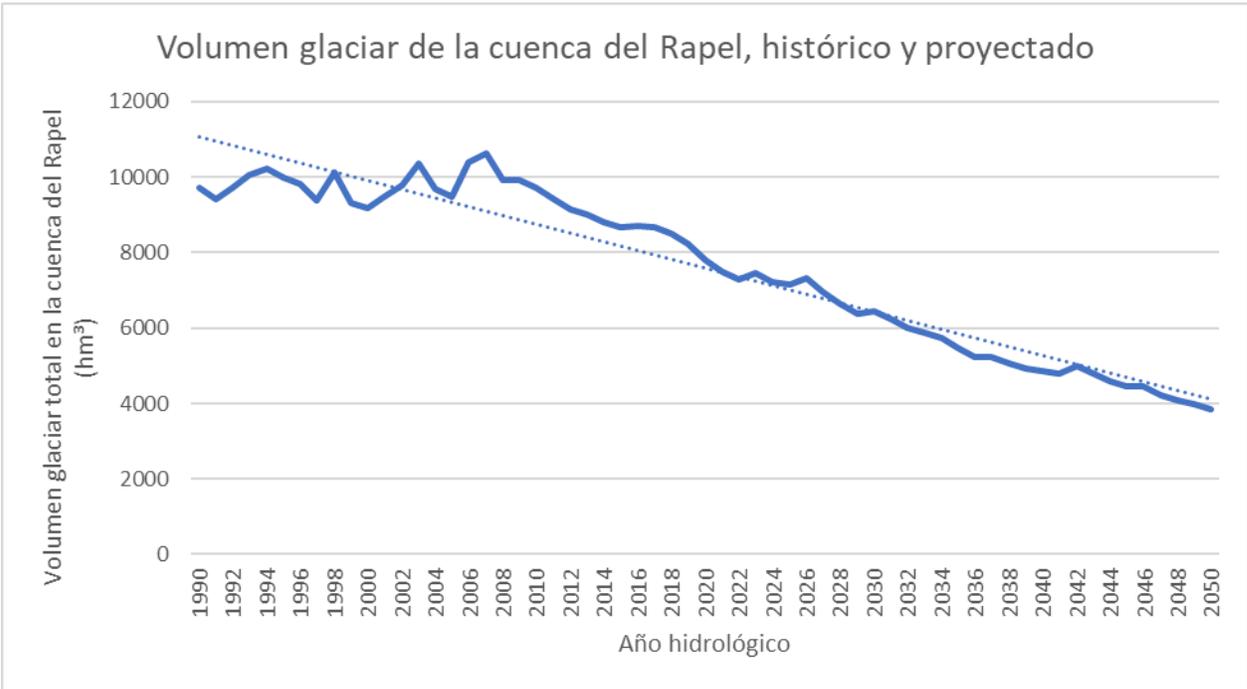
Nota: Amarillo (derretimiento glaciar), Naranja (derretimiento nival)

Figura 2-3 Balance superficial en la unidad hidrológica río San José en San Andrés (AN-05).

En cuanto a volumen glaciar en la cuenca, se trabajó con datos levantados por el modelo WEAP y MODFLOW. Esta información se trabaja en unidades de volumen (hm³) y en el tiempo (año hidrológico).

En la **Figura 2-4** se grafica el comportamiento del volumen total glaciar modelado en toda la cuenca del Rapel, desde el año hidrológico 1990 al 2050. Cabe destacar que,

como se mencionó en un inicio, se dispone de escasa información sobre el estado y funcionamiento de los glaciares en la cuenca, sin existir un monitoreo sistemático y extenso de la situación de estos cuerpos de agua en el tiempo. De esta forma, el gráfico mencionado es obtenido con esta brecha de información presente, sin poder contrastar con la realidad y evaluar si los resultados obtenidos en la modelación tienen relación con lo experimentado por los glaciares en la realidad. En este sentido, se debe tener especial cuidado al formular conclusiones en base a estos resultados, entendiendo que podrían tener cambios radicales en la eventualidad que se tenga información monitoreada en los glaciares y que permitan aterrizar estos resultados a la realidad. De esta forma, se abre una brecha de información hidrométrica en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-4 Volumen glaciar periodo histórico y proyectado

2.1.2 Demanda Histórica y proyectada

La cuenca del Rapel tiene una demanda total consuntiva bruta de **4.671 hm³/año**, incluyendo una demanda por caudal ecológico en la desembocadura del río Rapel. A continuación, la **Tabla 2-11** muestra la síntesis de la demanda consuntiva para la cuenca río Rapel en los diferentes períodos de tiempo estudiados.

Tabla 2-11 Síntesis de la demanda actual (2020), hm³/año

Demanda hm ³ /año	Consumo humano		NMA	Agri.	Ind.	Pec.	HE	Total, C.	Total, NC
	APU	SSR							
Sectores									
Primera Cachapoal	45,10	1,96		1.346					
Segunda Cachapoal	4,73	3,80		446					
Tercera Cachapoal	5,57	1,36		461					
Río Claro	10,30	3,66		198					
Zamorano	0,58	3,96		212					
UG Cachapoal	66,28	14,75	465	2.663	14,99	4,53	667	2.764	1.132
Tinguiririca	9,06	3,49		1.091					
Chimbarongo	2,10	4,07		459					
Las Cadenas	0,13	1,74		127					
UG Tinguiririca	11,30	9,30	282	1.677	0,45	3,38	1.581	1.701	1.863
Alhué	-	1,77		111					
Rapel	0,27	2,34		77					
UG Rapel	0,27	4,11	695	189	0,0	12,15	-	206	695
Total	77,85	28,17	695	4.529	15,44	20,06	2.248	4.671	3.690

NMA (necesidades mínimas ambientales), Agr. (Agricultura), Ind. (industrial), Pec (pecuario), HE (hidroeléctrico), NC (no consuntivo), C (consuntivo)

Fuente: Elaboración propia

La demanda total histórica (1990-2014) y actual (2015-2020) varía debido, entre otros factores, al aumento de la tecnificación de riego que genera una menor demanda hídrica por parte de sectores agrícolas. Sin embargo, la demanda proyectada (2021-2050) se mantiene constante porque no se consideró una mayor tecnificación de riego en la modelación del escenario base (ver **Tabla 2-12**). La diferencia entre estos periodos se debe a la reducción de la precipitación efectiva y, por lo tanto, al aumento de la demanda neta.

Tabla 2-12 Síntesis de la demanda proyectado (2040-2050), hm³/año

Demanda hm ³ /año	CH		NMA	Agri.	Ind.	Pec.	HE	Total, C.	Total, NC
	APU	SSR							
Primera Cachapoal	62,52	3,13		1.313					
Segunda Cachapoal	7,03	7,10		432					
Tercera Cachapoal	6,55	1,87		450					
Río Claro	14,94	5,48		192					
Zamorano	0,80	5,74		201					
UG Cachapoal	91,84	23,32	465	2.588	28,90	6,00	667	2.738	1.132
Tinguiririca	12,84	4,94		1.063					
Chimbarongo	2,76	5,86		441					
Las cadenas	0,18	2,39		132					
UG Tinguiririca	15,78	13,19	282	1.636	0,86	5,94	1.581	1.672	1.863
Alhué	-	3,00		109					
Rapel	0,32	3,46		79					
UG Rapel	0,32	6,46	695	188	-	22,22	-	217	695
Total	107,94	42,96	695	4.412	29,76	34,16	2.248	4.627	3.690

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Balance Hídrico

El **balance hídrico superficial** considera los siguientes parámetros de entrada y salida:

Precipitación (hm³/año): Volumen de agua caída en el periodo analizado dentro del área geográfica estudiada.

Afloramientos (hm³/año): Volumen de agua que se eleva al flujo superficial (río) desde el acuífero.

Otras entradas (hm³/año): Aporte de agua al sistema superficial por retornos de uso de agua con procedencia subterránea.

Evapotranspiración (hm³/año): Pérdida de agua de los cultivos, o masa vegetal, por transpiración y del suelo por evaporación.

Percolación (hm³/año): Volumen de agua infiltrado al sistema de aguas subterráneas (acuíferos), por precipitación natural o riego.

Interferencia río acuífero (hm³/año): Volumen de agua infiltrado al sistema de aguas subterráneas (acuíferos) desde el río.

Escurrecimiento mar (hm³/año): Volumen de agua que desemboca en el mar.

Trasvases otras cuencas (hm³/año): Volumen de agua trasvasado desde la cuenca del Mataquito (Canal Teno Chimbarongo).

Otras Salidas(hm³/año): Consumos netos de agua por uso industrial y potable de origen superficial.

Balance (hm³/año): Diferencia entre salidas y entradas, dicho número debe tender a ser cero para un balance coherente.

Error de balance (%): Porcentaje del error del balance respecto a la precipitación.

Por lo tanto, la **Tabla 2-13** presenta la comparación de las entradas (precipitaciones, afloramientos y otros) y salidas (evapotranspiración, percolación, infiltración al acuífero y otros) dentro del balance hídrico superficial.

Tabla 2-13 Balance hídrico superficial cuenca del río Rapel. Entradas y salidas del sistema. Periodo histórico y actual (hm³/año).

Salidas entradas	1990-2020 (hm ³ /año)	Comparación periodos histórico y actual			
		Histórico 1990-2014 (hm ³ /año)	Actual 2015-2020 (hm ³ /año)	Δ (hm ³ /año)	Variación %
Entradas	15.043,77	15.736,21	12.158,63	-3.577,58	-22,73%
Precipitación	11.362,75	11.932,92	8.987,05	-2.945,87	-24,69%
Afloramientos	3.681,02	3.803,29	3.171,57	-631,72	-16,61%
Otras entradas	811,72	838,27	701,10	-137,17	-16,36%
Salidas	15.467,76	16.148,97	12.629,36	-3.519,61	-21,79%
Evapotranspiración	5.376,49	5.452,69	5.059,01	-393,68	-7,22%
Percolación	2.401,07	2.533,91	1.847,60	-686,31	-27,09%
Infiltración al acuífero	1.455,28	1.471,58	1.387,34	-84,24	-5,72%
Escurrimiento mar	4.824,95	5.258,58	3.018,14	-2.240,44	-42,61%
Trasvases otras cuencas	227,28	220,72	254,60	33,88	15,35%
Otras salidas	1.182,69	1.211,49	1.062,67	-148,82	-12,28%
Variación volumen almacenado (ΔV)	72,94	150,49	-250,19	-	-
Balance (hm³/año)	-30,46	-20,02	-73,94	-	-
Error %	3%	3%	5%	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual (Acoplado -WEAP-Modiflow). Anexo F3.5

Balance subterráneo perdido actual e histórico

El modelo actualizado en Modflow nos permite generar un balance a nivel de SHAC en detalle. La **Tabla 2-14** presenta el desglose del balance subterráneo según las entradas y salidas en hm³/año.

Tabla 2-14 Balance hídrico subterráneo, escenario base (hm³/año). Histórico y actual.

	Rapel		Cachapoal		Tinguiririca		Cuenca	
	1990-2014	2015-2020	1990-2014	2015-2020	1990-2014	2015-2020	1990-2014	2015-2020
Entradas (hm³/año)								
Flujo interacuífero	2,18	1,99	2.778,50	2.642,98	281,36	234,96	3.062,04	2.879,92
Recarga desde ríos	110,90	72,95	368,06	242,51	467,80	305,23	946,77	620,69
Recarga superficial	0,29	1,59	1.959,11	1.737,92	1.065,29	859,82	3.024,69	2.599,33
Total	113,37	76,53	5.105,67	4.623,40	1.814,46	1.400,00	7.033,50	6.099,94
Salidas (hm³/año)								
Flujo interacuífero	2,75	1,92	2.722,64	2.596,39	318,43	270,67	3.043,82	2.868,97
Afloramiento ríos	108,94	66,58	2.289,40	2.024,65	1.332,71	1.042,53	3.731,05	3.133,77
Pozos de bombeo	18,71	18,70	199,64	191,34	175,72	174,66	394,07	384,69
Descarga hacia el mar u otros	0,29	0,38	18,77	44,53	7,69	12,01	26,75	56,92
Total	130,69	87,57	5.230,45	4.856,91	1.834,55	1.499,86	7.195,69	6.444,35
Variación del Almacenamiento (hm³/año)	-17,32	-11,04	-124,79	-233,51	-20,10	-99,86	-162,20	-344,41
Error de Balance (%)	0,00%	0,00%	-12,92%	-14,56%	0,00%	0,00%	-5,32%	-6,00%

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modflow). Anexo H, sección 3.2

De la misma forma que en el punto anterior se genera un análisis del balance proyectado. Para el caso de aguas superficiales, los datos proyectados se presentan en la Tabla 2-15.

Tabla 2-15 Balance hídrico de aguas superficiales, período proyectado

Salidas entradas	2021-2050 (hm ³ /año)	2031-2040 (hm ³ /año)	Comparación periodos			
			1990-2020/ 2021-2050		1990-2020/ 2031-2040	
			Δ (hm ³ /año)	Variación %	Δ (hm ³ /año)	Variación %
Entradas	13.098,37	12.530,41	-1.945,40	-12,93%	-2.513,36	-16,71%
Precipitación	9.939,50	9.468,61	-1.423,25	-12,53%	-1.894,13	-16,67%
Afloramientos	3.158,87	3.061,80	-522,15	-14,18%	-619,22	-16,82%
Otras entradas	754,70	748,06	-57,02	-7,02%	-63,66	-7,84%
Salidas	13.331,25	12.744,99	-2.136,50	-13,81%	-2.722,77	-17,60%
Evapotranspiración	5.035,44	5.036,09	-341,05	-6,34%	-340,40	-6,33%
Percolación	1.970,27	1.893,83	-430,80	-17,94%	-507,24	-21,13%
Infiltración al acuífero	1.436,85	1.431,33	-18,43	-1,27%	-23,95	-1,65%
Escurrecimiento mar	3.452,19	2.941,01	-1.372,76	-28,45%	-1.883,94	-39,05%
Trasvases otras cuencas	354,89	371,84	127,61	56,15%	144,56	63,60%
Otras salidas	1.081,61	1.070,89	-101,08	-8,55%	-111,80	-9,45%
					-	
Variación volumen almacenado (ΔV)	-77,31	-125,38	-150,26	-205,99%	-198,32	-271,89%
Balance	7,48	12,39	-	-	-	-
Error %	5%	5%	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual (Acoplado -WEAP-Modiflow). Anexo F3.5

Balance subterráneo período proyectado

En este caso, para las aguas subterráneas la reducción de la precipitación por los efectos del cambio climático, genera una reducción principalmente en la recarga y, por lo tanto, en la oferta sustentable del acuífero.

La **Tabla 2-16** presenta el balance subterráneo en el periodo proyectado de 2021-2050.

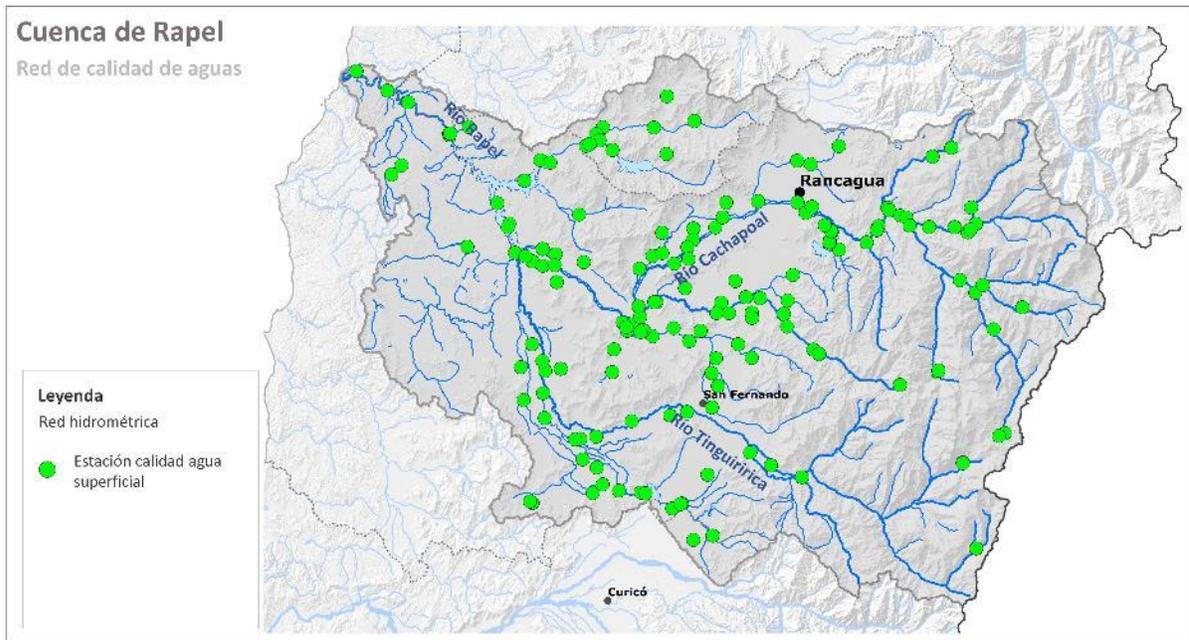
Tabla 2-16 Balance hídrico subterráneo, escenario base (hm³/año). Proyectado

	2021-2050			
	Rapel	Cachapoal	Tinguiririca	Cuenca Total
Entradas (hm³/año)				
Flujo interacuífero	1,88	2.621,53	241,40	2.864,80
Recarga desde ríos	78,86	283,29	357,29	719,44
Recarga superficial	2,25	1.776,60	891,22	2.670,07
Total	82,98	4.681,42	1.489,90	6.254,31
Salidas (hm³/año)				
Flujo interacuífero	1,85	2.583,17	277,35	2.862,37
Afloramiento ríos	63,79	2.011,40	1.022,29	3.097,48
Pozos de bombeo	18,70	185,88	174,50	379,07
Descarga hacia el mar u otros	0,51	57,51	15,26	73,28
Total	84,84	4.837,96	1.489,39	6.412,20
Variación del Almacenamiento (hm³/año)	1,86	156,54	0,51	-157,89
Error de Balance (%)	0,00%	-14,13%	0,00%	-5,82%

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modflow). Anexo H, sección 3.2

2.2 Calidad del agua y ecosistemas

Con el fin de dar cuenta sobre la calidad del agua y de los ecosistemas en la cuenca río Rapel, se revisaron reportes y estaciones de monitoreo dispuestas por la DGA, que reporta 122 estaciones. Adicionalmente, a través de un convenio con la DOH se pudo reportar, entre los años 2017-2018, un total de 256 puntos de aguas subterráneas correspondientes a instalaciones que miden calidad de agua en APR. La distribución de las estaciones de calidad de aguas se presenta en la **Figura 2-5**.



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2020)

Figura 2-5 Red Calidad de Aguas en la Cuenca de Rapel

2.2.1 Estado actual

Si bien la oferta de agua es importante para el abastecimiento de la población y actividades productivas que necesitan agua, ésta también debe ser de calidad. A continuación, se describe el estado actual de la calidad de las aguas de la cuenca río Rapel, divididas según aguas superficiales y aguas subterráneas.

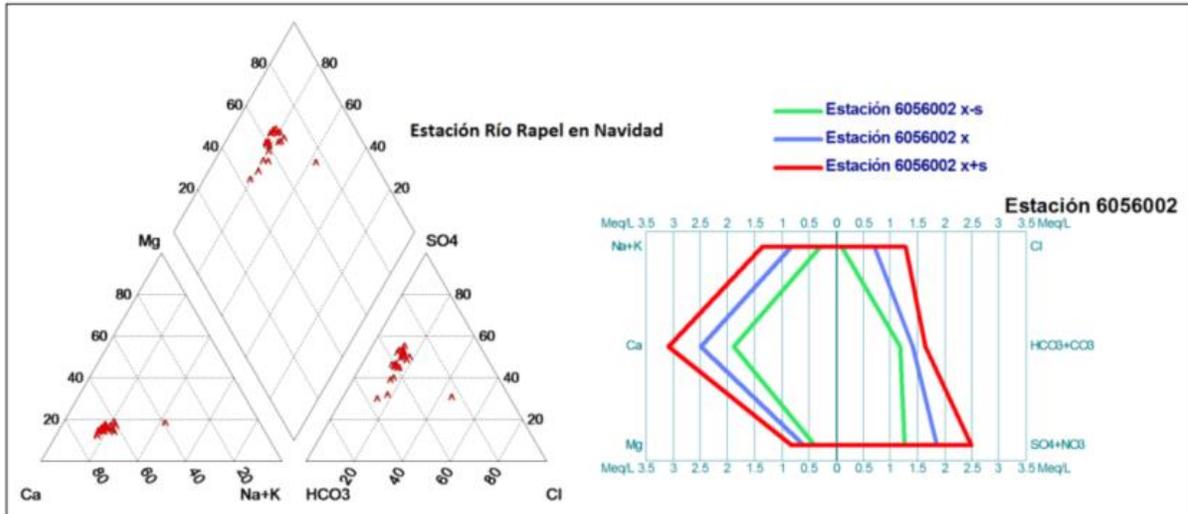
Aguas Superficiales

La principal fuente de datos son las estaciones de monitoreo de calidad de aguas dispuestas por DGA. Dentro de la cuenca se localizan en total 84 estaciones, de las cuales 47 se encuentran vigentes y 37 se encuentran suspendidas.

En relación con el análisis de calidad de aguas superficiales, de acuerdo con el “Mapa Hidroquímico de Chile” (DGA, 2019), la cuenca del río Rapel presenta calidad “no buena” dentro del índice de calidad de agua ODS. A continuación, la **Figura 2-6** muestran los principales parámetros medidos en la cuenca río Rapel (niveles de pH, conductividad de SSR y diagramas de Piper y Stiff, respectivamente), con la ubicación de las estaciones de monitoreo.

En general existe una tendencia hacia el aumento en los valores de pH, principalmente en las estaciones de río Cachapoal en puente Coinco, río Claro en Tunca, estero Zamorano

en Pencahue, la zona del estero Alhué y Tinguiririca. A partir de la **Figura 2-6**, se tiene que, en base a los parámetros, hay una tendencia al aumento de la concentración de calcio y magnesio en el sector de Cachapoal medio, específicamente en las estaciones de río Cachapoal en puente Coinco, río Claro en Tunca y estero Zamorano en Pencahue. Los datos de sodio en la zona del Cachapoal medio muestran una tendencia al aumento, al igual que el parámetro de conductividad eléctrica. Por otro lado, no hay cambios sustanciales a nivel de cuenca en los niveles de arsénico.



Fuente: Extraída de (DGA, 2017)

Figura 2-6 Diagramas de Piper y Stiff Estación hidrométrica de calidad de aguas superficiales Río Rapel en Navidad

El embalse Rapel ha experimentado varios procesos de eutrofización a lo largo de los años. El "Diagnóstico y plan de gestión para la calidad de agua del embalse Rapel" (CSIRO, 2011), señala que, de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis del estado trófico, es posible afirmar que todas las cubetas del embalse presentan una condición eutrófica e hipertrófica, siendo la cubeta Alhué la que presenta los mayores niveles de productividad. En general, en dicho estudio tanto los coliformes fecales como totales estuvieron dentro de los requisitos establecidos por la Norma Chilena Oficial N°1333/78, para agua destinada a Uso Recreativo con Contacto Directo (1.000 NMP/100ml).

Desde un punto de vista microbiológico se puede indicar que la contaminación fecal en el embalse Rapel principalmente es de origen animal, al igual que sus tributarios. Sin embargo, fue posible observar contaminación puntual de origen presumiblemente humano en la cubeta Alhué, asociado a la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas servida de la población María Eliana (sector de El Durazno) pero con valores menores a 1000 NMP/100 ml.

La relación N/P utilizada para determinar el nutriente limitante del crecimiento de las algas y plantas acuáticas, estableció que el fósforo es el elemento limitante para el desarrollo de las floraciones algales, por lo tanto, sería necesario implementar medidas

para controlar las cargas que ingresan al embalse, especialmente a través de los ríos Cachapoal y Tinguiririca.

Al contrario de lo observado en las estaciones del embalse, en los tributarios regularmente se midieron niveles por sobre lo señalado por la Norma Chilena (N°1333/78), especialmente en las estaciones ubicadas en el estero las Palmas y el río Tinguiririca. Esta contaminación tendría origen difuso y estaría asociada a las actividades productivas que se desarrollan en estas cuencas.

Finalmente, los resultados del índice de contaminación fecal (Razón CF/EF), indican que la contaminación fecal en los tributarios del embalse Rapel, es mayoritariamente de origen animal.

Por otro lado, el estado actual de la calidad de aguas no sólo es posible de describir según los parámetros medidos, sino también identificando las posibles fuentes de contaminación que afectan la calidad de los recursos hídricos de la cuenca. Una de las principales fuentes de contaminación de aguas superficiales las integra la industria minera, al emitir desechos tóxicos al río y afectar fuertemente las fuentes de agua sólida (glaciares) en la parte alta de las cuencas.

Para el caso de la industria de CODELCO, presenta un área intervenida de glaciares rocosos de 0,04 km², con una pérdida de agua equivalente a 0,4 hm³ desde el inicio de su intervención, previo al año 1997 (Programa Chile Sustentable, 2013). Por otro lado, el año 2017, la Corte Suprema condenó a CODELCO a reparar el daño ambiental ocasionado a los esteros Alhué y Carén, por la descarga de riles que contenían altas concentraciones de sólidos suspendidos, molibdeno, sulfatos, cobre y otros residuos peligrosos (Codex Verde, 2017).

Además, los cursos fluviales pueden sufrir contaminación de otro tipo de actividades productivas, como las hidroeléctricas. El año 2017, se descubrió que el río Cachapoal contaba con una mancha de hidrocarburos en sus aguas, debido a un accidente en la central Pangal de Pacific Hydro (Riquelme, 2017).

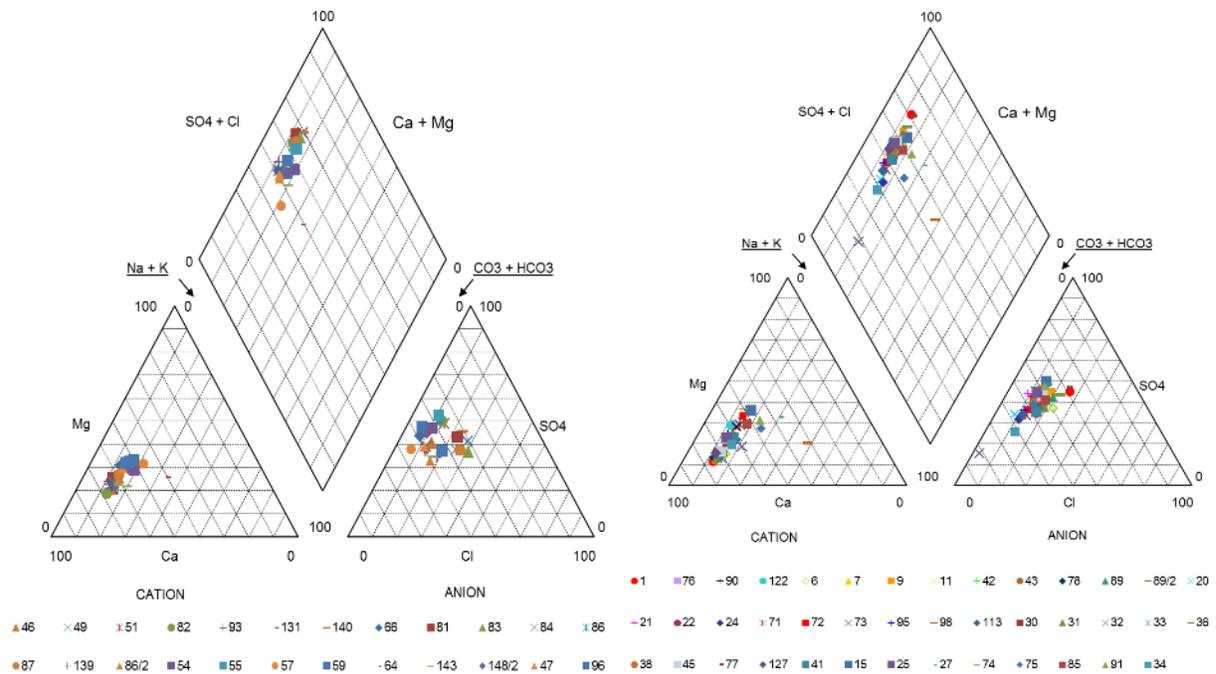
Aguas Subterráneas

En relación con la calidad de las aguas subterráneas, en los informes de la DGA (2015; 2018c) se realizaron mediciones de laboratorio de calidad de aguas de 43 SSR insertas en la cuenca. De acuerdo con el diagnóstico realizado en el año 2015, las aguas del acuífero Alhué fueron clasificadas como bicarbonatadas cálcicas y las aguas del acuífero Cachapoal y Tinguiririca mostraron mayor variación en su composición, clasificándose en su mayoría como aguas sulfatadas-cálcicas. Puntualmente, para el parámetro Nitrato, se detectó la superación del límite establecido para agua potable en un único pozo (54 mg/L de NO₃ en el pozo A.P.R. Los Romos La Pedrina, en Acuífero Cachapoal, sector acuífero Peumo-Pichidegua-Las Cabras).

Adicionalmente, se puede destacar un conjunto de 11 pozos que presentaron concentraciones más elevadas de nitrato, pero sin superar la norma NCh 409/2005: 5

pozos entre 40 y 50 mg/L de NO_3^- y 6 pozos entre 30 y 40 mg/L de NO_3^- . Los pozos se ubican en los siguientes sectores acuíferos: Peumo-Pichidegua-Las Cabras (4 pozos), Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco (1 pozo), San Fernando (1 pozo), Tinguiririca Superior (3 pozos), Tinguiririca Inferior (1 pozo) y Chimbarongo (1 pozo). Estas magnitudes, si bien no sobrepasaron la norma de agua potable (NCh 409/2005), pueden ser consideradas mayores a lo esperable en aguas subterráneas, lo cual podría explicarse por efectos de sustancias orgánicas de origen antrópico (fertilizantes, desechos, etc.) que se infiltran y llegan al acuífero. En este sentido, se debe señalar que la mayoría de los pozos que presentaron concentraciones más elevadas de nitrato se ubican en zonas catalogadas por SERNAGEOMIN con alta o extrema vulnerabilidad a la contaminación.

En cuanto a los análisis de microelementos, en 10 pozos se detectó al menos un parámetro con concentración mayor al límite de la norma de agua potable: 7 pozos superaron Manganese, 1 pozo superó Hierro y 1 pozo superó Manganese y Hierro a la vez, 1 pozo superó el parámetro Arsénico y 1 pozo superó el parámetro Zinc. Los pozos se ubican en los siguientes sectores acuíferos: Doñihue-Coinco-Coltauco (1 pozo), Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua (4 pozos), Laguna San Vicente (1 pozo) y Tinguiririca Superior (3 pozos) y Tinguiririca Inferior (1). A continuación, la **Figura 2-7** grafica esta información a través de un diagrama de Piper.



Fuente: Elaborada a partir de datos (DGA, 2018c)

Figura 2-7 Representación mediante diagrama de Piper de las características químicas de las aguas subterráneas muestreadas en el acuífero Tinguiririca y Cachapoal

Un aspecto positivo a destacar es que ningún pozo registró concentraciones de microelementos superiores a la norma de agua potable vigente para los parámetros plata, aluminio, boro, cadmio, cobalto, cromo, cobre, mercurio, molibdeno, níquel, plomo y selenio.

Sin embargo, considerando el estándar de agua potable, existe un pozo (Comité de APR Los Romos La Pedrina) que supera la norma de 50 mg/L de Nitratos. Una parte importante de este componente proviene de fuentes de materia orgánica como depósitos de estiércol, alcantarillados, fosas sépticas; y de productos de origen químico que utilizan en la agricultura (fertilizantes), de manera que es un componente que puede facilitar la identificación de posibles fuentes de contaminación por actividades agrícolas.

En el sistema acuífero profundo se observaron bajas concentraciones de N-Nitratos. Lo anterior, por cuanto la unidad hidrogeológica superficial de baja permeabilidad hidráulica tiende a aislar al sistema profundo de las actividades en superficie. La concentración de nitrato en las aguas subterráneas es controlada principalmente por las características hidrogeológicas.

En términos promedio, el acuífero de Alhué presentó la menor concentración de Nitrato (3 mg/L de NO_3), seguido por el acuífero Maipo-Codegua (13 mg/L de NO_3) y luego el acuífero Cachapoal (21 mg/L de NO_3). Si bien estos promedios no sobrepasan ninguna norma de referencia de calidad de agua, las cifras dan cuenta de efectos antrópicos sobre la calidad del recurso, más aún, considerando que la mayoría de las muestras que presentan cifras elevadas de nitrato corresponden a pozos ubicados en sitios con vulnerabilidad alta.

Otra importante fuente de contaminación de aguas subterráneas está asociada a la actividad minera. Diversos estudios (Rodríguez y Candela, 1998; Kirschbaum y Murray, 2011; Oviedo-Anchundia et al., 2017) han demostrado la presencia de concentraciones elevadas de sulfatos, níquel, cromo, manganeso, hierro, entre otros; como consecuencia de la recarga inducida de aguas que lixivian los residuos mineros, afectando directamente la calidad del agua de los acuíferos. Esto, a su vez, puede generar graves consecuencias en la población que depende de la potabilidad de aguas subterráneas.

2.3 Brechas y desafíos en torno a la Seguridad Hídrica

La identificación de brechas hídricas se realizó a partir del trabajo conjunto con actores de la cuenca, a través de reuniones y actividades en el marco del proceso de participación ciudadana, mediante el cual se pudo levantar, entre otros temas, las principales problemáticas y brechas de la cuenca río Rapel. Esta información es presentada según la estructura planteada para la formulación del plan, siendo aquellas las que se indican en la

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8 Ejes de Planificación

2.3.1 SH para las personas

La **seguridad hídrica para las personas** aborda la capacidad de la cuenca, instituciones públicas, organizaciones privadas y la disponibilidad de infraestructura sanitaria, para proveer agua en cantidad, calidad y en la oportunidad requerida por el consumo humano, de manera tal que se cumpla con los estándares definidos por Naciones Unidas. A continuación, la **Tabla 2-17** presenta las principales brechas asociadas a la seguridad hídrica para las personas, la situación actual y deseada, así como también el ID correspondiente (BPER = Brecha personas).

Tabla 2-17 Brechas para la seguridad hídrica de las personas según situación deseada al año 2050

Componente	Situación Deseada	Situación Actual	Brecha	ID
Acceso al agua para consumo humano (ODS 6.1.1)	100 % de los habitantes de la cuenca cuentan con acceso seguro al agua para consumo humano	96,0% Cuenta con acceso al agua sin riesgo	4,0% Población en riesgo de abastecimiento o abastecida mediante camiones aljibe	BPER 1
		100 % (urbana) satisfacción de la demanda de agua urbana al 2020	42% aumento del del volumen proyectado respecto del volumen actual satisfecho.	BPER 2
		68% volumen facturado (urbano)	32% pérdidas (red urbana)	BPER 3
Acceso al saneamiento (ODS 6.2.1)	100 % de los SSR cuenca cuentan con acceso a saneamiento domiciliario	Aprox. 40% de los SSR No cuentan con acceso a saneamiento domiciliario	Mas de 120 SSR (60%) ¹ No cuentan con acceso a saneamiento domiciliario	BPER 4
Administración de SSR	100 % SSR cumpliendo la Ley de Saneamiento rural	Porcentaje no identificado SSR cumpliendo la Ley de Saneamiento rural	Brecha de información: Actualmente no se conoce el <u>detalle</u> de la situación actual de los SSR para afrontar la nueva Ley de Saneamiento Rural	BPER 5
	100% SSR coordinados	0% SSR coordinados	100% SSR no coordinados	BPER 6

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.1 BPER 1. Población en riesgo de abastecimiento de agua potable

La Tabla 2-18 muestra que en la cuenca Rapel un 96,0% del total de las viviendas tiene acceso a red pública de agua potable, mientras que un 2,5% accede a través de pozos o norias; un 0,3% lo hace desde ríos, esteros u otras fuentes superficiales; un 0,6% tiene origen de agua ignorado; y un 0,5% lo hace a través de camiones aljibe.

¹ Actualmente no se conoce la cifra exacta de SSR sin saneamiento o con problemas de operación.

Tabla 2-18. Número de Viviendas fuera de la red pública de agua potable

Provincia	Pozo o noria	Camión aljibe	Río, vertiente, estero, canal, lago, etc.	Origen de agua ignorado	Total
San Antonio	58	7	3	1	69
Melipilla	222	97	36	14	368
Cachapoal	4.048	749	413	1.220	6.431
Cardenal Caro	698	248	76	28	1.049
Colchagua	1.727	406	285	340	2.758
Curicó	451	33	42	72	597
Total	7.202	1.540	854	1.675	11.272
% respecto del total de viviendas	2,5%	0,5%	0,3%	0,6%	4,0%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INE (Censo 2017).

Con el propósito de estimar la brecha hídrica potencial, se ponderó el número de viviendas por el promedio de habitantes por vivienda comunal obtenido a partir del Censo 2017. Se consideró una dotación de 150 litros por persona al día (sin incorporar pérdidas de conducción), y se obtuvo la demanda en riesgo. Este monto corresponde a la demanda insatisfecha o en riesgo (**Tabla 2-19**), la que equivale a **1,86 hm³/año**.

Tabla 2-19. Demanda hídrica insatisfecha o en riesgo

Comuna	N° de viviendas	Promedio de personas por vivienda	Personas (cantidad)	Dotación (litros por persona al día)	Brecha hídrica (m ³ /año)
San Antonio	69	3,0	206	150	11.273
Melipilla	368	3,2	1.166	150	63.827
Cachapoal	6.431	3,1	19.714	150	1.079.354
Cardenal Caro	1.049	2,7	2.851	150	156.084
Colchagua	2.758	3,0	8.287	150	453.716
Curicó	597	3,0	1.784	150	97.649
Total	11.272		34.007		1.861.902

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INE (Censo 2017).

Si se considera sólo la demanda conocida de camiones aljibe (1.540 viviendas), la brecha insatisfecha es de 252.840 m³/año (0,25 hm³/año).

2.3.1.2 BPER 2. Déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional

La brecha hídrica en torno al consumo humano en áreas urbanas se calculó siguiendo la tendencia proyectada de la población urbana en la cuenca. En mayor medida, dada la gran cantidad de habitantes con que cuenta la ciudad de Rancagua, es de especial relevancia la diferencia que existe entre la producción de agua potable urbana actual y la proyectada en el sector de Cachapoal Primera Sección y la UG Cachapoal, alcanzando una brecha de 25,56 hm³/año; cifra muy superior a la brecha de la UG Rapel y UG Tinguiririca, lo que podría indicar dinámicas más asociadas a asentamientos rurales en estos sectores. En total, los resultados indican que se tiene una brecha relacionada con el déficit hídrico para consumo humano en áreas urbanas de **30,09 hm³/año**.

Por su parte, la producción para consumo de agua potable en entornos rurales también plantea desafíos en torno a una brecha de hasta **14,79 hm³/año**, dada la tendencia actual de crecimiento de la población y considerando el servicio de camiones aljibes. La mayor brecha se da en la demanda de la UG Cachapoal, sector Segunda Cachapoal.

Por último, el informe "Sustentabilidad de asentamientos rurales en Chile" de la Dirección General de Aguas (2021), identifica una serie de brechas asociadas a la ineficiencia en el sistema de distribución y almacenamiento del agua. Adicionalmente, existen 68 sistemas de SSR con déficit al año 2040, 11 localizados en SHAC cerrados, por lo tanto, se necesita la gestión con otros usuarios.

2.3.1.3 BPER 3. Infraestructura de abastecimiento y saneamiento con pérdidas y estado regular

La pérdida por ineficiencia se define como la suma del agua perdida desde la captación hasta la facturación. Por lo tanto, se trata del conjunto de pérdidas relacionadas con el estado de la infraestructura, más la pérdida comercial. Generalmente, entre las principales causas del agua no facturada se pueden encontrar: consumo no facturado, por ejemplo, usos propios, sociales, bomberos, purga de redes, lavado de estanques; pérdidas aparentes, correspondiente al volumen de agua que es consumido por los usuarios, pero que no es contabilizado por las empresas por errores en los medidores, conexiones clandestinas, fraudes, entre otras; y pérdidas físicas, correspondiente al volumen de agua que es producido y que no llega al consumidor final por fallas en los sistemas de distribución, principalmente conducciones y redes (SISS, 2019).

En los últimos años, los sistemas urbanos registran una **pérdida promedio de un 32%**, y presenta una **tendencia levemente decreciente**. Los datos presentados por la DOH mediante ley de transparencia indican que para el **sector rural** la eficiencia se encuentra alrededor del **20%**.

2.3.1.4 BPER 4. Baja cobertura de Saneamiento rural

En atención al ODS 6.2.1, se espera que el 100% de la población de la cuenca tenga acceso al saneamiento de las aguas servidas que general, lo que equivale a que la totalidad de los Servicios Sanitarios Rurales cuenten con sistema de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas servidas, o conexión a un sistema urbano de tratamiento.

En la actualidad se desconoce el número de SSR en la cuenca que carecen de sistemas de tratamiento de aguas servidas. No obstante, **se estima que la cobertura no supera el 40% del total**, es decir, de los 200 SSR de la cuenca, por lo menos 120 no cuentan con sistemas de tratamiento, cifra que podría ser sensiblemente superior.

2.3.1.5 BPER 5. Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural

Los talleres PAC y minutas de reunión reflejaron una brecha de capacidades de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) en aspectos técnicos y administrativos. En complemento, la SISS a través de la empresa sanitaria genera capacitaciones a los directores de SSR; sin embargo, con cambio de directores este conocimiento se pierde. La presente pandemia, adicionalmente impidió la realización normal de estas capacitaciones. En este contexto, se observa una brecha entre la situación actual de los SSR en aspectos de administración, gestión, técnicos y los desafíos de cambio climático y Ley de SSR.

Al respecto, autores como Guerrero y Grafkou (2021) ya han realizado catastros respecto a las iniciativas realizadas a nivel nacional con miras a fortalecer los SSR (anteriormente nombrados como APR), y han concluido que aún no se ha puesto suficiente atención en cómo fortalecer la administración, gestión y coordinación; sino que ha sido más relevante la búsqueda de nuevas fuentes de agua y la atención a la infraestructura. De esta forma, se considera que esta brecha se relacionaría con un cuerpo de acciones e iniciativas que deberían estar vinculadas al rol que juegan los diferentes actores para dar solución a las problemáticas hídricas en las cuencas, con miras a fortalecer la administración y la gobernanza de los entes e instituciones claves en la gestión del agua.

2.3.1.6 BPER 6. SSR no conectados ni coordinados para los desafíos del cambio climático y aumento de la demanda no regulada

En complemento al punto anterior, actualmente los SSR no presentan una coordinación entre ellos, lo cual impide un desarrollo en conjunto tanto en infraestructura como en visualización en administraciones públicas para la solitud de mejoras.

Este aspecto ha sido desarrollado ampliamente en diferentes informes de Escenarios Hídricos 2030, de Fundación Chile. El último de ellos (2021), profundiza respecto a la importancia de la institucionalidad hídrica colaborativa y coordinada, puesto que las formas de gobernanza y gestión no han variado a lo largo del tiempo, siendo resistentes al cambio y requiriendo grandes flujos de recursos para solventar la crisis actual del agua.

El informe agrega que, según datos analizados, el 17% de las causas de los problemas son atribuibles al Cambio Climático (déficit de aguas lluvias y aumento de la temperatura), siendo el 83% restante causado por acciones e intervenciones del ser humano, mayoritariamente atribuibles a la deficiente gestión hídrica, disminuyendo de esta forma la seguridad hídrica para las personas.

2.3.2 SH para los ecosistemas

La **seguridad hídrica para los ecosistemas** aborda la capacidad de la cuenca de mantener y proteger los sistemas acuáticos y terrestres. A continuación, la Tabla 2-20 muestra las brechas asociadas, la situación actual y deseada, así como también el ID correspondiente (BECO = Brechas Ecosistemas).

Tabla 2-20 Brechas para la seguridad hídrica de los ecosistemas

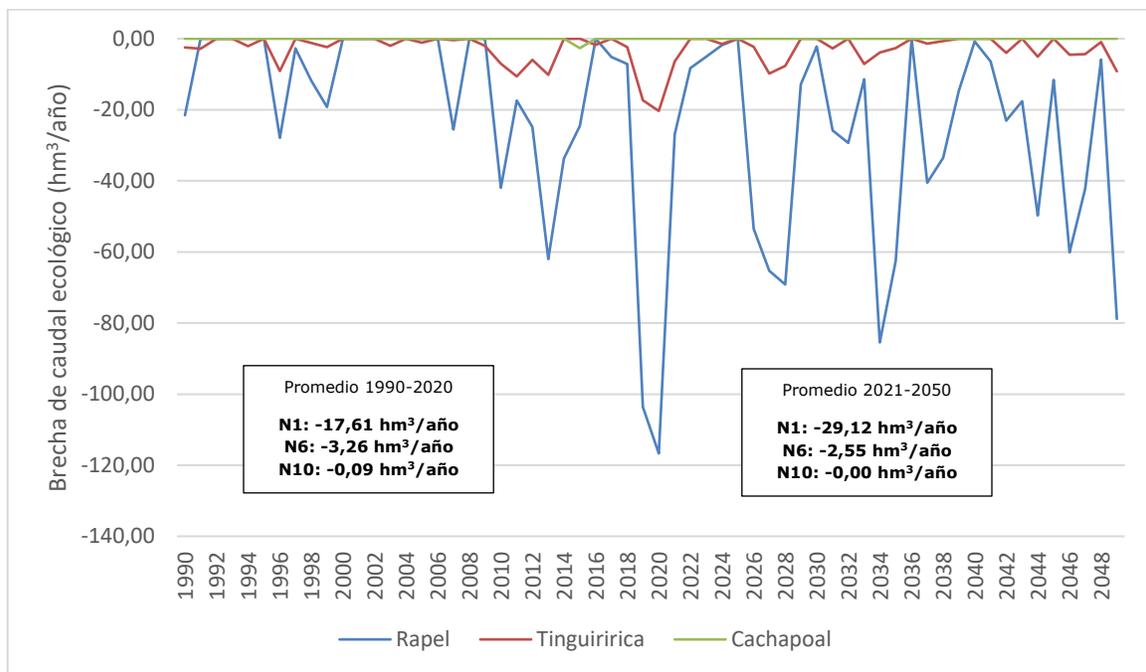
Componente	Situación Deseada al 2050	Situación Actual	Brecha	ID
Caudal ecológico	100 % Cumplimiento caudal ecológico	100 % Cumplimiento caudal ecológico	0 % No se presenta brecha numérica en el modelo WEAP	BECO 1
Calidad de aguas	100 % Cumplimiento norma secundaria de calidad de aguas	-% Sin información	Brecha de información Inexistencia de norma secundaria de calidad de aguas	BECO 2
Ecosistemas acuáticos	0% de pérdida Superficie permanente bajo ecosistema acuático	31.410 ha Superficie permanente bajo ecosistema acuático	-13.507 ha. pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos al 2045	BECO 3
Ecosistemas terrestres	0 ha/año Tendencia de pérdida vegetal	1.067 ha/año Tendencia pérdida vegetal	1.067 ha. /año Tendencia pérdida vegetal	BECO 4
	0 % Superficie en situación de erosión muy severa	12 % Superficie en situación de erosión muy severa	12 % Pérdida por erosión de suelo	BECO 5
Gobernanza	100 % coordinación multipropósito del embalse y la gestión para su conservación del buen estado de las aguas.	10 % coordinación multipropósito. Existencia de un acuerdo temporal entre el uso energético y el turístico	90 % coordinación multipropósito. Falta la incorporación de otros usos al acuerdo como agrícola y saneamiento rural	BECO 6

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.1 BECO 1. Deterioro de ecosistemas acuáticos por déficit estacional de caudal ecológico

En base a la información de los caudales simulados desde 1990 a 2050 que se tiene como resultado del modelo hidrológico acoplado WEAP-Modflow, es posible calcular la brecha de caudal ecológico en los nodos de control principales, esto es, los números 1, 6 y 10; asociados a las unidades de gestión de Rapel, Tinguiririca y Cachapoal, respectivamente.

Se calcularon las brechas asociadas a cada mes según cada año, de manera que fue posible identificar aquellos meses por años con menor caudal que permitieran reflejar las problemáticas hídricas. La **Figura 2-9** muestra la sumatoria de brechas de caudal ecológico acumulada para cada año. Los resultados dan cuenta de brechas más pronunciadas durante la última década del período actual, especialmente el año 2020; y luego para los años 2028, 2034 y 2049 en el período proyectado. Estas brechas de caudal ecológico pueden tener efectos nocivos en la preservación de la naturaleza y el medio ambiente, afectando la continuidad de los procesos, la funcionalidad de los ecosistemas y la mantención de las condiciones en beneficio de las personas y actividades productivas (Escenarios Hídricos, 2019).



Fuente: Elaboración propia a partir de modelación

Figura 2-9 Brecha de caudal ecológico anual, nodos 1-6-10 (hm³/año)

2.3.2.2 BECO 2. Deterioro de la calidad de las aguas

En las entrevistas con los actores claves se determinaron brechas en relación con el deterioro de la calidad de las aguas, estas corresponden a falta de monitoreo de calidad de aguas, obligación de saneamiento de aguas residuales de Servicios Sanitarios Rurales y falta de fiscalización de las deposiciones de aguas residuales de viviendas rurales. Esto afecta tanto a la calidad de las aguas como también a otros usuarios, principalmente agricultores, aguas debajo de la cuenca.

Por otro lado, las agrupaciones en torno al embalse Rapel, sobre todo relacionadas al turismo, denuncian el fenómeno de eutrofización, que consiste en la proliferación de fitoplancton y, especialmente, de cianobacterias a la superficie del agua, provocando efectos negativos e incomodidades, se menciona como causante el efecto de la agroindustria. En total, se estimó una brecha total de 10 estaciones de calidad de aguas superficiales 7 estaciones de calidad de aguas subterráneas.

2.3.2.3 BECO 3. Pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos por cambio de uso del suelo

En el último catastro de los humedales en Chile correspondiente al Inventario Nacional de Humedales (2020) se identificaron 4.591 humedales con una superficie 31.410 ha., incluido tanto humedales naturales como artificiales (embalses o tranques de riego actúan como hábitat de aves migratorias o peces).

Según la plataforma Freshwater Ecosystems Explorer, la cuenca tiene pérdidas, desde 1984 al 2021, de -43% con respecto a la superficie permanente y un -54% en relación con la superficie estacional a nivel de cuenca en cauces y espejos de agua. La zona más afectada corresponde a la UG de Tinguiririca; en comparación con las UG de Rapel en la zona de Alhué y la UG Cachapoal, en las cuales desde 1984 han construido diferentes tranques de relave, infraestructura que la plataforma considera como "espejos de agua".

Según el cruce del Inventario Nacional de Humedales (2020) y el Catastro de Uso de Suelo y Vegetación (2013) se infiere que las principales presiones antrópicas sobre los humedales son las áreas urbanas e industriales, siendo mayores en las UG de Rapel y Cachapoal. Por otro lado, otra de las presiones, los terrenos agrícolas, tienen una mayor superficie de traslape en la UG de Tinguiririca y Las Cadenas. Las brechas asociadas a la pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos alcanzan un total de 13.507 hectáreas de pérdidas proyectadas.

2.3.2.4 BECO 4. Pérdida de vegetación natural

Los ecosistemas terrestres son afectados por actividades productivas, entre otras, por el reemplazo o la explotación de recursos naturales, lo cual exacerba efectos como la sequía y aumenta el impacto de los incendios forestales. Esto afecta la calidad y cantidad de los afloramientos (nacientes) de mantos acuíferos y la dinámica del ciclo hidrológico (Pliscoff, 2020).

De acuerdo con el registro histórico de incendios forestales en Chile, entre el 2002 y el 2021 se han registrado 2.174 incendios en la cuenca río Rapel, que se disgregan en 2.273 en UG de Cachapoal (37.241 ha), 869 UG Tinguiririca y Las Cadenas (53.034 ha) y 787 en UG Rapel (42.334 ha). Las zonas más afectadas corresponden a matorrales y praderas dentro de la cuenca.

Entre el año 2001 al 2013, los principales cambios corresponden a aumento de zonas forestadas, especialmente de especies introducidas que tienen la capacidad de asentarse en suelos erosionados y/o no favorables para el bosque nativo. Por otro lado, la tendencia entre el 2013 al 2019 muestra un alza en la deforestación desde el año 2017, y una disminución en la tendencia evolutiva del bosque drástico, teniendo como punto de inflexión los incendios generados en el año 2017.

En base a estos antecedentes, se estima una brecha de pérdida de vegetación natural que alcanza las 374,5 hectáreas, correspondientes a la superficie neta perdida de bosque nativo en la cuenca entre el año 2000 y 2020.

2.3.2.5 BECO 5. Erosión del Suelo

En base a CIREN (2020) se identificaron áreas en relación con el grado de erosión presente en el territorio. Se revisaron dos ítems, la erosión actual y la erosión potencial, la primera es aquella que permite determinar el estado presente de los suelos en nuestro país, la segunda se refiere a la capacidad del suelo para erosionarse considerando variables como suelo, topografía, clima.

Destaca la cantidad de áreas propensas a procesos de erosión potencial severa (174.296 ha) y muy severa (104.137 ha), en todas las unidades de gestión, representando un 20,22% del territorio degradado.

2.3.2.6 BECO 6. El embalse no dispone de una gobernanza propia y efectiva que permita resguardar su estado futuro

El embalse Rapel, si bien no corresponde a un cuerpo de agua natural de la cuenca, ya ha modificado el ecosistema del río Rapel a tal nivel que su desaparición o mal funcionamiento resultaría en un conflicto ambiental de relevancia, por sus efectos a nivel ecosistémico, social y económico. El embalse es el punto de encuentro de las aguas de los

ríos Cachapoal, Tinguiririca y el estero Alhué, y recibe a su vez el aporte de la contaminación difusa proveniente de la actividad agrícola (Nitrógeno y Fósforo), y de la minería, a través del estero Alhué. A través de los años se han registrado distintos procesos de contaminación e hipertrofia de sus aguas, lo cual ha resultado en distintos estudios y programas de recuperación.

Respecto del volumen almacenado en el Rapel, existen acuerdos operacionales entre CODEPRA (Corporación de Desarrollo Productivo del Rapel) y ENEL, administrador de la Central Hidroeléctrica Rapel, para mantener el espejo de agua del embalse dentro de un rango de cotas en fechas relevantes. Esta cota oscila entre los 103,5 y 104,0 msnm². Por lo tanto, es importante formalizar los acuerdos entre públicos y privados (DGA, CODEPRA, ENEL, Juntas de Vigilancia, ONGs) respecto al uso multipropósito del embalse y la gestión para la conservación del buen estado de las aguas.

Si bien existen distintos documentos asociados al cuerpo de agua, no existe una norma de manejo suscrita por los usuarios asociados, en la que se vincule a todos los actores a la mantención del embalse. En este sentido, el embalse no dispone de una gobernanza propia y efectiva que permita resguardar su estado futuro, lo que se considera una brecha desde el punto de vista de la seguridad hídrica de los ecosistemas.

2.3.3 SH para actividades productivas

Se aborda la capacidad de la cuenca de disponer en cantidad y en calidad, agua para los sectores productivos en sintonía con la sustentabilidad de la cuenca. El problema central identificado tiene que ver con los sectores productivos, con especial relevancia en el agrícola. En base a diferentes factores, se consideró que el problema central es la **Menor seguridad de riego**. Las brechas definidas son presentadas en la **Tabla 2-21**, identificando situación deseada, actual y el ID correspondiente (BPRO = Brecha Act. Productivas):

² Revisado en <https://destinolagorapel.cl/prensa/nuevo-acuerdo-con-enel-sobre-nivel-de-agua/#:~:text=%5BFuente%3A%20codepra.cl%5D,Febrero%20del%20a%C3%B1o%20venidero%202021>.

Tabla 2-21 Brechas para la seguridad hídrica de las actividades productivas

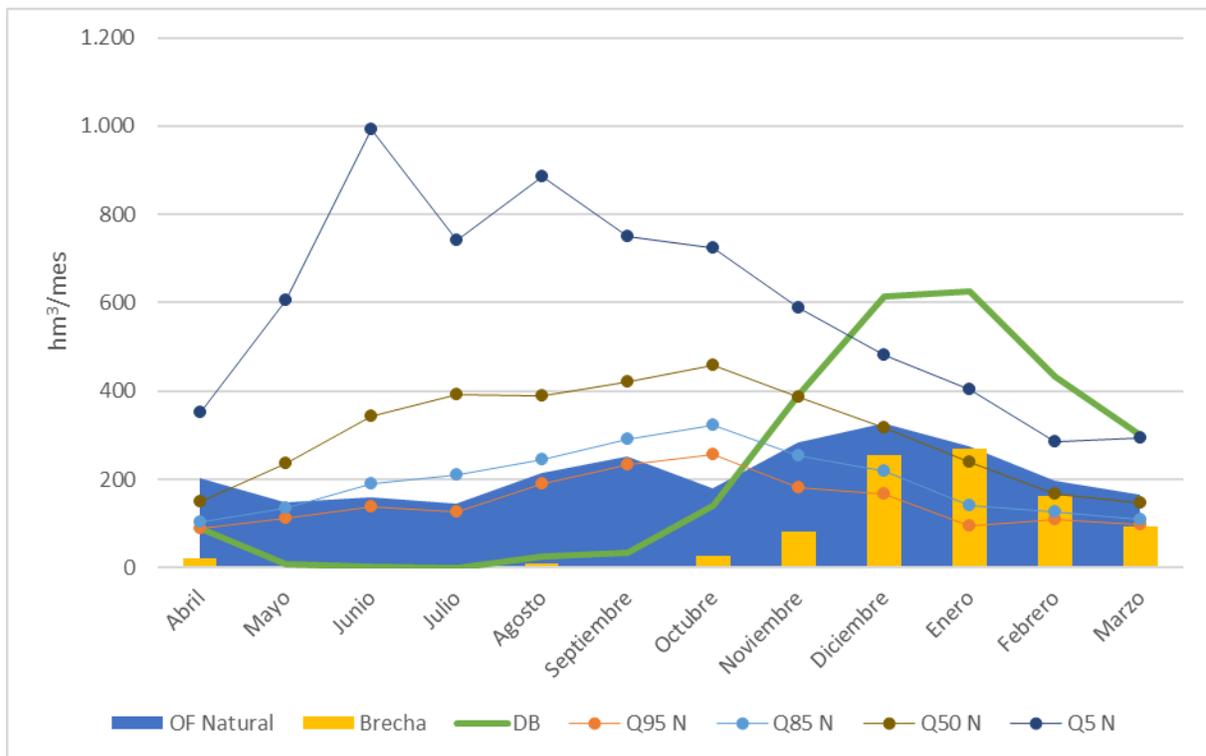
Componente	Situación Deseada al 2050	Situación Actual	Brecha	ID
Balance Hídrico	Sustentabilidad entre oferta y demanda existente en la cuenca	65% de la demanda agrícola satisfecha respecto a la oferta actual	35% Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura	BPRO1
	Reducción del consumo de aguas continentales	Variabilidad de oferta superficial	23,3% Disminución de la oferta superficial para minería al 2050	BPRO2
Aspectos socioeconómicos	Seguridad de agua en el sector seco interior	Aumento de demandas productivas. Pérdida del balance hídrico	Baja seguridad hídrica en el seco interior	BPRO3
Método de riego	90% eficiencia Reducción de las pérdidas por método de riego	51 % de eficiencia	49% de pérdidas por ineficiencia	BPRO4
Organizaciones de usuarios y derechos de agua	100 % Registro de comuneros actualizado y con los derechos regularizados	Existencia de derechos de aprovechamiento de aguas con necesidad de regularización y saneamiento	Precariedad legal de los títulos asociados a los derechos de aprovechamiento de agua	BPRO5
	100% OUAs formalizadas	8 JV no formalizadas	Organizaciones de Usuarios de Agua no regularizadas y con déficit de capacidades técnicas	BPRO6
Gobernanza e institucionalidad	Distribución total de agua superficial y subterránea bajo la gestión y administración de organizaciones de usuario de aguas	0% coordinación definitiva por las secciones de Cachapoal y Tinguiririca. Existen acuerdos previos y temporales.	Falta de coordinación producto del seccionamiento de cauces principales	BPRO7
		0% SHAC con organización en la gestión	Falta de coordinación para la gestión de las aguas subterráneas	BPRO8

Fuente: Elaboración propia

1.1.1.1 BPRO 1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos.

La brecha apunta a identificar los meses en los que existe un mayor porcentaje de demanda agrícola bruta que no es satisfecha con los métodos actuales de riego para usos agrícolas. De esta manera, se tienen los meses en los que puede existir mayor brecha agrícola, para que se puedan gestionar soluciones con especial énfasis en este período de tiempo.

Dada la demanda hídrica de actividades agrícolas y la eficiencia de la dotación de riego, se tiene una brecha estacional en los meses de octubre a marzo. En la cuenca del río Rapel la brecha total es de 1.492 hm³/año para el periodo actual (2015-2020) y 1.385 hm³/año en el periodo histórico (2000-2014) ascendiendo a 1.525 hm³/año en 2041-2050. La brecha se distribuye principalmente en las subcuencas de Cachapoal y Tinguiririca, siendo la UG Cachapoal con mayor proporción de la brecha total, con 37% (Figura 2-10).



Fuente: Elaboración propia en base a modelación hidrológica

Figura 2-10 Distribución anual de la brecha agrícola Sector Cachapoal (UG) hm³/mes. PE Oferta Naturalizada

Adicionalmente, si bien no tienen una brecha asociada a un déficit estacional, sí es necesario dar cuenta de otras actividades productivas como la industria pecuaria o hidroeléctrica, que tienen relevancia en la cuenca río Rapel y que, por lo tanto, es necesario entender la brecha hídrica proyectada al 2050.

En relación con ello, existe una brecha hídrica para actividades productivas asociadas a la industria pecuaria, de un total de 14,08 hm³/año proyectado al 2050; siendo la UG Rapel la que tiene un mayor valor. En relación con la brecha hídrica de la demanda industrial, ésta alcanza los 14,6 hm³/año en toda la cuenca río Rapel. Para la demanda hidroeléctrica, por su parte, no se consideraron brechas hídricas, debido a que se estimó que la demanda es permanente en el tiempo, sin perjuicio de los resultados de la evaluación futura de generación potencial.

1.1.1.2 BPRO 2. Disminución de la oferta de agua superficial para el uso minero

La operación de CODELCO El Teniente es el primer usuario de derechos aprovechamiento de agua de tipo consuntivo en la primera sección del Cachapoal. Los dos aportes superficiales que dispone El Teniente son: Coya y Pangal. En la toma **Pangal** la variación en promedio anual es de **-24%**. Sin embargo, para los meses estivales (enero, febrero y marzo) la variación es de -49% (-63,47 hm³/mes). En la toma **Coya** la variación, en promedio anual es igual a **-22%**, y la variación en el promedio de los meses estivales (enero, febrero y marzo) es igual a -46% (-5,19 hm³/mes).

Por lo tanto, considerando una demanda de 49,85 hm³/año, la brecha hídrica al 2050 equivale a **11,62 hm³/año** (23,3%), los que deben ser resueltos por la minera.

1.1.1.3 BPRO 3. Baja seguridad hídrica en el secano interior

El secano interior se caracteriza por presentar fuentes de aguas superficiales que escurren en forma intermitente (con excepción del río Rapel), y que particularmente se han visto afectadas por la reducción de precipitaciones experimentada en la última década. En complemento, los acuíferos poseen una capacidad de almacenamiento reducida, lo que refuerza la problemática de la reducción de la recarga natural mencionada anteriormente.

Por último, en el secano se ha producido un desarrollo de cultivos industriales de olivos y viñas (sector sur), y de cultivos de exportación como cerezos y nogales, (área bajo riego del Estero Alhué, abastecida en parte por los excedentes aportados por el tranque Carén, de Codelco División El Teniente). En este contexto, el segmento de pequeños productores agropecuarios ha sido severamente afectado por la disminución en la disponibilidad de agua.

1.1.1.4 BPRO 4. Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego

En la cuenca existen 251.293 ha. bajo riego, de las cuales, según CNR (2021), el 71% utilizan un método de riego tradicional (Tendido o surco), mientras que sólo el 28% tiene un método de riego tecnificado (Aspersor, pivote, goteo, micro aspersor) (Censo, 2007).

La bonificación de proyectos de riego a través de programas de la CNR e INDAP permite a la pequeña, mediana y gran agricultura tener acceso a la tecnificación. Sin embargo, según datos del Censo Agropecuario, la agricultura se centra en pequeños y medianos agricultores (50%, <20 ha.), los cuales tienen problemas de acceso a estos proyectos por aspectos administrativos o técnicos.

En base al ajuste elaborado de la eficiencia de riego de los datos anteriores, se estima que la cuenca tiene una **eficiencia del 51%**.

1.1.1.5 BPRO 5. Precariedad legal de los títulos asociados a los derechos de aprovechamiento de agua

La obtención de certeza jurídica a través de los procesos de regularización y saneamiento de derechos es algo que permite a las organizaciones gestionar el recurso hídrico de manera correcta. Actualmente, en el territorio se han desarrollado programas de saneamiento de derechos, sobre todo en el río Tinguiririca, sin embargo, es insuficiente y aún existe una brecha sobre este tipo de tramitaciones en el río Cachapoal y sus afluentes.

Respecto al catastro de usuarios del agua, la actualización del registro de comuneros de todas las organizaciones de aguas es vital para saber quiénes efectivamente poseen el derecho de extraer el recurso. La falta de esta desactualización en su totalidad o de forma parcial, provoca una desorganización importante en la Comunidad, como así también provoca la inexistencia de certeza jurídica sobre quien posee los derechos de aprovechamiento de aguas en una respectiva cuenca. Actualmente, todas las organizaciones plantean esta información como una brecha existente a la que hay que tomar consideración puesto que, dado el mercado del agua existente, la información de quien tiene los derechos de aprovechamiento es muy dinámica.

1.1.1.6 BPRO 6. Organizaciones de Usuarios de Agua no regularizadas y con déficit de capacidades técnicas

Los procesos de constitución de organizaciones de usuarios de aguas son relevantes para que estas finalmente puedan ver palpablemente todos los beneficios que tienen estas asociaciones. Sin embargo, en la cuenca del río Rapel, existen numerosas juntas de vigilancia que aún no cierran su proceso de formalización, como las del río Tinguiririca Segunda Sección y las del río Claro de Rengo Segunda Sección, Las Toscas, Güirivilo, Las Cadenas, El Buitre, Guacarhue, Río Rapel, además de las comunidades de agua de los canales Zanjón de san Vicente, Cucharón, entre otras.

Por otro lado, es necesario impartir las capacitaciones que correspondan en materia de cambio climático para que cada uno de los líderes de las organizaciones pueda levantar la temática ante los usuarios de su organización. Si no se desarrolla esta formación, las comunidades quedarán mermadas en su capacidad de instruir a sus comuneros a mejores

prácticas que vayan orientadas a la sustentabilidad del recurso a un corto, mediano y largo plazo. Por lo anterior es que la brecha se puede definir como un déficit en la capacidad técnica y operacional de las OUAs para manejar temáticas sobre cambio climático y de adaptación en general.

1.1.1.7 BPRO 7. Falta de coordinación producto del seccionamiento de cauces principales

En el contexto de la disminución general en la disponibilidad de recursos hídricos, el proyecto FIC "Gestión Integrada de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rapel (Etapas 1 y 2)" definió que, entre las estrategias a seguir para contrarrestar esta problemática, las OUAs y otros usuarios de agua deberán fortalecerse para tener una mejor distribución de las aguas mediante el desarrollo en tecnificación, tecnología de medición y distribución.

Dados estos desafíos en términos de gestión de cuencas, se estima que existe una brecha en la coordinación y la gestión de las aguas superficiales, producto de, por ejemplo, el seccionamiento de la administración de los cauces principales, lo que ocurre actualmente en el río Cachapoal, el cual se encuentra dividido en tres secciones para la distribución de las aguas, debiendo generar un acuerdo debido a conflictos en la repartición.

1.1.1.8 BPRO 8. Falta de coordinación para la gestión de las aguas subterráneas

La cuenca del Rapel tiene 20 sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC), de los cuales 5 se encuentran en estado de Prohibición, 13 en estado de Restricción y 2 se encuentran abiertos, sin limitación. Pese a la existencia de SHAC cerrados, aún no se ha generado el proceso para formalizar las Comunidades de Aguas Subterráneas, debido en parte a la **falta de conocimiento y acceso a la información** de los usuarios de aguas subterráneas, tanto del estado del acuífero como de las oportunidades que reviste la formalización de la organización.

2.3.4 SH ante eventos extremos

Dada la condición precaria en el secano interior de la cuenca en términos de disminución de las precipitaciones y retroceso en las fuentes naturales, principalmente aguas subterráneas, la agricultura familiar campesina de los sectores de Marchigüe, La Estrella, Rapel y Alhué se han visto fuertemente afectados. La **Tabla 2-22** muestra la situación deseada y actual de la brecha asociada a eventos extremos, además del ID correspondiente (BEXT = Brecha Eventos Extremos).

Tabla 2-22 Brechas para la seguridad hídrica ante eventos extremos

Componente	Situación Deseada	Situación Actual	Brecha	ID
Sequía	Las comunas afectadas cuentan con acciones de prevención y respuesta ante la sequía	Las comunas afectadas cuentan con herramientas de respuesta limitadas	Falta de acciones preventivas ante la escasez	BEXT 1

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.1 BEXT1. Falta de acciones adaptativas ante la escasez hídrica

Si bien la sequía aparece como uno de los eventos extremos, es importante entender también que la situación puede explicarse a partir de la escasez hídrica, que refiere a la capacidad -o falta de ella- para satisfacer la demanda humana y ecológica del agua (Baeza, 2018).

En relación con ello, la Dirección General de Aguas dicta decretos de escasez hídrica con el objeto de proveer determinadas herramientas a usuarios del agua y a la población en general para reducir al mínimo los daños derivados de esta situación. En el año 2020, los **22 decretos dictados** para la cuenca del río Rapel llegaron a alcanzar una amplitud territorial de 35 comunas. Entre ellas, destaca la comuna de Alhué como la principal zona afectada, pero también es posible identificar el secano interior, en el eje que va de San Pedro (comprendida parcialmente dentro de la cuenca), hasta Marchigüe, pasando por La Estrella, Litueche, Pumanque, Paredones, entre otras.

Cuando una comuna enfrenta, como Alhué, 10 decretos de escasez consecutivos o seguidos, ya no se trata de un evento extremo, sino que de una nueva condición hidrológica. En consecuencia, se deben abordar acciones desde el punto de vista de recuperación de los servicios ecosistémicos de la cuenca, o su adaptación a esta nueva condición. Y en este sentido, las acciones reparatorias a la producción actual no son conducentes a la adaptación, sino que prolongan un ciclo que ya no se va a repetir en el tiempo.

2.3.5 Gestión Institucional

Las brechas de gestión institucional consideran los principales problemas que la Dirección General de Aguas aborda en temas de forma directa o indirecta. Así como aspectos institucionales de otros organismos públicos privados en relación a la información sobre los recursos hídricos, fiscalización y relación con las Organizaciones de Usuarios de Agua.

Las brechas identificadas se presentan en la **Tabla 2-23**.

Tabla 2-23 Brechas para la Gestión Institucional

Componente	Situación Deseada	Situación Actual	Brecha	ID
Generación de Información Primaria	Se cuenta con una red hidrométrica que describe adecuadamente los procesos hidrológicos e hidrogeológicos de la cuenca	No se cuenta con información completa a nivel de cuenca, y algunos equipos requieren renovación.	Existen deficiencias de cobertura en los tipos de estaciones, su distribución espacial, y en el estado de los equipos disponibles.	BGES 1
Generación de Información Secundaria	Se cuenta con un entendimiento adecuado de los principales procesos hidrológicos de la cuenca, lo que permite una gestión territorial de los derechos de aprovechamiento y sus usos	No se cuenta con información o análisis sobre distintos procesos, lo que dificulta la comprensión y/o modelación de procesos relevantes.	Existen vacíos de información o de comprensión de ciertos procesos, lo que requiere de estudios adicionales para permitir una mejor gestión.	BGES 2
Información para la gestión	Se cuenta con un registro actualizado de los derechos de aprovechamiento de agua que permite su correlación con los usos efectivos en el territorio, facilitando la fiscalización	No se cuenta con un registro actualizado, ni a nivel público (Catastro Público de Aguas), ni a nivel privado (Rol de regantes)	Existen vacíos de información respecto de los derechos de aprovechamiento de agua que dificultan los procesos de gestión, y sobre todo dificultan una labor de fiscalización efectiva	BGES 3
Capacidades de análisis	Se cuenta con información y recursos a nivel regional para analizar los datos	No se cuenta con capacidades de análisis a nivel regional	Se requiere de profesionales destinados al análisis de información	BGES 4

Componente	Situación Deseada	Situación Actual	Brecha	ID
	que se producen localmente		regional, los que cuentan además con los recursos adecuados	
Administración de las Organizaciones de Usuarios de Agua	Se cuenta con un sistema de administración estandarizado y común, que facilita la colaboración entre la DGA y las OUA	Los procedimientos administrativos son engorrosos para las OUA, lo que dificulta el registro de las mismas. La administración se realiza en forma analógica. No existen acreditaciones de profesionales.	Faltan procedimientos administrativos actualizados, expedidos, implementados en plataformas informáticas que faciliten la administración de las OUA y la actualización de información que fluye hacia la DGA, así como la profesionalización de la gestión.	BGES 5

Fuente: Elaboración propia

2.3.5.1 BGES 1. Deficiencias de la red hidrométrica y calidad de aguas

A través de reuniones con el equipo regional de hidrología de la DGA e información levantada, se identificó una brecha asociada a la deficiencia en la red hidrométrica y de calidad de aguas, por lo que se plantea la necesidad de desarrollo de estaciones fluviométricas y meteorológicas, tanto en cantidad como en tecnología, además de la ampliación de la red.

2.3.5.2 BGES 2. Desconocimiento de la cuenca y sus procesos para una mejor modelación

En el desarrollo y resultados del modelo hidrológico del presente plan se han detectado brechas que podrían ser mejoradas en futuros estudios. Por un lado, se detectó una falencia en la información de organización de usuarios de aguas superficiales, identificando sectores sin una Junta de vigilancia establecida. En la práctica, esta problemática genera una brecha en la modelación respecto a extracciones ilegales por usuarios del área de estudio.

En torno a la información relativa al riego en la cuenca río Rapel, es necesario corroborar la información de superficie agrícola sometida a riego que se ha considerado en el presente Plan, una vez que se cuente con información final del estudio de la CNR (2021), actualmente en ejecución. Asimismo, es importante actualizar y abarcar en mayor detalle los métodos de riego y su eficiencia, con el fin de identificar los caudales que infiltran en el acuífero y se evaporan desde los canales de riego, y que efectivamente son consumidos en los cultivos.

En relación con las actividades productivas, no fue posible simular correctamente los volúmenes embalsados del embalse Rapel, debido a que está condicionado por demandas hidroeléctricas que carecen de temporalidad. Asimismo, existe una falta de información de microcentrales eléctricas de pasada respecto al modo de operación y características de caudal que turbinan por la central. Relativo a la actividad minera de la cuenca, aún hay brechas en el acceso a información sobre su localización y demanda hídrica.

Finalmente, sobre los recursos hídricos de la cuenca, los glaciares representan una fuente de incertidumbre en la modelación hidrológica en la cuenca alta del río Rapel, lo que genera una representación incompleta de la dinámica glaciar a lo largo de toda la cuenca, puesto que no se cuenta con información suficiente para comparar los resultados. Sobre los acuíferos, la mayoría del área de modelación tiene una profundidad asignada a través de métodos indirectos, apoyados por datos de pozos que llegan a roca, lo cual no es lo óptimo. Para remediar este problema se propone agregar una campaña de geofísica para el área de la cuenca del río Rapel que permita disminuir el nivel de incertidumbre que mantiene el nivel del basamento y luego poder actualizar el modelo subterráneo y acoplado.

2.3.5.3 BGES 3. Falta de información sistematizada de los DAA

La actualización del registro de comuneros de todas las organizaciones de aguas que existen en la cuenca del río Rapel es vital para saber quiénes efectivamente poseen el derecho de extraer el recurso. La falta de esta información en su totalidad o de forma parcial (puntos de extracción demanda final, etc.), provoca una desorganización importante en la Comunidad e incerteza jurídica sobre quienes poseen los derechos de aprovechamiento de aguas en una cuenca.

2.3.5.4 BGES 4. Falta de capacidades específicas para la realización de análisis de base de datos

En ese sentido, la brecha apunta a la falta que aún existe en capacidades específicas que permitan desarrollar adecuadamente y llevar adelante los nuevos desafíos para la DGA, ya que se incorporan cambios como mayor nivel de información (Monitoreo de extracciones efectivas, red hidrométrica), además de la implementación del presente plan.

2.3.5.5 BGES 5. Falta de modernización en la administración de las OUA

Si bien el Código de Aguas mandata a la Dirección General de Aguas para la supervisión de la administración de las Organizaciones de Usuarios de Agua, no se ha innovado en aspectos de simplificación o modernización en la administración de estas organizaciones, resultando en brechas de actualización y, sobre todo, una cierta distancia existente entre las propias organizaciones y la DGA.

Se identifica la tardanza en los procesos de constitución de las organizaciones, a nivel de comunidades de agua y juntas de vigilancia, al mismo tiempo que los procedimientos administrativos de actualización de asambleas ordinarias, extraordinarias, rol de regantes y otros se realizan de manera analógica, sin que se cuente con estándares comunes ni plataformas informáticas para tal efecto. En forma complementaria, se carece de esfuerzos continuos o coordinados entre instituciones (particularmente con la Comisión Nacional de Riego), que estén destinados a formar profesionales, y deseablemente contar con un registro de profesionales acreditados para la administración de estas organizaciones, en las que se identifica la falta de profesionalización como una brecha transversal en todo el territorio nacional.

2.3.6 Gobernanza

La gobernanza se refiere a las capacidades actuales de los actores de la cuenca para conducir un proceso de cambio, el cual debe responder a los problemas identificados. En este sentido, se requiere liderazgo, mecanismos de toma de decisiones y de resolución de conflictos, redes internas y externas y, sobre todo, capacidad de propuesta. Si bien estos aspectos pueden estar definidos en forma tácita, en general se requieren estructura y reglas que regulen los flujos de información y de coordinación. La brecha identificada se presenta en la **Tabla 2-24**.

Tabla 2-24 Brechas para la Gobernanza

Componente	Situación Deseada	Situación Actual	Brecha	ID
Coordinación para la gestión de los recursos hídricos	Una correcta coordinación entre los distintos actores que versan sobre el consumo humano en la cuenca.	Existen distintos actores que tienen injerencia en decisiones sobre el consumo humano	Escasez de coordinación entre actores públicos y privados para toma de decisiones sobre situación actual de consumo humano en la cuenca	BGOB1
Planificación Estratégica	La cuenca dispone de una visión común que concita apoyo transversal para implementar una transición hídrica justa de largo plazo	No existe una visión conjunta ni alineamiento que le de sustento	No existe una visión conjunta ni alineamiento que le de sustento	BGOB2

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.1 BGOB1. Falta de coordinación entre actores públicos y privados

Se identificó como brecha de coordinación la falta de instancias e instrumentos que permitan el trabajo conjunto de actores públicos y privados de la cuenca, aspecto que ha sido diagnosticado a distintas escalas y por distintos estudios a nivel nacional.

Actualmente, existe una instancia de coordinación transversal denominada Consejo Asesor, generada a partir del proyecto FIC "Gestión Integrada de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rapel (Etapas 1 y 2)". El Consejo Asesor funcionó durante la ejecución del proyecto FIC, y se sostuvo un par de reuniones con sus integrantes al inicio del presente Plan Estratégico. Sin embargo, ante la ausencia de una estructura orgánica y una secretaría técnica que marque los tiempos, dejó de sesionar en 2021.

2.3.6.2 BGOB2. No existe una visión conjunta ni alineamiento que le de sustento

La gobernanza es un elemento vital para el buen entendimiento de una cuenca, y más aún para que esta misma tenga una correcta gestión desde el punto de vista del desarrollo del recurso hídrico. Es muy importante entender la gobernanza como un elemento unificador para la correcta gestión antes los eventos que suceden actualmente en cada una de las cuencas del país.

Se requiere disponer de una diferenciación entre los objetivos estratégicos y los responsables de su obtención; y los objetivos de corto y mediano plazo, con los respectivos responsables de la implementación de cada iniciativa. La brecha identificada corresponde a la ausencia de una visión común para la cuenca, y de los mecanismos requeridos para construirla y, sobre todo, recorrer el camino de su implementación. Este aspecto va más allá de las brechas de coordinación identificadas en el punto anterior, y apunta a abordar los problemas estructurales, que van más allá de la coyuntura.

2.3.7 Síntesis de la brecha hídrica

A continuación, se presenta una síntesis con las principales brechas hídricas presentadas en este capítulo. Como se puede observar en la **Tabla 2-25**, las mayores brechas se dan en la demanda agrícola, una combinación de diferentes actividades productivas, seguida del consumo de agua potable urbana. La brecha total, considerando todas las actividades productivas, caudal ecológico y demanda de agua potable urbana y rural, es de **1.657,04 hm³/año**.

Tabla 2-25 Síntesis brechas hídricas estimadas al 2050 hm³/año

Año	Agua potable Urbana	Agua potable Rural	Caudal ecológico	Agrícola	Otras brechas ⁽¹⁾	Total
Primera Cachapoal	17,42	1,17		673		691,59
Segunda Cachapoal	2,30	3,30		128		133,60
Tercera Cachapoal	0,98	0,50	-	40	-	41,48
Rio Claro	4,64	1,82		75		81,46
Zamorano	0,22	1,77		80		81,99
UG Cachapoal	25,56	8,56	0,00	997	54,37⁽²⁾	1.085,49
Tinguiririca	3,78	1,44		356		361,22
Chimbarongo	0,66	1,79	-	84	-	86,45
Las cadenas	0,05	0,65		50		50,70
UG Tinguiririca	4,48	3,89	0,00	490	2,56	500,93
Alhué	-	1,22		38		
Rapel	0,05	1,12	-	0	-	
UG Rapel	0,05	2,34	16,15	38	14,08	70,62
Total	30,09	14,79	16,15	1.525	71,01⁽⁴⁾	1.657,04

¹ Entre otras brechas, se encuentra considerada la actividad pecuaria (en las tres unidades de gestión), industrial (sólo en el total) y minera (sólo en UG Cachapoal)³.

² Corresponde a demanda pecuaria y minera, sólo en UG Cachapoal.

³ Total de brecha agua potable rural, considerando distribución de agua a través de camiones aljibe.

⁴ Al total calculado, se suma brecha hídrica industrial.

Fuente: Elaboración propia

³ Para el caso de la demanda hidroeléctrica, se estimó que ésta es permanente en el tiempo, por lo que no se consideraron brechas hídricas asociadas.

3. LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INICIATIVAS

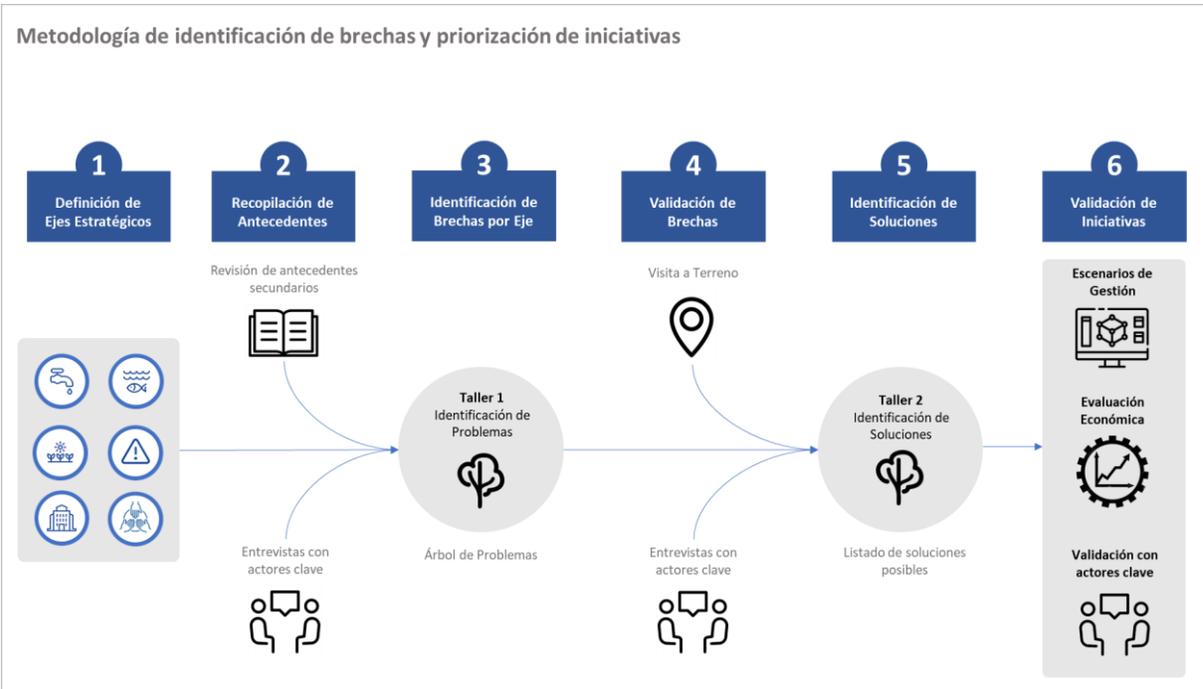
3.1 Método utilizado para levantamiento de medidas

El proceso de formulación del Plan Estratégico consiste en la descripción de las estrategias de evaluación de las soluciones para alcanzar un equilibrio en el balance de las aguas que se utilizan en la cuenca al año 2050 (Balance), así como para la definición de iniciativas requeridas para la Seguridad Hídrica y para la Gestión. La priorización de alternativas se realizó de la siguiente forma:

- **Ejes de Seguridad Hídrica (personas, ecosistemas, actividades productivas y eventos extremos):** En particular, las iniciativas de provisión de agua para las actividades productivas resultaron de un análisis económico y análisis mediante escenarios de gestión. El resto de las iniciativas se priorizaron a partir de un análisis cualitativo, que resultó de la identificación de problemas mediante la metodología de árbol de problemas, y la posterior selección de iniciativas a través de talleres y reuniones con actores clave. De esta forma, las alternativas resultaron de un proceso comprensivo y de consenso realizado en las actividades de Participación Ciudadana.
- **Ejes de Gestión Institucional y Gobernanza:** las iniciativas se priorizaron a partir de un análisis cualitativo, que resultó de la identificación de problemas mediante la metodología de árbol de problemas, y la posterior selección de iniciativas a través de talleres y reuniones con actores clave. De esta forma, las alternativas resultaron de un proceso comprensivo y de consenso realizado con la Dirección General de Aguas regional.

Para la definición de las unidades de gestión, se trabajó a partir de la hidrología superficial y los sistemas de riego. A partir de los criterios expuestos anteriormente se definieron tres Unidades de Gestión, que resumen buena parte de las características hidrológicas de la cuenca, al mismo tiempo que resumen la gestión que realizan las organizaciones de usuarios de agua sobre el territorio. Estas **Unidades de Gestión son: Cachapoal, Tinguiririca y Rapel.**

En la **Figura 3-1** se presenta la metodología de identificación de brechas y priorización de iniciativas. Un aspecto relevante del enfoque de trabajo adoptado es que se definieron ejes estratégicos, dentro de los cuales se identificó los problemas relevantes, sus causas y consecuencias (metodología de árbol de problemas), los cuales fueron convertidos en brechas. Posteriormente se evaluó las soluciones posibles para estas brechas, y dependiendo de la naturaleza de la brecha en sí, se evaluó las mejores alternativas ya sea mediante modelación, mediante análisis económico, o bien mediante consulta a actores locales y actores clave. De este conjunto de estrategias de evaluación se obtiene un instrumento de planificación consensuado con los actores locales.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1 Metodología de selección de alternativas

3.2 Análisis de iniciativas

El Plan Estratégico contiene 54 medidas, estructuradas en 4 ejes estratégicos y 18 Líneas de Acción. En la Tabla 3-1 se presenta el total de iniciativas propuestas, identificando además las brechas asociadas, el origen de cada una y la entidad responsable.

Tabla 3-1 Listado de iniciativas del Plan Estratégico

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha	Costo (uf)	Responsable	Origen
PER 1 Seguridad Hídrica para la Red Pública Urbana	PER 1.1 – Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria	BPER 2. Déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional	21.853.455	Empresa Sanitaria	Propuesta
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.1 - Plan de Desarrollo Integrado de la Infraestructura Hidráulica y Sanitaria	BPER1. Población atendida por camiones aljibe BPER 2. Déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional BPER 6. SSR no conectados ni coordinados para los desafíos del cambio climático y aumento de la demanda no regulada	16.027	Gobierno Regional	Propuesta
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.2 – Programa de Capacitación y acreditación de dirigentes de SSR	BPER5: Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural	28.849	DOH / SSR	Propuesta
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.3 – Programa de Registro y Profesionalización de los SSR	BPER5: Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural	129.822	DOH / SSR	Propuesta

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha	Costo (uf)	Responsable	Origen
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.4 - Programa de Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva	BPER6: SSR no conectados ni coordinados para los desafíos del cambio climático y aumento de la demanda no regulada	153.863	DOH / SSR	Propuesta
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.5 - Proyecto para un Sistema de Información de Servicios Sanitarios Rurales	BPER6: SSR no conectados ni coordinados para los desafíos del cambio climático y aumento de la demanda no regulada	19.233	DOH / SSR	Propuesta
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.6 - Proyecto de Instalación de Telemetría en SSR	BBPER6: SSR no conectados ni coordinados para los desafíos del cambio climático y aumento de la demanda no regulada	48.787	DOH / SSR	Propuesta
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.7 - Plan de Aumento de la cobertura de agua para consumo humano sectores rurales	BPER 2. Déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional	10.225.008	DOH / SSR	Propuesta
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.8 - Plan de Aumento en la cobertura de SSR	BPER4: Baja cobertura de Saneamiento rural	20.056.025	DOH / SSR	Propuesta
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.9 - Estudio Técnico para la incorporación de Sistemas de Saneamiento alternativos	BPER4: Baja cobertura de Saneamiento rural	8.014	DOH / SSR	Propuesta
PER 3 Seguridad Hídrica para viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua	PER 3,1 - Plan para la seguridad hídrica en viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua	BPER1. Población atendida por camiones aljibe	534.032	DOH / SSR	Propuesta

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha	Costo (uf)	Responsable	Origen
ECO 1 Gestión y Protección de los Cauces Naturales	ECO 1.1 - Estudio de caudales ambientales y estándares de calidad de agua	BECO1: Deterioro de ecosistemas acuáticos por inexistencia de caudal ecológico y BECO2: Deterioro de la calidad de las aguas.	6.411	MMA	Propuesta
ECO 1 Gestión y Protección de los Cauces Naturales	ECO 1.2 - Estudios para la Dictación de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental del río Rapel	BECO1: Deterioro de ecosistemas acuáticos por inexistencia de caudal ecológico y BECO2: Deterioro de la calidad de las aguas.	9.616	MMA	Propuesta
ECO 2 Protección de Humedales	ECO 2.1 - Estudio de vulnerabilidad de humedales	BECO3: Pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos por cambio de uso del suelo.	12.822	MMA	Propuesta
ECO 2 Protección de Humedales	ECO 2.2 - Programa de Protección de Humedales Urbanos	BECO3: Pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos por cambio de uso del suelo.	32.055	Gobierno Regional	Propuesta
ECO 3 Revertir la degradación de los ecosistemas terrestres	ECO 3.1 - Programa de Restauración de ecosistemas terrestres	BECO4: Pérdida de Vegetación Terrestre	26.410	CONAF	Propuesta
ECO 3 Revertir la degradación de los ecosistemas terrestres	ECO 3.2 - Programa de Recuperación de suelos degradados	BECO5: Erosión del suelo	652.716	SAG	Propuesta
ECO 4 Acuerdo Marco Embalse Rapel	ECO 4.1 - Proyecto para obtención de Acuerdo Marco Embalse Rapel	BECO 6. El embalse no dispone de una gobernanza propia y efectiva que permita resguardar su estado futuro	-	Gobierno Regional	Propuesta
PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.1 - Embalse Bollenar	BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	5.642.696	MOP	Catastrada
PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.2 - Embalse Las Cayanas	BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	5.253.520	MOP	Propuesta
PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.3 - Embalse Río Claro de Tinguiririca	BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	5.253.520	CNR	Propuesta
PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.4 - Proyecto de Aumento de Capacidad Embalse Convento Viejo	BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	2.081.156	MOP	Propuesta

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha	Costo (uf)	Responsable	Origen
PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.1 - Estudio de Factibilidad de la Gestión dinámica de Acuíferos	BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	20.836	CNR	Propuesta
PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.2 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Cachapoal	BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	3.948.025	DOH	Propuesta
PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.3 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Tinguiririca	BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	1.476.571	DOH	Propuesta
PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.4 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Rapel	BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	264.195	DOH	Propuesta
PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.1 - Proyecto de Riego Sector Marchigüe	BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior	737.260	MOP	Propuesta
PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.2 - Proyecto Integral de Riego Rapel	BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior	8.752.554	MOP	Catastrada
PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.3 - Programa de apoyo al secano interior de Marchigüe	BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior	268.939	DOH	Catastrada
PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.4 - Programa de apoyo al secano interior de Rapel y La Estrella	BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior	268.939	DOH	Propuesta
PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.5 - Programa de apoyo al valle de Alhué	BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior	8.014	CNR	Propuesta

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha	Costo (uf)	Responsable	Origen
PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de lagua	PRO 4.1 - Plan de Aumento en la Eficiencia de Riego	BPRO2: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego	6.411	CNR	Propuesta
PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de lagua	PRO 4.2 – Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Cachapoal	BPRO2: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego	11.559.044	CNR	Propuesta
PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de lagua	PRO 4.3 – Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Tinguiririca	BPRO2: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego	7.129.653	CNR	Propuesta
PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de lagua	PRO 4.4 – Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Rapel	BPRO2: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego	1.486.412	CNR	Propuesta
PRO 5 Derechos de Aprovechamiento de Agua	PRO 5.1 – Programa de Regularización y saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua	BPRO 5. Precariedad legal de los títulos asociados a los derechos de aprovechamiento de agua	21.092	CNR	Propuesta
PRO 6 Organizaciones de Usuarios de Agua	PRO 6.1 – Programa de Regularización de OUA	BPRO3: Falta de capacidades en las organizaciones de usuarios de agua	31.414	DGA OUA	Propuesta
PRO 6 Organizaciones de Usuarios de Agua	PRO 6.2 – Programa de Constitución Comunidades de Aguas Subterráneas	BPRO3: Falta de capacidades en las organizaciones de usuarios de agua	13.527	DGA OUA	Propuesta
PRO 6 Organizaciones de Usuarios de Agua	PRO 6.3 – Proyecto para el Acuerdo de distribución de agua JV Cachapoal	BPRO3: Falta de capacidades en las organizaciones de usuarios de agua	8.014	DGA OUA	Propuesta
EXT 1. Planes de Transición Ecológica y Social	EXT 1.1 - Plan de Transición Ecológica y social del Valle de Alhué	BEXT1: Falta de acciones adaptativas ante la escasez hídrica	135.271	Gobierno Regional	Propuesta

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha	Costo (uf)	Responsable	Origen
EXT 1. Planes de Transición Ecológica y Social	EXT 1.2 - Plan de Transición Ecológica y social del Secano interior de Rapel	BEXT1: Falta de acciones adaptativas ante la escasez hídrica	270.542	Gobierno Regional	Propuesta
GES 1 Generación de Información	GES 1.1 - Proyecto de Instalación de Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica	BGES1: Deficiencias en la red hidrométrica y de calidad de aguas	8.014	DGA HIDROLOGIA	Propuesta
GES 1 Generación de Información	GES 1.2 - Proyecto de Reposición de equipos de calidad de agua	BGES1: Deficiencias en la red hidrométrica y de calidad de aguas	17.310	DGA HIDROLOGIA	Propuesta
GES 1 Generación de Información	GES 1.3 - Proyecto de instalación de Estaciones de Montaña	BGES1: Deficiencias en la red hidrométrica y de calidad de aguas	2.564	DGA HIDROLOGIA	Propuesta
GES 1 Generación de Información	GES 1.4 - Programa para la Generación de capacidades al interior de la DGA	BGES2: Falta de información y análisis de procesos	-	DGA Regional	Propuesta
GES 1 Generación de Información	GES 1.5 - Estudios Específicos	BGES2: Falta de información y análisis de procesos	36.863	DGA CENTRAL	Propuesta
GES 2 Generación de Capacidades de Fiscalización	GES 2.1 - Estudio de actualización de derechos de aprovechamiento asociados a los puntos de demanda	BGES3: Falta de información sistematizada de los DAA, puntos de extracción y demanda final	67.315	DGA DARH	Propuesta
GES 2 Generación de Capacidades de Fiscalización	GES 2.2 - Proyecto para el Desarrollo de capacidades de fiscalización al interior de la DGA	BGES4: Falta de capacidades específicas para la realización de análisis de base de datos (Recursos Humanos)	-	DGA FISCALIZACION	Propuesta
GES 3 Organizaciones de Usuarios de Agua en línea	GES 3.1 - Proyecto de Simplificación y estandarización de procedimientos DGA	BGES5. Falta de modernización en la administración de las OUA	-	DGA DARH	Propuesta

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha	Costo (uf)	Responsable	Origen
GES 3 Organizaciones de Usuarios de Agua en línea	GES 3.2 – Proyecto para el desarrollo de una Plataforma de Gestión de organizaciones de usuarios de Agua	BGES5. Falta de modernización en la administración de las OUA	12.822	DGA OUA	Propuesta
GES 3 Organizaciones de Usuarios de Agua en línea	GES 3.3 – Proyecto para el desarrollo de una Plataforma de Capacitación de organizaciones de usuarios de Agua	BGES5. Falta de modernización en la administración de las OUA	17.630	DGA OUA	Propuesta
GOB 1 Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos	GOB 1.1 - Implementación de una gobernanza de recursos hídricos para la cuenca	BGOB1: Falta de coordinación entre actores públicos y privados; y BGOB2: No existe una visión conjunta ni alineamiento que le de sustento	4.744	DGA CENTRAL	Propuesta
GOB 1 Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos	GOB 1.2 - Implementación de una Secretaría Técnica Permanente	BGOB1: Falta de coordinación entre actores públicos y privados; y BGOB2: No existe una visión conjunta ni alineamiento que le de sustento	192.329	DGA CENTRAL	Propuesta
			104.012.708		

Fuente: Elaboración propia

3.3 El rol de las instituciones en la implementación del plan

Se identificó 8 instituciones responsables de la implementación del Plan Estratégico. El principal responsable es el Ministerio de Obras Públicas, y particularmente la Dirección de Obras Hidráulicas y su Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales.

El **Ministerio de Obras Públicas (MOP)** es responsable de la construcción de embalses y los Proyectos Integrales de Riego de Marchigüe y Rapel, y en consecuencia cuenta con una participación del 28,9% del total del presupuesto, aunque en este nivel de análisis, no es posible discriminar el mecanismo de financiamiento de éstos.

La **Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)** es responsable de impulsar la estrategia de Gestión Dinámica de Acuíferos y los programas de apoyo al secano interior de Marchigüe, Rapel, La Estrella y Alhué, además de los estudios técnicos del Embalse Convento Viejo, lo que resulta en una participación del 6,4% del Plan. La mayor participación está asociada a la **Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales**, que concentra el 30,0% de la inversión asociada principalmente al aumento de cobertura e implementación de sistemas de tratamiento de aguas servidas, además de otras medidas de fortalecimiento de la administración de éstos.

También dependiente del MOP, la **Dirección General de Aguas (DGA)** a través de sus distintas instancias intermedias representa el 0,4% de la inversión, concentrada principalmente en el fortalecimiento de la gestión de los derechos de aprovechamiento de agua, de las organizaciones de usuarios de agua, y generación de información.

Fuera del ámbito del MOP, el **Ministerio de Agricultura** concentra el 20,1% de la inversión total, concentrada principalmente en la **Comisión Nacional de Riego (CNR)**, responsable del aumento de la eficiencia de riego en la cuenca y en consecuencia, con un 19,5% de participación dentro del Plan Estratégico. Le sigue el **Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)**, con un 0,6% de la inversión asociada a la recuperación de suelos degradados y la **Corporación Nacional Forestal (CONAF)**, con un 0,03% del presupuesto para la restauración de ecosistemas terrestres.

El **Ministerio de Medio Ambiente (MMA)** tiene una participación menor (0,03%) que corresponde a estudios de ecosistemas acuáticos y normas secundarias de calidad de aguas.

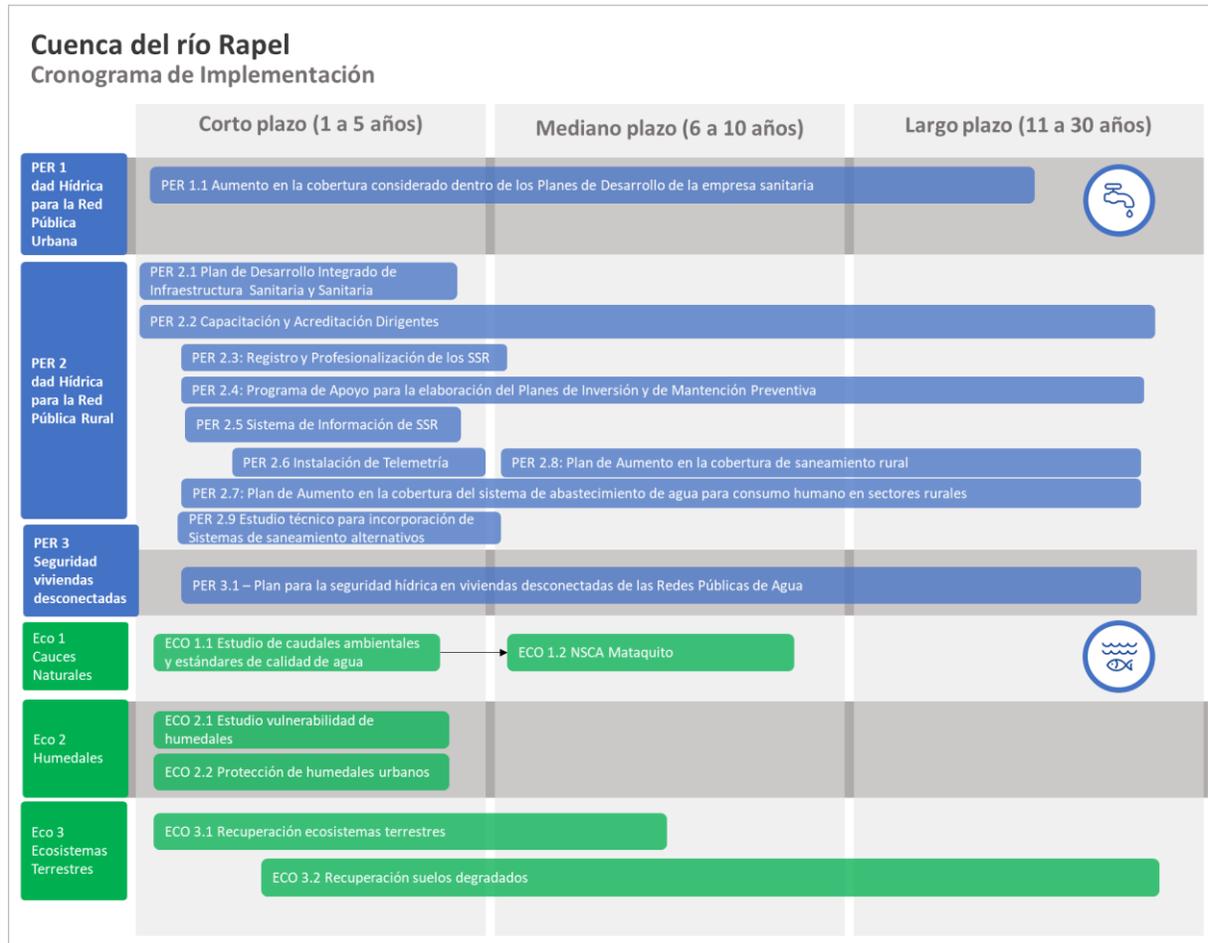
Al **Gobierno Regional de la región de O'Higgins (GORE)** se le asignó una participación del 0,4%, distribuida entre estudios regionales de desarrollo integrado de infraestructura sanitaria, favorecimiento de acuerdos sobre humedales, acciones ya comprometidas con el embalse La Jaula y la implementación de un Plan de Recuperación del sector el Belloto – Curepto.

Finalmente, la **Empresa Sanitaria** tiene a su cargo la mantención de la seguridad hídrica a nivel urbano, lo que representa el 21,0% del total del Plan Estratégico.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

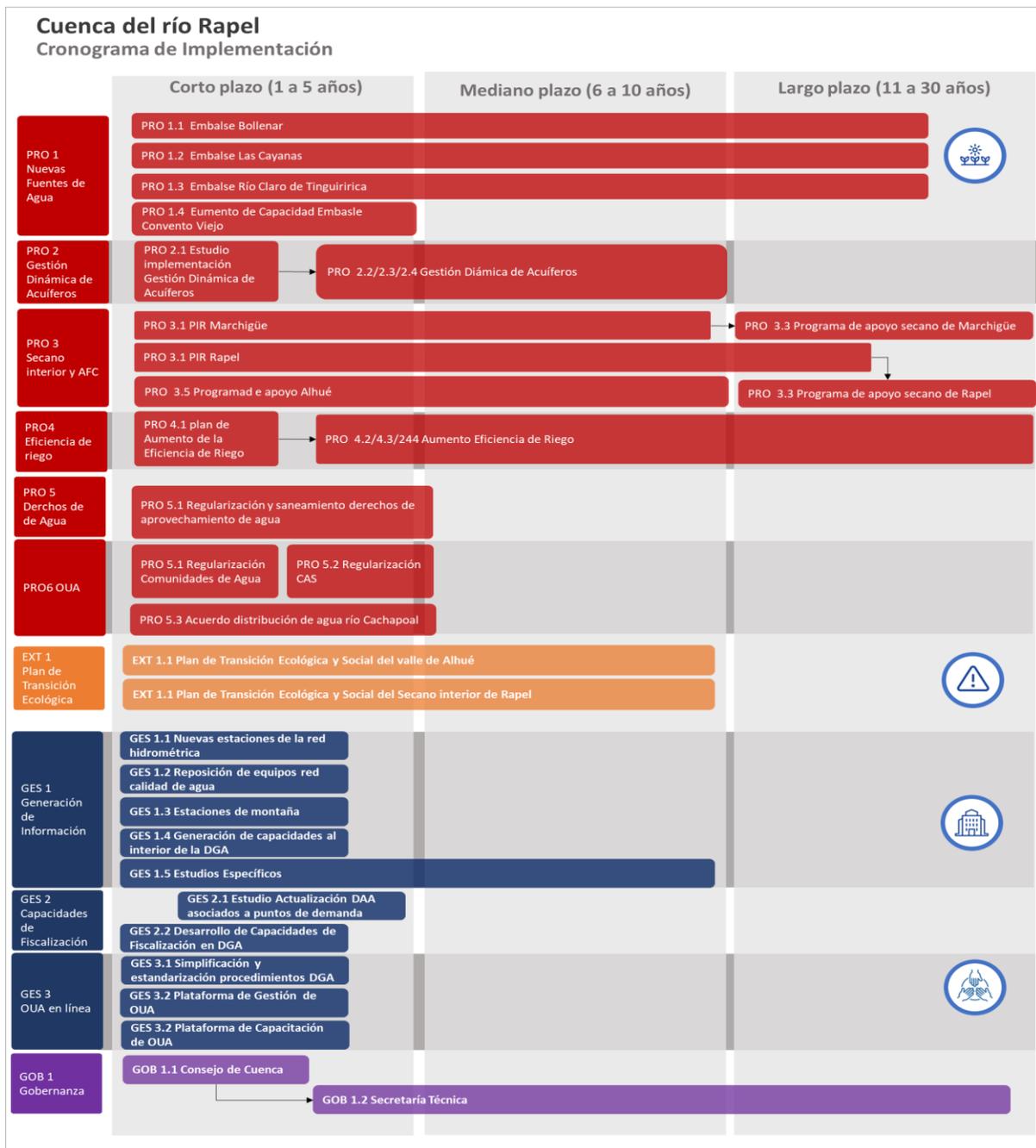
4.1 Cronograma

A continuación, en la **Figura 4-1** y **Figura 4-2** se presentan las iniciativas según plazo de implementación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-1 Cronograma de Implementación de Soluciones (1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-2 Cronograma de Implementación de Soluciones (2)

Tabla 4-1. Cronograma de Implementación de Iniciativas

Ejes Estratégicos y Líneas de Acción	Costo (millones \$)	Corto Plazo (1-5 años)	Mediano Plazo (5 - 10 años)	Largo Plazo (10 a 30 años)	%
01 SH para las Personas	1.655.701	190.461	248.655	991.575	51,0%
PER 1 Seguridad Hídrica para la Red Pública Urbana	681.754	113.626	113.626	454.502	21,0%
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	957.288	60.175	135.029	537.072	29,5%
PER 3 Seguridad Hídrica para viviendas desconectadas	16.660	16.660			0,5%
02 SH Ecosistemas	23.086	5.031	3.931	14.124	0,7%
ECO 1 Gestión y Protección de los Cauces Naturales	500	500	-	-	0,0%
ECO 2 Protección de Humedales	1.400	1.000	400		0,0%
ECO 3 Revertir la degradación de ecosistemas terrestres	21.186	3.531	3.531	14.124	0,7%
ECO 4 Acuerdo Marco Embalse Rapel	-	-			0,0%
03 SH Act Productivas	1.542.178	269.937	293.796	978.445	47,5%
PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	178.121	89.386	88.736	-	5,5%
PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	413.849	13.674	8.500	391.675	12,8%
PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	318.303	4.700	36.893	276.710	9,8%
PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de agua	629.595	159.867	159.667	310.060	19,4%
PRO 5 Derechos de Aprovechamiento de Agua	658	658			0,0%
PRO 6 Organizaciones de Usuarios de Agua	1.652	1.652	-	-	0,1%
04 SH Eventos Extremos	12.660	6.330	6.330		0,4%
EXT 1. Planes de Transición Ecológica y Social	12.660	6.330	6.330		0,4%
05 Gestión Institucional	5.070	2.880	520	1.670	0,2%
GES 1 Generación de Información	2.020	1.230	520	270	0,1%
GES 2 Generación de Capacidades de Fiscalización	2.100	700	-	1.400	0,1%
GES 3 Organizaciones de Usuarios de Agua en línea	950	950	-	-	0,0%
06 Gobernanza	6.148	1.148	1.000	4.000	0,2%
GOB 1 Implementación de una Gobernanza	6.148	1.148	1.000	4.000	0,2%
Total general	3.244.844	475.787	554.232	1.989.814	100,0%
		14,7%	17,1%	61,3%	

Fuente: elaboración propia

4.2 Financiamiento de iniciativas

Se presenta una revisión de las principales fuentes de financiamiento disponibles y que pudieran ser aplicadas a las iniciativas propuestas. En particular, se considera que la mayor fuente de financiamiento es sectorial, asociada a la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

El costo total del Plan alcanza a \$3.244.844 millones de pesos (104.102.708 UF). De este total, \$1.369.720 millones de pesos son de financiamiento Sectorial (42,2% del total), fuertemente impactados por el aumento en la eficiencia de riego y la implementación de nuevas fuentes de aguas superficiales. Le sigue el financiamiento complementario sectorial y regional, con \$1.177.110 millones de pesos (36,3% del total), que corresponde al aumento de la cobertura de saneamiento rural, y la recuperación de suelos degradados. El detalle se presenta en la **Tabla 4-2**.

Tabla 4-2. Análisis de Fuentes de Financiamiento

Fuente	Costo (millones \$)	Costo (UF)	%
Sectorial / Regional	1.177.110	37.731.985	36,3%
Regional	16.260	521.210	0,5%
Sectorial	1.369.720	43.906.058	42,2%
Privado	681.754	21.853.455	21,0%
Total general	3.244.844	104.012.708	100,0%

Fuente: Elaboración propia

4.3 Plan de Monitoreo

El Seguimiento del Plan es una actividad permanente, que permite evaluar el cumplimiento de cada una de las metas definidas. Para esto, el seguimiento debe contar con indicadores específicos, que sean comparables entre sí y reflejen en forma clara, directa e inequívoca los resultados de la implementación de las acciones propuestas.

4.3.1 Indicadores

A continuación, se presentan los indicadores para cada una de las iniciativas del Plan. Se definieron distintos indicadores para cada Eje Estratégico, y se distinguió entre indicadores de impacto e indicadores de proceso. En particular, los **Indicadores de Proceso** corresponden a variables que describen la ejecución de una acción o proceso, ya sea de ejecución única, eventual o permanente. En este caso, se aplican a la verificación de la implementación de las iniciativas del Plan Estratégico.

Los **indicadores de Impacto** fueron definidos y evaluados en el numeral 5.4, Indicadores Hídricos de la Cuenca. En complemento, en la **Tabla 4-3** se definen los indicadores de proceso, asociados a las iniciativas del Plan Estratégico.

Tabla 4-3. Indicadores del Proceso

Iniciativa	Meta	Indicador
PER 1.1 - Aumento de la cobertura de agua para consumo humano sectores urbanos	82.139 viviendas incorporadas (referencial)	Nº de viviendas beneficiadas
PER 2.1 - Plan de Desarrollo Integrado de la Infraestructura Hidráulica y Sanitaria	1 estudio técnico	Acta de aprobación de estudio técnico
PER 2.2 - Capacitación y acreditación de dirigentes de SSR	60 personas capacitadas al año	Nº de personas capacitadas al año
PER 2.3 - Registro y Profesionalización de los SSR	1 programa Subsidio por 5 años	Nº de SSR Inscritos Nº de SSR subsidiados
PER 2.4 - Programa de Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva	6 programas ejecutados	Número de programas ejecutados
PER 2.5 - Sistema de Información de Servicios Sanitarios Rurales	1 sistema de información operativo	hito de entrada en operación del sistema y carga de datos de SSR
PER 2.6 - Instalación de Telemetría en SSR	200 SSR con telemetría instalada	Nº de SSR con telemetría instalada
PER 2.7 - Plan de Aumento de la cobertura de agua para consumo humano sectores rurales	38.432 viviendas (referencial)	Nº de viviendas beneficiadas
PER 2.8 - Plan de Aumento en la cobertura de SSR	60 SSR con alcantarillado y PTAS	Nº de sistemas de saneamiento construidos
PER 2.9 - Estudio Técnico para la incorporación de Sistemas de Saneamiento alternativos	1 estudio técnico	Acta de aprobación de estudio técnico
PER 3,1 - Plan para la seguridad hídrica en viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua	1.000 viviendas beneficiadas y 100 Redes Participativas de Agua	Nº de viviendas beneficiadas
ECO 1.1 - Estudio de caudales ambientales y estándares de calidad de agua	1 estudio técnico	Acta de aprobación de estudio técnico
ECO 1.2 - Norma Secundaria de Calidad Ambiental del río Rapel	1 NSCA del río Rapel	Promulgación de la NSCA
ECO 2.1 - Estudio de vulnerabilidad de humedales	1 estudio técnico	Acta de aprobación de estudio técnico
ECO 2.2 - Protección de Humedales Urbanos	5 humedales urbanos declarados y habilitados	Nº de humedales urbanos declarados y habilitados
ECO 3.1 - Restauración de ecosistemas terrestres	374,5 ha restauradas	Nº de ha restauradas
ECO 3.2 - Recuperación de suelos degradados	104137 ha recuperadas	Nº de ha recuperadas
ECO 4.1 - Acuerdo Marco Embalse Rapel	1 programa de trabajo	Acta de acuerdo del programa de trabajo
PRO 1.1 - Embalse Bollenar	59 hm3 aportados a la regulación por el embalse Bollenar	Informe Técnico de ingeniería y Resolución de Calificación Ambiental Favorable Embalse Operativo
PRO 1.2 - Embalse Las Cayanas	1 estudio de prefactibilidad del embalse Las Cayanas	Acta de aprobación de estudio técnico

Iniciativa	Meta	Indicador
PRO 1.2 - Embalse Las Cayanas	50 hm ³ aportados por regulación del embalse Las Cayanas	Embalse operativo
PRO 1.5 - Embalse Río Claro de Tinguiririca	1 estudio de prefactibilidad del embalse Río Claro de Tinguiririca	Acta de aprobación de estudio técnico
PRO 1.6 - Embalse Río Claro de Tinguiririca	20hm ³ aportados por regulación del embalse Río Claro de Tinguiririca	Embalse operativo
PRO 1.7 - Aumento de Capacidad Embalse Convento Viejo	34 hm ³ aportados por el peralte del muro	Nueva etapa del embalse operativa
PRO 2.1 - Estudio de Factibilidad de la Gestión dinámica de Acuíferos	1 estudio Técnico de implementación de la Gestión Dinámica de Acuíferos	Acta de aprobación de estudio técnico
PRO 2.2 - Gestión Dinámica de Acuíferos UG Cachapoal	538 hm ³ gestionados	hm ³ gestionados efectivamente
PRO 2.3 - Gestión Dinámica de Acuíferos UG Tinguiririca	212 hm ³ gestionados	hm ³ gestionados efectivamente
PRO 2.4 - Gestión Dinámica de Acuíferos UG Rapel	34 hm ³ gestionados	hm ³ gestionados efectivamente
PRO 3.1 - Proyecto de Riego Sector Marchigüe	10,000 bajo riego en el secano interior de Marchigüe	Nº de ha beneficiadas
PRO 3.2 - Proyecto Integral de Riego Rapel	10,217 bajo riego en el secano interior de Marchigüe	Nº de ha beneficiadas
PRO 3.3 - Programa de apoyo al secano interior de Marchigüe	500 ha beneficiadas	Nº ha beneficiadas
PRO 3.4 - Programa de apoyo al secano interior de Rapel y La Estrella	500 ha beneficiadas	Nº ha beneficiadas
PRO 3.5 - Programa de apoyo al valle de Alhué	Estudio Técnico con propuesta de inversión	Acta de aprobación de estudio técnico
PRO 3.5 - Programa de apoyo al valle de Alhué	300 ha beneficiadas	Nº ha beneficiadas
PRO 4.1 - Plan de Aumento en la Eficiencia de Riego	Estudio Técnico con metas de tecnificación	Acta de aprobación de estudio técnico
PRO 4.2 - Aumento en la eficiencia de riego UG Cachapoal	Aumento de eficiencia equivalente a 507,0 hm ³	hm ³ efectivamente ahorrados por aumento de eficiencia
PRO 4.3 - Aumento en la eficiencia de riego UG Tinguiririca	Aumento de eficiencia equivalente a 507,0 hm ³	hm ³ efectivamente ahorrados por aumento de eficiencia
PRO 4.4 - Aumento en la eficiencia de riego UG Rapel	Aumento de eficiencia equivalente a 507,0 hm ³	hm ³ efectivamente ahorrados por aumento de eficiencia
PRO 5.1 - Regularización y saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua	Inscripción de 1.000 derechos de agua en el Catastro Público de Aguas	Nº de derechos efectivamente inscritos
PRO 6.1 - Regularización de OUA	Inscripción de 20 OUA en el catastro público de aguas	Nº de OUA efectivamente inscritas
PRO 6.2 - Constitución Comunidades de Aguas Subterráneas	Inscripción de 10 CAS en el catastro público de aguas	Nº de CAS efectivamente inscritas
PRO 6.3 - Acuerdo de distribución de	Suscripción de un acuerdo	Acta de acuerdo suscrita

Iniciativa	Meta	Indicador
agua JV Cachapoal	de gestión conjunta	
EXT 1.1 - Plan de Transición Ecológica y social del valle de Alhué	Plan implementado. 300 SCALL 100 km de zanjas de infiltración 20 micrositios restaurados 300 personas capacitadas	Nº de SCALL instalados km de zanja ejecutados Nº de micrositios restaurados Nº de personas capacitadas
EXT 1.2 - Plan de Transición Ecológica y social del Secano interior de Rapel	Plan implementado. 600 SCALL 200 km de zanjas de infiltración 40 micrositios restaurados 600 personas capacitadas	Nº de SCALL instalados km de zanja ejecutados Nº de micrositios restaurados Nº de personas capacitadas
GES 1.1 - Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica	14 estaciones nuevas y renovadas	Nº de estaciones nuevas y renovadas
GES 1.2 - Reposición de equipos de calidad de agua	27 estaciones con equipos repuestos	Nº de estaciones renovadas
GES 1.3 - Estaciones de Montaña	1 nueva estación	Nº de estaciones instaladas
GES 1.4 - Generación de capacidades al interior de la DGA	Capacidades instaladas a nivel regional	Procedimientos o cursos que demuestren la instalación de capacidades
GES 1.5 - Estudios Específicos	6 estudios técnicos	Nº de estudios ejecutados
GES 2.1 - Estudio de actualización de derechos de aprovechamiento asociados a los puntos de demanda	1 estudio técnico	Acta de aprobación de estudio técnico
GES 2.2 - Desarrollo de capacidades de fiscalización al interior de la DGA	Fortalecimiento efectivo de capacidades de análisis	Implementación de protocolos y herramientas requeridas para este efecto
GES 3.1 - Simplificación y estandarización de procedimientos DGA	Actualización de procedimientos	Modificación legal o instructivo interno que contenga los cambios que estime conveniente la institución.
GES 3.2 - Plataforma de Gestión de organizaciones de usuarios de Agua	Desarrollo de la plataforma	Plataforma implementada y operativa
GES 3.3 - Plataforma de Capacitación de organizaciones de usuarios de Agua	Desarrollo de Contenidos de Capacitación	Contenidos puestos a disposición de los usuarios de agua
GOB 1.1 - Implementación de una gobernanza de recursos hídricos para la cuenca	Instalación del Consejo de Cuenca	Ejecución del programa de apoyo con la obtención del acuerdo para un sistema de gobernanza de partida
GOB 1.2 - Implementación de una Secretaría Técnica Permanente	Instalación de la Secretaría Técnica	Nº de años de operación de la Secretaría Técnica

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Seguimiento

El seguimiento del Plan de Gestión permite medir tanto la implementación de las iniciativas, como su impacto en el territorio y en el cierre de cada brecha. Es una actividad clave para el control y balance de las estrategias propuestas.

El seguimiento del Plan es responsabilidad de la gobernanza y los actores que la conforman. Sin embargo, dada la complejidad de los indicadores propuestos, se considera necesario que se defina una secretaría técnica con financiamiento público, que realice los informes técnicos correspondientes y los ponga a disposición de la gobernanza.

Esta actividad debe ser asignada en forma específica dentro de la gobernanza adoptada para el Plan Estratégico. Se estima que es una actividad técnica, permanente, que requiere de un equipo profesional contratado específicamente para la ejecución de esta tarea y la entrega de reportes a lo menos anualmente, en función de los indicadores que se describen en el punto siguiente. La dependencia de este equipo técnico ya sea público, privado o mixto, dependerá exclusivamente del modelo de gobernanza adoptado.

Complementariamente, para que el seguimiento sea efectivo, esta información debe ser pública, para ser sometida al escrutinio de la sociedad civil. Este concepto de reportabilidad es clave para un control ciudadano efectivo sobre la gestión de los recursos hídricos.

En concreto, el seguimiento del Plan se debe realizar sobre los indicadores definidos:

- **Indicadores de Estado y de Impacto:** dan cuenta de las variables de respuesta a nivel de la cuenca, para cada uno de los ejes de seguridad y de gestión definidos. Permiten comprender si las iniciativas propuestas obtienen el efecto esperado, así como levantar señales de alerta cuando se producen cambios en magnitud o sentido distintos a los esperados.
- **Indicadores de Proceso:** dan cuenta del grado de implementación de las iniciativas del Plan Estratégico, en un sentido de rendición de cuentas por el avance esperado con relación al obtenido. Al mismo tiempo, permiten comprender la fuente de desviación para el caso que no se obtengan los resultados esperados del plan.

5. REFERENCIAS

- Baeza, E. (2018). *Sequía y Escasez hídrica: conceptos relacionados, situación actual y experiencia comparada en varios países para abordar el problema*. Santiago: Asesoría Técnica Parlamentaria.
- Codex Verde. (21 de Octubre de 2017). *Corte Suprema condenó a Codelco a reparar daño ambiental de esteros Alhué y Carén*. Obtenido de Periódico en línea Codex Verde: Información, discusión y análisis para el desarrollo sustentable: <https://codexverde.cl/corte-suprema-condeno-codelco-reparar-dano-ambiental-esteros-alhue-caren/>
- DGA. (2017). *Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile*. Santiago de Chile.
- DGA. (2019). *Mapa Hidroquímico de Chile*. Ministerio de Obras Públicas, División de Conservación de Recursos. Santiago de Chile: DGA.
- Programa Chile Sustentable. (2013). *Glaciares y Minería. Continúa la Destrucción de los Glaciares*. Santiago: Heinrich Böll Stiftung Cono Sur.
- Riquelme, C. (7 de Marzo de 2017). *Brigada Medioambiental de la PDI investigará posible contaminación en río Cachapoal*. Obtenido de Revista en línea El Tipógrafo: <https://eltipografo.cl/2017/03/brigada-medioambiental-de-la-pdi-investigara-posible-contaminacion-en-rio-cachapoal>
- SISS. (2019). *Informe de gestión del sector sanitario*. Santiago: Gobierno de Chile.